

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

**(CoFe)₇₅Si₁₀B₁₅ VƏ CoFe AMORF MAQNƏTİKLƏRİN MAQNİT VƏ
MAQNİTOOPTİK XASSƏLƏRİ**

İxtisas: 2211.01 – Bərk cisimlər fizikası

Elm sahəsi: Fizika

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi

almaq üçün təqdim edilmiş

D İ S S E R T A S İ Y A

İddiaçı: _____ **İsayeva Aida Əjdər qızı**

Elmi rəhbərlər: _____ **F.r.e.d., prof. Tahir Musa oğlu Pənahov**

_____ **F.r.e.n., dos. Zabit Səməd oğlu Musayev**

B A K I – 2022

M Ü N D Ə R İ C A T

G İ R İ Ş.....	4
I FƏSİL. AMORF METALLİK ƏRİNTİLƏR VƏ ONLARIN TƏTBİQ	
İMKANLARI.....	13
1.1. Amorf metallik ərintilər və onların tətbiqinin perspektivləri	13
1.2. Amorf ərintilərin alınma texnologiyası.....	23
1.3. Amorf maqnetiklərin anizotropiyası.....	31
1.4. Amorf maqniyumşaq ərintilərin mexaniki xassələri.....	35
1.5. Amorf lentlərin maqnit xassələri.....	38
1.6. Amorf metallik ərintilərin domen quruluşu	40
1.7. Nanokompozitlərin optik və maqnitooptik xassələri	46
1.8. Amorf materiallara termik, termomaqnit emalların və əlavə gərginliklərin təsiri	53
II FƏSİL. AMORF MAQNETIKLƏRİN MAQNİT VƏ MAQNİTOOPTİK	
PARAMETRLƏRİNİN ÖLÇÜ METODU VƏ ÖLÇÜ QURĞUSUNUN	
TƏSVİRİ.....	58
2.1. Metallar və ərintilərin optik xarakteristikalarının təyini metodu.....	58
2.2. Ferromaqnit materiallarda maqnitooptik hadisələrin fizikası	60
2.3. Amorf lentlərin maqnit xassələrinin ölçülmə metodu	65
2.4. Universal maqnitooptik qurğunun sxemi və iş prinsipi	69
2.5. Universal qurğunun nizama salınması	78
2.6. Amorf nümunələrin hazırlanma texnologiyası	80
III FƏSİL. CoFe ƏSASLI AMORF MAQNİTYUMŞAQ ƏRİNTİLƏRİN	
MAQNİT XASSƏLƏRİ.....	86
3.1. Kobalt əsaslı amorf maqniyumşaq ərintilər	86
3.2. (CoFe) ₇₅ Si ₁₀ B ₁₅ amorf maqniyumşaq lentinin maqnit quruluşunun tədqiqi.....	90
3.3. (CoFe) ₇₅ Si ₁₀ B ₁₅ maqniyumşaq amorf ərintilərdə maqnit itkiləri	91
3.4. CoFe əsaslı amorf maqnetiklərdə maqnit itkilərinin termik emal rejimindən və tərkibdən asılılığı.....	96
3.5. Amorf ferromaqnit ərintilərdə maqnit müqaviməti effekti.....	99

3.6. Fe-Co-Cr-Si-B tərkibli amorf maqnyumşaq ərintilərin maqnit və impedans xassələrinə temperaturun təsiri.....	110
3.7. CoFe əsaslı lentin maqnit xassələrinə səth halının təsirinin tədqiqi	116
3.8. Amorf (CoFe) ₇₅ Si ₁₀ B ₁₅ lentinin rentgen quruluşunun tədqiqi.....	119
3.9. CoFe və Ni Fe permalloyları əsasında maqnit termocütlərin hazırlanma imkanları.....	121
3.10. Amorf maqnyumşaq (CoFe) ₇₅ Si ₁₀ B ₁₅ ərintisindən hazırlanmış lentlərdə maksimal maqnit nüfuzluğuna termik emal parametrlərinin təsirinin tədqiqi.....	127
IV FƏSİL. CoFe AMORF MAQNETİKLƏRİN MAQNİTOOPTİK XASSƏLƏRİ.....	135
4.1. Ferromaqnit metal və ərintilərdə maqnitooptik hadisələrin mikroskopik nəzəriyyəsi.....	135
4.2. Maqnitooptik Kerr effektləri	137
4.3. (CoFe) ₇₅ Si ₁₀ B ₁₅ amorf lentində EKE –nin spektral asılılıqlarının tədqiqi.....	140
4.4. CoFe əsaslı amorf lentində maqnitostatik ölçmələr	144
4.5. (CoFe) ₇₅ Si ₁₀ B ₁₅ amorf maqnyumşaq lentində Ekvatorial Kerr effektinin temperaturdan asılılıq ayrılmasının tədqiqi.....	151
4.6. Ekvatorial Kerr effekti spektrlərində anizotropiyanın tədqiqi.....	154
ƏSAS NƏTİCƏLƏR	156
İSTİFADƏ EDİLMİŞ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI.....	158
QISALADILMIŞ ADLAR VƏ ŞƏRTİ İŞARƏLƏR	174

GİRİŞ

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Amorf materialların 60 ildən də əvvəl kəşf edilməsinə baxmayaraq, onların quruluşu və maqnit xassələrinin öyrənilməsinə olan maraq bu gün də azalmamışdır. Amorf materialların müasir mikroelektronikada geniş yayılmasını da ilk növbədə istehsalat az vəsait sərf edilməsilə izah etmək mümkündür. Ən geniş yayılmış amorf maqniyumşaq materiallar tərkibində 70-80% dəmir və ya Co atomları olan ərintilərdir. Tədqiqat və praktiki tətbiqlər baxımından lent şəklində olan amorf materiallar xüsusi diqqətə layiqdirlər. Bu lentlərin tətbiq sahəsi sensor elementlərinin istehsalı baxımından çox genişdir.

Amorf materialların maqnit xassələri müxtəlif termik emal aparmaqla və ya əlavə gərginliklər tətbiq etməklə dəyişdirilə bilər. Belə ki, termik və termomaqnit emalın köməyi ilə maqnitoelastik anizotropiyanı azaltmaq olar. Bununla da amorf materialların maqnit xassələrini əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırmaq mümkündür. Bundan əlavə son illərdə amorf ərintilərin istehsal texnologiyası daha da müasirləşmişdir ki, bu da onların maqnit, mexaniki, korroziyaya davamlılığı kimi xassələrinin yaxşılaşdırılmasına gətirib çıxarmışdır. Dediklərimizi nəzərə alaraq belə qənaətə gəlmək olar ki, amorf materialların alınma texnologiyası və termiki emalı onların fiziki xassələrinə xüsusi təsir edir.

Son zamanlarda lent şəklində hazırlanan maqniyumşaq amorf materiallarda qığant maqnit impedansı hadisəsi aşkar edilmişdir. L.V. Panina və əməkdaşlarının nəzəri işində [134, s.6198; 135, s.341; 136, 1442] maqnit impedansın mikromaqnit quruluşundan asılı olduğu göstərilmişdir. Bu baxımından amorf lentlərin mikromaqnit quruluşunun öyrənilməsi zəruridir. Hal-hazırda materialların səthə yaxın mikromaqnit quruluşunu öyrənmək üçün ən əlverişli üsul maqnit-optik metoddur. Maqnitooptik effektlərin köməyi ilə səthə yaxın müəyyən bir qalınlıqdakı təbəqənin maqnit və maqnitooptik xassələrini tədqiq etmək mümkündür. İşıq düşən təbəqənin dərinliyi $d = \lambda/4\pi k$ ifadəsi ilə təyin olunur. Burada, λ – dalğa uzunluğu, k – mühitənin udulma

əmsalıdır. Ferromaqnit materiallar üçün işığın kvantlanma enerji 0.5 ilə 6 eV aralığında olduqda təbəqənin d dərinliyi 10-30 nm-i keçmir. Beləliklə, işığın dalğa uzunluğunu dəyişməklə nümunənin maqnit və maqnitooptik xassələrini təyin etmək mümkündür. Bundan başqa, maqnitooptik metodun köməkliyi ilə amorf lentin domen quruluşu haqqında fikir yürütmək də mümkündür.

Son zamanlar ferromaqnit tərkibli ərintilərin fiziki xassələrinə $Si-B$ kimi qeyri metalloidlərin təsirinin tədqiqi metallar fizikasında ən perspektivli sahə kimi hesab edilir. Müasir texnologiyanın yaradılması və inkişafı fundamental tədqiqatlara əsaslanmışdır. Maqnito-optik xassələrin öyrənilməsi bu baxımından daha aktualdır. Belə ki, bu yöndə çoxlu optik xassələrin aşkar edilməsi və yeni optik effektlərin öyrənilməsi göstərir ki, maqnito-optik metodlara maqnit materialların öyrənilməsinin müstəqil bir tədqiqat istiqaməti kimi baxmaq olar. Müasir dövrümüzdə sənayedə fiziki və kimyəvi xassələrə malik materiallardan istifadə edilməsi texnologiyanın bütün istiqamətlərində mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Materialların emalının yüksək effektiv texnologiyalarının işlənməsi, onlardan sənaye məmulatlarının hazırlanması üçün istifadə edilməsi heç də az əhəmiyyət kəsb etmir. Bərk cisimlər fizikası, xüsusən də metallar fizikası texnologiyası oblastında inkişafın əldə olunması bu yolda əsas istiqamətlərdən biridir.

Maqnityumşaq amorf ərintilər fiziki xassələrinə görə kristallik maqnityumşaq materiallardan fərqli xassələrə malikdirlər. Amorf maqnityumşaq materialların fərqləndirici xüsusiyyətlərinə yüksək ilkin və maksimum maqnit nüfuzluğunu, materialın elektrik müqavimətinin temperaturdan zəif asılı olmasını, kiçik koersitiv qüvvəyə, kiçik maqnit anizotropiya sabitinə və sıfıra yaxın maqnitostriksiyaya malik olmasını göstərmək olar.

Amorf ərintilərinin doyma maqnitlənməsi, koersitiv qüvvəsi, histerezis ilgəyinin düzbucaqlılığı, maqnit nüfuzluluğu geniş diapazonda qiymət alır. Hətta gərginliklər tam götürüldükdən sonra belə itkilərin qiyməti maqnitostriksiyadan asılı olur. Bu zaman alt zonada spinlərin düzülüşünə nəzər yetirilməlidir. Nəticə etibarlı ilə bu deyilənlərə baxılması müxtəlif fiziki effekt və parametrlərin tədqiqinə və

hesablanmasına imkan yaradır. Beləliklə, d və s –zonalarının parçalanmanın spin-orbital parametrlərini, mübadilə parçalanmalarını, elektronların polyarlaşma dərəcələrini və s. təyin edilməsinə imkan yaradır. Bu materialların maqnit və maqnito-optik xassələri onların quruluşu və kimyəvi tərkibi ilə əlaqədardır. Onların əhəmiyyətli praktiki xassələrinin formalaşmasında termomaqnit (sabit və dəyişən maqnit sahələrində) və termomexaniki emal kimi xarici təsirlərin böyük rolu vardır. Onların təsiri nəticəsində gətirilmiş anizotropluğun xarakteri dəyişir, histerezis ilgəyi yerini dəyişir və s. Bu hadisələrin öyrənilməsinin yalnız elmi deyil, praktiki əhəmiyyəti də vardır, yəni aktualdır.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. İşdə tədqiqat obyektı olaraq $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ və CoFe lent nümunələri götürülüb. Tədqiqat predmeti tədqiq olunan amorf lent nümunələrində müxtəlif termik emal şəraitlərindən asılı olaraq maqnit və maqnitooptik xassələrin xüsusiyyətləri öyrənilmişdir.

Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri

Dissertasiya işinin məqsədi müxtəlif xarakterli termik, həm sabit, həm də dəyişən maqnit sahələrində termomaqnit emallara məruz qalmış $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ və CoFe maqnetiklərin maqnit və maqnitooptik xassələrində yaranan xüsusiyyətlərin mexanizmlərinin müəyyənləşdirilməsi və onların praktiki tətbiq imkanlarının araşdırılmasından ibarətdir. Məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlər həll edilmişdir:

1. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ və CoFe amorf lent nümunələrin alınması.
2. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ və CoFe amorf maqnetiklərin havada, vakuumdə, suda aparılan müxtəlif termik və termomaqnit emallardan sonra maqnit xassələrinin araşdırılması.
3. Co-Fe lent nümunələrində maqnit itkilərinin və gətirilmiş maqnit anizotropiyanın borun miqdarından asılılığının müəyyənləşdirilməsi.
4. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ lentinin maksimal maqnit nüfuzluğuna müxtəlif termik emal proseslərində baş verən diffuziya proseslərin təsirinin araşdırılması.
5. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf nümunələrində qalınlığın maqnit və maqnitooptik

xassələrinə təsirinin araşdırılması.

6. CoFe və NiFe lentləri əsasında yeni maqnit termocüt nümunəsinin əldə olunması və onun tətbiq imkanlarının araşdırılması.

Tədqiqat metodları:

Dissertasiya işində tədqiq olunan materiallar xırdalandıqdan sonra VIII-60-2 induksiya sobası vasitəsilə arqon mühitində əridilmişdir. Nümunələrin tab alınması CYOJI-0,15,1,1./12MP-H3 elektrik sobasında aparılmışdır. Maqnit induksiyaının ölçmək üçün Φ 4354/1 teslametrindən istifadə olunmuşdur. İşdə tədqiq olunan lentin mikroquruluşu haqqında məlumat əldə etmək üçün

- Rentgen quruluş tədqiqi Dron-3 difraktometri,
- Atom qüvvə mikroskopu (AQM),
- Skanedici elektron mikroskopu (SEM)

kimi metodlardan istifadə edilmişdir.

Dissertasiya işində maqnitooptik xassələrin tədqiqi metodu olaraq Bitti metodu və Ekvatorial maqnitlənmə maqnitooptik qurğu üzərində qurulmuşdur. Işıq mənbəyi kimi hallogen lampadan istifadə edilmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar

1. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf maqniyumşaq lent nümunəsinin maqnit sahəsində suda tablamanın maqnit itkilərinin əhəmiyyətli dərəcədə azalması prosesində rolu;
2. Co-Fe amorf maqniyumşaq lent nümunələrində maqnit itkilərinin və gətirilmiş maqnit anizotropiyanın borun miqdarından asılılığının müəyyənləşdirilməsi;
3. CoFe-NiFe permalloy lentindən hazırlanmış maqnit termocütlərdən laboratoriya şəraitində və sənayedə istifadə imkanlarının qiymətləndirilməsi;
4. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ lentinin maksimal maqnit nüfuzluğuna müxtəlif termik emal temperaturunda, soyuma sürətində və termik emal müddətlərində baş verən diffuziya proseslərinin rolu.
5. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ nümunələrinin tab alma müddətinin Kerr effektinin qiymətinə təsirinin araşdırılması.

6. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf lent nümunəsinin səthə yaxın təbəqəsində quruluşun formalaşmasına maqnit sahəsində tab alma müddətinin təsiri.

7. Tədqiq olunan $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf lent nümunəsinin maqnit impedans effekte müxtəlif termik emal temperaturu və emal müddətindən asılılığının müəyyənəşdirilməsi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi.

Dissertasiyada:

1. Co-Fe tərkibli ərintilərdə maksimal maqnit nüfuzluluğu almaq üçün ən optimal termik emal temperaturunun $400-420^{\circ}\text{C}$ arasında olması müəyyən edilmişdir;
2. Aparılan maqnit və maqnitooptik xassələrin tədqiqi göstərir ki, Si-B kimi legirləyici elementlərdən asılı olaraq doyma maqnitlənməsinin azalması xətti xarakter daşıyır;
3. Göstərilmişdir ki, $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ lentini kristallaşmanın başlanğıcında termomaqnit və ya tab alma ilə emal etməklə əldə edilən gətirilmiş eninə maqnit anizotropluğu, xarici maqnit sahəsinin 2-10E oblastında lentvari nümunələrdə sabit maqnit nüfuzluqlu düzbucaqlı histerezis ilgəyi yaradır.
4. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf maqniyumşaq ərinti lentlərində havada termik emaldan sonra 40K/dəq soyuma sürətindən asılı olaraq amorf və ya amorf kristallik təbəqə formalaşması müşahidə olunur.
5. Müəyyən olunmuşdur ki, EKE-nin sahə asılılıqlarında $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf nümunənin maqnit və maqnitooptik xassələri qalınlıqdan asılı olaraq dəyişir. EKE-nin sahə asılılıqlarından müəyyən edilmişdir ki, zamanın artması ilə səthaltı qatda amorf lentlər daha maqnit bərk olur.
6. Göstərilmişdir ki, induksiya cərəyanları ilə əlaqədar ayrılan istilik səbəbindən dəyişən maqnit sahəsindəki temperatur ölçmələrində xətalari minimuma endirməyə imkan verən termoelektrik sensorlar istehsalına yararlı materiallar kimi Co-Fe və Ni-Fe əsasında olan nazik maqnit lentlər istifadə oluna bilər.
7. Perkolyasiya astanası yaxınlığında ekvatorial Kerr effektinin kifayət qədər böyüməsi, ferromaqnit komponentin konsentrasiyasının sonrakı artması zamanı

isə ekvatorial Kerr effektinin tədricən azalması müşahidə edilir.

Tədqiqatın nəzəri və praktik əhəmiyyəti

Dissertasiya işində müəyyən olunmuşdur ki, CoFe əsaslı amorf lentlərdən bərk cisim elektronikasında, transformatorların təkmiləşdirilməsində, termocütlərin hazırlanmasında istifadə oluna bilər.

Dissertasiya işi üzrə aparılmış təcrübələrdə CoFe və NiFe amorf lentlərindən termocüt hazırlanmışdır.

Aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiya işinin mövzusunə dair elmi işlərin nəticələri aşağıdakı konfranslarda müzakirə olunmuşdur:

VI Respublika konfransının materialları Opto, nanoelektronika, kondensə olunmuş mühit və yüksək enerjilər fizikası, Fizika Problemləri İnstitutu, 14-15 dekabr 2012, Bakı;

Magistrantların və gənc tədqiqatçıların Fizika və Astronomiya Problemləri Respublika Elmi Konfransının Materialları, 2012, Bakı;

Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XVIII respublika elmi konfransının materialları, 2013, Bakı;

Metallar fizikasının müasir problemləri V Beynəlxalq Elmi-Praktik konfransının materialları 10-11 iyun, 2016, Bakı;

Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XX Respublika Elmi konfransının materialları, 24-25 may 2016, Bakı;

Магнитные фазовые переходы Сборник трудов XII международного семинара, Институт физики ДНЦ РАН 60 лет, 7 сентября 2017 г. Махачкала;

Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXI Respublika Elmi konfransının materialları I bölmə, 24-25 oktyabr, 2017, Bakı;

Energetika ixtisasları üzrə kadr hazırlığının aktual məsələləri Respublika Elmi konfransının materialları 30-31 may 2019, Sumqayıt;

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin Fizika və kimya kafedrasının nəzdində “Metal və ərintilərin fizikası” Elmi Tədqiqat Laboratoriyası.

Nəşr olunmuş elmi işlər. Dissertasiya işinin materialları 12 məqalə və 8 tezis olmaqla yerli və xarici jurnallarda dərc edilmişdir. Məqalələrdən ikisi xaricdə, Web of Science daxil olan jurnallarda, ikisi isə təkmüəllifli çap edilmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işi kompüter mətni həcmində 175 səhifədən, cədvəllər, şəkillər, ədəbiyyat siyahısı, şərti işarələr istisna olmaqla 208504 işarə, Giriş 14306 işarə, I fəsil 75799 işarə, II fəsil 34872 işarə, III fəsil 59225 işarə, IV fəsil 22114, nəticə 2188 işarədən ibarət olub, tərkibinə nəticələr, 7 cədvəl, 43 şəkil və 164 adda istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısı daxil edilmişdir.

Birinci fəsildə Amorf metallik ərintilər, onların tətbiqinin perspektivləri, amorf maqniyumşaq ərintilərin quruluşu, maqnit xassələri, nanotexnologiya əsasında amorf maqniyumşaq ərintilərin hazırlanmasının fiziki əsasları, amorf metallik ərintilərin domen quruluşu haqqında məlumat verilir. Elmi ədəbiyyatın təhlili nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, amorf ərintiləri müxtəlif metodlarla almaq mümkündür. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf ərintisi üzərində tədqiqatlar aparmaq məqsədilə onların alınması texnologiyası işlənib hazırlanmışdır. Amorf strukturlu amorf lentlərin alınmasının bir çox üsulu olsa da bunların içində ən əlverişli metod maye haldan tablama metodudur. Maye haldan tablama qurğularının hamısında maye metal fırlanan soyuducu diskin səthi üzərinə axaraq böyük sürətlə (10^5 - 10^7 °C/san) soyudulur və sürətlə bərkirir. Ərintinin tərkibinin sabit qaldığı zaman soyuma sürəti soyuducu üzərinə axıdılan maye materialın miqdarından və soyuducu barabanın xarakterindən asılı ola bilər. Soyuducu barabanın üstündə aldığımız lentin qalınlığı ərintinin axma sürəti və barabanın fırlanma sürəti ilə təyin olunur. Müəyyən olunmuşdur ki, kristallaşma prosesləri amorf ərintinin tərkibindən çox asılıdır. Domen quruluşu və maqnitostatik tədqiqatlardan müəlliflər belə nəticəyə gəlirlər ki, maqnit sahəsində tab alma nəticəsində nümunələrdə biroxlu maqnit anizotropiya müşahidə olunur. Domenlərin eni 0,2 mm-dir. Əgər maqnit sahəsi ona paralel olaraq ölçülsə, domen sərhədlərinin hərəkəti prosesi baş verir, əksinə olsa yenidənmaqnitlənmə prosesi baş verir.

İkinci fəsildə Metallar və ərintilərin optik xarakteristikaları, ferromaqnitlərdə maqnitooptik hadisələr, CoFe əsaslı ərintilərin maqnit və maqnitooptik xassələrinin ölçü metodikası, qurğunun hazırlanması, quruluşu və iş prinsipi haqqında məlumat verilir. Dissertasiya işində alınmış amorf lentin tərkib və quruluş analizlərini həyata keçirmək məqsədi ilə fiziki metodlardan istifadə edilmişdir. Alınan amorf lentlərin maqnit xassələri (qalıq maqnitlənmə, koersitiv qüvvə və s.) histerezis ilgəyindən təyin edilir. Histerezis ilgəyinin çəkilməsi üçün $\Phi 190$ fotoqalvanometrik kompensasiya mikrovebermetrindən istifadə edilmişdir. Güclü maqnit sahələrində isə vibrasiyalı maqnitometrədən istifadə edilmişdir. Amorf nümunələrin bircinsliyini və faza tərkibini təyin etmək üçün Dron -3 rentgen difraktoqramında istifadə edilmişdir.

Üçüncü fəsildə Co əsaslı amorf maqnityumşaq ərintilər, $(CoFe)_{1-x}Si_xB$ amorf ərintisinin maqnit strukturu, maqnit itkiləri, maqnit itkilərinin termik emal rejimindən və tərkibindən asılılığı, amorf ferromaqnit ərintilərdə maqnit müqaviməti effekti haqqında məlumat verilmişdir. $(CoFe)_{75}Si_{10}B_{15}$ amorf ərintiləri alınmışdır. Alınan amorf ərintilərdən maye haldan tab alama metodundan istifadə edilir. Belə ki, maye metal fırlanan soyuducu diskin səthi üzərinə axaraq böyük sürətlə (10^5 - 10^7 $^{\circ}C/san$) soyudulur və bərkiyərək amorf lent alınır. Amorf lent alındıqdan sonra termik və termomaqnit emaldan sonra maqnit itkilərinin tezlik asılılığı ayrıləri qurulmuşdur. Müxtəlif termik emaldan sonra suda və havada tab almadan sonra histerezis ilgəkləri qurulmuşdur. $(CoFe)_{75}Si_{10}B_{15}$ lentinin amorf olduğunu müəyyən etmək üçün rentgen quruluşu tədqiq edilmişdir. Co-Fe və Ni-Fe amorf ərintiləri əsasında maqnit termocütlər hazırlanmış və Xromel-Alümel termocütü ilə müqayisə edilmişdir. Bu fəsildə $(CoFe)_{75}Si_{10}B_{15}$ maqnityumşaq ərintisinin amorf lentlərində maksimal maqnit nüfuzluğuna termik emal zamanı izotermik saxlama temperaturunun və soyuma sürətinin təsiri öyrənilmişdir.

Dördüncü fəsildə Ferromaqnitlərdə maqnitooptik hadisələrin fenomenoloji təsviri, maqnitooptik Kerr effektləri, $(CoFe)_{75}Si_{10}B_{15}$ ərintisində tapılmış maqnit və maqnitooptik xassələri, ekvatorial Kerr effektindən istifadə edərək alınmış

eksperimental nəticələr haqqında məlumat verilmişdir. $(CoFe)_{75}Si_{10}B_{15}$ amorf lentində EKE-nin spektral, sahə və temperatur asılılıqları, habelə EKE spektrlərində anizotropiyanın tədqiqi haqqında məlumat verilmişdir.

I FƏSİL. AMORF METALLİK ƏRİNTİLƏR VƏ ONLARIN TƏTBİQ

İMKANLARI

1.1. Amorf metallik ərintilər və onların tətbiqinin perspektivləri

Amorf materiallar- atom düzülüş halında uzağa nizamlılığı olmayan ərintilər və metallik ərintilərdir. Bərk maddənin amorf halı kristal quruluşa malik olmayıb, dəqiq ərimə nöqtəsinin olmaması və izotrop luq xassəsi ilə xarakterizə edilir. Amorf materialların əriməsi müəyyən temperatur oblastında müşahidə olunur. Temperatur artdıqca amorf maddə yumşalır və tədricən maye hala keçir. Amorf halda atomların yerləşməsində uzaq nizamlılıq yoxdur, buna görə də xarici təsir olmadıqda cismin makroskopik xassələri izotropdur. Lakin, amorf halda yaxına nizamlılıq - birinci üç koordinasiya sferası daxilində atomun yaxın əhatəsi saxlanılır. Yaxına nizamlılıq mayələr üçün də xarakterikdir, lakin bərk cisimlərdən fərqli olaraq mayələrdə, özlülük artdıqca daim çətinləşən, qonşu atomların yerlərini dəyişdirməsi daha intensiv baş verir. Buna görə də, amorf haldakı bərk cismə çox yüksək özlülük əmsalına malik ifrat soyudulmuş maye kimi baxmaq qəbul edilmişdir [34 s.58,52s.304].

Amorf halda bərk cisim böyük həcmə və entropiyaya malikdir, buna görə də kristallik hala keçid zamanı maddə sıxlaşarkən böyük miqdarda enerji ayrılır. Amorf halı eksperimental olaraq rentgen-, neytron- və elektronogrammalarda kristallar üçün xarakterik olan difraksiya maksimumlarının olmaması ilə müəyyən edirlər [26 s. 414].

Yeni materialların əldə edilməsi prinsiplərinin inkişafı, müəyyən bir materialın meydana gəlməsini təyin edən proseslərin əsas təməlləri, habelə quruluşun və onun təyin etdiyi fiziki-kimyəvi xassələri haqqındakı biliklərə əsaslanır [49 s.305-331].

Müəyyən xassələrə (mexaniki, elektrik, maqnit) malik yeni materialın yaradılmasındakı irəliləyiş, müəyyən bir quruluşun meydana gəlməsinin əsasını təşkil edən proseslərin anlaşılma səviyyəsindən asılıdır. Yeni materialların kəşfi və inkişafı

da yeni fiziki xassələri müəyyən edir ki, bu da öz növbəsində yeni qurğuların və cihazların yaranmasına səbəb olur. Bu cür yeni materiallara, şübhəsiz ki, metallik şüşələr və onların əsasında əmələ gələn nanokristallik ərintilər daxildir. Müasir dövrdə ilk metallik şüşənin alınmasından çox illər keçməsinə baxmayaraq ona olan maraq böyükdür. 1960-ci ildə professor Dyuvezin rəhbərliyi ilə metallik şüşələri qeyri-adi kristal olmayan formada aldı. Rentgendə kristallik fazanı sübut edən xətlər yox idi, yalnız parıltı görsənirdi. Bu iş amorf ərintilər və ya amorf şüşələr sahəsində ilk elmi iş sayıldı. Belə ki, ancaq ondan bir il əvvəl Dnepropetrovskdə Miroşniçenko və Salli artıq kristal olmayan metal ərintiləri əldə etmək imkanını nümayiş etdirmişdilər. Aydınlandırdı ki, məqalənin nəşr olunduğu jurnal populyar olmadığından bu elmi əsərə diqqət olunmamışdı. Hərçənd ki, tədqiqatın ilk nəşr sayılan elmi əsər olmalı idi [46, s.1398-1399].

1976-cı ildə S. Takayamanın [147, s.164-185] araşdırma məqaləsində metaloidlər və yarımmetallar olan ərintilərin amorflaşdırılmasının daha asan olduğu qeyd edilmiş və eyni zamanda metalik şüşənin yaxına nizamlı quruluşu ərintinin yaxına nizamlı quruluşundan fərqləndiyi qənaətinə gəlmişdir.

Silikat şüşələrin amorf halı ifratsoyudulmuş ərintinin bərkiməsi prosesində, özlülüyn müntəzəm olaraq artması zamanı formalaşır və bu prosesə şüşələşmə deyilir. Belə ki, bu ərintilərə kristallik olmayan ərintilər və ya metallik şüşə deyirlər. Bu materialları almaq üçün fərqli üsullardan istifadə olunur. Bu üsullardan ən çox istifadə olunanı ərinti xammalının qaz və ya maye halında yüksək sürətlə soyudularaq bərk formaya keçməsidir [14, s.7]. Beləliklə, ərintinin yüksək sürətlə soyudulması zamanı bərk hala elə sürətlə keçir ki, həmin materialın maye halındakı atomları donmuş şəkildə qalırlar. Alınan metallik ərintilərin quruluş və fiziki xassələrini öyrənməklə müəyyən etmək olar ki, bir çox amorf metallarda yaxına nizamlılıq vardır, uzağa nizamlılıq isə mövcud deyil. Metallik şüşələr həm ərintilər üçün tamamilə tipik olmayan qeyri-adi quruluşu, həm də bir sıra fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərinə görə maraq doğurdu. Amorf ərintilər arasında yüksək möhkəmlilik baxımından sərt və maqnit baxımından isə yumşaq, korroziyaya davamlı materiallar

vardır. Belə ki, metallik şüşələrdə Fe və Co əsaslı keçid metallarında möhkəmlilik $H_V > 1000$, bərklik $4 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ ola bilər. Bu xassələr sənayedə istifadə olunan metalların və ərintilərin möhkəmlilik və sərtliliklərinin maksimum qiymətlərini aşır. Məsələn, dəmir əsaslı metallik şüşələrdən hazırlanan telin gücü fortepiano telindən daha yüksəkdir [49, s.305-331; 51, s.404].

Tədqiqatlar nəticəsində Co və Fe əsaslı ərintilərdə kiçik koersitiv qüvvə 0.5-1 A/m və yüksək doyma maqnitlənməsinə $< 1.4T$ -ə malik maqnit və yüksək histerezis xassələri alınmışdır. Co-Fe-P-B ərintilərdə təxminən sıfır maqnitostriksiya alınmışdır. Amorf ərintilərin əsas xassələri olaraq yüksək qalıq induksiya, kiçik itkilər, yüksək maqnit nüfuzluluğu və sıfıra yaxın maqnitostriksiya əldə edilməsidir. Maqnit xassələri legirliyiçi elementlərdən də asılıdır. Bu zaman maqnit nüfuzluluğu 120000-ə çatır. Tərkibi dəyişməklə metallik şüşənin də maqnit xassələri dəyişir [74, s.52].

Bir çox fiziklərə görə bərk cisimlər quruluşca həssasdırlar. Bu asılılıq metallik şüşələrə də aiddir. Belə ki, məsələn, amorf ərintilərin maqniyyətə xassələri relaksasiyalı tab alma və maqnit sahəsində tab alma etməklə yaxşılaşdırılır. Amorf ərintilərin mexaniki xassələri isə qalıq gərginlikdən, korroziya səth qatının tərkibindən və vəziyyətindən asılıdır. Qismən kristallaşmış metallik şüşələr (amorf və kristal fazalardan ibarət kompozitlər) həm amorf, həm də kristallik materiallardan fərqli daha yaxşı xassələrə malik olur. Metallik şüşələr üçün amorf halın stabil olmayan bir hal olduğunu qeyd etmək vacibdir. Qızdırıldıqda və ya soyudulduqda xassələrdə dəyişikliklər baş verə və amorf fazanın parçalanmasına səbəb ola bilər [74, s.52]. Buna görə də metallik ərintilərdə amorf fazanın quruluşunu, dayanıqlığını, qismən kristal və ya tam kristal halına keçməsinə öyrənmək həm materialın quruluşu və xassələrini öyrənmək baxımından həm fundamental elm baxımından son dərəcədə vacibdir.

Amorf ərintilərin quruluşunun rengen şüaları metodu ilə öyrənilməsi göstərdi ki, amorf lentlərin strukturu bircinsli olmaya bilər. Bu termik emal prosesindən asılıdır. Amorf materialın kristallaşması zamanı strukturları tarazlıq fazalarının quruluşundan əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənən, bir qayda olaraq daha mürəkkəb olan

metastabil fazalar əmələ gəlir. Amorf fazanın parçalanması həm metastabil kristal, həm də kvazikristallı fazalar yarada bilər. Kristallaşma müəyyən bir ərintinin tarazlıq fazalarının kristallaşmasından fərqli bir mexanizmlə davam edə bilər. Kristallaşma başlamazdan əvvəl amorf faza əhəmiyyətli dəyişikliklərə məruz qala bilər [45, s.52]. Amorf fazanın kristallaşması zamanı strukturların əmələ gəlməsi və parçalanma başlamazdan əvvəl kristal quruluşun parametrlərinin amorf fazanın vəziyyətindən asılı olması prinsiplərini anlamaq çox vacibdir, çünki bu quruluşun meydana gəlməsini müəyyən edən bir çox məqamlar bu günə qədər tam aydın deyil. Bu aparılan tədqiqatların aktuallığını müəyyən edir [117, s.277-278].

Bərk cismlərin amorf quruluşu elədir ki, atomun yaxın əhatəsini hər hansı kristalloqrafik sistemlə müqayisə etmək olmaz. Amorf quruluşu təsvir edərkən ilk dəfə Bernalın birkomponentli maye üçün təklif etdiyi (1960-ci il) bərk kürələrin təsadüfi düzülüşü modelindən istifadə edirlər. Bu modeldə cismin quruluşu onun həcmnin minimumlaşdırılması yolu ilə təyin edilir. İkikomponentli sistemin təsviri üçün stereokimyəvi yanaşmadan (Qaskell, 1979-cu il) istifadə edilir. Bu zaman koordinasiya özəkləri (nanoklasterlər) həmin binar sistemlərin kristallik fazasında reallaşan özəklərə analogi simmetriyaya malikdir [21, s.820; 25, s.57-63].

Amorf materialların fiziki xassələri (elektrik, maqnit, mexaniki) onların real strukturundan asılıdır. Buna görə də çox sayda elmi əsərlər amorf metalların mikroquruluşunun ətraflı eksperimental və nəzəri öyrənilməsinə həsr olunmuşdur. Amorf maqnit materialların atom quruluşunu öyrənmək üçün geniş istifadə olunan üsullara elektron mikroskop analizi, həmçinin neytronların və rentgen şüalarının kiçik bucaqlı səpilmə üsulları daxildir. X-ray şüalanmasının səpilmə xarakterindən və rentgen şüalanma nümunəsindəki diffuziyalı halqanın diametrindən amorf maddənin atom quruluşunun nizamlama dərəcəsini və atomlararası məsafəni təxmin etmək olar [26, s.414].

Təcrübə nəticələrini izah etmək üçün təsviri [56, s.556]-də verilən elmi əsərdə amorf maqnit materialların quruluşunun müxtəlif modelləri təklif edilmişdir. Eyni zamanda [43, s.367] müəllifi, sərt kürələrin sıx təsadüfi Bernal modelini amorf

materialın atom quruluşunu təsvir etmək üçün ən əlverişli model hesab edir. Bu model, orjinal sərt kürəni yerləşdirə biləcək boşluqların olmaması ilə xarakterizə olunur, lakin tərkibində amorf quruluşu sabitləşdirən kiçik boşluqlar vardır.

Bərk cisimlər fizikası üçün amorf maqnit materialların maqnit xassələri xüsusi maraq doğurur. Amorf maqnetiklərin maqnit xassələrinə koersitiv qüvvə, doyma sahəsi, doyma maqnitlənməsi, maqnit nüfuzluğu, maqnit anizotropiyası daxildir. Maqnit xassələri əsasən vibrasiya maqnitometri [126, s.135-137] və SQUİD maqnitometri ilə ölçülür. Anizotropiya sabitlərinin ölçülməsi ilə amorf maqnetiklərin maqnit anizotropiyasının ətraflı öyrənilməsi ferromaqnit rezonansı üsulundan istifadə etməklə aparılır [107, s.5136-3014].

Maqnitoelastik anizotropiya sahəsi və buna görə amorf maqnetiklərin doyma maqnitostriksiyası haqqında məlumatlar dəyişən maqnit sahəsinə görə maqnitlənmə ilə maqnitlənmə oxu arasında qalan meyl bucağı ilə qiymətləndirilən maqnitlənmənin kiçik bucaqlı fırlanma üsulu ilə əldə edilir [120, s.14233-14236].

Domen quruluşunu müşahidə etmək üçün tanınmış üsullarla yanaşı, son illərdə xüsusilə məşhur olan atom qüvvə mikroskopundan istifadə etməklə, amorf maqnetiklərin domen quruluşu maqnit-optik üsullarla, xüsusən də maqnitooptik effektdən istifadə etməklə də araşdırıldı. Domen quruluşunu müşahidə etmək üçün bu üsul geniş bir temperatur aralığında və xarici maqnit sahələrində tətbiq olunur. Domen quruluşunun öyrənilməsi polyar, ekvatorial və meridional Kerr effektlərdən istifadə etməklə maqnitooptik metodlarla həyata keçirilə bilər. Bu metodların əsas çatışmamazlığı əksər ferromaqnitlərdə müşahidə olunan Kerrin fırlanma bucağının kiçik qiymətidir. Optik metod tədqiq olunan amorf materialın səthinə məsələn, ZnS təbəqəsi şəklində dielektrik örtük tətbiq etməklə genişləndirilə bilər [29, s.946, 42, s.714, 64, s.3419].

Amorf metalların ferromaqnetizmi içərisində tipik ferromaqnitlərin – dəmir, kobalt, nikelin, dolmamış 3d təbəqəsi olan keçid metalların olması ilə əlaqədardır. 3d – bu metalların elektronları atomdakı lokal maqnit momentlərinin daşıyıcılarıdır. Lokal maqnit momentləri arasındakı mübadilə qarşılıqlı təsiri spontan maqnitlənmənin

meydana gəlməsinə səbəb olur. Atomların lokal maqnit momentləri bir-birindən kifayət qədər böyük bir məsafə qədər uzaqlaşdırıldıqda, bu əsasən seyrəldilmiş ərintilərdə həyata keçirilir ki, aralarında heç bir qarşılıqlı olmur və ərintilər parmaqnit olur [57, s.593; 58, s.305; 59 s.56-58].

Ferromaqnitlərin fərqli maqnit xassələrini təyin edən ən əhəmiyyətli fiziki kəmiyyətləri orta atom maqnit momenti və T_k Kuri temperaturudur. Kristal və amorf ferromaqnitlər üçün bu qiymətlərin müqayisəsi amorf materiallar üçün orta atom maqnit momenti və T_k -nın qiymətinin azaldığını göstərir. Bu azalmanın səbəblərini müəyyən etmək üçün [88, s.718-734] işdə amorf maqnetiklərin maqnit quruluşu, maqnit nizamlılığının formalaşmasında amorflaşmanın rolu kimi məsələləri nəzərdən keçirilib. [88, s.718-734] –cı işin müəllifləri amorf maddəyə xas olan kimyəvi və strukturunda atomların nizamsızlığını mübadilə qarşılıqlı təsirdə, maqnit momentində və tək ion anizotropiyasında fluktuasiyaların yaranmasına səbəb olduğunu göstərmişlər. Bu cür fluktuasiyalar mübadilə integralının atomları arasındakı məsafədən və qarşılıqlı konfigurasiyadan güclü asılılığın nəticəsidir. Amorflaşma cütləşməmiş elektronların delokalizasiyası səbəbindən 3d-metalların maqnit momentlərinə ən böyük təsir göstərir. Bu halda, lokal maqnit momenti yalnız vəziyyəti ilə deyil, ən yaxın qonşu atomların tipi və sayı ilə təyin olunur. 4f - elektronların daha çox ekranlaşdırıldığı nadir torpaq elementləri vəziyyətində isə fluktuasiya effekti, lokal maqnit momentləri əhəmiyyətli dərəcədə azalır [94 s.2244, 95s.245, 96 s.1025].

Kristal ferromaqnitlər kimi amorf maqnetiklər histerezis hadisəsi, maqnit doyması və domen strukturunun olması ilə xarakterizə olunur. Maqnit yığılma amorf ərintilər üçün doyma maqnitlənməsi $(80\div 80)\times 10^3 \text{ A/m}$ sahələrdə əldə edilir. Temperaturun artması ilə spontan maqnitlənmənin qiyməti azalır və T_k -temperaturunda sifirə bərabər olur. Amorf ərintilərin spontan maqnitlənməsinin temperaturdan asılılığını öyrənərkən maqnitlənmədə aşağı temperatur dəyişiklərinin spin-dalğa yaxınlaşması ilə izah edilə biləcəyi aşkar edilmişdir (maqnitlənmə $T^{3/2}$ ilə mütənasibdir) [110, s.53-56; 115, s.3555], yüksək temperaturlarda maqnitlənmədə dəyişiklik Brüller funksiyasına nəzərən daha zəifdir. Bunun səbəbi lokal

anizotropiyanın dispersiyası və mübadilə qarşılıqlı təsirin olmasıdır [110, s.53-56, 115 s.3555; 122 s.162402].

Beləliklə amorf metalların xassələri amorf quruluşun mövcud olmasını aydın şəkildə göstərir. Bu xassələrə amorf metalların mexaniki xassələrini, maqnit xassələrini, elektrik xassələrini və korroziyaya davamlı olmasını göstərmək olar. Belə ki, yüksək maqnit induksiya malik amorf maqnetiklərdə elektromaqnit itkiləri də kristallik ərintilərlə müqayisədə daha az olur [128, s.54; 158, s.3269-3272; 156, s.95].

Müəyyən edilmişdir ki, elektron qurğuların miniatürləşməsi ona gətirib ki, cərəyan keçirici xətlərin, kontakt sahələrinin və müasir inteqral sxemlərin digər elementlərinin xətti ölçüləri 0,5 - 1 mkm aşmır. İşçi elementlərin submikron ölçülərində metal - yarımkeçirici sərhəddində atomların qarşılıqlı diffuziyası üçün şərait yaranır. Bu proses zaman keçdikcə cərəyan keçirici xətlərin qısa qapanmasına və qurğunun sıradan çıxmasına səbəb olur. Diffuziyanın qarşısını almaq üçün yarımkeçirici və metal arasında nazik maneə qatı yaratmaq lazımdır [43, s.367; 50, s.54-60; 52, s.304; 161, s.3479].

Amorf materiallardan detektorların və maqnit yazı başlıqlarının istehsalında istifadə edilə bilər [41, s.169]. Məlumdur ki, müasir dövrümüzdə informasiyanın yazılıb saxlanması üçün ferromaqnetiklərdən istifadə olunur. Araşdırmalar nəticəsində informasiyanın artırılması üçün artıq 10^8 bit/sm^2 yazı sıxlığı olan materiallar əldə edilmişdir [54, s.86-89]. Beləliklə, müəyyən edilmişdir ki, 1 bit olan oblastın ölçüsü 1 mkm^2 –dən daha çox deyildir. Belə ki, bu informasiya daşıyıcılarını yüksək koersitiv qüvvəsi olan maqnitbərk ferromaqnetiklərdən əldə edirlər. İnformasiyanın yazılıb saxlanması üçün istifadə olunan maqnit başlıqların M_s doyma maqnitlənməsi yüksək qiymətə malik ferromaqnit materiallardan hazırlanmalıdır [53, s.86-89].

Amorf ferromaqnit ərintilər bütün bu tələblərə cavab verir. Tozlandırmadan istifadə etməklə, istənilən ölçülü, daşıyıcının mikroskopik oblastını (təqribən 0,1 mkm) yenidən maqnitləndirə bilən, yüksək doyma maqnitlənməsinə malik $M_s=1,2-1,5 \text{ Tl}$ başlıq hazırlamaq olar. Amorf başlıqlar nisbətən ucuzdurlar, yeyilməyə yüksək

davamlılığa malikdirlər (işləmə müddəti təqribən 10000 saat), 5-15 MHz tezlikdə başlanğıc maqnit nüfuzluğunun yüksək qiyməti ilə xarakterizə olunurlar [55, s.419].

Sürtünmənin aşağı, möhkəmliyin yüksək və termik əmsalı sabitliyinə əsasən amorf nümunələrdən emal edici və kəsici alətlərdən istifadə avtomobil və maşınqayırma sənayesində keyfiyyəti yüksəldə bilər. Maqnit optik ölçmələrin köməyi ilə həmin məmulatların mikroquruluşu haqqında məlumat əldə edilir. Nazik lent təbəqəsi avtomobillərdə detalların istismar xüsusiyyətlərinin yüksəlməsinə kömək edir. Amorf lentlərin maqnit xassələrini dəyişməklə materialın səthinin bərpası mümkün olur. Amorf materiallardan istifadə etməklə müasir avtomobil sənayesində yeyilməyə və korroziyaya davamlı olan qoruyucu məlumatları əldə edilməsi və yüksək mikrogöstərici xüsusiyyətlərə malik mühərriklərin təhlükəsiz istifadəsi mümkündür [66, s.109, 103, s.359-372].

Mikroelektromexanikada yeni materialların tətbiqi mühərriklərin, mikronasosların, mikrorobotların, informasiyanı toplamaq və ötürmək, verilmiş proqrama əsasən hərəkəti icra etmək qabiliyyəti olan başqa miniatur qurğuların yaranmasında bir sıçrayışa səbəb olub [28s.108-113].

Elektronikada və optoelektronikada yüksək effektivli şüalandırıcı və foto qəbuledici qurğuların yaradılmasında amorf ərintilərdən alınmış lentlərdən istifadə edilir [104, s.501]. Bunun da nəticəsində rabitə kanallarının buraxıcılıq qabiliyyəti sürətlə artır. Nizamsız nanokristallik mühitlər yüksək işıqlıqlı (adi işıq diodlarından 2-3 dəfə çox) və böyük görmə bucaqlı lazer displeylərinin hazırlanmasında istifadə edilir. Nanohissəciklərdən təşkil olunmuş kristallik material əsasında prinsipcə linzaları işıqlandıran yeni örtüklər işlənib ki, onlar yalnız təsvirləri tutur (Nikon kompaniyası) [32, s.360]. İnformatikada - amorf ərintilərin köməkliyi ilə informasiyaların ötürülməsi, emalı və saxlanması sistemlərinin məhsuldarlığını dəfələrlə artırmaq olar. Hələ 1959-cu ildə Riçard Feynman belə fikir söyləmişdi ki, kitablarda insan tərəfindən toplanmış informasiya, tərəflərinin uzunluğu 0.01sm olan kubda yazıla bilər. Müasir dövrdə Amerikalı tədqiqatçılar R.Feynmanın fikirlərinin reallaşdırması haqqında məlumat vermişlər [88, s.718]. Bit $5 \times 4 = 20$ atomdan ibarət

silisium atomunun özəyində kodlaşdırılır, bunun hesabına belə sistemdə informasiya yazılışının sıxlığı kompakt diskə müqayisədə milyon dəfədən çox olur [86, s.187-191].

Elektrotexnikada amorf ərintilərdən hazırlanmış materiallardan alternativ enerji tətbiqində geniş istifadə edilir. Amorf materiallarından istifadə etməklə müasir dövrümüzdə geniş istifadə edilən günəş batareyalarının səmərəliliyini artırmaq olar. Amorf materiallarından istifadə gələcəkdə elektrik enerjisinə olan sərfiyyatın təxminən 20%-a qədərini azaldılması mümkün olacaqdır. Hal-hazırda günü-gündən enerji qiymətinin artımı müşahidə olunduğundan bu materiallardan istifadə etməklə enerji itkisini azaltmaq mümkündür [88, s.718].

Elektrik enerjisinə qənaət etmək üçün amorf ərintilərindən əsasən paylayıcı və güc transformatorlarının hazırlanmasında istifadə edilir. Bu ərintilərdən hazırlanmış materialların tətbiqi bəhə olmasına baxmayaraq enerji itkisinin azaldılması onun istifadəsinin mümkünlüyünü göstərir [88, s.718-734]. Məsələn, Amerika Birləşmiş Ştatlarında adi transformatorlarla amorf materiallardan hazırlanmış transformatorlar müqayisə edilmiş və amorf materiallardan istifadə etməklə 1 il müddətində 23 mlrd.kvt·saat enerjiyə qənaət edilməsi aşkar edilmişdir. Bunu da bir ilə düşən neftin qiyməti ilə müqayisə etsək 3.6 mln ton neftə və 1mlrd dollara qənaət etmiş oluruq [159, s.99].

Tibbdə - amorf maqniyumşaq ərintilərin konstruksiya edilməsi əsasında bəlx texnologiyaların köməyilə diaqnoz avadanlıqları, çox kompakt, lazer şüalanmasının güclü mənbələrinin köməyi ilə zədə verməyən əməliyyatların aparılma üsulları istifadə olunmaqdadır [88, s.718].

Ekologiyada - suyun və havanın təmizlənməsi, dəniz suyunun duzsuzlaşdırılması üçün amorf ərintilər əsasında membran və filtrlərin istifadəsi perspektivli istiqamət hesab edilir [88, s.718].

Yeni materiallar yaradılarkən nanotexnologiyanın istifadəsi, istehsal keyfiyyətləri baxımından bənzərsiz, proqramlaşdırıla bilən xüsusiyyətlərə malik, plastik, olduqca yüngül, xarici şəraitə uyğun maddələri istehsal etməyə imkan

verəcəkdir. Maqnit nanoölçülü materialların geniş istifadə səbəblərindən biri də onların məlumat saxlama qurğularında maqnit və maqnit - optik xassələrini qeyd üçün tətbiq olunma ehtimalının olmasıdır. XX əsrin 50-ci illərindən maqnit yazı texnologiyası müxtəlif yaddaş elementlərində geniş istifadə edilir [38, s.3-59]. Maqnit yazı başlıqlarında disk müstəvisinə yönəldilmiş uzununa domenlərdən istifadə olunur. Müasir yazı başlıqlarında 1 bit 1 domen təşkil edir. Kompüterlərin sərt disklərində bu cür materiallardan istifadə edilir. Müasir dövrümüzdə şüşə və ya alüminium lövhələrə yerləşdirilən Cr, Ta, Pt aşqarları olan kobalt ərintilərinin nanokristal lentləri sıx maqnit qeydləri üçün maqnit materialları kimi istifadə olunur. İlk maqnit-optik sistemlər, eninə maqnit anizotropiyası olan nadir torpaq və keçid metallarının ferromaqnit amorf ərintilərindən istifadə edilmişdir. 1990-cı illərin əvvəllərindən bu cür materiallara əsaslanan cihazlar kompüter texnologiyaları bazarında layiqli bir yer tutmuşdur [105, s.518-520].

Belə materiallar lazerlərin, işıq diodlarının, fotoqəbuledicilərin istehsalında və işıq axınlarının idarə edilməsi sistemlərində öz tətbiqini tapır [125, s.558].

Hal-hazırda kondensə olunmuş mühidə atomların nizamsız düzülüşü alimlərin diqqətini cəlb edir. Kondensə olunmuş mühitlərdə metallik - şüşə amorf metallik ərintilərdə atomlar nizamsız düzülmüşlər [39]. Metallar və metallik ərintilərdə atomların belə xaotik yerləşməsi amorf metallik şüşə adlandırılır. Belə metallik şüşələri 100000 K/san sürətli soyuma üsulu ilə almaq mümkündür. Belə mühit yalnız böyük vakuum və kriogen mühidə mümkündür. Belə soyudulma zamanı nazik şüşə qat əmələ gəlir [63, s. 442; 37, s.107] .

İndiki dövrdə amorf materiallar sənayedə daha çox istifadə olunur. Amorf metallik şüşələrin istehsalatda istifadəsi üçün dünyanın ən məşhur şirkəti olan Apple firması metallik şüşə istehsal edən şirkətlərlə müqavilə imzalamış, 2003-cü ildə metallik şüşələrdən kommersiya məqsədləri üçün istifadə etmişdir. Amorf metallik şüşələr tibbi cihazlar, Amerika Birləşmiş Ştatlarının Müdafiə texnikası, tennis oyunlarında istifadə olunan raketkaların istehsalında istifadə edilmişdir [10 s.86].

Amorf metallik ərintiləri çox vaxt fantastik metallik materiallar kimi də

adlandırırlar. Amorf metalliklərin alınmasındakı xüsusi üsullar kristal quruluşlu maddələrin alınmasında müşahidə olunmur. Müasir dövrümüzdə amorf metalliklərin tətbiqinin böyük əhatə dairəsi vardır. Buna baxmayaraq, amorf metalliklərin bir çox çatışmayan xüsusiyyətləri vardır. Belə ki, birinci aşağı istilik keçiricilik xassəsini göstərmək olar. Digəri isə amorf materiallarda olan qeyri-sabitlik xüsusiyyətidir ki, bu onlarda yaranan davamlılıq xassəsini azaldır [10, s.86].

Üçüncü isə kiçik ölçüləri olan məftillər, dənəvərlər, lentlər almaq olur. Belə ki, metallik şüşə kiçik ölçülü materialların əldə edilməsi üçün tətbiq edilir [10, s.86].

1.2. Amorf ərintilərin alınma texnologiyası

Amorf maqnit materiallar metastabil tarazlıqda olmayan termodinamik vəziyyəti ilə xarakterizə olunurlar. Bundan əlavə müəyyən temperatur intervalı var ki, amorf maqnetiklərin strukturu yenidən qurulur. Bu interval T_{kr} -amorf fazanın kristallaşma temperaturu ilə $T_{mş}$ -metallik şüşəyə keçid temperaturu arasındakı fərqlə müəyyən edilir.

$$\Delta T = T_{kr} - T_{mş} \quad (1.2.1)$$

ΔT temperatur intervalı nə qədər çox olarsa, amorf hal bir o qədər sabit olur. Maqnezium və dəmir əsaslı ərintilər üçün $\Delta T = 61K$, lantanoidlər üçün və paladiyum üçün $\Delta T = 98K$, sirkonium əsaslı ərintilər üçün isə $\Delta T = 127K$ qiymətlərini alır. Belə ki, ΔT bu günə qədər məlum olan yüksək sürətlə soyudulmuş ərintinin mövcud olduğu oblastda maksimum qiymətidir. Amorf ərintilər T_{kr} temperaturundan yuxarı qızdırıldıqda kristallaşır [27, s.1056-1060]. Demək olar ki bir çox amorf ərintilər üçün T_{kr} temperaturu 600-5800 K intervalında dəyişir. Metallik şüşələr $T_{kr} < 200K$ -də praktiki olaraq sabitdir [24, s. 192]. Amorf maqnit materialları əldə etməyin bir çox fərqli yolu vardır. Amorf quruluşun alınmasını üç qrupa ayırmaq olar:

- 1) Qaz fazasından metal çöküntüsü (qaz mühitində vakuum püskürtmə, çökdürülmə və kimyəvi reaksiyalar)

- 2) Ərintinin bərkiməsi (maye halında olan ərintinin tab almasının müxtəlif yolları)
- 3) Defektlərin metallik kristala daxil olması (kristal səthinin hissəcikləri ilə şüalanma, yüksək sürətlə dalğanın təsiri)

Amorf materialların alınma metodları cədvəl 1.2.2- də göstərilmişdir.

Kristal maqnit materiallarla müqayisədə amorf maqnit materialların maqnit xassələri kristallik maqnetiklərin xassələrinə nə yaxın və nə zəif olmamasına baxmayaraq amorf metalların alınma texnologiyası daha sadədir. Nazik dəmir təbəqələr şəklində amorf ferromaqnitlərin ilk nümunələri 1964-cü ildə helium temperaturuna qədər soyudulmuş bir karbon substrat üzərinə termik çökdürmə üsulu ilə alınmışdır. Belə ki, nümunələr otaq temperaturuna qədər qızdırıldıqda kristallaşdı. Bor, fosfor, silisium və başqa elementlər metallik şüşə əmələ gətirən ərintiyə əlavə etdikdə $T_{mş}$ -temperatur qiymətində artım müşahidə edilir [33, s. 496].

İstehsalında: Amorf metallik ərintilər, maddənin ərimə temperaturundan T_{kr} -dən T_c -yə qədər soyuması o qədər tez baş verməlidir ki, maddənin kristallaşmağa vaxtı olmasın. v_t soyuma sürəti T_{kr}/T_c nisbətindən asılıdır və nümunənin qalınlığını təyin edir. Əsasən ilk amorf metal materialların alınması zamanı ərintinin v_t soyuma sürəti təxminən $10^6 K/s$ idi. Belə bir soyuma sürətilə maqnit material əridilərək yalnız kiçik ölçülü qalınlığı və diametri mikron olan nazik təbəqələr, lentlər və tellər şəklində amorf maqnetiklər əldə etmək olar. Adətən əridilmiş metal sürətlə fırlanan soyuq diskin səthində bərkiyəndə eni 1mm ilə 20 mm arasında və qalınlığı 100 mikrona qədər olan amorf lentlər alınır. Soyuducu baraban ilə tab almada materialın ərimədən soyuma zamanı nazik dairəvi teli almaq mümkün deyil [60, s.496].

Son illər texnoloqların diqqəti millimetr aralığında xarakterik ölçülərə malik amorf materialların alınmasına yönəlmişdir. Qalınlığı və diametri bir neçə millimetr olan amorf lentlər və tellər almaq üçün əridilmiş nümunənin soyuma sürətində əhəmiyyətli dərəcədə azalma və əmələ gələn ΔT –geniş temperatur intervalının olması zəruri olduğu empirik olaraq sübut olunmuşdur [85, s.1903-1907]. 1990-ci ilə qədər ərintinin soyuma sürətinin $\vartheta_s < 10^5 K/s$ olduğunu almaq mümkün olmadı. Maksimum

qalınlığı təxminən 3mm olan ilk amorf Pd-Ni-P və Pt-Ni-P lentləri 1990-ci ildə alındı. Bu zaman soyuma sürəti ϑ_s 10^3 K/s -ə qədər azaldı. Bir neçə il sonra yapon alimləri (Fe-Co-Ni)-(Zr-Hf)-B, (Fe,Co,Ni)-(Zr,Nb,M)-B (M=Ti,Ta,Mo) maksimum qalınlığı 80mm-ə qədər olan çox komponentli amorf ərintilər aldılar. Bu materialların alınması zamanı soyuma sürəti ϑ_s təxminən 0.1 K/s -idi [48, s.6446]. Hal-hazırda bu cür ərintilərə Toplu amorf ərintilər deyirlər

Maqniyumşaq amorf ərintilər bir qayda olaraq, 70-80%-i bir və ya daha çox keçid metalından (Fe, Co, Ni) və 20-30% metalloidlərdən (metallik şüşə əmələ gətirənlər) ibarətdir. Metalloidlərin tətbiqi, amorf ərintilərin fiziki xassələrini dəyişdirməklə yanaşı yeni xassələrə malik olan materialları əldə etməyə imkan verir [123, s.293-296]. Beləliklə, tantal və vanadium amorf maqnetiklərin maqnit xassələrinin temperatur sabitliyini artırır, xrom korroziyaya davamlılığını artırır, molibden isə tezlik xassələrini yaxşılaşdırır [131, s.53]. Bundan başqa, amorf ərintisinin tərkibini dəyişdirərək doyma maqnitlənməsini azaltmaq və Küri temperaturunun qiymətini aşağı salmaq, plastikliyi, elektrik müqavimətini, davamlılığını artırmaq olar [116, s.24-26].

Müasir maqniyumşaq amorf maqnetiklər aşağıdakı xassələrə malikdirlər:

- 1) Kristallaşmadan əvvəl sürətlə soyudulmuş ərintinin geniş bir ΔT -temperatur intervalı;
- 2) Yüksək doyma induksiya $B_s = 4\pi M_s$
- 3) Kiçik koersitiv qüvvə - H_k
- 4) Yüksək maqnit nüfuzluğu - μ
- 5) Kiçik maqnitostriksiya - λ_s
- 6) Yüksək xüsusi müqavimət - ρ
- 7) Yüksək plastiklik, yüksək davamlılıq və möhkəmlik.

Nəticədə amorf maqnetiklərin B-maqnit induksiyaının yüksək qiyməti və H_C - kiçik koersitiv qüvvəsinin olması histerezisdə kiçik itkiləri, ρ - müqavimətin yüksək olması səbəbindən isə kiçik burulğanlı cərəyan itkiləri ilə xarakterizə olunur. Ən

məşhur amorf ərintiləri üçün maqnit xassələrin spesifik qiymətləri cədvəl 1.2.1 -də verilmişdir. Amorf metalliklərin alınmasının ucuz texnologiyası, eləcə də yuxarıda dediyimiz xassələri, onları texnologiyada effektiv şəkildə tətbiq etməyə imkan verir. Onlar maqnit başlıqlarının, maqnit ekranlarının, transformator nüvələrinin, maqnitostriksiyalı vibratorların, gərginlik sensorlarının, maqnit sensorlarının istehsalı üçün istifadə olunur [139]. Amorf metallar və ərintilər tez-tez lehim materialları, katalizatorlar və uducu

Cədvəl 1.2.1

Amorf ərintiləri üçün maqnit xassələrin spesifik qiymətləri

Ərinti	$\Delta T_s, K$	B_s, T	$H_k, A/m$	$\lambda_s, 10^{-6}$	$\mu, 10^3$	Ədəbiyyat
$Fe_{80}P_{12}B_4Si_4$	36	1.34	1.3	31	22	[96, s.245]
$Fe_{72}Al_5Ga_2P_{11}C_5B_4$	53	1.07	12.7	-	-	[107, s.5136]
$Fe_{56}Co_7Ni_7Hf_{10}B_{20}$	80	0.80	2-3	15	17	[96, s.245-252]
$Fe_{56}Co_7Ni_7Hf_8Ta_2B_{20}$	90	0.76	1	12	15.6	[107, s.5136]
$Fe_{56}Co_7Ni_7Zr_8Nb_2B_{20}$	65	0.85	1.5	10	17.4	[96, s.245-252]
$Fe_{56}Co_7Ni_7Zr_2Nb_{2.5}Ti_{1.5}B_{20}$	85	0.89	6.06	14	18.0	[107, s.5136]
$Co_{63}Fe_7Zr_{10}B_{20}$	45	0.55	6.0	10	20	[96, s.245-252]
$Co_{60}Fe_{10}Zr_{10}B_{20}$	25	0.50	3-4	4	18.3	[96, s.245-252]
$Co_{63}Fe_7Zr_8M_2B_{20}$	45	0.55	6	2.5-3	12	[96, s.245-252]

materiallar kimi də istifadə olunur. Amorf ərintilərin yüksək keçiricilik xassəsi helium temperaturları üçün sensor və termometrlərdə öz tətbiqini tapmışdır [107, s.5136-5138].

Amorf maqnetikləri almaq üçün bir çox üsul var. Bunlara şəkil 1.2.1- dəki mərkəzdənqaçma tablanması, soyuducu disk üzərində tablanma, ərintinin yayılması, plenatar tablama üsullarını göstərmək olar. Bu ərintilər qaz, maye və bərk fazalardan

alına bilər. Qeyd etmək lazımdır ki, amorf ərintilərin böyük əksəriyyəti ərimədən sürətli tab alma ilə alınır (sürətli bərkimə texnologiyası). Bu üsulların istifadəsi amorf bir quruluşa malik lent (müxtəlif qalınlıqlarda), tellər və tozlar almağa imkan verir.

Amorf maqnetiklərin sənaye istehsalının ən təsirli üsulları xarici (diskdə tablama) və ya daxili (mərkəzdənqaçma tablama) səthində fırlanan soyuducu vasitəsilə tab almadır. Şəkil 1.2.1-də bu metodların sxemləri göstərilmişdir. İnduksiya sobasında əridildikdən sonra maye fırlanan soyuducu barabanın səthi ilə təmasda olduqda bərkimə baş verir. Metodların fərqi diskdən mərkəzəqaçma və tablama zamanı ərimənin bir tərəfdən soyudulmasıdır. Burada əsas problem soyuducu baraban ilə təmas etməyən xarici səthin kifayət qədər təmizliyini əldə etməkdir. Hər iki metodun lentlərinin ölçüsünə görə məhdudiyyətləri var, çünki həm bərkimə prosesi, həm də istifadə olunan qurğular fərqlidir. Mərkəzdənqaçma tablama zamanı lentlər 5 mm, diskdə isə eni 10 mm və daha çox olan lentlər almaq mümkündür. Disk (soyuducu baraban) tablama üçün daha sadə qurğudur. Bu üsul həm ensiz (0.1-0.2 mm), həm də enli (100 mm-ə qədər) lentlər almağa imkan verir [107, s.5136-5138].

Əsasən maye haldan tablama qurğularında alınan ərintilər fırlanan soyuducu barabanın səthinə nazik bir təbəqədə yayılaraq sürətlə bərkiyir. Soyuducu baraban vasitəsilə alınan lentin qalınlığı onun fırlanma sürəti və ərintinin axma sürəti ilə müəyyən edilir [56, s.556].

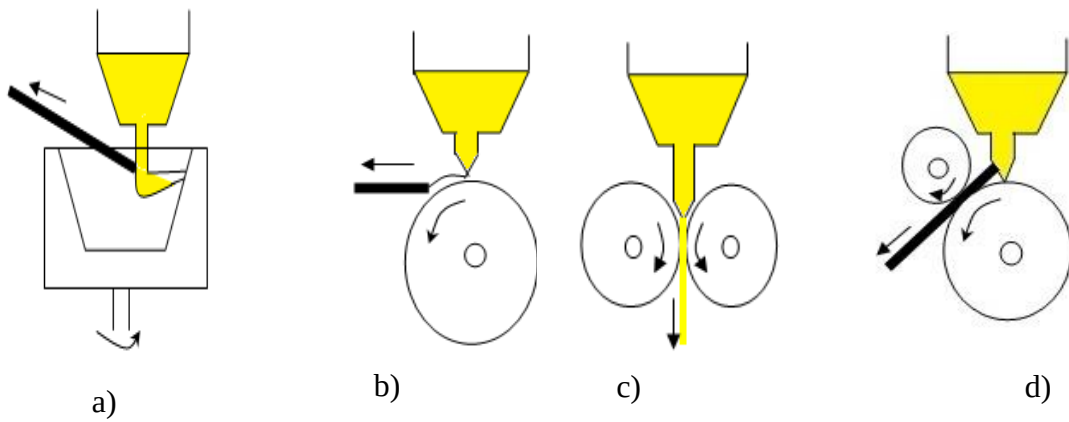
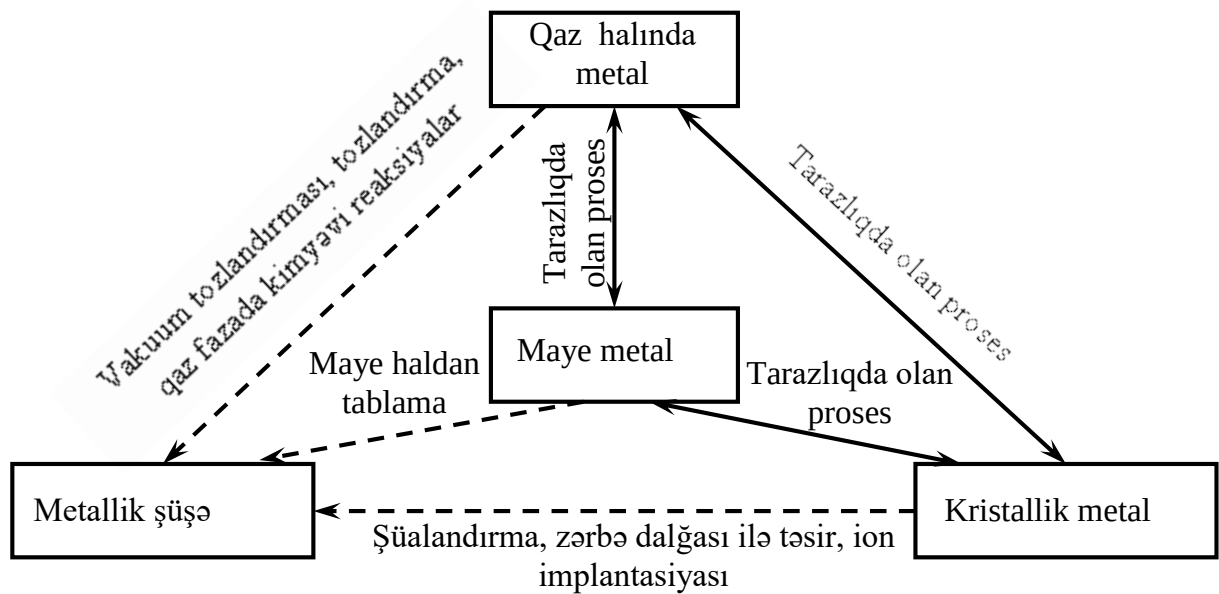
Bunları nəzərə alaraq dissertasiya işində məqsəd amorf quruluş və mikrokristallik qeyri bircinsliklərin meydana gəlməsi mərhələsində və ərintinin tərkibinin dəyişməsi zamanı müxtəlif termik, termomaqnit və termomexaniki təsirlər nəticəsində amorf və nanokristallik ferromaqnetiklərin maqnit xassələrinin dəyişməsinin fiziki təbiətinin aydınlaşdırılmasıdır.

Bu tədqiqatlar əsasında maqniyumşaq materialların optimal maqnit xassələrinin alınması və müasir texnika üçün məqsədyönlü yeni funksional materialların yaradılması üçün tövsiyələrin hazırlanması məqsədi ilə təsir parametrlərinin təyin edilməsidir. Maqniyumşaq materialların funksional xassələrini yeni səviyyə gətirən termomaqnit və termomexaniki emal metodlarının amorf və nanokristallik ərintilərin

quruluşuna və maqnit xassələrinə təsirinin əsaslandırılması maqnit hadisələri fizikasının fundamental problemlərinin həllinə yönələn məsələdir. Amorf və nanokristallik maqnit ərintilər bir tərəfdən maqnit xassələrinin müxtəlifliyi və qeyri-adiliyi, digər tərəfdən praktiki istifadənin yeni imkanları ilə özlərini perspektiv materiallar kimi göstərirlər. Bu maddələrin maqnit xassələri onların quruluş xüsusiyyətlərindən və kimyəvi tərkibindən əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır. Onların praktiki mühüm xassələrinin formalaşmasında termik və termomaqnit (sabit və dəyişən maqnit sahələri) kimi xarici təsirlər mühüm əhəmiyyətə malikdir. Bu emal növləri gətirilmiş anizotropiyanın xarakterinin dəyişməsi histerezis ilgəyinin sürüşməsi və s. kimi yeni fiziki hadisələrə gətirir. Tərkibin seçilməsi ilə sıfır maqnitokristallik anizotropiya sabiti halında sıfır maqnitostriksiyaya malik ərinti almaq olar. Nəticədə ən yaxşı maqniyumşaq xassəli maqnit materialı almaq olar. Kobalt əsasında amorf maqniyumşaq ərintilər belələrindəndir.

XX əsrin 80-ci illərinin sonunda nanokristallik quruluşlu yeni maqniyumşaq materiallar sinfinin işlənib hazırlanması, müasir texnikanın tələblərinə cavab verən keyfiyyətə yeni maqniyumşaq materialların yaradılması problemində həqiqi sıçrayış oldu. Optimal termik emaldan sonra bu ərintilər ən yaxşı kristallik (permalloylar) və kobalt əsasında amorf ərintilərin xassələrinə yaxın histerezis maqnit xassələrinə, amorf ərintilərin B_s doyma induksiyasından iki dəfə böyük B_s doyma induksiyasına malikdirlər. Maqnit xassələrinin unikal uzlaşmasına malik maqniyumşaq nanokristallik ərintiləri dəmir əsasında amorf ərintilərin kristallaşması yolu ilə alırlar. Başqa sözlə desək, amorf haldan prinsipial yeni halın - nanokristallik halın yaradılması üçün aralıq hal kimi istifadə edilir [27, s.367, 36, s. 556]. Amorf fazanın kristallaşmasının inkişafı prosesində nanokristallik quruluşun formalaşması ilk növbədə amorf ərintinin tərkibi ilə müəyyən edilir. Tərkib elə seçilməlidir ki, o kristallaşma mərkəzlərinin yaranma sürətinin maksimumluğunu və kristallitlərin böyüməsinin ləngiməsini təmin etsin. Bu şərtlərin ödənilməsi təqribən 10 nm ölçülü dənəyə malik nanokristallik quruluş halının formalaşmasına gətirir. Nəticədə nanokristallik ərintidə ənənəvi kristallik materialar üçün qeyri-adi olan faza-quruluş

Amorf metalların alınma metodları



Şəkil 1.2.1. Ərintindən tablama yolu ilə nazik lentlərin alınma üsulları:
***a* -mərkəzdənqaçma tablamanması, *b* -disk üzərində tablama, *c* - ərintinin yayılması, *d* -planetar tablama [36, s.556].**

halı: amorf matrisda səpələnmiş kiçik dənələr meydana gəlir. Dənələrin qeyri-adi kiçikliyi ona gətirir ki, bu dənələr bir domenli olur. Hər dənədə maqnitlənmə vektorunun özünün asan maqnitlənmə istiqamətinə dönməsi böyük sayda yaxın yerləşmiş maqnit yüklərin yaranması ilə əlaqədar olaraq böyük maqnitostatik enerjiyə və dənə sərhəddində mübadilə enerjisiin artmasına gətirir. Beləliklə, dənələrin təbii maqnit anizotropiyası yox edilir və maqnitostriksiya sabiti sıfır olduqda nanokristallik halda maqniyumşaq material almaq olur. Bununla yanaşı nanokristallik ərintilər amorfmlarla müqayisədə stabil quruluşa və daha böyük termostabil maqnit xassələrinə malikdir [36, s.556].

Amorf və nanokristallik ərintilərdə maqnit xassələrinin formalaşmasına müxtəlif təbiətli gətirilmiş maqnit anizotropiyası böyük təsir göstərir. Məhz o bir çox hallarda domen quruluşunun tipini və yenidənmaqnitlənmənin xarakterini və beləliklə, maqnit xassələrinin xüsusiyyətlərini təyin edir. Müxtəlif termik, termomaqnit ($TM_{maq}E$) və termomexaniki ($TM_{mex}E$) - emal növlərinin tətbiqi yolu ilə gətirilmiş maqnit anizotropiya amorf və nanokristallik ərintilərin müxtəlif sistemlərində maqnit xassələrinə eyni cür təsir etmir [38, s.56].

Amorf və nanokristallik maqniyumşaq ərintilərin tədqiqinin mühüm vəzifələrindən biri də quruluş xüsusiyyətlərindən asılı olaraq onların maqnit xassələrinin dəyişməsinin aşkar olunma zəruriliyidir. Bu ərintilərin mikro qeyri-bircins quruluşunun geniş spektrə malik olması haqqında təsəvvürlərin nəzərə alınması bu məsələnin asan olmadığını göstərir. Hazırda maqniyumşaq materialların quruluşundan asılı olaraq bir sıra fiziki xassələrin öyrənilməsi zamanı istifadə edilən birbaşa quruluş analizi metodlarının həssaslığı kiçikdir. Bu zaman xassələrin dəyişməsinin interpretasiyası tez - tez bir mənalı olmur. Bu materiallarda maqnit hadisələrinin fizikasını və xarici təsirlərin maqniyumşaq xassələrinə təsirinin təbiətinin anlaşılması xüsusiyyətlərini daha dərinin başa düşmək üçün maqnitizmin bu oblastında kompleks eksperimental işlərin aparılması zəruridir [38, s. 56-58].

Tədqiqatların nəticələri yeni tərkibli ərintilərin maqnit xassələrini proqnozlaşdırmağa imkan verir. Bu da geniş spektr maqnit xassəli (maksimal maqnit

nüfuzluqlu materiallar, yenidənmaqnitlənmə itkiləri kiçik olan materiallar, başlanğıc nüfuzluğu böyük olan materiallar, maqnit nüfuzluğu sabit olan materiallar) maqnitiumşaq materiallar tələb olunan elektroenergetika və elektronikanın tələbləri üçün çox vacibdir.

Ümumi konsepsiyaya görə ilkin (tablanmış) halda kimyəvi yaxına nizamlılığın olması amorf quruluşun dayanıqlılığını təmin edir. Stexiometriyadan meyl və atom kimyəvi nazamlılığına meyl tendensiyası konsentrasiya qeyri-bircinsliyinə, mikro qeyri -bircinsliyinə (klasterləşməyə) gətirir. Amorf halın dayanıqlıq probleminə onun kristallik hala nisbətdə dayanıqlığı kimi baxmaq lazımdır (amorf bərkimənin baş verdiyi konkret kristallik fazanı nəzərdə tutaraq). Bu cür fazanın yaranma tendensiyasını bu temperatur oblastında ərintidə yaxına nizamlılığın xüsusiyyətləri müəyyən edir.

Maqnitiumşaq materialların quruluş xüsusiyyətləri onların maqnit xassələrinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Onların quruluş xüsusiyyətləri öz növbəsində bir sıra xarici təsir: termik, termomaqnit (sabit və dəyişən maqnit sahələrində), həmçinin termomexaniki emal nəticəsində kəskin dəyişir. Beləliklə, xarici təsirin tətbiq edilməsi nəticəsində bu sistemlərdə quruluş xüsusiyyətləri ilə əlaqədar maqnit xassələrinin dəyişməsinə əlaqələndirmək kimi mühüm bir məsələ meydana çıxır.

1.3.Amorf maqnetiklərin anizotropiyası

Amorf maqnit materiallarının maqnit anizotropiyası problemi xüsusi analiz tələb edir. Maqnit anizotropiya amorf materialın struktur cəhətdən həssas bir xassəsidir. Amorf maqnit materiallarının yaranmasının səbəbini bilməklə onların quruluşu haqqında yeni məlumatlar əldə etmək olar. Bundan əlavə, maqnit anizotropiyası koersitiv qüvvə və başlanğıc nüfuzluq kimi kəmiyyətlərin qiymətlərini müəyyən edir.

$$M_s \sim K_{eff} / M_s, \mu_0 \sim M_s^2 / K_{eff}$$

K_{eff} – effektiv maqnit anizotropiya sabitidir. Əvvəlcə amorf maqnit materiallarda amorf anizotropiyanın olmadığı güman edilirdi. Maqnit anizotropiyanın varlığının ilk sübutu CoP amorf ərintisi üçün alınmışdır [88, s.718-734]. Sonradan, bir çox amorf maqnetiklərdə makroskopik maqnit anizotropiya aşkar edildi. Amorf ferromaqnitlər ümumiyyətlə biroxlu anizotropiya ilə xarakterizə olunur və enerjisi:

$$U_k = K_{eff} \sin^2 \varphi \quad (1.3.1)$$

ilə təyin olunur. K_{eff} –biroxlu effektiv maqnit anizotropiya sabiti, φ -isə M maqnitlənmə vektoru ilə maqnitlənmə oxu arasındakı meyl bucağıdır. Anizotropiya sahəsində:

$$H_k = 2 K_{eff} / M_s \quad (1.3.2)$$

Kronmüllerin işi [110, s.53-65] -də amorf maqnetiklərin maqnit anizotropiyasının mümkün səbəbləri araşdırılmışdır.

Maqnitoelastik anizotropiya sürətlə fırlanan soyuducu disk üzərində əriyərək tab alma yolu ilə alınan bütün amorf ərintilərdə mövcuddur, çünki alınan bu materialda daxili və xarici gərginliklər müşahidə edilir. Bu gərginliklərin qiyməti və maqnitoelastik anizotropiyanın enerjisi materialın termik emalı ilə azaldıla bilər. Eyni zamanda bir oxlu maqnit anizotropiyanın gücləndirilməsi amorf maqnetiklərin maqnit sahəsində tab alınması ilə və amorf nümunələrin mexaniki gərginliklərə məruz qalması ilə alına bilər. Maqnit anizotropiya nəzərdən keçirilərkən atomların istiqamətlənmiş nizamlanmasının ilk modeli 1937-ci ildə Van Flek tərəfindən irəli sürülmüşdür. Daha sonra Yapon alimləri amorf maqnetiklərdə gətirilmiş maqnit anizotropiyanı izah etmək üçün oxşar bir metod tətbiq etdilər. Bu modelin ətraflı təsviri S.Çikazuminin 1997-ci ildə Physics of ferromagnetism kitabında verilmişdir. Bu mexanizmə görə ən yaxın qonşu atomların cütləri tətbiq olunan xarici maqnit sahəsi və ya mexaniki gərginliyin verdiyi müəyyən bir istiqamət üzrə nümunəyə yönəldilmişdir. Burada qeyd edilməlidir ki, nümunənin formasının anizotropiya ölçü nəticələrinə təsiri, məsələn, maqnit xarakteristikaları, müəyyən formalı nümunələrdən istifadə olunarsa, tamamilə istisna edilə bilər. Beləliklə, bu xarakteristikalar amorf ferromaqnit ərintilərin bir çox cəhətdən kristal materiallara oxşamasına baxmayaraq, əsaslı yeni fiziki xassələrə malik ola bilər.

cək yeni bir maqnit birləşmələri sinfini təmsil etdiyini irəli sürür [88, s.718-734].

Beləliklə, amorf materialların maqnit xassələrinin ilk tədqiqi zamanı aşkar edildi ki, istehsal prosesində ilkin halda maye haldan tablama zamanı xaotik paylanmış daxili gərginliklər yaranır. Bu lokal oblastlarda perpendikulyar anizotropiyanın yaranmasını şərtləndirən, maqnitostriksiya sabiti bu və ya digər qiymətə malik maqnitoelastiki enerjinin yaranmasına gətirir. Anizotrop gərginliklər və maqnitostriksiya arasındakı əlaqəni şərtləndirən maqnitoelastiki enerjinin qiyməti aşağıdakı kimi də təyin edilə bilər [61, s.3411-3417, 112, s.259-261]:

$$E_{\sigma} = -\left(\frac{3}{2}\right)\lambda_s \sigma \cos^2 \theta, (1.3.3)$$

burada σ - lentin səthinə normal boyunca dartılma (sıxılma) ilə əlaqədar lokal gərginlik, θ -dartılma (sıxılma) və maqnitlənmə istiqamətləri arasındakı bucaqdır.

Amorf materiallarda xaotik paylanmış gərginliklərdən əlavə maqnit anizotropiyanın fluktuasiyasına gətirən kiçik kristallitlər [86, s.187-191], konsentrasiya qeyri - bircinslikləri yarana bilər. Amorf Fe-P-C ərintisində maqnit anizotropiyanın fluktuasiyası ilə şərtlənən maqnitlənmənin qırıqları aşkar edilmişdir (nazik polikristallik təbəqələrdə yaranan və Lorens mikroskopiyasının köməyi ilə tez-tez müşahidə edilən dalğavari maqnit kontrastı) [80, s.2627].

Amorf və nanokristallik materialların maqnit sahəsində tab alınması zamanı, bir qayda olaraq gətirilmiş biroxlu maqnit anizotropiyası yaranır. Asan maqnitlənmə oxu lent müstəvisində yerləşir və tab alma zamanı sahənin istiqaməti ilə üst-üstə düşür. Gətirilmiş biroxlu maqnit anizotropiyasının olması düzbucaqlı histerezis ilgəyin yaranmasına gətirir. Gətirilmiş maqnit anizotropiya sabiti K_u :

$$K_u = -0,5M_s H_s \quad (1.3.4)$$

tənliyindən təyin edilir. Burada M_s - doyma maqnitlənməsi, H_s - doyma maqnitlə-

mənin əldə edildiyi sahədir [12, s. 143].

Maqnit xassələrinin məqsədyönlü idarə edilməsi üçün gətirilmiş biroxlu maqnit anizotropiyasının təbiətinin öyrənilməsi zəruridir. Hazırda bu anizotropiyanı müəyyən dərəcədə izah edən bir neçə nəzəriyyə mövcuddur. Onlardan ən çox qəbul ediləni Neel - Taniqiçinin atomların və ya anizotrop qüsurların istiqamətlənmiş nizamlanması nəzəriyyəsidir [98, s.496]. Bu hadisənin fiziki konsepsiyası aşağıdakından ibarətdir: maqnit ərintidə olan müxtəlif atom cütləri üçün dipol-dipol qarşılıqlı təsiri müxtəlifdir. Buna görə də, əgər sistem xarici maqnit sahəsi olduğu halda termiki olaraq aktivləşdirilərsə, onda atom cütləri elə yönəlməyə çalışacaqlar ki, tam maqnit enerjisi minimum olsun. Sonra sistemin atomların diffuziyasının baş verə bilməyəcəyi aşağı temperatura qədər soyuduğu zaman, bu atom cütlərinin yönəlmiş vəziyyəti donur. Nəticədə, sistemdə biroxlu maqnit anizotropiyası yaranır.

Hesabat biroxlu maqnit anizotropiya sabiti üçün aşağıdakı ifadəni verir [106, s.157-160]:

$$K_u = 9[2NC_a^2 C_b^2 l^2 I_S(T)^2 I_S(T_S)^2]kT_S \quad (1.3.5)$$

burada N -vahid həcmdə olan atomların sayı, C_a və C_b - ərintidə A və B komponentlərinin konsentrasiyası, l - iki A - B atom cütlərinin A - A və B - B cütləri ilə əvəz edilməsi zamanı enerjinin dəyişməsi, $I_S(T)$ və $I_S(T_S)$ - T ölçmə temperaturunda və T_S maqnit tab alma temperaturunda doyma maqnitlənmələri, k – Bolsman sabitidir.

Maqnityumşaq nanokristallik materialların alınması iki mərhələdə aparılır. Birinci mərhələdə fırlanan istilikötürən barabanda maye halda olan ərintidən sürətlə tablama metodu ilə amorf halda lentlər alınmışdır. İkinci mərhələdə termik emal prosesində nanokristallik ölçülü dənə formalaşır. Amorf və nanokristallik lentlərin termik və termomaqnit emalı həm vakuum qurğularında, həm də havada aparılmışdır. Termomaqnit emal zamanı ərintilərin müəyyən maqnit xassələrinin formalaşması müxtəlif intensivlikli sabit və ya dəyişən sahələrdə aparılır. Böyük olmayan intensivlikli (150 E qədər) dəyişən (50 Hs) və ya sabit maqnit sahəsi

solenoid ilə təmin edilir. Toroidal nümunələrdə maqnit sahəsi maqnitləndirici dolaqdan cərəyan buraxılması ilə yaradılır. Güclü maqnit sahələrində termomaqnit emalın aparılması üçün tab alma elektromaqnitdə (5-6 kE qədər) aparılır [24, s. 280-288].

Termomexaniki emal uzun nümunələrin orta hissəsində 100 mm-dən az olmayan uzunluqda temperaturun bircinsliyini ($\Delta T < 5^{\circ}\text{C}$) təmin edən vertikal sobalarda aparılır. Nümunənin otaq temperaturuna qədər soyudulması yük altında həyata keçirilir. Termomexaniki emalda dartılma gərginliyinin qiyməti 200÷400 MPa diapazonda dəyişir.

1.4. Amorf maqniyumşaq ərintilərin mexaniki xassələri

Amorf ərintilər kristallik materiallarla müqayisədə böyük möhkəmliyə malikdirlər. Məlumdur ki, kristallik metalların möhkəmliyi, real kristallarda dislokasiyanın - plastik deformasiyanın elementar daşıyıcıları olması ilə əlaqədar olaraq, onların mümkün nəzəri qiymətlərindən xeyli kiçikdir. Amorf quruluşda faktiki olaraq, hər halda kristallik qəfəs üçün olduğu şəkildə dislokasiyalar yoxdur. Bu o deməkdir ki, amorf ərintilərdə plastik axını yaradan defektlərin yürüklüyü elədir ki, onların hərəkəti yalnız gərginliyin nəzəri qiymətə yaxın qiymətlərində mümkündür. Bundan əlavə, amorf ərintilərdə axıcılıq həddi δ_r və möhkəmlik həddi σ_r deformasiya möhkəmlənməsinin olmaması səbəbindən praktiki olaraq bərabərdirlər. Amorf ərintilərdə elastiklik modulu kristallik materiallara nisbətən 30-50 % azdır. Bu onunla əlaqədardır ki, atomların xaotik yerləşməsi nəticəsində amorf halda sərbəst həcm artır, atomlar arasındakı qarşılıqlı təsirin orta qüvvəsi azalır. Daha nazik lentlərdə tablama sürətinin artması sərbəst həcmə artmasına və elastiklik modulunun azalmasına gətirir [77, s.6446].

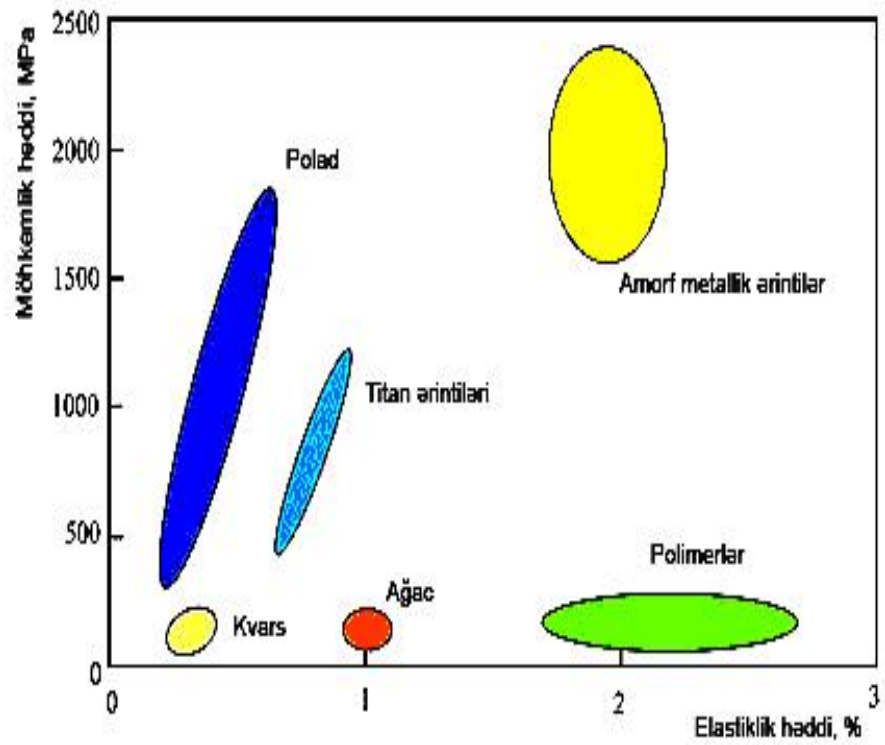
Amorf ərintilər yüksək möhkəmliklə yanaşı yüksək bərkliyə də malikdirlər. Bu halda kimyəvi tərkib mühüm faktor hesab olunur. Belə ki, P, Si, C, B elementlərinin amorfizator kimi ərintiyə daxil edilməsi ilə bir sıra metalloidlərin bərkliyi artır.

Bərklik elastiklik modulu və axıcılıq həddindən xətti asılıdır. Amorf ərintilər üçün Vickersə görə HV bərkliyin axıcılıq həddinə δ_T nisbəti 2,5 - 3 təşkil edir ki, bu da ideal plastik cisimlər üçün nəzəri qiymətə (2,9) yaxındır [18, s.60-71]. Bütün bu deyilənlər amorf ərintiləri yüksək möhkəmlikli maddələr adlandırmağa imkan verir.

Amorf ərintilər yüksək möhkəmliyi və elastikliyi özündə birləşdirir. Şəkil 1.4.1-də müxtəlif materialların möhkəmlik və elastiklik həddinin müqayisəsi göstərilmişdir. Atomlarının diametri müxtəlif olan böyük sayda elementdən ibarət həcmi amorf metallik ərintilər məsələn, Vitreloy ərintisi $Zr_{41,2}Be_{22,5}Ti_{13,8}Cu_{12,5}Ni_{10}$ sənaye miqyasında istehsal edilir. Sürətlə tablanmış ərintilərin əsas üstünlüklərdən biri, müxtəlif kimyəvi elementlərin faza və birləşmə əmələ gətirmədən qarışmasının mümkünlüyü, məmulatın kimyəvi tərkibinin bircinsliyini təmin etməsidir. Elastiklik həddinin və möhkəmliyin yüksək qiymətlərinin uzlaşması həcmi amorf ərintilərdən idman alətlərinin (məsələn, tennis üçün raketka, qolf üçün ağac, beysbol bitləri), saat korpuslarının və telefonların düzəldilməsində istifadə etməyə imkan verir [106, s.157-160].

Amorf ərintilərin qızdırılması, böyük məsafəyə diffuziya olmadan atomların yenidən düzülməsi ilə əlaqədar olaraq, quruluş dəyişməsi ilə müşayiət olunur. Bu cür quruluş relaksasiyası, qalıq sərbəst həcmə annihilyasiyası və qalıq gərginliyin aradan götürülməsi ilə şərtlənən, amorf matrisanın sıxlaşması ilə müşayiət olunur. Buna görə də qızma nəticəsində amorf ərintilər plastikliyini tədricən itirir, yəni onların kövrəkləşməsi baş verir. Bu proses 200-300 °C temperaturda başlayır. Kövrəkləşmə temperaturu, ərintinin yüksək tablama sürətində alınmış, nazik lentlərdə daha yüksəkdir və amorf ərintinin ən intensiv sıxlaşdırılmasının temperatur intervalı ilə üst-üstə düşür [141, s. 1496-1497].

Daha yüksək temperaturlarda amorf ərinti kristallaşır. Amorf ərintilərin kristallaşma temperaturu kimi, faktiki olaraq istilik ayrılmasının temperaturdan asılılıq əyrisində ekzotermik pikin başlanğıcına uyğun gələn T_X temperaturu götürülür. Əksər amorf ərintilərin kristallaşma temperaturu $(0,4-0,6)T_0$ təşkil edir və



Şəkil 1.4.1. Müxtəlif materialların elastiklik və möhkəmlik həddinin müqayisə edilməsi

ərintinin kimyəvi tərkibindən asılıdır. Müasir sənaye amorf ərintiləri bir qayda olaraq 500 °C-dən yuxarı kristallaşma temperaturuna malikdirlər. Amorf ərintilərin kristallaşması, istiliyin ayrılması və materialın sıxlığının artması ilə əksər fiziki xassələrin əhəmiyyətli dərəcədə dəyişməsi müşayiət olunur. Qeyd etmək lazımdır ki, ilkin kristalların formalaşması T_k -dən təqribən 100 °C aşağı temperaturda baş verir. Tez-tez kristallaşma materialın quruluş və kimyəvi qeyri - bircinsliyin və beləliklə kristallaşma özəklərinin formalaşma ehtimalının yüksək olduğu, səthdən başlayır [145, s. 404].

Bir qayda olaraq kristallaşma nəticəsində 0,1-1 mkm ölçülü dənə formalaşır ki, bu da maqnit xassələrinin kəskin pisləşməsinə gətirir. Bu zaman koersitiv qüvvə bir neçə tərtib artır. Buna görə də quruluşu saxlamaq üçün amorf ərintilərin termik emalını ərintinin kristallaşma temperaturundan aşağı temperaturlarda aparırlar. Kristallaşma mərkəzlərinin amorf matrisanın bütün həcmi boyunca yaranmasını stimullaşdırılması və kristallaşma prosesinin daha böyük temperaturlara qədər çatdırılması kristallitlərin ölçüsünün 10 nm-ə qədər azaltmağa imkan verir. Makroskopik maqnit anizotropluğu zəifləməsi nəticəsində nanokristallik materialda maqnit qavrayıcılığı kəskin artır [146, s.4048-4050]. Beləliklə, ilkin halda nanokristallik ərintilər xüsusi seçilmiş kimyəvi tərkibli amorf prekursor təşkil edir, nəzarət olunan termik emaldan sonra isə nanokristallik quruluş formalaşır.

Amorf metallik materialların quruluşunu müəyyən edilməsi üçün rentgen quruluş təhlili üsulundan istifadə edilmişdir. Bu iki üsulla amorf materialların strukturunun incə hissələrinin morfologiyasını, lokal olan sahələrdə kristal quruluşunu və kristal qəfəsinin defektlərini təyin etmək mümkündür.

1.5. Amorf lentlərin maqnit xassələri

Əsas tədqiqatlar və praktiki tətbiqlər baxımından ən çox maraq lent şəklində alınmış amorf materiallardır. Hal-hazırda, amorf lentlər sensor element kimi impuls generatorlarında, maqnit sahəsində yüksək həssaslıqlı sensorların istehsalında istifadə olunur. Bu materialların tətbiq sahəsi daim genişlənir. Bunun sayəsində amorf lentlər

fiziki xassələrinin tədqiqi aktual olaraq qalır. Bizim üçün ən diqqət çəkəni amorf lentlərin maqnit xassələridir. Hazırda bu materiallar üzərində çox sayda eksperimental məlumatlar əldə edilmişdir. Amorf tərkibin maqnit xassələrinin araşdırılması zamanı müəyyən edilmişdir ki, maqnit xassələri termik, temomaqnit emaldan və lentin ölçülərindən asılı olaraq dəyişir. Amorf lentlərin maqnit xassələri [87, s.169-175]-da tədqiq edilmişdir. İndiki dövrdə amorf lentlərin kontakt və sərbəst tərəflərinin maqnit xassələrinin fərqləndiyi müəyyən edilmişdir. Xüsusilə lentin sərbəst tərəfindəki koersitiv qüvvə, kontakt səthinə nisbətən 2-3 dəfə daha azdır. Buna səbəb kontakt və sərbəst tərəfin fərqli xassələrə sahib olması və lentin alınması zamanı fərqli gərginliklərin yaranmasıdır. Paraqraf 1.1- dəki məlumatlara uyğun olaraq, amorf lentlərin anizotropiyası maqnitoelastikliyə malikdir. Hər şeydən əvvəl bu materialların alınması zamanı mövcud olan mexaniki gərginlikdən asılıdır. Tab alma zamanı amorf lentin alınması zamanı yaranan gərginliklər [66, s.109]-da nəzərdən keçirilir. Lent səthlərin yaxınlığında qalıq sıxılma gərginliyi var, bu da təmas tərəfinə yaxındır. Lentin daxili hissəsi yüngül bir gərginliyə məruz qalır. Beləliklə, məsələn, qalınlığı $30\text{ }\mu\text{m}$ olan amorf lent meydana gəldikdə temperatur gradientinin təsiri ilə 100 QPa daxili gərginlik yaranır [65, s.220]. Maqnitoelastiki anizotropiyası λ_s maqnitostriksiya anlayışından asılıdır [23, s.192]. λ_s -sabit doyma maqnitostriksiya amorf ərintinin tərkibindən asılıdır və müsbətdən mənfi qiymətə qədər geniş intervalda dəyişir. Dəmir əsaslı amorf lentlər müsbət sabit maqnitostriksiyaya malikdir (məs, $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{0.5}$ $\lambda_s = 35 \cdot 10^{-6}$). Co əsaslı amorf materialların maqnitostriksiyası sabiti mənfi qiymətə malikdir (məsələn, $Co_{80}Si_{10}B_{10}$ $\lambda_s = -4 \cdot 10^{-6}$)[47, s. 94].

Lakin kobaltın konsentrasiyası daha yüksəkdir (məsələn, $Co_{68.5}Fe_{4.35}Si_{12.5}B_{15}$ üçün $\lambda_s = -1 \cdot 10^{-7}$). Asan maqnitlənmənin orientasiya oxu λ_s -dən asılıdır. λ_s -in müsbət qiymətlərində asan maqnitlənmə oxu mexaniki gərginliyin istiqamətinə uyğun gəlir, əks qiymətlərdə λ_s bu istiqamətə perpendikulyar olur. Maqnitostriksiya maqnitomexaniki təsir kimi elastiklik modulu və sürtünmə modulunun sahə

asılılıqları ilə əlaqələndirilir. Bu asılılıq məsələn, amorf tellərdə xarici təbəqənin maqnitlənmə vektorunun radial istiqamətdən uzununa doğru fırlanması ilə əlaqədardır [78, s.197]. Maqniyumşaq materiallardan danışarkən nanokristallik ərintilərdən də danışmaq lazım gəlir. Məsələn, $Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{13.5}B_9$ və s. tab alma yolu ilə alınmışdır. Bu ərintilər unikal maqniyumşaq xassələrə malikdir. Maqnitlənmədə kiçik itkilər, kiçik koersitiv qüvvə ($H_C < 1 \text{ A/m}$), yüksək nüfuzluluq ($\mu = 10^5 - 10^6$) və sıfır maqnitostriksiya, yüksək B_s doyma induksiyasına malikdirlər ($1.3 - 2 \text{ Tl}$). Bu ərintilərin bir xassəsi ərintinin həcmnin 20-30% -nı tutan amorf matrisdə bir-birindən 1-2 mm intervalda yerləşən 10-15 mm ölçülü bcc-FeSi xırda ölçülü nanokristal mübadilə uzunluğundan azdır və $L_0 \sim \sqrt{A/K_1} \sim 100 \text{ nm}$ ilə təyin olunur. Burada A -mübadilə qarşılıqlı təsirinin sabiti, K_1 - maqnitokristallik anizotropiya sabitidir və ətrafdakı amorf matrisə vasitəsilə güclü mübadilə qarşılıqlı təsiri ilə əlaqələndirilir. Bu nanokristal dənəciklərin orta maqnit anizotropiyasına səbəb olur. Maqnitoelastik anizotropiyada bir azalma və bunun nəticəsində koersitiv qüvvədə bir azalma və maqnit nüfuzluğunda artım müşahidə edilmişdir. Burada qeyd edilməlidir ki, tab almadan sonra nanokristal fazanın yaranması λ_s doyma maqnitostriksiyasının sıfıra enməsinə səbəb olur. Bu tab almadan sonra ortaya çıxan FeSi nanokristallitlərin mənfi maqnitostriksiyasının amorf matrisinin müsbət maqnitostriksiyasını kompensasiya etməsi ilə izah olunur. Nəticədə nanokristal $Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{13.5}B_9$ ərintisi demək olar ki, sıfır maqnitostriksiyasına malik olur [86, s.191].

Beləliklə, amorf lentlərin maqnit xassələrinin bu paraqrafda dediyimiz xassələri praktik tətbiqlər üçün son dərəcə perspektivli maqniyumşaq maqnit materialları kimi danışmağa imkan verir.

1.6. Amorf metallik ərintilərin domen quruluşu

İstehsal üsuluna əsasən, amorf nümunələri nazik lövhələr, lentlər və tellər şəklində əldə edirlər. Amorf halında ferromaqnit ərintini almaq üçün ərintinin xüsusi kimyəvi tərkibi seçilir. Ferromaqnitlərdən əlavə ərintiyə B, Si, P, C, Ge və s.

amorfizatorları da vurulur. Bu materialların istehsalı zamanı bəzi çətinliklərin yaranması ilə əlaqədar olaraq amorf ərintilərin hazırlanması üçün təxminən 10^6 $^{\circ}\text{C}/\text{san}$ soyuma sürəti yaratmaq lazımdır.

Lakin temperaturla emal amorf ərintilərin mikrostrukturunda və uyğun olaraq maqnit və elektron quruluşunda güclü dəyişikliklərə səbəb olur. Tablama şərtlərindən asılı olaraq (temperatur, atmosfer, təzyiq, maqnit sahəsinin istiqaməti) müxtəlif xassələrə (maqnit nüfuzluğu, domen quruluşu, anizotropiya) malik olan amorf materiallarını almaq olar. [70, s.3560] müəlliflərin işində amorf ərintilərin struktur tədqiqatı üçün əsasən rengen şüalarının səpilmə metodundan istifadə olunur. Rengenstruktur analizlərin tətbiqləri amorf materiallarda atomların paylanmasını təmin edir, atomlararası məsafələri müəyyənləşdirir. Lakin, amorf ərintinin tablanması zamanı kristallaşma prosesinin başlanğıcını qeyd etməyə imkan vermir. Bu tədqiqatlardan fərqli olaraq, transmissiya elektron mikroskopu vasitəsilə (TEM) erkən mərhələdə amorf cisimlərin mikrostrukturundakı dəyişiklikləri aşkara çıxara bilir və onların inkişafını izləyə bilirik. Oxşar tədqiqatlar [72,] işində Co əsaslı iki tipli $\text{Co}_{75}\text{Fe}_5\text{B}_{20}$ və $\text{Co}_{70.3}\text{Fe}_{4.7}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ amorf lentləri üçün aparılıb. Müəyyən olunmuşdur ki, kristallaşma prosesləri amorf ərintinin tərkibindən kəskin asılıdır. (TEM) ilə tədqiqatlarda 470°S -də tablama temperaturunda $\text{Co}_{75}\text{Fe}_5\text{B}_{20}$ ərintinin mikrostrukturunda dəyişiklikləri aşkara çıxartdı. Nümunədə bircins paylanmış kristallaşmanın ilk mərhələləri kobaltın heksoqonal α fazasının və kubik həcmə mərkəzləşmiş dəmirin α fazasının kiçik kristallik zərrəciklərinin yaranması ilə xarakterizə olunur. Temperaturun daha da artması Co_3B kristallarının formalaşmasına və α – Co hissəciklərin kubik üzə mərkəzləşmiş β - faza Co –ın mərhələsinə çevrilməsinə səbəb olmuşdur. Ərinti 540°C -də tablama temperaturunda tamamilə formalaşmışdır. $\text{Co}_{70.3}\text{Fe}_{4.7}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ amorf lentinin kristallaşması prosesinin başlanğıcı 430°C tablama temperaturunda müşahidə olunurdu. Amorf matrisa içində bir-birindən uzaq olan kristal quruluşlarının əmələ gəlməsi müşahidə edilmişdir. Kristallaşmanın hər bir nüvəsi fərqli faza hallarında kristallik Co olan hissəciklər

qruplarından ibarət idi. Əslində bu cür termoemaldan sonra tədqiq edilən nümunə amorf matrisada yerləşmiş kristal formalarından ibarət olan kristal metal - amorf metal növünün nanokompozitidir. Tablama temperaturunun 470°C -ə qədər artması ilə, ilkin kristallı dənələr arasında aralıqlar tədricən kiçik kristallarla ($\sim 20\text{nm}$) dolurdu. Müəlliflər belə nəticəyə gəlirlər ki, bu iki ərintinin kristallaşma prosesində, həmçinin tablama nəticəsində alınan mikrostrukturunda olan fərqlilik, onlarda metalloidlərin (B, Si) müxtəlif tərkibli olmasıdır [36, s. 280-288; 39, s.80-87].

Transmissiya elektron mikroskop vasitəsilə aparılan tədqiqatların çatışmamazlığı onların yüksək qiymətidir (məsələn, çox sayda nümunənin strukturunu öyrənmək lazımdırsa). Maqnit elektron quruluşun xüsusiyyətlərini, həmçinin amorf lentlərin faza hallarını öyrənmək üçün maqnitooptik metodlardan effektiv istifadə olunur. Məsələn, L.V.Nikitinin, L.S.Mironovanın işlərində və s. Co əsaslı amorf ərintilərin Ekvatorial Kerr effektinin spektral asılılıqlarının, həmçinin poli- və mikrokristallik kobalt üçün müqayisəsi aparılmışdı. Müəyyən edilmişdir ki, Ekvatorial Kerr Effektini (EKE) -nin ayrıləri tədqiq olunan ərintilərin faza halından asılı olaraq tamamilə fərqli forma və qiymət alır. EKE-nin Co əsaslı amorf ərintilərinin spektrləri 3eV qiymətlərində geniş maksimuma malikdir, mikrokristallik Co üçün EKE ayrıləri düşən işığın $h\nu \sim 1.8\text{eV}$ və $h\nu \sim 4.5\text{eV}$ enerji oblastında bəzi xüsusiyyətlərə malikdir. Belə nəticəyə gəlmək olar ki, tədqiqatın maqnitooptik metodları nümunələrin mikrostrukturunun vəziyyətinə son dərəcədə həssasdırlar. [26, s.67] işində Meridional Kerr effektindən (MEK) istifadə edərək maqnit və mikrokristallik strukturların tədqiqi aparılmışdır. $\text{Co}_{71}\text{Fe}_7\text{Si}_{12}\text{B}_{10}$ ərintisi üçün MKE-nin spektral asılılıqları Krinçik tərəfindən əldə edilən Co heksaqonal faza üçün spektrlər ilə müqayisə edilmişdir [44, s.1933]. Müəyyən olunmuşdu ki, amorf lent və Co nümunəsi 1.2eV qiymətində bənzər pik nöqtələrinə malikdir, ancaq ədədi qiymətlə fərqlənirlər. MKE-in elliptikliyinə spektral asılılıqları 1.5eV ətrafında geniş pikə malik idi və bu kubik üzəmərkəzləşmiş Co fazasının mövcudluğunu göstərir. Bütün bunlar amorf ərintinin daxilində maqnitooptik xüsusiyyətlərin təmiz Co-ın xassələrinə yaxın olan kristallaşmış kobalt tərkibinin olduğunu müəyyən etməyə

imkan verir [29, s.1933]. Bu maqnitooptik tədqiqatların nəticələri vasitəsi ilə mikroquruluş işləri ilə təsdiq edilmişdir. Meridional effektdən istifadə edərək, Kerr və Vit işlərində eyni maqnit sahəsindəki 300°C tablama nəticəsində meydana gələn $\text{Co}_{70.3}\text{Fe}_{4.7}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ amorf lentinin domen quruluşunu A-lentin oxuna paralel istiqamətdə ($1\text{kA/m} \sim 12.5\text{E}$) B-lentin oxuna perpendikulyar ($75\text{kA/m} \sim 12.5\text{E}$), C-lentin müstəvisinə perpendikulyar istiqamətlərində maqnit sahəsində müşahidə edirdi [62, s.165878]. Aşkar olunmuşdu ki, (şəkl.1.5) lentin oxu boyunca tətbiq olunan H maqnit sahəsində amorf lentlərin tablanması, uzununa biroxlu anizotropiya və uzununa domen quruluşunun yaradılmasına gətirib çıxarır. Bu halda domenlərin eni təqribən 1-0.5 mm-dir. Əgər tablama zamanı maqnit sahəsi lentin oxuna perpendikulyar tətbiq olunarsa (göründüyü kimi uzununa tablanmaya nisbətən H-ın qiyməti daha da çoxdur) biroxlu maqnit anizotropiya ilə eninə domen quruluşu yaranır [40, s.64]. Domenlərin eni 0.2 mm-dir. Domen quruluşunun və maqnitostatik tədqiqatların nəticələrini müşahidə edərkən, müəlliflər belə nəticəyə gəlirlər ki, maqnit sahəsində tab alma nəticəsində nümunələrdə biroxlu maqnit anizotropiya müşahidə olunur [114, s.1790-1792]. Əgər maqnit sahəsi ona paralel olaraq ölçülərsə, domen sərhədlərinin hərəkəti prosesi baş verir, əksinə olsa yenidənmaqnitlənmə prosesi baş verir [43, s.367].

Maqnit anizotropiya, başlanğıcda və yaxud tab almadan sonra mövcud olan amorf maqnetiklərin əsas xassələrindəndir və H_c koersitiv qüvvəni müəyyən edir. Başlanğıc maqnit nüfuzluğunu μ_0 və amorf lentin domen quruluşunu müəyyən edir. Maqnit anizotropiya nümunənin tərkibindən, formasından və hazırlanma metodundan asılıdır [56, s. 556, 69]:

- maqnitoeplastik anizotropiya ($K_u \sim \lambda_s \sigma$ maqnitoeplastik anizotropiya sabitidir) – maqnitostriksiya nəticəsində yaranır. λ_s -doyma maqnitostriksiya, σ -daxili mexaniki gərginlikdir;
- maqnit dipol dipol qarşılıqlı təsiri –nümunədə anizotropiyanın forması ilə əlaqəlidir (şərti forma və səth halında), daxili anizotropiya forması (şərti daxili

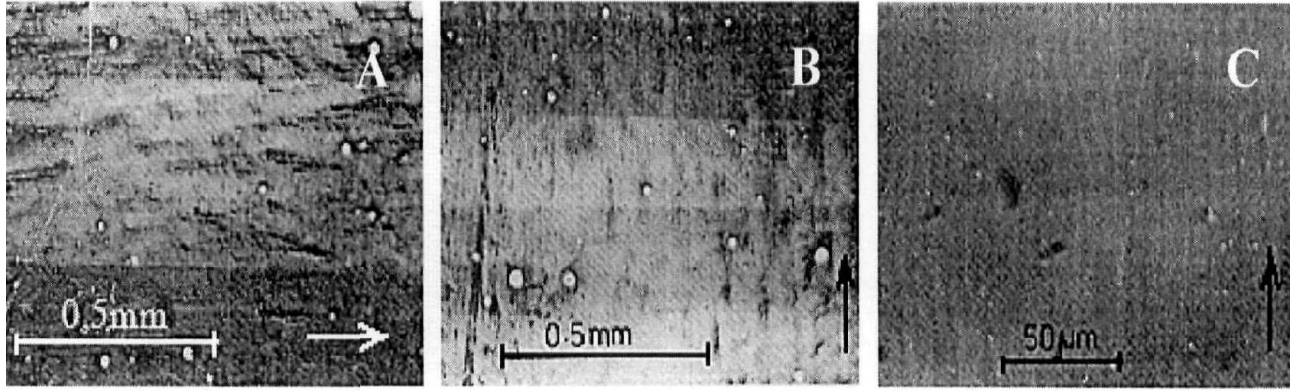
qeyri bircins anizotropiya forması), nizamlı cütləşmiş atomların oriyentasiyasında yaranan anizotropiya;

- spin orbital qarşılıqlı təsir- bir ion anizotropiyaya gətirən orbital qarşılıqlı təsir, eləcə də anizotropiya mübadilə qarşılıqlı təsiri.

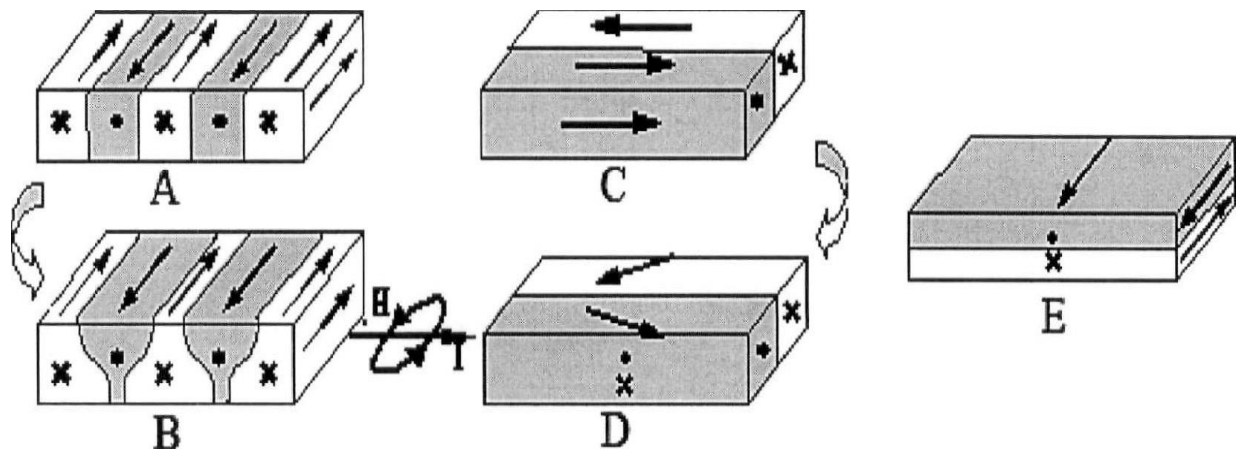
Anizotropiyanın müxtəlif formalarını maqnit sahəsində tabı alınmış nümunələrdə və yaxud mexaniki qarşılıqlı təsir zamanı (sıxılma, dartılma və s) və yaxud sıfır maqnit sahəsində tab alma zamanı tədqiq etmək mümkündür. Eksperimental tədqiqatlar nəticəsində [70, s.3560-3562] işlərində sıfır maqnitostriksiyaya malik (maqnit sahəsindən asılı olan), müxtəlif şərtlərdə maqnit sahəsində termik emal zamanı yaranan $Co_{70.3}Fe_{4.7}Si_{15}B_{10}$ amorf ərintisinin domen quruluşu skanedicci elektron mikroskopu ilə öyrənilib. Amorf lentlərdə domen quruluşunun dəyişilməsi sabit elektrik cərəyanı vasitəsilə öyrənilir [115, s.3555-3559]. Lent əvvəlcə perpendikulyar domen quruluşa malikdir (şək.1.6.A.), eninə maqnit sahəsində elektrik cərəyanı yaradan domen divarları əks istiqamətlərdə lentin əks tərəflərinə yerini dəyişir (şək 1.6 B). Elektrik cərəyanının kritik qiymətlərində əyilən domen sərhədləri stabil deyil və lentin səthi boyunca bir mərkəzi domen qurulur (şək1.6 E) [70, s.3560-3562; 80, s.2627].

Amorf lentdə uzununa anizotropiya, müvafiq olaraq domen quruluşu mövcuddursa, elektrik cərəyanı ilə yaranan eninə maqnit sahəsində, maqnitlənmə yaranır və domen sərhəddi lentin səthi boyunca sərbəst olur (şək.1.6.C). Böyük elektrik cərəyanı (kritikdən yüksək) tətbiq etdikdə domen quruluşu perpendikulyar anizotropiyada olduğu kimi müşahidə olunur (şək.1.6 E) [70, s.3560-3562].

Beləliklə, H maqnit sahəsi anizotropiya oxuna paraleldirsə domen sərhədlərinin hərəkəti əsas rol oynayır, əks halda H maqnit sahəsi anizotropiya oxuna perpendikulyardırsa onda maqnitlənmə prosesi baş verir [84, s. 5260].



Şəkil 1.5.1. Maqnit sahəsində $\text{Co}_{70.3}\text{Fe}_{4.7}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ amorf lentinin domen quruluşu
A-lentin oxu boyunca, B-lentin oxuna perpendikulyar, C-lentin səthinə perpendikulyar [70, s.3560-3562].



Şəkil 1.5.2. Sabit elektrik cərəyanı ilə qarşılıqlı təsiri zamanı amorf lentin domen quruluşunun dəyişilməsi [70, s.3560-3562].

1.7. Nanokompozitlərin optik və maqnitooptik xassələri

Son illərdə nanoquruluşlara olan maraq məlum materialların nanokristallik hala keçməsi zamanı onların fiziki keyfiyyətinin prinsipial olaraq dəyişməsidir. Nanoölçülü sistemlərin fərqləndirici cəhəti ondadır ki, onların xassələri yalnız onların tərkibinə daxil olan elementlərin xassələri ilə deyil, həm də bu quruluşu yaradan obyektlərin ölçülərindən və onları ayıran səthdən asılıdır. Nəticədə nanotexnologiya vasitəsilə yaradılan yeni maqnetiklərdə qeyri adi fiziki hadisələr müşahidə edilir ki, bu da həm elmi baxımdan, həm də praktiki nöqteyi nəzərdən çox əhəmiyyətlidir. Digər tərəfdən kvant nəzəriyyəsində təbii interval kimi zərrəciklə əlaqədar olan de Broyl dalğasının uzunluğu götürüldüyündən, prinsipial olaraq yeni effektlərin müşahidəsi yalnız o zaman mümkün olur ki, obyektin ölçüsü dalğa uzunluğu ilə müqayisə oluna bilsin. Bundan başqa az sayda eyni atomlardan təşkil olunmuş nanohissəciklər otaq temperaturunda sabillik göstərmirlər, ona görə də yalnız nanohissəcik əsasında cihaz və qurğuların yaradılması çox problemlidir. Hal hazırda bu istiqamətdə aktiv axtarışlar aparılır. Belə perspektivli istiqamətlərdən biri metal hissəciklərinin qeyri-metal mühit daxilində yerləşdirilməsindən alınan nanokompozision quruluşların yaradılmasıdır. Belə quruluşların yaradılması nanohissəciklərin sabilliyinə şərait yaradır. Nəticədə dənəvər quruluşlar elə fiziki xassələrə malik olurlar ki, adi materiallarda bu xassələri müşahidə etmək mümkün olmur. Bu mənada güclü maqnitooptik reaksiyaya malik olan materialları xüsusi qeyd etmək lazımdır. Bu materiallar qeyri-maqnit aralıqla bölünmüş 3d -metalları əsasında olan nazik təbəqəli nanodənələnmiş nanokompozit materiallarıdır [103, s.359-372]. Nanokompozit materiallar tədqiqatçıların diqqətini bir neçə səbəbdən cəlb edir. Bunlardan biri kiçik ölçülü zərrəciklərin fundamental xassələri, materialların quruluş toplananlarının həndəsi ölçülərinin kiçilməsi ilə əlaqədar olan nanohissəciklərin fiziki xassələrinin xüsusən onlarda enerji səviyyələrinin və səthi qüvvələrin kvantlanması, kiçik metallik zərrəciklərin elektron statistikasının faza çevrilmələrinin fluktuasiyalarıdır. Digəri isə nanokompozit materialları praktiki tətbiq etmək

məqsədlə onların fiziki xassələrinin öyrənilməsi, maqnitooptik və maqnit xassələrini özündə birləşdirən yeni materialların axtarışdır [19, s.1441]. Nəzərə alsaq ki, maqnit nanokompozitlər ferromaqnit zərrəciklərinin dielektrik matrisası daxilində olan iki fazalı sistemdir, onda onların xassələrinin yaxşılaşdırılması üçün istifadə olunan bütün üsulları iki istiqamətə bölmək olar:

- matrisanı dolduran zərrəciklərin tərkibinin, ölçülərinin və konsentrasiyasının optimallaşdırılması;
- matrisa materiallarının dəyişdirilməsi.

Bu problemləri araşdırmaq üçün TiO_2 matrisasına daxil edilmiş polikristallik Co əsaslı nanokompozit materialın optik və maqnitooptik xassələri öyrənilmişdir.

Co- TiO_2 nanokompozit ərintilərinə olan maraq TiO_2 -nin Co-la legirlənməsi zamanı hətta otaq temperaturunda belə, onlarda ferromaqnetizmin müşahidə edilməsidir. Ona görə də bu nanokompozit ərintinin geniş konsentrasiya oblastında maqnit, elektrik, optik və maqnitooptik xassələrinin öyrənilməsi çox önəmlidir [16, s.1441, 65 s.359].

Nanokompozitlərin alınma üsulları. Metal-dielektrik dənəvər ərintilərin ən vacib xarakteristikalarından biri perkolyasiya astanasının p_c qiymətidir. Metalın kritik həcmi konsentrasiyası yaxınlığında, metal – dielektrik keçidi baş verdiyindən, $p > p_c$ olduqda sistem metallik keçiriciliyə malik olur, $p < p_c$ olduqda isə sistem özünü dielektrik kimi aparır. Konsentrasiyası p_c -ə uyğun gələn dənəvər ərintilər qeyri-adi xassələrə malik olurlar. Xüsusən p_c -nin qiyməti bir çox faktorlardan asılı olur. Bura zərrəciyin formasını, yaxına və uzağa təsirin xarakterini, nazik təbəqənin qalınlığını p_c –nin müşahidə olunan yüksək qiymətlərini və s. aid etmək olar. Lakin bu deyilənlərin heç biri öz təcrübi təsdiqini tapmır, çünki bu deyilənlər p_c -in qiymətinin çox cüzi dəyişməsinə gətirir. Metallik fazası kiçik olan kompozitlər üçün nanometrik keçirici dənələr bir – birinə toxunmadan dielektrik matrisasında yerləşirlər ki, bu da belə sistemlər üçün geniş temperatur intervalında yük daşınmasının kvant mexanizminin yaranmasını təmin edir. Bundan başqa daşınan məlumatın sıxlığının artırılması üçün elə mikroquruluşlar almaq lazım gəlir ki, yaddaş qurğularına qoyulan

tələbi ödəmiş olsun. Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, məlumatın sıxlığını nanokompozit materiallar vasitəsilə artırmaq mümkündür [65, s.359-372].

Nanohissəciklərin alınması üçün materialın müxtəlif üsullarla buxarlandırılması metodlarından istifadə edilir. Bunlardan lazer vasitəsi ilə buxarlandırmanı, termiki buxarlanmanı, qövs boşalmasını, plazma buxarlanmasını və s. qeyd etmək olar. Son illərdə isə nanohissəciklərin sintez edilməsi üçün kriogen metoda daha çox üstünlük verilir. Bu halda metal və metal birləşmələri atomlarının kondensasiyası təsirsiz qaz mühitində aşağı temperaturalarda aparılır [19, s.1441].

İon implantasiya aşındırma, elektron-şüa litoqrafiyası metodları daha perspektivli görünür [19, s.1441-1443]. Lakin maqnetron səpilməsi daha universal metod hesab olunur. Dənəvər kompozitlərin alınmasının ən əsas xüsusiyyəti metal-dielektrik cütünün məhdud olmasıdır. Bu kompozitlərin alınmasının zəruri şərti komponentlərinin bir-birində həll olunmamasıdır [19, s.1441]. Daha doğrusu ferromaqnit fazanın səth enerjisi, matrisa materialının səth enerjisindən böyük olmalıdır. Əgər bu şərtlər ödənirsə, onda kompozitin formalaşması prosesində metalın çökdürülən atomları dənəvər şəkildə yığılır, ölçüləri isə alınma şəraitindən asılıdır. Dielektrik fazası metallik fazadan ayrı formalaşır. Müxtəlif texnoloji metodlardan istifadə etməklə kiçik ferromaqnit hissəciklərin qeyri-maqnit matrisada bircins paylanması əldə edilir. Dənəvər materialların nanoquruluşları çökdürmə sürəti, vakuum kamerasında təzyiq və atmosferin təmizliyi, altlığın temperaturu kimi texnoloji parametrlərə çox həssas olduğundan onlar ciddi şəkildə nəzarətdə saxlanılmalıdır. Nanokompozit materialların quruluşu nanometr ölçüsündə olduğuna görə, kompozitin hazırlanması prosesi zamanı onun alınan real morfologiyası haqqında məlumatı yalnız elektron mikroskopu vasitəsilə əldə etmək mümkündür. [86, s. 187-191].

Nanokompozit quruluşların alınması o qədər də asan deyil, çünki metallik hissəcikləri bir neçə nanometr ölçüdə (3-6 nm), matrisa isə onları 0.5-2 nm ölçülü sərhədlə bir-birindən ayırmalıdır. Əgər, komponentlər bir-birlərində həll olurlarsa, onda bir materialın digər material tərkibində nanodənəvər şəkildə alınması praktiki

mümkün olmur. Əgər, nanokompozitlərin alınması üçün nəzərdə tutulan materialların səth enerjiləri eynidirsə, onda atomların altlıq üzərinə kondensasiyası zamanı müstəvi şəkilli oblastlar yaranır. Ona görə də nanokompozitlərin alınması üçün komponentlərdən birinin səth enerjisi digərindən kifayət qədər böyük olmalıdır. Ən asan alınan nanokompozitlər metallik elementlərin və ya onların ərintilərinin dielektrik matrisası daxilinə yerləşdirilməsindən alınan nanokompozit materiallardır. Əksər metalların səth enerjisi $1500-2000 \text{ mC/m}^2$, oksidlərin səth enerjisi isə $500-600 \text{ mC/m}^2$ tərtibindədir. Metal-dielektrik kompozisiyasını almaq üçün uyğun tərkibli hədəfin atom səviyyəsinə qədər səpilməsinə nail olmaq və atomları nanostruktur formalaşan altlıq üzərinə göndərmək lazımdır. Bu ion-plazma səpilməsi metodu vasitəsilə həyata keçirilir. Hədəf materialının səpilməsi vakuumda ion mənbəyinin köməyi ilə mümkün olur. Bu zaman ionlar arqon atomlarını ionlaşdırır, onları sürətləndirir və nazik dəstə şəklində yüksək enerjili ion selini səpilən hədəfə istiqamətləndirir. Nanokompozitlərin alınmasında əksər hallarda metal ərintisindən hazırlanmış, səthinə bir neçə SiO_2 , TiO_2 və ya Al_2O_3 təbəqələri yapışdırılmış hədəflərdən istifadə edilir [103, s.359-372].

Arqon ionları ilə birgə səpilmə zamanı hər iki komponentin atomları altlıq üzərinə düşürlər və onlar bir-birləri ilə qarşılıqlı təsirdə olmayıb özünü təşkil şəklində öz atomları ətrafında qruplaşırlar və nəticədə səth enerjisi böyük olan komponent digər komponentin matrisasında sferik forma yaratmağa çalışır və beləliklə, nəticədə nanokompozitin alınmasına nail olunur. Bu metod kimyəvi cəhətdən təmiz nanohissəciklərin alınmasına şərait yaradır, onlar həm tərkibinə, həm də quruluşuna görə bircins olurlar və onlarda heç bir məsaməlilik və qeyri-bircinslilik olmur. Termik buxarlanma metodunun klassik variantında isə metal və ya ərinti volfram qabda arqon və ya helium atmosferində qızdırılır. Buxarlanan metal atomları təsirsiz qazın atomları ilə toqquşaraq öz kinetik enerjilərini itirirlər, klaster şəklində birləşirlər və nanodispers toz şəklində soyudulan altlıq üzərində kondensasiya edirlər. Buxarlanma sürətini, altlığın temperaturunu, qazın təzyiqini və onun tərkibini seçməklə 3-100 nm intervalında hissəciklərin ölçülərinə nəzarət etmək mümkün olur.

Sonuncu mərhələdə qurğudan nümunəni götürməmişdən qabaq bir neçə dəqiqə ərzində ora təsirsiz qaz və oksigen qarışığı buraxaraq onun passivləşdirilməsinə nail olunur. Nanomateriallar fiziki metodlarla öyrənilən nisbətən yeni obyektlərdən hesab olunur. Nanohissəciklərin tərkibinin və ölçülərinin təyini üçün konkret bir metod yoxdur. Bir qayda olaraq kompleks metodlardan istifadə edilir [103, s.359-372].

Nanohissəciklərin ölçülərinin təyini üçün ən geniş istifadə olunan metod tədqiq olunan materialda nanohissəciklərin olmasını və onların bir-birlərinə nəzərən necə yerləşməsini göstərən elektron-şüa mikroskopiyasıdır.

Alınan nəticələrin təhlili göstərir ki, dənəvər Co əsaslı nanokompozitlər əsasən tozlandırılma yolu ilə alındığından, bu materiallar ilkin halda relaksasiya proseslərinə məruz qalmış qeyri – tarazlıqlı quruluşları ilə digər materiallardan fərqlənirlər. Belə materiallardan istifadə olunması bir qayda olaraq, onlardan keçən elektrik cərəyanı ilə əlaqədardır. Ona görə də baş verən relaksasiya təbii və məcburi prosesdir. Bu prosesin nəticəsini öyrənmək üçün dənəvər Co əsaslı nazik təbəqələri həm qeyri – nizamlı halda, həm də aşağı temperaturda qısa müddətli termik emal olunmaqla tədqiq edilmişdir [103, s.359-372].

Qısa müddətli (30 dəqiqə müddətində) 200 °C-də aparılan termik emaldan sonra maqnitooptik effektlərin güclü dəyişməsi perkolyasiya astanası yaxınlığında baş vermişdir. Perkolyasiya astanası Co-ın 39-49 %-nə uyğun gəlir. Ekvatorial Kerr effektinin öyrənilməsi zamanı aşkar edilmişdir ki, Co əsaslı TiO₂ matrisasına yerləşdirilmiş nazik təbəqələrin spektral asılılıqlarının forması bircins polikristallik Co-ın ekvatorial Kerr effektinin spektral asılılığından kəskin fərqlənir [103, s.359-372].

Co əsaslı ərintilər üçün spektrlərin formasının dəyişməsi və ekvatorial Kerr effektinin amplitudunun əhəmiyyətli dərəcədə böyüməsi dalğa uzunluğunun nəinki infraqırmızı, hətta ultrabənövşəyi oblastında da müşahidə edilir. Maqnit komponentinin konsentrasiyasının artması ilə ekvatorial Kerr effektinin spektral asılılıqlarında 1 eV-da mənfi anomaliya müşahidə edilir və tədricən böyüyür, 3.5 eV intervalında isə müsbət geniş maksimumla xarakterizə edilir. Ferromaqnit

komponentin konsentrasiasının 30-dan 75 %-ə qədər artması Co əsaslı nazik təbəqəli ərintilərin maqnitooptik reaksiyasının artmasına gətirib çıxarır və 3.5 eV intervalındakı maksimum tədricən spektrin ultrabənövşəyi hissəsinə sürüşür [103, s.359-372].

Co əsaslı nanokompozit ərintisi üçün alınan nəticələr göstərir ki, ferromaqnit komponentin konsentrasiasının dəyişməsi zamanı Ekvatorial Kerr effektinin konsentrasiya asılılıqlarında:

- ferromaqnit komponentin konsentrasiasının artması ilə perkolyasiya astanasına qədər maqnitooptik reaksiyanın tədricən artması;

- perkolyasiya astanası yaxınlığında Ekvatorial Kerr effektinin kifayət qədər böyüməsi;

- ferromaqnit komponentin konsentrasiasının sonrakı artması zamanı isə Ekvatorial Kerr effektinin tədricən azalması müşahidə edilir.

Metallik komponentin konsentrasiasından asılı olaraq ərintinin mikroquruluşu dəyişir. Bu isə maqnit, optik və maqnitooptik xassələrin dəyişməsinə gətirir. Perkolyasiya astanasına qədər nanokompozit dielektrikə daxil edilən izolə olunmuş ferromaqnit hissəciklərdən ibarət olub, superparamaqnit halında, perkolyasiya astasından sonra isə nanokompozit bir-birindən ensiz dielektrik təbəqələri ilə ayrılan bütöv metallik oblastlardan ibarət olub, ferromaqnit halında olur. Nanokompozit materialında metallik və ya dielektrik fazasının element tərkibindən asılı olmayaraq ekvatorial Kerr effektinin konsentrasiya asılılıqlarında qeyri-monotonluq müşahidə edilir. Perkolyasiya astanası yaxınlığında kompozitlərin morfologiyası elədir ki, ferromaqnit hissəcikləri bir-birindən ayıran dielektrik təbəqəsi minimal olur. Baxmayaraq ki, belə ərintinin ferromaqnit hissəcikləri birbaşa kontaktda olurlar, lakin onlar arasında qarşılıqlı təsir mövcud olur ki, bu da onların elektronlarının dalğa funksiyalarının kəsişməsinə gətirib çıxarır. Ona görə də perkolyasiya astanası yaxınlığında maqnitooptik reaksiyanın güclənməsi, nanokompozitin mikroquruluşu ilə əlaqədar olan maqnit və optik xassələrin kombinasiyası ilə təyin edilir. Bu isə özünü ekvatorial Kerr effektinin konsentrasiya asılılıqlarında göstərir. Beləliklə,

aparılan tədqiqatların nəticəsi göstərir ki, $\text{Co}_x(\text{TiO}_2)_{1-x}$ nanokompozitində maqnitooptik reaksiyanın amplitudasının bircins polikristallik kobaltın Ekvatorial Kerr effektindən bir neçə dəfə böyük olması dar spektral diapazonda maqnitooptik reaksiyanın kifayət qədər güclənməsi, ekvatorial Kerr effektinin konsentrasiya asılılığının maksimumunun perkolyasiya astanasına uyğun gəlməsi, nanokompozitin mikroquruluşu ilə əlaqədardır [103, s.359-372].

Nanokompozitlərin əhəmiyyəti yüksək sürətlə inkişaf edən elektron texnikası kompleks qeyri-adi fiziki xassələrə malik olan materialların alınması və onların tədqiq edilməsi zərurətini ortaya qoymuşdur. Son on ildə ən çox öyrənilən material kimi dənəvər nanokompozit materiallarını göstərmək olar [103, s. 359-372]. Bu istiqamətdə aparılan elmi-tədqiqat işləri yaxın illərdə insan fəaliyyətinin əksər sahələrində köklü dəyişikliklərə gətirəcəkdir. Xüsusən, materialşünaslıq, energetika, elektronika, informatika, maşınqayırma, tibb, kənd təsərrüfatı və ekologiyada əldə olunan yeni nailiyyətlər nanokompozit materialların tətbiq sahələrinin genişlənməsi ilə əlaqədərdir [103, s.359-372].

Yeni ərintilərin alınmasında nanotexnologiyanın rolunu xüsusi qeyd etmək lazımdır. Məhz bu texnologiya proqramlaşma xassəsinə malik olan unikal maddələrin alınmasına şərait yaratmışdır. Bunun nəticəsidir ki, atom səviyyəsində konstruksiya etmək və elektron spektrləri əvvəlcədən məlum olan çoxtəbəqəli nanoquruluşların yaradılması mümkün olmuşdur. Buna misal olaraq ifrat qəfəsləri, kvant çuxurları, kvant naqillərini, kvant kontaktlarını, atom klasterlərini, foton kristallarını və spin-tunel quruluşlarını göstərmək olar. Bu materiallar lazerlərin, işıq diodlarının, fotoqəbuledicilərin, işıq şüaları ilə idarə olunan sistemlərin, yüksək həssaslığa malik olan sensorların, yazma və oxuma qurğularının, məlumat saxlayıcılarının, elektromaqnit şüalarından qorunmaq üçün örtüklərin yaradılması üçün istifadə edilir [103, s.359-372].

Müasir elektronikanın funksional qurğularının ölçülərinin azalması zamanı meydana çıxan problemlər nəinki texnoloji məhdudiyyətlərlə, həm də nanohissəciklər üçün xarakterik olan yeni fiziki hadisələrlə əlaqədardır. Nano ölçülü sistemlərə

keçdikdə bərk cisimlərdə kvazihissəciklərin kvant-mexaniki təbiəti özünü göstərməyə başlayır. Nəticədə elə bir hal yaranır ki, bu obyektlərdə ölçü kvantlanması, tunel keçidi, elektron hallarının interferensiyası kimi effektlər önəmli rol oynamağa başlayır. Məhz bu hadisələrin yaranması nano ölçülü tranzistorların, yaddaş yuvalarının, elektrik və maqnit sahələri vericilərinin işlənilib hazırlanmasında yeni imkanlar açır və nəticədə yeni biliklərin əldə olunmasına şərait yaranır. Burada nanokompozitlərin fiziki xassələrinin [103, s. 359-372] öyrənilməsinə xüsusi qeyd etmək lazımdır. Nanokompozitlər əsasında aparılan tədqiqatlar zamanı praktiki əhəmiyyətə malik olan nəticələr alınmışdır. Bu materiallarda qıqant maqnit müqaviməti effekti aşkar edilmişdir. Hal hazırda bu effekt əsasında dünyanın bir çox aparıcı firmaları maqnitorezistiv yaddaş qurğuları, matris sensor sistemləri və elektron texnikasının digər elementlərini layihələndirirlər.

1.8.Amorf materiallara termik, termomaqnit emalların və əlavə gərginliklərin təsiri

Maye halından tablama yolu ilə hazırlanan amorf lentlərin geniş istifadəsi müşahidə olunan Barkhauzen effekti, Mateussi effekti və tərs Vaydeman effekti kimi müxtəlif təsirlərdən qaynaqlanır. Lakin bu üsulla əldə edilən amorf materialların bir sıra mənfi cəhətləri var. Birincisi, bu amorf lentlərin alınması zamanı əmələ gələn 10A/m –lik maqnit anizotropiyası, ikincisi isə mühitin qeyri-bircinsliyidir. Amorf ərintilərin termik və termomaqnit emalı bu çatışmazlığın aradan qaldırılmasına kömək edir. Bu emallardan istifadə edərək ilkin vəziyyətdə olmayan amorf materialları bistabil vəziyyətə gətirmək mümkündür. Məsələn, sıfıra yaxın maqnitostriksiyalı amorf materialları eyni vaxtda uzununa və fırlanma gərginliyi tətbiq etməklə və ya onlarda termomaqnit emal aparmaqla Barkhauzen effektinin meydana gəlməsinə şərait yaratmaq olar [78, s.175-176; 82, s.262]. 150 MPa səviyyəsində əlavə uzanma gərginliyi: Co tərkibli lentin oxuna perpendikulyar olan asan ox ilə magnitoelastik anizotropiyanı artırır və əlavə fırlanma gərginliyi dairəvi

maqnit anizotropiyasını artırır. Bu şəkildə əldə edilən iki asan ox Barkhausen sıçrayışının müşahidə edildiyi iki sabit maqnitlənmə konfigurasiyasına uyğundur. Termik emal növlərinə sobada tab alma, nümunədən birbaşa cərəyan keçərək tab alma və s. göstərmək olar. Amorf metalların termik və termomaqnit emalı onların alınması zamanı yaranan daxili gərginliklərin azalmasına səbəb olur. Termik emalı müddətinin artması ilə maqnit anizotropiyasında əhəmiyyətli bir azalma müşahidə olunur. Məsələn, $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ amorf materialı 1 dəqiqə T_m temperaturda tab aldıqda, anizotropiya enerji sıxlığı 10 dəfə azalır [83, s.169-170].

Daxili gərginliklərin relaksasiyasının nəticəsi amorf materialların maqniyumşaq xassələrinin yaxşılaşmasıdır, xüsusən də qalıq maqnitlənmə M_q -nin artması və H_k -nin koersitiv qüvvəsinin azalmasıdır. Amorf tellərdə yüksək temperaturda γ -Co və cc-Fe yüksək koersitiv kristal fraksiyalarının meydana gəlməsi histerezis əyrisinin sahənin azalmasına doğru dəyişməsinin səbəbidir [40, s.3411-3417].

Termik emalın maqnit xassələrinə fərqli təsir göstərdiyini qeyd etmək lazımdır: amorf lentin sərbəst və təmas tərəfləri.

Beləliklə, amorf materiallarda təmas tərəfindəki maqnit nüfuzluluğu sərbəst tərəfə nisbətən daha sürətli artır. Bunun səbəbi, maqnitlənmə zamanı domen divarının hərəkətinə maneə yaradan mərkəzləri rolunu oynayan təmas tərəfindəki qalıq gərginliklərin daha sürətli azalmasıdır.

Maqnit sahəsində tab alma (termomaqnit emal) T_k -ə yaxın temperaturda H_k koersitiv qüvvənin böyüməsinin qarşısını ala bilər. Bu vəziyyətdə, maqnit sahəsi tərəfindən biroxlu anizotropiyanın olması səbəbindən amorf lentlərin maqnit yumşaq xassələrində bir yaxşılaşma baş verir. Bunun nəticəsi olaraq, məsələn, amorf materialların maqnit nüfuzluluğunun 7-8 dəfə artmasıdır [61, s.3411-3417].

Amorf materiallardakı bu induksiyanmış anizotropiya səthin uzununa oxuna paralel və perpendikulyar olan bir sahədə tab almadan sonra ölçülən anizotropiya sabitinin iki qiyməti arasındakı fərqlə müəyyən edilir. Maqnit sahəsinin əmələ gətirdiyi maqnit anizotropiyasının amorf maqniyumşaq materiallarda görünüşü

adətən qonşu atomların cüt istiqamətdə sıralanması ilə izah olunur: üstünlük verilən istiqamət üzrə. Yəni, atom cütlərinin əmələ gəlməsi üçün kristallarda qonşu atomların yer dəyişdirmələridir. Amorf materiallarda atomların orta mövqelərə nisbətən yerdəyişməsi zamanı atom cütlərinin yeni anizotrop konfigurasiyaları yarana bilər.

Termomaqnit emal zamanı mənfi maqnitostriksiyalı amorf materiallara tətbiq olunan maqnit sahəsinin istiqamətindən asılı olaraq onlarda müxtəlif domen quruluşları müşahidə edilə bilər [68, s.167060]. Maqnit sahəsinin uzununa orientasiyası halında, amorf lent 180° domenlərdən ibarət olduğu ortaya çıxır; tətbiq olunan uzununa gərginliklərinin artması ilə maqnitlənmə monoton olaraq azalır. Maqnit sahəsinin eninə konfigurasiyası ilə, domen quruluşu nizamsız olur və amorf materialın maqnitlənməsi doyma həddinə qədər artır.

Müsbət maqnitostriksiyalı amorf lentlərdə, lent oxuna perpendikulyar olaraq tətbiq olunan maqnit sahəsində aparılan termomaqnit emal, əksinə, daha nizamlı bir domen quruluşunun meydana gəlməsinə kömək edir. Amorf lentlərə əlavə gərginliklər tətbiq etməklə amorf materialların səth keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq, mühitdə qeyri - bərabərliyi və maqnitlənmə faktorunu azaltmaq mümkündür. Bundan başqa tab alma azaldıla bilən böyük qalıq gərginlik yaradır [50, s.54-60].

Buna görə də, məsələn, amorf lentlərə əlavə gərginliklərin tətbiqi ilə termik emalı onların doyma maqnitləşməsinə M_s artırmağa və qalan M_R/M_S qalıq maqnitlənməni azaltmağa imkan verir və termik emalı zamanı σ gərginliyin artması maqnitlənmənin daha sürətli artmasına kömək edir. Amorf materiallarda uzununa gərginlik zamanı $\lambda_s > 0$, H_k və H^* əvvəlcə azalırlar. σ gərginliyini təyin etdikdən sonra (məsələn, $\sigma \sim 175$ MPa *FeSiB* amorf maqnetiklər) M_r doyma maqnitlənməsinə çatır və telin mərkəzə bağlanmış səthi maqnitlənməsinə maneə yaradır ki, bu da σ -gərginliyin artması ilə H^* -ın artmasına səbəb olur. Kritik sahədə H^* -əks maqnitlənmənin yaranması sahəsi kimi hesab etmək olar ki, domen divarının enerji sıxlığının mütənasib olaraq σ -dan aşağıdakı kimi asılıdır:

$$H^* \propto \sigma$$

Bu qanun $\sigma > \sigma_i$ olanda (σ_i -daxili gərginlik) və qalıq maqnitlənmə doyma halına çatanda ödənilir.

Amorf tellərdə kiçik gərginliklərdə H_k və H^* -ın azalması ilə düzbucaqlı histerzis ilgəyinin alınması müşahidə edilir. Bunun üçün ya telə uzununa gərginlik tətbiq etməklə ya da teli termik emal etməklə müşahidə etmək olar. Bu xassə amorf tellərdən kiçik ölçülü impuls generatorunun yaranmasında istifadə olunur [78, s.175-176].

Termik emal zamanı sıfır maqnitostriksiya sabitinə malik amorf lent və tellərdə λ_s -in işarəsinin dəyişməsinə səbəb olur. $\lambda_s(\sigma)$ və $\lambda_s(0)$ -doyma maqnitostriksiya sabitləri:

$$\lambda_s(\sigma) = \lambda_s(0) - A\sigma \quad (1.8.1)$$

$A = (6 \div 1) \times 10^{-10} \text{ MPa}^{-1}$ -dir. A əmsalı termik emaldan asılı deyil və elektron konfigurasiyası ilə təyin olunur.

Beləliklə, termik, termomaqnit emal və əlavə gərginliklərin tətbiqi amorf lentlərin və tellərin maqnit xassələrinə əhəmiyyətli təsir göstərir və bəzi hallarda maqniyumşaq xassələrini yaxşılaşdırmağa imkan verir. Ümumiyyətlə, deyilənləri yekunlaşdıraraq aşağıdakıları qeyd etmək olar.

Araşdırmalarımız başlayanda çoxlu miqdarda eksperimental material toplanmışdı ki, bu da lent və tellər şəklində hazırlanmış maqniyumşaq amorf materiallarda domen quruluşlarının modellərini təklif etməyə imkan verdi. Bu modellərin əsas xüsusiyyəti, əsasən dolayı məlumatlardan istifadə etməklə, xüsusən histerezis əyrilərinin, maqnitlənmə əyrilərinin, maqnit müqavimətinin və maqnit impedansının sahə asılılıqlarının təhlili ilə qurulmasıdır. Amorf lentlərin səthindəki domen quruluşlarının müşahidəsi əsasən Kerr effektləri sayəsində reallaşan toz hissəciklərindən və maqnit-optik kontrastın köməyi ilə həyata keçirilmişdir [49, s.175-176].

Eyni zamanda, yuxarıda qeyd edildiyi kimi, amorf maqnetiklər üçün materiallar, maqnit anizotropiyasının effektiv sabitinin kiçik qiymətləri və maqnit anizotropiyasının dispersiyasının olması ilə xarakterizə olunur. Nəticədə, $\Delta \sim \sqrt{A/K_{eff}}$ olan domenlərin ölçüləri ilə müqayisə oluna bilən domen sərhədləri olan nizamsız mikromaqnit strukturlarının görünməsi mümkündür.

Bu tip mikromaqnit quruluşların öyrənilməsi üçün AzMİU-da yığılan ilk dəfə tətbiq edilən Kerrin maqnitooptik üsulu ən təsirlidir.

Bu qurğu maqnitlənmənin lokal anlayışlarının maqnit sahəsi haqqında məlumat əldə etməyə imkan verir. Bu iş başa çatdıqda, maqnitooptik qurğudan istifadə edərək tədqiq etdiyimiz amorf maqnityumşaq lentlərində səthə yaxın mikromaqnit strukturlarının tədqiqinin nəticələrinin təqdim olunduğu praktiki olaraq heç bir nəşrin olmaması diqqətimizi çəkdi. Praktiki tətbiqlər üçün ən populyar olan Fe və Co əsaslı amorf lentlər götürülmüş və onların səthə yaxın təbəqəsindəki maqnit xassələri və maqnitooptik xassələri araşdırılmışdır.

II FƏSİL. AMORF MAQNETİKLƏRİN MAQNİT VƏ MAQNİTOOPTİK

PARAMETRLƏRİNİN ÖLÇÜ METODU VƏ ÖLÇÜ QURĞUSUNUN

TƏSVİRİ

2.1. Metal və ərintilərin optik xarakteristikalarının təyini metodu

Ferromaqnit materiallar və onların ərintilərinin müxtəlif xassələrinin öyrənilməsində optik üsullardan geniş istifadə olunur. Optik metodların üstünlükləri materialdakı proseslərin gedişini real vaxtda müşahidə etməyə imkan verir. Müasir dövrdə amorf ərintilər texnikada geniş istifadə olunur. Buna görə də onların fiziki xassələrini öyrənmək xüsusi maraq doğurur. Bu fiziki xassələrə amorf materialların optik və maqnitooptik xassələrini göstərmək olar [3, s.26-28] .

Ferromaqnit materialların optik parametrləri spektrin infraqırmızı oblastına uyğun hissəsində materialın maqnit nüfuzluluğu, elektrik keçiriciliyi ilə əlaqəlidir. Buna görə də onların maqnit və elektrik xassələrinə əsasən ferromaqnit materialların elektron quruluşunu öyrənmək mümkündür. Metalların optik parametrlərini təyin edərkən elektronun Fermi səviyyəsinə yaxın enerji spektrlərini öyrənmək olar. Bundan əlavə metalların optik metodlarının inkişafı bərk cisimlərin zonalar nəzəriyyəsi haqqında fikirləri möhkəmləndirməyə imkan verir. Optik metodları öyrənməklə materialların səthə yaxın maqnit xassələri ölçülə bilər. Ona görə bu metod müasir metodlardan sayılır [3, s.26-28] .

İşıq şüaları $d \approx 10^{-8}$ m dərinlikdə metal daxilinə nüfuz edə bilər. İşıq şüaları şəffaf olan mühitə düşərək metal nümunədən qayıdır [90, s. 5988]. Əgər müstəvi polyarlaşmış işıq metal səthinə 45° bucaqla düşərsə (düşmə səthinə nəzərən) metal nümunənin səthi üzərindən qayıdan işıq elliptik polyarlaşmış olur (şəkil 2.1.1). Burada ψ -polarlaşma azmitu, E_p -düşən işıqda elektrik vektorunun səthə parallel toplananı, E_s -isə düşən işıqda elektrik vektorunun səthə perpendikulyar toplananıdır. İşığın metal nümunədən

əks olunmasını müəyyən etmək üçün ψ , φ və Δ -nı ölçmək lazımdır. Burada tədqiq olunan Δ s və p parametrləri arasında fazalar fərqi, φ -ışığ şüasının metal nümunənin səthində düşmə bucağıdır [3, s.26-28] .

Metalların optik parametrlərini müəyyən etmək üçün çox sayda metodlar var. Ellipsometriya, maye və bərk cisimlərin səthini əks etdirən və üzərində əks olunan işıq şüasının polyarlaşma vəziyyətinə görə öyrənmək üçün olan metodlardandır. Ötən əsrin sonunda yaranan və Drude ilə əlaqəli olan ellipsometriyanın əsas vəzifəsi, əks olunan işıq şüasının polyarlaşma vəziyyətindəki dəyişiklikləri təhlil edərək əks etdirən sistemin quruluşunu öyrənmək və parametrlərini təyin etməkdir [17, s.945-948]. Bunlardan ən əlverişli metod Bitti tərəfindən verilmişdir. 1930-cu ildə materialların maqnit quruluşunu tədqiq etmək üçün istifadə olunmuşdur. O zamanlar maqnit domenlər haqqında nəzəriyyə hələ formalaşmamışdı. Ona görə də Bitti yalnız ferromaqnitlərin qeyri-bircins quruluşu barəsində məlumat vermişdir. Əslində Bitti tərəfindən əldə edilən şəkillərdə domenlərin həqiqətən olmasını yalnız 1949-cu ildə Bell kompaniyası tədqiqat laboratoriyasının alimləri tərəfindən sübut edilmişdir [12, s. 441, 16, s.1108-1116, 71, s.217-221].

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, n, k$ metalın əsas optik parametrləridir. Bitti metodundan istifadə edərək, $n, k, \varepsilon_1, \varepsilon_2$ optik parametrlərini təyin etmək mümkündür [3, s.26-28] .

Verilən nümunə izotrop olarsa, onda nümunə səthindən əks olunan işığın intensivliyi:

$$I(\psi_n, \psi_A) = I_0 (\sin^2 \psi_p \sin \psi_A + \rho^2 \cos^2 \psi_p) \cos^2 \psi_A + 1/2 \rho \sin 2\psi_A \cos \Delta \quad (2.1.1)$$

düsturu ilə təyin edilir. ψ_p - polyarizatorun azmitu, ψ_A -analizatorun azmitudur. Δ, ρ - elliptik polyarlaşmış işığın parametrləridir. $\psi_p = \pm \pi/4$ olarsa, $\psi_A = \pi/2, 0, \pm \pi/4$ olarsa nümunənin səthindən əks edilən işığın intensivliyi aşağıdakı kimi təyin olunur [3, s.26-28].

$$\begin{aligned} I_1 &= I(\psi_p, \pi/2), I_3 = I(\psi_p + \pi/4), \\ I_2 &= I(\psi_p, 0), I_4 = I(\psi_p - \pi/4). \end{aligned} \quad (2.1.2)$$

İntensivlikləri təyin etdikdən sonra elliptik polyarlaşmış işığın ρ və Δ parametrlərini:

$$\rho = \operatorname{tg} \psi_p \sqrt{I_2/I_1}, \quad (2.1.3)$$

$$\cos \Delta = \frac{1}{2}(\rho + 1/\rho)[(I_3 - I_4)/(I_3 + I_4)] \quad (2.1.4)$$

düsturları ilə müəyyən etmək olar [108, s.129-138].

Beləliklə, optik parametrləri müəyyən etdikdən sonra k və n sabitlərini aşağıdakı kimi təyin edirlər:

$$\frac{n^2 - k^2 - \sin^2 \varphi}{\operatorname{tg}^2 \varphi \sin^2 \varphi} = \frac{1+y}{1-y} \cdot \frac{1-x^2}{1+x^2}, \quad (2.1.5)$$

$$\frac{2nk}{\operatorname{tg}^2 \varphi \sin^2 \varphi} = \frac{1+y}{1-y} \cdot \frac{2x}{1+x^2} \quad (2.1.6)$$

Belə ki, optik sabitləri:

$$x = \frac{2\rho \sin \Delta}{1-\rho^2} \quad (2.1.7)$$

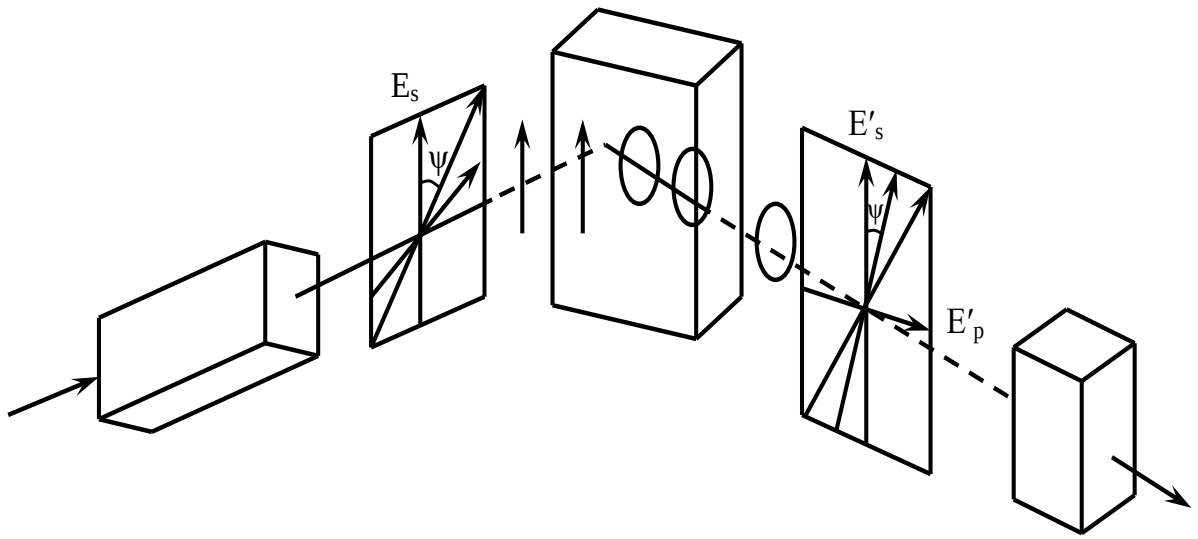
$$y = \frac{2\rho \cos \Delta}{1+\rho^2} \quad (2.1.8)$$

düsturları ilə təyin edilir [3, s.26-28].

Nəticə olaraq deyə bilərik ki, optik sabitlərin müəyyən edilməsi nümunənin səthindən əks edilən işığın intensivliyi üçün polyarizə və analizə edicinin müəyyən standart vəziyyətində təyin edilməsinə imkan verir [16, s. 1108-1116, 18, s.40].

2.2.Ferromaqnit materiallarda maqnitooptik hadisələrin fizikası

Xarici maqnit sahəsinə yerləşdirilən maqnitlənmiş ferromaqnit keçən və əks olunan işıqda zəif maqnit maddə kimi, müxtəlif maqnitooptik təsirlərin meydana gəlməsinə səbəb olan işığın ikiqatsınma xassələri nümayiş etdirir [45, s.76] Ferromaqnitlərin maqnit optikası ferromaqnitin ayrı-ayrı domenlərində təsir edən daxili effektiv sahələr (mübadilə, spin - orbital, spin - orbital - mübadilə) ilə müəyyən edilir. İşığın tezliyindən asılı olaraq maqnitlənmiş ferromaqnitlə qarşılıqlı təsirdə olan işığın intensivliyi və polyarlaşmasındakı xüsusi dəyişiklikləri öyrənməklə



Şəkil 2.2.1. Müstəvi polyarlaşmış işığın metalin səthindən qayıtması.

bərk cisimlərdə mühüm rol oynayan enerji qarşılıqlı təsirin yaratdığı rezonans təsirləri aşkar edilə bilər. Maqnitooptik adlandırıla bilən bu cür rezonansların tədqiqi ferromaqnit materialdakı elektronların enerji spektrini öyrənməyə imkan verir. Nazik maqnit lentlərin istehsalı üçün tədqiqat və ya texnologiya, həmçinin ferromaqnitlərin sahə işıq şüasının qarşılıqlı təsirdə olduğu hissəsinin maqnitlənməsi ilə əlaqəli quruluşunun öyrənilməsi üçün müxtəlif maqnitooptik qurğular vardır. Bu qurğuların işləmə prinsipi maqnit-optik təsirlərin ferromaqnitdən əks olmasına əsaslanır [92, s.6768].

Bu da, ferromaqnitin domen quruluşunun vizual araşdırılmasına yəni, spontan maqnitlənmə vektorunun (I_s) istiqamətləri fərqli olan sahələri həm keçən, həm də əks olunan işıqda müşahidə etməyə imkan yaradır. Ferromaqnitin maqnit xassələrini öyrənmək üçün (məsələn, maqnitlənmə əyrisi, histerezis əyriyələri, koersitiv qüvvəsi və s.,) maqnit-optik metod nazik ferromaqnit metal lentlərin öyrənilməsində geniş istifadə olunur [109, s.217].

Bu üsul eyni zamanda ferromaqnit səthinin mikro sahələrində maqnit xassələrini, 1mkm-lik ferromaqnitin ayrı - ayrı struktur elementlərini, domen sərhədini, xarici fazanın mikroskopik daxil edilməsini və s. ölçmək imkanı verir.

Dielektrik tenzorunun diaqonal olmayan komponentləri $\varepsilon' = \varepsilon'_1 - \varepsilon'_2$ materialın maqnitooptik xassələri ilə müəyyən edilir. Maqnitooptik effektin qiyməti $\delta = a\varepsilon'_1 + b_1\varepsilon'_2$ bu düsturla təyin edilir. Burada a və b düşmə bucağının və optik sabitlərin funksiyasıdır. ε' -nin müəyyən edilməsi üçün ε'_1 və ε'_2 komponentlərini düşmə bucağının müxtəlif iki qiymətində optik sabitlərdən və EKE-nin tezliyindən istifadə edərək təyin edilir [151, s.52].

Xarici maqnit sahəsinin təsiri ilə ferromaqnitlərdə domenlər nizamlı istiqamətdə düzülür və $\vec{I}$ -maqnitlənməsinə səbəb olur. Spin-orbital qarşılıqlı təsir ilə maqnitlənmənin istiqaməti dəyişir və bu elektronların orbital hərəkətinə təsir göstərir. Spin - orbital əlaqə elektronun $\vec{H}$ -sahəsi ilə qarşılıqlı əlaqəsindən daha güclüdür. Bunu nəzərə alaraq elektronun orbital hərəkət ilə qarşılıqlı əlaqəsini nəzərə almamaq

mümkündür. Bu zaman ε -dielektrik nüfuzluğu $\vec{I}$ -maqnitlənmənin funksiyası kimi götürülür [13, s.60-71] .

Ferromaqnitlərdə maqnitooptik hadisələrə aparan əsas mexanizmləri nəzərdən keçirək:

Bunlara yük daşıyıcıların hərəkətini misal göstərmək olar. Elektrik keçiriciliyinin diaqonal olmayan komponentinin və buna görə də optik tezliklərdə dielektrik sabitinin olmasının ən sadə səbəbi metalda Holl cərəyanının yaranmasıdır. Yük daşıyıcılara (sərbəst elektronlara) maqnit sahəsi tətbiq edildikdə, Lorens qüvvəsi onların hərəkət istiqamətinə perpendikulyar hərəkət etdirir ki, bu da cərəyanın eninə Holl komponentinin yaranmasına səbəb olur. Ferromaqnit metallarda, bir qayda olaraq, göstərilən Holl cərəyan mexanizmi işləyir. Ferromaqnitlərdə kinetik hadisələrin kvant nəzəriyyəsi ilə bağlı son işlər göstərdi ki, sözdə ferromaqnit və ya anomal Holl effekti, ferromaqnitlərdə spontan maqnitlənmə və yönləndirilmiş maqnit momentləri səbəbiylə sərbəst elektronların asimmetrik səpələnməsi nəticəsində yaranır [20, s.945-956]. Hər iki halda da, elektronun enerjisinin praktiki olaraq dəyişməməsi və yük daşıyıcının relaksasiya tezliyi olması vacibdir. Nəticədə, sərbəst elektronların hərəkətindən yaranan maqnitooptik təsirlər ferromaqnit metalların Fermi səthi haqqında məlumat əldə etmək üçün istifadə edilə bilər [18, s.35-40].

Bəzi sadə hallarda, ferromaqnitlərdəki maqnit-optik təsirlər təxminən eyni şəkildə elektron keçidlərlə əlaqəli ola bilər. Məsələn, 4f təbəqəsinin vəziyyətləri diskret səviyyələrə uyğun gələn nadir torpaq ionları olan ferromaqnit kristallarında, ion maqnit momentinin fərqli istiqamətlərinə uyğun olan Zeyman alt səviyyələrini nəzərdən keçirmək olar. Nəzərə alınmalıdır ki, bu alt səviyyələrin mövqeyi xarici maqnit sahəsi ilə deyil, ferromaqnitin Veys sahəsi olaraq adlandırılan daxili mübadilə sahəsi ilə təyin ediləcəkdir. Deyilənlərdən aydın olur ki, maqnit-optik effektlərin öyrənilməsi, elektron keçidlərlə əlaqəli, izolə olunmuş və yarı izolə olunmuş atomlarda və ionlarda elektron enerji səviyyələrini təyin etməkdə Zeeman effekti ferromaqnitlərdə elektronların enerji spektri haqqında məlumat əldə etmək üçün təsirli bir vasitə ola bilər [20, s.946].

Maqnitooptik effektlər nümunədə $\vec{M}$ maqnitlənmə vektoruna nəzərən işığın yayılma istiqamətinə görə meridional, polyar və ekvatorial Kerr effektlərinə təsnif olunurlar. Ekvatorial Kerr effektində maqnitlənmə vektoru işığın düşmə müstəvisinə perpendikulyar və nümunə səthinə paraleldir. Ekvatorial Kerr effekti yalnız maqnitlənmə üçün normal olan polyarlaşma komponenti üçün yaranır (p-komponenti) və maqnitlənməyə paralel polyarlaşmış işıq üçün sıfıra bərabərdir (s-komponenti). Ekvatorial Kerr effekti maqnitlənmədə birinci dərəcəlidir [22, s.31-35].

Təcrübi olaraq Ekvatorial Kerr effektinin qiyməti aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir:

$$\delta_{ekv} = \frac{I - I_0}{I_0} \quad (2.2.1)$$

I – maqnitlənməmiş səthdən əks olunan işığın intensivliyi, I_0 - maqnitlənməmiş səthdən əks olunan işığın intensivliyidir.

Dielektrik tenzorunun dioqanal olmayan komponentlərini təyini üçün işığın iki düşmə bucağına uyğun Ekvatoriya Kerr effekti təyin edilir. Bunu nəzərə alsaq aşağıdakı ifadələri yazmaq olar [162, s.17-34]:

$$\delta_{\varphi_1} = a_1 \varepsilon'_1 + b_1 \varepsilon'_2 \quad (2.2.2)$$

$$\delta_{\varphi_2} = a_2 \varepsilon'_1 + b_2 \varepsilon'_2 \quad (2.2.3)$$

a_1, b_1 və a_2, b_2 parametrləri optik ölçmə aparmaqla təyin olunur:

$$\begin{cases} a_1 = 2 \sin 2\varphi_1 \frac{A_1}{A_1^2 + B_1^2} \\ b_1 = 2 \sin 2\varphi_1 \frac{A_1}{A_1^2 + B_1^2} \end{cases} \quad (2.2.4)$$

$$\begin{cases} a_2 = 2 \sin 2\varphi_2 \frac{A_2}{A_2^2 + B_2^2} \\ b_2 = 2 \sin 2\varphi_2 \frac{A_1}{A_2^2 + B_2^2} \end{cases} \quad (2.2.5)$$

$$\begin{cases} A_1 = \varepsilon_2 (2\varepsilon_1 \cos^2 \varphi_1 - 1) \\ A_2 = \varepsilon_2 (2\varepsilon_1 \cos^2 \varphi_2 - 1) \end{cases} \quad (2.2.6)$$

$$\begin{cases} B_1 = (\varepsilon_2^2 - \varepsilon_1^2) \cos^2 \varphi_1 + \varepsilon_1 - \sin^2 \varphi_1 \\ B_2 = (\varepsilon_2^2 - \varepsilon_1^2) \cos^2 \varphi_2 + \varepsilon_1 - \sin^2 \varphi_2 \end{cases} \quad (2.2.7)$$

2.3. Amorf lentlərin maqnit xassələrinin ölçülmə metodu

Amorf lentlərin maqnit xassələrinin öyrənilməsi üçün olan qurğularından biri də titrəyişli maqnitometrdir. Amorf lentlərin maqnitlənməsi titrəyişli maqnitometrle 77–1200K temperaturda maqnit sahəsinin 16.5kE qiymətində təyin edilmişdir. Ölçmə aparılması vakuumda 10^{-4} mm Hg sütunu təzyiqində yerinə yetirilmişdir. Maqnitlənmənin təyini üçün sarğılardan ibarət koaksial formalı ölçülən dolaqdan istifadə olunmuşdur. Ballistik dolaqda sarğıların sayı 1000-1100-dür. Sarğılar 0.1 mm qalınlığında manqanın tərkibli məftildən düzəldilmiş və verilən nümunədən izolə olunmuşdur.

Tədqiq edilən nümunənin maqnitlənməsi:

$$I = \frac{C_b \alpha}{8\pi n S} \quad (2.3.1)$$

düsturu ilə təyin edilmişdir.

C_b - maqnitometrin ballistik sabiti, S -tədqiq olunan nümunənin en kəsik sahəsi, n -dolağın sarğılarının sayı, α - qalvanometrin meyl bucağının orta qiymətidir.

Titrəyişli maqnitometr müxtəlif maqnit materialların nazik təbəqələrinin, amorf lentlərinin, amorf manityumşaq ərintilərinin maqnit xarakteristikalarını təyin etmək üçün istifadə olunan yüksək həssasılığa malik cihazdır. Titrəyişli maqnitometr vasitəsilə anizotrop nümunələrin maqnit xassələrinin bucaqdan asılı olaraq tədqiqi də mümkündür.

Bununla yanaşı, amorf ərintilər üçün eyni zamanda doyma maqnitlənməsi, qalığ maqnitlənmə, Kuri temperaturu və başqa xarakteristikaları da təyin etmək olur. Bu metodla maqnit xarakteristikalarının təyin olunmasının əsas cəhəti ondan ibarətdir ki, kütləsi 0,01 mq-dan da kiçik olan ferromaqnit materialların da maqnit momentinin də olduqca böyük həssaslıqla müəyyən olunması mümkündür.

Maqnitlənmənin təyini üçün eyni ölçülü, etalon və tədqiq olunan nümunələr titrəyişli maqnitometrə siqnalların müqayisəsinə əsaslanaraq müəyyən edilmişdir.

Buna əsaslanaraq xüsusi maqnitlənmə:

$$\alpha_x = \frac{y_x m_{et} \sigma_{et}}{y_{et} m_x \sigma_x} \quad (2.3.2)$$

düsturu ilə təyin edilmişdir. Burada:

σ_x - verilən nümunənin xüsusi maqnitlənmə parametri;

σ_{et} - etalon nümunənin xüsusi maqnitlənmə parametri;

m_x - tədqiq edilən nümunənin və m_{et} - etalon nümunənin kütləsi;

y_x - tədqiq edilən nümunə və y_{et} - etalon nümunə üçün ossiloqrafın ekranında müşahidə edilən şüanın meyl bucağının qiymətidir. İşdə 30, 60 mq etalon kütləli nümunələrdən istifadə olunmuşdur.

Nümunənin fiziki xarakteristikalarının temperatur asılılığında dəqiqlik termocütün nümunənin səthinə qaynaq edilməsindən və onun qızdırılma sürətindən asılı olur. Ölçmə apararkən təmiz dəmirin temperaturu $T_k = 1043K$ və kobaltın temperaturu $T_k = 1388K$ -dir. Təcrübənin nisbi xətası isə 0.5%-dən çox olmamışdır. Təcrübənin nisbi xətasını təyin etmək üçün aşağıdakı düsturdan istifadə edilmişdir:

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta C_b}{C_b} + \frac{\Delta \alpha}{\alpha} + \frac{\Delta n}{n} \quad (2.3.3)$$

Sabit maqnit sahəsində amorf ərintilərin təyini zamanı maqnitlənmə əyrisi, onun əsas xarakteristikaları olan ilkin və maksimum maqnit nüfuzluluqları, histerezis əyrisi, induksiyaının qalığ qiyməti və koersitiv qüvvəsi müəyyən olunmuşdur.

$\mu = f(H)$ qrafikindən maksimum maqnit nüfuzluluğunu müəyyən etmək olar.

μ_{max} ölçərkən xəta $\pm 5\%$ -dən çox alınmamışdır. Solenoiddə maqnitlənməni ölçmək üçün qurğu hazırlanmışdır.

Nümunə solenoidin mərkəzində yerləşdirilmişdir. Nümunə sahə bircinsli olan hissədə yerin maqnit sahəsinə perpendikulyar şəkildə yerləşdirilmişdir. Solenoidin mərkəzində nümunənin vəziyyəti kompasla təyin edilmişdir. Həmin nümunəyə yerin maqnit sahəsi təsir göstərmir.

Öz-özünə yazan ikikoordinatlı qurğudan istifadə edərək amorf materialın elektrik müqavimətinin temperaturdan asılılığı təyin olunmuşdur.

Tədqiq olunan nümunənin otaq temperaturundan 1400 K qədər intervalda qızma və soyumasına 5-dən 10 saata qədər vaxt sərf edilmişdir. Kontaktları nazik məftildən hazırlanaraq nümunəyə nöqtəvi qaynaq edilmişdir.

Həmçinin, elektrik müqavimətin temperaturdan asılılığı avtomatik olaraq fasiləsiz ölçülmüşdür. Müqavimətin təyin edərkən nisbi xəta

$$\frac{\Delta R_x}{R} = \frac{\Delta R_{et}}{R_{et}} + \frac{\Delta U_x}{U_x} + \frac{\Delta U_{et}}{U_{et}} \quad (2.3.4)$$

düsturu ilə təyin edilir və 0.5% dan çox olmamışdır.

Tədqiq etdiyimiz amorf nümunələrin faza tərkibini, bircinsliyini müəyyən edilməsi üçün rentgen difraktoqrammasından istifadə olunmuşdur. Rentgen quruluş tədqiqi Fe və Co şüalanması tətbiq edilərək Dron-3 difraktometrində edilmişdir.

Amorf ərintilər tablanmış halda araşdırılmışdır. Tədqiq oluna materialın termik emalı fiziki xassələrin təsvir edildiyi bölmələrdə ətraflı qeyd edilir.

Tədqiq etdiyimiz amorf nümunələr Fe,Co əsaslı ərintidən hazırlanmışdır. Nazik lent şəklində amorf nümunələr hazırlanmış və xüsusi elektrik müqaviməti, maqnitlənmə əyriləri təyin edilmişdir. Doyma maqnitlənməni təyin edərkən nümunənin qalınlığı 0.035 mm, eni 20 mm, uzunluğu 10 sm götürülmüşdür. Materialın maqnit nüfuzluğunu ölçmək üçün halqa formasında nümunələrdən istifadə olunmuşdur.

Tədqiqat apararkən qalınlığı 0.035 mm olan nümunə cilalanmış, sonra elektrolitik yolla pardaxlanmış və qalınlığı 1000-2000 Å olmuşdur. Alınan amorf lentlərin maqnit parametrləri (qalıq maqnitlənmə, koersitiv qüvvə və s.) histerezis ilgəyindən təyin edilir. İnduksiya histerezis ilgəyinin çəkilməsi üçün qurğunun əsasını $\Phi 190$ fotoqalvanometrik kompensasiya mikrovebermetri təşkil edir. Ölçmələr zamanı maqnit sahəsi intensivliyinin maksimal qiyməti 50 E (40 A/sm) təşkil edir. Maqnit induksiyasının ölçmək üçün $\Phi 4354/1$ teslametrindən istifadə olunmuşdur. Maqnit xarakteristikalarının daha güclü maqnit sahələrində ölçülməsi zəruri olduqda nümunə elektromaqnitin qütbləri arasında (5-6 kE) yerləşdirilmiş vibrasiyalı maqnitometrlərindən istifadə edilmişdir.

Yüksək tezliklərdə dinamik histerezis ilgəyinin və elektromaqnit itkilərinin ölçülməsi üçün dinamik histerezis ilgəyinin sahəsinə görə itkinin təyinin metodundan istifadə edən avtomatik idarə edilən qurğudan və həmçinin, eksperimental nəticələrin emalı üsulundan da istifadə edilmişdir.

Fe və Co amorf ərintilərin əsasında struktur halın, termik və termomaqnit emalın müxtəlif şəraitdə, maqnit xassələrinə və Brakhouzen effektinin parametrlərinə təsiri öyrənilib. Bu məqsədlə, termoemal zamanı təbəksiltmə temperaturunun, soyuma sürətinin, maqnit sahəsinin tezliyinin maqnit xarakteristikalarına və quruluş xüsusiyyətlərinə təsiri tədqiq edilmişdir. Amorf nanokristallik quruluşun termomaqnit emalından sonrakı xüsusiyyətləri: daxili elastik sürüşmələrin əmələ gəlməsi, amorf matrisanın nanoölçülü fazaların kimyəvi tərkibi və ölçüləri ilə konsentrasiya təbəqələrinə ayrılması.

Tədqiq olunan lent nümunəsinin səth relyefi Atom Qüvvə mikroskopu ilə tədqiq edilmişdir. Skaendici mikroskop ilə tədqiq edilən lent nümunəsinin səthinin strukuru, xüsusiyyətləri araşdırılmışdır. Emaldan sonra struktur parametrlər, tədqiq edilmiş ərintilərin maqnit xarakteristikaları ilə uzlaşır. Amorf lentlər ərintinin fırlanan mis diskin üzərində tablanması ilə alınmışdır.

Tədqiqatlar müxtəlif maqnitostriksiyalı CoFe əsaslı nümunələrdə aparılmışdır. Tablanma gərginliklərinin yox edilməsi üçün nümunələrdə 300 °C temperaturdan 400

$^{\circ}\text{C}$ -ə temperatura qədər vakuumda tabəksiltmə aparılmışdır. Sonra isə müxtəlif tezlikli (sabit, dəyişən $f=50$ Hz və yüksək tezlikli $f=80$ Hz) eninə maqnit sahəsində termomaqnit emalı aparılmışdır. Nümunələrin bir hissəsinin tablanması suda, dəyişən maqnit sahəsində, Kuri temperaturunda (soyuma sürəti 5000°C/dəq) aparılmışdır.

Maqnitlənmə müddətində ortalananmış Barkhauzen sıçrayışların (BS) e.h.q. seli ε , Barkhauzen effektinin informativ parametri kimi seçilmişdir. Vizual olaraq Barkhauzen sıçrayışlarının seli ossilqrafin ekranında müşahidə edilmişdir. ε –isə lent şəkilli nümunələrdə verici vasitəsilə ölçülmüşdür.

2.4. Universal maqnitooptik qurğunun sxemi və iş prinsipi

Araşdırılan nümunələrin səthə yaxın sahələrində maqnit xassələrinin ölçülməsi (doyma sahəsi H_s , koersitiv qüvvə) üçün maqnitooptik qurğudan istifadə olunur. İstifadə olunan qurğu, aşağıdakı şərtlərlə nümunənin səthinin lokal sahəsində maqnitooptik siqnalların qeyd edilməsindən ibarətdir:

1. İstifadə olunan linzanın növündən və sahəsindən asılı olaraq;
2. Işığın ferromaqnitə daxil olma dərinliyindən asılı olaraq.

Məlumdur ki, maqnitooptik Kerr effekti işığın mühitə daxil olma dərinliyinə uyğun olaraq müəyyən bir qalınlıqdakı səthə yaxın təbəqənin maqnitlənməsinə həssasdır. h -in qiyməti $h = \lambda/4\pi k$ -dir. λ -düşən işığın dalğa uzunluğu, k -mühitin udma əmsalıdır. Mövcud eksperimental məlumatlara görə ferromaqnit materiallar üçün h -in qiyməti, düşən işıq kvantlarının $0.5-6$ eV enerji aralığında $10-30$ nm-i keçmir. Bu quruluş diametri bir neçə mm-dən bir neçə mikrona qədər dəyişə bilən səthdə maqnitooptik Kerr effektlərini qeyd etməyə imkan verir [11, s.441]. Bu qurğu üzərində tədqiq olunan ferromaqnit materialın maqnitooptik və optik xassələrinin eyni vaxtda müəyyən edilməsi üçün Ekvatorial maqnitlənmə və Bitti metodu qurulmuşdur. Maqnitooptik qurğunun quruluş sxemi şəkil 2.4.1-də göstərilmişdir. Qurğuda S - közərmə lampası, MDR–12-manoxromator; EMM - elektromexaniki modulyator; N - tədqiq edilən nümunə; EM - elektromaqnit; L- fokuslanan linza; P- polyarizator; A - analizator; İB-idarəedici blok; İG - yüksək giriş müqavimətli ilkin

gücləndirici; FQ - fotodetektor; B7-22 rəqəmli voltmetr; QB - 1-qida bloku; K-impuls detektoru; B9-2-faza detektoru; U2-8 mikrovoltmetr; İK-ilkin gücləndirici; OC-optocüt; BB-bölmə bloku; SCK-sabit cərəyan gücləndiricisi; ÖYM – öz-özünə yazan ikikoordinatlı maşın, QB-2 qida blokudur [3 s.26-28] .

Bu qurğunun işləmə prinsipi aşağıdakı kimidir:

İşıq mənbəyi kimi hallogen lampası götürülmüşdür. Sabit işıq mənbəyi ilə işləyən aşağı güclü közərmə lampasıdır. Tədqiq olunan nümunə xüsusi tutqac vasitəsilə torodial elektromaqnitin arasında yerləşdirilir. Elektromaqnit nümunə ilə koaksial olaraq bir çərçivəyə bərkidilir. Nümunə elektromaqnitlə birgə işçi stolun üzərində yerləşdirilir. İşıq mənbəyindən çıxan işıq modulyatordan keçir və ötürülən signal modulyasiya olunur. EMM-sabit cərəyan mühərriki bazasında yığılan və ötürülən siqnaldakı dəyişikliklərə uyğun olaraq daşıyıcı siqnalın parametrlərini dəyişən cihazdır. Bu proses modulyasiya adlanır və ötürülən signal modulyasiya olunur. EMM modulyasiya tezliyini sabit saxlayır. Modulyasiya olunan işıq spektral optik cihaz olan monoxramatordan keçir. MDR-12 monoxromatoru dəyişdirilə bilən difraksiya qəfəsindən istifadə edərək 0,2 mkm-dən 16 mkm-ə qədər geniş spektral diapazonda tədqiq olunan nümunələrin optik xüsusiyyətlərini ölçməyə imkan verir. Monoxramator vasitəsilə dalğa uzunluğu seçilir və optik spektr ayrılır. Monoxramatordan çıxan işıq polyarizatordan keçir və linzanın köməyi ilə tədqiq olunan ferromaqnit nümunənin səthinə fokuslanır. Ferromaqnit nümunədən əks olunan işıq analizatordan keçir və fotodetektora linzanın köməyi ilə fokuslanır. Işığın polyarlaşma bucağını 1° dəqiqliklə təyin etməyə imkan verən 10^{-4} polyarlaşma dərəcəsinə malik Qlan - Tomson prizmaları istifadə olunur. Optik spektrin görünən oblastında foto müqavimətdən, infraqırmızı oblastında isə fotodiodan istifadə edilir. İşıq siqnalı U2-8 mikrovoltmetrində qeyd olunur və B7-22 rəqəmli voltmetrə verilir. İşıq seli U2-8 mikrovoltmetrinə verilməmişdən əvvəl yüksək giriş müqaviməti olan İG – nin köməyi ilə gücləndirilir. İG - yüksək giriş müqavimətli operativ gücləndirici bazasında yığılmışdır. İG - fotodetektordakı cərəyanı müəyyən səviyyədə artırır və fotodetektorun müqavimətinə əsasən digər gücləndirici bölmələri uzlaşdırır. İşıq

siqnalı İG-dən çıxdıqdan sonra nümunənin maqnitooptik və optik parametrlərinin müəyyən edilməsindən asılı olaraq müvafiq bölmələrə göndərilir. Tədqiq edilən nümunənin optik parametrlərini müəyyən etmək üçün işıq siqnalının İG-nin çıxışından sonra U2-8 mikrovoltmetrinin girişinə göndərilir. Alınan faydalı işıq siqnalını təyin etmək üçün U2-8 mikrovoltmetrindən çıxan siqnal B9-2 faza detektoruna verilir. Modulyatorun üstündə yerləşən optron cütdən keçən modullaşmış tezlikli sabit amplituda malik siqnal faza detektorunun girişinə verilir. Siqnal defektə edildikdən sonra B7-22 rəqəmli voltmetrə verilir. Rəqəmli voltmetrindən çıxan siqnal özü yazan ikikoordinatlı maşın ilə təyin edilir [3, s.26-28].

İşdə maqnitooptik effektləri ölçmək üçün modulyasiya metodundan istifadə etdik. Metodun üstünlüyü ondan ibarətdir ki, işıq mənbəyinin intensivliyindəki rəqslərin təsirini, eləcə də foto cərəyandakı rəqslərin təsirini aradan qaldırmaq üçün istifadə edilə bilər. Bu metodun differensial olması səbəbindən onun həssaslığı statik metodla müqayisədə 2-3 dəfə böyük tərtiblə artır, yəni maqnitlənmiş nümunənin əks olunan işığın intensivliyindəki nisbi dəyişikliyi 10^{-4} - 10^{-5} -ə qədər ölçmək mümkün olur. Tətbiq olunan qurğunun mahiyyəti aşağıdakı kimidir [3, s.26-28]:

Tədqiq olunan nümunə 80 Hs tezliyi olan dəyişən maqnit sahəsinə malik maqnit ilə maqnitlənir. Dövri olaraq dəyişən xarici maqnit sahəsinin təsiri altında səthin təyin olunan sahəsinin maqnitlənməsinin dəyişməsinə, maqnitooptik effektin təsiri ilə işığın intensivliyinin dəyişməsinə səbəb olur. Bu intensivlik dəyişməsi fotodetektor tərəfindən qeydə alınır. Qəbuləddicidə 2 siqnal yaranır.

U_0 - sabit, maqnit sahəsi olmadıqda nümunədən əks olunan I_0 işıq intensivliyi ilə mütənasibdir;

U_1 - dəyişən, nümunədən əks olunan işıq intensivliyinin modullaşma dərinliyinə mütənasibdir və I - maqnitlənmiş nümunədən əks olunan işığın intensivliyidir.

Burada $\Delta I = I - I_0$ Maqnitlənmiş nümunənin $+M$ -dən $-M$ -ə qədər dəyişdikdə yaranan maqnitooptik effektlə əlaqədardır. U_0 və U_1 -anlayışları müvafiq olaraq sabit cərəyan mikrovoltmetri, U2-8 mikrovoltmetri ilə ölçülür.

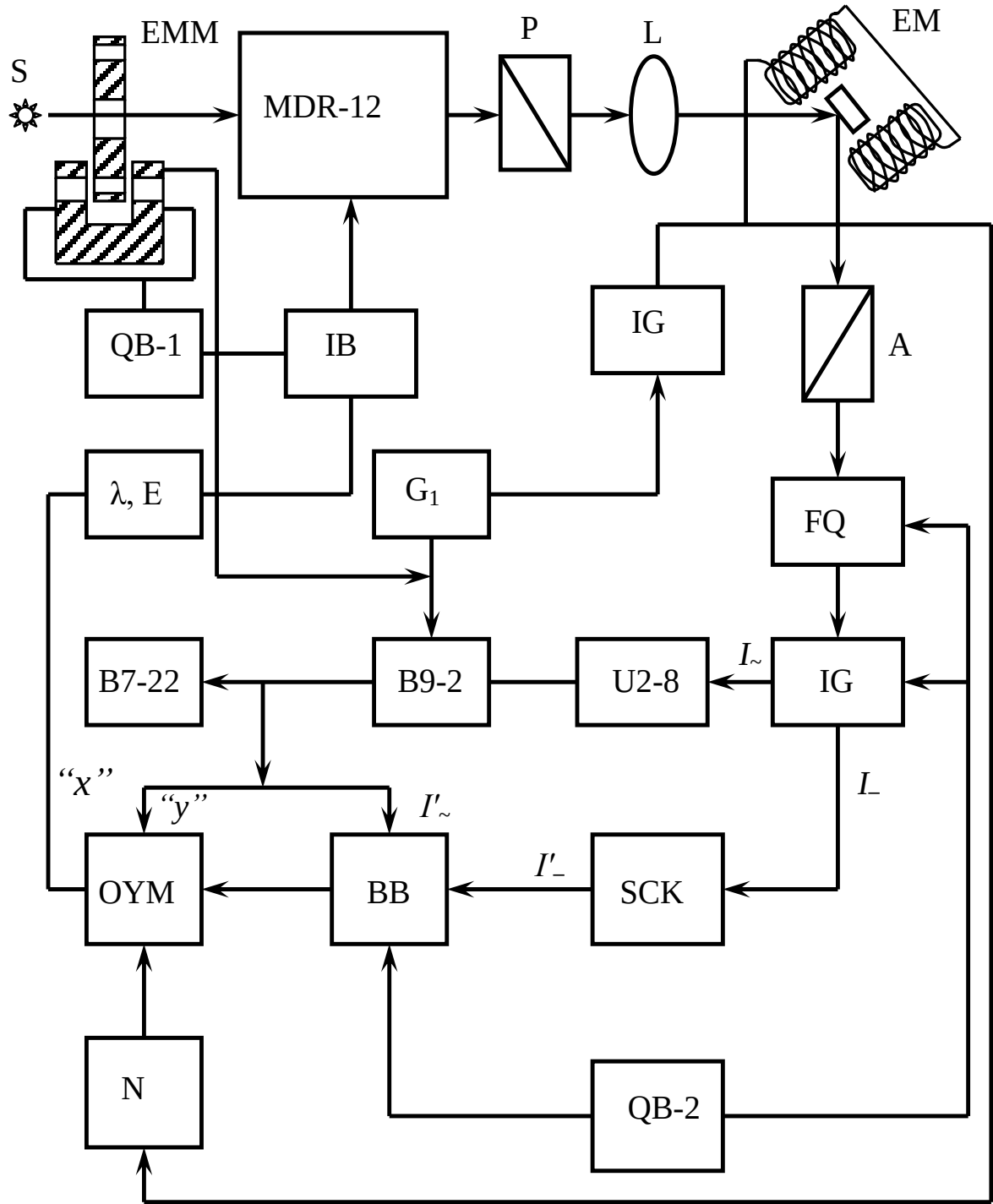
Maqnitooptik signal:

$$\delta = \sqrt{2} U/U_0 = \sqrt{2}(I - I_0)/I_0 \quad (2.4.1)$$

düsturu ilə təyin olunur. B9-2 faza detektorun rolu signalın dəyişməsinə qeyd etməkdir.

Optik parametrləri müəyyən etmək üçün elektromaqnit dövrədən açılır. ŞDA-3 mexanizmlə mühərrik yığılmışdır. Bu mexanizm ilə fotodetektorlar analizatorun keçən signallara görə vəziyyətini dəyişdirir. ŞDA-3 mühərrik əsasında yığılan mexanizm analizatorun 45° -dən bir dayanmasına kömək edir [3, s.26-28].

Bu qurğu vasitəsilə alınan spektral əyriyə sərf olunan zamanı azaltmaq olar. İdarəedici blok analizatorun fırlanmasının avtomatikliyini yaradır. Analizə edici reduktora ŞDA-7- cihazı ilə birləşdirilir və açar düyməni sıxdıqda qurğu fırlanır. Analizatorun üstündə iki optron cütü və 8 yerdə metallik lövhələr yerləşdirilir. Bu da hər dəfə metal lövhənin optron cütün qarşısını kəsməsi zamanı qurğunun dayanmasına səbəb olur. Yenidən müəyyən bucaq qədər döndərdikdə təkrar açar düymə basılır. Analizatoru idarəetmə blokunun quruluş sxemi şəkil 2.4.2-də verilmişdir. Bundan başqa monoxromatorda dalğa uzunluğunu dəyişdirmək üçün də idarəedici blok yığılmışdır. Bu blokun standart bloklardan fərqi ondan ibarətdir ki, generatorunu optron cütü təşkil edir, onun verici generatorunun tezliyini sabitləşdirməyə və küylərə qarşı dayanıqlığını artırmağa imkan verir. İdarəetmə bloku addımlı mühərrikin düz və ya əks istiqamətdə fırlanmasını və fırlanma sürətinin idarə edilməsini təmin edir.



Şəkil 2.4.1. Universal qurğunun struktur sxemi [3, s.26-28]

İdarəetmə bloku mühərrikin dolaqlarını qidalandırmaq üçün yığılmış $\pm 8V$ gərginlik verən mənbədən idarəetmə sxemini qidalandırmaq üçün yığılan $\pm 5V$ gərginlik stabilizatoru blokundan (QB) və idarəetmə sxemindən ibarətdir. İdarəetmə sxemi tezliyi tənzimlənən düzbucaqlı impulsar verən generatorndan (G_{Π}), dairəvi sayğacdən (DC), sxemin sayğac hissəsinin çıxış açarlarından qalvanik ayıran optron açarlarından (OA), mühərrikin uyğun dolaqlarını qoşmaq üçün nəzərdə tutulmuş idarə olunan tranzistor açarlarından (TA) və addımlı mühərrikin (AM) fırlanma istiqamətini dəyişən kommutasiya blokundan (KB) ibarətdir [3, s.26-28].

İdarəetmə blokunun hissələri arasındakı əlaqə və addımlı mühərrikin bloka qoşulma sxemi şəkil 2.4.3-də verilmişdir. U2-8 mikrovoltmetrinin inersiyalı olduğu nəzərə alınıb analizatorun azimutunun fiksə olunmuş ψ_A qiymətləri arasındakı fasilə ~ 15 saniyə tərtibində seçilmişdir. Bu zaman intervalı $I\psi_A$ intensivliyini selektiv gücləndirici vasitəsilə ölçməyə imkan verir. Beləliklə, analizatorun tam bir dövrü ərzində $I_i(\psi_{\Pi}, \psi_A)$ intensivliklərinin 8 qiyməti ölçülür və bir birindən 180° fərqlənən qiymətləri toplanıb ortalaşdırılır. n , k , ρ , Δ parametrlərini və həmçinin dielektrik nüfuzluğunun dioqanal və qeyri-dioqanal komponentlərini hesablamaq üçün ikiölçülü özü yazan maşından istifadə edirik. ρ və Δ ellipsometrik parametrlərin dəqiq təyin edilməsi üçün ölçülən intensivliklərin üzərində müəyyən şərtlər qoyulur [3, s.26-28].

Ölçülən intensivliklər üçün $I_1+I_2=I_3+I_4$ şərti 1-2% xəta ilə ödənməli, I_3/I_4 nisbəti isə (0,5 - 1,5) intervalında olmalıdır. Məhz bu şərtlər daxilində n və k dəqiq təyin edilir və ellipsometrik parametrlər üçün buraxıla bilən qiymətlər alınır [3, s.26-28].

Əgər polarizatorun $\psi_{\Pi} = -\pi/4$ və $\psi_{\Pi} = \pm\pi/4 + \pi$ vəziyyətlərində də ölçü aparılırsa, onda intensivliklər üçün daha səkkiz qiymət almış oluruq ki, bu da optik sabitlərin ortalaşdırılmış qiymətlərini polarizator və analizatorun 4 zonası üzrə hesablamağa imkan verir. Təbii olaraq, belə bir sual meydana çıxır: nə üçün optik sabitlərin polarizator və analizatorun müxtəlif vəziyyətlərinə görə hesablanmış qiymətləri ortalanır?

Məsələ burasındadır ki, polarizə ellipsinin ρ və Δ parametrləri müxtəlif

səbəblərdən yarana bilən sistemətik xətalara qarşı həssasdırlar. Bunlar aşağıdakılardır:

1. Azimutal bucaqların təyini zamanı meydana çıxan xətalər:

Bu xətalər əsasən limblərin nizama salınması, nümunənin yerləşdirilməsi, başqa nümunənin yerləşdirilməsi və başqa nümunə ilə əvəz edilməsi zamanı buraxıla bilən xətalardır.

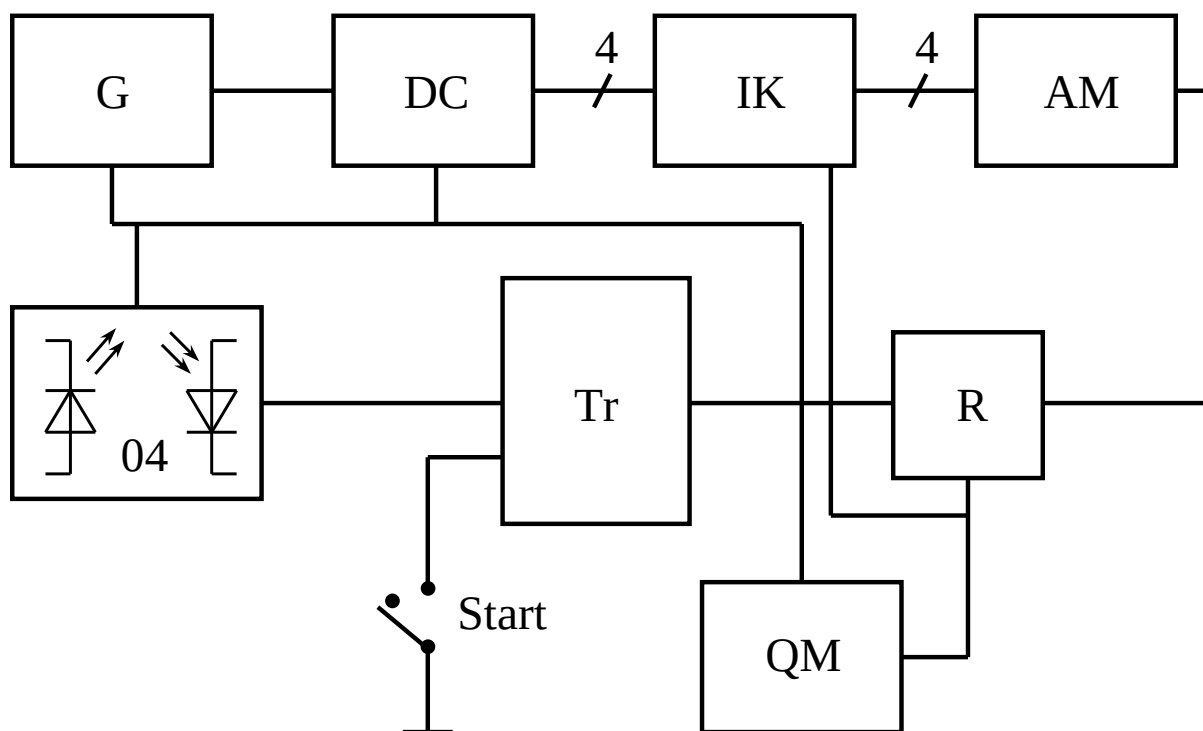
2. Işığın düşmə bucağı ilə əlaqəli xətalər;

İstifadə etdiyimiz Qlan-Tomson polyarizatorları üçün işığın polyarlaşma dərəcəsi 10^4 idi və bu xətalər nəzərə alınmaya bilər. Işığın düşmə bucağının ölçülməsindəki xətalər düşən şüanın fərqliliyi və nümunənin mərkəzləşməsindəki qeyri-dəqiqlik ilə müəyyən edildi. Işığın düşmə bucağını təyin edərkən xətalər 0.5^0 -dən çox olmamışdır [3, s.26-28].

3. Işıq signalının meyli ilə əlaqəli olan optik parametrlərin azimutları müxtəlif zonalarda dəyişir. Bu da zonalar arasında uyğunsuzluğa gətirir. Bu təsir zonalarda ortalaşdırma vaxtı nəzərə alınmalıdır [3, s.26-28].

4. Temperatur xətası əsasən qeyri bərabər isitmə (və ya soyudulma) ilə əlaqədardır. Buna görə də termocütün temperaturu nümunənin öyrənilən səthinin temperaturundan fərqlənə bilər. Bu xətdə əhəmiyyətli artımın qarşısını almaq üçün nümunə temperaturu stabilləşdirilmişdir. Buna baxmayaraq, xəta ümumi ölçmələrin xətasını 10% - dən çox olmadığını hesab etmək olar.

5. Polyarizatorda və analizatorda yaranan xətalər işığın polyarlaşması zamanı xəttilikdən kənara çıxmasıdır. Ölçmələrdə tədqiq olunan işıq mənbəyi kvazimonoxramtik olduğu üçün işıq mənbələrinin konkret enə malik spektral zolaqlı olduğunu göstərir. Ona görə də nümunənin optik və maqnitooptik parametrləri təyin edlirən işıq signalını spektral enə malik ortalaşdırılmış parametr kimi təsəvvür etmək olar [3, s.26-28].



Şəkil 2.4.2. Analizatoru idarəetmə blokunun quruluş sxemi. G-düzbucaqlı impuls generatoru; DC-dairəvi sayğac; İG-impuls gücləndiricisi; OC-optron cütü; Tr- triqger; R-rele; AM-addımlı mühərrik ŞDA-7; QM-qida mənbəyi [3, s.26-28].

6. Işığın və p-komponentinin şüanın qeyri-xromatikliyinin təyin edilməsində yaranan xətalara göstərmək olar. Elektromaqnitin işləməsi üçün İG impuls gücləndiricisindən istifadə olunur. İG-nin əsasında tranzistor açarı durur. G_{Π} - generatorundan çıxan impulslar periodik şəkildə tranzistorun açarının açılmasını və bağlanmasını idarə edir. Belə ki, bu əsasən 70÷80 Hs tezliyə malik elektromaqnitin qoşulmasını təmin edir. Bunun nəticəsində işıq seli maqnit sahəsində modulyasiya edir. Belə ki, dəyişən cərəyan işıq signalı U_{2-8} mikrovoltmetr, İG ilə gücləndirilir və faza vericisi ilə düzləndirilir. Düzləndirilən işıq signalı Bölmə blokunun girişinə verilir. Sabit cərəyan signalı isə SCG ilə gücləndirilir və BB –nın bölən hissəsinin girişinə daxil olur (şəkil 2.4.4). B2-9 –çıxışında siqnallar bölmə blokunun girişinə verilir, bu da δ -ın qiymətini təyin etməyə imkan verir. Bölmə blokunun δ qiyməti özü yazan ikikoordinatlı maşınının ikinci girişinə elektromaqnit arasına maqnit sahəsinin təsiri ilə mütənasib gərginlik tətbiq olunur. Maqnit sahəsi Holl sensoru ilə təyin olunur. Maqnitlənmə əyriləri və histerzis nümunələri Ekvatorial Kerr effekti şəkil 2.4.1-də göstərilən qurğuda ölçülmüşdür. EKE halında xarici maqnit sahəsi işığın düşmə müstəvisinə perpendikulyar və nümunənin səthinə paraleldir. Qiroelektrik mühitlər üçün p-komponentindəki EKE kəmiyyəti ən azından s komponentindən daha böyükdür (düşən dalğanın E vektoru müvafiq olaraq işığın düşmə müstəvisinə paralel və perpendikulyardır). Səs-küy və qəbul etmə səviyyəsi s - komponentindəki maqnitooptik signalın qiymətindən hesablanmışdır. Ölçmələr, signal səs-küy nisbəti ən azı 100 olduqda həyata keçirilir [3, s.26-28].

Histerezis ilqəkləri xarici maqnit sahəsindəki dövrü (+H-dan –H-a qədər və ya –H-dan +H-a qədər), maqnitlənmə əyriləri isə sıfırdan, H-ə qədər dəyişən H sahəsi ilə ölçülmüşdür. Burada H_s -nümunənin doyma maqnitlənməsidir və $H \gg H_s$ –dir.

Aparılan araşdırmalarda $\delta H_s / \delta_s \sim M(H) / M_s$ asılılığı ölçülmüş, $M = M_s$ olduqda δ_s -in qiyməti EKE – nin qiymətinə bərabər olur. M_s - nümunənin doyma maqnitlənməsidir. $\delta(W, L / \delta_s) \sim M(W, L) / M_s$ (burada W və L uyğun olaraq eninə və uzununa boyunca ölçülmüş koordinatlardır) asılılıqları xarici maqnit sahəsinin sabit

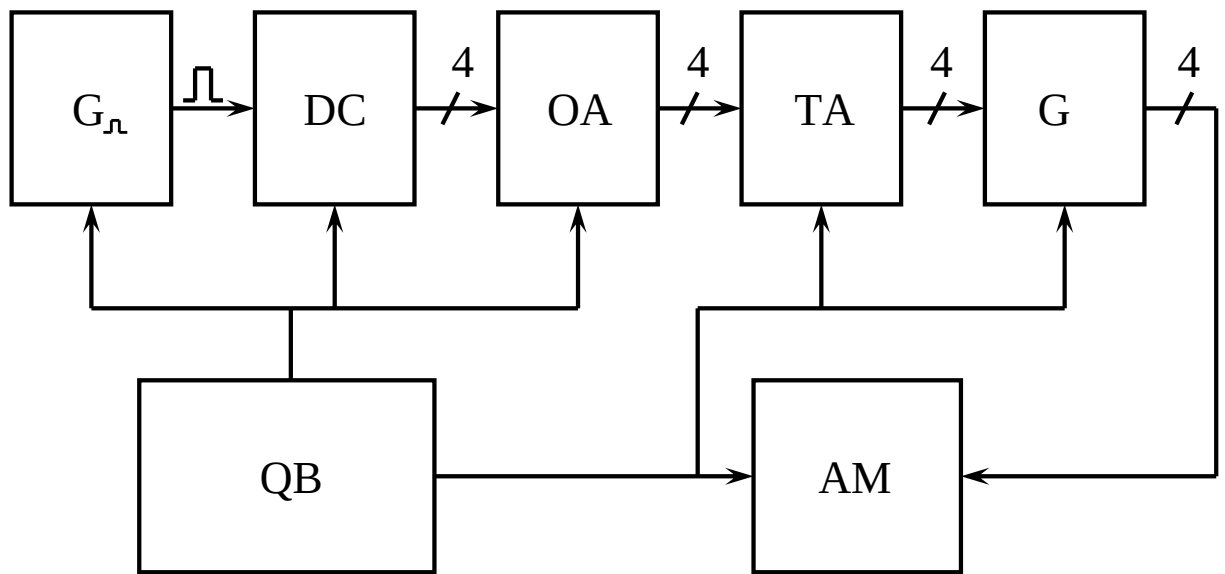
qiymətlərində ölçülmüşdür. Əslində bu ölçmələr nümunənin səthə yaxın mikromaqnit quruluşunda maqnitlənmənin paylanması haqqında məlumat əldə etməyə imkan verir. İstifadə etdiyimiz maqnitooptik qurğunun əsas texniki parametrləri aşağıdakılardır [3, s.26-28]:

1. Maqnitlənmiş nümunədən əks olunan işığın intensivliyində qeydə alınan nisbi dəyişikliyin minimum qiyməti 5×10^5 ;
2. Dəyişən maqnitooptik siqnalla 20 ilə 30000 Hs aralığında ölçülür.

2.5. Universal qurğunun nizama salınması

Əvvəlcə polyarizator və analizator yerləşən relslərdən qurğunun optik elementləri çıxarılır. Polyarizator olan relsin sonuna diaqfraqma qoymaqla, işıq mənbəyinin vəziyyəti yoxlanılır. Əgər işıq polyarizatorun oxu boyunca yayılırsa, onda diaqfraqmadan keçən işıq diaqfraqmanın aperturasını kiçildən zaman sönməlidir [3, s.26-28]. Polyarizator və analizatorun oxlarının paralelliyi yoxlanılır. Bunun üçün hər iki çıxışa diafraqma qoyulur. Əgər hər iki ox paraleldirsə, işıq hər iki diafraqmadan keçir və bunu vizual olaraq müşahidə edirik. Bundan başqa hesab etmək olar ki, hər iki ox bir müstəvi üzərində yerləşir. Bu zaman polyarizator və analizatorun oxları nümunə yerləşdirilən stolun mərkəzi oxu ilə eyni nöqtədə kəsişməlidir. Bunu yoxlamaq üçün nümunə tutqaca yapışdırılır, onun səthinə müəyyən bucaq altında işıq şüaları göndərilir və əks olunan işıq boyunca analizatorun yerləşdiyi rels döndərilir. Bu zaman analizatordan keçən işıq diafraqmanın mərkəzinə düşməlidir. Bu proses bir-birindən fərqlənən müxtəlif düşmə bucaqları üçün yerinə yetirilir və o zamana qədər davam etdirilir ki, stolun fırlandırılması zamanı işıq şüaları nümunənin səthi boyunca sürüşməsin. Sonra düşmə müstəvisinin təyin edilməsi prosesi yerinə yetirilir. Bunun üçün analizator yerləşən relsdən fotoqəbuledicidən başqa bütün elementləri götürürük [3, s.26-28].

Sındırma əmsalı məlum olan dielektriki tutqaca yapışdırıb üzərinə Brüster



Şəkil 2.4.3. Monoxromatorun idarə bloğunun quruluş sxemi

bucağı altında ($\psi_b = \arctgn$) işıq şüaları salırıq. Polyarizatoru fırladaraq əks olunan işığın tam yox olmasına nail oluruq. Bu minimum signal selektiv gücləndiricinin ən həssas şkalasında müşahidə olunur və polyarizatorun ψ_p azimutu birinci yaxınlaşmada təyin edilir. Sonra dielektrik götürülür və polyarizator-analizator sistemi üçün polyarizatorun ψ_p azimutunu dəyişmədən analizatoru fırlatmaqla onun çıxışında işığın tam yox olmasına nail olunur və analizatorun ψ_A azimutunu təyin edirik [3, s.26-28]. Analizatorun qeyd olunmuş ψ_A qiymətində polyarizatorun azimutuna yaxın qiymətlərində bir neçə ölçmə apararaq ($\psi_A - 90^0$)-nin ψ_p -dən və əksinə ψ_p -nin fiksə olunmuş qiymətində ($\psi_p + 90^0$)-nin ψ_A -dan asılılığını təyin edirik. Hər iki asılılıq düzxətli olur və bu iki düz xəttin kəsişmə nöqtəsi bütün mümkün olan minumumların ən dərinidir. Bundan sonra analizatorun fırlanması zamanı hər 45^0 -dən bir işıq siqnallarını yoxlayırıq. Bu siqnallar hər 180^0 -dən bir təkrar olunmalıdır. Sonra yenidən tutqaca yapışdırılmış nümunə optik stolda yerləşdirilərək onun üzərinə ixtiyari bucaq altında işıq şüaları göndərilir. Nümunədən əks olunan siqnallar 180^0 -dən bir yoxlanılır. Bu siqnallar da eyni olmalıdır. Əgər bu siqnallar fərqlənərsə, onda nümunənin vəziyyətini yenidən yoxlamaq lazımdır. Nümunədən əks olunmuş işıq analizatorun mərkəzinə düşməli və meyl etmədən mərkəzdən də çıxmaldır. Əgər nümunə düşən və əks olunan işığın kəsişmə mərkəzində durursa, onda əks olunmuş işıq analizatorun mərkəzindən çıxır və düşmə bucağından asılı olmur. Bu göstərilən əməliyyatlar yerinə yetirildikdən sonra elə hesab etmək olar ki, qurğu optik və maqnitooptik parametrləri təyin etmək üçün hazırdır və ölçülən kəmiyyətlər həqiqətə uyğundur [3, s.26-28].

2.6. Amorf nümunələrin hazırlanma texnologiyası

Dissertasiya işində tədqiqatlar aparmaq məqsədilə nümunələrin alınması texnologiyası işlənilib hazırlanmışdır [1, s.79-83]. Amorf strukturda metallik şüşələrin alınmasının bir çox üsulu olsa da bunların içində ən əlverişli metod maye haldan

tablama metodudur. Amorf lenti almaq üçün istilikötürmə əmsalı daha böyük olan materiallar lazım gəlir. Bunun üçün əlverişli material kimi misdən istifadə olunur [1, s.79-83]. Amorf lenti almaq üçün işlənəcək texnologiyada ilk öncə barabanın hazırlanması əsas yer tutur. Bunun üçün, (şəkil 2.6.1) diametri 250 mm, divarının qalınlığı 6 mm olan mis boru götürərək, daxilindən soyumanı təmin etmək üçün içərisi yarıya qədər deşik olan 60 mm diametrində val daxil edilmişdir [32, s. 136-143].

Mis borunun divarının qalın olması sonrakı emal prosesində barabanın simmetrikliliyini təmin etmək üçün imkanları artırır. Barabanın içərisinə daxil edilmiş valın içərisi barabanın eninin $1/3$ hissəsi qədər deşik olur [70, s. 129 – 138]. Barabanın maye metal tökülən istiqamətində valdan barabanın daxili səthinə qədər dörd ədəd bir-birinə 90^0 bucaq altında, diametri 7 mm olan borular birləşdirilir. Bu borular proses zamanı kritik soyuma sürətini almaq üçün su ilə soyumanı təmin etmək məqsədi ilə nəzərdə tutulmuşdur [1, s.79-83]. Birləşdirilmiş borulardan valın üzərində açılmış 8 ədəd dəlik vastəsi ilə daxil olan su sonradan xaric ola bilər. Bundan sonar barabanın kənarları qapanır və tokar dəzgahında qeyri-simmetrikliliyi aradan qaldırılır. Bu yonulma nəticəsində barabanın qalınlığı bir qədər azalır [143, s 2543, 88 s.718-734].

Barabanın səthi boyunca mümkün qədər böyük olan dəliklər açılır. Bu proses barabanın daxili səthinin su ilə təmasda olmasını təmin edir. Mis soyuducunun səthi bir neçə proses keçməklə cilalanır və pardaxlanır. Nəticədə baraban üzərinə tökülən maye metal bərkidikdən sonra asan qopa bilər. Baraban qayış ötürməsi ilə elektrik mühərrikinə birləşdirilir. Mühərrikin sürətini dəyişməklə barabana müxtəlif fırlanma sürətləri vermək mümkündür [48, s. 136-143]. Amorf lent alınan zaman daha yüksək sürətlə soyuma amorf lentlərdə elastik gərilmələr yaradır. Bu amorf maqnitiumşaq materialların xassələrindəki maqnitoelastiki anizotropiyanın yaranmasında ortaya çıxarır [46, s.1398-1399].

Deyilənləri nəzərə almaqla soyuma sürətini belə ifadə etmək olar:

$$R = \varphi \frac{\chi(T_l - T_0)}{C_p \rho h} \quad (2.6.1)$$

Burda χ -istilikkeçirmə əmsalı, T_l – maye metalın, T_0 – soyuducunun temperaturu, C_p – maye ərintinin xüsusi istilik tutumu, ρ – mayenin sıxlığı, h – lentin qalınlığıdır. Ərinti sabit tərkibdə olduqda T_l və T_0 sabitdir. Soyuma sürəti, istilikötürmə əmsalı ilə düz mütənasib olub, alınan lentin qalınlığı ilə tərs mütənasibdir [32, s. 136-143].

Ucluqdan çıxan mayenin miqdarı aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$Q = \pi^2 a v \quad (2.6.2)$$

burada a - maye şırnağının radiusudur.

Beləliklə, istilikkeçirmə və bərkimə cəbhəsinin yaranması prosesləri bir-biri ilə əlaqədardır. Bu halda aşağıdakı iki münasibət ödənilir:

1. İstilikkeçirmə prosesi daha üstünlüyə malikdir. İstiliyin ayrılma prosesi ərintinin axma sürətindən daha sürətlə gedir ki, nəticə olaraq bərkimiş formada lent alınır və lent dartılmış olur. Belə ki, bərkiyən hissə soyuducu baraban üzərində alınan ərintinin üst hissəsində müşahidə olunur [32, s. 78-136].
2. İkinci halda maye ərintinin hərəkət sürəti istiliyin ötürülməsi prosesindən tez baş verir, bərkimə cəbhəsi isə soyuducudan kənarda yerləşir [46, s.1398-1399]:

Amorf ərintilərin hazırlanması zamanı hansı prosesin üstünlük təşkil etdiyini aydınlaşdırmaq. Əgər ərintinin temperaturu T_l və soyuducunun yerdəyişmə sürəti v sabitdirsə, Prandtl kriteriyasına əsasən [46, s.1398-1399]:

$$P_r = \frac{C_p \eta}{k} \quad (2.6.2)$$

Burada k - istilik keçirmə, η - özülülük əmsalıdır.

Prandtl qanununa əsasən birinci prosesdə alınan ərintinin qalınlığını l_T , ikinci prosesdə isə l_M qəbul etsək [31, s.1398-1399]:

$$P_r = \left(\frac{l_T}{l_M} \right)^{-2} \quad (2.6.3)$$

kimi təyin edilir. Amorf maqnetiklərdə l_T/l_M nisbətinin qiyməti təxminən olaraq 3 və ya 4 olduğu güman edilir. Buradan istilik ötürmə prosesinin daha üstün olduğu qanaətinə gəlmək olur.

Radiusu a olan dairəvi şəkildə olan deşikdən eni d və qalınlığı l olan maye axının dartılması prosesində istilik ötürmənin birinci prosesi reallaşarsa (2.6.4) münasibəti ödənilir.

$$Q = l dv \quad (2.6.4)$$

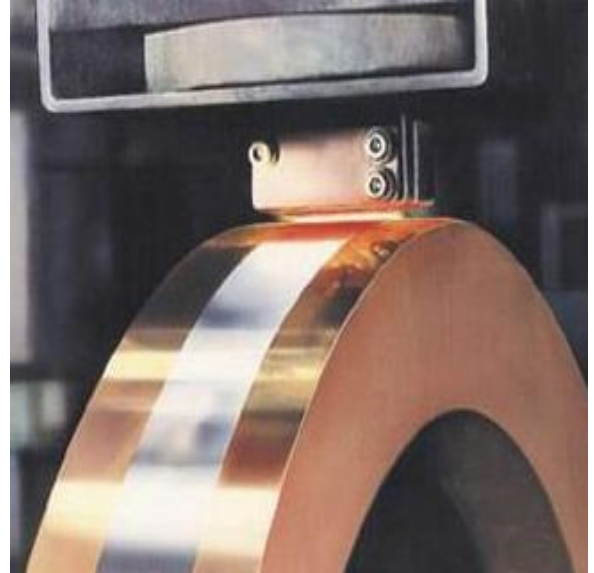
Alınan amorf lent şəkil 2.6.2-də göstərilmişdir.

Amorf lentin termik emalı prosesində oksidlənmənin qarşısını almaq üçün əridilmə təsirsiz qaz atmosferində və ya vakuumba aparılır [1, s.79-83]. Nəticədə, amorf lentləri eni ~ 1 mm ilə 100 mm arasında, qalınlığı $1 \mu\text{m}$ ilə $300 \mu\text{m}$ arasında və müxtəlif uzunluqda hazırlamaq olur [19, s.1441-1443]. Dissertasiya işində CoFeSiB tərkibli amorf lentlərin rəngən tədqiqatlarının nəticələri lentlərin amorf halında olduğunu göstərdi [46, s.136-143]. Lentin maqnitostriksiyası sabiti $\lambda \sim 10^{-6}$ -dır.

2.6.1. Tədqiqat işində istifadə olunan materiallar

Ərintilərin emalında ilkin xam maddələr kimi FeSi, Fe, Co və B-dan istifadə olunmuşdur. Tədqiqatda həmçinin FeSi birləşməsindən istifadə olunmuşdur. FeSi ərintisini almaq üçün elektroqövş sobasından istifadə olunur. Tədqiqat işində istifadə olunan Fe, Co, B elementləri Almaniyanın Sigma Aldrich şirkətindən alınmışdır. Co, Fe, Si və B tərkibli maddələr 0.3 mm tərtibində kiçik hissəciklərə xırdalanmışdır. Xırdalandıqdan sonra YIII-60-2 induksiya sobası vasitəsilə arqon mühitində əridilmişdir. Alınmış ərinti fırlanan soyuducu barabanın üzərindən axaraq CoFe əsaslı

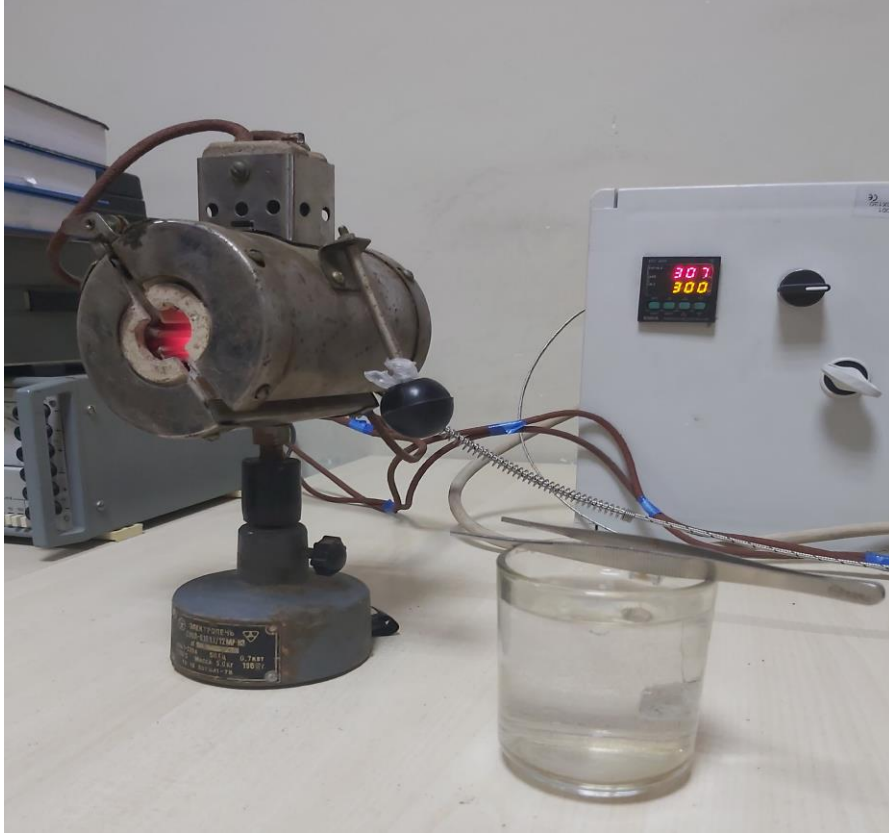
amorflent alınmışdır [28, s.136-143]. Nümunələrin tab alınması $T=1200^{\circ}\text{C}$ -yə qədər qızdırıla bilinən CYOJI-0,15,1,1./12MP-H3 elektrik sobasında aparılmışdır (şəkil.2.6.3.).



Şəkil 2.6.1. Amorf quruluşlu lentlərin alınma qurğusu



Şəkil 2.6.2. Alınan amorf lentlər



Şəkil 2.6.3.Amorf lentin tab alınması üçün qurğu

III FƏSİL. CoFe ƏSASLI AMORF MAQNİTYUMŞAQ ƏRİNTİLƏRİN MAQNİT XASSƏLƏRİ

3.1. Kobalt əsaslı amorf maqnityumşaq ərintilər

Aparılan dissertasiya işinin məqsədi amorf $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ ərintisinin lent nümunəsində maqnit və maqnitooptik hadisələrin təbiətinin müəyyənləşdirmək və alınan nəticələr əsasında tətbiqlər üçün konkret təkliflər verməkdir [7, s.191-195]. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf lentlərini tablama yolu ilə almışıq. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ tərkibli amorf lent aldıqdan sonra 300°C temperaturda zəif maqnit sahəsində (aşağı kristallaşma temperaturunda) vakuumda və havada lent üzərində termik emal edilmişdir. Tədqiq etdiyimiz amorf lentin uzunluğu 7 sm, qalınlığı 20 mkm, eni isə 2 mm tərtibində olmuşdur [1, s.79-83]. Termiki işlənmədə maqnit sahəsi nümunənin uzunluğu boyunca 50 mE-dən 15 E-ə qədər dəyişir [7, s.191-195].

Amorf materialın maqnit xarakteristikalarına maqnitlənmə, maqnit nüfuzluğu, maqnit strukturu və s. aiddir. Ferromaqnit materiallar və onlar əsasında alınmış amorf ərintilərin tədqiqi zamanı isə maqnit induksiyasının, maqnitlənmənin, maqnit sahəsinin intensivliyinin, koersitiv qüvvənin qiymətinin, maqnitlənmə zamanı alınan histerzis itkilərinin müəyyən olunması əsas məsələlərdəndir [7, s.191-195].

$(\text{CoFe})_{81}\text{Si}_7\text{B}_{12}$ ($\lambda \sim 30 \cdot 10^{-6}$) və $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ ($\lambda \sim 0$) tərkibli amorf ərintilərin yenidənmaqnitlənmə proseslərinin tədqiqi zamanı aşkar edilmişdir ki, onları doymaya qədər maqnitləndirmək üçün koersitiv qüvvə H_c ilə müqayisədə daha yüksək maqnit sahəsi lazımdır. Hər iki ərinti üçün histerezis ilgəyi keyfiyyətcə oxşardır. Onlar böyük dispersiyalı maqnitlənməyə malik nazik maqnit təbəqələrdə müşahidə edilənlərə analogidir. Lent müstəvisində nüvə maqnit rezonansının köməyi ilə təyin edilən maqnitlənmənin istiqamətlənmədən böyük kənara çıxmasını (20 dərəcədən böyük) bu cür quruluşun mövcud olma mümkünlüyünün təsdiqi kimi göstərmək olar. Maqnitlənmənin müşahidə edilən xüsusiyyətlərinin varlığı, maqnit anizotropiyanın və lentin oxu boyunca onun dispersiyasının olması ilə əlaqədardır [7, s.191-195].

Maqnitlənmənin lent müstəvisindən çıxmasının nüvə qamma rezonansının köməyi ilə təyin edilən orta bucağı bütün nümunələr üçün 50 dərəcə olmuşdur. Termomaqnit emal nəticəsində bu bucaq dəyişməmişdir, lakin emal doyma sahəsinin azalmasına (2,6 kE-dən 1,5 kE qədər) səbəb olmuşdur. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ ərintisində borun miqdarı 8 % -dən 12 % -ə qədər dəyişmişdir [7, s.191-195]. Bu zaman kristallaşma temperaturu T_{kr} 455 °C-dən 530 °C-ə qədər artmışdır. Borun miqdarının göstərilən intervalda dəyişməsi zamanı Küri temperaturu T_c 418-dən 214 °C-ə qədər kəskin düşür və 2500 A/m sahədə çəkilmiş B_s doyma induksiyaşına yaxın B_{2500} induksiya 0,87 Tl-dan 0,58 Tl-ya qədər azalır [7, s.191-195]. Bu xassələrin borun miqdarından kəskin asılılığı bu ərintilər sistemində müşahidə edilən maqnit xassələrinin rəngarəngliyinə gətirir. Borun miqdarının az olduğu tərkib oblastında Küri temperaturu və doyma induksiyaş daha yüksəkdir. 300 °C temperaturda sabit sahədə tab alma zamanı yüksək maqnit nüfuzluqlu ($\mu \sim 10^6$) və yüksək qalıq induksiya ($B_r/B_m \sim 0.98$) düzbucaqlı histerezis ilgəyi yaranır. Bu maksimal anizotropiya sabitinin (K) gətirilməsi ilə əlaqədardır. Yenidənmaqnitlənmə bir və ya bir neçə sıçrayışla həyata keçirilir ki, bu da elektromaqnit itkilərinin əhəmiyyətli dərəcədə artmasına səbəb olur. Gətirilmiş anizotropiyanın meydana gəlməsi domen sərhədlərinin stabilləşməsinə səbəb olur, buna görə də bu cür tab almadan sonra koersitiv qüvvə artır. Ən böyük koersitiv qüvvə sahə olmadan aparılan tab almadan sonra alınır. Soyuma zamanı əmələ gələn spontan anizotropiya, konsentrasiya qeyri-bircinsliklərinin maqnit momentlərinin səmtlənmədən lokal meylini fiksə edir və domen sərhədləri stabilləşir [7, s.191-195]. Dəyişən sahədə tab alma qiymətcə ən kiçik biroxlu anizotropiyaya gətirir ki, bu da domen sərhədlərini destabilləşdirir. Koersitiv qüvvə, yenidənmaqnitlənmə itkiləri və maksimal maqnit nüfuzluğu azalır, başlanğıc maqnit nüfuzluğu isə artır. Nümunənin yenidənmaqnitlənməsi daha səlis, domen sərhədlərinin hərəkəti sıçrayış olmadan baş verir, maqnit itkiləri azalır. Dəyişən maqnit sahəsində soyuma sürətini artırıdıda, anizotropiya sabitinin azalması və sərhədlərin destabilləşməsi itkilərin daha çox azalmasına və başlanğıc μ_0 və maksimal μ_{max} maqnit nüfuzluqlarının daha da artmasına gətirir (cədvəl 3.1.1) [7,

s.191-195].

Maqnit itkilərinin ən əhəmiyyətli azalması dəyişən maqnit sahəsində suda tablamadan sonra müşahidə edilir. Tablama zamanı tablama gərginliklərinin meydana gəlməsi ilə əlaqədar olaraq domen quruluşunun xırdalanmasına gətirən böyük olmayan lokal maqnitoelastiki anizotropiya yaranır (cədvəl 3.1.2). 6000 dərəcə/dəqiqə sürəti ilə soyuma və suda tablama praktiki olaraq eyni nəticələrə gətirir [7, s.191-195].

Şəkil 3.1.1-də müxtəlif termik emaldan sonra tədqiq edilən nümunələrin histerezis ilgəkləri təsvir edilmişdir. Göründüyü kimi, yavaş ($300\text{ }^{\circ}\text{C/saat}$) sürətlə soyuma ilə $TM_{maq}E$ koersitiv qüvvənin azalmasına, histerezis ilgəyinin düzbucaqlılığının artmasına və sahə olmadan soyuma ilə müqayisədə maksimal sahədə daha böyük induksiyanın əldə edilməsinə gətirir. Maqnit sahəsi olmadan suda tablama düzbucaqlılıq əmsalı $B_r/B_m=0,35$ olan dairəvi histerezis ilgəyini və $H_c=0,4\text{ A/m}$ kimi kiçik koersitiv qüvvəni formalaşdırır. Dəyişən maqnit sahəsində tablama yüksək düzbucaqlılığa ($B_r/B_m=0,94$) malik histerezis ilgəyinə, başlanğıc və maksimal maqnit nüfuzluqluğunun ən böyük qiymətinə, kiçik $H_c=0,4\text{ A/m}$ koersitiv qüvvəyə gətirir. Qeyd etmək lazımdır ki, TME zamanı maqnit sahəsi intensivliyinin 2400 A/m -dən (30 E) aşağı azalması histerezis ilgəyinin düzbucaqlılığının azalmasına səbəb olur [7, s.191-195].

Suda tablama etdikdə böyük kütləli toroid şəkilli amorf nümunələr üçün və ya karkaslarda böyük soyuma sürətini təmin etmək çətindir. Buna görə də termomaqnit emalın fərqli üsulu tətbiq edilmişdir. Belə bir ideya ona əsaslanmışdır ki, 50 kHs -dən yüksək tezliklərdə amorf lentlərin yenidənmaqnitlənməsi zamanı itkilərin burulğanlı cərəyanlar toplananı praktiki olaraq klassik qiymətinə bərabərdir. Buradan belə nəticə çıxartmaq olar ki, bu cür tezliklərdə domen quruluşunun elə güclü xırdalanması baş verir ki, mikroblastlarda yenidənmaqnitlənmə maqnitlənmə vektorunun qeyri-bircins fırlanması yolu ilə həyata keçirilir. Əgər belə yenidənmaqnitlənmə zamanı nümunədə tab alma aparsaq, gözləmək olar ki, fırlanan maqnit sahəsində olduğu kimi anizotropiya yaranmayacaq, domen sərhədlərinin destabilləşməsi isə

Cədvəl 3.1.1 [7 s.191-195]

Dərəcə/dəq	μ_0	$\mu_{\max}$	H_c , A/m	B_r/B_m	$P_{0,5/400}$	$P_{0,2/20\,000}$
5	7000	600 000	0,8	0,97	0,47	20,0
100	15 000	850 000	0,6	0,96	0,35	15,7
6000	55 000	1 250 000	0,4	0,94	0,23	8,5

$P_{0,5/400}$ - 400 Hs tezlikdə və $B_m=0,5$ Tl-də itki (Vt/kq)

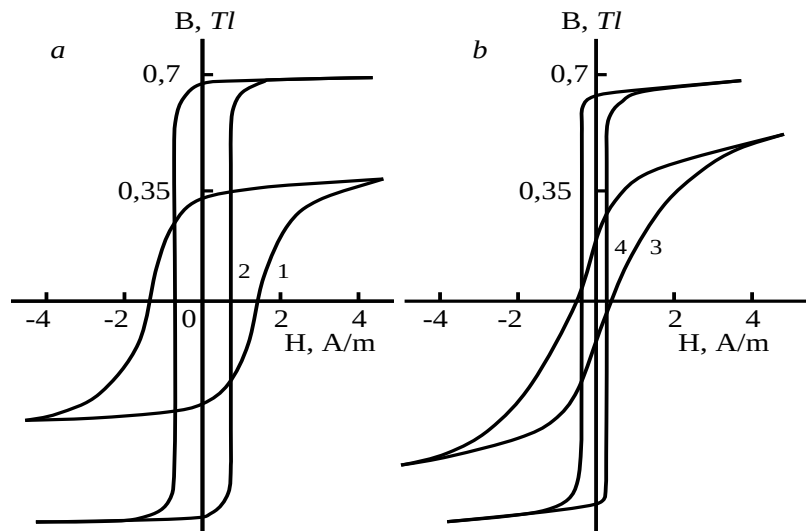
$P_{0,2/20\,000}$ -20 kHs tezlikdə və $B_m=0,2$ Tl-də itki.

Cədvəl 3.1.2 [7, s.191-195]

Emal	μ_0	$\mu_{\max}$	H_c , A/m	B_r Tl	B_r/B_m
$H_{\sim}$ (yav.soyuma)TME	6000	520 000	0,8	0,69	0,98
Suda tablama	12 000	125 000	0,4	0,21	0,98
Suda tablama $H_{\sim}$	50 000	1 250 000	0,4	0,66	0,94

Cədvəl 3.1.3 [7, s.191-195]

TME	μ_0	$P_{0,2/20\,000}$ Vt/kq	$P_{0,5/20\,000}$ Vt/kq
80 kHs sahədə	38 000	9,8	25
Sabit sahədə	5800	29,0	72



Şəkil 3.1.1 $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf ərinti nümunəsinin statik histerezis ilgəyi: 1-300 °C-də tab alma, sahə olmadan yavaş soyudulma (a); 2-dəyişən sahədə $H_{\sim}$ yavaş soyudulma ilə TME (a); 3-410 °C-dən suda tablama (b); 4-dəyişən sahədə $H_{\sim}$ suda tablama (b) [7, s.191-195] .

baş verəcəkdir (cədvəl 3.1.3) [7, s.191-195]. Borun miqdarı ($x > 10$) yüksək olan ərintilər üçün gətirilmiş maqnit anizotropiya yoxdur. Belə ki, Kuri nöqtəsi aşağıdır və buna görə də həm uzununa, həm eninə, həm də sahə olmadan aparılan tab almalar eyni nəticəyə gətirir.

3.2. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf maqniyumşaq lentinin maqnit quruluşunun tədqiqi

CoFe əsaslı amorf metalliklərin maqnit xassələri amorf materialların quruluşundan, homogenləşmə dərəcəsiindən və domen strukturunun xassələrindən asılı olur. CoFe əsaslı amorf maqnetiklərin strukturunu dəyişərək, onların maqnit xüsusiyyətlərini tənzimləmək mümkündür. Materialın amorf quruluşunu tədqiq etmək üçün rengen üsulundan istifadə edilmişdir [7, s.68-71].

Şəkil 3.2.1-də $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ maqnetiklərin müxtəlif quruluş halları üçün (maqnit sahəsi olmadan lentin tab əksiltməsi, maqnetik ərintinin tablama zamanı, yüksək tezliyi ($f=80\text{Hz}$) olan sahədə lentin termomaqnit emalı və sabit maqnit sahəsində lentin termomaqnit emalı) histerezis əyriləri qurulub [7, s.68-71].

Tədqiqat nəticələrindən müşahidə edilir ki, maqnit itkiləri, histerezis əyrilərinin forması və tədqiq etdiyimiz materialın maqnit nüfuzluğu termik emaldan asılı olur. Sabit maqnit sahəsində termomaqnit emalından sonra histerezis ilgəyinin sahə oxuna paralel oxun sürüşdüünün müşahidə olunması amorf metallik materialın səthində yaranan mikrokristallik koersitiv qüvvəsi yüksək olan ayrılmalardan olması ilə əlaqədar olur. Amorf metalliklərin maqnitlənmə istiqaməti maqnit sahəsində termomaqnit emal edərkən maqnit sahənin istiqaməti ilə müəyyən edilir [7, s.68-71].

Aşkar etdiyimiz quruluş tədqiqatları da qeyd etdiyimiz xüsusiyyətləri təsdiq edir. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf lentlərin quruluş tədqiqləri müəyyən etdi ki, sabit maqnit sahəsi olanda, 300°C temperaturda (termik emal etdikdən sonra) amorf materialın matrisası halında α -Co tərkibli dispers olan klasterlər yaranır. Şəkil 3.2.2. a-da termik emal edildikdən sonra yaranan şəffaf olmayan və şəffaf nöqtələr formasında

klasterlər işıqlandığını müşahidə edirik. Belə ki, mikrodifraksiya mənzərəsi halında, daxili halqa müşahidə edilmiş, 380 °C temperaturun sabit maqnit sahəsində termik emal edildikdən sonra amorf metalliklərin quruluşunda temperaturun aşağı qiymətində lenti tabəksetmə etdikdə müşahidə etmədiyimiz təxmini ölçüsü 5 nm-dən kiçik olan Co_2Si və Fe_3Si amorf fazaların dispers ayrılımları yaranır (şəkil 3.2.2 b). Tədqiq olunan fazaların xassələri materialın dispers ayrılımlarının zəncirlərə düzülüşü ilə əlaqəlidir [7, s.68-71].

Tədqiq olunan amorf nümunələrin quruluş tədqiqləri belə bir nəticəyə gətirir ki, $(CoFe)_{75}Si_{10}B_{15}$ amorf ərintilərinə histerezis ilgəyinin sürüşməsi, nümunələrin termik emal etdikdən sonra maqnitlənmə istiqaməti ilə müəyyən olunan, çox yüksək koersitiv qüvvəli dispers olan fazanın ayrılma hissələri ilə əlaqəlidir [7, s.68-71].

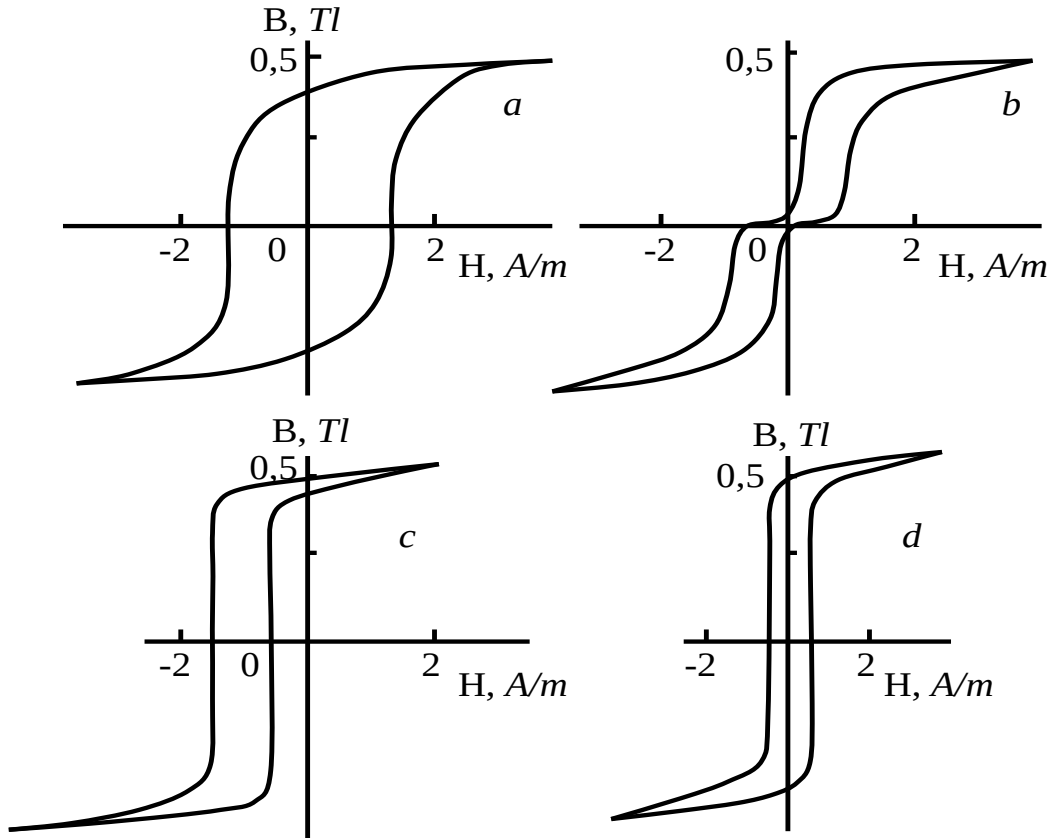
Sabit maqnit sahəsində termomaqnit emalı etdikdən sonra B_s selin amplitud əyrilərinin ossilqrafın köməyi ilə bir neçə kritik olan sahələrin ilkin oblastları müəyyən edilir və sahə istiqamətində sürüşmə müşahidə edilir [7, s.68-71].

Aşkar olunmuşdur ki, amorf maqnetiklər sabit sahədə termomaqnit emal edildikdə maqnit sahəsi amorf maqnetik materialların şüşələşməsinin başlanğıc mərhələlərində quruluş yaranma proseslərinə təsir edir. Müəyyən olunmuş şüşələşmiş amorf materialların incə strukturunun xassələri və sahənin təsiri ilə histerezis əyrilərinin sürüşməsi arasında əlaqə aşkar olunmuşdur [7, s.68-71].

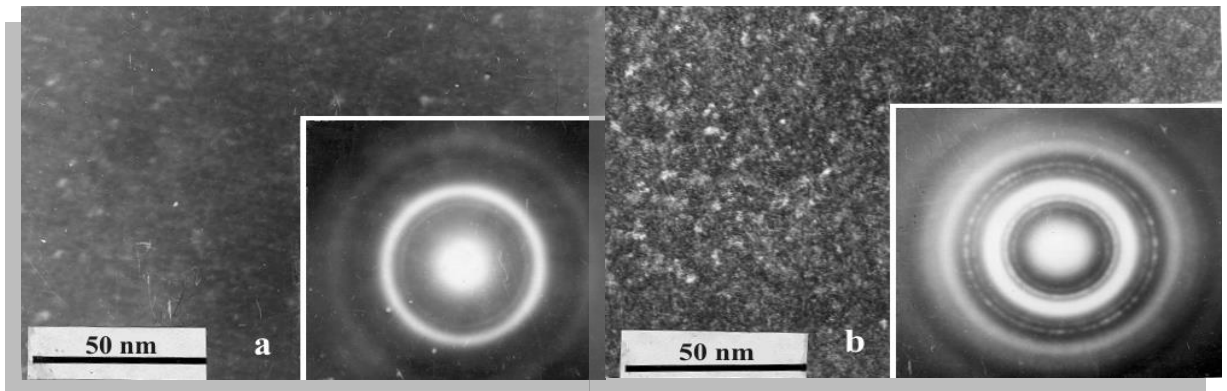
Tədqiq edilmişdir ki, Barkhausen effektinin əsas parametrləri xüsusilə nazik quruluşlu şüşələşmiş amorf lentlərin xassələri ilə korrelyasiya edilir və belə ki, ərintilərin quruluş halını nəzarət etməkdə istifadə oluna bilər [7, s.68-71].

3.3. $(CoFe)_{75}Si_{10}B_{15}$ maqniyumşaq amorf ərintilərdə maqnit itkiləri

Maqniyumşaq amorf materialları yeni tip maqnetiklər hesab edilir. Amorf maqnetiklər kristallik maqnit materiallarla müqayisədə quruluşu ilə, maqnit və fiziki xassələri ilə bir-birindən fərqlənirlər. Amorf maqnetik ərintilərdə atom nizamlılığı olmadığı üçün yaranan kristallik maqnit anizotropiyanın rolu müəyyən səviyyədə aşağı enir və bunun nəticəsində maqnit xassələrinin formalaşmasında



Şəkil 3.2.1. $(CoFe)_{75}Si_{10}B_{15}$ maqnetiklərinin termik emaldan edildikdən sonra histerezis əyrisi: a-sürətli tablama, b-maqnit sahəsi olmadan tabəksiltmə, c-maqnit sahəsi olduqda termomaqnit emal, d-yüksək tezliyə malik sahədə termomaqnit emal. [7, s.68-71].



Şəkil 3.2.2. $(CoFe)_{75}Si_{10}B_{15}$ amorf maqnetik nümunəsinin şəkilləri və termik emal edildikdən sonra mikrodifraksiya mənzərəsi: a- 300°C temperaturda sabit maqnit sahəsində termomaqnit emal; b-380°C temperaturda sabit maqnit sahəsində termomaqnit emal [7, s.68-71].

maqnit-elastiki enerjinin rolu artır. Amorf maqnetik ərintilərin sıxlığı kiçik olduqca bu materiallarda hətta otaq temperaturunda termik emal edərkən diffuziya prosesinin meydana çıxması üçün şərait yaranır. Bu maqnetiklərin yüksək tezliyə malik sənaye qurğularının istehsalında tətbiq edilməsi çox perspektivli sayılır. Belə ki, amorf maqniyumşaq materialların fiziki və maqnit xassələrinin optimallaşdırılması, bu materiallarda gedən proseslərin iş prinsipini öyrənmədən tətbiqi mümkün deyil. Bu səbəbdən amorf maqniyumşaq ərintilər həm tətbiq nöqtəyi nəzərindən, həm də elmi baxımdan tədqiqat üçün səmərəli və maraqlıdır [7, s.68-71].

Əsasən amorf maqnetikləri tərkibi 75-85% (Fe, Co, Ni) olan keçid metallarının tərkibi 15-20% (B, C, Si, P və s.) olan metalloidlər ilə birgə əridildikdə almaq mümkündür. Amorf maqnetiklərdə maqnit olmayan elementlərin də mövcud olması bu maqnetiklərin doyma maqnitlənməsini azaldır. Buna baxmayaraq amorf halın mövcud olması üçün bu zəruridir [7, s.68-71]. Məlumdur ki, amorf maddələr nizamsız maqnetiklərdir və bu maddələrin atom və ionlarında uzağa nizamlılıq müşahidə olunmur [89, s.716-719].

Yuxarıda deyilənləri nəzərə alaraq, yüksək sürətlə termik emal edilmiş amorf maqniyumşaq ərintildən əldə edilmiş lent nümunəsinin maqnit xassələri və fiziki xassələrinin formalaşmasında alınan maqnit-elastiki enerjinin nə dərəcədə rolu olduğunu müəyyən etmək üçün meydana çıxan maqnit itkilərinin induksiya və tezlikdən asılılıqları tədqiq edilmişdir. Tədqiqat məqsədilə müxtəlif lent şəkilli amorf maqniyumşaq materiallardan istifadə olunmuşdur. CoFe əsaslı tədqiq etdiyimiz $(CoFe)_{75}Si_{10}B_{15}$ tərkibli amorf lentinin qalınlığı 25 mkm və eni 100 mm olan nümunələrdən istifadə edilmişdir. Belə ki, yenidən maqnitlənmə zamanı müəyyən olunmuşdur ki, xüsusi maqnit itkiləri tezlikdən asılıdır və 200 Hs tezliyə malik olan materialın tezliyinin 20 Hs-ə qədər aşağı düşməsi onu göstərir ki, tezliyin azalması ilə yaranan maqnit itkiləri azalmır, əksinə olaraq onun artması müşahidə olunur. Amorf maqnetiklərdə yaranan maqnit itkilərinin müşahidə olunan artımı onun dinamik toplananın olması ilə əlaqələndirilə bilər. Aldığımız anomaliyanı domen stukturunun bölünməsi və domen sərhədlərinə müşahidə olunan dinamik əyilmə ilə izah etmək

mümkün deyil, çünki hər ikisi aldığımız asılılığın bu formada özünü aparmasını güman etmir [7, s.68-71].

Yuxarıda dediklərimizi nəzərə alaraq, maqnit itkilərində yaranan anomaliyanın izah olunması üçün yenidən maqnitlənmənin anomaliyaların yaranmasında təsiri tədqiq edilmişdir. Bunu araşdırmaq məqsədilə amorf maqniyumşaq lentlər termik və termomaqnit emal edilmişdir. Tədqiq edilən amorf lentlər müxtəlif termik emal edildikdən və tabı alındıqdan sonra maqnit xassələri araşdırılmışdır. Amorf lentlərin termik və termomaqnit emalı açıq hava şəraitində edilmişdir. Termomaqnit emal $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf lentini solenoidin daxilinə yerləşdirməklə intensivliyi 4800 A/m olan sabit uzununa maqnit sahəsində aparılmış, termik emalı isə 2 dəqiqə ərzində müəyyən formada qızdırıla və soyudula bilən sobada aparılmış və amorf nümunənin maksimum temperaturu 380°C götürülmüş və 10 saniyə müddətində sobada qalmışdır. Beləliklə, bu cür edilən emal qalınlığı 30-50 nm olan nümunənin qismən səth hissəsində kristallaşmanın müşahidə olunmasına və amorf materialın optimal xüsusiyyətlərinin yaranmasına gətirir. Belə ki, belə nəticəyə gəlmək olar ki, nümunənin səthində 180 dərəcəyə malik domen sərhədləri olan domen strukturu yaranır və formalaşır. Bu səbəbdən maqnit itkilərin tezlikdən asılılığı itir. Nəticədə, amorf lentin domen sərhədlərində müşahidə edilən 180 dərəcəlik yerdəyişmə maqnit itkilərin tezlik asılılıqlarına görə meydana çıxmasına gətirmir [7, s.68-71].

Bundan əlavə amorf maqnetik nümunənin qismən kristallaşmasının, domen sərhədinin stabil olmasının və nümunənin səthinin lokal kristallaşmasının maqnit itkilərinin formalaşmasına təsiri tədqiq edilmişdir. Bu xüsusiyyətlərin araşdırılması müxtəlif təsirlər vasitəsilə aparılmışdır. Bu təsirlərə lokal lazer işlənməsini, elektroizolyasiya örtüyünün formalaşmasını, əsas bizim istifadə etdiyimiz termik və termomaqnit emal proseslərini göstərə bilərik. Tədqiqat məqsədilə amorf maqnetik nümunə sənaye lentindən uzunluğu 120 mm, eni 10 mm, qalınlığı 0.025 mm ölçüsündə olan lent kəsilmişdir. Tədqiq olunan nümunə $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf lenti olmuşdur. İstifadə edilən lentlər müxtəlif müddətdə termik emal edilmiş və maqnit xassələri araşdırılmışdır. Nümunədə aparılan termik emal parametrlərini dəyişməklə

yaranan daxili gərginliklərin səviyyəsi formalaşdırılmış və nümunə səthində müxtəlif qalınlığa malik amorf kristallik quruluşlu təbəqələrin meydana çıxmasına nail olunmuşdur. Bu faktorlar nəticəsində amorf nümunədə həm domen sərhədlərinin möhkəmlənməsinə, həm də maqnitlənmənin paylanmasına şərait yaranır. Tədqiqat məqsədilə nümunə selonoid daxilinə yerləşdirilmiş və 4800 A/m intensivliyə malik sabit uzununa maqnit sahəsində açıq havada termomaqnit emalı aparılmışdır [7, s.68-71].

Şəkil 3.4.1-də $(CoFe)_{75}Si_{10}B_{15}$ amorf maqniyumşaq nümunəsi üçün termik və termomaqnit emal edildikdən sonra maqnit itkilərinin tezlikdən asılılıq ayrılari qurulmuşdur [7, s.68-71].

Təcrübənin aparıldığı müddətdə maqnit induksiyanın 0,5-1,5 Tl oblastına malik maqnit sahəsində amorf lent nümunəsinin səthinin üst hissəsində qismən kristallaşma prosesi müşahidə edildikdə bu dövr müddətində maqnit itkilərinin anomaliyası müşahidə edilmir. Maqnit induksiyanın qiyməti 1.25 Tl-ya çatana qədər nümunədə amorf kristallik quruluşlu təbəqənin formalaşması müşahidə edilsə də maqnit itkilərinin anomaliyası baş vermir. Belə ki, maqnit induksiyanın qiymətinin 1.5 Tl –ya çatması zamanı 100 Hs tezliyə malik oblastda minimum müşahidə olunur. Buradan belə nəticəyə gəlik ki, amorf nümunədə maqnit induksiyanın qiyməti 1.5 Tl-dan kiçik olanda amorf kristallik layın əmələ gəlməsinə baxmayaraq, maqnit itkiləri müşahidə edilmir və demək olar ki, yox dərəcəsindədir. Bunu aşağıdakı kimi izah edə bilərik [7, s.68-71].

Amorf lent nümunəsinin səth layının amorf matrisasında maqniyumşaq ərintinin tamamilə deyil, qismən kristallaşması müşahidə edildiyinə görə lokal həcmə azalması ilə nümunədə dartılma gərginliyi meydana çıxır. Burada həcmi gərginliklər yaranır. Buna baxmayaraq nümunənin səthinə perpendikulyar istiqamətdə maqnit xassələrinin və gərginliklərin parametrlərinin qiymətinin formalaşmasında həcmi gərginliklərin rolu qismən kristallaşan təbəqənin qalınlığından asılı olur. Belə ehtimal edilir ki, nümunənin səthinə perpendikulyar istiqamətdə yaranan gərginliyin parametrləri bu halda kiçik olur və bu səbəbdən

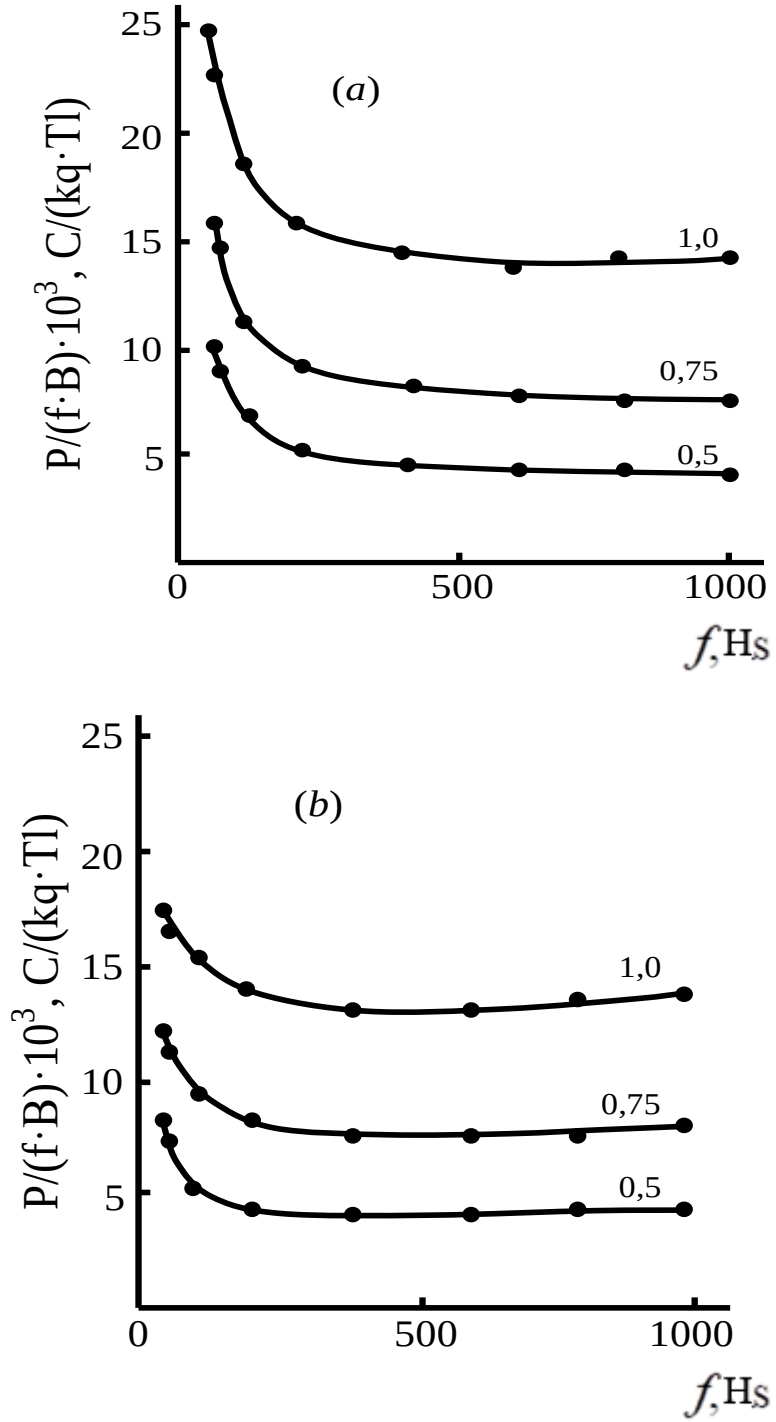
müstəvi dartma gərginlikləri daha üstün olur. Bu da öz növbəsində nümunənin maqnitlənməsi zamanı lentin səthinə perpendikulyar istiqamətdə olan domenlərin həcmnin azalmasına gətirir və bunun nəticəsində maqnit itkilərinin qiyməti də azalır [7, s.68-71].

3.4. Co Fe əsaslı amorf maqnetiklərdə maqnit itkilərinin termik emal rejimindən və tərkibdən asılılığı

Maqniyumşaq materialların quruluş xüsusiyyətləri bu materialların maqnit xassələrinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Bundan əlavə onların quruluş xüsusiyyətləri də bir sıra xarici təsir: termik, termomaqnit (sabit və dəyişən maqnit sahələrində), həmçinin termomexaniki emallar nəticəsində kəskin dəyişir. Beləliklə, xarici təsirin tətbiq edilməsi nəticəsində bu sistemlərdə quruluş xüsusiyyətləri ilə əlaqədar maqnit xassələrinin dəyişməsinə əlaqələndirmək kimi mühüm bir məsələ meydana çıxır. Dissertasiya işində bu məsələlərin təhlilinə də baxılmışdır. Borun miqdarı 8, 9, 10, 11 və 12% olan beş tərkibin tam və histerezis elektromaqnit itkiləri 80 kHs tezlikdə, induksiyanın $B_m=0,3 \text{ Tl}$ amplitud qiymətində ilkin halda (1) və vakuumda 300 °C temperaturda uzununa maqnit sahəsində (2), eninə maqnit sahəsində (3) ardıcıl tab almalardan, həmçinin 420 °C temperaturdan tablamadan sonra (4) ölçülmüşdür [5, s.191-195] (şəkil 3.4.1.) .

Bəzi nümunələrdə həmin parametrlər 300 °C temperaturda maqnit sahəsi olmadan tab almadan sonra ölçülmüşdür. Tam P_t və histerezis P_h itkilərinin bu emallardan sonrakı konsentrasiya asılılıqları şəkil 3.4.2-də göstərilmişdir

Uzununa maqnit sahəsində tab alma da, sahə olmadan tab almada olduğu kimi borun miqdarı 10 at.%-dən az olan nümunələrdə yenidənmaqnitlənməyə aid olan itkiləri artırır, lakin borun miqdarı böyük olan ərintilər üçün bu itkilər azalır. Eninə maqnit sahəsində tablama və 420 °C temperaturdan tablama bütün ərintilər üçün tam itkilərin azalmasına gətirir. Burulğanlı cərəyanlara aid olan klassik itkilər 5 əyrisi ilə göstərmək olar.



Şəkil 3.4.1. Termik və termomaqnit emal etdikdən sonra CoFe əsaslı amorf maqnetik nümunəsi üçün maqnit itkilərinin tezlikdən asılılıq ayrılması [2, s.10-12].

Tam və histerezis itkilərinin müqayisəsi göstərir ki, histerezis itkiləri tam itkilərin bir neçə faizini təşkil edir. 8,2 və 9,1 at.% B-a malik ərintilər üçün maqnit sahəsində tab alma nəzərə cərpacaq gətirilmiş anizotropiya yaradır və itkilərin səviyyəsi uzununa və eninə maqnit sahələrində tab almaya məruz qalan nümunələrin itkilərindən kəskin fərqlənir. İtkilərin histerezis komponenti uzununa maqnit sahəsində tab alma zamanı zəif dəyişir, tam itkilər isə demək olar ki, iki dəfə artır [2, s.10-12]. Bu o deməkdir ki, burulğanlı cərəyanlara aid olan itkilər iki dəfədən çox artmışdır ($P_t = P_h + P_b$). Bunu domenlərin eninin artması ilə əlaqələndirmək olar [43, s. 3560-3562]. Eninə maqnit sahəsində tab almadan sonra tam itkilər azalır. Belə ki, eninə maqnit tekusturasının əmələ gəlməsi zamanı meydana çıxan domen quruluşu xırdalandığından, burulğanlı cərəyanlara olan itkilər azalır. 9,1 at.% B-a malik ərintilərdə maqnit sahəsi olmadan tab alma tam və histerezis itkilərinin əhəmiyyətli dərəcədə (təqribən 8 dəfə) artmasına gətirir. Baxmayaraq ki, bu tab alma daxili gərginlikləri və lentin toroidə sarınması zamanı yaranan gərginlikləri yox edir [2, s.10-12].

İtkilərin ən çox azalması 420°C temperaturdan suda tablamadan sonra müşahidə edilir. 10 at.%-dən çox B –a malik ərintilərdə tab alma temperaturu yüksək olduğundan itkilərin tablamadan sonrakı qiyməti itkilərin 2 və 3 əyriyə ilə göstərilən qiymətindən kiçikdir. Borun miqdarı az olan ərintilər üçün tablama zamanı lokal induksiyanmış anizotropiyanın aradan qaldırılması və domen quruluşunun destabilizasiyası əhəmiyyətli dərəcədədir. Beləliklə, apardığımız tədqiqat göstərir ki, $x < 10$ olan ərintilər üçün tab alma, maqnit itkilərin qiymətinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir [2, s.10-12].

Borun miqdarı çox olan ərintilərdə domenlər arasındakı sərhəddin stabilizasiyası effekti olmadığından onların maqnit xassələri borun miqdarı az olan ərintilərlə müqayisədə aşağı temperaturda tab almanın təsirinə daha dayanıqlı olmalıdır. Yüksək tezliklərdə yenidənmaqnitlənmədə bu emalın itkilərin qiymətinə təsiri çox güclüdür [2, s.10-12] (şəkil 3.4.3).

İtkilərin ən güclü artımı 1 termoemal zamanı müşahidə edilir. Nümunənin

sahə olmadan yavaş sürətlə soyuması zamanı gətirilmiş maqnit anizotropiyasının və domen sərhədlərinin tam stabilləşməsi müşahidə edilir. 2 halı üçün dəyişən maqnit sahəsi halında yenidənmaqnitlənmə oxu fərqlənir, domen quruluşu destabilləşir və itkilər əhəmiyyətli dərəcədə azalır. Ən kiçik (və praktiki eyni) maqnit itkiləri dəyişən maqnit sahəsində və sahə olmadan 410 °C temperaturdan suda tablamadan sonra alınır [2, s.10-12].

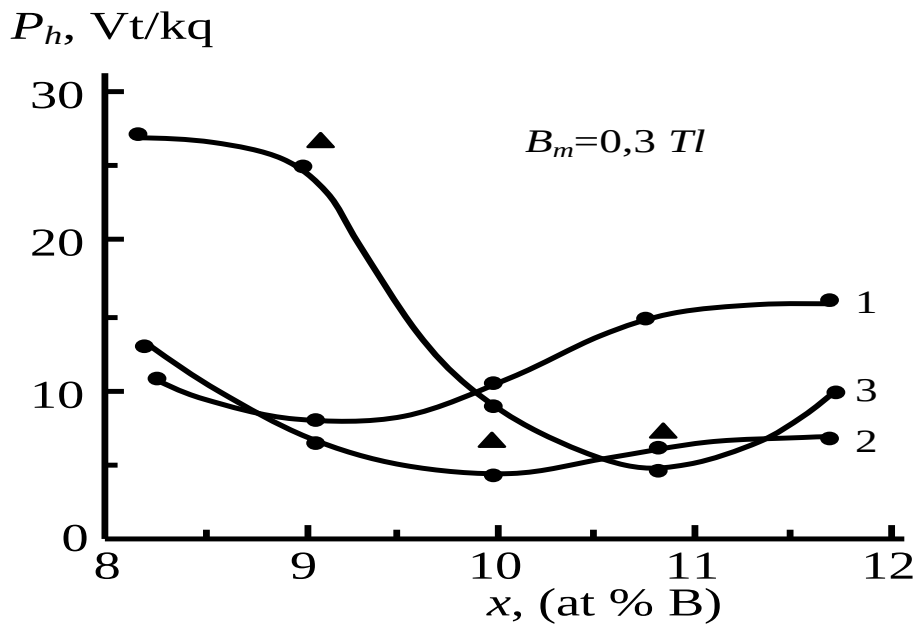
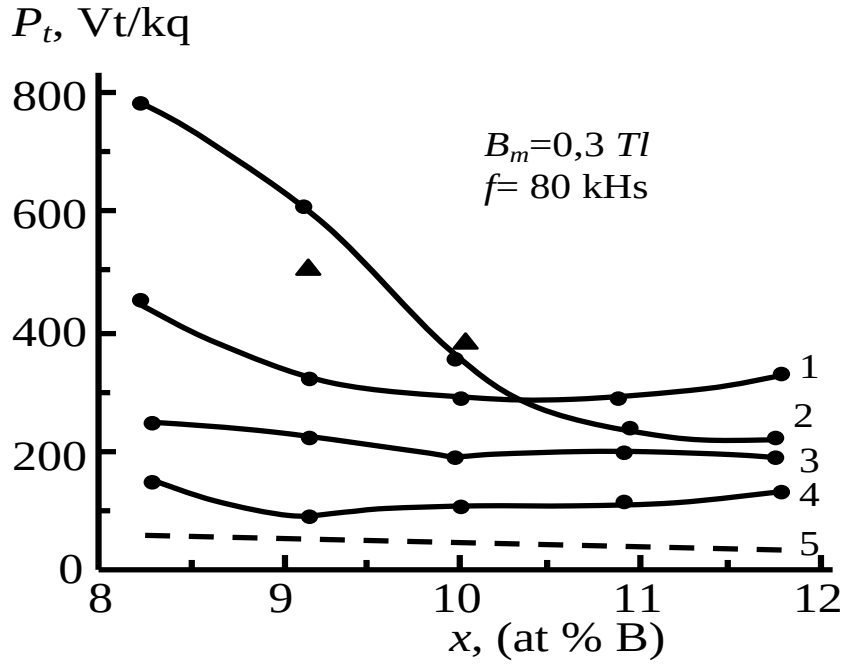
Dəyişən maqnit sahəsi olduqda, suda tablanmış nümunələrdən alınmış nəticələri analiz edərək aşağıdakıları təsdiq edə bilərik. Nümunələrin bu yeni emal üsulu xüsusi maqnit xassələri kompleksinə gətirir:

- histerezis ilgəyinin düzbucaqlılıq əmsalının yüksək qiyməti ($B_r/B_m=0,94$);
- kiçik koersitiv qüvvə ($H_c=0,3$ A/m);
- yüksək başlanğıc ($\mu_0=50\ 000$) maqnit nüfuzluğu;
- maksimal ($\mu_{max}=1200\ 000$) maqnit nüfuzluğu
- kiçik maqnit itkiləri.

Xüsusi olaraq qeyd etmək lazımdır ki, dairəvi histerezis ilgəyinə malik tablanmış nümunələrin itkilərinə bərabər, bu cür kiçik itkilər əvvəllər düzbucaqlı histerezis ilgəyinə malik nümunələrdə heç vaxt müşahidə edilməmişdir.

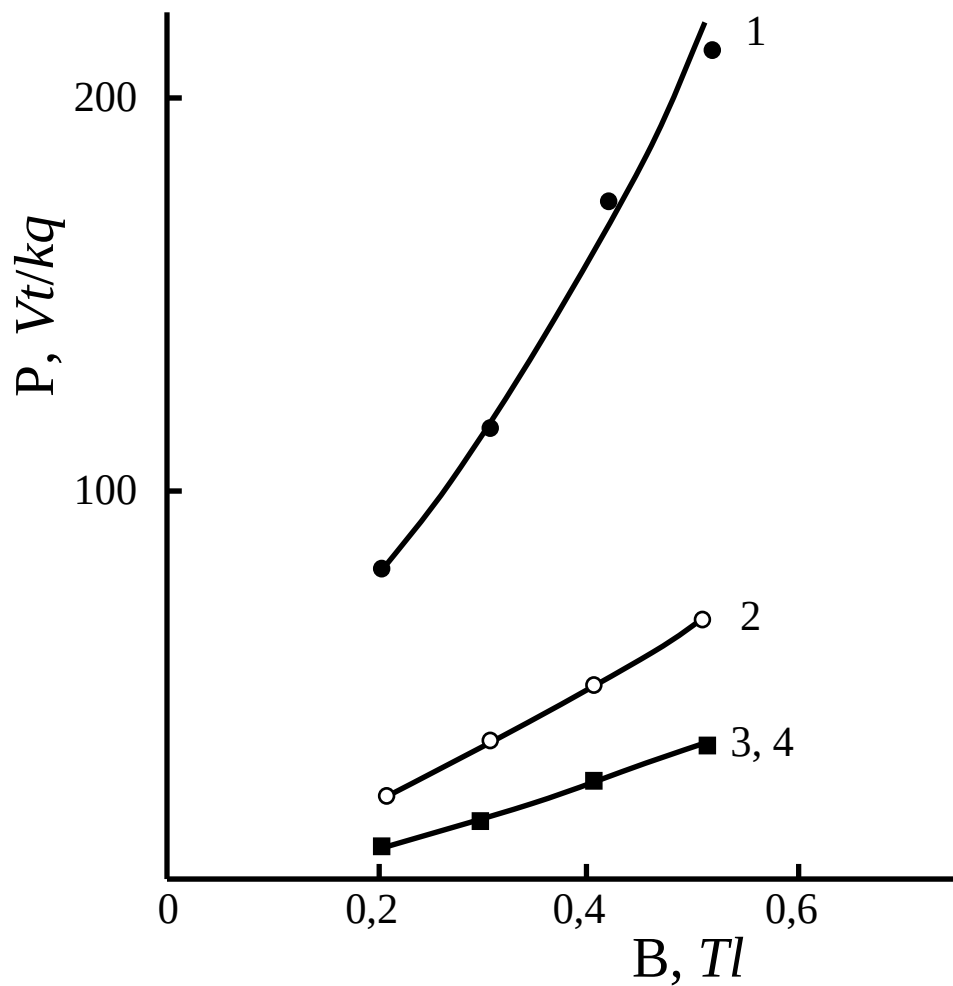
3.5. Amorf ferromaqnit ərintilərdə maqnit müqaviməti effekti

Amorf ferromaqnit ərintilərdən alınmış lentlərə daha çox marağın olması, ilk öncə, onların istifadəsinin texnikada, sənayedə çox geniş tətbiqi ilə əlaqədardır və bu amorf lentlərdən maqnit sahəsinin dəyişiminə yüksək həssaslıq göstərən qurğuların hazırlanmasında istifadə edilir. Ferromaqnit amorf ərintilərində yüksək maqnit impedansı effekti (MİE) [10, s.86-89] və ya yüksək maqnit müqaviməti effekti (MME) [59, s.5260,83 s.1085] adlanan və müqavimətin kəskin artımı ilə əlaqədar olan hadisə müşahidə edilir. Son zamanlarda çox təcrübə tədqiqatları sıfıra yaxın maqnitostriksiyası olan Co-Fe tərkibli amorf ərintilərin xassələrinin öyrənilməsinə həsr olunur və tədqiqat baxımından marağa səbəb olmuşdur.



Şəkil 3.4.2. Tam P_t və histerezis P_h itkilərinin borun miqdarından asılılıqları [2, s.10-12]:

- 1- İlkin hal; ($\blacktriangle$) –sahə olmadan 300 $^{\circ}C$ temperaturda tab alma;
- 2- 300 $^{\circ}C$ temperaturda uzununa maqnit sahəsində TME;
- 3- 300 $^{\circ}C$ temperaturda eninə maqnit sahəsində TME;
- 4- 420 $^{\circ}C$ temperaturdan suda tablama;
- 5- Burulğanı cərəyanlara olan klassik itkilər.



Şəkil 3.4.3. Amorf $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ ərintisi nümunələri üçün 20 kHs tezlikdə maqnit itkilərinin induksiyaadan asılılığı: 1-sahə olmadan yavaş soyudulma ilə 300 °C temperaturda tab alma; 2- $H_{\sim}$ sahədə yavaş soyudulma ilə TME; 3-410 °C temperaturdan suda tablama; 4- $H_{\sim}$ sahədə suda tablama.

Bu tədqiqatlar örtüklü naqillər, adi naqillər, lent, çoxqatlı struktur, nazik təbəqələr və s. formasında amorf ərintilərdən hazırlanmış nümunələr üzərində aparılır. MİE və ya MME effektlərin gücləndirilməsi üçün amorf nümunələr hazırlandıqdan sonra müxtəlif termik təsirlərə məruz edilir [76, s.68-71 p.269]. Buna misal olaraq, xarici maqnit sahəsində tab alma və s. təsirləri göstərmək olar [10, s.86-89]. Bəzi tədqiqatlara görə Co əsaslı amorf lent nümunələrində, zəif maqnit sahəsində tab almadan sonra, həcmi maqnitoimpedansının müqaviməti effektinin dəyişməsi 1000 %-ə çatır [19, s.31-35].

Maqnitoimpedans müqavimət H xarici sabit maqnit sahəsinin təsiri ilə, tezliyi ω olan dəyişən cərəyan sahəsində ferromaqnit naqilin kompleks müqavimətinin dəyişməsi $Z(\omega) = R(\omega) - iX(\omega)$ düsturu ilə tapılır. Maqnit impedans effektinin qiyməti aşağıdakı düsturla ifadə olunur [19, s.31-35]:

$$\Delta Z/Z = [Z(H) - Z(0)]/Z(0) \quad (3.5.1)$$

Burada $Z(0)$ – maqnit sahəsi olmadıqda maqnit impedans müqaviməti, $Z(H)$ –isə H maqnit sahəsində maqnit impedans müqavimətinin qiymətidir.

Məlumdur ki, elektrik dövrəsinin tam müqaviməti aşağıdakı düsturla tapılır:

$$Z(\omega) = R + i(\omega L - 1/\omega C) \quad (3.5.2)$$

R - tam müqavimətin həqiqi qiyməti, ω -cərəyanın dairəvi tezliyi, L -nümunənin induktivliyi və C - isə nümunənin tutumudur (çox vaxt tutum nəzərə alınmır). Maqnit impedans effekti mexanizminə əsasən, belə ki, bu effekt çox güclü skin - effekt şəraitində müşahidə edilir. Bu zaman $\delta \ll a$ şərti ödənilir. Belə ki, α - ferromaqnit amorf nümunənin en kəsiyinin radiusudur (naqilin radiusu və ya lentin yarım qalınlığı) [10 s.86-89].

$$\delta = c \left(\frac{\rho}{2\pi\omega\mu_{\perp}(\omega)} \right)^{1/2} \quad (3.5.3)$$

δ -skin təbəqə layının qalınlığı, $(\mu_{\perp}(\omega))$ -effektiv eninə maqnit keçiriciliyidir, ρ -

xüsusi müqaviməti) Maqnit impedans effektinə təsir göstərən əsas kəmiyyət maqnit keçiriciliyi hesab olunur ki, bu bir çox parametrlərdən asılı olur. Buna misal olaraq, nümunənin anizotropluğu, maqnit keçiriciliyini və s. göstərmək olar [119, s.6387].

Amorf lentlərdə maqnit impedansı nümunənin sahədə necə yerləşdirilməsindən asılıdır. MİE-nin təcrübi ölmələrində maqnit sahəsi çox vaxtı nümunənin uzunluq istiqamətində tətbiq edilir [102, s.170]. Maqnit sahəsinin artması ilə maqnit impedansı artaraq H_{ext}^{max} sahəsində maksimal qiymətinə çatır və bundan sonra tədricən azalır. Belə ki, güclü sahələrdə sabit qiymətə yaxınlaşır [111, s.69]. Qeyd etmək olar ki, nümunə Maqnit impedansı effekti profilində maqnit sahəsinə nəzərən simmetrik şəkildə olur. MİE-nin maksimal qiymətə çatdığı H_{ext}^{max} - sahə histerezis itkiləri çox olan sahə (anizotropiya sahəsi) ilə üst-üstə düşür [87, s.341-349]. Texnikada bu sahənin qiyməti QMİ cihazlarının işçi oblastını təyin edir. Belə ki, QMİ cihazlar bu lentlər əsasında hazırlanıla bilər [79, s.113]. QMİ-ni belə izah etmək olar:

Amorf lent nümunəyə dəyişən və sabit maqnit sahələri təsir göstərir. Sabit maqnitin doyma halında yaratdığı maqnit sahəsi üstünlük təşkil etdiyi üçün maqnitlənmə vektoru boyunca yönəlir və dəyişən maqnit sahəsi isə tətbiq nöqtəyindən maqnitlənmə vektoruna təsir göstərmir [119, s. 6378].

Stabil sahəni azaldan zaman dəyişən maqnit sahəsinin rolu tədricən artır və dəyişən sahədə maqnitlənmə hiss olunmağa başlayır. Bu zaman maqnit momenti keçiriciliyini (enini) artırır və fırlanmağa başlayır. Belə ki, bu isə maqnit impedansın dəyişməsinə səbəb olur [99 s.2114, -102, s.1730,102s.170].

Maqnit sahəsindən xətti olaraq asılı olan cihazları hazırlamaq üçün Maqnit impedans effektinin sahədən asılılığının özünü asimmetrik şəkildə aparması zəruridir. Maqnit impedansın bu xüsusiyyəti daim birlikdə təsir göstərən maqnit sahələrinin nümunəyə təsir edəndə müşahidə olunur. Naqildə helikoidal şəkildə (vintvari və ya spiralvari) maqnit quruluşunun alınması üçün əvvəl amorf naqıl nümunə burularaq tabı alınır. Əgər belə emal olunmamış naqılə xarici sabit maqnit sahəsi və dəyişən elektrik cərəyanı (şəkil 3.5.1) birlikdə təsir göstərərsə, onda bu zaman onlar qarışan

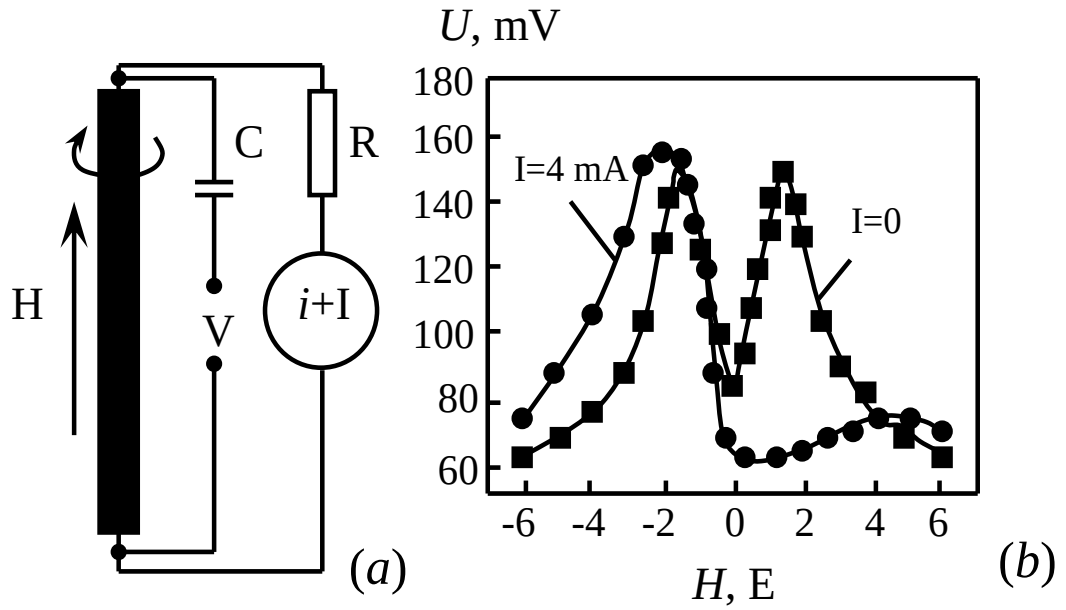
maqnit sahəsi yaradırlar [164, s.139].

Qiqant maqnit impedansının asimmetrik konturlarını mexaniki təsirlərə məruz etmədən tabı alınmış naqıl nümunəsində tətbiq edildikdə onlarda adi dairəvi anizotrop luq müşahidə olunur [165, s.86-89]. Qiqant MİE-nin xarakterik asimmetrik xüsusiyyəti amorf naqıl nümunənin, ona sarınmış və sarğılar istiqamətində keçirilən dəyişən elektrik cərəyan ilə alınmışdır [129, s.1085]. Belə ki, bu zaman sarğı vasitəsilə qarışan sahə yaranır və onun istiqamətini dəyişmək olar (şəkil 3.5.2).

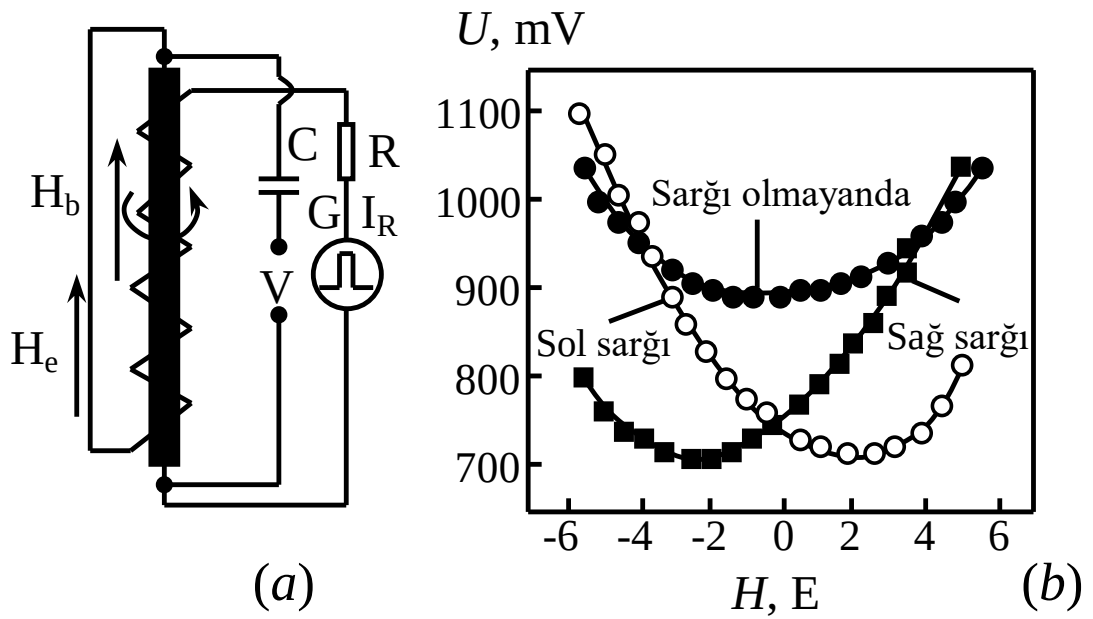
Maqnit impedansının belə metodla alınmış assimetrik olan sahə asılılıqları, kompakt şəkildə qidalanma mənbəyi kimi yüksək göstərici cihazlarının sənayedə tətbiqi üçün yararsız olur [130, s.1-9]. Belə ki, bu metodla zəif maqnit sahələrində hazırlanmış CoFe əsaslı amorf lent nümunələrinin tabı alınması zamanı assimetrik Qiqant maqnit impedans effektinin yaranması mümkün olmuşdur [137, s.323]. Beləliklə, qiqant MİE bu gün də aktual görünür və maraq doğurur. Böyük həcmli assimetrik MİE CoFe əsaslı amorf lent nümunələrində qiqant maqnit impedansı effekti maqnit sahəsinin qiymətindən, elektrik cərəyanı tezliyindən, tab alma mühitindən (vakuumda və ya havada) və onun təsir müddətindən asılı olaraq tədqiq edilmişdir [80, s.6387; 88, s.323-420; 95, s.693-699]. H- maqnit sahəsi tab alma zamanı lentin oxu istiqamətində yönəldilmişdir.

Şəkil 3.5.3-də qiqant MİE-nin, 2 E maqnit sahəsində tabı alınmış amorf lent üçün müxtəlif tezliyə malik elektrik cərəyanının köməyi ilə maqnit sahəsindən asılılıq ayrıləri göstərilmişdir.

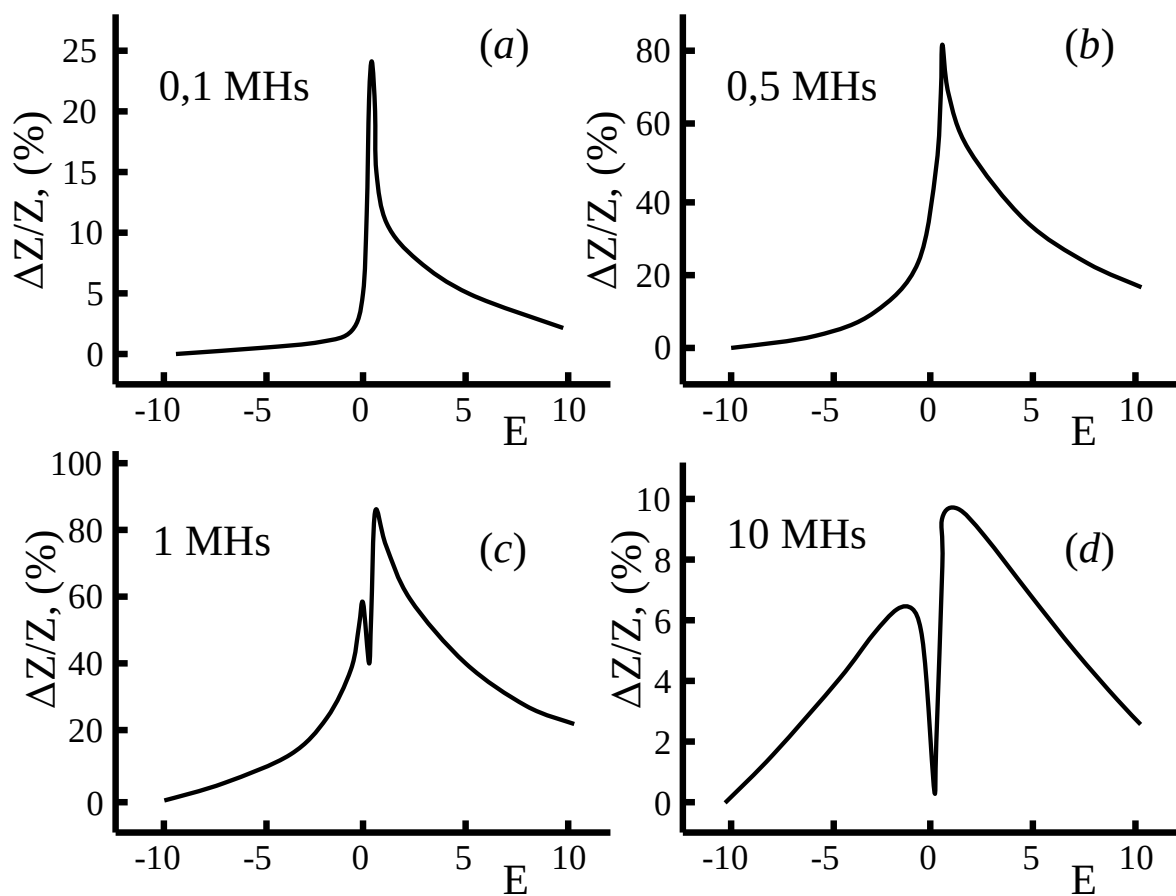
Qiqant maqnit impedans konturları $H=0$ olan sahə yaxınlığında iki asimmetrik şəkildə pikə malik olurlar (tezliyi $f=0,1$ MHs olan əyridən başqa). Müsbət H maqnit sahəsindəki qiqant maqnit impedansı effektinin piki (istiqaməti tab almadakı sahə boyunca üst-üstə düşür) və mənfi H maqnit sahəsindəki pikdən yüksək olur. Belə ki, elektrik cərəyanının tezlik qiymətinin aşağı düşməsi zamanı H -ın mənfi istiqaməti boyunca piki kiçilir və bu zaman $f=0.1$ mHs tezlikli sahədə tamam yox olur.



Şəkil 3.5.1. a) təcrübi –sınağın (eksperimentin) sxemi, b)-asimmetrik MİE profilləri.



Şəkil 3.5.2. a) təcrübi sınağın sxemi, b) dəyişən sahənin təsiri ilə və onun təsiri olmadan MİE profilləri.



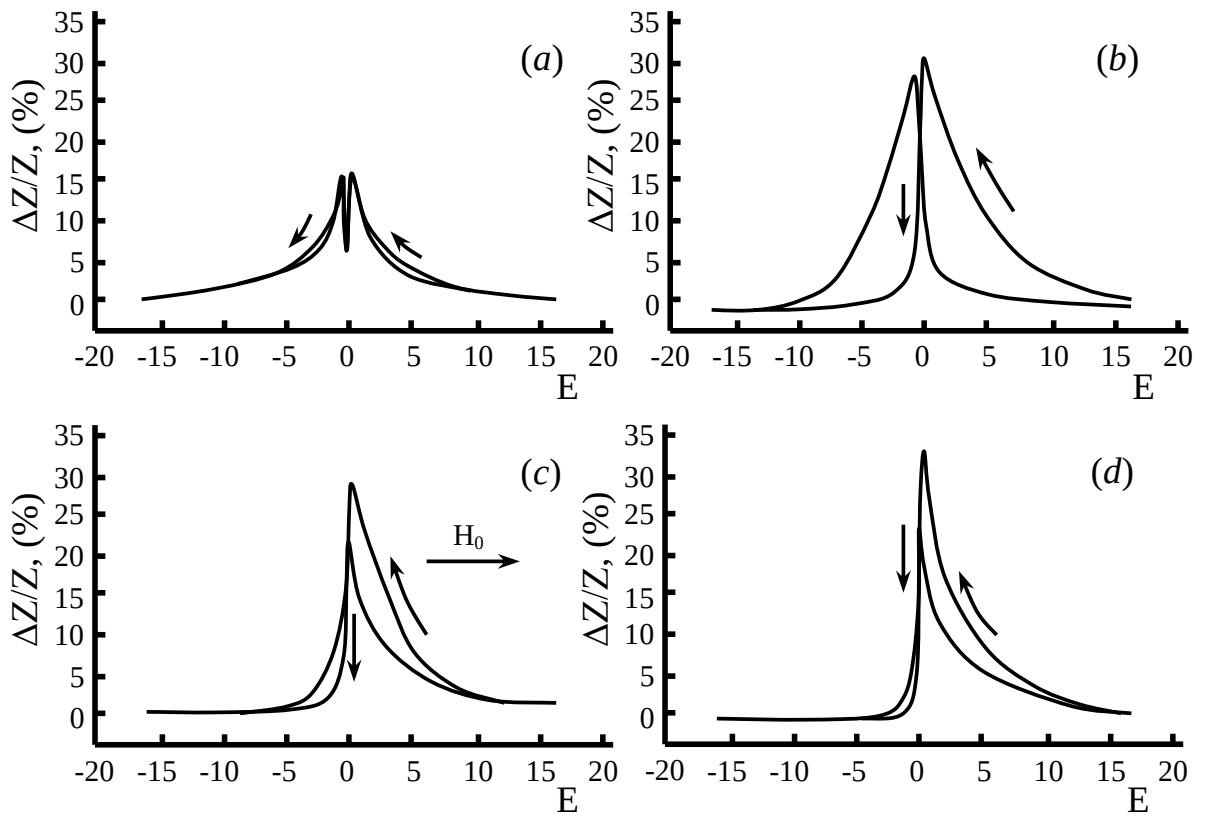
Şəkil 3.5.3. 2 E sahədə tablanmış amorf lentin elektrik cərəyanının müxtəlif tezliklərində ölçülmüş MİE- profilləri.

Bu spin klapanı adlandırılır. [152, s.693; 153, s. 1229; 154, s. 16737; 155, s. 152; 156, s.2777; 157, s.740] işinin müəllifləri belə müəyyən etmişlər ki, elektrik cərəyanının $f \geq 0.1\text{MHs}$ tezliyində maqnitlənmə zamanı eninə istiqamətdə maqnit momentinin fırlanması böyük rol oynayır. Beləliklə, tezliyin yüksək qiymətlərində domen divarının hərəkəti zəifləyir [149, s.3269].

Qıqant MİE-nin konturlarının ($f = 0.1\text{MHs}$ tezliyində) xüsusi əmələ gəlməsi həm maqnitlənmənin fırlanması ilə, həm də domen divarlarının hərəkəti ilə izah olunur. Tab alma sahəsinin artması nəticəsində amorf nümunələrdə yaranan pik maqnit sahəsinin mənfi istiqamətində azalır və qıqant maqnit impedans əyrisinin assimetrik şəkildə gedişi daha aydın izah olunur. Amorf lentlərin MİE konturları vakuumda tabı alınmış amorf nümunələr havada tabı alınmış amorf nümunələrdən fərqli olaraq, həmin ölçmə zamanı simmetrik görünüşdə olublar. Qıqant maqnit impedans effektinin davam etməsi sabit maqnit sahəsinin 2 E qiymətində və müxtəlif müddətlərində havada tab almaya məruz edilmiş nümunələrdə öyrənilib [64, s.170-173; 65, s. 359]. Müəyyən edilmişdir ki, (şəkil 3.5.4).qıqant maqnit impedans effektinin maqnit sahəsindən asılılıqlarının görünüşü amorf lent nümunələrinin tab alma müddətinin yüksəlməsi ilə çox dəyişir [8, s.86-89].

Amorf nümunələrdə 20 dəq tabı alınmışdır və qıqant maqnit impedans effekti iki eyni simmetrik olan pikə malik olur. Lakin 1 saat müddətində tab almaya məruz edilmiş nümunələr üçün dövrün yarısını keçdikdən sonra tədricən maqnitlənmə azalır və piklərdən birində yox olur. 8 saat ərzində tab almaya məruz qoyulmuş nümunələrdə artan və azalan maqnit sahəsi istiqamətində qıqant maqnit impedans pikləri üst-üstə düşür. Tab alma müddəti artdıqda maqnit sahəsinə əks istiqamətdə tab almada pik azalır (şəkil 3.5.4. c, d). Aşkar edilmişdir ki, 8 saat müddətində vakuumda tab almaya məruz edilmiş amorf lent nümunələri üçün belə dəyişiklik müşahidə edilmir [63, s. 1730] (Qıqant maqnit impedansı konturlarında iki simmetrik pik olur).

Bəzi müəlliflər belə hesab edirlər ki, böyük həcmə malik maqnit impedans effektinin özünü bu formada aparması havada tab alma zamanı amorf lentin səth ətrafında kristallaşması və orada bir istiqamətli anizotropiyanın yaranması ilə



Şəkil 3.5.4. Müxtəlif: a-20 dəq, b-1 saat, c-5 saat, d-8 saat müddətlərdə, 2 E sahədə, havada tabı alınmış nümunələr üçün MİE profilləri.

əlaqəlidir.

Belə ki, eyni zamanda lentin mərkəzində yerləşən amorf nüvə asan ox tipli anizotropiyaya malikdir. Bu zaman MİE-nin xassə müxtəlifliyi maqnit sahəsinin istiqamətindən asılı olur və maqnitlənmənin tab alma zamanı en kəsikdə qarışıq sahənin təsiri əsasında izah edilir. Maqnit impedansının asimmetrik konturunu yaradan səbəblər haqqında bir çox fikirlər mövcuddur [118, s.3926, 119, s. 6387, 120, s.14233]. Belə ki, qığant maqnit impedans əyrisinin gedişini böyük olmayan mənfi bucaqla əyilmiş anizotropiya sahəsi ilə və zəif qarışıq sahənin birgə təsirinin nəticəsi olaraq izah etmək olar [79, s.113]. Deməli, sonuncu qeyd edilən sahə maqnitlənməyə sol istiqaməti boyunca yönələn $-H$ maqnit sahəsinə nəzərən sağ istiqamətdə yönələn $+H$ maqnit sahəsində daha yaxşı fırlanmasına şərait yaradır. Belə ki, dəyişən maqnit sahəsi isə lentin oxu istiqaməti boyunca təsir edir və bu bucaq altında deyil, əksinə amorf naqıl nümunələrdə aparılan təcrübələrdəki kimi olur [8, s.86-89].

Deməli, hansı materiallarda termik emalının vasitəsilə maqnit impedansının asimmetrik sahə asılılıqlarını almaq və qığant maqnit impedans effektinin sahəyə təsir edən həssaslığını artırmaq mümkün olur (1000%-dan çox) [67 s.53907], və bu böyük maraq doğurur. Ona görə ki, onların maqnit sahəsindən xətti asılılıqlı yüksək həssaslığa malik göstərici cihazlarının istehsalda tətbiqi üçün müvəffəqiyyətlə istifadə edilə bilər. Ancaq verilmiş amorf nümunələrdə tab alma zamanı gedən proseslər, qığant maqnit impedans effekti mexanizmlərinin yaranmasını aşkar etmir. Bu problemin həll etmək üçün amorf lent nümunələrinin maqnit xassələrini (maqnit keçiricilik və anizotropiya), səth təbəqəsində baş verən dəyişiklikləri və domen quruluşlarını dəqiq tədqiq edilməsi lazımdır [99, s.2114].

Beləliklə maqnit impedansı skin effekti mühitində müşahidə olunduğundan, qığant maqnit impedansı effektinin xassələri səth qatın xüsusiyyətləri ilə təyin olunur [8, s.86-89].

Belə ki, maqnitooptik metodlar amorf ferromaqnit ərintilərin səthində baş verən dəyişikliklərin müəyyən edilməsi üçün müvəffəqiyyətlə istifadə edilir. Beləliklə, optik oblastda maqnit materiallarda işığın daxil olma dərinliyi 100 nanostremdən çox

olmur [8, s.86-89]. Nəticə olaraq, amorf lentlərin səth təbəqəsinin xüsusiyyətlərini öyrənmək, onun mikrostrukturunu araşdırmaq və buna əsasən termik emal şərtlərindən asılı olaraq maqnit xassələrini müəyyən etmək olar.

Beləliklə, asimmetrik qıqant maqnit impedans effektinə malik amorf lentlərin sahə, spektral, temperatur və digər xassələrinin Ekvatorial Kerr Effektinin köməyi ilə müəyyən edərək, alınan nəticələrin praktikada tətbiq edilməsi məsələsi çox önəmlidir.

3.6. Fe-Co-Cr-Si-B tərkibli amorf maqnityumşaq ərintilərin maqnit və impedans xassələrinə temperaturun təsiri

Amorf metallik maqnit ərintilərin xassələrinin öyrənilməsi müasir fizikanın ən mühüm istiqamətlərindən biridir. Amorf quruluşlu metallik ərintilərin xassələrinə aid çoxlu sayda elmi tədqiqat işlərinin aparılmasına baxmayaraq, onların xassələri ilə əlaqədar çox sayda problemlər hələ də həll olunmamış qalır. Praktiki nöqteyi nəzərdən bu onların çox nadir və geniş fiziki xassələrə malik olması ilə əlaqədardır. Belə ki, ferromaqnit komponentli amorf metal ərintilər əla maqnit xarakteristikalarına və eyni zamanda böyük mexaniki möhkəmliyə malik olur. Dəmir əsaslı amorf ərintilərə az miqdarda xrom əlavə etdikdə onun korroziyaya qarşı davamlılığı paslanmayan kristal quruluşlu poladla müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə yüksək olur [4, s.113-115].

Hal hazırda bu məqsədlə çoxlu sayda materiallar və onların xassələri tədqiq olunub. Amorf ərintilərin tərkibinin dəyişməsi və termik emalı onun maqnit xassələrinin məqsədə uyğun şəkildə dəyişdirilməsinə imkan verir. Amorf maqnityumşaq ərintilərdə impedansın modulunun nisbi dəyişməsi sahənin intensivliyini əhəmiyyətli dərəcədə dəyişdirə bilər. Fe-Co-Cr-Si-B tərkibli metal maqnit ərintiləri tədqiq edərkən Küri temperaturu ətrafında maqnit impedansının sıçrayışla dəyişməsi müşahidə olunub [4, s.113-115].

Bu hadisə maqnit keçiriciliyin sirkulyasiyasının kəskin dəyişməsi və nəticə etibarı ilə nanokristal sahələr arasında əlaqələrin pozulması ilə əlaqədardır. Küri

temperaturu ətrafında impedans xassələrinin kəskin dəyişməsi həmçinin, amorf ferromaqlnlərdə də müşahidə olunur. Amorf ferromaqlnit ərintilərin faza keçidlərində impedansın tədqiqi yüksək həssaslığa malik istilik çeviricilərinin hazırlanmasında böyük əhəmiyyət kəsb edə bilər. Həmçinin, bu maddələrin korroziyaya qarşı yüksək davamlılığı və böyük möhkəmliyə malik olması onlardan xüsusi ekstremal şəraitlərdə istifadə olunmasına imkan verir [4, s.113-115].

Dissertasiya işində $Fe-Co-Cr-Si-B$ tərkibli amorf lentin impedans və maqlnit xassələrinin temperaturdan asılılığı tədqiq edilmişdir. Lentin uzunluğu 50 mm, eni 2 mm, qalınlığı 20 mkm-dir. Tədqiqat 170 – 400 K temperatur intervalında aparılmışdır. İmpedansın nisbi dəyişməsinin temperaturdan asılılığı aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\frac{\Delta Z}{Z} = \frac{Z(T) - Z(T_k)}{Z(T_k)} 100\% \quad (3.6.1)$$

$Z(T)$ – impedansın T temperaturundakı qiyməti, $Z(T_k)$ impedansın Kuri temperaturundakı qiymətidir. İmpedansın modulunun temperatur asılılığı isə bu düsturla hesablanır:

$$S_z = \frac{\partial Z}{\partial T} \frac{1}{Z(T_k)} 100\% \quad (3.6.2)$$

Anoloji üsulla impedansın həqiqi S_r və xəyalı S_x komponentləri hesablanır. İki müxtəlif tərkibli lent üçün maqlnitlənmənin temperatur asılılığı şəkil 3.6.1-də verilmişdir [4, s.113-115].

Təcrübi nəticələrə əsasən hər iki lentdə temperaturun artması ilə maqlnitlənmə monoton azalır (şəkil 3.6.1). Baxmayaraq ki, hər iki ərintinin tərkibi bir birinə çox yaxındır, onlar müxtəlif Kuri temperaturuna malikdir. Bu ərintilər bir birindən əsasən borun miqdarı ilə fərqlənir. Tərkibində 15% bor olan birinci ərinti üçün Kuri temperaturu 250 K-ə yaxın qiymət alır. Tərkibində 12% Bor olan ikinci ərintidə isə Kuri temperaturu 380 K-ə yaxın qiymət alır. Buna əsaslanaraq deyə bilərik ki, ərintinin tərkibini cüzi miqdarda dəyişməklə Kuri temperaturunu geniş intervalda dəyişmək olar.

Şəkil 3.6.2-də $\Delta Z / Z$ -in temperatur asılılığı verilib. Maqnitlənmədən fərqli olaraq, impedans maqnit sahəsinin sıfır qiymətində temperaturun artması ilə əvvəlcə bir qədər artır, sonra isə kəskin azalır. Faza keçidi sahəsində impedans və maqnitlənmə kəskin şəkildə düşküyə məruz qalır [4, s.113-115].

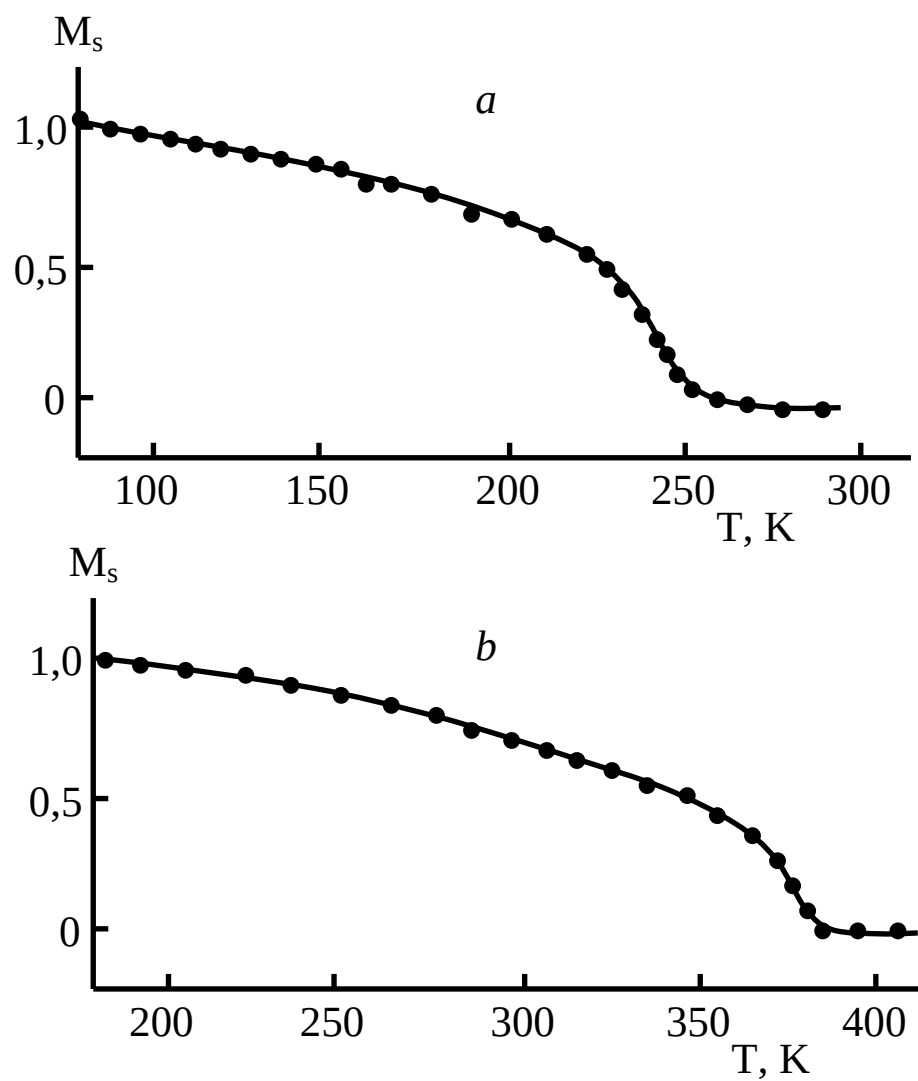
Tədqiq olunan lentin impedansının minimumu Küri nöqtəsinə uyğun gəlir. Temperatur dəyişməsi həmçinin, impedansın xarici maqnit sahəsindən asılılığına da güclü təsir göstərir. Küri temperaturundan aşağı temperaturlarda maqnit sahəsinin intensivliyi artdıqca impedansın qiyməti bir neçə Z_{mak} qiymətlərə qədər artır [4, s.113-115].

Maqnit intensivliyinin sonrakı artmasında isə impedans monoton azalmağa başlayır. Artma və azalma oblastında temperatur artdıqca maqnit impedansı daha aşağı qiymət alır. Küri və ondan böyük temperaturlarda, ərintinin paramaqnit halında, impedansın qiyməti xarici maqnit sahəsinin intensivliyindən çox az asılı olur [61, s. 2114-2116]. Maqnit impedans effekti sıfıra yaxın olur [4, s.113-115].

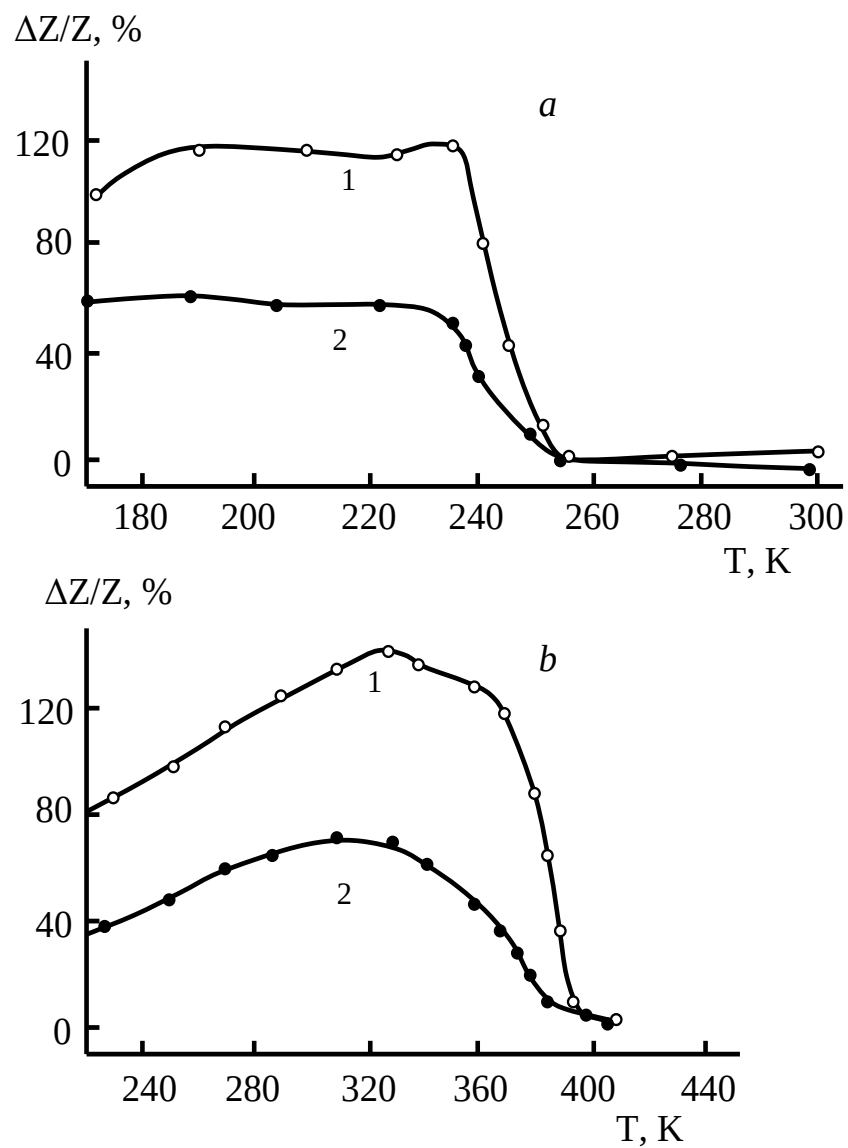
Baxmayaraq ki, impedansın temperatur həssaslığı kifayət qədər yüksəkdir, impedans çeviricilərinin həssaslığını impedansın modulunu yox, komponentlərini dedəktə etməklə də artırmaq mümkündür. Maqnit sahəsində impedansın komponentinin nisbi dəyişməsi impedansın modulunun nisbi dəyişməsini artırır bilər [4, s.113-115].

İmpedans komponentlərinin tezlikdən asılılıq qrafiklərindən göründüyü kimi (şəkil 3.6.3) dəyişən cərəyan tezliyinin aşağı qiymətlərində faza keçidi oblastında impedansın xəyalı komponenti S_x böyük qiymət alır, S_R həqiqi komponentin qiymətindən yüksək alır. Tezliyin 100 kHs qiymətində hər iki lentdə S_x 100%/K-ə çatır [4, s.113-115].

Tezliyin sonrakı artması ilə S_x xəyalı komponent kəskin azalır. Həqiqi komponent S_R isə tezliyin artması ilə əksinə artır. S_R -in intensiv artımı dəyişən cərəyan tezliyinin 6 MHs yaxınlığında müşahidə olunur. Belə ki, S_R həqiqi komponenti 10%/K qiymətinə çatır və tezliyin sonrakı artımında praktiki dəyişmir. Buna görə də ən böyük temperatur həssaslığı impedansın minimum komponenti S_x -ə

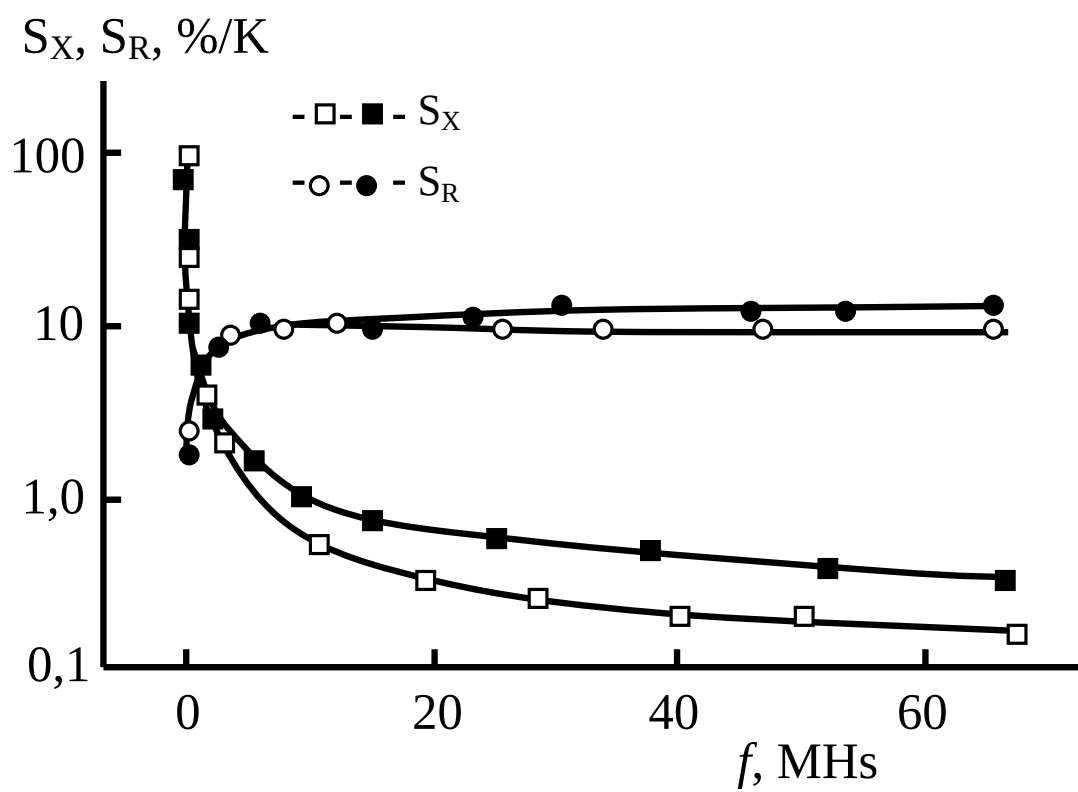


Şəkil 3.6.1. Ərinti lentinin maqnitlənməsinin nisbi temperatur dəyişməsi
a – $\text{Co}_{60}\text{Fe}_{15}\text{Cr}_7\text{Si}_3\text{B}_{15}$; b – $\text{Co}_{65}\text{Fe}_{10}\text{Cr}_8\text{Si}_5\text{B}_{12}$



Şəkil 3.6.2. Ərinti lentin impedans modulun nisbi temperatur dəyişməsi [4 s.113-115].:

a – $\text{Co}_{60}\text{Fe}_{15}\text{Cr}_7\text{Si}_3\text{B}_{15}$; b – $\text{Co}_{65}\text{Fe}_{10}\text{Cr}_8\text{Si}_5\text{B}_{12}$



Şəkil 3.6.3. İmpedansın S_X xəyalı və S_R həqiqi komponentlərinin tezlikdən asılılığı

aiddir [4, s.113-115].

Bu cərəyanın kiçik tezlik oblastında müşahidə olunur ki, bu da ölçmə prosesini son dərəcə sadələşdirir. Bütün bunlar deməyə əsas verir ki, impedansın minimum komponentini dedektləşdirməklə impedans istilik çeviricilərindən məqsədə uyğun şəkildə istifadə etmək olar [4, s.113-115,15].

Deməli, tədqiq olunan lentin ferromaqnit faza keçidi oblastında impedans xassələrinin dəyişməsindən Küri temperaturunu təyin etmək üçün və həmçinin çox kiçik temperatur intervalında böyük həssaslıq tələb olunan istilik ölçü çeviricilərinin yaradılmasında istifadə etmək olar. Ərintinin tərkibini dəyişməklə Küri temperaturunu dəyişmək olar, bununla da lazım olan temperatur diapazonunda maksimum həssaslığa malik çeviricilər yaratmaq olar [4, s.113-115].

3.7. CoFe əsaslı lentin maqnit xassələrinə səth halının təsirinin tədqiqi

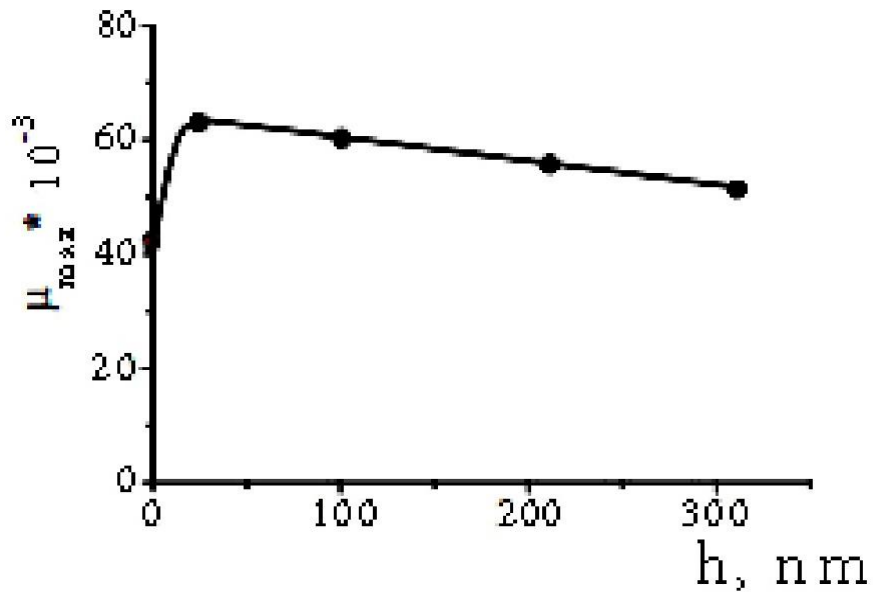
Dissertasiya işində CoFe əsaslı amorf ərintidən alınmış lentin maqnit xassələrinə amorf nümunədə alınan kristallik layın qalınlığının, termik emalın, tabı alınan mühitin, tab alınan müddətin və tab alma temperaturunun təsiri tədqiq edilmişdir. Amorf maqniyumşaq lentlərin müxtəlif struktura malik olması maqnit itkilərinin yaranmasında və formalaşmasında baş verən əsas fiziki proseslərin səbəblərini aydınlaşdırmağa imkan verir. CoFe əsaslı amorf maqniyumşaq lent nümunəsini termik emal etməklə yüksək maqnit xassəli lent əldə etmək üçün amorf lentin səthində optimal qalınlığa malik kristallik təbəqənin yaranması zəruridir. Amorf maqniyumşaq materiallarını kristallik maqnit materiallarla müqayisədə amorf maqnetiklərdə qeyri - maqnit elementlərin çox olması onda yaranan doyma induksiyaşının qiymətini aşağı salmasına baxmayaraq amorf halının əmələ gəlməsi üçün zəruri şərtlərdəndir. Bu zəruri şərtləri nəzərə alaraq, tədqiq etdiyimiz CoFe əsaslı amorf ərintilərə müxtəlif emal üsullarının tətbiqi və tərkibinin dəyişdirilməsi onun elektrik və maqnit xassələrinin daha optimal xassələrini əldə etməyə imkanı verir ki, sənayedə onlar əsasında daha keyfiyyətli, ucuz başa gələn və geniş tətbiq sahəsi olan maqnit materialları əldə etmək mümkün olsun. Bundan əlavə tab alma

zamanı sürətli soyudulma prosesi nəticəsində amorf lentlərin alınması zamanı kristallik anizotropluğu arxa planda olması amorf lentin maqnitlənməsi və yenidənmaqnitlənməsində maqnit xassələri formalaşır. Bu zaman kristallik maqnit materiallar üçün gətirilmiş anizotropluğu enerjisi, maqnitoelastik enerjisi kimi meydana gələn faktorların təsirini aydınlaşdırmağa imkan verir. Amorf lentini xüsusi emal üsulları olan termik, termomaqnit emal etməklə kimyəvi cəhətdən aktiv olan tab alma, səth örtüyü mühiti ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində nümunənin səth hissəsinin halının dəyişməsi amorf lentin maqnit və fiziki xassələrinin təsirinin müəyyənləşdirilməsində mühüm rol oynayır [6, s.15-16].

İşdə müxtəlif emal üsullarının $Co-Fe-Si-B$ amorf ərintisindən alınmış lentin səth təbəqəsinin halına və onun maqnit xassələrinin formalaşmasına təsiri araşdırılmışdır. Beləliklə, müəyyən olunmuşdur ki, termik emal etməklə amorf lentin maqnit xassələrinin ən yüksək forması optimal qalınlığa malik amorf nümunənin səth təbəqəsində qismən kristallik təbəqənin formalaşması zamanı əldə edilir. Səthdə qismən kristallaşmanın yaranması zamanı lentin səth təbəqəsində müstəvi dartıcı gərginliklərin induksiyanması müşahidə edilir və perpendikulyar istiqamətdə maqnitlənen domenlərin həcmi kiçilir. Tədqiq olunan lentin maksimum maqnit nüfuzluğunun nümunənin səthində yaranan qismən kristallik təbəqənin qalınlığından asılılıq əyrisi şəkil 3.7.1-də göstərilmişdir. Amorf lentin səth təbəqəsinin qalınlığı izotermik saxlama müddətinə əsasən $380^{\circ}C$ temperaturda nəzarət edilmiş və rengen üsulu ilə baş verən dəyişikliklərə baxılmışdır. Belə ki, amorf nümunədə yaranan qismən kristallik təbəqənin qalınlığı ~ 40 nm olmuşdur. Yüksək sürətlə soyudulmuş amorf maqnetiklərin maqnit xassələrinin dəyişməsinə lentin tab alınmasının təsirini aydınlaşdırmaq üçün $380^{\circ}C$ temperaturda vakuumda və havada 10 dəqiqə ərzində izotermik saxlanılmış və təqribən 10 K/dəq sürətlə soyudulması aparılmışdır. Nəticələr təhlil edilmiş və müəyyən olunmuşdur ki, vakuum mühitində edilən termik emal zamanı domen sərhədlərinin sabitləşməsi nəticəsində ən yaxşı maqnit xassələri almaq mümkündür. Ancaq vakuumdan fərqli olaraq havada edilən termik emal nəticəsində yaranan xüsusi maqnit itkilərin azalması müşahidə olunur. Amorf lentin

havada edilən termik emalından sonra yaranan xüsusi maqnit itkilərinin miqdarının azalmasının səbəbi tədqiq olunan amorf lentinə paralel istiqamətdə biroxlu dartılması zamanı domen strukturunun xırdalanması ilə əlaqəli ola bilər. Belə dartılma nəticəsində termik emal zamanı yaranan su buxarı atmosferində müşahidə edilən amorf lentin səth təbəqəsində anizotrop oksidləşmə prosesinin nəticəsində meydana çıxır. Termik emal prosesi nəticəsində forma anizotropluğu müəyyən dərəcədə zəifləməsi müşahidə edilir ki, amorf lent nümunəsinin maqnitlənmənin paylanmasına təsiri amorf lentin alınması prosesində, lentin tabı alınması zamanı induksiya olunan daxili gərginliklərin yaranması ilə özünü göstərir. Amorf lentin müstəvi səthinə perpendikulyar olan istiqamətdə ən böyük dartılma müşahidə edilir. Müstəvi səthinə perpendikulyar istiqamət yekun olaraq maqnitlənmənin istiqaməti sayılır. Bundan əlavə amorf lentin səth təbəqəsinə oksigen və hidrogenin nüfuz etməsi nəticəsində müşahidə edilən konsentrasiya lentin oxuna paralel və yekun maqnitlənməyə perpendikulyar olan istiqamətdə meydana çıxır. Amorf lentin termik emal zamanı soyuma prosesindən sonra nümunənin amorf matrisi perpendikulyar istiqamətdə psevdo biroxlu dartılması meydana çıxır [6, s.15-16].

Beləliklə, müxtəlif təsirlər edilmiş amorf maqnetik lentlərin səth təbəqəsinin halı ilə onun maqnit xassələrinin formalaşmasında qarşılıqlı əlaqəsinin öyrənilməsi göstərdi ki, amorf lentini termik emal etməklə yeni yüksək səviyyəli maqnit xassələrə malik optimal qalınlığı olan amorf nümunənin səthində kristallik təbəqənin formalaşması prosesi zəruridir. Bundan başqa, müxtəlif strukturlu amorf maqnetik lentlərin öyrənilməsi yaranan maqnit itkilərinin formalaşmasında baş verən fiziki səbəbləri aydınlaşdırmağa imkan yaradır. Müəyyən olunmuşdur ki, 180^0 -yə malik domen quruluşunun sərhədlərinin yerdəyişməsi, həmçinin maqnitlənmə vektorun fırlanması zamanı yenidənmaqnitlənmə dövründə yaranan anomal olan maqnit itkilərin formalaşması prosesinə təsir etmir. Lakin 90^0 -li domen sərhədinin yerini dəyişməsi zamanı yenidənmaqnitlənmə dövründə anomal olan maqnit itkilərinin formalaşması meydana çıxır. Belə ki, 90^0 -li domenlərin miqdarının artması



Şəkil 3.7.1. Amorf lentinin maksimum maqnit nüfuzluğunun lentin səthində yaranan amorf – kristallik təbəqəsinin h qalınlığından asılılıq əyrisi [6, s.15-16].

nəticəsində yenidənmaqnitlənmə dövrü müddətində maqnit itkilərinin tezlikdən asılılığı maqnit itkilərinin anomaliyasının artmasına səbəb olur [6, s.15-16].

3.8. Amorf (CoFe)₇₅Si₁₀B₁₅ lentinin rentgen quruluşunun tədqiqi

Amorf lentlərin müxtəlif termik emal üsullarından sonra mikrostrukturunun təyin edilməsi elektron mikroskopunun köməyi ilə edilir. Müxtəlif müəlliflərin apardığı tədqiqatlarda 200⁰C və 400⁰C oblastında termik emal etməklə amorf maqnityumşaq ərintilərin quruluşunda baş verən keyfiyyət dəyişiklikləri araşdırılmamışdır [147, s.164] Amorf maqnityumşaq lent nümunəsinin quruluşunda kristallaşma prosesin meydana çıxmasının müşahidə edildiyi ilk dəyişiklik 430⁰C temperaturunda olmuşdur. Beləliklə, yuxarıda adı çəkilən nəticələri müqayisə edərkən belə nəticəyə gəlmək olar ki, amorf lentin maqnitooptik metodlarla araşdırılması lentin səth təbəqəsində və ya səthətrafi təbəqəsində baş verən forma dəyişikliyi aydınlaşdırmaqda mühüm rol oynayır. Maqnitooptik metodlarla termik emalı prosesi zamanı amorf lentin səthində və ya səthətrafi təbəqəsinin yaxınlığında

meydana gələn mikrostruktur dəyişikliyi fərqləndirmək və dəqiq, tez zamanda təyin etmək mümkündür [89, s.1865-1870].

Rentgen nəticələrinə əsasən $(CoFe)_{75}Si_{10}B_{15}$ amorf lentinin havada tablama prosesində lentin səth təbəqəsində mikrostruktur dəyişiklikləri metal və metalloid nisbətinin artımı ilə müəyyən qədər dəyişir [10, s.68-71].

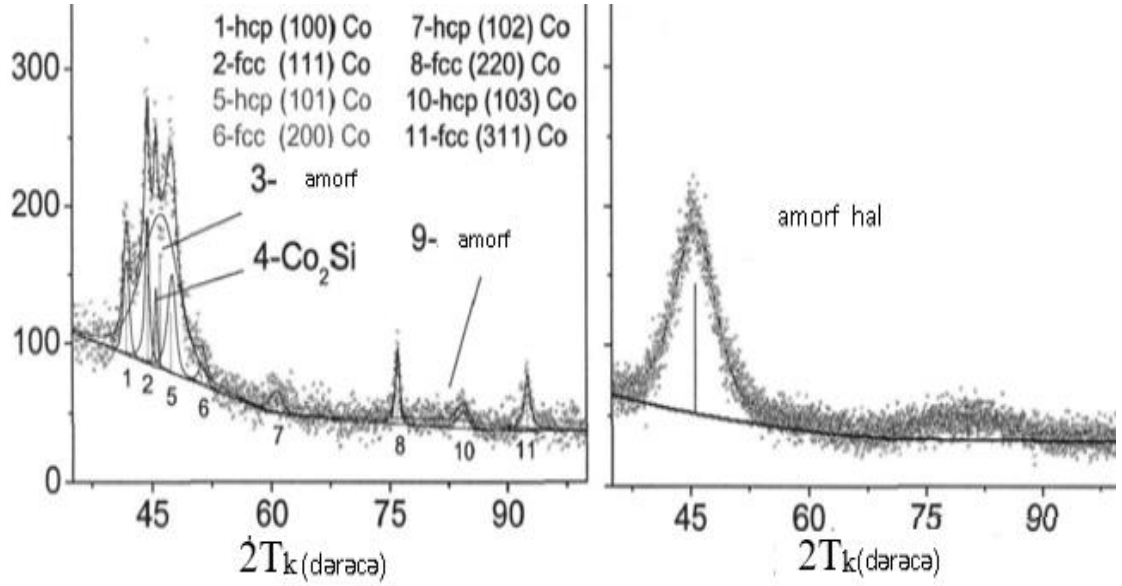
Nümunələrin havada tablanması zamanı rengen quruluş tədqiqatlarının təhlili onu müəyyən edir ki, amorf lent nümunəsinin səth təbəqəsində B və Si metalloidləri olan $B(O)$ və $Si(O)$ təbəqəsi əmələ gəlir. Bunun nəticəsində səth altı təbəqədə bu parametrlərlə kasadlaşmış halda olan bir təbəqənin inkişafı baş verir. Əgər nümunədə metalloidlərin tərkibini azaltsaq kristallaşma temperaturunun aşağı düşməsinə və amorf maqniyumşaq ərintinin kristallaşma prosesinə təsir edə bilər [10, s.68-71].

Yuxarıda edilən tədqiqatları nəzərə alaraq, amorf ərintinin tablamasından sonra amorf nümunənin səth təbəqəsində kristallaşmanın meydana çıxması birbaşa quruluşunun öyrənilməsində təsdiq edilmişdir [10, s.68-71].

Rengen şüaların difrasiya metodu ilə $(CoFe)_{75}Si_{10}B_{15}$ amorf nümunəsinin üzərində tədqiqat aparılmışdır [10, s.68-71].

- Tədqiq etdiyimiz amorf lent nümunəsinin səth təbəqəsinin maksimum qalınlığı 1.5 nm olmuşdur (şəkil 3.8.1).
- Tədqiqat nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, rengen şüaları $\varphi = 1^\circ$ bucağı altında düşdüyü halda havada tablamaya məruz qalmış nümunələrdə Co -ın üzə mərkəzləşmiş və heksoqanal kub fazasının və ya Co_2Si kristalliklərin rengen spektrində pik nöqtələri aydın şəkildə görsənmişdir. Rentgen şüa dəstəsinin $\varphi = 1^\circ$ düşmə bucağının $\varphi = 5^\circ$ -yə dək artması zamanı spektral asılılıq əyrisində əhəmiyyətli şəkildə forma dəyişikliyi müşahidə edilir. Rentgen şüalarının sürüşmə bucaqlarının verilən müxtəlif qiymətlərində rentgen tədqiqatlarında spektrlərin özünü belə aparması amorf lent nümunəsinin səth təbəqəsində qismən kristallik təbəqənin mövcud olduğunu göstərir [10, s.68-71].

Müxtəlif müəlliflərin tədqiqatlarında düşən işıqın müxtəlif dalğa uzunluğuna malik nümunələrdə Ekvatorial Kerr effektinin öyrənilməsi nəticəsində buna yaxın nəticəyə gəlinə də tam araşdırılmamışdır [10, s.68-71].



Şəkil 3.8.1. Müxtəlif düşmə bucağı altında rentgen şüaların difraksiyası [10, s.68-71]

- a) 8 saat ərzində havada təbii almaya məruz qoyulmuş nümunə
- b) vakumda təbii alındıqdan sonra nümunə

3.9. CoFe və NiFe permalloyları əsasında maqnit termocütlərin hazırlanma imkanları

Maye haldan tablama qurğusunda alınmış elastik nazik lent şəkilli, normal və maqnitlənmiş amorf strukturlu, *CoFe* və *NiFe* ərintiləri maqnit termocüt istehsalı üçün uyğun materiallardır [133, s.987-990]. Termocütün nazik lent şəkilli qolları

induksiya cərəyanının təsiri ilə qızma zamanı dəyişən maqnit sahəsində temperaturun ölçülməsi zamanı xətalari minimuma endirməyə imkan verir.

Dəmirin üçqat ərintiləri olan permalloylar, geniş spektrli fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərə malik olub, müxtəlif sənaye sahələrində geniş istifadə olunurlar [78, s.759-762;90]. Xüsusi maqnit xassəsi, istiliyə dözümlüyü, korroziyaya qarşı yüksək davamlılığı, istidən genişlənmə əmsalının kiçik qiyməti onun yüksək radioaktivlik şəraitində və yüksək temperaturlarda digər materiallarla birlikdə istifadə edilməsinə imkan verir [73, s.661; 71, s. 8]. Müxtəlif elementlərlə legirlənmiş maqnit yumşaq Co-Fe ərintiləri yüksək maqnit nüfuzluluğuna malikdir və lent şəklində hazırlanaraq yüksək tezlikli transformatorların istehsalında istifadə olunur [124, s.525; 132, s.171].

CoFe və *NiFe* amorf ərintilərdən adi və maqnitlənmiş amorf strukturlu elastik nazik lentlərin alınması onların praktik tətbiq sahəsini genişləndirməyə imkan verir. Xüsusilə, onların əsasında ferromaqnit cisimlərlə birbaşa kontakta ola bilən maqnit termocütləri istehsal etmək mümkündür. Dissertasiya işində *CoFe* və *NiFe* ərintilərindən amorf strukturlu ensiz nazik lent şəklində olan termocütlərin hazırlanması və termoelektrik xüsusiyyətlərinin tədqiqinin nəticələri təqdim olunur [133, s.987-910].

Temperaturun ölçməsi və qeyd edilməsi üçün ən səmərəli sensorlarından biri də termocütdür. Termocütlər eksperimental temperatura dözərək, titrəmələr və hətta ionlaşdırıcı radiasiyaya baxmayaraq, müxtəlif mühitlərdə etibarlı işləyirlər [140, s.035006]. Termocütlər laboratoriya şəraitində və ya sənayedə tez-tez kənar, adətən arzuolunmaz və nəzarətsiz maqnit sahələrinin təsirinə məruz qalır. Bu zaman, metal tel cütlərdən hazırlanan termocüt sensorlarının parametrləri maqnit sahəsinin təsiri ilə təhrif olunur. Bu dissertasiya işində, permalloy lentindən hazırlanmış termocütlər tədqiq edilmişdir [133, s.987-910].

Termocütün sınağı və ölçmə metodu.

Co-Fe və Ni-Fe ərintilərinin maqnit yumşaq lentlərini əldə etmək üçün iki silindrlı dökmə qurğusundan istifadə olunur. Puta içində metal əridilir. İki soyuma valının arasındakı boşluğa tökülərək lent alınır. Vallar maye azot buxarının axını ilə

soyudulur. Lentin 300-400 °C temperatura qədər soyudulması prosesi azot və digər inert qazlar qarışığı mühitində aparılır. Lentin qalınlığı 100-200 mkm arasında dəyişir, eni isə 3 sm-dir. Şəkil 3.9.1-də Co-Fe lentinin səthinin (50% - Co və 50% Fe) atom qüvvə mikroskopu ilə çəkilmiş şəkilləri göstərilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi, lentin strukturu bircinsdir və onun səthi olduqca hamardır. CoFe və NiFe lentləri rentgen quruluş analizi edilmişdir. Rentgen quruluş analizdən lentin amorf olduğu müəyyən olunmuşdur. Lentin 900°C temperaturda havada təb almadan sonra sərtliyi azalır, lentin səthinin oksidləşməsi baş verir. [15, s.139-150] işində göstərildiyi kimi, lentin oksidləşməsi ilə bağlı kütlənin artımı müşahidə olunur. Eyni olmayan bu artımdan görünür ki, Co-ın ayrılması və tədqiq edilən oblastda dəmirin kiçik konsentrasiya gradientinin olması ilə bağlıdır [133, s. 987-990; 91].

Tədqiq etdiyimiz alınmış lentdən eni 1.5 mm və uzunluğu 20÷25 sm olan lent kəsilmişdir. NiFe lentinin ucları distillə edilmiş suda CoFe lentinin ucları ilə elektrik qaynağı üsulu ilə birləşdirilərək qaynaqlandı. Şəkil 3.9.2-də CoFe və NiFe ərintilərinin skanedic mikroskopu vasitəsilə səth relyefi çəkilmişdir. Şəkildə düz xətlər təmasın olduğu vaxtda CoFe ərintilərində kristallaşmanın yarandığını göstərir. Diferensial termocütün birləşmələrindən biri 0°C, ikincisi isə -196 ilə 500 °C arasında olan temperatur əldə etmək mümkün olduğu bir termostatda qoyuldu. Termo-Ehq kompensasiya üsulu ilə ölçülmüşdür [133, s.987-990].

Ölçmələrin nəticəsində aşkar edilmişdir ki, quraşdırılmış termocütlər maqnit sahə intensivliyinin $H = 4,8 \text{ A/m}$ qiymətində maqnitləşdirilmişdir [133, s.987-990].

Şəkil 3.9.3-də Co-Fe permalloy lentinin 410°C temperaturda, dəyişən və sabit maqnit sahəsində suda təb alındıqdan sonra çəkilmiş histerezis ilgəyi göstərilmişdir [9, s.987-990].

Histerezis ilgəyindən göründüyü kimi maqniyumşaq termocütün CoFe və NiFe paramaqnit və ferromaqnit gövdələrinin yaxşı yapışması üçün lentin maqnitlənməsi kifayətdir [133, s. 990].

Qeyd etmək lazımdır ki, Co-Fe və Ni-Fe ərintilərinin lentlərindən alınmış termocüt kiçik koersitiv qüvvəyə malikdir (0,2-0.3 E).Co-Fe və Ni-Fe ərintilərindən

hazırlanan termocütün differensial termo-EHQ temperatur asılılığı (α) şəkil 3.9.4.-də göstərilmişdir. Ərintilərin təməlində Co-Fe ərintisi müsbət potensiala malikdir. Paulinq miqyasında dəmir, kobalt və nikel elektrolitikliyi sırasıyla 1,83, 1,88 və 1,91 təşkil edir [133, s. 990].

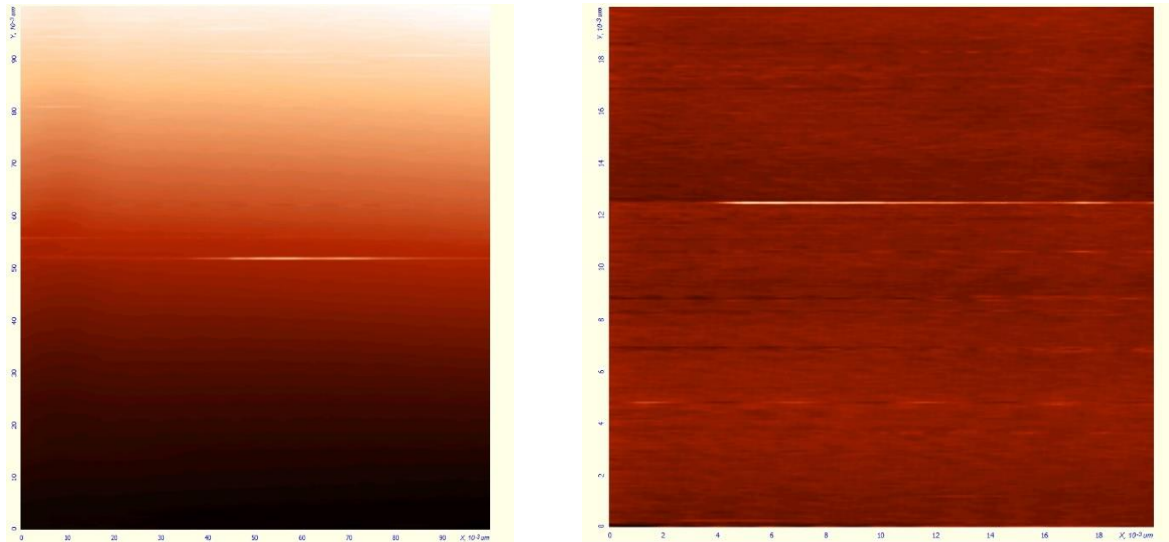
Nəticədə, sərhəddəki qarşılıqlı təsir prosesində potansiallar fərqi Co-Fe dan Ni-Fe-a doğru elektronların diffuziya axını ilə formalaşır. Termocüt permalloyunun (TP) α (T) asılılığının əmələ gəlməsi, xromel-alümin termocütünün (XAT tipli K) oxşar xarakteristikası ilə eyni xarakter daşıyır [133, s. 990].

Termocüt permalloyunun (TP) həssaslığı XAT-nın həssaslığından bir az aşağıdır. Lakin, permalloy termocütlər XAT üzərində bir sıra üstünlüklərə malikdir. Xüsusilə, TP-nin maqnitlənməsi, maqnit qarşılıqlı təsirinə görə birbaşa öyrənilən paramaqnit və ya ferromaqnit obyektə birləşməyə imkan verir [133, s. 990].

Dəyişən elektromaqnit sahəsinə məruz qaldıqda keçiricidə yaranan burulğanlı cərəyan istiliyin ayrılmasına səbəb olur [97, s.9]. Zamana görə dəyişən maqnit sahəsində XAT termocüt teli ilə temperaturun ölçülməsi zamanı, induksiya cərəyanından qaynaqlanan istilik ayrılımları nəticəsində ölçmələrdə xətlər meydana gəlir. Maqniyumşaq permalloy lentlərin termocütlərinin işlənməsi ilə oxşar xətlər minimuma endirilmişdir [133, s. 990].

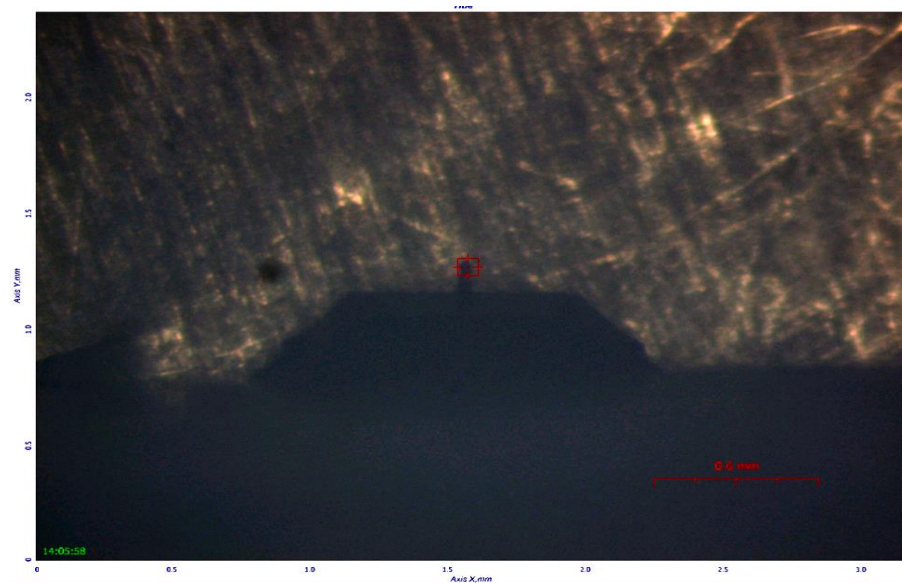
Beləliklə, nəticəyə gəlmək olar ki, permalloy Co-Fe və Ni-Fe-dan olan maqnit lentlər termoelektrik sensorlar istehsalına yararlı materiallardır.

Ərintilərinin maqnitləşdirilmiş incə zolaqlarından hazırlanan termocütlər, maqnit qarşılıqlı təsirlər nəticəsində tədqiq ediləcək paramaqnit və ya ferromaqnit obyektə birbaşa qoşulmağa imkan verir. Termocütlərin incə lent forması, induksiya cərəyanları ilə əlaqədar ayrılan istilik səbəbindən dəyişən maqnit sahəsindəki temperatur ölçmələrində xətləri minimuma endirməyə imkan verir [133, s. 990].

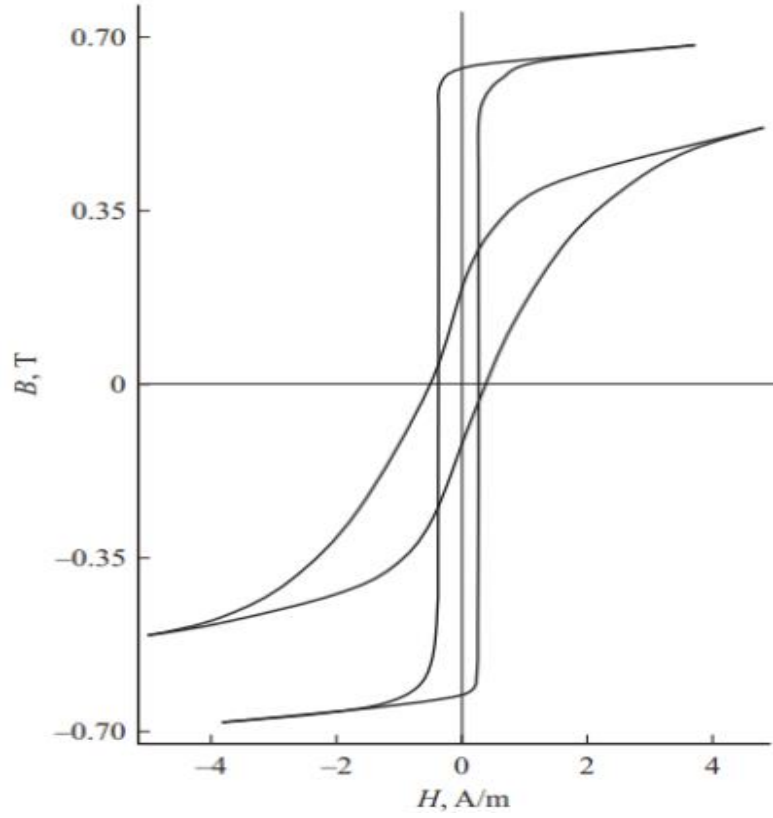


a)

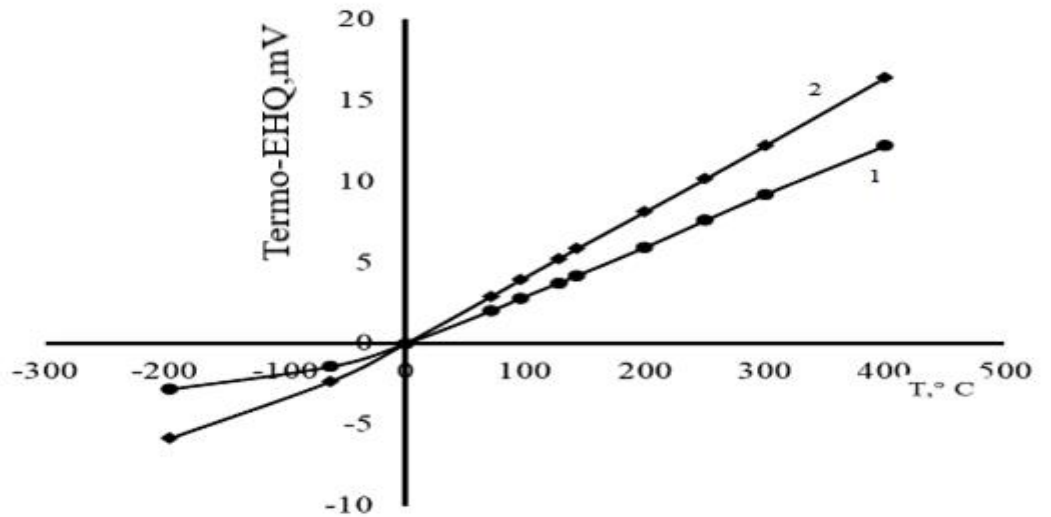
Şəkil 3.9.1. Co-Fe(50%- Co и 50%- Fe) lentinin atom qüvvə mikroskopu ilə çəkilmiş səth şəkilləri a) tab almadan əvvəl; b) tab almadan sonra [133 s. 990].



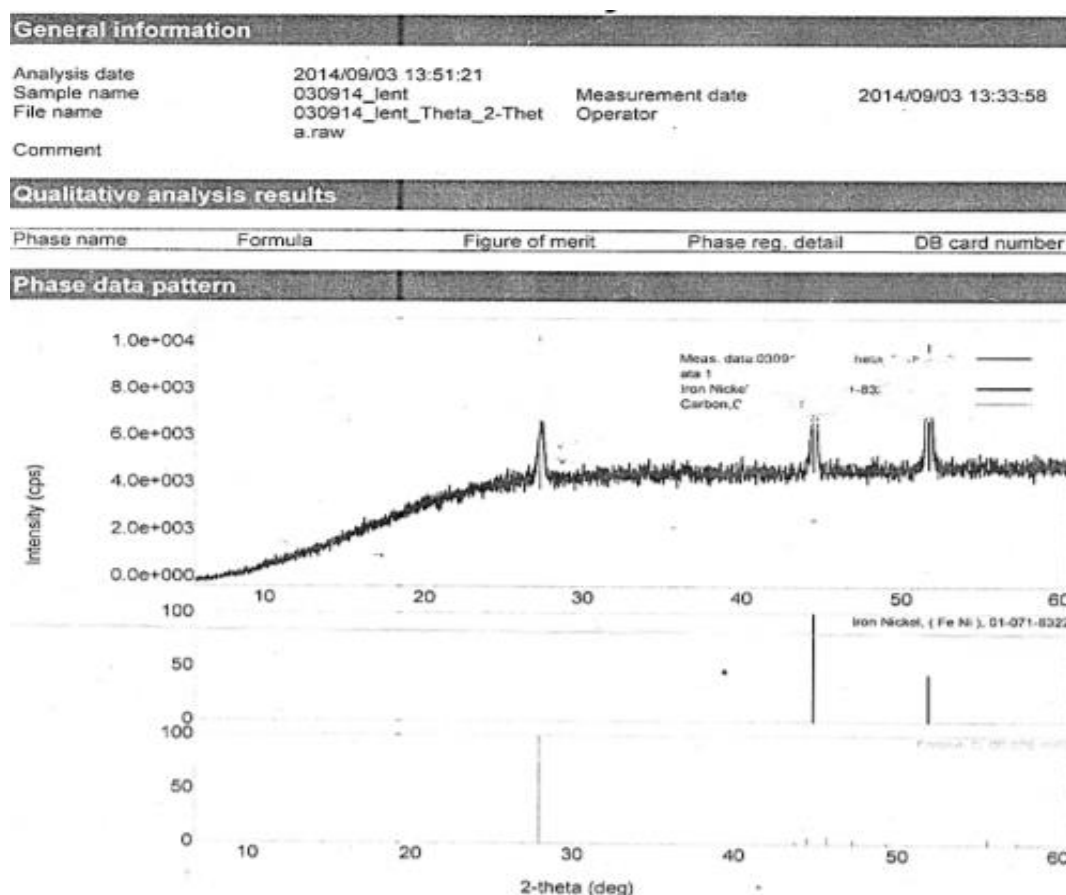
Şəkil 3.9.2 Skanedici elektron mikroskopu vasitəsilə çəkilmiş CoFe - NiFe ərintilərinin arasındakı sərhəd şəkli [133 s. 990].



Şəkil 3.9.3. 410°C temperaturda suda tab almadan sonra CoFe permaloy lentinin histerezis əyrisi a) sabit b) dəyişən maqnit sahəsində [133 s. 990].



Şəkil 3.9.4. Permaloyun termocütünün Termo-EHQ-nin (əyri 1) və Xromel Alyumel termocütünün (əyri 2) temperatur asılılığı [133, s. 990]



Şəkil.3.9.5. NiFe lent nümunəsinin rentgen strukturu

3.10. Amorf maqnyumşaq $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ ərintisindən hazırlanmış lentlərdə maksimal maqnit nüfuzluğuna termik emal parametrlərinin təsirinin tədqiqi

$(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ maqnyumşaq ərintilərin amorf lentlərində maksimal maqnit nüfuzluğuna termik emal zamanı izotermik saxlama temperaturunun və soyuma sürətinin təsiri öyrənilmişdir. Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, maksimal maqnit nüfuzluğunun izotermik saxlama temperaturundan asılılığı müəyyən izotermik saxlama temperaturunda termik emal zamanı baş verən diffuziya prosesləri ilə təyin edilir. Soyuma sürətinin artırılması maqnit xassələrinin səviyyəsinə bir mənalı olmayan təsir göstərir [60]. Soyuma sürətinin artırılması termik emaldan sonra səthin amorf halında və müəyyən optimal qalınlığa yaxın səthi amorf-kristallik təbəqənin

formalaşması zamanı reallaşdıqda maqnit xassələrinin yaxşılaşmasına səbəb olur [50, s.54-60].

Son illər ferromaqnit ərintilərin fiziki xassələrinə Si-B tərkibli elementlərin təsirinin öyrənilməsi sənayenin müəyyən kompleks fiziki-kimyəvi xassəli materiallarla təmin edilməsi üçün çox əhəmiyyətli rol oynayır. Material emalının yüksək effektiv texnologiyalarının işlənməsi, onlardan sənaye məmulatlarının hazırlanması üçün istifadə edilməsindən heç də az əhəmiyyət kəsb etmir. Məlumdur ki, havada termik emal nəticəsində amorf maqniyümşaq ərinti lentlərinin maqnit xassələrinin səviyyəsinə təsir göstərən fiziki səbəblər tablama nəticəsində yaranan daxili gərginliklərin səviyyəsinin azalması, lentin səthinin atmosferdə yerləşən su buxarı ilə qarşılıqlı təsiri və səthi amorf-kristallik təbəqənin yaranmasıdır [60]. Havada termik emal zamanı axan bütün proseslər diffuziya prosesləridir. Bu proseslərin axma aktivliyi hər şeydən əvvəl izotermik saxlama temperaturundan asılıdır [60]. Bu zaman qızma və ya soyumanın sürəti də mühüm parametrdir. Qızma və ya soyuma sürətinin havada termik emaldan sonra maqnit xassələrinin formalaşması səviyyəsinə təsiri müəyyən dərəcədə az öyrənilib. Bu dissertasiya işində $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ maqniyümşaq ərintilərdən hazırlanmış amorf lentlərdə maqnit xassələrinə izotermik saxlama temperaturunun və soyuma sürətinin təsiri də öyrənilmişdir. Temperaturun artması zamanı diffuziya proseslərinin aktivliyi artsa da, termik emal prosesinin bütün mərhələlərində: qızma, izotermik saxlama və soyuma zamanı bu proseslər davam edir. Soyuma sürətinin variasiyası maqnit xarakteristikalarının müəyyən səviyyəsinin formalaşmasında bu və ya digər mexanizminin rolunu anlamağa kömək edə bilər [60,144, s.613-619;].

Tədqiqatlar sürətlə tablanmış maqniyümşaq $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ ərintisinin lentlərində aparılmışdır. Tədqiq edilən nümunələr $100 \times 10 \times 0,022$ mm ölçülü lövhə şəklində olmuşlar. Amorf $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ ərintisinin termik emalı havada $360-430^\circ\text{C}$ temperaturdan təqribən 20 və 40 K/dəq soyuma sürətilə aparılmışdır [60].

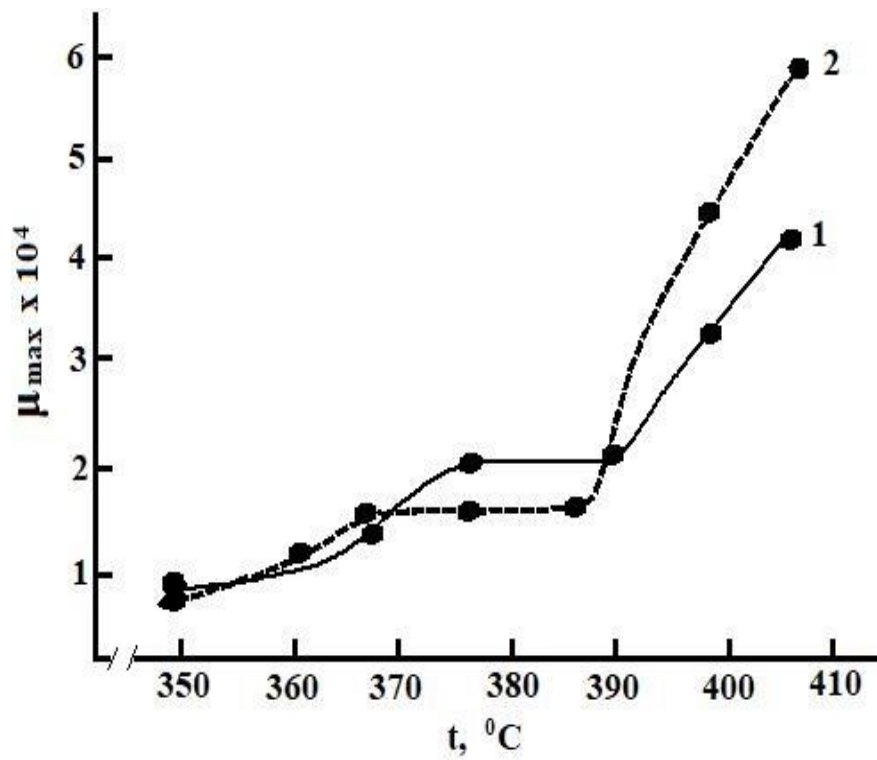
Tab almadan sonrakı maqnit xassələrinin səviyyəsi lentin ilkin halında maqnitlənmənin paylanmasıdan asılı olduğundan [60] tədqiqat üçün ilkin

(tablanmış) halda maqnitlənmənin paylanması eyni olan nümunələr seçilmişdir. Statistik maqnit xarakteristikalarının ölçmə xətası 5 %-dən çox olmamışdır.

Şəkil 3.20-də amorf maqniyumşaq $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ ərintisi nümunələrinin maksimal maqnit nüfuzluğunun havada izoxor olaraq izotermik saxlama müddəti $\tau = 5$ dəq olduqda, 20 və 40 K/dəq soyuma sürəti ilə termik emal temperaturundan asılılığı göstərilmişdir [60].

Göründüyü kimi, izotermik saxlama temperaturunun artırılması maksimal maqnit nüfuzluğunun yüksəlməsinə səbəb olur. Bununla belə, μ_{max} -ın izotermik saxlama temperaturundan asılılığında həm 20, həm də 40 K/dəq sürəti ilə soyuma zamanı 380-400⁰C temperatur intervalında çiyin şəklində əyri müşahidə edilir. Yəni, bu temperatur intervalında tədqiq edilən CoFe tərkibli amorf maqniyumşaq ərintidən hazırlanmış nümunələrin havada termik emalı zamanı, maksimal maqnit nüfuzluğu praktiki olaraq izotermik saxlama temperaturundan asılı deyil. Müəyyən izotermik saxlama temperaturunda havada termik emal zamanı ilk növbədə lentdə baş verən diffuziya prosesləri ilə təyin edilən, maksimal maqnit nüfuzluğunun izotermik saxlama temperaturundan asılılığı lentdə maqnitlənmənin uyğun dəyişməsi ilə korellasiya edir [60]. 3.10.1-dən həmçinin görünür ki, müxtəlif temperatur intervallarında soyuma sürətinin artırılması termik emalın maksimal maqnit nüfuzluğuna təsir mexanizminin müxtəlifliyinə gətirir.

Məsələn, 360 ⁰C temperaturda termik emaldan sonra soyuma sürətinin artması maksimal maqnit nüfuzluğunu azaltdığı halda, 420 ⁰C temperaturda termik emaldan sonra maksimal maqnit nüfuzluğu artır. Alınmış nəticələr termik emal zamanı lentin səthinin havada olan su buxarı ilə qarşılıqlı təsiri haqqında təsəvvürlərlə uzlaşır [80, s. 315]. 360 ⁰C və həmçinin otaq temperaturunda buxarla emal maksimal maqnit nüfuzluğunun azalmasına və lentini oxuna nəzərən eninə yönəlmiş planar maqnitlənməli domenlərin həcmnin artmasına gətirir [125, s. 315]. Bu ona görə baş verir ki, 360 ⁰C temperaturda lentin yekun maqnitlənməsi lent müstəvisində lentin oxu boyunca yönəlmişdir və səthdə hidrogen və oksigen daxil olma atomlarının lentin oxuna nəzərən eninə konsentrasiyasının artması psevdobiroxlu dartılma



Şəkil 3.10.1. Amorf maqniyumşaq $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ ərintisi nümunələrinin maksimal maqnit nüfuzluğunun havada izoxor olaraq izotermik saxlama müddəti $\tau = 5$ dəq olduqda, 20 və 40 K/dəq (uyğun olaraq 1 və 2 ayrıləri) soyuma sürəti ilə termik emal temperaturundan asılılığı [60].

induksiyalayır. 360 °C temperaturda $\mu_{\max}$ -ın cüzi artması və ilkin halla müqayisədə (cədvəl 3.10.1) ortoqonal maqnitlənməli domenlərin nisbi həcmnin azalması daxili tablama gərginliklərinin səviyyəsinin müəyyən qədər azalması ilə əlaqədardır. Hər halda lentin oxuna nəzərən eninə yönəlmiş planar maqnitlənməli domenlərin həcmi artır. Bir halda ki, bu halda lentin səthinin amorf halı əsasən saxlanılır, V_{90} -nın artması havada olan su buxarları ilə lentin səthinin qarşılıqlı təsiri nəticəsində lentin oxuna nəzərən eninə psevdobiroxlu dartılma ilə əlaqədardır [60].

Soyuma sürətinin artması bu etapda diffuziya proseslərinin artmasını məhdudlaşdırır. Buna görə də 360 °C temperaturdan 40 K/dəq sürəti ilə soyumada termik emaldan sonra tablama zamanı yaranan daxili gərginliklər daha az relaksasiya edir və nəticədə ortoqonal maqnitlənməli domenlərin nisbi həcmi daha böyük qiymət alır. Bu halda vəziyyət soyuma mərhələsində diffuziya proseslərinin axmasının məhdudlaşması nəticəsində səthdə lentin oxuna nəzərən eninə daxil olma atomlarının daha böyük konsentrasiyasının saxlanması ilə əlaqədar ola bilər [125s. 315].

Cədvəl 3.10.1. Amorf maqnitiumşaq $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ ərintisi nümunələrində tablanmış halda və 20 K/dəq soyuma sürəti ilə termik emaldan sonra maqnitlənmənin paylanması və maksimal maqnit nüfuzluğu [60].

Lentin halı	M	$V_{\text{ort}} ; \%$	$V_{\text{pl}} ; \%$	$V_{90} ; \%$	$V_{180} ; \%$	V_{180}/V_{90}
Tablanmış	4100	42	58	20	38	1,9
TE:420 °C, $\tau = 5$ dəq	42 200	11,5	89	21	67	3,2
TE:430 °C, $\tau = 1$ dəq	41 000	10,1	90	26	64	2,5

Bu faktorlar ümumilikdə soyuma sürətinin artması zamanı $\mu_{\max}$ -ın azalmasına səbəb olur.

Şəkil 3.10.1-də göstərilən 1 əyrisinin gedişinin analizi göstərir ki, 360-380 °C temperatur intervalında temperaturun artması ilə maksimal maqnit nüfuzluğunun nisbətən zəif artması yer alır [60].

Şəkil 3.10.1-dən həmçinin görünür ki, 370-380 °C temperatur intervalında soyuma sürətinin artması maksimal maqnit nüfuzluğunun artıq azalmasına deyil, artırmasına gətirir. Bu zaman ortoqonal maqnitlənməli domenlərin həcmnin müəyyən qədər azalması müşahidə edilir. Bu daxili tablama gərginliklərinin yüksək dərəcədə relaksasiyası fonunda lentin səth təbəqəsinə hidrogen və oksigenin daxil olması ilə bağlı müstəvi dartıcı gərginliklərin təsiri nəticəsində ola bilər [160 s. 132]. Belə ki, soyuma prosesində diffuziya proseslərinin ləngiməsi səthdə daxilolma atomlarının daha yüksək konsentrasiyasının saxlanmasına imkan yaradır. Bundan əlavə, soyuma sürətinin artması lentin oxu boyunca və eninə lentin səthinə daxil olmuş atomların konsentrasiyası arasındakı böyük fərqi saxlamağa imkan verir. Bu halda lentə paralel səth boyunca daha yüksək səviyyəli müstəvi psevdobiroxlu dartıcı gərginliklər induksiyanır [60].

380-400 °C temperatur intervalında maksimal maqnit nüfuzluğu praktiki olaraq izotermik saxlama temperaturundan asılı deyil. Bu diffuziya proseslərinin aktivlik dərəcəsinin bu temperaturlarda zəif dəyişməsi ilə əlaqədar ola bilər [60]. Bundan əlavə, soyuma sürətinin artması $\mu_{\max}$ -ın azalmasına gətirir və əsasən ortoqonal maqnitlənməli domenlərin nisbi həcmnin artması, həm də planar maqnitlənməli domen sərhədlərinin stabilləşməsi kimi ən güclü faktorla şərtlənir. Lent müstəvisində lentin oxuna nəzərən eninə yönəlmiş maqnitlənməyə malik domenlərin kiçik həcmi ilə və müəyyən qədər yüksək dərəcədə maqnit tekusturanın itiliyi ilə xarakterizə edilir. İzotermik saxlamanın 380-400 °C temperatur intervalında termik emal nəticəsində maksimal maqnit nüfuzluğunun və lent müstəvisində maqnitlənmənin paylanması belə dəyişməsi aşağıdakı faktorların təsiri ilə əlaqədardır. Görünür ki, bu halda lentin səthində optimaldan kiçik qalınlıqlı amorf - kristallik səlt təbəqə formalaşır. Buna baxmayaraq bu təbəqənin amorf matrisada induksiya etdiyi müstəvi dartıcı gərginlik ortoqonal maqnitlənməli domenlərin həcmnin əlavə olaraq azalmasına gətirir. Soyuma mərhələsində diffuziya proseslərinin axmasının məhdudlaşması səthi amorf - kristallik təbəqənin qalınlığını və beləliklə, induksiya olunan müstəvi dartıcı gərginlikləri azaldır. Nəticədə lentin oxu boyunca

lentin səthində əmələ gəlmiş hidrogen və oksigen atomlarının daxil olmasının yüksək konsentrasiyası bu istiqamətdə kristallaşma sürətini azaldır. Bunun nəticəsində səthi amorf - kristallik təbəqə lentin oxuna nəzərən eninə müstəvi psevdobiroxli dartıcı gərginlik induksiylayır. Bu da lentin oxu boyunca daxilolma atomlarının yüksək konsentrasiyası ilə əlaqədar olaraq psevdobiroxlu dartılmaya əks təsir göstərir və lent müstəvisində gərginliyin anizotropiyasını azaldır. Soyuma sürətinin artması lentin paralel səth boyunca nümunənin səthində daxilolma atomlarının konsentrasiyasının azalmasına mane olur [60].

400 °C-dən yuxarı izotermik saxlama temperaturlarında diffuziya proseslərinin aktivliyi kifayət qədər yüksək olur. 420 °C-də izotermik saxlama müddətinin 5 dəq olması optimal sayılır ki, bu da optimal qalınlıqlı səthi amorf-kristallik təbəqənin formalaşmasına müvafiqdir. 400-420 °C temperatur intervalında havada 20 K/dəq soyuma sürəti ilə termik emaldan sonra maksimal maqnit nüfuzluğunun artırması praktiki olaraq lentin səthi ilə havada olan su buxarının qarşılıqlı təsiri və lentdə səthi kristallaşma nəticəsində müstəvi dartıcı gərginlikləri induksiylanması ilə əlaqədardır [60].

Cədvəl 3.10.1-də müqayisə üçün $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ ərintisi nümunələrində izotermik saxlamanın optimal 1 dəq müddətində və 20 K/dəq soyuma sürəti ilə 430 °C temperaturdan havada termik emaldan sonra maksimal maqnit nüfuzluğuna termik emalın təsirinin nəticələri verilmişdir. 420 °C temperaturdan 5 dəq müddətində optimal izotermik saxlama ilə termik emalla müqayisə göstərir ki, bu zaman maksimal maqnit nüfuzluğunun qiymətləri üçün yaxın hal alınır. Ortoqonal maqnitlənməli domenlərin nisbi həcmnin qiymətinin kiçik olmasına baxmayaraq, lentin halı maksimal maqnit nüfuzluğunun daha böyük qiymətlərinə görə fərqlənmirlər. Bunun səbəbi lentin oxuna nəzərən eninə yönəlmiş planar maqnitlənməli domenlərin həcmnin əhəmiyyətli dərəcədə böyük qiyməti ilə xarakterizə olunan lent müstəvisində maqnitlənmənin paylanmasıdır. Bu zaman termik emal izotermik saxlama temperaturu Küri nöqtəsindən yuxarı 430 °C temperaturda və diffuziya proseslərinin aktivlik dərəcəsi yüksək olduğu halda

aparıldığından lentin səthində hidrogen və oksigenin daxiloma atomlarının konsentrasiyasının əhəmiyyətli anizotropiyası yaranmır ki, bu da əsasən müstəvi dartıcı gərginliklərin induksiyanmasına gətirir [60].

Amorf maqniyumşaq ərinti lentlərinin havada termik emalı zamanı izotermik saxlama temperaturunun və soyuma sürətinin təsirinin öyrənilməsi göstərir [60]:

1. Maksimal maqnit nüfuzluğunun izotermik saxlama temperaturundan asılılığı izotermik saxlamanın müəyyən temperaturunda havada termik emal zamanı baş verən diffuziya prosesləri ilə təyin edilir [60].

2. Soyuma sürətinin artması $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf maqniyumşaq ərinti lentlərində maqnit xassələrinin səviyyəsinə birmənalı olmayan təsirə səbəb olur: havada termik emaldan sonra ya əsasən səthin amorf halı reallaşır, ya da səthdə qalınlığı optimala yaxın olan amorf - kristallik təbəqə formalaşır [60].

İşdə Amorf maqniyumşaq $\text{Fe}_{72}\text{Co}_3\text{Si}_{12}\text{B}_{13}$ ərintisi nümunəsinin maqnit nüfuzluğunun havada izotermik saxlama müddəti $\tau = 7$ dəq olduqda, 15 və 40 K/dəq (uyğun olaraq 1 və 2 əyriləri) soyuma sürəti ilə termik emal temperaturundan asılılığı əyriləri müqayisə edilmiş və praktik olaraq amorf maqniyumşaq $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ ərintisi nümunəsinə yaxın nəticə alınmışdır [5, s.21-24].

IV FƏSİL. CoFe AMORF MAQNƏTİKLƏRİN MAQNİTOOPTİK

XASSƏLƏRİ

4.1. Ferromaqnit metal və ərintilərdə maqnitooptik hadisələrin mikroskopik nəzəriyyəsi

Ferromaqnit metalların xüsusilə Faraday və Kerr effektləri ilə öyrənilməsinə, mikroskopik nəzəriyyə əsasında edilən ilk cəhdlərin nəticəsi göstərir ki, xarici maqnit sahəsinin təsiri altında polarizə edilmiş işıq dalğalarının dairəsi boyunca fərqlənir [21, s.820; 91, s.5659; 69;148 s.6782].

Maqnit sahəsinin təbiəti Veys tərəfindən müəyyən olunmuşdur, elektronların qarşılıqlı təsiri Heyzenberq tərəfindən izah olunmuşdur. Lakin, yalnız əks qarşılıqlı təsirin nəzərə alınması, maqnitooptik hadisələrin meydana gəlməsinə gətirib çıxara bilməz [93, s.5988].

Maqnitooptik effektlər spin-orbital qarşılıqlı təsirdir. Elektrik sahəsində hərəkət etdikdə elektron p- və μ maqnit momenti arasında əlaqə yaranır və bu qarşılıqlı təsir də optik və maqnit xüsusiyyətlər arasında bir əlaqə yaratmalıdır. Belə bir qarşılıqlı təsirə effektiv sahədə potensial vektoru kimi baxa bilərik. [127, s.478].

Belə bir sahə bütün maddələrdə mövcuddur, lakin Pauli prinsipi nəticəsində ferromaqit olmayan materiallarda görünmür. Maqnitooptik hadisələrin nəzəriyyəsinin yaradılmasına həsr olunmuş elmi işlər əsasən Xelminin işinə əsaslanır. Bu spin-orbit qarşılıqlı təsir maqnitooptik hadisələr üçün məsuliyyət daşıyır, müvafiq maqnetizmdə modelinin seçilməsindən asılı olaraq müxtəlif yollarla özünü göstərir [157, s.740].

Vonsovski və Sokolov bütün maqnitooptik hadisələr üçün Vonsovskinin s-d modeli əsasında bir kvant nəzəriyyəsi qurdular. Bu nəzəriyyəyə görə, bağlı 3d elektronlar metalın elektrik keçiriciliyindən və nəticədə optik xüsusiyyətlərindən asılı olaraq 4s elektronları sərbəst hərəkət edirlər. Spin - orbit qarşılıqlı təsiri ferromaqnitin elektrik keçiriciliyinə təsir edir və bu da sağ və sol dairəvi polarlaşmış

işıq üçün qırılma göstəricilərində dəyişikliyə səbəb olur və bu həm polarizə edilmiş işığın səthinin fırlanma və elliptikliyi və ya əks etdirilən işıqla əlaqədardır [64, s.3419].

Bir elektronlu zona nəzəriyyəsinə əsaslanan ferromaqnit metallarda maqnitooptik hadisələrin kvant nəzəriyyəsi Argires tərəfindən hazırlanmışdır [64, s.3419]. [98, s.496] -də nəzəri modellər və konsepsiyalar hazırlanmışdır.

Bərk maddələrin optik spektrləri, düz xəttli spektrlərdən fərqli olaraq, davamlıdır. Dielektrik nüfuzluğunun tenzor komponentləri zonalar arası keçidləri də nəzərə alaraq, emissiya xüsusiyyətləri aşağıdakı şəkildə yazıla bilər:

$$\begin{aligned}\varepsilon_2 &\sim \sum_{\sigma, m, n} \int |P_{mn}|^2 \delta(\omega - \omega_{mn}) d^3 \cdot k \\ \varepsilon_2' &\sim \pm \sum_{\sigma, m, n} \int |P_{mn}|^2 \delta(\omega - \omega_{mn}) d^3 \cdot k\end{aligned}\quad (4.1.1)$$

burada m və n dolmuş və boş qalan vəziyyətdə spinləri işarə edir, + və - işarələr spinlərin müxtəlif istiqamətlərinə uyğun gəlir. Nəticədə, xassələri matris elementləri ilə təyin olunur və zonalar arası sıxlığı ilə müəyyənləşdirilir.

$$\varepsilon \sim \varepsilon_2' \sim \sum_{mn} f_{mn} \cdot \frac{dN}{dE_{mn}} = \frac{1}{\Omega} \cdot \sum_{mn} f_{mn} \int \frac{ds}{\nabla_k (E_m - E_n)} \quad (4.1.2)$$

f_{mn} - osilatorun zona arası enerjisi, S- təyin olunan izoenergetik səthlərdən biridir:

$$\hbar\omega = E_m(\vec{K}) - E_n(\vec{K}) \quad (4.1.3)$$

kritik nöqtələrdə :

$$\nabla_k (E_m(\vec{K}) - E_n(\vec{K})) = 0 \quad (4.1.4)$$

Belə ki, ferromaqnitlərdə optik və maqnitooptik spektrlərdə əsas xüsusiyyətlər müşahidə edilir. Belə xüsusiyyətlərin təsnifatı Van Houf tərəfindən təqdim edilmişdir. Filipis öz işində elektronun enerji spektrində bu xüsusiyyətlərin mövcudluğunun ε_2 və ε'_2 -əyriləri üzərində əsas olduğuna gətirib çıxardığını göstərdi.

Metallarda zəbt olunmuş və boş zonalar arasındakı zonalararası keçidlər mümkündür. Spektrdə Fermi səviyyəsinə keçid ilə əlaqəli anomaliyalar meydana gəlir. Belə xüsusiyyətlər maqnitooptik effektlərdə ən güclü şəkildə ortaya çıxır [148, s.6782].

ε'_2 -də optik keçidlərin sol və sağ spin alt zonalarında işarələrə görə əks olunur. Bu halda, ε'_2 və ya maqnitooptik effektlərin əyriləri üzərindəki keçidlərdə hər hansı zonadan mövcud keçidləri bağlamaq və ya söndürmək kimi şərh edilə bilər [57, s. 5988-5990].

Bir metal və ya bir ərinti spektrində nəzərə alınan xüsusiyyətlərə əlavə olaraq, interval keçidləri ilə əlaqəli anomaliyalar meydana gələ bilər ki, bunun üçün ossilayator gücünün kəskin artması baş verir [60, s.496].

4.2. Maqnitooptik Kerr effektləri

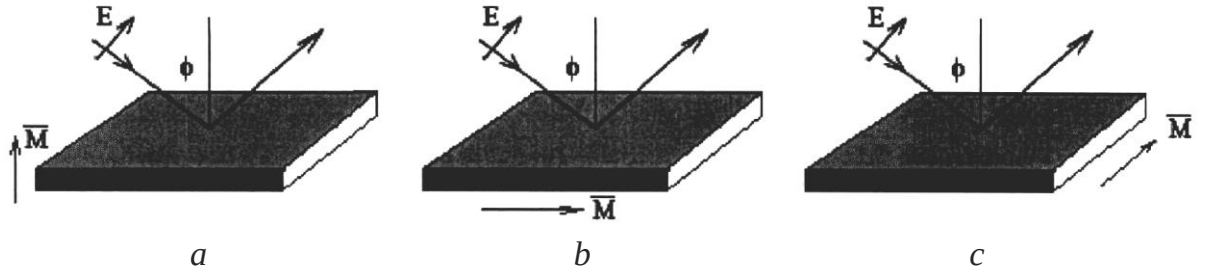
Maqnitooptik effektlər maqnit sahəsində yerləşən, mühitlə qarşılıqlı təsirdə olan elektromaqnit şüalanma halının dəyişməsindən ibarət olan (faza, intensivlik, qütbləşmə) bir sıra effektləri özündə birləşdirir. Onları iki əsas qrupa bölmək olar: maqnitlənmiş nümunənin daxilindən işıq keçdikdə müşahidə edilən effektlər (Foxta və Faradey effektləri) və ferromaqnit materialın güzgü səthindən işığın əks olunması zamanı müşahidə olunan effektlər (Kerr effektləri) [17s.946]. Nümunənin maqnitlənmə $\vec{M}$ vektorunun işığın yayılma xarakterinə təsirinə görə maqnitooptik effektləri uzununa (Faradey effekti, qütübləşmə və meridional maqnitlənmədə Kerr effekti) və eninə (Foxt effekti, Ekvatorial maqnitlənmədə Kerr effekti) növlərinə ayırmaq olar. Həmçinin, maqnitooptik effektlər maqnitlənməyə görə cüt və tək ola bilirlər. Bütün maqnit-optik effektlər Foxt effekti, istiqamətlənmiş maqnitooptik effektləri istisna olmaqla, ilk yaxınlaşmada maqnitlənmədən xətti asılı olurlar [16, s.1108]. 1876 -cı ildə Kerr ilk dəfə

maqnitləşdirilmiş ferromaqnitdən əks olunan işığın polyarizasiya müstəvisinin fırlanmasını müşahidə etdi. İşığın düşmə müstəvisinə nisbətən maqnitlənmə vektorunun istiqamətindən asılı olaraq Kerrin polyar, meridional və ekvatorial effektləri mövcuddur (şəkil 4.2.1). Kerrin polyar (PKE) və meridional effektləri (MKE) işığın dairəvi ikiqat şüasınmasına əsaslanır (şəkil 4.2.1. a, b). Onlar, materialın maqnitlənməsində, polyarizasiya müstəvisinin fırlanması və işığın nümunədən əks olunması zamanı elliptik polyarizasiyanın yaranması ilə ifadə olunurlar. Ekvatorial Kerr effekti (EKE)-halında maqnitlənmə vektoru $\vec{M}$ ferromaqnit materialın güzgü müstəvisinə paralel və işığın düşmə müstəvisinə perpendikulyardır [98, s.52,]. Kerr effekti maqnitlənmiş nümunədən xətti polyarizasiya olunmuş işığın əks olunması zamanı onun intensivliyinin dəyişməsindən ibarətdir və qiroelektrik mühit halında p-komponenti üzərində müşahidə olunur və $\delta = \frac{\Delta J}{J_0}$ -a bərabərdir. Burada ΔJ -maqnitlənmiş və maqnitlənməmiş nümunədən əks olunmada işığın intensivliyinin dəyişməsi, J_0 maqnitlənməyən nümunədən əks olunan işığın intensivliyidir. EKE- də xətti polyarizasiya olunmuş işıq nümunə üzərinə düşdükdə ($\Delta M/M_s \sim 10^{-5}-10^{-6}$ dəqiqliklə) işığın s - komponenti sıfıra bərabər olur. p – komponentinin intensivliyinin dəyişməsi, yəni EKE, nümunənin maqnitlənməsinə mütənasibdir. Maqnitlənmiş nümunədən əks olunan işığın spektral asılılığından (Kerrin maqnitooptik effektləri) nümunədə baş verən müxtəlif prosesləri: maqnit strukturunun dəyişməsini, maqnit axının əmələ gəlməsini, faza çevrilmələrini və s. öyrənmək olar. Məlumdur ki, nümunənin dərinliyinə nüfuz edən işığın intensivliyi Bruqer qanununa görə aşağıdakı kimidir [17 s. 946]:

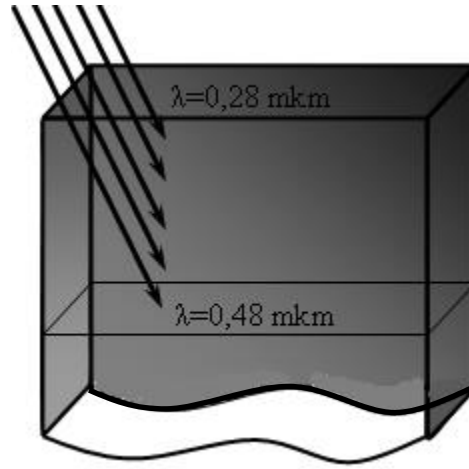
$$J = J_0 \exp(-dz) \quad (4.2.1)$$

İşığın daxil olma dərinliyi - dz məsafəsində intensivlik e dəfə azalır, $z = 1/\alpha$. Metalların maqnitooptik xassələri sındırma əmsalı ilə bağlıdır: ona görə metallarda işığın daxil olma dərinliyi $z_0 = \lambda_0/4\pi k$ düsturu ilə qiymətləndirilə bilər.

Əksər metallar üçün k -in (udulma əmsalı) qiyməti 1,5-5 qiyməti dəyişir və



Şəkil 4.2.1. a) Polyar, b) meridional və c)ekvatorial Kerr effektləri [17, s. 946]



Şəkil 4.2.2. Ferromaqnit nümunənin dərinliyinə işığın daxil olması [17, s.946].

ferromaqnit metal üçün görünən işığın daxil olma dərinliyi təqribən 0,006-0,2 mkm təşkil edir (şəkil 4.2.2). Yəni ferromaqnit nümunənin səthindən əks olunan işıq metalın bir - neçə atom qatlarına daxil olaraq nümunənin maqnit halı haqqındakı məlumatı daşıya bilir. Belə ki qeyd edə bilərik ki, son illər səth fizikası müasir elmi tədqiqatlarda böyük rol oynayır. İlk öncə müasir texnikanın inkişafı, onun miniatürləşməsi, nümunənin ölçülərinin kiçilməsi və buna uyğun olaraq səthin rolunun artmasını qeyd etmək lazımdır [17, s.946].

4.3. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf lentində EKE –nin spektral asılılıqlarının

tədqiqi

$(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf lentinin termik emal olunmamış, vakuumda və havada tabı alınmış nümunələri üçün maqnitooptik xassələri araşdırılmışdır (cədvəl 4.3.1). $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ nümunəsi əldə edildikdən sonra kristallaşma temperaturundan aşağı olan 420 °C temperaturda zəif maqnit sahəsində vakuumda və havada tabı alınmışdır. Tədqiq etdiyimiz amorf lent nümunəsinin uzunluğu 10 mm, eni 5 mm və qalınlığı isə 25 mkm tərtibində götürülmüşdür [8, s.43-46].

Tədqiq etdiyimiz amorf lent nümunəsi üçün Ekvatorial Kerr effektinin spektral asılılıqlarının formalaşması prosesi termik emal olunma şəraitindən, tablanma mühitindən, xarici maqnit sahəsində tabı almadan, tab alma temperaturundan və aparılma müddətindən asılıdır. 2 E və 3 E sahə qiymətlərində havada tablanmış massiv nümunələr üçün spektrlərin forması və Ekvatorial Kerr effektinin qiyməti tab alma müddətinin artması ilə şəkil 4.3.2 - də göstərildiyi kimi dəyişir. Emal olunmamış lent və nümunə üçün 20 dəqiqə müddətində tabı alınmış, 1,5-2,5 eV intervalında düşən işığın enerjisi sahəsində EKE-in qiyməti artır, 3 eV-dan başlayaraq isə tədricən tezlikdən asılı olmayan görünüş alır [8, s.43-46].

Alınmış nəticələr Co əsaslı amorf ərintilərin 3 eV enerjiyə malik maqnit sahəsində geniş maksimumla xarakterizə olunan məlum spektral EKE asılılıqları ilə müqayisə edilib (şəkil 4.3.1). Aydınır ki, müqayisə olunan əyrilər oxşar formada

olur və maqnitooptik effektin eyni qiymətini alır. Tab alma müddəti artdıqca amorf lentlərin EKE spektrləri daha da dəqiqləşir və bunu düşən işığın $h\nu \sim 4.5\text{eV}$ qiymətində meydana gələn anomaliya da təsdiq edir. Co ərintiləri üçün oxşar spektral asılılıqlarla müqayisə (şəkil 4.3.1) belə fikir söyləməyə imkan verir ki, havada tablanmış amorf lent nümunələrində Kerr effekti tədricən mikrokristallik Co ərintilərinə xas olan şəkllə düşür [8, s.43-46].

Tab alma müddəti 5 saat və daha çox olan nümunələr üçün EKE əyriləri kristallik Co ərintiləri üçün xarakterik olan formalaşmış son şəkli alır. Buna müxtəlif maqnit sahələrində 8 saat müddətində tablanmış amorf ərintilərinin EKE spektral asılılıqlarının öyrənilməsi də sübutu ola bilər. Tab alma müddəti 5 saat və daha çox olan nümunələr üçün EKE əyriləri kristallik Co ərintiləri üçün xarakterik olan tamamilə formalaşmış şəkildə olurlar. Bunu müxtəlif maqnit sahələrində 8 saat müddətində tabı alınmış müxtəlif çeşidli amorf ərintilərin EKE-in spektral asılılıqlarının öyrənilməsi də təsdiq edir [8, s.43 - 46].

Belə nümunələrin EKE spektrlərində tab almada maqnit sahəsinin qiymətinin artması ilə MO effektin amplitudasının dəyişməsi aşkarlanıb, bu zaman əyrilərin forması demək olar ki, dəyişilməz olub (şəkil 4.3.2). Belə lentlərin EKE-nin spektral asılılığı mikrokristal Co ərintilərinə xas olan $h\nu \sim 1.8\text{ eV}$ və $h\nu \sim 4.5\text{ eV}$ intervalında oxşar xüsusiyyətlərə malik olurlar [8, s.43-46].

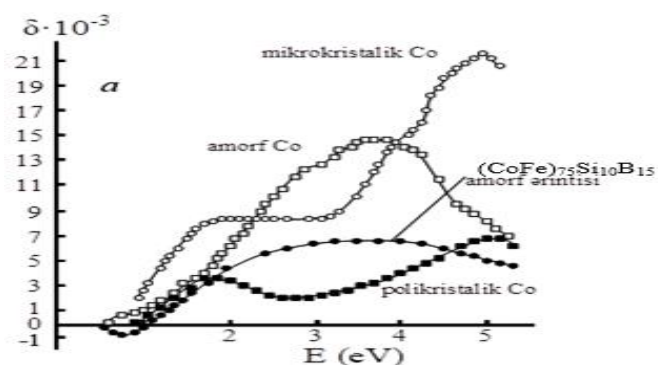
Qeyd etmək lazımdır ki, bir başa struktur tədqiqatlarının nəticələrinə görə təyin edilib ki, $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ ərintisi 420°C -də tab almadan sonra amorf halda olurlar. Ancaq Ekvatorial Kerr effektinin forma və spektr qiymətlərinin dəyişməsi tab almaya uğradılmış nümunələrin mikrostrukturunun dəyişilməsini sübuta yetirir. Yəni, verilmiş amorf maqnitiumşaq lent nümunəsinin maqnitooptik metodlarla tədqiq edilməsi zamanı müəyyən olunmuşdur ki, amorf lent termik işlənməyə məruz edildikdə prosesin gedişi zamanı lentin səth və səthətrafı təbəqəsinin yaxınlığında ardıcıl olaraq mikrokristallaşmış təbəqənin formalaşması baş verir və nəticədə bu proses inkişaf edir [56, s.716-719].

Beləliklə səth ətrafı təbəqənin yaranması və formalaşması yalnız amorf lent

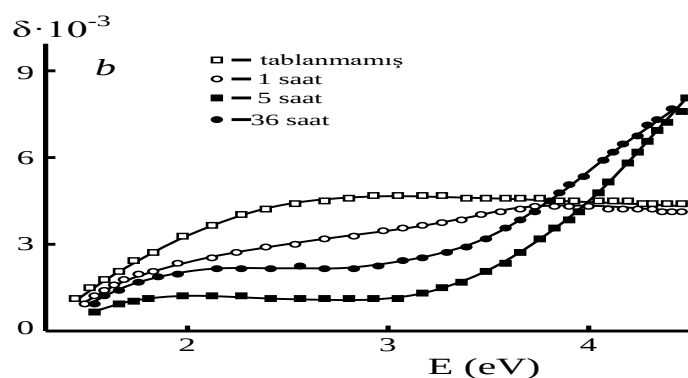
Cədvəl 4.3.1.

$(CoFe)_{75}Si_{10}B_{15}$ amorf lent nümunəsi üçün termik emal parametrləri [56, s.716-719].

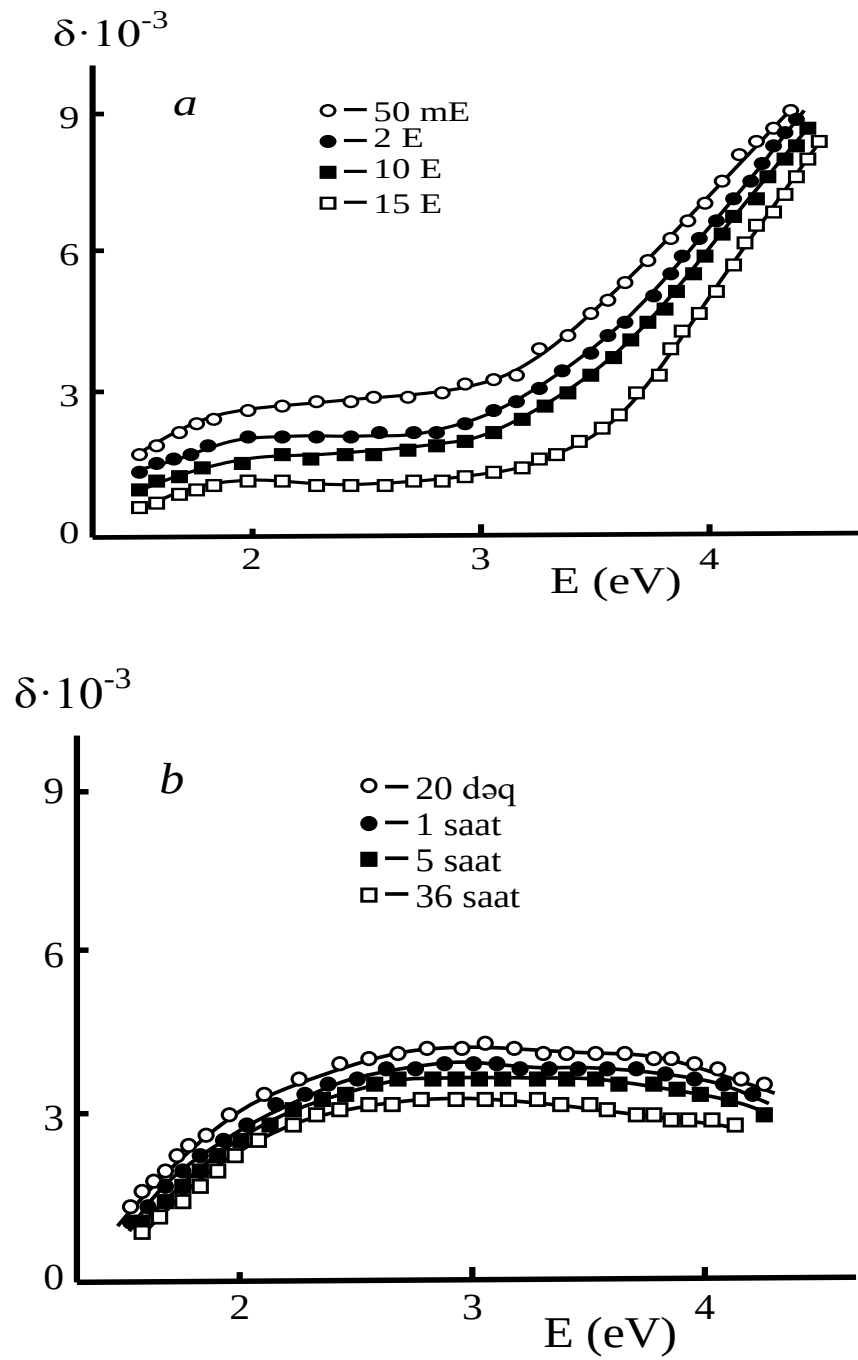
$(CoFe)_{75}Si_{10}B_{15}$ amorf lent nümunəsi			
420 ⁰ S temperaturda emal			
Havada termik emal			Vakuumda termiki emal
3E sahədə	2E sahədə		2E sahədə
1saat	1saat	50mE	1saat
5saat	5saat	2E	5saat
12saat	12saat	10E	36saat



Şəkil 4.3.1 Co əsaslı amorf ərintilər üçün nümunəvi EKE spektrləri;



Şəkil 4.3.2. 2E sahəsində müxtəlif zaman müddətində havada tab almaya uğradılmış amorf lentlərin EKE spektrləri [56 s.716-719].



Şəkil 4.3.3. (CoFe)₇₅Si₁₀B₁₅ amorf lentlərin EKE-nin spektral asılılıqları: a- havada 1,5; 36 saat müddətində; b-2 E sahədə müxtəlif zaman müddətində vakuumda T=380⁰C –də təb alma zamanı [56, s.716-719].

nümunələrinin havada tabı alınması nəticəsində müşahidə edilir. Amorf lentin vakuumda tabı alınan nümunələrinin Ekvatorial Kerr effektinin spektral asılılıq əyrilərində heç bir dəyişiklik aşkar edilməmişdir (şəkil 4.3.2 b). Vakuumda tab almaya uğradılan amorf lentlərin EKE spektrləri tab alma müddəti artdıqca və həmçinin 36 saat müddətində termiki emaldan sonra da, formalarını dəyişməyiblər və Co əsaslı amorf ərintilərin əyrilərinə xas olan görünüşü saxlayıblar. Qeyd edək ki, maqnitoidimpedansın sahə əyrilərinin davranış xarakteri də tədqiq edilən nümunələrin termiki emal şəraitlərindən çox asılı olur. Lentlərin MİE profilləri, vakuumda tab almaya uğradılmış, maqnit sahəsi istiqamətinə nisbətən simmetrik şəkildə olur. Eyni zamanda, havada tab almaya uğradılmış nümunələr üçün isə maqnit impedansı effektinin asimmetrik profili müşahidə edilir [56 s.716-719].

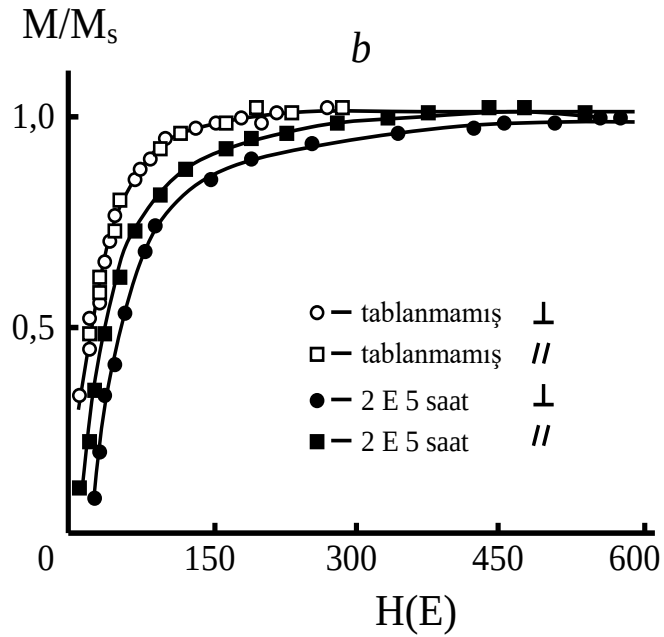
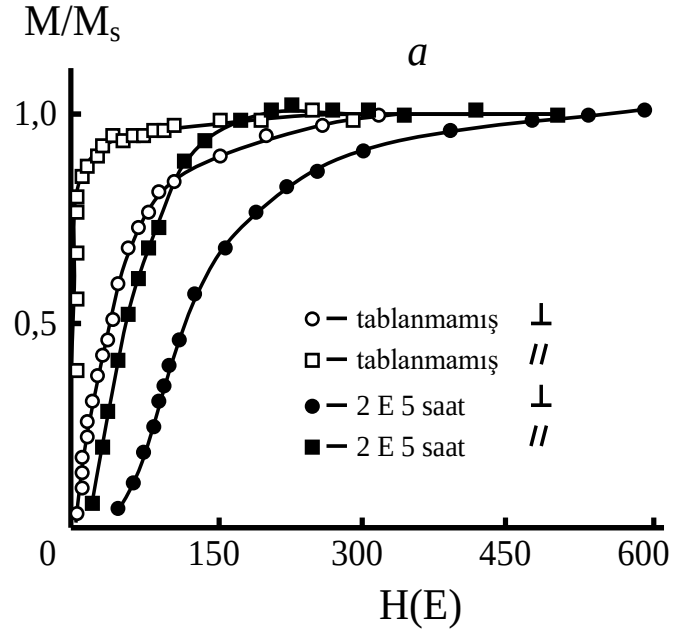
4.4. CoFe əsaslı amorf lentində maqnitostatik ölçmələr

Amorf mikrokristallik lentlərin səthində aşkarlanmış maqnit xassələrinin tədqiqi düşən işıq dalğalarının müxtəlif uzunluqda maqnitostatik ölçmələr ilə EKE-nın sahə asılılıqları təyin edilmişdir. EKE-nın sahə asılılıqları maqnit sahəsində amorf lent səthinə paralel və lentin oxuna perpendikulyar istiqamətdə təyin edilmişdir.

$$\frac{M}{M_s} = \frac{\delta(H)}{\delta(H_s)} \quad (4.4.1)$$

(4.4.1) düsturunda $\delta(H)$ və $\delta(H_s)$ termik emal olunmamış və termik emal olunmuş nümunələr üçün uyğun olaraq H və H_s maqnit sahələrindəki ekvatorial Kerr effektləridir.

Tab olunmamış amorf lentin sahə asılılığında 2 eV-da səthin oxu istiqamətində maqnit sahəsinin qiyməti 10 E olmuşdur. Səthin oxuna perpendikulyar istiqamətdə isə maqnit sahəsinin 300E qiymətində doyma yaranır. Termik emal olunan nümunələrin maqnit xassələrinin öyrənilməsi nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, amorf lent termik emala sərf olunan zaman artdıqca lentin səthinə paralel



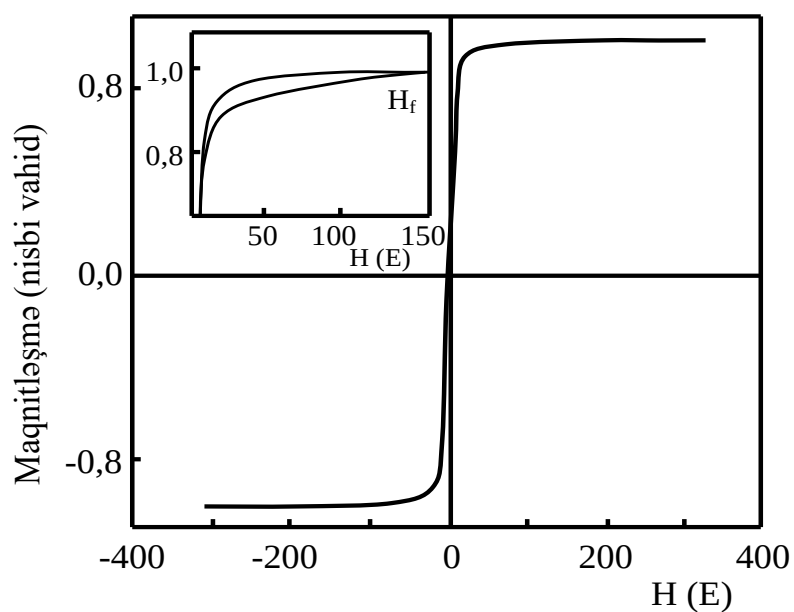
Şəkil 4.4.1. CoFe əsaslı amorf lentlərdə iki istiqamətdə ölçülmüş nisbi maqnitlənmənin sahə asılılıqları; a-düzbucaqlı nümunələr ($2 \times 7 \text{ mm}$), b-kvadrat nümunələr ($2 \times 2 \text{ mm}$). Düşən işıq dalğasının uzunluğu $\lambda = 0.77 \mu\text{m}$ -dir [1, s.79-83]

istiqamətində daha maqniyumşaq materialdır [1, s.79-83].

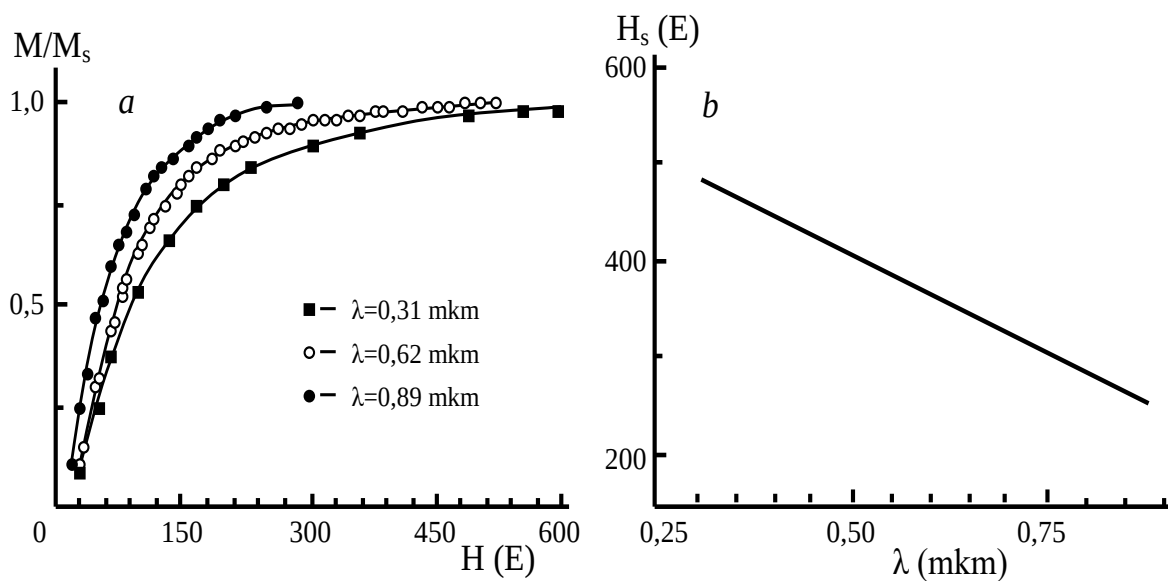
Ancaq tab alma zamanı artdıqca tədqiq olunan lentin səthinə həm paralel, həm də perpendikulyar istiqamətdə doyma halı almaq üçün maqnit sahəsinin qiymətini artırmaq lazım gəlir. Tədqiqat apardığımız təcrübi nəticələr əsasən maqnit sahəsinin 2 ersted və 3 erstedə uyğun qiymətlərində, lentin səthinə paralel və perpendikulyar istiqamətlərdə aparılmışdır. 2 ersted maqnit sahəsində lentin səthi istiqamətində 5 saat müddətində tabı alınmış və bu zaman 200 ersted qiymətində doyma halına çatmışdır. Maqnit sahəsinə perpendikulyar istiqamətdə isə aparılan təcrübədə doyma $H \sim 400$ ersted qiymətinə çatmışdır (şəkil 4.4.1). Bu amorf lent nümunəsində anizotropiyanın yaranması ilə əlaqədardır. CoFe əsaslı amorf lentlərdə iki istiqamətdə aparılmış maqnit sahəsinin xassələrinin bu fərqi zəif maqnit sahəsində havada tab almadan sonra artır. Öyrənilən ərintidə $\lambda_s \sim 0$ yaxın olur. Amorf nümunədə maqnit anizotropiyanın olmasını daxili gərginliklərin yaranması və nümunədəki forma dəyişiklikləri ilə izah etmək olar. Dissertasiya işində tədqiqat eni və uzunluğu 2 mm olan kvadrat şəklli nümunələrdə aparılmışdır. Tədqiqatın məqsədi amorf nümunələrdə maqnit sahəsinə anizotropiyanın təsirinin azaldılması olmuşdur. Kvadrat şəklində olan amorf lent nümunəsində EKE –nin sahədən asılılıq qrafikləri qurulmuşdur. Tədqiqat həmçinin kvadrat şəklində tab alınmamış nümunələrdə paralel və perpendikulyar istiqamətdə aparılmışdır. Hər iki istiqamətdə sahə asılılıqları üstə-üstə düşmüşdür. Maqnitlənmənin sahə asılılığında doyma $H \sim 150E$ qiymətini almışdır (şəkil 4.4.1) [1, s.79-83].

Tab olunmayan amorf lent nümunəsinin maqnit xassələrinin anizotropluğuna əsas təsir göstərən amil daxili anizotropiyanın yaranması və dəyişiklikləridir. Aparılan tədqiqat zamanı maqnit sahəsinin 2 ersted qiymətində 5 saat havada tabı alınmış 2×2 mm ölçülü nümunələrin maqnit anizotropluğunda dəyişiklik müşahidə olunmur [1, s.79-83].

Beləliklə, tabı alınmamış amorf lentlərdə maqnitlənmənin sahə asılılıqlarından belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, tək amorf nümunənin formasından deyil, həmçinin nümunənin səth ətrafı hissəsində kiçik kristalitlərin yaranmasından və onların



Şəkil 4.4.2. Emal olunmayan CoFe əsaslı amorf lent üçün histerezis ilgəkləri [1 s.79-83].



Şəkil 4.4.3. Işıqın müxtəlif dalğa uzunluğunda 2 saat müddətində 2 E sahəsində tab almaya uğradılmış CoFe əsaslı amorf lent üçün: a-nisbi maqnitlənmənin sahədən asılılıq əyrisi, b- sahənin doyma qiymətinin düşən işıq dalğa uzunluğundan asılılığı [1 s.79-83].

xassələrindən asılıdır. EKE –nin maqnit sahəsinin sahə asılılıqlarından onu da demək olar ki, lentin səth ətrafı təbəqəsində maqnit strukturu bircins deyildir və nümunənin səthinə yaxın hissəsində isə maqnit bərk olur [1, s.79-83].

Tədqiq olunan CoFe əsaslı termik emal olunmamış və tabı alınmış amorf nümunələr üçün otaq temperaturunda 8 kE-ə qədər maqnit sahəsində titrəyişli maqnitometrin köməyiylə histerezis ilgəyi qurulmuşdur (şəkil 4.4.2).

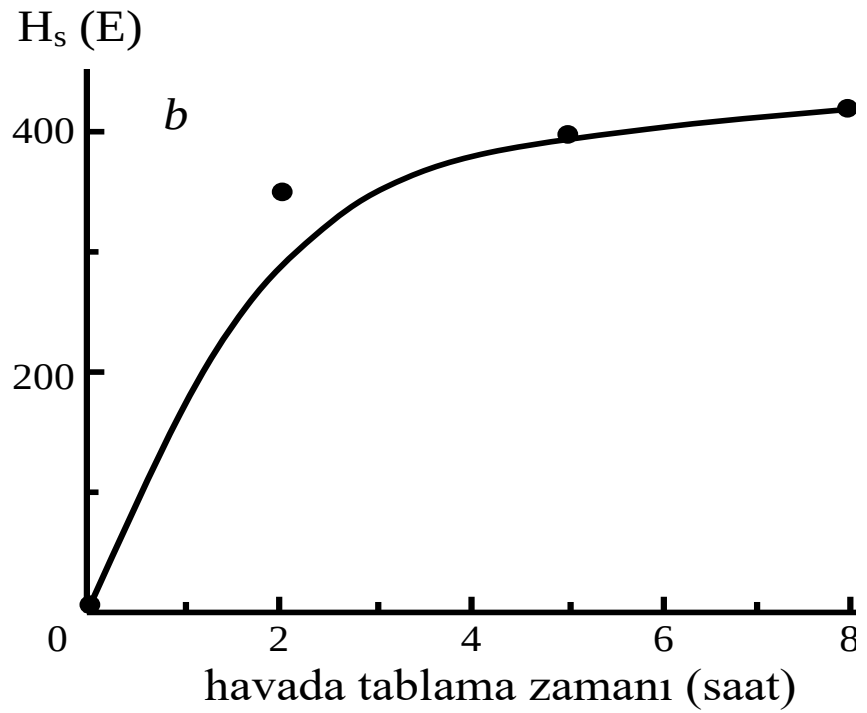
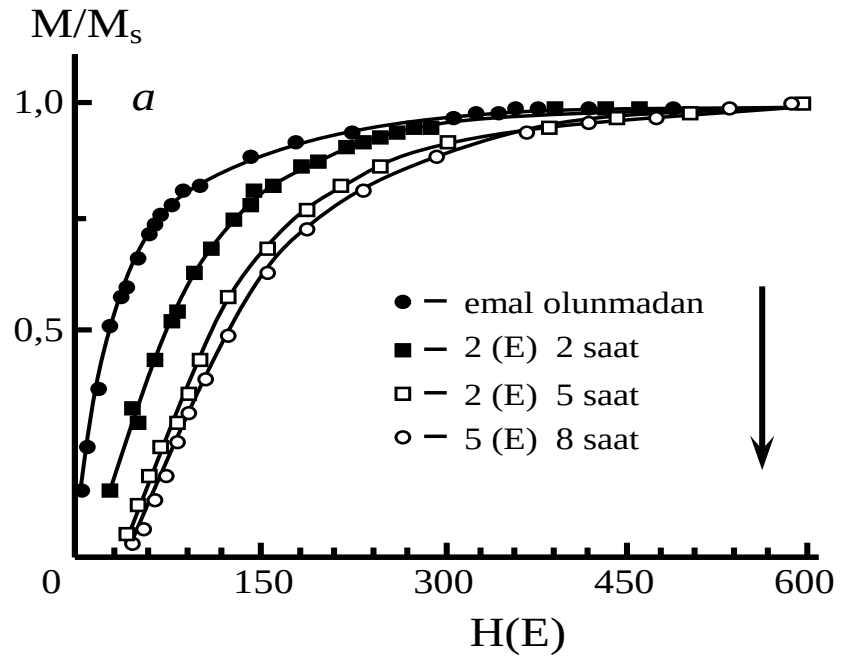
Şəkil 4.4.3 –də yalnız 5 saat müddətində havada termik emal olunmuş amorf lentdə maqnit sahəsinin 30-300 ersted uyğun qiymətində əlavə histerezis yaranır. Bunu koersitiv qüvvənin artması ilə izah etmək olar. Məlumdur ki, titrəyişli anizometrdə ölçmələr nümunənin bütün həcmi boyu orta nəticə verir. Bu cür ölçmələr prosesində səthətrafı qatda maqnitlənmə dəyişməsi 5 faiz olur [1 s.79-83].

Düşən işığın müxtəlif dalğa uzunluğunda nisbi maqnitlənmənin sahə asılılığının ölçülməsi 2 saat müddətində 2 E maqnit sahəsində tab olunmuş eyni amorf maqnitiumşaq nümunə üçün aparılıb (şəkil 4.4.3 a). Belə nəticəyə gəlirik ki, işığın dalğa uzunluğunun $\lambda = 0,31\mu m$ qiyməti üçün nisbi maqnitlənmənin maqnit sahəsindən asılılığı zamanı doyma qiyməti 400 E, $\lambda = 0,62\mu m$ dalğa uzunluğu üçün - 300 E, $\lambda = 0,89\mu m$ dalğa uzunluğu üçün isə ~ 250 E alınmışdır. Şəkil 4.4.3 b-dən görünür ki, dalğa uzunluqlarının artması ilə doyma qiyməti aşağı düşür, maqnitlənmə əyrisinin meyilliyi isə artır (yəni maqnit keçiriciliyi artır) [1, s.79-83].

EKE sahə asılılıqlarının belə gedişi göstərir ki, səthə yaxın qatın maqnit strukturu qalınlığa görə qeyri-bircinsdir. Belə ki, lay səthə nə qədər yaxın olsa, bir o qədər maqnitbərk olur. 2 E sahədə tab almaya uğradılmış amorf lent üçün maqnit impedansın ölçülməsindən tapılmışdır ki, MİE sahə asılılıqlarının forma və qiyməti elektrik cərəyanının tezliyindən çox asılıdır (şəkil 4.4.4). Məlumdur ki, qatın qalınlığı - δ maqnit impedansın gedişini təyin edir və elektrik cərəyanının ω tezliyindən asılı

olur. $\delta = c \left(\frac{\rho}{2\pi\omega\mu_{\perp}(\omega)} \right)^{1/2}$, burada ρ xüsusi elektrik müqaviməti, $\mu_{\perp}(\omega)$ -effektiv eninə

maqnit keçiriciliyidir. Düşən işığın müxtəlif dalğa uzunluqları üçün EKE sahə asılılıqlarının aparılmış tədqiqatları (yəni, müxtəlif qalınlıqlı səthə yaxın qatların



Şəkil 4.4.4. a-2, 5 və 8 saat müddətində tab almaya uğradılmış nümunələr və emal olunmayan lent üçün nisbi maqnitlənmənin sahə asılılığı; b - $\lambda = 0,62 \mu m$ olduqda doyma sahəsi qiymətinin havada tab alma müddətindən asılılığı.

maqnit xassələrinin öyrənilməsi) təsəvvür etməyə imkan verir ki, cərəyanın tezliyi dəyişəndə MİE-nin asimmetrik profilinin əmələ gəlməsi mikrostrukturun qalınlığının qeyri-bircinsliyi və kristallik qatın maqnit stukturu amorf lentin səthi yaxınlığında havada tab almada formalaşır [1, s.79-83].

Həmçinin, tab almaya uğradılmış bir neçə nümunə üçün eyni dalğa uzunluğunda ($\lambda = 0,62\mu m$) EKE-nin sahə asılılıqları ölçülmüşdür (şəkil 4.4.4 a). 2 E sahədə 2 saat müddətində tab almaya uğradılmış nümunə üçün doyma qiyməti 350 E olmuşdur. 5 və 8 saat tab almaya uğradılmış nümunələr üçün 400 E-ə qədər fazası daha maqnitbərk olur (şəkil 4.4.4 b) [1, s.79-83].

Aydındır ki, tab alma müddəti artdıqca eyni bir səth qatının kristallaşması artmışdır. Qeyd edək ki, amorf lentlərin 5 saatdan çox tab almaya uğradılması EKE sahə asılılıqlarının görünüşündə əhəmiyyətli dəyişikliyə gətirmir, yəni maqnitoptikanın köməkliyi ilə müşahidə edilən kristallik qatın formalaşma prosesi beş saatlıq tab almadan sonra qurtarır ki, bu da EKE spektrlərinin tədqiqinin nəticələri ilə də təsdiqlənir (şəkil 4.4.4 b). Bu nəticələr 2 E maqnit sahəsində tab almaya uğradılmış lent üçün elektrik cərəyanının eyni bir qiymətlərində maqnit impedansının ölçülməsini təhlil etməyə imkan verir. MİE –nin maqnit sahəsindən asılılığının görünüşü tab alma şəraitindən asılı olaraq çox dəyişir. Tab alma müddəti artdıqca mənfi maqnit sahəsindəki (istiqaməti H_a –a əks) MİE pikləri və MİE –nin sahə asılılıqları daha çox asimmetrik görünüş halına düşür [1, s.79-83].

Maqnit impedansının sahə asılılıqlarının özünü belə aparmasını tab almaya uğramış amorf lentlərin səthi yaxınlığında yüksək koersitivli mikrokristallik fazanın əmələ gəlməsilə izah etmək olar. Maqnitooptik tədqiqatlar göstərir ki, tab alma müddəti artdıqca amorf lentin eyni bir qatı daha maqnitbərk olur. Yəni, termiki emalın vaxtının artması ilə MİE effektinin ölçmələri zamanı maqnitlənmə vektoru maqnit sahəsinin əksi istiqamətində daha ağır fırlanır [1, s.79-83].

Beləliklə, maqnitooptik tədqiqatların nəticələri təsdiq edir ki, müəyyən şəraitlərdə (elektrik cərəyanının tezliyi, termiki emalın şəraiti və müddətindən asılı olaraq) MİE-in xarakterik asimmetrik profilinin əmələ gəlməsi havada tab almaya

uğradılmış amorf lent üzərində qalınlığa görə qeyri-bircins yüksək koersitivli səthə yaxın mikrokristallik qatın əmələ gəlməsi ilə əlaqədardır [1, s.79-83].

4.5. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf maqniyumşaq lentində Ekvatorial Kerr effektinin temperaturdan asılılıq ayrılmasının tədqiqi

Tədqiq olunan amorf maqniyumşaq lent nümunəsi eksperimental baxımından əhəmiyyətli dərəcədə maraq yaradır. Belə ki, bu materiallar əsasında yüksək həssaslığa malik göstərici cihazları hazırlanır və həmçinin informasiyanın yazılıb, saxlanması və hesablamalarının qeydiyyatı üçün istehsal olunan qurğular bəzi texniki tələbləri təmin etməlidir. Buna misal olaraq, amorf materialların maqnitooptik xassələrinin temperatur dəyişmələri zamanı dayanıqlılığını göstərmək olar [7, s.48-51].

Tədqiq olunan amorf lent nümunəsinin Maqnit impedans effektinin qiyməti müxtəlif termik emal müddətindən və temperatur dəyişikliyinə asılı olur. Amorf lent nümunəsinin qızdırılması müddəti 0.1 MHz tezliyə malik elektrik cərəyanı üsulu ilə aparılmış və nəticədə Maqnit İmpedans effektinin qiymətinin az dəyişdiyi müşahidə edilir. Amorf lent nümunəsinin qızdırılmasını 420K temperatura qədər artırılanda Maqnit impedans effektinin zamanla dəyişməsinə müşahidə edirik. Bu zaman 370K temperaturuna qədər azacıq artdığını, sonra isə azaldığını müşahidə edirik. Müəyyən olunmuşdur ki, soyudulma MİE-nin amplitudunun kəskin şəkildə dəyişməsinə gətirib çıxarır [7, s.48-51].

Beləliklə müəyyən olunmuşdur ki, 350K-dən 370K temperaturadək oblastda maqnit impedans effektinin qiyməti 2 dəfə aşağı olur. Proses davam etdirilir. Amorf lent nümunəsinin təkrar qızdırılma və soyudulması zamanı MİE-nin dəyişməsi periodik olaraq birinci soyudulmadakı kimi olur [7, s.48-51]. Nəticədə belə ehtimal olunur ki, 350-370 K intervalında Maqnit impedans effektinin aşağı düşməsi amorf nüvədə maqnit xassələrindəki dəyişiklik ilə, başqa sözlə desək 350K temperaturundan yuxarı qızdırılma müddətində amorf nümunənin səth qatında və ya

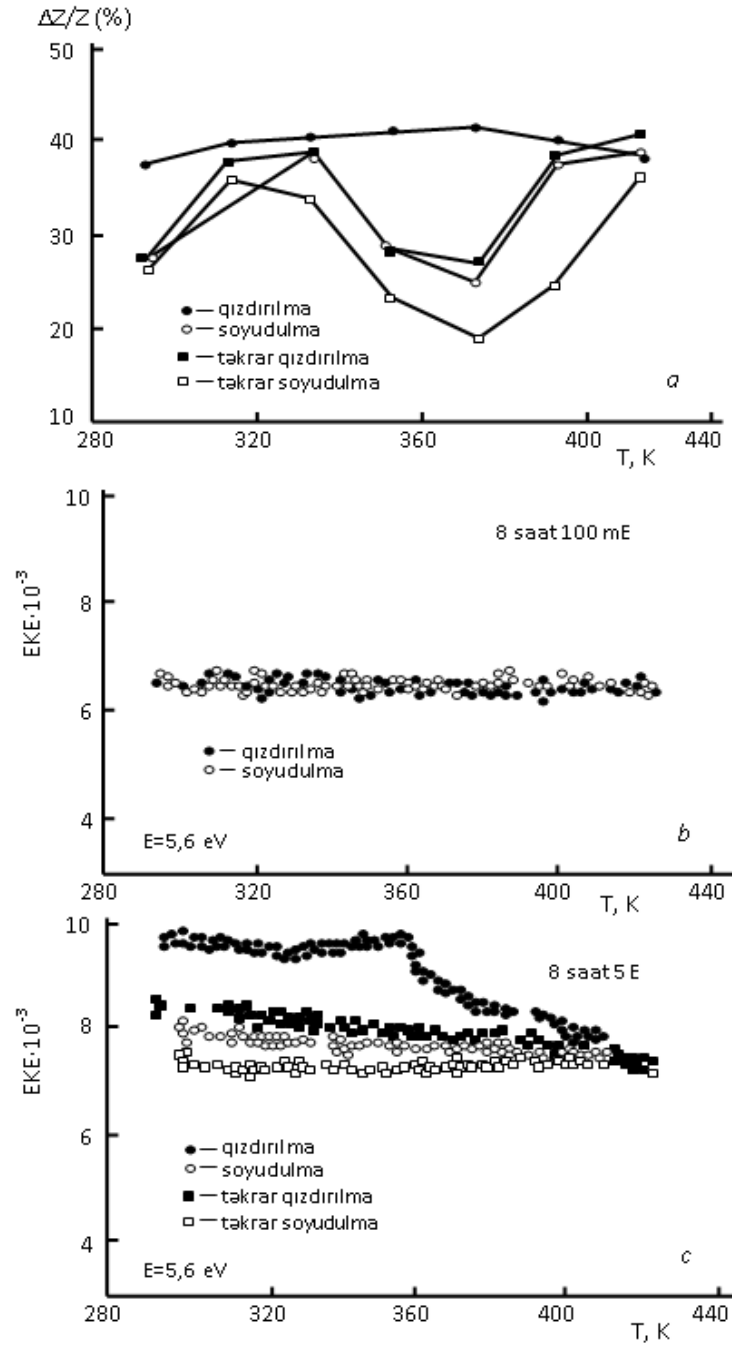
səthə yaxın qatında mikrokristallik təbəqənin formalaşması və dəyişiklikləri ilə əlaqədardır. Ancaq bu cür dəyişikliklər araşdırılmış, yaranma səbəbi tam izah olunmamış qalmışdır [7, s.48-51]. Amorf lent nümunəsinin maqnitooptik xassələrinin araşdırılması və EKE-nin tədqiqi lentin səthə yaxın yaranan incə təbəqənin xassələrini tədqiq etməyə imkan verir. Belə ki, işığın enerjisi 3.6 eV-sa, onda işığın nümunənin səthinə nüfuz etmə dərinliyi 20 nm-dən çox müşahidə edilmir. Amorf lent nümunələrinin Şəkil 4.5.1 (b) və 4.5.1 (c)-də qızdırılma və soyudulma prosesi zamanı Ekvatorial Kerr effektinin təcrübi nəticələri göstərilmişdir [7, s.48-51].

Tədqiq olunan amorf nümunə 100mE malik maqnit sahəsində 8 saat ərzində tabı alınmış və müəyyən olunmuşdur ki, EKE-nin amplitud qiyməti müxtəlif temperatur dəyişikliyinə demək olar ki dəyişmir. Belə ki, nümunədə QMİ-ı simmetriya xarakter daşıyır. Bundan əlavə 5E maqnit sahəsində 8 saat ərzində tab alınmamış lentlər üçün maqnit impedansının sahədən asılı olaraq asimmetrikliyi müşahidə olunur [7, s.48-51].

Aparılmış ölçmələrdən görünür ki, amorf lent nümunəsinin ilk dəfə qızdırıldıan zaman EKE-nin amplitudu aşağı düşür (şəkil 4.5.1) [7, s.48-51].

Aldığımız tədqiqat işindən belə nəticəyə gəlmək olar ki, 350-370K temperatur intervalında maqnitooptik xassələrdə dəyişiklik baş verir və geri dönməzdir. Belə ki, 420 K temperatura qədər təkrar qızdırılma, otaq istiliyinə qədər təkrar soyudulması nəticəsində nümunənin Ekvatoriyal Kerr effektinin qiyməti dəyişməz qalır [7, s.48-51].

Beləliklə qeyd edə bilərik ki, amorf lent nümunəsinin səth qatında qismən kristallaşmış təbəqənin mövcudluğu termik işlənmədən, tab alma müddətindən və temperaturundan asılı olur. Belə ki, bundan əlavə amorf maqnitiumşaq lent nümunəsinin havada tabı alınması zamanı lentin səthə yaxın və ya səthətrafi qatında mikrokristallik təbəqə inkişaf edir və formalaşır. Amorf lentin tabı alındıqdan sonra nümunədə yenidən termik emala uğradılmış amorf halın strukturunun sonrakı düzülüşü müşahidə edilir ki, bunu da onun eni istiqamətində mikrokristallik təbəqənin paylanması ilə izah edə bilərik [7, s.48-51].



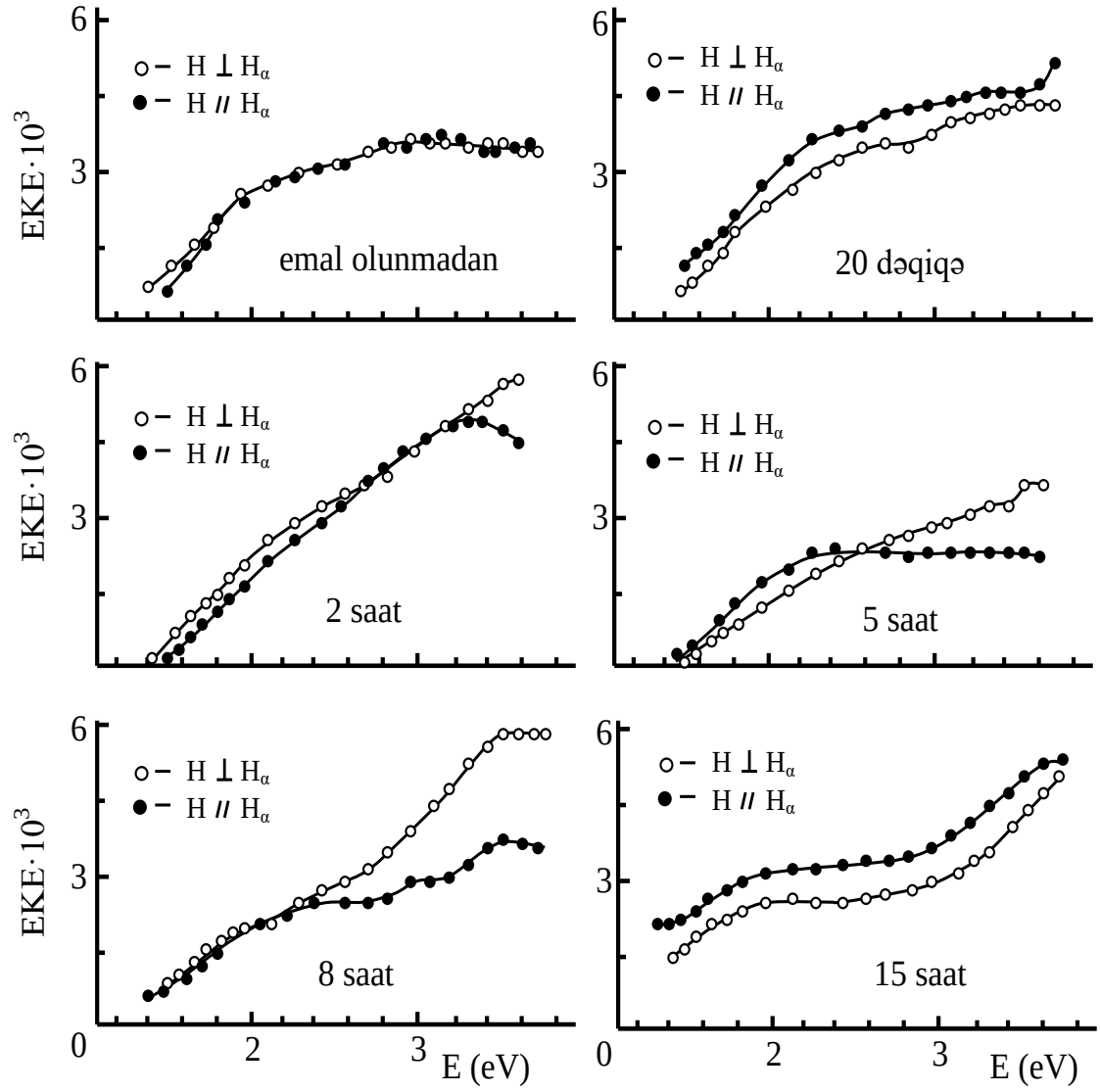
Şəkil 4.5.1. a- Qiçant maqnit impedansı, b və c – EKE-nin müxtəlif maqnit sahələrində 8 saat ərzində tab alma zamanı yaranan temperatur asılılıqları [7 s.48-51].

4.6. Ekvatorial Kerr effekti spektrlərində anizotropiyanın tədqiqi

EKE-nin maqnit sahə asılılıqlarının tədqiqi üçün 2×7 mm ölçülü düzbucaqlı formalı nümunələr götürülmüşdür. EKE-nin sahə asılılığını öyrənərkən dəyişən maqnit sahəsi amorf nümunəyə perpendikulyar və paralel istiqamətdə tətbiq edilib [9, s.43-46].

EKE-nin sahədən asılılığının öyrənərkən maqnit sahəsinin paralel və perpendikulyar istiqamətdə 300-400 E qiymətində maqnit xassələrinin müxtəlifliyinin yox olması müşahidə edilir. Belə ki, müxtəlif zaman müddətində 3 E sabit maqnit sahəsində havada tablanmış $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ nümunəsi üçün EKE-nin anizotropiyası müşahidə edilmişdir. Sahə həm amorf lent nümunəsinin oxuna perpendikulyar istiqamətdə, həm də lent nümunəsinə paralel istiqamətdə tətbiq edildikdə EKE-nin spektrləri ölçülmüş və alınan əyri qurulmuşdur (Şəkil 4.6.1). Amorf lent nümunəsinin oxuna perpendikulyar istiqamətdə təyin olunmuş EKE-nin spektrlərin forması daha fərqli formada dəyişir. Ölçmələr apararkən müəyyən olunmuşdur ki, EKE spektr əyriləri anizotropluq maqnit sahəsində 2 saatdan çox tabı alınmış amorf nümunələrdə yaranır. Lakin tab alma 8 saatdan çox olan müddətdə anizotropluq müşahidə olunmur [9, s.43-46].

Belə ki, bu zaman amorf nümunələrdə kristallik qat hələ inkişaf edir və formalaşma prosesi gedir. EKE-nin spektral əyrilərinin güclü forma dəyişikliyi kiçik daxil olma dərinliyi olan ultrabənövşəyi oblastda müşahidə edilir. Doyma sahəsi 300 E-dən 400 E-ə qədər olan oblastda anizotropiyanın bu növü müşahidə edilir. Belə ki, bu nümunənin mikrokristallik səth ətrafı təbəqəsinin maqnitooptik xassələrinin anizotropluğu ilə əlaqədardır. Beləliklə, belə bir nəticəyə gəlirik ki, daxildə baş verən qeyri bircinsliyin forma anizotropluğu tab alma müddətinin artımı ilə kristallitlərin və kristalların ölçüləri dəyişir [9, s.43-46].



Şəkil 4.6.1. Müxtəlif zaman müddətlərində 3E maqnit sahəsində tab almaya uğradılmış amorf lentlər üçün EKE spektrləri [9, s.43-46].

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Müəyyən edilmişdir ki, $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf maqniyumşaq lent nümunəsində maqnit itkilərinin ən əhəmiyyətli azalması, ən kiçik koersitiv qüvvə (0.4 A/m), ən yüksək maqnit nüfuzluluğu ($\mu = 1\,250\,000$), yüksək düzbucaqlılığa ($B_r/B_m=0.94$) malik histerezis ilgəyi dəyişən maqnit sahəsində suda tablamanın hesabına yaranır. Tablama zamanı tablama gərginliklərinin meydana gəlməsi ilə əlaqədar olaraq domen quruluşunun xırdalanmasına gətirən böyük olmayan lokal maqnitoelastiki anizotropiya yaranır
2. Göstərilmişdir ki, vakuumda və suda termik emaldan fərqli olaraq havada termik emal olunmuş nümunələrdə yüksək koersitiv fazanın yaranması ilə əlaqədar olaraq 30-300 E maqnit sahəsində əlavə histerezis əmələ gəlir.
3. Göstərilmişdir ki, induksiya cərəyanları ilə əlaqədar ayrılan istilik səbəbindən dəyişən maqnit sahəsindəki temperatur ölçmələrində xətalari minimuma endirməyə imkan verən termoelektrik sensorlar isthesalına yararlı materiallar kimi Co-Fe və Ni-Fe əsasında olan nazik maqnit lentlər istifadə oluna bilər.
4. Aşkar edilmişdir ki, $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ maqniyumşaq ərintilərin amorf maksimal maqnit nüfuzluğuna izotermik saxlama temperaturunun və soyuma sürətinin təsiri termik emal zamanı baş verən diffuziya prosesləri ilə təyin edilir. $400-420^\circ\text{C}$ temperatur intervalında izotermik saxlama müddətinin 5 dəq olması və havada 40K/dəq soyuma sürəti ilə termik emal maksimal maqnit nüfuzluğu artırdığı üçün praktiki olaraq optimal termik emal rejimi sayıla bilər.
5. Müəyyən edilmişdir ki, 3 E maqnit sahəsində tabı alınmış $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ nümunəsinin EKE-nin maqnitooptik spektrlərində amorf lentlərin səthaltı təbəqəsində kristal və kristallitlərin yaranması nəticəsində 2 kE maqnit sahəsinə perpendikulyar istiqamətdə anizotropiya baş verir.
6. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf lentinin zəif maqnit sahəsində havada tablanması zamanı nanokristallik səthaltı təbəqədə anizotropiyanın qeyri bircinsliyi nəticəsində 2 E - 10 E sahədə QMI effektinin güclənməsi və onun asimmetrik olması göstərilmişdir.

7. Ekvatorial Kerr effektinin spektral asılılıqları əsasında $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf lenti 3 E maqnit sahəsində 2-8 saat aralığında tab almaya uğradıldıqda bu lentdə kristallik təbəqənin tam formalaşmaması nəticəsində maqnit sahəsinin anizotropluğu yaranması müşahidə olunmuşdur. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf lentində temperaturu 350 K-dən 370 K qədər dəyişdikdə lentin səthə yaxın təbəqəsində mikrokristallik halın dəyişməsi nəticəsində maqnit impedansının 2 dəfə azalması aşkar edilmişdir.

İSTİFADƏ EDİLMİŞ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. İsayeva, A.Ə. CoFe əsaslı amorf lentin alınma texnologiyası və Kerr effektinin sahə asılılıqlarının öyrənilməsi //– Bakı: Azərbaycan Texniki Universiteti Elmi əsərlər, –2019. №3, –s.79-83.
2. İsayeva, A.Ə. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf ərintisində maqnit itkilərinin termik emal rejimindən və tərkibindən asılılığı // – Bakı: Bakı Dövlət Universiteti, Doktorantların və gənç tədqiqatçıların XXI Respublika Elmi konfransının materialları I bölmə,–2017. 24-25 oktyabr – s.10-12.
3. İsayeva, A.Ə. Metalların optik və maqnitooptik xassələrin təyin etmək üçün qurğunun hazırlanması // – Bakı: Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, XX Respublika Elmi konfransının materialları, Bakı,–2016. 24-25 may – s.26-28.
4. İsayeva, A.Ə. CoFeCrSiB tərkibli amorf ərintilərin maqnit və elektrik müqaviməti xassələrinə temperaturun təsiri // Bakı: -2015. XVIII respublika elmi konfransının materialları, – s.113-115
5. İsayeva, A.Ə.. $\text{Fe}_{72}\text{Co}_3\text{Si}_{12}\text{B}_{13}$ maqniyumşaq amorf lentin maqnit nüfuzluğuna soyuma sürətinin təsiri // – Bakı: Gənc Tədqiqatçı Elmi-praktiki jurnal -2021, №2 –c. 8. –s. 21-24.
6. Pənahov, T.M., Əhmədov V.İ.,İsayeva A.Ə.Amorf maqniyumşaq lentin maqnit xassələrinə səth halının təsiri // Bakı:–2012 Fizikanın müasir problemləri VI respublika konfransı, –s.15-16
7. Pənahov, T.M., İsayeva, A.Ə. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf lenti üçün Ekvatorial Kerr effektinin temperatur asılılıqları //– Bakı: Azərbaycan Texniki Universiteti Elmi əsərlər, – 2017, №3 –s.48-51.
8. Pənahov, T.M., İsayeva, A.Ə. $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ amorf ərintisi üçün histerezis ilgəklərinin alınması //– Bakı: Bakı Universitetinin Xəbərləri Fizika-Riyaziyyat elmlər seriyası, – 2017, №4, –s.191-195

9. Pənahov, T.M., Musayev, Z.S., İsayeva, A.Ə. CoFe əsaslı amorf lentlərin ekvatorial Kerr effektinin spektrlərinin anizotropluğu, //– Bakı: Azərbaycan Texniki Universiteti Elmi əsərləri, –2017. №3, –s. 43-46
10. Pənahov, T.M., İsayeva, A.Ə. (CoFe)₇₅Si₁₀B₁₅ amorf maqnit yumşaq materialların maqnit strukturu və rentgen quruluş təhlili //– Bakı: Azərbaycan Texniki Universiteti Elmi əsərlər, –2018. №2, –s. 68-71
11. Pənahov, T.M., Musayev, Z.S., İsayeva, A.Ə. CoFe əsaslı amorf ferromaqnit ərintilərin maqnit müqaviməti effekti //– Bakı: Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri Beynəlxalq elmi-texniki jurnal, –2019. №1 Cild 11–s.86-89
12. Аззам Р., Башара Н. Эллипсометрия и поляризованный свет / М. Изд.Мир, – 1981, –с.441
13. Александрович К.Н. Магнитная анизотропия и магнитоупругие эффекты аморфных пленок с редкоземельными компонентами и пленочных структур на их основе: / Дис. канд. физико-математических наук / – Екатеринбург, 2014, –с.143
14. Абросимова, Г.Е. Влияние стеклянной оболочки на кристаллизацию аморфных микропроводов на основе железа и кобальта / Г. Е. Абросимова, А. С. Аронин, Н. Н. Холстинина // Физика металлов и металловедение, – 2010. – т 110, № 1, – с. 1-7.
15. Биронт В.С. Особенности окисления трехкомпонентных сплавов на основе системы железо-никель-кобальт / В.С.Биронт, Т.Н.Дроздова, И.В.Блохина [и др.] // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. – 2009. P. 139-150.
16. Валенчик, Л. / Оптические и магнитооптические свойства аморфных сплавов на основе железа / Л.Валенчик, Е.А.Ганьшина, В.С. Гуцин и др. // Физ.Мет.Метал, – 1989, т. 67, – с. 1108-1116.
17. Вашук, М.В., Магнитооптические и оптические свойства композитных пленок (CoFeZr (x)-aSi(y)) с мультислойной структурой / А.С.Батырев,

- Е.А.Ганьшина, И.И. Тульский [и др.] // Известия РАН, Серия физическая, – 2006. т. 70, №7, –с. 945-948.
18. Ведяев, А.В., Кондорский Е.И. К теории магнитооптических явлений // Физика металлов и металловедения, –1975. т. 36, – с. 35-40.
19. Вызулин, С.А., Магнитные и резистивные свойства мультислойных наноструктур $(\text{CoFeZr})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ / С.А.Вызулин, А.В.Горобинский, Ю.Е. Калинин, Е.В. [и др.] // ФМР. Известия РАН серия физическая,. –2010. т. 74, № 10 – с. 1441-1443.
20. Волошинская, Н.М., Федеров, Г.Б. Эффекты Керра и Холла в ферромагнитных сплавах // ФММ, –1973, т. 36, в. 5– с. 946-956.
21. Вонсовский, Н.К. Магнетизм / Н.К. Вонсовский. М. Наука, –1972. – 820 с.
22. Ганьшина Е.А., Оптические и магнитооптические свойства неупорядоченных сплавов на основе железа / Е.А.Ганьшина, Д.Н.Джураев, Г.С. Кринчик // Деп.В ВИНТИ – 1987. №87, –с. 31-35.
23. Губанов, А.И. Квазиклассическая теория аморфных ферромагнетиков // ФТТ, – 1960. №2, – с. 502-505.
24. Глезер, А.М., Потеекаев, А.И. Черетаева, А.О. Температурно-временная стабильность аморфных сплавов //– Томск: Издательство НТЛ, –2015. 192 с
25. Глезер, А.М. Аморфные и нанокристаллические структуры: сходства, различия, взаимные переходы // Российский химический журнал,– 2002. № 5, –с. 57-63.
26. Глезер, А.М. Механическое поведение аморфных сплавов / А.М. Глезер, И.Е. Пермякова, В.Е. Громов [и др.] // СибГИУ, – Новокузнецк: –2006. – 414 с.
27. Джумъазода, А. Влияние температуры на МИ в аморфных микропроводах после токового отжига / Л.В. Джумъазода, М.Г Панина,. А.Т. Неъматов [и др.] // Журнал теоретической физики, –2019. № 89, – с.1056-1060
28. Доронин М.В., Грешняков, Г.В. Надвижные магнитные экраны специальной конструкции, собранные из листов аморфных магнитомягких сплавов //

- Вопросы материаловедения, – 2017, т. 89, № 1, – с.108-113.
- 29.Дорофеева Е.А., Прокошин А.Ф.. О формировании магнитной анизотропии и доменной структуры в аморфных металлических сплавах // Физика металлов и металловедение, – 1982, т. 54, № 5, – с. 946-952.
- 30.Золотухин, И.В. Соросовский, О.Ж. М.: Изд-во Soros Science //– 1997. № 4, – с.147-148.
31. Золотухин, И.В. Электические сопротивление аморфных нанокомпозитов $CoTaNb + SiO_2$ // И.В.Золотухин, Ю.Е.Калинин, П.В.Неретин [и др.] // Альтернативная энергетика и экология – 2002. №2, – с.7-14.
- 32.Калинин, Ю.Е., Новые направления физического материаловедение: Учебное пособие / Ю.Е.Калинин, И.В. Золотухин, О.В. –Воронеж: Издательство Воронежского гос. университета, – 2000. – с.360.
- 33.Кекало, И.Б. Физическое металловедения прециозных сплав. / И.Б. Кекало, Б.А. Самарин // М. Металлургия – 1989. – с. 496.
- 34.Кекало И.Б. Аморфное металлические материалы. // М.Наука, – 1992, – с. 107-112.
- 35.Кекало, И.Б., Столяров, В.Е., Цветков, В.Ю. Механизм формирования магнитных свойств аморфного сплава $Fe_{55}Co_{20}Si_{15}B_{10}$ при отжиге // ФММ, – 1983, т. 55, № 2, – с. 235-242.
- 36.Кекало, И. Б., Лёффлер Ф. Влияние частичной кристаллизации, структурной релаксации и внутренних напряжений на магнитные свойства тороидальных образцов аморфных сплавов на основе железа // ФММ, – 1989, т. 68, № 2, – с.280-288.
- 37.Кекало, И.Б. Влияние состава и условий получения аморфных сплавов на эволюцию их магнитных свойств при отжиге // Наука, – 1992. – с.107-112.
- 38.Кекало, И.Б. Новиков, В.Ю. Магнитномягкие сплавы (кристаллические и аморфные) // М.: ВИНТИ, – 1984. т. 18, – с. 3-56.
- 39.Кекало, И.Б., Могильников, П.С. Влияние изгибных напряжений на высокочастотные магнитные свойства и временную их стабильность в

- аморфном сплаве на основе кобальта с очень низкой магнитострикцией // Журнал технической физики, – 2015. т. 85, № 12, – с. 80- 87.
40. Костюрин, А.А. Кринчик, Г.С, Магнитооптика. / А.А Костюрин, Г.С. Кринчик –М. Знание, 1980. –64 с.
41. Козлов А.Г., Лухвич А.А., Шарандо В.Т. В кн. Физические методы и средства неразрушающего контроля. Москва: "Наука и техника", 1976, с. 169-171.
42. Кринчик, Г.С. Магнитооптические интенсивностные эффекты в ферромагнитных металлах и диэлектриках / Г.С. Кринчик, Е.Е.Чепурова, Ш.В.Эгамов // ЖЭТФ, –1978, №74, – с.714-719
43. Кринчик Г.С. Физика магнитных явлениях / Г.С. Кринчик/ Моск. ун-та, 1985. –367 с.
44. Кринчик, Г.С., Гушин, В.С. Магнитооптические свойства ферромагнитных сплавов на основе Ni // ЖЭТТ, – 1969. т.56, – с. 1933-1940.
45. Кринчик, Г.С., Нурмухамедов, Г.М. Намагничивание ферромагнитного металла магнитным полем световой волны // ЖЭТТ, –1964, т.47, – с.76.
46. Мирошниченко И. С., Салли И. В. Установка для кристаллизации сплавов с большой скоростью охлаждения / И.С.Мирошниченко., И. В.Салли Зав. лабор. –1959. № 11, –с. 1398-1399.
47. Орлова, Н.Н. Влияние напряжений на структуру, фазовые превращения и свойства аморфных сплавов на основе Fe, Co / Н.Н. Орлова, Ю.П. Кабанов, Г.Е. Абросимова и др. / Физикохимия ультрадисперсных наносистем: Материалы IX Всероссийской конференции. –Ижевск: Удмуртский государственный университет, 2010. – с. 94.
48. Панахов, Т.М., Исаева, А.А., Рефиев, Н.М. Магнитооптические свойства аморфных лент на основе CoFe // Бюллетень науки и практике, – Нижневартовск: – 2018, т. 4. №8, – с.136-143
49. Петраковский, Г.А. Аморфные магнетики // УФН, – 1981, т.143, №2, – с. 305-331.

- 50.Скулкина, Н.А. Влияние термических обработок на структуру и магнитные свойства лент аморфных магнитомягких сплавов / Н.А.Скулкина, О.А.Иванов, Е.А.Степанова, Л.С.Глотова, В.С. Цепелев // ФММ, –1998. т.86, № 2, –С. 54-60.
- 51.Скулкина, Н.А., Иванов, О.А. Магнитомягкие материалы. Физические воздействия и магнитные свойства // Lambert Academic Publishing, –2010, – с.404
- 52.Судзуки, К., Худзимори, Х., Хасимото, К. Аморфные металлы // М. Металлургия, –1987, – с. 304-305.
- 53.Стародубцев, Ю. Н. Белозеров, В. Я Аморфные металлические материалы // Силовая электроника, – 2009. № 2. – с. 86–89.
- 54.Стародубцев, Ю, Белозеров, В. Нанокристаллические магнитомягкие материалы // Компоненты и технологии. –2007. № 4, – с. 144–146
- 55.Тикадзуми, С. Физика ферромагнетизма, магнитные характеристики и практическое применение / С. Тикадзуми. Мир, –1987. – 419 с.
- 56.Фельц, А. Аморфные и стеклообразные твердого тела / А. Фельц. –Москва: Мир, –1986. – 556 с.
- 57.Шальгина, Е.Е., Комарова, М.А., Молоканов, В.В. Магнитооптическое исследование микромагнитной структуры и процессов намагничивания $\text{Co}_{69}\text{Fe}_4\text{Si}_{12}\text{B}_{15}$ аморфных микропроволок // ЖЭТФ, –2002. т.122, №3, –с.593
- 58.Хандрик, К., Кобе С. Аморфные магнетики // УФН,-1981.т.143.№2, –с.305–331.
- 59.Хандрик, К., Кобе С. Аморфные ферро и ферромагнетики //М.Мир –1982. – с.56-58.
60. Abdullayev, A. P., Ahmadov, V. I. and Isayeva, A. A. Magnetic penetration investigation on the bands made of amorphous magnetically soft $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ alloys under the thermal processing // International Journal of Modern Physics B –Singapur: – 2021.v. 35, № 3.
61. Atkinson, D. The effect annealing and crystallization on the magnetoelastic

- properties of Fe-Si-B amorphous wires / D. Atkinson, P.T. Squire, M.R.J. Gibbs, S. Atalay., Lord D.G // J.App.Phys. –1993. т.73, – p.3411-3417.
- 62.**Aksenov, O.I. Stress state effect on the magnetic properties of amorphous microwires / O.I.Aksenov, N. Orlova, M.N. Churyukanova and [et all.] // Journal of Magnetism and Magnetic Materials, – 2020. v.495, – p. 165878
- 63.**Блох, К., Nabiałek, M. The influence of heat treatment on irreversible structural relaxation in bulk amorphous $Fe_{61}Co_{10}Ti_3Y_6B_{20}$ alloy // Acta.Phys, – 2015 vol.127 – p. 442–444
- 64.**Cebbolada, A. Enhanced magneto-optical Kerr effect in spontaneously ordered fcc alloys:/ A.Cebbolada, D.Weller, J. Sticht et al. Quantitative agreement between theory and experiment // Phys. Rev B, – 1994, т.50, – p. 3419-3422.
- 65.**Chernenkov, Yu.P., Cond. Matter / Yu.P. Chernenkov, N.V. Ershov, V.A. Lukshina, V.I. Fedorov, B.K. Sokolov Physica B: –2007 v.396, №1, –p. 220
- 66.**Chiriac, H. Rapidly solidified amorphous nanowires / H.Chiriac, S.Corodeanu, M.Lostun [et all.] // J. Appl. Phys. – 2011. –p.109
- 67.**Chen, D.M. Cryogenic Joule annealing induced large magnetic field response of Co based microwires for giant magneto-impedance sensor applications / D.M. Chen, D.W. Xing, F.X. [et all.] // J. Appl. Phys. – 2014. v. 116, – p. 53907.
- 68.**Chizhik, A. Study of length of domain walls in cylindrical magnetic microwires / A. Chizhik, J. Gonzalez, A. Zhukov [et all.] // Journal of magnetism and magnetic materials. – 2020. vol. 512, – p. 167060.
- 69.**Chenguang, Wu. Thermoplastic deformation of ferromagnetic CoFe based bulk metallic glasses / Wu Chenguang [et. al.] // Applied physics A. –2017. v.123, №742.
- 70.**De Wit, H.J., Brouha, M., Domain patterns and high-magnetic properties of amorphous metal ribbons // J. Appl. Phys, –1985 v.57, №8, – p.3560-3562.
- 71.**Devkota J.A. Soft ferromagnetic multiwire-based inductance coil sensor for sensing applications / J. Devkota, T. Luong, J. S. Liu [et all.] // J. of Applied physics, –2014. –p. 1-8

72. Diaz, J. Understanding the magnetic anisotropy in Fe-Si amorphous alloys / J Diaz, P.Jalil, H.Zahid [et all.] //– USA: Technical report, Lab.(LBNL), –2002.
73. Farhad, S. Effect of Magnetic Field Dynamics on the Copper-Constantan Thermocouple Performance / S.Farhad, M.Catherine, H.Lawrence [et all.] // Journal Instrumentation Science & Technology –2005. v. 33, – p. 661-671.
74. Fukunaga, T. Amorphous Magnetism II / T.Ichikawa, K. Suzuki, R. A. Ed. Levy, R. Hasegawa – New York and London: Plenum Press, –1977, – p. 52
75. Garcia-Chocano, V. M., Garcia, M.H., DC & AC linear magnetic field sensor based on glasses coated amorph microwires with giagant magnetoimpedance // Journal of Magn. and Mag. Materials –2015. v.378 , –p. 485-492
76. Gargill, G.S., Cochrane, R.W. Amorphous cobalt phosphorus alloys: atomic arrangement and magnetic properties // J.de Phys,–1974. v.35, – p.269-278
77. Gerber, A. Magnetoresistance of granular ferromagnetics / A.Gerber, A. Milner, B.Groisman et al. // Phys.Rev.B, – 1997. v.55, – p.6446-6452.
78. Gonzales, A., Zern, A., Hernando, A. Effect of cobalt nanoclusters on magnetization processes in CoB amorphous alloys // J. Magn. Magn. Mat. – 1999. v.197, – p. 175-176.
79. Gonzalez, L.L., Magnetoimpedance dependence on width in $Co_{66.5}Fe_{3.5}Si_{12}B_{18}$ amorphous alloy ribbons / L.L.Gonzalez , V.M. Prida, B. Hernando [et all.] // J. Applied physics –2013. p.113.
80. Grundy, P.J., Parkers, S. Lorenz microscopy of some amorphous and annealed Co- based melt-spun ribbons // IEEE Trans. Magn., –1981. v.17, №6, –p. 2627-2629.
81. Gregor, G. G, Samo,B. Thermometers in low magneticfields // Int. J. Thermophys – 2010. v.311, – p. 622–632.
82. Guterrez, J., Atkinson, D. Domain Wall motion influence on the GMI effect // J. Appl. Phys. J. Magn. Magn. Mater. –1999 v.196/197, – p. 262-263.
83. Gutierrez, J., Domain wall motion influence on the magneto impedance effect / J.Gutierrez, D.Atkinson, P.T. Squire and J.M.Barandiaran // J. Magn. Magn.

Mater. –1999, v.196/197, –p. 169-170.

- 84.**Jang, K.J. Annealing temperature dependence of permeability spectra and asymmetrical giant magnetoimpedance in Co-based amorphous ribbon/ K.J. Jang, C.G. Kim, H.C. Kim, S.C. Yu, K.H. Shin // J. Appl. –2000 v.87, i.9, – p. 5260-5262.
- 85.**Jez,B. Modification of Curie temperature in bulk amorphous alloys as a result of their annealing, Rev. Chim. – 2017. v.68, №8, –p.1903–1907.
- 86.**Hasegawa, R. /Advance in amorph and nanocrystalline magnet materials // Journal of Magnetism and Magnetic materials, – 2006. v. 304, №. 2, – p. 187-191.
- 87.**Han, C.T. Fe-based soft magnetic amorphous alloys with high saturation magnetization above 1.5 T and high corrosion resistance / C.T. Han, S.L. Chang, A Zhu [et all.] // Intermetallics –2014. –p.169-175
- 88.**Herzer. G Modern soft magnets: Amorphous and nanocrystalline materials/ /Acta Materialia –2013. V.61, – p.718–734.
- 89.**Isayeva, A.Θ. Magneto-Optical Features of Amorphous Ribbon $(CoFe)_{75}Si_{10}B_{15}$ // International Journal of Science and Research (IJSR), – India: vol. 5. № 8, – August 2016. – p.716-719
- 90.**Inoue, M. Effect of structural irregularity on propagation properties of optical waves in discontinuous magneto-optical media with one-dimensional quasirandom array structures / M. Inoue, T.Yamamoto, K. Isamoto and [et all.] // Applied physics, – 1996. v.79, №8, –p. 5988-5990.
- 91.**Inoue, M.,Fujii, T. A theoretical analysis of magneto-optical Faraday effect of YIG films with random multilayer structures // J. Appl. Phys. –1997. v.81, № 8, – p. 5659-5661.
- 92.**Inoue, M. Magneto-optical properties of one dimensional photonic crystal composed of magnetic and dielectric layers / K, Arai., T. Fujii, M. Abe and [et all.] / J. Appl. Phys. – 1998. v. 83, 11, – p. 6768-6770.
- 93.**Inoue, M. Effect of structural irregularity on propagation properties of optical

- waves in discontinuous magneto-optical media with one-dimensional quasirandom array structures / M. Inoue, T.Yamamoto, K. Isamoto and [et all.] // J. Applied physics, –1996. v.79, №8, , –p. 5988-5990.
- 94.** Inoue, A. Takeuchi A. Recent development and application products of bulk glassy alloys // Acta Materialia, –2011. v. 59, –p.2243–2267
- 95.** Inoue, A., Makino, A. Mazushima ferromagnet bulc glassy alloy // J.Magnetism Magnetic Materials – 2000. v.215, №216, – p. 245-252
- 96.** Izuyama T., Kim D.J., Kubo R. Band theoretical interpretation of neutron diffraction phenomena in ferromagnetic metals // J. Phys. Soc. Japan. v. 18, 1963, – p. 1025-1043.
- 97.** Kato, H, Inoue, M. Reflection-mode operation of one-dimensional magnetophotonic crystals use in film-based magneto-optical isolator devices // J. Applied physics,– 2002. v. 91, № 10,–p.7017-7019.
- 98.** Kekalo, I. B. M.Metall./ I. B. Kekalo and B. A.Samarin, –1989.496 p.
- 99.** Kim, C.G. Analysis asymmetric gigant magnit impedance in field–annealed Co -based amorphous ribbons / C.G. Kim, K.J. Jang, H.C.Kim and S.S Yoon // J. Appl. Phys. Lett. –1999. v.75, i.14, – p. 2114-2116.
- 100.** Kim, C.G Asymmetric Giant impedance in field annealed Co -based amorphous ribbon / C.G. Kim, K.J.Jang, H.C. Kim, and S.S. Yoon // J. Appl. physics –1999. v. 85, 8 –p. 5447-5449.
- 101.** Kim, C.G., Response to comment on analysis of AGI in field –annealed Co -based amorphous ribbon / Kim C.G., Lang K.J., Kim D.G. and Yoon S.S.//Appl. Phys. Lett. – 2000. v.77, –p. 1730-1731.
- 102.** Kim,C.G. High – temperature dependence of asymmetric giant magnetoimpedance and magnetostatic properties in Co- based amorphous ribbon / C.G Kim, Y. Rheem, C.O.Kim, S.S.Yoon, E.A. Gansina, M.Yu.Kochneva and D.A. Zaichenko // J. Magn. Magn. Mat. –2003. v.258-259, –p. 170-173.
- 103.** Kodama R.H. Magnetic nanoparticles // J. Magn. Magn. Mat. v. 200, 1999, pp. 359-372.

- 104.** Kollie, T.G. Review of Scientific Instruments / T.G. Kollie, R.L. Anderson, J. L. Horton, M.J. Roberts – 2008. v.48, p.501. URL <https://doi.org/10.1063/1.1135063>.
- 105.** Kornienkov, B.A. and Artamonov, E.V., Improving the magnetic properties of 2NSR amorphous alloy, //Steel Transl., – 2009, v. 39, no. 6, – p. 518–520.
- 106.** Kornienkov, B.A. and Molotilov, B.V., Magnetoelastic effects in amorphous alloys, // Steel Transl., – 2013, v. 43, no. 3, – p. 157–160.
- 107.** Koshiba, H., Inoue, A., Makino, A. Fe-based soft magnetic amorphous alloys with wide supercooled liquid region // J.Appl.Phys. – 1999. v.85, – p.5136-5138.
- 108.** Kravets, V.G. The optical and magneto-optical properties and magnetoresistance of amorphous CoFeNiSiB alloys / V.G. Kravets, A.K.Petford-Long, X. Portier et.al.// J. Magn. Magn. Mat., – 2000. v. 217, no.1-3, –p. 129-138.
- 109.** Kravets, V.G. Optical and magneto-optical properties of thin films for high density information recording / V.G.Kravets,L.V.Poperenko, I.V.Yurglevich, A.K.Petford-Long // Semiconductor Physics Quantum Electronics & Optoelectronics. –2002. v. 5, № 2. –p. 217-221
- 110.** Kronmuller, H.et al.,Magnetic properties of amorphous ferromagnetic alloys. J.Magn.Magn.Mater. – 1979. v.13, –p.53-65.
- 111.** Knobel, M. Giant magnetoimpedance. Chapter 5 Handbook of magnetic materials / M. Knobel, M. Vazquez, L. Kraus –Amsterdam: Elsevier Science, B. –2003. v. 15, p. 1–69
- 112.** Kurlyandskaya, G.V. Effect of induced magnetic anisotropy and domain structure features on magnetoimpedance in stress annealed Co-rich amorphous ribbons / G.V. Kurlyandskaya, M.Vazquez, J.L. Munoz [et all.] / J. Magn. Magn. Mater. –1999.– p. 259-261.
- 113.** Larsson, O. Fe-based Amorphous Powder for Soft-Magnetic Composites / Master's thesis / – Stockholm: – 2013. – 66 p.
- 114.** Livingston, J.D., Morris, W.G. Effect of applied current on domain structure and permeability in amorphous metal ribbons // J. Appl. Phys. –1984. v.55, № 6, –p.

1790-1792.

115. Livingston, J.D., Morris W.G. Magnetik domain in amorph metal ribbons // J. Appl. physics. –1985,v. 57, no. 8, –p. 3555-3559.
116. Li, J. Effect of fluxing treatment on the properties of $Fe_{66}Co_{15}Mo_1P_{7.5}C_{5.5}B_2Si_3$ bulk metallic glass by water quenching / Li J., Wang X., Liu, X. Phys. B: Phys. Condensed Matter –2018. v.528, –24–26.
117. Lyubchanskii, I.L. Magnetic Photonic Crystals / I.L.Lyubchanskii, N.N. Dadoenkova, M.I. Lyubchanskii, R. T.Shapovalov // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2003 v.36, –p. 277-287.
118. Machado, F.L.A., Martins C.S. Giant magnetoimpedance in ferromagnetic alloy $Co_{75-x}Fe_xSi_{15}B_{10}$ // Phys. Rev. B – 1995. v.51, no.6, –p. 3926-3929.
119. Machado, F.L.A., Silva, B.L., Montarroyos, E. Magnetoresistance of the random anisotropic $Co_{70.4}Fe_{4.6}Si_{15}B_{10}$ alloy // J. Appl. Phys. –1993. v. 73, No. 10, – p. 6387 – 6389
120. Mandal K., Ghatak S.K. Large magnetoresistance in an amorphous $Co_{68.1}Fe_{4.6}Si_{15}B_{10}$ ferromagnetic wire // Phys. Rev. B. – 1993. v. 47. No. 21. –p. 14233 – 14236
121. Makhotkin V.E. Magnetic field sensors based on amorphous ribbons / V.E. Makhotkin, B.P. Shurukhin, V.A. Lopatin, P. Yu. Marchukov, Yu. K. Levin // Sensors and Actuators A. – 1991. No 27, p.759– 762
122. Magnus, F. Tunable giant magnetic anisotropy in amorphous SmCo thin films. Applied Physics Letters / F. Magnus, R. Moubah, A. H. Roos [et all.] – 2013. v. 102 – p.162402,
123. Masumoto T., Production of Pd-Cu-Si amorphous wires by melt spinning method using rotating water / T. Masumoto, I. Ohnaka, A. Inoue [et all.] // Scripta. Metall. – 1981. № 15. – p. 293 – 296
124. Meydan, T. Application of amorphous materials to sensors // J Magn Magnetic Materials. – 1995. No 133, –p. 525–532.

125. Mikol, M. and et al., / Thin Solid Films – 2014. N558, –315 p.
126. Mitra, A., Mandal, K., Ghotad, S.C. DC magnetic properties of asquenched and flash-annealed amorphous Fe-Si-B wires //J. Magn.Magn. Mater –1992.v.110, – p.135-137.
127. Milner, A., Gerber, A., Groisman, B. et.al. Spin –dependent electronic transport in granular ferromagnets // Phys. Rev. Lett. –1996. v.76, №.3,–. 475-478.
128. Mizoguchi, T. Yamauchi, K. Miyazima,H Amorphous Magnetism of Transition Metal Alloys //Int. Conf. on Magnetism – 1973. v.2, – p.54
129. Moron, C. and Garcia, A. Giant magneto-impedance in nanocrystalline glass-covered microwires // J. Magn. Magn. Mater. – 2005. v. 290-291, part 2,– p.1085-1088.
130. Mohri, K. Recent advances of amorphous wire CMOS IC magnetoimpedance sensors: Innovative high-performance micromagnetic sensor chip / K. Mohri, T. Uchiyama, L.V. Panina [et all.] // Journal of Sensors. – 2015.– p. 1-8.
131. Nematov, M.G. “Effect of Stress on Magnetic Properties of Annealed Glass-Coated $Co_{71}Fe_5B_{11}Si_{10}Cr_3$ / M.G. Nematov, M.M. Salem, A. Adam [et all.] // Amorphous Microwires”, IEEE Trans. on Magn. 2017. № 53,– p. 2003106.
132. Ohnuma, M., Hono, K., Onodera, H. et.al. Distribution of Co Particles in Co-Al-O Granular Thin Films // J. Met. and Nanocrys. Mat. –1999 no.1, –p. 171-176.
133. Panahov,T.M. Magnetic Thermocouples Made of $CoFe$ and $FeNi$ Permalloys / T.M Panahov, A.Θ. Isaeva, N.M.Rafiev, A.H. Huseynov // Technical physics – 2019. v. 89, no.7. –p. 987-910.
134. Panina, L.V Gigant magnetoinductive and magnetoimpedance effects in amorph alloys / L.V. Panina, K Mohri, K. Busida, M. Noda // J .Appl. Physics, –1994. v. 76, no.10, – p. 6198-6203.
135. Panina, L.V. Off diagonal magnetoimpedance in amorphous microwires for low-field magnetic sensors / N.A. Yudanov, A.T. Morchenko, V.G. Kostishyn and D.P. Makhnovskiy //Phys. Status Solid A, – 2016, v.213, no. 2, – p. 341-

136. Panina, L.V. Domain wall propagation in Fe-rich amorphous microwires / L.V. Panina, M. Ipatov, V. Zhukova [et all.] // *Phys. B, Condens.Matter.* – 2012. – v. 407. – p. 1442-1445.
137. Phan, M. H., Peng, H. X. Gigant magnetoimpedance materials // *Fundamentals and applications, Progress in Materials Science.* – 2008.v. 53, no.2, –p. 323-420.
138. Richter, S. Fabrication of sub μm bipolar transistor structures by scanning probe microscopy /S. Richter, D.Cashen, S.R. Cohen, K. Gartsman, V.Lyakhovistskaya, V. Nanassen // *Appl. Physics. Lett.* –1978. v.13, no.73, –p. 1868-1870.
139. Ripka, P. Magnetic sensors and magnetometers //Artech House Publishers-2001.
140. Samo,B. Magnetic effects on thermocouples /B. Samo, J. Bojkovski, J.Drnovsek. G. Gersak / *Measurement Science and Technology.* – 2014. V. 25, № 3. doi:10.1088/0957-0233/25/3/035006.
141. Sato, T. R. Low-temperature hardening of coercitivity of amorphous alloys / R.Sato Turtelli, D. Holzer, R. Grossinger, H. Sassik, N. Pillmayer // *J. Magn.Magnetic.Materials* – 2001. v.226-230, –p.1496-1497.
142. Salem,M.M., Nematov,M.G., Uddin, A., Panina, L.V., A.T CoFe-microwires with stress-dependent magnetostriction as embedded sensing elements // *Confersion Series 903, Journal of Physics,* – 2017 –p. 012007.
143. Sarkar, R.K. Effect of Nb and Cr incorporation on the structural and magnetic properties of rapidly quenched FeCoSiB microwires/ R.K. Sarkar, A. Roy, A.K. Mitra // *J. Magn. Magn. Mater.* – 2012. v.324, – p. 2543-2545.
144. Skulina, N. A. et al., The duration of isothermal exposure during thermoheating in the air and the magnetic properties of bands of amorphous magnetically soft alloys based on iron // *ΦMM.* –2011. v.112, no 6, – p. 613–619.
145. Skulina, N. A. and Ivanov, O. A., *Physical Effects and Magnetic Properties // Magnetically Soft Metals* (Lap Lambert Academic Publishing,) –2010.–p. 404.

146. Schmool, D.S. Ferromagnetic resonance studies of amorphous and nanocrystalline FeCuNbSiB alloys / D.S. Schmool, P.Gorrio, J.M. Barandiraran, F. Lessabue, B.E. Watts // J.Appl.Phys., –1997. v. 81, – p.4048-4050.
147. Takayama S. Amorphous structures and their formation and stability / S. Takayama // Journal of Materials Science, –1976. v. 11, –p. 164–185.
148. Takeda, E. Faradey effect enchaement in Co-ferrite layer incorporated into one-dimensional phonotic crystal working as a Fabry-Perot resonator / Takeda E., Todoroki N., Kitamoto Y. [et all.] // J. Appl. Phys. 2000. v.87, №9, – p.6782-6784.
149. Usov, N.A. Theory of giant magnetoimpedance effect in amorphous wires with different types of magnetic anisotropy // J. Magn. Magn. Mater. –1998. № 185, – p. 159 – 173.
150. Varyukhin, V. N. et al. Iron-yttrium garnet films with magnetic vortices // JETP letters. –2008, v. 88, no.4, – p. 271-274.
151. Vashuk, M.V. Magnetooptical and optical properties of $\{Co_{0.45}Fe_{0.45}Zr_{0.1}/a-Si\}_n$ multilayers / M.V. Vashuk, E.A. Ganshina, A.S., Baturev, S. Phonghirun, I.I.Tulsky, P.N. Scherbak and Yu.E.// Kalinin Books of Abstract VIII International Workshop on Non-crystalline Solidos, –Spain: – 2006. p.52.
152. Vazquez, M. Giant magneto-impedance in soft magnetic wires // J. Magn. Magnetic Materials. –2001. v. 226-230, part 1, –p.693-609.
153. Vazquez, M., Chen, D.X. The magnetization reversal process in amorphous wires // IEEE Trans. Magn., –1995.v.31, – p. 1229-1238
154. Velazquez, J. Giant magnetoimpedance in nonmagnetostrictive amorphous wires / J.Velazquez, M. Vazquez, D.X.Chen [et all.] // Phys. Rev. B. –1994. v. 50, № 22, – p. 16737 – 16740.
155. Wanga, X.D. Thermal Stability of Giant Magneto-impedance Effect in Glasscovered Amorphous Wires / X.D. Wanga, J.S. Liua,b, D.W. Xinga [et all.] // Physics Procedia, – v. 48, –2013. –p.152-159.
156. Wittekock S., Magneto-optic spectra and the dielectric tensor elements of

bismuth-substituted iron garnets at photon energies between 2.2-5.2 eV / S.Wittecock, T.J.A. Popma, J.M.Robertson [et all.] // Phys. Rev. B, –1975, v.12, №7, – p.2777-2788.

157. Wittecock, S. Investigation of the Origin of the Anomalous Faraday Rotation of $\text{Bi}_x\text{Ca}_{3-x}\text{Fe}_{3.5+0.5x}\text{V}_{1.5-0.5x}\text{O}_{12}$ by means of the Magneto-optical Kerr Effect // Phys. Rev. Lett. –1972. v.28, №12, –p. 740-743.
158. Willens R. H. Dendritic Crystallization of an Amorphous Alloy / R. H. Willens // J. Appl. Phys. 1962. V. 33. P. 3269–3272
159. Wright, J.G. Amorphous transition metal films // IEEE Trans. Magn. – 1976 v.12, –p.95-99.
160. Wang, F. Excellent soft magnetic Fe-Co-B-based amorphous alloys with extremely high saturation magnetization above 1.85 T and low coercivity below 3 A/m, F. Wang, A. Inoue, Y. Han, // J. Alloys Compd. – 2017. № 711, –p. 132–142.
161. Xiaomin, L, Evans P., Zangari G. IEEE Transactions on Magnetics // –2000. v. 36. № 5, – p.3479 – 3481.
162. Yudanov, N. A., Evstigneeva S. A., Panina L. V., Part of Topical Section on Magnetism and Applications of Magnetic Wires Temperature dependence of the off-diagonal Magnetoimpedance in sensor configuration utilizing Co-rich amorphous wires / N. A Yudanov, S. A.Evstigneeva., L. V. Panina // Phys. Status Solidi A –2016. v. 213, № 2, –372- 376.
163. Zhukov, M. Advances in Giant Magnetoimpedance of Materials / M. Zhukov, V. Ipatov, K.H.J. Zhukova [et all.] // Handbook of Magnetic Materials –2015. v. 24, –p. 139.
164. Zhukov, M Tailoring of high frequency giant magnetoimpedance effect of amorphous Co-rich microwires / M. Zhukov, A. Talaat, M. Ipatov[et all.] // IEEE Magn. Lett. –2015. v.6 –p. 2500104.

QISALADILMIŞ ADLAR VƏ ŞƏRTİ İŞARƏLƏR

μ_0	– başlanğıc maqnit nüfuzluğu
k	– Bolsman sabiti
K_u	– gətirilmiş maqnit anizotropiya sabiti
δ_r	– möhkəmlilik həddi
P_t	– tam itkilər
P_h	– histerezis itkiləri
$\vec{I}$	– maqnitlənmə vektoru
ω	– cərəyanın dairəvi tezliyi
ρ	– xüsusi elektrik müqaviməti
EM	– elektromaqnit
A	– analizator
İB	– idarə bloku
İK	– impuls gücləndirici
K	– impuls generatoru
FQ	– fotoqəbuledici
OC	– optocüt
U2-8	– selektiv gücləndirici
İK	– ilkin gücləndirici
BB	– bölmə bloku
SCK	– sabit cərəyan gücləndiricisi
QB-2	– qida bloku
ÖYM	– özü yazan maşın
DC	– dairəvi sayğac
QM	– qida mənbəyi
OA	– optron açar

TA – tranzistor açar
FD – faza detektoru
EKE – ekvatorial Kerr effekti
PKE – polyar Kerr effekti
MKE – meridional Kerr effekti
MİE – maqnit impedans effekti
MME – maqnit müqaviməti effekti
QMİ- – qıqant maqnit impedansı
TM_{maq}E – termomaqnit emal
AMƏ – amorf metallik ərintilər
MO – maqnitooptik