

Laboratoriya işi № 1.

Skanedici zond mikroskopu(SZM) vasitəsilə nümunə səthinin topoqrafiyasının alınması. Təcrübənin nəticələrinin işlənməsi.

1.1. İşin məqsədi	7
1.2. İşin məzmunu	8
1.3. Metodik göstərişlər	36
1.4. Tapşırıq	36
1.5. Yoxlama sualları.....	36

Bərk cisimlərin səthlərinin tədqiqi müasir fizikanın vacib məsələlərindən biridir. Buna zərurət bir tərəfdən yarımkeçirici cihazların submikron səviyyədə müasir texnologiya ilə hazırlanmasına keçidlə bağlı əmələ gəlmişdir. Çipin həcmi yox, səthi onun vasitəsi ilə məntiqi funksiyaların yerinə yetirilməsi və digər elementlərlə qarşılıqlı təsir zamanı əsas rol oynayır.

Səth və səthdə baş verən hadisələr fundamental fizika baxımından maraqlıdır. Belə ki atom strukturu, qəfəs təbəqələrinin yerləşməsi və xüsusiyyətləri səthə yaxın yerdə, həcmdə yerləşməsindən tamamilə fərqlənir.

Səthin tədqiqinin ənənəvi üsulları, yəni rentgen və ya ion difraksiyası zəif sürətli ionların difraksiyası, elektron spektroskopiyası atomların nümunənin səthi üzrə yerləşməsinin təqribi (ortalanmış) təsvirini verməyə imkan verir, ancaq bu atom strukturunu adi göz vasitəsilə görməyə imkan vermir. Bütün bu metodlar yalnız vakuum şəraitində işləyir, nanometr ölçüdə detalları ayırd etməyə imkan verir, ancaq bu zaman yüksək enerjili zərrəciklər seli nümunəni zədələyə bilər. Bundan əlavə, bu üsullar səthdəki kəllə-kötürlər haqqında bilavasitə məlumat almağa imkan vermir.

Bu problemləri qismən skanedici tunel mikroskopu (STM) vasitəsi ilə həll etmək mümkün olmuşdur. 1980-ci illərin əvvəllərində atom ölçüləri dəqiqliyi ilə silisiumun səthinin şəklinin təcrübədə alınması dünyaya məlum oldu.

Sonralar atom-qüvvə mikroskopunun (AQM) kəşfi praktik olaraq qeyri-məhdud yeni imkanların yaranmasına imkan verdi. AQM-in köməyi ilə nəinki keçirici materialların səthinin relyefini, eyni zamanda dielektrik materialların səthlərinin relyefinin öyrənilməsi mümkündür. Həmin vaxtdan skanedici zond mikroskopunun (SZM) tətbiqi imkanları xeyli genişləndi.

Hal-hazırda SZM çoxşaxəli fənlərin öyrənilməsində, fundamental elmi tədqiqatlarda, həmçinin yüksək texnologiyalı tədqiqatlarda istifadə olunur. Bununla əlaqədar olaraq yüksək ixtisaslı mütəxəssislərə tələb daima artır. Bu tələbin ödənilməsi ilə

əlaqədar «**NT-MDT**» kompaniyası (Zelenoqrad ş., Rusiya Federasiyası) tərəfindən hazırlanmış və ixtisaslaşmış təhsil-elm laboratoriyasının Skanedici zond mikroskopu - **NanoEducator** yaradılmışdır.

SZM **NanoEducator** xüsusi ilə tələbələrin laboratoriya işlərini yerinə yetirmələri üçün hazırlanmışdır. Cihazlar tələbə auditoriyası üçün nəzərdə tutulmuşdur: kompüter vasitəsilə idarə olunur, sadə və münasib interfeysə malik olub, animasiya imkanı, mərhələli öyrənmə üsulu, mürəkkəb olmayan parametrlərə və baha olmayan xərclərə malikdir.

Bu laboratoriya işində skanedici zond mikroskopunun əsaslarına baxılacaq, **NanoEducator** cihazının konstruksiyası və iş prinsipi öyrəniləcək, həmçinin müəllimin nəzarəti altında SZM vasitəsilə bərk cismin səthinin şəklinin alınması, təcrübənin nəticələrinin işlənməsi və təqdimatı öyrəniləcəkdir.

1.1. İşin məqsədi

1. Skanedici zond mikroskopunun iş prinsipinin öyrənilməsi.
2. **NanoEducator** cihazının konstruksiyası və iş prinsiplərinin öyrənilməsi.
3. SZM vasitəsilə birinci şəklin alınması.
4. Təcrübənin nəticələrinin işlənməsi və təqdimatı, iş vərdişlərinin yaranması.

Ləvazimat: Skanedici zond mikroskopu (Model SZMU-L5), zond, NanoEducator proqramı və kompüter.

Tədqiqat üçün nümunə: **TGZM** nümunə testi və ya müəllimin seçdiyi hər hansı bir nümunə ola bilər.

Müəllimin nəzarəti altında nümunə səthinin skan edilməsi yerinə yetirilir, təcrübənin nəticələrini hər bir tələbə fərdi qaydada işləməlidir. İşin təcrübə hissəsi bir dərs zamanı yerinə yetirilir və bu dörd saat davam edir. İşə başlamazdan qabaq, daha münasib xarakterli amplitud-tezlik xarakteristikası olan

zond (bir simmetrik maksimumu olan) seçmək zəruridir ki, tədqiq olunan nümunənin şəklini almaq mümkün olsun.

1.2. İşin məzmunu

Skanedici zond mikroskopunun əsasları(SZM-in iş prinsipi, SZM-in əsas komponentləri və onların təyinatı).

NanoEducator SZM-in konstruksiyası ilə tanışlıq(ümumi konstruksiyası, tunel cərəyanı və qarşılıqlı təsir qüvvəsinin universal çeviricisi, SZM-də skanetmə, zondun nümunəyə yaxınlaşma mexanizmi (əks əlaqəyə giriş, **Scanner Protration** və **Probe Oscillation Amplitude** parametrləri)). **NanoEducator** skanedici cihazın, zond çeviricisinin iş prinsipləri və konstruksiyaları animasiya klipləri vasitəsilə aydınlaşdırılır.

NanoEducator cihazının idarəetmə proqramı ilə tanışlıq (verilənlərin alınması və işlədilməsi rejimləri, skanedici qüvvə mikroskopu(SQM) və skanedici tunel mikroskoplarla (STM) iş).

SQM rejimində birinci SZM şəklinin alınması, nümunənin qoyulması, zondun(zond çeviricisinin) yerinə qoyulması, nümunəyə nəzərən zondun mövqeyinin təyini(skan edilən yerin seçilməsi, əvvəlcədən zondun nümunəyə yaxınlaşdırılması), sürətli yaxınlaşma, rezonans axtarmaq və işçi tezliyinin təyini, əks əlaqəyə giriş.

Skanedicinin parametrlərinin seçilməsi(skanedicinin ölçülərinin seçilmə kriteriyası, xətlər üzərində nöqtələrin sayı və skanedici xətlərin sayı, skanedicinin sürəti, əks əlaqə dövrəsinin parametrləri (**Feed Back Loop Gain**), SZM-lə şəklin alınması. Alınmış şəklin işlədilməsi və təhlili. Şəkildəki skanedici arte-faktların kənarlaşdırılması. Alınmış şəklin qrafik təqdimatı üsulları.

SZM üsulu haqqında işə görə hesabat ümumi məlumatlardan ibarət olmalıdır. Tələbədə təcrübədə eksperimentin nəticələrinin işlənməsi və təhlili əsasında aldığı vərdişlər özünü göstərməlidir.

Skanedici zond mikroskopunun əsasları

Bərk cisimlərin səthlərinin öyrənilməsinin əsaslı tədqiqi üçün çoxlu sayda müxtəlif üsullar mövcuddur. Mikroskoplar hələ XV əsrdən şəkillərin böyüdülməsi üçün istifadə olunur. Həmin vaxtlarda həşəratları öyrənmək üçün sadə böyüdücü şüşələr hazırlanmışdı. XVII əsrin sonunda Antonio van Levenhuk optik mikroskop hazırlamış və bu hüceyrələrin mövcudluğunu, xəstəlik törədici mikroblar və bakteriyaların varlığını aşkar etməyə imkan vermişdir. Artıq XX əsrdə elektron və ion dəstələri vasitəsi ilə işləyən mikroskoplar hazırlanmışdır.

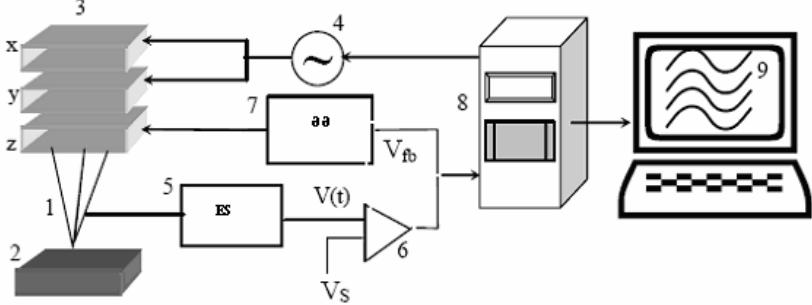
Bütün sadalanan mikroskopiya üsullarında belə prinsip tətbiq olunur: tədqiq olunan obyektin hissəciklər seli vasitəsilə işıqlandırılması və onun növbəti çevirmələri. Skanedici zond mikroskoplarında başqa prinsip istifadə olunur-hissəciklərlə zondlama əvəzinə mexaniki zond-ıynə istifadə olunur[5]. Belə demək olar ki, əgər optik və elektron mikroskoplarında nümunəyə baxılırsa, SZM-də isə nümunə səthini toxunmaqla öyrənilir.

SZM üsulunda tətbiq olunan başqa əsas prinsip skanedici prinsipdir, yəni tədqiq olunan obyekt haqqındakı alınmış məlumat diskret xarakterlidir(nöqtədən nöqtəyə, xətdən xəttə kimi). Zond yerini dəyişərək hər bir nöqtədə səth haqqında məlumatı skan edərək oxuyur.

Skanedici zond mikroskopunun ümumi konstruksiyası

SZM aşağıdakı əsas hissələrdən ibarətdir(Şəkil 1-1): 1-zond; 2-nümunə; 3-tədqiq olunan nümunənin səthi üzərində zondun yerini dəyişmək üçün x , y , z pyezoelektrik mühərrik; 4-zondun üfqi müstəvidə skanetməni təmin edən x və y pyezoqurğuya gərginlik verən generator; 5-zondla nümunə arasında qarşılıqlı təsirin lokal qiymətini təyin edən elektron sensor; 6-sensor dövrəsindəki $V(t)$ cari siqnalı başlanğıcda verilən V_S -lə müqayisə edən və $V(t)$ -nin kənəraçıxmaları

zamanı korrektədən V_{fb} siqnallarını yaradan komparator; 7- z oxu üzrə zondun vəziyyətini idarə edən əks əlaqə elektron dövrəsi; 8-skanetmə prosesini idarə edən kompüter; 9-skan edilmiş şəkil.



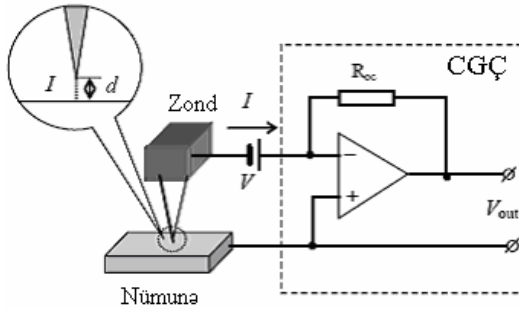
Şəkil 1-1. Skanedic zond mikroskopunun ümumi sxemi.
1- zond; 2 - nümunə; 3 - pyzelektrik mühərriklər x, y, z;
4 - x, y pyzokeramikaya cərəyan verən generator;
5 - elektron sensor; 6 - komparator; 7 - əks əlaqə elektron dövrəsi; 8 - kompüter; 9 - z(x, y) şəkilin alınması

Sensorların növləri

Skandici zond mikroskopunun iş prinsipi zond tədqiq olunan nümunə səthinə $\sim \lambda$ məsafəyə qədər yaxınlaşarkən onlar arasında yaranan lokal qarşılıqlı təsirin aşkarlanmasına əsaslanır(burada λ - zond-nümunə qarşılıqlı təsirin sönmə uzunluğudur). Zond-nümunə qarşılıqlı təsirin təbiətindən asılı olaraq: müxtəlif skandici tunel mikroskopu (STM tunel cərəyanını aşkar edir), skandici qüvvə mikroskopu(SQM qarşılıqlı təsir qüvvəsini aşkar edir), yaxın sahə skandici optik mikroskopu(YSOM elektromaqnit şüalanmasını aşkar edir) və i.a. kimi növləri vardır. Skandici qüvvə mikroskopu qarşılıqlı təsirin xarakterindən asılı olaraq öz növbəsində atom-qüvvə mikroskopu(AQM), maqnit qüvvə mikroskopu(MQM), elektron qüvvə mikroskopu(EQM) və başqa növlərə bölünür.

Girişdə qeyd olunduğu kimi zond mikroskopiyasının iki əsas STM və AQM metodları vardır.

Tunel sensorundakı tunel cərəyanını ölçmək üçün zond və nümunə dövrəsinə qoşulmuş cərəyan-gərginlik çeviricisindən (CGÇ) istifadə olunur. Skanedici zond qoşulmanın iki halı mümkündür: yerə birləşdirilmiş zonda nəzərən gərginliyin dəyişməsi nümunəyə verilir və ya yerə birləşdirilmiş nümunəyə nəzərən gərginliyin dəyişməsi zonda verilir.



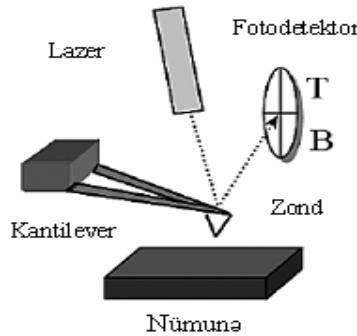
Şəkil 1-2. Tunel sensorun sxemi

Ənənəvi qarşılıqlı təsir çeviricisi olaraq silisiumdan hazırlanmış konsol və ya kantilever(ingilis dilində cantilever-consol) (Şəkil 1-3) istifadə olunur. Kantileverin sonunda nümunə və zond arasında qarşılıqlı təsir qüvvəsinin nəticəsi kimi meydana çıxan, kantileverin əyilməsinin qiymətini qeyd edən optik sxem yerləşmişdir.

Qüvvə mikroskopiyasının yerinə yetirilməsinin kontakt, kontaktsız və qismən kontakt(yarım kontakt) üsulları mövcuddur. Kontakt üsulundan istifadə edilməsi zamanı zond nümunə səthinə toxunur. Kontakt qüvvənin təsiri nəticəsində kantilever əyilir və ondan əks olunan lazer şüaları kvadratik fotodetektorun mərkəzinə nəzərən sürüşür. Beləliklə, kantileverin əyilməsi meyli fotodetektorun yuxarı və aşağı yarım hissəsinin işıqlanmasının nisbi dəyişməsinə nəzərən təyin olunur.

Kontaktsız üsulun istifadə olunması zamanı zond nümunənin səthində kənarında olur və bu zaman cəzətmə qüvvələrinin təsir oblastında yerləşir. Cəzətmə qüvvələri və onların

qradiyenti kontakt itələmə qüvvələrinin təsirindən zəifdir. Buna görə də qarşılıqlı cəzətmə qüvvəsinin aşkarlanması üçün modulyasiya üsulu istifadə olunur. Bunun üçün pyezovibratorun köməyi ilə şaquli istiqamətdə kantileverin müəyyən rezonans tezlikdə rəqsi baş verir. Nümunənin səthindən uzaqda kantileverin rəqs amplitudunun qiyməti maksimal olsun. Cəzətmə qüvvəsinin qradiyentinin təsiri nəticəsində zond səthə yaxınlaşarkən kantileverin rəqsinin rezonans tezliyi dəyişir, bu zaman onun rəqs amplitudu azalır. Bu amplituda fotodetektorun yuxarı və aşağı yarım hissəsinin işıqlanmasının dəyişməsinə nəzərən optik sxemin köməyi ilə qeyd olunur.



Şəkil 1-3. Qüvvə sensorun sxemi

Yarım kontakt üsulunda, həmçinin qarşılıqlı təsir qüvvəsini ölçmək üçün modulyasiya metodu tətbiq olunur. Yarım kontakt rejimində zond qismən nümunənin səthinə toxunur, bu zaman zond həm cəzətmə oblastında, həm də itələmə oblastında növbə ilə olur.

Qarşılıqlı təsir qüvvəsini aşkarlamaq üçün daha sadə üsullar da mövcuddur. Bu zaman yaranan qarşılıqlı təsir qüvvəsinin birbaşa elektrik siqnalına çevrilməsi baş verir. Belə üsullardan biri pyzeoeffektdən istifadə etməkdir, bu zaman qarşılıqlı təsir nəticəsində pyezomaterialın əyilməsi, elektrik siqnalının yaranmasına səbəb olur.

Pyezoelektrik mühərrik. Skanedicilər.

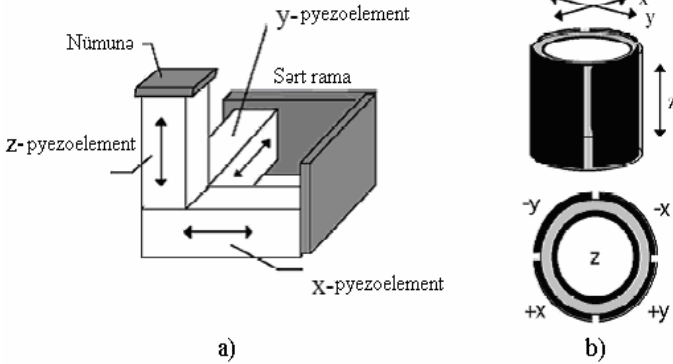
SZM-də çox kiçik məsafələrdə iynənin yerdəyişməsinə nəzarət etmək üçün piezoelektrik mühərrikdən istifadə olunur. Bu piezoelektrik mühərrik hərəkət etməyən tədqiq olunan nümunəyə nəzərən zondun yerdəyişməsini və ya zonda nəzərən nümunənin yerdəyişməsini təmin edir, nəticədə zond mexaniki skan edir.

Müasir SZM-də tətbiq olunan əksər piezoelektrik mühərriklərin işi, əks piezoeffektdən istifadə olunmasına əsaslanır ki, bu elektrik sahəsinin təsiri nəticəsində piezomaterialın ölçülərinin dəyişməsi ilə bağlıdır. SZM-də tətbiq olunan əksər piezokeramik materialın tərkibi müxtəlif əlavələr daxil olan $Pb(ZrTi)O_3$ (qurğuşun sirkonat-titanat)-dir [6].

Bir ucu bərkidilmiş piezolövhnin uzanması $\Delta l = \frac{U}{h} d_{31}$ ifadəsi ilə təyin olunur. Burada, l - lövhənin uzunluğu, h - lövhənin qalınlığı, U -piezolövhnin uclarında bərkidilmiş elektrodlara tətbiq olunan elektrik gərginliyi, d_{31} -materialın piezomoduludur.

Hal-hazırda piezokeramik mühərriklər müxtəlif növ və formalarda istehsal olunur. Hər birinin 0,1-dən 300nm/V intervallında özünün unikal piezomodulu olur. Belə ki, 0,1nm/V genişlənmə əmsalına malik keramikaya 100mV gərginlik tətbiq olunarkən 0,1 Å qədər yerdəyişmə almağa imkan verir. Bu da atom ölçüsündə ayırdetməyə imkan verir. Böyük diapazonda skanetmə almaq üçün piezomodulun qiyməti böyük olan piezokeramikalardan istifadə olunur.

Həm nümunənin müstəvi səthi üzrə x, y həm də şaquli istiqamətdə z zondun yerdəyişməsini təmin edən piezokeramik konstruksiyalar skanedicilər adlanır. Bir neçə növ skanetmə cihazları mövcuddur. Ən çox yayılmış “üç ayaqlı” və “boru” şəkilli skanedici cihazlardır (Şəkil 1-4).



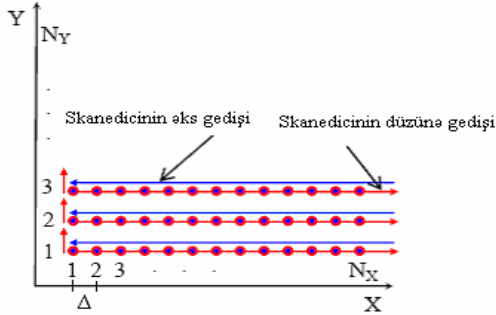
Şəkil 1-4. Skanetmə cihazlarının əsas konstruksiyaları:
a) üç ayaqlı; b) boru şəkilli

Üç ayaqlı skanedicinin üç koordinat üzrə hərəkətinin ortoqonal strukturda yerdəyişməsini üç asılı olmayan pyezokeramikalar təmin edir.

Boru şəkilli skanedicinin işi bilavasitə pyezoelektrik boruların x , y müstəvisində (lateral) əyilməsi, z oxu boyunca isə uzanması və ya qısalması hesabına mümkün olur. Pyezoelektrik boruların x və y istiqamətlərində yerdəyişməsinin idarə olunması üçün boruların səthi üzərində seqment şəklində dörd elektrod yerləşdirilir (Şəkil 1-4b). x istiqamətində pyezoborunun əyilməsi üçün, $+x$ istiqamətində keramikaya verilmiş gərginlik nəticəsində onun bir tərəfinin uzanması lazımdır. Eyni prinsip y istiqamətində hərəkətin əmələ gəlməsi üçün istifadə olunur. x və y istiqamətlərində yerdəyişmə, verilən gərginliklə və borunun uzunluğunun kvadratı ilə mütənasibdir. z istiqamətində hərəkət borunun mərkəzində yerləşmiş elektroda verilən gərginlik nəticəsində baş verir. Bütün bunlar borunun uzunluğu və tətbiq olunan gərginliklə mütənasib olaraq bütün boruların uzanmasına gətirib çıxarır.

SZM-lə səthin skan edilməsi prosesi televizorun elektron şüa borusunda ekran üzrə elektron şüasının hərəkətinə oxşayır. Zond əvvəlcə xətt (sətiirlər) boyunca düzünə və həmin xətt

boyunca əks istiqamətdə (sətrin əksinə) hərəkət edərək, sonra növbəti sətərə (kadr hissəsinə) keçir. Generator tərəfindən verilən (adətən, ədədi-analoq çeviricisi) mişarvarı gərginliyin təsiri nəticəsində skanedicinin köməyi ilə kiçik addımlarla zondun hərəkəti baş verir. Zondun düzünə hərəkəti zamanı tədqiq olunan səthin relyefi haqqında məlumat qeydə alınır.



Şəkil 1-5. Skanetmə prosesinin sxematik şəkli

Skanetmədən əvvəl seçilən əsas parametrlər bunlardır:

- Skanetmənin ölçüsü;
- Skanetmənin addımı Δ -nı təyin edən, N_x və N_y xəttləri üzrə nöqtələrin sayı;
- Skanetmənin sürəti.

Tədqiq olunan obyekt haqqında tədqiqatçının ilkin məlumatları əsasında skanetmənin parametrləri seçilir (səthin xarakteristik xüsusiyyətlərinin ölçülərini nəzərə almaqla).

Skanetmənin ölçülərini seçərkən nümunənin səthi haqqında tam məlumat əldə etmək zəruridir, yəni nümunə səthinin xarakteristik xüsusiyyətləri haqqında geniş məlumat olmalıdır. Məsələn periodu 3 mkm olan difraksiya qəfəsini skan etmək üçün, heç olmasa bir neçə period haqqında təsəvvür olmalıdır, yəni skanetmənin ölçüsü 10-15mkm olmalıdır. Əgər tədqiq olunan obyektin xarakteristik xüsusiyyətlərinin səth üzrə yerləşməsi bircinsli deyilsə, onda kifayət qədər dəqiq qiymətlən-

dirmək üçün, nümunə səthi üzərində bir-birindən kənarında olan bir neçə nöqtələrdə skanetməni aparmaq zəruridir. Əgər tədqiq olunan obyekt haqqında məlumat yoxdursa, əvvəlcə səth haqqında ümumi xarakterli məlumat almaq üçün, səth üzərində ələ sahəni seçmək lazımdır ki, skanetmə nəticəsində obyekt haqqında müəyyən təsəvvürlər yaranmış olsun. Təkrar skan edərkən skanetmənin ölçülərinin seçilməsi ümumi xarakterli skanetmə zamanı alınmış verilənlər əsasda aparılmalıdır.

Skanetmə zamanı nöqtələrin sayı(N_x , N_y) ələ seçilir ki, skan etmə Δ addımı(nöqtələr arasında məsafə olub səth haqqında məlumatın oxunması həyata keçirilir) xarakteristik xüsusiyyətlərindən kiçik olsun, əks halda isə nöqtələr arası skanetmə zamanı məlumatın bir hissəsi itmiş olar. Digər tərəfdən əlavə nöqtələrin seçilməsi skanetmə vaxtının artmasına səbəb olar.

Məlumatın oxunması zamanı zondun nöqtələr arasında hərəkət etmə sürəti skanetmənin sürətini təyin edir. Əlavə yüksək sürətin olması əks əlaqə sisteminin zonda səthdən uzaqlaşdırmasına imkanı olmaz, bu isə şaquli ölçülərin səhv oxunmasına, həmçinin zondun və nümunə səthinin zədələnməsinə səbəb olar. Skanetmənin kiçik sürətlə aparılması isə skan etmə vaxtının artmasına səbəb olardı.

Əks əlaqə sistemi

Skanetmə prosesi zamanı zond nümunə səthinin müxtəlif fiziki xassələrə malik müxtəlif hissələri üzərində ola bilər, bunun nəticəsində zond və nümunə arasında qarşılıqlı təsir kəmiyyətinin qiyməti və xarakteri dəyişmiş olacaqdır. Bundan əlavə, nümunə səthi hamar deyilsə, onda skan etmə zamanı zond və nümunə arasındakı z məsafəsi dəyişmiş olacaq və buna uyğun olaraq lokal qarşılıqlı təsir kəmiyyətlərinin qiymətləri də dəyişmiş olacaqdır.

Əks əlaqə sisteminin köməyi ilə skanetmə prosesi zamanı lokal qarşılıqlı təsir kəmiyyətlərinin qiymətləri sabit saxlanılır (qüvvə və ya tunel cərəyanı). Zond nümunə səthinə yaxınlaşdıqca sensorun siqnalı artır. Komparator sensorun carı siqnalını

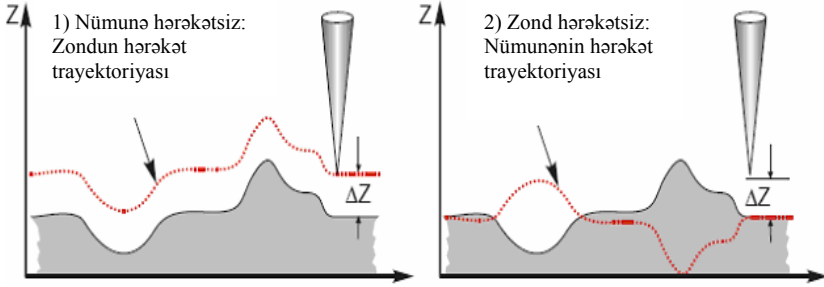
dayaq gərginliklə- V_s müqayisə edərək, korrektə edən- V_{fb} siqnal yaradaraq pyezogətirmə qurğusunun idarə olunması zamanı istifadə edilərək zondun nümunə səthindən uzaqlaşdırır. Bu zaman z pyezogətirmə kanalından nümunə səthinin topoqrafiya şəklini almaq üçün siqnal götürülür. Şəkil 1-6-da zond və nümunə arasında qarşılıqlı təsir kəmiyyətlərini sabit saxlamaqla zondun nümunəyə nəzərən(əyri 2) və nümunənin zonda nəzərən(əyri 1) hərəkət trayektoriyası göstərilmişdir. Əgər zond çuxur və ya hər hansı səth hissəsində olarkən qarşılıqlı təsir zəifdirsə onda nümunə yuxarıya qaldırılır, əks halda nümunə aşağı salınır. Əks əlaqə sisteminə müraciət $V_{fb}=V_{if}-V_s$ siqnalı yaranarkən əks əlaqə dövrəsində K sabiti ilə (**NanoEducator** cihazında-**Feed Back Loop Gain**) və ya bir neçə sabitlə xarakterizə olunur. K -nın konkret qiyməti SZM-in xüsusi konstruksiyasından(skandedicinin konstruksiyası və xarakteri, elektron quruluşundan asılıdır), SZM-in iş rejimindən (skanetmənin ölçüləri və sürətini və i.a.) həmçinin tədqiq olunan səthin xüsusiyyətlərindən(kələ-kötürlülüüyün səviyyəsindən, topoqrafiyasının məşab xüsusiyyətindən, materialın bərkliyindən və i.a.) asılıdır.

Ümumiyyətlə K -nın qiyməti nə qədər böyükdürsə, əks əlaqə dövrəsi nümunə səthinin skanedilməsi zamanı alınan nəticələrin kifayət qədər daha dəqiq alınmasına imkan verir. Bəzən K -nın qiyməti hər hansı kritik qiyməti aşarsa əks əlaqə sistemi öz - özünü həyəcanlandırmağa meyl edərək, bu zaman skanedilmiş xətlərdə səs-küylər müşahidə olunur.

SZM verilənlərin formatı, təcrübənin nəticələrinin işlənməsi üsulları və təqdimi

Skanedici zond mikroskopu vasitəsi ilə alınmış məlumatlar SZM kadri şəklində iki ölçülü Z_{ij} tam ədədlər massivi kimi saxlanılır. Hər bir ij cütünə skanedilmiş sahə çərçivəsi daxilində nümunə səthinin bir nöqtəsi uyğundur. Səth nöqtələrinin koordinatlarını hesablamaq üçün nöqtələr arası məsafənin

qiymətini uyğun indeksə vurmaq lazımdır. SZM kadrları **200x200** və ya **300x300** elementləri olan kvadrat matrislər kimi təsvir olunurlar.



Şəkil 1-6. Əks əlaqə sistemində lokal qarşılıqlı təsiri sabit qalmaqla zondun və nümunənin hərəkət trayektoriyaları

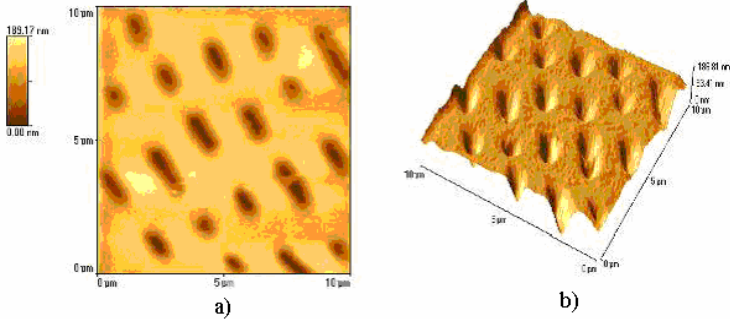
SZM kadrların gözlə görünən kompüter qrafikası vasitələri ilə aparılır, əsasən iki ölçülü işıqlı (2D) və üç ölçülü (3D) təsvirləri şəklindədir. 2D gözlə görünən relyefin $Z=F(x,y)$ səthinin hər nöqtəsinə səthin nöqtəsinin hündürlüyünə uyğun olaraq təyin olunmuş rəngin tonu qarşı qoyulur. Səth üzərində fəzada yerləşmiş hər hansı nöqtənin səthin nöqtəvi mənbələrlə şərti işıqlanma modelləşdirmə əsasında 3D təsvirlərinin rənglənməsi üsulundan istifadə edilir (Şəkil 1-7a). Bu zaman relyefin ayrıca kiçik xüsusiyyətlərini qeyd etmək mümkündür.

SZM şəkillərində əhəmiyyətli məlumatlarla bərabər həmçinin çoxlu əlavə məlumatlar da olur ki, bunlar nümunə səthinin morfoloqiyası və xüsusiyyətləri haqqında yanlış məlumatlardır.

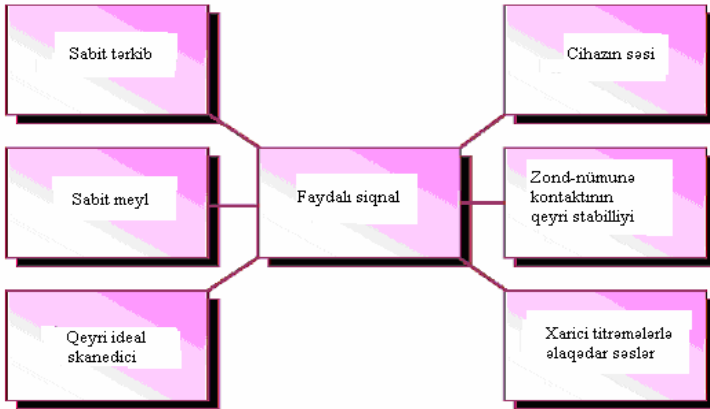
Şəkil 1-8 də səthin SZM şəkillərində sxematik olaraq mümkün təhrif olunmalar verilmişdir.

SZM şəkillərinə həmişə sabit tərkib daxildir ki, bu səthin relyefi haqqında heç bir əhəmiyyətli məlumatı göstərmir. Bu z oxu üzrə skanedicinin dinamik diapazonda yerdəyişmələri zamanı nümunənin gətirilmə dəqiqliyini təsvir edir. Sabit tərkib SZM kadrlardan proqram yolu ilə silinir.

Skanedici zond mikroskopu (SZM) vasitəsilə nümunə səthinin topoqrafiyasının alınması. Təcrübənin nəticələrinin işlənməsi



Şəkil 1-7. SZM təsvirlərinin qrafik üsulları. a) 2D, b) 3D yandan işıqlanma

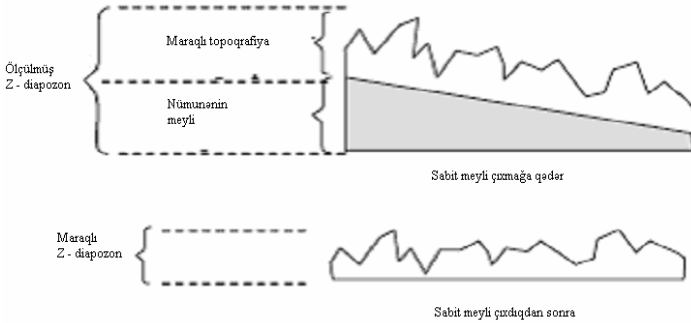


Şəkil 1-8. SZM şəkillərində mümkün təhrif olunmalar

Skanedici zond mikroskopu vasitəsi ilə səthin alınmış şəklində bir qayda olaraq ümumi meyl olur. Bu bir neçə səbəblərlə əlaqədardır.

Birincisi, nümunə zonda nəzərən dəqiq qoyulmur və buna görə meyl əmələ gəlir. İkincisi, bu temperatur dreyfli ilə əlaqədar olur. Bu isə nümunəyə nəzərən zondun yerdəyişməsinə səbəb olur; Üçüncüsü, bu pyezoskanedicinin yerdəyişməsinin qeyri-xətliliyi ilə əlaqədardır. Şəkində meylliyə SZM kadrında böyük ölçüdə zəruri sahə ayrılır ki, nəticədə şəkildə kiçik detalların görünməsi mümkün olmur. Belə çatışmazlığı

aradan qaldırmaq üçün daimi meyli çıxmaqla əməliyyatı yerinə yetirilir(Şəkil 1-9).



Şəkil 1-9. SZM şəkillərində daimi meylin kənarlaşdırılması

Pyezoskanedincinin xassələri ideal olmadığına görə SZM şəkillərində spesifik təhriflər olur. Xüsusi halda skanedincinin səth müstəvisi üzrə hərəkəti zondun səth (z oxu üzrə) üzərində vəziyyətinə təsir edir, SZM şəkilləri real relyef və hər hansı ikinci (çox halda daha yüksək) tərtibli səthin superpozisiyalarından ibarət olur. Bu qüsurları kənarlaşdırmaq üçün ən kiçik kvadratlar üsulu vasitəsilə verilmiş səthdən minimal fərqlənən apraksimasiyadan ikinci tərtib səth tapılır və sonra bu səth, ilkin SZM şəkillərindən çıxılır.

Aparatların küyü skanetmə vaxtı zond-nümunə kontaktının stabil olmaması, xarici akustik səslər və titrəmələr SZM şəkillərində faydalı məlumatlarla bərabər, küy xarakterli yanlış məlumatlar da daxil olur. Xüsusi halda SZM şəkillərindən küyü müxtəlif filtrlər tətbiq etməklə proqram vasitələrinin köməyi ilə silmək olar.

NanoEducator skanedici zond mikroskopunun konstruksiyası[4]

Şəkil 1-10-da NanoEducatorun ölçən başlığının xarici görünüşü verilmiş və işləyərkən cihazın əsas elementləri göstərilmişdir. Şəkil 1-11-də ölçən başlığın konstruksiyası verilmişdir: 1-bünövrəsi üzərində skanedici yerləşdirilib, 7-atlıq, 6-

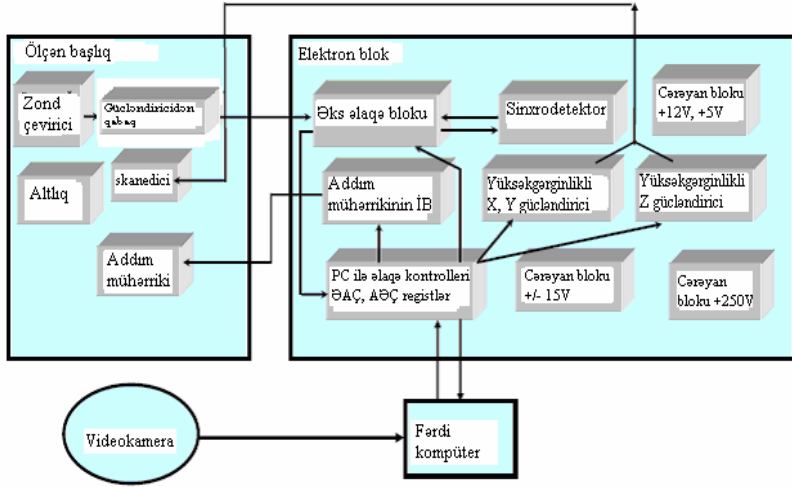
zond, 2-əsasında addımlı mühərrik olan gətirmə mexanizmi, 4-qarşılıqlı təsir çeviricisinə bərkidilmiş 6-zond, 3 əl burğu (vinti) vasitəsi ilə nümunəyə gətirmə, 8-burğusunun köməyi ilə nümunə üzərində tədqiqat üçün qabaqcadan yerin seçilməsi. Şəkil 1-12-də cihazın funksional sxemi verilmişdir. **Nano-Eductor** ölçən başlıqdan, elektron blokdan, birləşdirici kablərdən, idarəedici kompüterdən ibarətdir. Kompüterlə əlaqəsi olan videokamera ayrıca qurğu kimi göstərilmişdir. Qarşılıqlı təsir çeviricisindən siqnal alınan kimi əvvəlcə çevrildikdən sonra gücləndiricidən SZM kontrollerə daxil olur. Elektron blokdan daxil olan idarəedici siqnal ölçən başlığa daxil olur. Kontroller əlaqəsi ilə kompüterlə elektron blokun idarə olunması həyata keçirilir.

Tunel cərəyanı və qarşılıqlı təsir qüvvəsinin universal çeviricisi.

NanoEductor cihazında tunel cərəyanı və qarşılıqlı təsir modulyasiya qüvvəsinin universal çeviricisi tətbiq olunur. Çevirici uzunluğu $l=7\text{mm}$, diametri $d=1,2\text{mm}$ və divarının qalınlığı $h=0,25\text{mm}$ olan bir tərəfi möhkəm bağlanmış pyezokeramik boru şəklində hazırlanmışdır. Borunun daxili səthində keçirici elektrod yerləşir. Borunun xarici səthinə izolə edilmiş iki yarım silindrik elektrod yerləşdirilmişdir. Borunun sərbəst ucuna diametri 100 mkm olan volfram naqıl bərkidilmişdir(Şəkil 1-13).

Zond kimi istifadə olunan volfram naqılın sərbəst ucu elektrokimyəvi üsulla itilənir(əyrilik radiusu 0,2 - 0,05mkm olur). Borunun daxili elektrodu ilə zond elektrik kontaktına malikdir. Tunel cərəyanını ölçərkən pyezoboru sərt passiv konsol rolunu oynayır. Yerlə birləşdirilmiş zonda nəzərə alınmayan nümunəyə elektrik gərginliyi tətbiq olunur(Şəkil 1-14). Şəkildəki təsvir olunan çevirici U_T - elektrik gərginliyini əmələ gətirir, bu tunel cərəyanının yaranmasına səbəb olur və elektron blokda bu cərəyanla mütənasib olan U-gərginliyini verir.

Skanedici zond mikroskopu (SZM) vasitəsilə nümunə səthinin topoqrafiyasının alınması. Təcrübənin nəticələrinin işlənməsi

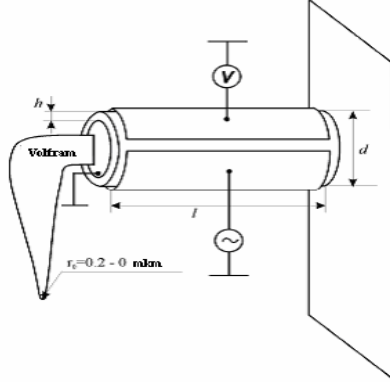


Şəkil 1-12. NanoEducator cihazının funksional sxemi

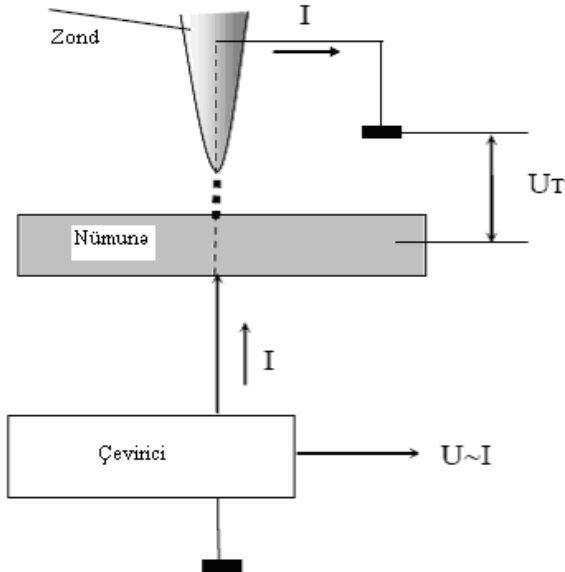
Qarşılıqlı təsir qüvvəsi çeviricisi kimi pyezoelektrik borunun bir hissəsi pyezovibrator, o biri tərəfi mexaniki rəqsin çeviricisi kimi istifadə olunur. Pyezovibratora qüvvə çeviricisinin rezonans tezliyinə bərabər tezlikli dəyişən elektrik gərginliyi verilir. Rəqs amplitudu zond-nümunə məsafəsinin böyük qiymətlərində maksimal olur. Şəkil 1-16-dan görüldüyü kimi rəqs prosesində zond tarazlıq vəziyyətindən A_0 kəmiyyəti qədər meyl edir. Bu onun məcburi mexaniki rəqs amplituduna bərabərdir (mkr tərtibində). Bu zaman pyezoelementin ikinci hissəsində (rəqs çeviricisi) zondun yerdəyişməsinə mütənəsib olan dəyişən elektrik cərəyanı yaranır və deməli cihaz tərəfindən bu cərəyan qeydə alınır.

Rəqs zamanı zond nümunə səthinə yaxınlaşdıqda zond nümunəyə toxunmağa başlayır. Bu çeviricinin rəqslərinin amplitud-tezlik xarakteristikasının (ATX) səthdən uzaqda olarkən ölçülmüş ATX ilə müqayisəsinə görə sola tərəf yerinin dəyişməsinə gətirər. Belə ki, pyezoborunun məcburi rəqslərinin

tezliyi sabit saxlanılır və sərbəst vəziyyətdəki ω_0 tezliyinə bərabər olur, zond səthə yaxınlaşarkən onun rəqs amplitudu azalır və A -ya bərabər olur. Bu amplitud pyezoborunun ikinci yarım hissəsində qeydə alınır.

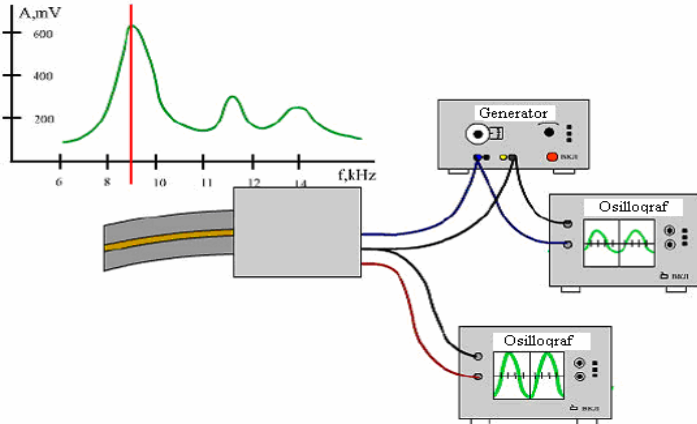


Şəkil 1-13. NanoEductor cihazının universal çeviricisinin konstruksiyası

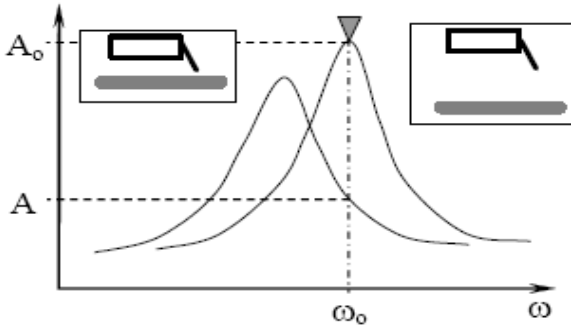


Şəkil 1-14. Tunel cərəyanının qeydiyyatı prinsipi

Skanedici zond mikroskopu (SZM) vasitəsilə nümunə səthinin topoqrafiyasının alınması. Təcrübənin nəticələrinin işlənməsi



Şəkil 1-15. Qarşılıqlı təsir qüvvə çeviricisi kimi işlədilən pyezoelektrik borunun iş prinsipi



Şəkil 1-16. Qüvvə çeviricisinin nümunə səthinə yaxınlaşarkən rəqs tezliyinin dəyişməsi

Skanedici NanoEducator cihazında istifadə olunan mikro-dəyişmələri təşkil etmək üsulları pyezolövhəyə yapışdırılmış səthə metal membranın bütün perimetri boyunca sıxılmasına əsaslanmışdır (Şəkil 1-17a). İdarəedici gərginliyin təsiri altında pyezolövhənin ölçülərinin dəyişməsi membranın əyilməsinə səbəb olur. Kubun üç perpendikulyar tərəfləri üzrə membranlar yerləşdirilir və onların mərkəzlərini metal istiqamətləndiricilə birləşdirərək 3 koordinatlı skanedici almaq olar (Şəkil 1-17b).

2 kubun üzələrinə birləşdirilmiş hər bir 1 pyezoelementi ona birləşdirilmiş 3 itələyicisini tətbiq olunan elektrik gərginliyin hesabına x , y və z istiqamətlərdə hərəkət etdirə bilər. Şəkildən görünür ki, hər üç itələyici bir nöqtədə birləşibdir. Bəzi təqribiliyi nəzərə alaraq ki, bu nöqtə üç x , y və z koordinatları üzrə yerini dəyişir. Bu nöqtəyə altlıq-6 və 5-dayağı bərkidilmişdir. Beləliklə üç asılı olmayan gərginlik mənbəyinin təsiri nəticəsində nümunə hər üç koordinat üzrə yerini dəyişir. **NanoEducator** da nümunənin maksimal yerdəyişməsi 50-70 mkm-dir. Bu skanetmənin maksimal sahəsini təyin edir.

Zondun nümunəyə avtomatik yaxınlaşma mexanizmi (əks əlaqənin yaranması).

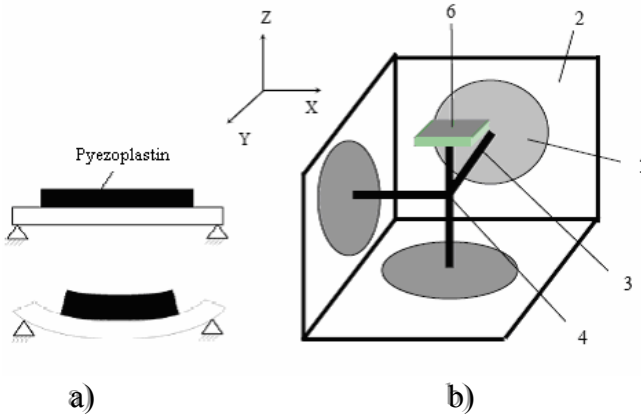
Skanedicinin z oxu üzrə yerdəyişmə diapazonu 10 mkm təşkil edir, buna görə də skanetmədən əvvəl zond nümunəyə bu məsafəyə qədər yaxınlaşdırmaq lazımdır. Bunun üçün gətirmə mexanizmi var, bu Şəkil 1-18 də verilmişdir. 1 addım mühərrikinə elektrik impulsu verərkən 3 çevirici burğunu fırladaraq və 3 plankasını 4 zond ilə birlikdə 6 skanedicisi ilə birləşdirilmiş nümunəyə yaxınlaşdırılır və ya uzaqlaşdırılır. Bir addımının uzunluğu təqribən 2 mkm-dir.

Yaxınlaşma mexanizminin addımı zond və nümunə arasındakı məsafədən xeyli böyük olduğundan skanetmə prosesi vaxtı zond deformasiyaya məruz qalmasın deyərək onun yaxınlaşması addım mühərrikinin işləməsi ilə eyni zamanda həyata keçirilir və aşağıdakı alqoritm üzrə skanedici z oxu üzrə yerini dəyişir.

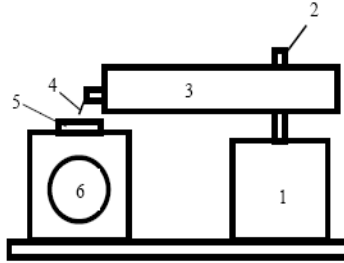
Əks əlaqə sistemi sönür və skanedici qalxır, yəni nümunə aşağı son vəziyyətə düşür.

1. Zondun gətirilmə mexanizmi bir addım edir və dayanır.
2. Əks əlaqə sistemi işə düşür və skanedici yavaşca nümunəni yuxarıya qaldırır, bu zaman zond-nümunə qarşılıqlı təsirin yaranması analiz edilir.
3. Əgər qarşılıqlı təsir yaranmırsa proses 1 punktunda yenidən təkrar olunur.

Skanedici zond mikroskopu (SZM) vasitəsilə nümunə səthinin topoqrafiyasının alınması. Təcrübənin nəticələrinin işlənməsi



Şəkil 1-17. NanoEducator skanedici cihazının hərəkət prinsipi (a) və konstruksiyası (b)



Şəkil 1-18. Nümunə səthinə zondun gətirilmə mexanizminin sxemi

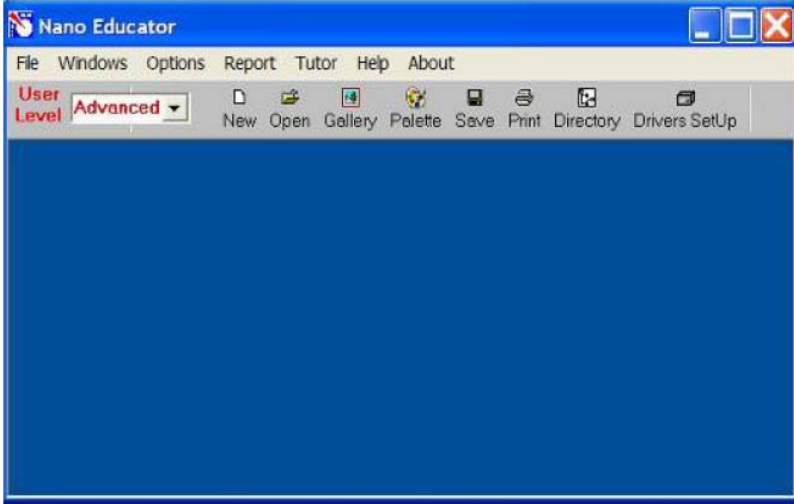
Əgər skanedici yuxarı hərəkət edərkən sıfırdan fərqli siqnal yaranarsa əks əlaqə sistemi skanedicinin yuxarıya hərəkətini saxlayır və bu səviyyədə qarşılıqlı təsirin qiymətini qeydə alır. Zondun nümunəyə yaxınlaşması dayandıqda və skanetmə prosesi baş verdikdə qarşılıqlı təsir qüvvəsinin qiyməti **NanoEducator** qurğusunda **Amplitude Suppresion**(amplitudın azalması) parametri ilə xarakterizə olunur:

$$A=A_0 (1 - \text{Amplitude Suppression}).$$

SZM təcrübəsinin aparılması [4]


NanoEducator proqramını çağırdıqdan sonra kompüterin ekranında baş pəncərə təsvir olunacaq (Şəkil 1-19). **File**


menyusundan istifadə edərək **Open** və ya **New** və yaxud alətlər panelində uyğun düymələri seçməklə işə başlamaq olar. **File** ⇒ **New** komandasını seçilməsi SZM də ölçmələrə keçməyi göstərir. **File** ⇒ **Open** komandasını seçmək isə əvvəllər alınmış şəkillərə baxılması və işlədilməsi başa düşülür. Program ölçmələrlə yanaşı həmçinin verilənlərə baxılmasını və həm də işlədilməsinə imkan verir.




Şəkil 1-19. NanoEducator programının baş pəncərəsi

File ⇒ **New** komandasının icra olunmasından sonra ekranda dialoq pəncərəsi yaranmış olur, işçi qovluğun seçilməsi və ya yaradılması imkanı yaranır və cari ölçmələrin nəticələri qovluğa yazılacağı nəzərdə tutulur. Ölçmə prosesini apararkən bütün alınmış verilənlər ardıcıl olaraq razılaşmaya görə **ScanData+i.spm** adlı fayla yazılacaq, burada i-indeksi program işə düşərkən sıfır qiymətini alır və hər bir yeni ölçmələr üçün qiyməti artmış olur. **ScanData+i.spm** faylları işçi qovluqda yerləşdirilir. Hər yeni ölçmələrə başlamazdan əvvəl qərarlaşdırılır. Ölçmələr aparılan vaxtı başqa işçi qovluğun seçilməsi

imkanı mövcuddur. Bunun üçün proqramın baş pəncərəsinin alətlər panelində yerləşən  düyməsini sıxmaq lazımdır.

Skantmə pəncərəsində **Save Experiment** düyməsini sıxmaqla cari ölçmələrin nəticələrini saxlamaq olar, yaranan dialoq pəncərəsində qovluğu seçmək və faylın adını göstərmək lazımdır, bu zaman **ScanData+i.spm** faylı ölçmələr aparılan proses vaxtı müvəqqəti fayl olub sizin göstərdiyiniz fayl adına dəyişəcək. Ölçmələrə başlamazdan əvvəl fayl seçdiyiniz işçi qovluqda saxlanılacaq. Əgər ölçmələrin nəticələrini saxlanılmazsa onda yenidən proqramı işlədərkən **ScanData+i.spm** müvəqqəti fayla yazılmış nəticələr ardıcıl olaraq yenidən yazılacaq(Əgər işçi qovluq dəyişməyibdirsə) proqramı bağlayarkən və yenidən işlədərkən işçi qovluqda ölçmələrin nəticələri olan müvəqqəti faylların mövcudluğu haqqında xəbərdaredici məlumat verilir. **ScanData** standart adını dəyişmək olar. Bunu işçi qovluğun seçilməsi pəncərəsində etmək olar. İşçi qovluğun seçilməsi pəncərəsi proqramın baş pəncərəsinin alətlər panelində yerləşən  düyməsini sıxmaqla həyata keçirilir. **SPM File Explorer** pəncərəsində ölçmələrin nəticəsini saxlamaq olar. Lazımı faylları növbə ilə seçərək seçilmiş qovluqda onları saxlamaq lazımdır.

NanoEducator cihazı ilə alınmış nəticələri **ASCII** formatına çevirmək olar. Bunu **NT MDT** istifadə olunan **Nova** və başqa proqramlarla da etmək olar. Skanedilmiş şəkillər həmçinin onların kəsikləri olan verilənləri **ASCII** formatına çevirmək olar. Verilənləri **ASCII** formatına çevirmək üçün proqramın baş pəncərəsindəki alətlər panelində yerləşmiş

Export düyməsini  sıxmalı və ya **File** menyusunun **Export** → **ASCII** rejimini seçmək lazımdır.

Dialoq pəncərəsini bağladıqdan sonra ekranda cihazın idarə olunması paneli görünür(Şəkil 1-20). Cihazın idarə olunması

panelinin sol hissəsində SZM-in konfigurasiyasını seçmək üçün düymələr yerləşir.

SFM - skanedici qüvvə mikroskopu (SQM)

STM - skanedici tunel mikroskopu (STM)



Şəkil 1-20. Cihazın idarəetmə paneli

SQM ölçmələrinə hazırlıq aşağıdakı əməliyyatların yerinə yetirilməsindən ibarətdir:

Nümunənin yerinə qoyulması

Nümunəni qoymazdan əvvəl zond çeviricisini elə çıxarmalı ki, zond zədələnməsin.

Nümunənin bərkidilməsinin iki üsuluna baxılır:

- maqnit stolda (bu halda nümunə metal üzərinə bərkidilməlidir);
- ikitərəfli yapışqanlı lent vasitəsi ilə metal üzərində nümunə yerləşdirilməlidir.

İkitərəfli lentdə olan nümunəni qoymaq üçün dirəkdən saxlayıcıyı burmaqla açmaq (skanedicinin zədələnməmək üçün), sonra isə dayağa qədər onu yavaşca bağlamaq lazımdır. Maqnit bərkidilmə halında, nümunənin dəyişməsi altlığı açmadan və ya bağlamadan həyata keçirilir:

Zond çeviricisinin yerinə qoyulması

Zond çeviricisinin yerinə qoyulması həmişə nümunənin altlığa qoyulmasından sonra yerinə yetirilməlidir. Çeviricini 1 əl ilə gətirmə burğusu ilə saat əqrəbinin istiqamətində fırlatmaqla yuxarı vəziyyətə gətirilir(Şəkil 1-21). Ölçü başlığı-

nın qapağındakı 2 zond çeviricisinin burğusunu boşaldıb, zond saxlayıcının yuvasına qoymalı və qeydedici vinti saat əqrəbi istiqamətində yüngülcə bərkitmək lazımdır (Şəkil 1-21).



Şəkil 1-21. Zond çeviricinin yerinə qoyulması

Skanetmənin yerinin seçilməsi

Nümunə üzərində tədqiqat olunan yerin seçilməsi üçün, cihazın aşağı hissəsində yerləşmiş iki koordinatlı stoldakı yerdəyişmə burğulardan istifadə olunur.

Əvvəlcədən zondun nümunəyə yaxınlaşması

Hər bir ölçmə üçün zondun qabaqcadan yaxınlaşması əməliyyatı zəruri deyil. Onun zəruriliyi nümunə və zond arasındakı məsafənin qiymətindən asılı olaraq yerinə yetirilir. Əgər zondun ucu ilə nümunə səthi arasındakı məsafə 0,5-1mm-dən böyükdürsə, onda zondun nümunə səthinə yaxınlaşması əməliyyatının aparılması məqsədə uyğundur. Zondla nümunə arasındakı məsafə böyük olarsa zondun nümunəyə avtomatik yaxınlaşması prosesinə çox vaxt tələb olunacaqdır.

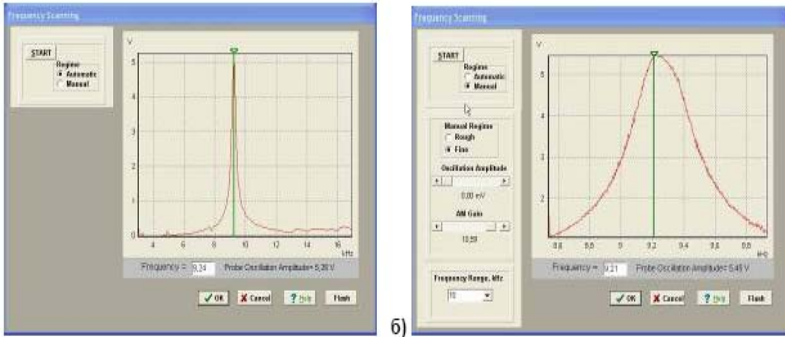
Zondu aşağıya salmaq üçün əllə gətirmə burğusundan istifadə edilir. Bu zaman zond və nümunə səthi arasındakı məsafəyə vizual olaraq lupa vasitəsilə nəzarət etmək lazımdır.

Rezonans əyrisinin qurulması və işçi tezliyin daxil edilməsi

Hər bir təcrübəni aparmazdan əvvəl bu əməliyyatın yerinə yetirilməsi zəruridir və bunu etmədən gələcək ölçmələrin mərhələlərinə keçid bağlıdır. Bundan başqa ölçmə prosesi

zamanı elə vəziyyət yaranır ki, bu əməliyyatın təkrar yerinə yetirilməsi tələb olunur (məsələn, kontakt itərkən).

Rezonans axtarışı **ADJUST**⇒**RESONANCE** əmri ilə yerinə yetirilir. Bu əməliyyatın yerinə yetirilməsi, generator tərəfindən verilən məcburi rəqslərin tezlikləri dəyişərkən, zondun rəqs amplitudunun ölçülməsi üçün nəzərdə tutulur. Bunun üçün **Run** düyməsini sıxmalı.



Şəkil 1-22. Rezonansın axtarışı rejimi pəncərəsi və işçi tezliyin təyini: a) -avtomatik rejim; b) -əl rejimi

Avtomatik rejimində zondun rəqs amplitudunun müşahidə olunan maksimal qiymətinə bərabər generatorun tezliyi avtomatik təyin olunur. Verilmiş tezlik diapazonunda zondun rəqs amplitudunun dəyişməsinin göstərən qrafikdə rezonans pikinin formasını müşahidə etməyə imkan verir (Şəkil 1-22 a). Əgər rezonans piki aydın ifadə olunmayıbdırsa və ya rezonans tezliyində amplitud kiçikdirsə (1V aşağı), onda ölçmələri aparmaq üçün parametrləri dəyişmək zəruridir və rezonans tezliyi təkrar təyin etmək lazımdır.

Bunun üçün **Manual** rejimi istifadə olunur. Bu rejimi seçərkən **Frequency Scanning** pəncərəsində əlavə panel yaranır (Şəkil 1-22 b) və aşağıdakı parametrləri korrektə etməyə imkan verir:

- **Generator** tərəfindən verilən rəqs amplitudı (**Oscillation Amplitude**). Bu kəmiyyətin qiymətinin minimal verilməsi təklif olunur (sıfıra kimi də olar) və 50 mv böyük olmasın.

- Amplitudı gücləndirən əmsal (**AM Gain**). Zondun rəqs amplitudunun kifayət qədər böyük olmayan qiymətlərində (<1V) bu əmsalın qiymətinin artırılması məsləhətdir (təklif olunur).

Rezonansın axtarışına başlamaq üçün **Run** düyməsini sıxmaq lazımdır.

Manual rejimi mışın köməyi ilə seçilmiş tezliyi qrafikdə yaşıl kursurun yerini dəyişməyə imkan verir, həmçinin seçilmiş tezliyin kiçik qiymətlərinin diapazonunda rəqslərin amplitudunun dəyişmə xarakteri nəzərə alınır (bunun üçün **Manual Regime Fine** vəziyyətini seçərək və **Run** düyməsini sıxmaq lazımdır).

Qarşılıqlı təsirin alınması

Qarşılıqlı təsirin alınması avtomatik gətirmə mexanizminin köməyi ilə zond və nümunə yaxınlaşmasının idarəetmə prosedurası ilə yerinə yetirilir. Cihazın idarəetmə panelindəki



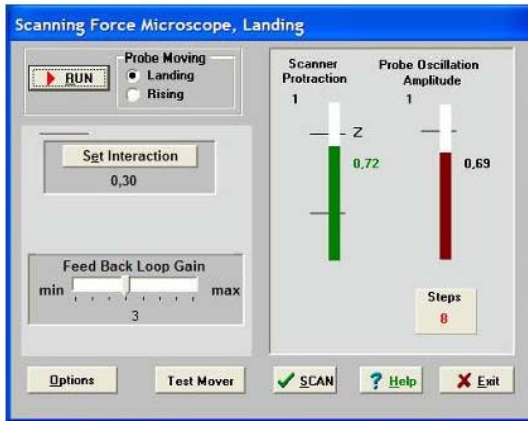
düyməsini sıxmaqla bu proseduranı çağırmaq olar. SQM-lə işləyərkən rezonans tezliyin axtarışı və qurulması əməliyyatından sonra bu düyməyə imkan yaranır. **Scanning Force Microscopy, Landing** (Şəkil 1-23) pəncərəsində zondun yaxınlaşmasını idarədən elementlər yerləşir, həmçinin proseduranın yerinə yetirilmə gedişini analiz etməyə imkan verən indikasiya parametrləri vardır.

Landing pəncərəsi istifadəçiyə aşağıdakı kəmiyyətləri müşahidə etməyə imkan verir:

- Z oxu üzrə skanedicinin maksimal mümkün uzaqlaşmasını (yuxarıya qalxması) (**Scanner Protraction**) vahid qəbul olunmuşdur. Skanedicinin qalxmasının cari vəziyyəti uyğun sol indikatorun dolması səviyyəsinin rəngi ilə xarakterizə olunur: yaşıl rəng-işçi zona, göy-iş zonasından kənar, qırmızı
- skanedici nümunə səthinə xeyli yaxınına gəlib və bu zondun

deformasiyasına (zədələnməsinə) gətirib çıxarar. Sonuncu halda proqram xəbərdaredici səs verir.

- Qarşılıqlı təsir qüvvəsinin olmamasına uyğun olaraq zondun rəqs amplitudunun (**Probe Oscillation Amplitude**) vahid qəbul edilir. Zondun rəqs amplitudunun qiyməti sağ indikator-da çəhrayı rənglə dolması səviyyəsi ilə göstərilir. **Probe Oscillation Amplitude** indikatorundakı üfqi nişan skanedicinin vəziyyətini analiz edilməsi və onun avtomatik işçi vəziyyətinə çıxmasını göstərir.



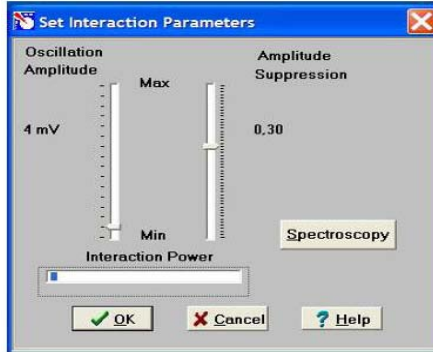
Şəkil 1-23. Qarşılıqlı təsirin alınması rejiminin pəncərəsi

-Verilmiş istiqamətdə (**Probe Moving**) gedilmiş (**Steps**) addımların sayıdır: **Landing** - yaxınlaşma, **Rising** - uzaqlaşma. Zondun aşağı salınması prosesinə başlamazdan əvvəl zəruridir:

1. **Probe Moving** elementində **Landing** (yaxınlaşma) imkanının seçilməsinə əmin olmalı.
2. Yaxınlaşma parametrlərinin düzgün verilməsini yoxlamaq:
 - Əks əlaqə dövrəsində **Feed Back Loop Gain** - gücləndirmə əmsalı 3 qiymətinə bərabər götürülür.
 - **Set Interaction** düyməsini sıxaraq və **Set Interaction** pəncərəsində **Amplitude Suppression** (Şəkil 1-24) parametrlərinin qiyməti 0,3 bərabər olmasını yoxlamaq.
3. **RUN** düyməsini sıxmaq.

Steps indikatoru keçilmiş addımları hesablamağa başlayır. Qarşılıqlı təsirin əmələ gəlməsindən sonra ekranda **Landing done** məlumatı yaranır.

Zondu əks əlaqədən çıxarmaq və zond-nümunə arasındakı məsafənin artırılması üçün zondun uzaqlaşması rejimindən istifadə olunur (**Probe Moving: Rising**). Uzaqlaşma əməliyyatını yerinə yetirilməsi üçün **Probe Moving: Rising** hərəkət istiqamətini seçmək zəruridir və **RUN** düyməsini sıxmalı.



Şəkil 1-24. Zond və nümunə qarşılıqlı təsirinə kəmiyyətlərinin verilməsi pəncərəsi

Skametmə

Yaxınlaşma (**Landing**) prosesinin yerinə yetirilməsindən sonra və qarşılıqlı təsirin əmələ gəlməsindən sonra skanetmə mümkün olur (cihazın idarə olunması pəncərəsində



düyməsi). Bu düyməni sıxaraq (Şəkil 1-25 də skanetmə pəncərəsinin şəklə verilmişdir) istifadəçi bilavasitə ölçmələrin aparılmasına və ölçmələrin nəticələrinin alınmasına başlayır.

Skametmə rejimində skanetmənin parametrlərinin daxil edilməsi zəruridir: Bu parametrlər **Scanning** pəncərəsinin yuxarı sağ hissəsində qruplaşdırılıbdır.

Proqramı birinci dəfə işlədərkən bu kəmiyyətlərin qiymətləri razılaşmaya görə qəbul olunur:

Skametmə sahəsi **Scan Area (Xnm*Ynm):** 5000*5000;

Oxlar üzrə ölçmə

nöqtələrin sayı

Skanetmənin sürəti

Skanetmənin yolu

X,Y: $NX = 100$, $NY = 100$;

Velocity =1000 nm/s;

Path skanetmənin istiqamətini müəyyənləşdirir.

Proqram sürətli skanetmənin

ox istiqamətini seçməyə

imkan verir(X və Y).

Proqramla iş başlayan zaman

Path =X+ qəbul olunur.

Skanetmə parametrlərini verdikdən sonra, daxil edilmiş parametrlərin qəbul olunması üçün **Apply** düyməsini və skanetməyə başlamaq üçün **Run** düyməsini sıxmaq lazımdır.

Cari ölçmələrin nəticələrinin saxlanması üçün skanetmə pəncərəsində **Save Experiment** düyməsini sıxmaq lazımdır və bu zaman görünən dialoq pəncərəsində qovluğu seçməli və faylın adını göstərməli.

1.3. Metodik göstərişlər

NanoEducator skanedicisi zond mikroskopunda işləməyə başlamazdan əvvəl cihazın istifadəçilərə rəhbərlik sənədini öyrənmək zəruridir.

1.4. Tapşırıq

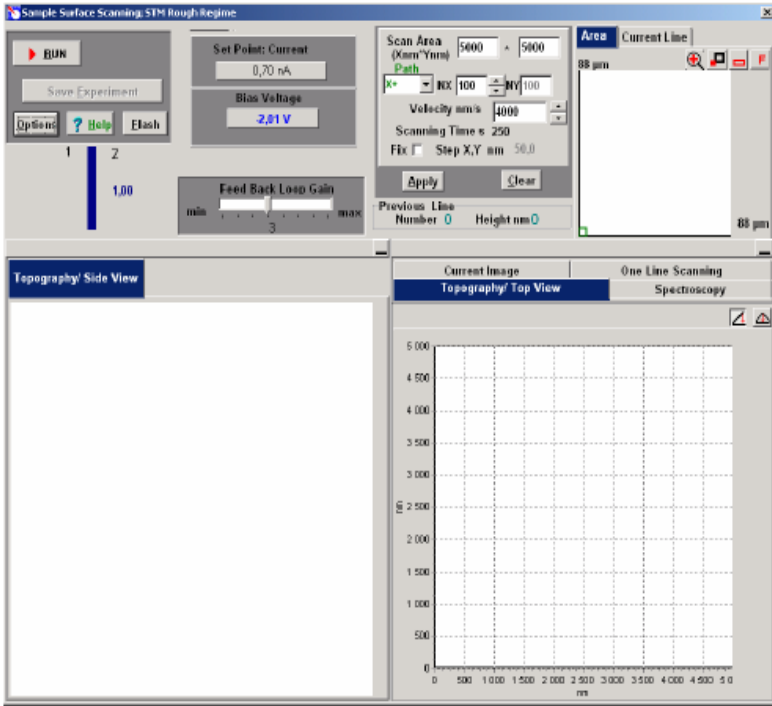
1. Təcrübədə **NanoEducator** cihazının ümumi konstruksiyasını öyrənmək.
2. **NanoEducator** cihazını idarə edən proqramla tanışlıq.
3. Müəllimin nəzarəti altında SZM - lə birinci şəklın alınması.
4. Alınmış şəklın araşdırılması.

1.5. Yoxlama sualları

1. SZM - in əsas hissələrinin adları və onların təyinatı.
2. Sensorların növləri və onların iş prinsipləri.

Skanedici zond mikroskopu (SZM) vasitəsilə nümunə səthinin topoqrafiyasının alınması. Təcrübənin nəticələrinin işlənməsi

3. Pyezoelektrik effekti və pyezoelektrik mühərrikinin iş prinsipini izah edin.
Müxtəlif skanedicilərin konstruksiyasını təsvir edin.
4. **NanoEducator** cihazının ümumi konstruksiyasını təsvir edin.
5. **NanoEducator** cihazının tunel cərəyanı və qarşılıqlı təsir qüvvəsinin zond çeviricinin konstruksiyasını və iş prinsipini izah edin.



Şəkil 1-25. AQM skanetmə və nəticələrinin təsviri prosesinin idarə olunması pəncərəsi

6. **NanoEducator** cihazında zondun yaxınlaşması mexanizmini təsvir edin. Zondun nümunə ilə qarşılıqlı təsir qüvvəsini təyin edən parametrləri aydınlaşdırın.

7. Skanetmə prinsipini və əks əlaqə sisteminin işini aydınlaşdırın. Skanetmənin parametrlərinin seçilməsi kriteriyası haqqında danışın.