

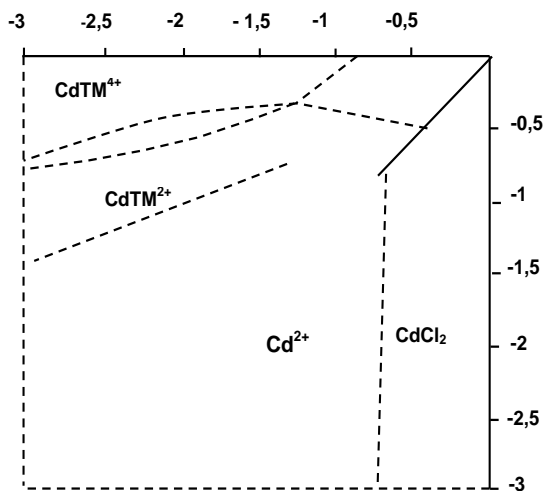
UOT 621.315.592

 **$A^{II}B^{VI}$  BİRLƏŞMƏLƏRİNİN NANOÖLÇÜLÜ TƏBƏQƏLƏRİNDƏ NEQATRON EFEKTLƏR****M.Ə.CƏFƏROV, S.A.MƏMMƏDOVA, E.F.NƏSİROV***Bakı Dövlət Universiteti**sevda.mamedova@rambler.ru*

$A^2B^6$  birləşmələrinin məhluldan kimyəvi üsulla alınmış təbəqələrində müşahidə olunmuş müxtəlif növ neqatron effektlər tədqiq edilmişdir. Lokal aşqar yığımları ilə səciyyələnən dəyişən potensial relyefli modelə əsasən izah olunan uzunmüddətli relaksasiya və mənfəi diferensial keçiricilik, aşağı omlu matrisalarda yüksəkumlu nanoölçülü klasterlərin mövcud olduğu ikiqat qeyri-bircins çəpər modeli ilə izah olunan mənfəi fotokeçiricilik, mənfəi qalıq keçiriciliyi, hemo-sorbsiya olunmuş oksigenin nanoölçülü elektrik domenləri ilə bağlı mənfəi diferensial fotokeçiricilik, nanoölçülü səht təbəqəsində elektronların dayaz səviyyələrdən polyarlaşma dərəcəsi çox olan daha dərin səviyyələrə keçməsi ilə əlaqədar yaranan mənfəi fototutum effektlərinin vahid elektron molekulyar mexanizmi verilmişdir.

**Açar sözlər:** neqatron effektlər, mənfəi fotokeçiricilik, mənfəi qalıq keçiriciliyi, mənfəi diferensial fotokeçiricilik, mənfəi fototutum effekti

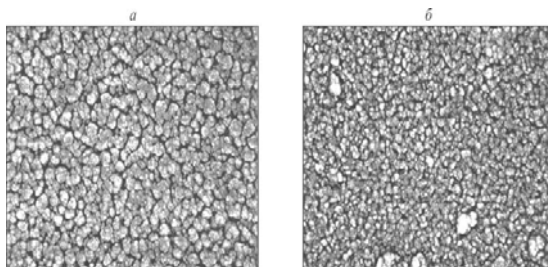
Elektron texnikasının artan tələbatının ödənilməsi mürəkkəb yarımkeçirici birləşmələrin və onların nazik təbəqələrinin elektron xassələrinin kompleks fiziki-texnologiyası ilə bağlıdır. Bu bir tərəfdən yeni-yeni materialların axtarılması, digər tərəfdən isə mövcud yarımkeçirici birləşmələrin nazik təbəqələrinin alınma texnologiyasının təkmilləşdirilməsi ilə yanaşı onların yeni texnologiya ilə alınması sahəsində tədqiqatların genişləndirilməsini stimullaşdırır. Halkogen komponentli birləşmələr və onların bərk məhlulları uzun



**Şək. 1.** Reaksiyada iştirak edən komponentlərin məhlulda üstünlük diaqramı.

illərdir ki, müxtəlif ölkələrin alim, mühəndis və texnoloqları tərəfindən geniş tədqiq olunur. Həmin materiallara belə böyük maraq təsadüfi olmayıb, həm adı gedən materialların, həm də onlarda müşahidə olunan müxtəlif fiziki proseslərin elektron sənayesi üçün böyük əhəmiyyət kəsb etməsindən irəli gəlir. İndiyədək bu birləşmələrin nazik təbəqələri vakuum buxarlandırma, ion tozlandırma, maye və qaz fazadan epitaksiya metodları ilə alınmışdır. Göstərilən materialların alınma texnologiyası sahəsində tərəqqi bu təbəqələrin alınmasının sadə və iqtisadi cəhətdən sərfəliliyini onların əsasında hazırlanmış cihazların yüksək effektivliyi ilə birləşdirən kompleks yanaşma ilə təyin olunur. Bu metodun təkmilləşməsi dünyanın Amerika, Fransa, Yaponiya kimi bir sıra inkişaf etmiş ölkələrinin elmi mərkəzlərində yerinə yetirilmiş fiziki və kimyəvi proseslərə dair tədqiqat işləri ilə bağlıdır. Bu metodun müxtəlif variantları, o cümlədən, sulu məhluldan bilavasitə çökdürmə, məhlulun aerosolunun yüksək elektrik sahəsi və ya pulverizasiya ilə altlığa hopdurulması, eləcə də elektrokimyəvi çökdürmə üsulları mövcuddur. Məhlul aerosolunun pulverizasiyası məhlulda yaranan kompleks birləşmələrin qızmar altlıq üzərində termik destrukturasiyasına əsaslanır. Bu metod müxtəlif metalların unikal xassələrə malik halkogenli birləşmələrinin böyük səthlərdə nazik təbəqələrini seriya şəkildə səmərəli istehsalını reallaşdırmağa və bu materialların mühüm xassələrinin tətbiq oblastlarını genişləndirməyə imkan verir. Bu isə alternativ enerji mənbələri kimi Günəş elementlərinin hazırlanması yolunda mühüm mərhələdir.

Son dövrlərdə təbəqələrin alınmasında bu metodun tətbiq sahələrini genişləndirmək üçün baş verən proseslərin mexanizminin öyrənilməsinə məqsədyönlü yanaşma prinsipi işlənib hazırlanmışdır. Artıq bu proseslərin ümumi sxemi, optimal rejimin seçilməsi və təbəqələrin çökdürülməsi prosesinin kinetikası ətraflı təhlil olunmuşdur. Bu məsələnin perspektiv həlli nəticəsində məhlulda müxtəlif



**Şək. 2.**  $\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$  təbəqələrinin mikrofotografiyası. (a- məsaməli şüşə üzərində, b- sital üzərində)

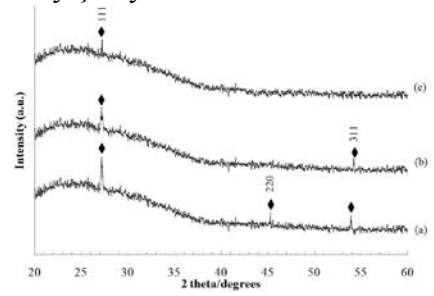
anion və kation birləşmələrinin, kompleks yaradıcıların yeni birləşmələrin yaranmasına, təbəqələrin altlığa çökdürülməsi və adgeziyası prosesinə təsiri mexanizmi öyrənilmişdir. Termodinamik analiz nəticəsində məhlulun real xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla ilkin duzların növündən, onların miqdarından və məhlulun turşuluğundan asılı olaraq ionların mövcudluq oblastları və onların müxtəlif kompleks formalarının üstünlük təşkil etdiyi şərtləri təyin olunmuşdur. Üçkomponentli bərk məhlulların kompleks birləşmələrdən yaranma mexanizmi müəyyən olunmuşdur. «Kompleks – yarımkəçirici təbəqə –

struktur defekti – xassə» korrelyasiyası alınmış təbəqələrin xassələrini digər metodlarla müqayisədə daha geniş intervalda dəyişməyə imkan verir /1-3/.

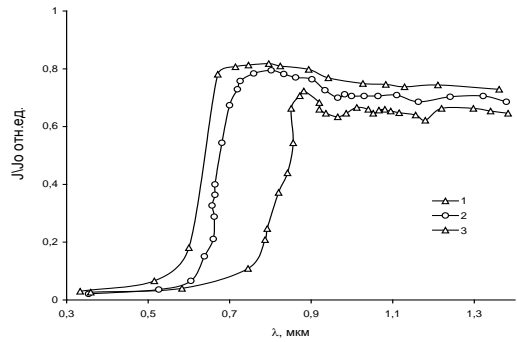
Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, bu metod nanoölçülü təbəqələrin alınmasında, nanoölçülü invers təbəqə və ötürücü kanalın cərəyankeçmə mexanizminə təsiri məsələlərinin araşdırılmasında, eləcə də onların çıxış parametr və xarakteristikalarının nanoölçülü klaster və qoşulmalardan asılılığının öyrənilməsində böyük rol oynayır /4/.

Müasir mikroelektron qurğuların istehsalında nanoölçülü elementlər kimi ağır metalların halkogenli nanohissəciklərin istifadə olunması bu hissəciklərin alınması sahəsində tədqiqatları əsaslı şəkildə genişləndirmişdir. Hal-hazırda nanohissəciklərin alınması üçün elektrokimyəvi aşılama, qaz fazadan dəqiq tənzimlənən kondensasiya kimi ənənəvi metodlarla yanaşı yeni metodlar (zol-hel texnologiya, qidrostatik sıxma, mexaniki sintez) tətbiq olunur. Qeyd olunan texnologiya ilə alınan təbəqələrin və onların tərkibindəki zərrəciklərin ölçülərinin kiçildilməsi istiqamətdə aparılan tədqiqatlar, bu metodikanın yeni üstünlüklərini ortaya çıxardı. Bu hissəciklərin alınması üçün istifadə olunan molekulyar-şüa epitaksiya, litoqrafiya kimi perspektivli metodlarla müqayisədə məhluldan kimyəvi çökdürmə metodu daha kiçikölçülü sferik formalı yarımkeçirici nanokristallitlər almağa imkan verir, bu isə effektin kvantlanması və diskret səviyələrin yaranması baxımından çox vacib şərtidir. Reaksiyanın kimyəvi hərisliyini geniş intervalda dəyişmək üçün çökdürmə prosesi ilkin komponentlərin konsentrasiyasının çox kəskin fərqlənən qiymətlərində aparılması nəticəsində reaksiya parametrlərinin məhluldakı hissəciklərin ölçülərinə təsiri öyrənilmiş və verilmiş ölçülü zərrəciklərin sintezi metodikasını müəyyənləşmişdir. Kristallitlərin ölçülərinin kiçilməsi ilə udma spektrinin qısa dalğalar oblastına sürüşməsi və eksiton piki müşahidə olunur.

100 nm-dən kiçik ölçülü hissəciklərdən ibarət ultradispers sistemlər axırıncı onillikdə maraqlı tədqiqat obyektlərinə çevrilmişdir. Nanohissəciklərin forma və ölçülərinə nəzarət baxımından hissəciklərin mikroemulsiyalı sistemlərdə alınması çox perspektivli sayılır.

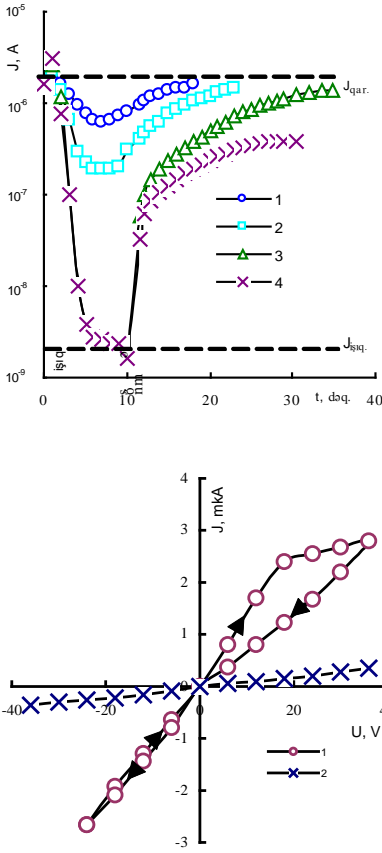


Şəkl. 3. CdSe<sub>1-x</sub>Te<sub>x</sub> təbəqələrinin difraktoqramması.



Şəkl. 4. CdSe<sub>1-x</sub>Te<sub>x</sub> təbəqələrinin udma spektri. (1-x=0; 2-x=0,2; 3-x=0,4)

CdSe<sub>1-x</sub>Te<sub>x</sub> təbəqələrində baş verən elektron proseslərin onların alınması texnologiyasından və termik işlənmə şəraitindən asılı olaraq kompleks tədqiqi təkcə elektron-molekulyar və rekombinasiya proseslərinə, eləcə də cərəyan keçirmə mexanizmlərinə təsirinin incəliklərinin araşdırılması baxımından deyil, həm də neqatron hadisələrinin özlərinin dərinədən mənimsənilməsi cəhətdən böyük maraq kəsb edir və qismən nizamsız sistemlərdə baş verən fiziki proseslərin öyrənilməsi üçün zəngin məlumat verir.



Şək. 5. CdSe<sub>1-x</sub>Te<sub>x</sub> təbəqələrini mənfi fotokeçiriciliyinin kinetikası və mənfi fotokeçiriciliyə malik təbəqələrin VAX-ı.

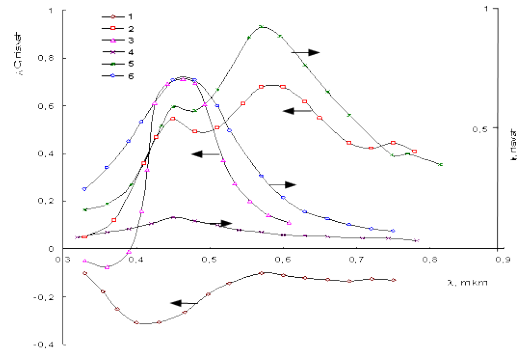
CdSe<sub>1-x</sub>Te<sub>x</sub> təbəqələri isə kubik modifikasiyada formalaşmışdır (şək.2). Məhluldan kimyəvi çökdürmə üsulu ilə nazik təbəqələrin alınmasının texnoloji rejimi onların fiziki xassələrini geniş intervalda əhəmiyyətli dərəcədə dəyişmək imkanı vermişdir. CdSe<sub>1-x</sub>Te<sub>x</sub> təbəqələrinin səthinin mikrofotografiyası çəkilmişdir (şək.3).

Son dövrlər yarımkeçirici neqatronların hazırlanması iş prinsipi və praktiki tətbiq imkanlarının araşdırılması sahəsində geniş tədqiqat işləri aparılır. Yarımkeçirici materiallarda müxtəlif neqatron effektlərin alınmasında, fiziki proseslərin istifadə olunması bu materiallar daxilində birbaşa enerji çevrilməsini təmin edir. Bu kiçik enerji sərfi və müxtəlif təsirlərə yüksək həssaslıq neqatronları ən perspektivli çeviricilər sırasına daxil edir. Müxtəlif neqatron effektlər, o cümlədən, mənfi diferensial müqavimət, mənfi fotokeçiricilik, mənfi diferensial fotokeçiricilik, mənfi qalıq keçiriciliyi tədqiq olunmuş, onların vahid elektron-molekulyar mexanizm əsasında izahı verilmişdir /5/.

İşdə məhluldan kimyəvi çökdürmək üsulu ilə kvarts, sital, şüşə, nikel və alüminium, gümüş altlıqlar üzərində müxtəlif tərkibli CdSe<sub>1-x</sub>Te<sub>x</sub> çökdürülməsi texnologiyası işlənmiş, onların nazik təbəqələri alınmış, rentgen, spektral kimyəvi analizi aparılmış, kristallik quruluşu müəyyənləşdirilmiş, qəfəs parametrləri müəyyən olunmuşdur. Məhlulda iştirak edən komponentlərin müxtəlif komplekslərinin konsentrasiyalarının miqdarı və nisbətində görə onların üstünlük diaqramı qurulmuşdur (şək.1).

$CdSe_{1-x}Te_x$  nazik təbəqələrinin çökdürmə rejiminin seçilməsi (ümumi şərtlərlə yanaşı) onların tərkibi, komponentlərin konsentrasiyası və molyar nisbətləri, həmçinin çökdürmənin temperatur və davam etmə müddətləri ilə tənzimlənmişdir. Tərkibində cövhər və kadmium duzları olan məhluldan kimyəvi çökdürmə üsulu ilə qalınlığı 0,5-10 mkm olan  $CdSe_{1-x}Te_x$  nazik təbəqələri alınmışdır. Bu cür təbəqələrdə qaranlıq, işıq və qalıq keçiriciliyinin temperatur asılılıqları, məxsusi fotokeçiriciliyin (FP) və optik udma spektri (şək.4), həmçinin lüksamper xarakteristikası, kinetikasi, optik sönməsi tədqiq olunub. Ölçmələr dalğa uzunluğunun geniş diapazonunda, temperatur (300-400K) və işıq intensivliyinin 50-1000 lk qiymətlərində aparılmışdır. Qaranlıq keçiriciliyi  $10^{-5}$ - $10^{-6}$  (Om.sm) $^{-1}$  kimi və fotocərəyanın qaranlıq cərəyanına nisbəti  $10^2$ - $10^3$  kimidir.  $CdSe_{1-x}Te_x$  təbəqələrində fotokeçiricilik spektrinin maksimumu tərkibdə tellurun miqdarının artması ilə qısa dalğalara tərəf dəyişir.

Termik işlənmənin onların fotoelektrik xassələrinə təsir mexanizmi öyrənilmişdir. Termik işlənmədən (TO) sonra onların fotoelektrik xassələri əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir. Bu dəyişiklik təbəqənin tərkibindən və qızdırma prosesinin temperaturu və davam etmə müddətindən asılıdır. Keçiriciliyin qiymətinin zamandan asılılığı monoton olmayıb,  $\tau$ -nın ilkin artımı ( $\tau$ -nın kiçik qiymətində) ilə qaranlıq keçiriciliyi öyrənilən təbəqələrdə artır və maksimum qiymətini özünün ilkin qiymətindən 3 tərtib yüksəkdə alır. Termişlənmə temperaturunun artması ilə asılılıq əyrisinin ekstremumu kiçik,  $x$ -in artması ilə  $\tau$ -nın böyük qiymətinə tərəf sürüşür. Qaranlıq dreyf cərəyanının hündürlüyü 80-140K intervalında temperatur asılılığından təyin olunmuş  $0,048 \div 0,06$  eV qiymətlə uyğundur. Rekombinasiya cərəyanının hündürlüyü  $0,15 \div 0,21$ eV 140-250K intervalında anomal temperatur asılılığının aktivləşmə enerjisinə uyğundur. Bu təbəqələrdə müşahidə olunan qalıq keçiriciliyinin əsas qanunauyğunluqları lokal aşqar yığımları modeli əsasında izah olunur. Bu halda N-şəkilli VAX-ın olması lokal aşqar yığımlarında generasiya mərkəzlərinin rekombinasiya mərkəzlərinə çevrilməsi ilə izah olunur. Bu təbəqələrin VAX-ında injeksiya cərəyanına uyğun xətti, kvadratik və sürətli artma oblastları müşahidə olunur. Bu hissələrin yaranma dərəcəsi cərəyanın keçməsinə stimullaşdırıcı təsir edən temperatur, məxsusi və aşqar ftohəyəcanlanma faktorlarından asılıdır. Müxtəlif temperaturlarda injeksiya cərəyanının sıxlığının qiymətindən tələlərin energetik dərinliyi müəyyən



Şək. 6.  $Cd_{1-x}Zn_xS$  ( $x=0,2$ ) təbəqələrində fototutulum (1-3) və fotokeçiriciliyin (4-6) spektral paylanması: 1,4-çökdürmədən sonra; 3,6- 300<sup>0</sup>S-də TE-dan sonra; 2,5-500<sup>0</sup>S-də 10 dəq. müddətində TE -dan sonra, T=300K.

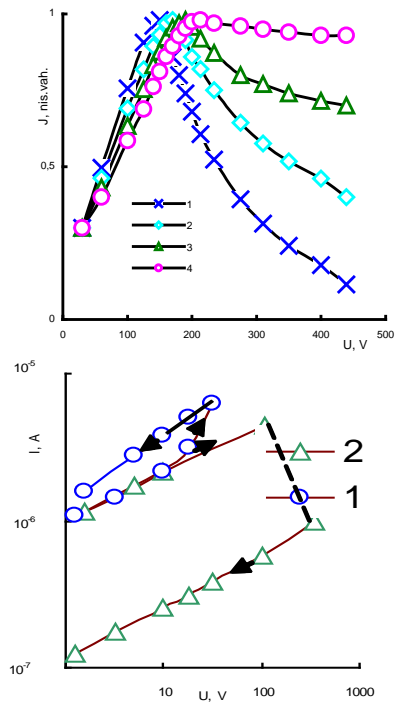
olunmuşdur  $0,11 \pm 0,25$  eV. Omik oblastdan kvadratik oblasta keçid gərginliyinin qiymətinə görə  $T=300$  K-də tarazlıq yükdaşıyıcılarının konsentrasiyası hesablanmışdır  $2 \cdot 10^{14} \text{sm}^{-3}$ . Yüksək temperaturalarda ( $T=360$  K)  $I \sim V^n$   $n < 2$  asılılığı keçiriciliyə tarazlıq yükdaşıyıcılarının əhəmiyyətli əlavə verməsi ilə bağlıdır, bu isə VAX-ın başlanğıc hissəsində omik qanunun müşahidə olunmasını təmin edir. Bu hissədən aşqar səviyyəsinin dərinliyi  $0,65 \text{eV}$  və konsentrasiyası  $N=3,4 \cdot 10^{18} \text{sm}^{-3}$  təyin olunmuşdur.

$\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$  təbəqələrini ağ işıqla işıqlandırarkən, fotocərəyan ilkin anlarda azacıq artır, sonra isə kəskin azalmağa başlayır və qaranlıq qiymətindən də aşağı düşür. Başqa sözlə, 3 tərtibə malik mənfi fotokeçiricilik müşahidə olunur.

İşıq intensivliyinin kiçik qiymətlərində fotocərəyanın qalxma və düşmə müddətləri bir-birindən az fərqlənir (şək. 5a). Lakin işığın intensivliyinin artması düşmə müddətinin azalmasına, qalxma müddətinin isə böyüməsinə gətirir. Düşmə müddəti bir neçə saniyəyədək kiçilir, qalxma müddəti isə bir neçə saata çatır. İşığın intensivliyinin artması ilə asılılıq doyma xarakteri alır. Öyrənilən nümunələrin qaranlıq voltamper xarakteristikası histerezisə malikdir, mənfi qalığı keçiriciliyi halında isə «N» şəkilidir, işıq voltamper xarakteristikası isə elektrik sahəsinin dəyişməsinin geniş diapazonunda xəttidir (şək. 5b).

$\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$  təbəqələrinin, tətbiq olunmuş elektrik sahəsinin qiymətinin geniş intervalında ( $0,5-130$  V/sm), işıq VAX-ı xətti olur. İşıqlanma zamanı təbəqələrin keçiriciliyi əvvəl az artır sonradan qaranlıq hala nisbətən kəskin azalır və mənfi fotokeçiricilik (MFK) müşahidə olunur. Optimal şəraitlərdə MFK dərəcəsi  $\alpha = C_q / C_i \geq 10^2$  olur, burada  $C_q$  – qaranlıq,  $C_i$  - isə işıq cərəyanlarının qiymətləridir. İşığın nisbətən kiçik intensivliklərində, araşdırılan təbəqələr  $0,48-0,66$  mkm oblastında geniş maksimuma malik MFK göstərir.  $T < 250 \text{K}$  temperaturalarında təbəqələrin keçiriciliyi kəskin azalır və işıq keçiriciliyindən aşağı düşür.

MFK-ı izah etmək üçün uyğun model götürülmüşdür. Alınmış nəticələr aşağı omlu matrisalarda yüksəkumlu oblastların olduğu qeyri-bircins çəpər modeli əsasında izah olunur. Bu halda qeyd etmək lazımdır ki, nazik təbəqələrin məhluldan çökdürülməsi zamanı, o polikristallik formada olub və kris-



**Şək.7.**  $\text{Cd}_{0,6}\text{Zn}_{0,4}\text{S}$  təbəqələrində ağ (4) və işıqla monoxromatik (1-3) işıqlanma zamanı ( $\lambda$ , nm: 1- 400; 2 – 500; 3- 600.) VAX. Cərəyanın maksimal (1) və stasionar (2) qiymətləri üçün VAX.  $T=300\text{K}$ .

tallitlər arasındakı sərhəddə yüksək konsentrasiyalı lokal səviyyələr yaranır. Məhlulda komponentlərin konsentrasiyası artdıqca, aşağı omlu səth təbəqəsi ilə yüksəkəomlu oblastlar arasında  $V=kT \ln(n_2/n_1)=0,3 \text{ eV}$  çəpər yaranır.

Təbəqənin keçiriciliyi qaranlıqda dayaz səviyyələrə və s-mərkəzlərinə malik matrisaların dreyf çəpərləri ilə təyin olunur. Bu halda yüksəkəomlu oblastlar daha dərin donor mərkəzlərinə və asta r-mərkəzlərinə malik olur. Nəzərə alınsa ki, elektronlar matrisalarda toplanıb, onda r-mərkəzləri dəşikləri tutmuş olacaq. Yüksəkəomlu oblastlar cərəyanın keçməsinə iştirak etmir, yalnız qeyri-əsas yükdaşıyıcılar, yəni dəşiklər üçün rezervuar (toplantı mənbəyi) rolunu oynayır. İşıqlanma zamanı həcmi yüklər oblastının eni artır. HYO-nın eni Şottki yaxınlaşmasında  $W=0,1-0,2 \text{ mkm}$  təşkil edir. təbəqələrin qalınlığının 8-10 mkm olduğunu nəzərə alsaq, həcmdə neytral oblastların qaldığını söyləmək olar. Bu isə MFK-ın müşahidə olunması üçün vacib şərtədir. İşıqlanma zamanı HYO-nın eninin artması elektronların potensial çəpəri dəf edib, rezervuarlardakı dəşiklərlə rekombinasiyası üçün əlverişli şərait yaradır [6].

Fərz olunur ki,  $\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$  təbəqələrində otaq temperaturunda elektronlar bloklararası sərhəddə yaranmış çəpərləri tunnel keçidi ilə aşırırlar. Bir blokun ona qonşu potensial çəpərdə keçiriciliyi  $\sigma = eN_d\mu_nW$  kimi ifadə olunur.

Burada  $\mu_n$  - elektronların yürüklüyüdür. İşıqlanma vaxtı təbəqələrin həcmindəki elektronların konsentrasiyası vahid həcmdəki fotoelektronların sayı qədər artır. Onda işıqlanma vaxtı blokun keçiriciliyi artır və belə ifadə olunur:

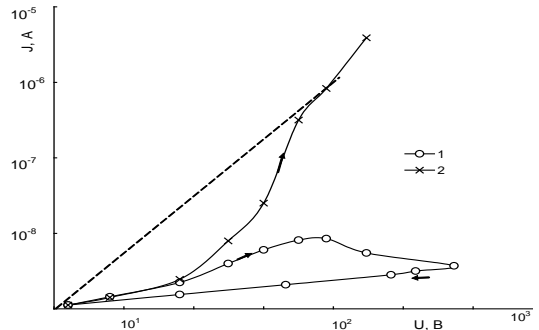
$$\sigma_c = e(N_d + \Delta n)\mu_n W_c,$$

Bu zaman

$$\frac{\sigma_c}{\sigma} = \left(1 + \frac{\Delta n}{N_d}\right) \exp\left[B \ln\left(1 - \frac{\Delta n}{\Delta n + N_d}\right)\right],$$

üçün B kəmiyyəti qiymətləndirilmişdir:  $\sim 10^3$ .

$\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$  təbəqələrində təbəqələrində 45 dəq TE-dan sonra VAX kiçik gərginliklərdə xətti, böyük qiymətlərində isə cərəyanın sonradan azalması ilə müşayiət olunan ilkin artan relaksasiyası baş verir. Cərəyanın maksimal və stasionar qiymətlərinə görə qurulan VAX-lar fərqlənir və 2-ci halda VAX mənfi diferensial keçiricilik oblastına malik olur (şək. 6a). Bu zaman təbəqənin müqaviməti 2 tərtib azalır. İlkin vəziyyəti nümunəni vakuumdə 300°C-yə qədər qızdırmaqla mümkün olur. Xüsusi zond (4÷5 mm, zondun diametri 0,05 mm) ölçmələri ilə aparılan ölçmələr 30 dəqiqəyədək termik emal olunmuş nümunələrdə potensial katoddan anoda doğru xətti artır, MDK halında isə kontaktlararası məsafənin ortasında yüksək müqavimətli oblast qeydə alınır.



Şək. 8.  $\text{In}_2\text{O}_3\text{-CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$ -in strukturlarının VAX-1 (1-qaranlıqda, 2-ışıqlanma zamanı)

harada ki,  $\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$  təbəqələri

Monoxromatik işıqla işıqlanma zamanı mənfi diferensial fotokeçiricilik müşahidə olunur (şək. 6b). Bu fakt, onu göstərir ki, orta hissədə molekulyar formada olan oksigenin coul istiliyi və ya işıqlanma hesabına dielektrik domen (HED) yaranır. Əlavə fotozondla ölçmənin (0,2 mm diametrlı) köməyli müəyyən olundu ki, xarici sahənin artması ilə domenin anoda tərəf sürüşməsi və iki hissəyə bölünməsi, eləcə də yüksək müqavimətli və ftohəssas hissənin anod tərəfdə yerləşməsi oksigen molekullarının atomar formaya keçidi və onların kütlələrinin fərqli olması ilə izah olunur. Alınmış  $\text{In}_2\text{O}_3\text{-CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$ - $\text{In}$  strukturlarının VAX-nın tədqiqi yarımkeçiricilərdə injeksiya-kontakt hadisələrinin ümumiləşmiş aproksimativ nəzəriyyəsi əsasında aparılmışdır ki, bu da, nəinki cərəyankeçirmə mexanizmini, eləcə də ftohəssas materialların parametrlərini təyin etməyə və texnoloji şəraitdən asılı olaraq onların dəyişilməsi qanunauyğunluqlarını izləməyə imkan vermişdir. Alınmış  $\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$ -in strukturlarında mənfi fototutum effekti müşahidə olunmuşdur (şək. 7). Tədqiq olunan  $\text{In}_2\text{O}_3\text{-CdSe-In}$  strukturunun tipik qaranlıq VAX-1 subxətti, işıq VAX isə super xəttidir (şək. 8). Bu, gərginlik artdıqca fotocərəyanın qaranlıq cərəyana nisbətinin artmasına gətirir  $K_{\text{max}}=10^3$ . Bu o deməkdir ki, qeyri-tarazlıq həyəcanlaşmasının həcmi yüklərlə məhdudlanan cərəyana (HYMC) stimullaşdırıcı təsiri effekti müşahidə olunur. Baxılan strukturda işıq VAX-1 son tələsiz monopolyar cərəyanın limit xəttindən yuxarıda yerləşmişdir ki, bu da bipolar keçiriciliyin olmasını təsdiq edir. Təbəqələr  $10^6$  v/sm-ə qədər elektrik sahəsinə davam gətirirlər. Kiçik gərginliklərdə VAX xəttidir:  $J=e n \mu E$ . Bu, tarazlıq yükdaşıyıcıların cərəyanı ilə, böyük gərginliklərdə isə – həcmi yüklərlə məhdudlanan cərəyanın axma qanunauyğunluqları ilə müəyyən olunur:  $J \sim V^2/L^3$ .

Om qanunundan HYMC rejiminə keçid gərginliyi  $v = \frac{ek T h_0 L^2}{\varepsilon}$  düsturu ilə

təyin olunmuşdur. Buradan tarazlıq yük daşıyıcıların konsentrasiyası hesablanmışdır:  $n_0=(5 \div 7) \cdot 10^{10} \text{ sm}^{-3}$ . Hər iki kontakt üçün elektronların kontaktyanı konsentrasiyasının hesablanması aparılmışdır. Hesablamaların nəticələri göstərir ki,  $\text{In}_2\text{O}_3$  kontaktı qaranlıqda və işıqlandırılma zamanı neytrala yaxındır ( $n_k/n_0=1,5 \div 5$ ) və  $\text{In}$  kontaktı işıqda neytral olduğu halda ( $n_k/n_0=2 \div 3$ ) qaranlıqda güclü injeksiyaedici olur ( $n_k/n_0 = 10 \div 15$ ).  $\text{In}_2\text{O}_3$  kontaktı üçün kontakt

boşluğunun eni  $d_k = \sqrt{\frac{\varepsilon K T}{2 \pi e^2 h_k}} = (2 \div 3) \cdot 10^{-7} \text{ sm}$ -ə bərabərdir.

#### ƏDƏBİYYAT

1. Абдинов А.Ш., Джафаров М.А., Мамедов Г.М., Насиров Э.Ф. Функциональные возможности пленок  $\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$ , осажденных из водного раствора в ИК области спектра // Прикладная физика, М.: 2008, в.3, с.84-89.
2. Абдинов А.Ш., Джафаров М.А., Мамедова С.А. Рекомбинационные процессы в пленках  $\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$ , осажденных из раствора химическим способом // Неорганические материалы, 2007, в.3, с.1-3
3. Abdinov A.Sh., Jafarov M.A., Nasirov E.F., Mammadova S.A. Solar Cells on the base of  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}/\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$  heterojunctions. Technical and Physical Problems in Power Engineering. 2006, p.1072-1074.
4. Джафаров М.А. Продольные фотоприемники на основе пленок  $\text{CdSe:Cu}$ , осажденных

- из раствора // Прикладная физика. М.: 2000, в.6, с.68-73.
5. Джафаров М.А. Фотоэлектрические свойства пленок  $Cd_{1-x}Zn_xS$ , осажденных из водного раствора // Неорганические материалы, 1999, т.35, в.11. с.1307-1312.
6. Джафаров М.А. Отрицательная фотопроводимость в пленках  $Cd_{1-x}Zn_xS$ , полученных осаждением из водного раствора // Неорганические материалы, 1998, т.34, № 9, с.1034-1036.

## НЕГАТРОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ СОЕДИНЕНИЙ $A^{II}B^{VI}$

М.А.ДЖАФАРОВ, С.А.МАМЕДОВА, Э.Ф.НАСИРОВ

### РЕЗЮМЕ

Исследованы негатронные эффекты различных типов, наблюдаемых в наноразмерных пленках соединений  $A^{II}B^{VI}$ , осажденных из раствора химическим методом. Долговременная релаксация и отрицательная дифференциальная проводимость, обусловленная неоднородным потенциальным рельефом, характеризующиеся локальным скоплением примесей, отрицательная фотопроводимость и отрицательная остаточная проводимость, описываемая по модели двойного неоднородного потенциального рельефа, связанной с наличием наноразмерных кластеров в низкоомных матрицах, отрицательная дифференциальная фотопроводимость, связанная с нанозлектрическими доменами хемосорбированных атомов кислорода и отрицательный фотоемкостный эффект, обнаруженный в результате переходов электронов с мелких уровней на глубокие, с меньшей поляризуемостью в наноразмерных приповерхностных слоях, объясняются единым молекулярным механизмом

**Ключевые слова:** негатронные эффекты, отрицательная фотопроводимость, отрицательная остаточная проводимость, отрицательная дифференциальная фотопроводимость, отрицательный фотоемкостный эффект.

## NEGATRON EFFECTS IN NANOSIZED LAYERS OF $A^{II}B^{VI}$ COMPOUNDS

M.A.JAFAROV, S.A.MAMMADOVA, E.F.NASIROV

### SUMMARY

The paper studies different negatron effects observed in nanoscale films of compounds  $A^{II}B^{VI}$ , precipitated from solution by chemical method. Long-term relaxation and the negative differential conductivity due to the inhomogeneous potential relief characterized by the local accumulation of impurities, negative photoconductivity and negative residual conductivity are described by the model of double inhomogeneous potential profile associated with the presence of nano-sized clusters in the low-resistance matrix. Negative differential photoconductivity associated with nanoscale domains of chemisorbed oxygen atoms, negative photocapacitance effect observed by electron transitions from shallow to deep levels, with smaller polarizability in nanoscale surface layers, are explained by a single molecular mechanism.

**Keywords:** negatron effect, negative differential conductivity, negative photoconductivity, negative residual conductivity, negative photocapacitance effect.

*Redaksiyaya daxil oldu: 29.09.2011-ci il.*

*Çapa imzalandı: 05.03.2012-ci il.*