

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

ZnS ƏSASLI NANOQURULUŞLU MATERIALLARIN OPTİK VƏ FOTOELEKTRİK XASSƏLƏRİ

İxtisas: 2222.01 – Nanoquruluşların fizikası və
texnologiyası

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: **Rüfət Seydi oğlu Cəfərli**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2023

Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin «Yarımkəçiricilər fizikası» kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbərlər:

AMEA-nın müxbir üzvü, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Aydın Həsən oğlu Kazımzadə

fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Maarif Əli oğlu Cəfərov

Rəsmi opponentlər:

AMEA-nın həqiqi üzvü, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Cavad Şahvələd oğlu Abdinov

fizika elmləri doktoru, professor
Cahangir İslam oğlu Hüseynov

fizika üzrə elmlər doktoru, professor
Adil Polad oğlu Abdullayev



Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən BFD 2.19 Dissertasiya şurası.

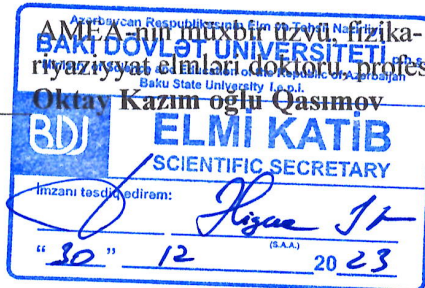
Dissertasiya şurasının sədri:

fizika elmləri doktoru, dosent
Hüseyin Mikayıl oğlu Məmmədov

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

fizika üzrə fəlsəfə doktoru
Şəhla Nəbi qızı Hacıyeva

Elmi seminarın sədri:



İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Elektron texnikasının artan tələbatının ödənilməsi halkogen komponentli qismən nizamsız quruluşa malik mürəkkəb yarımkeçirici birləşmələrin və onların nazik təbəqələrinin elektron xassələrinin kompleks tədqiqi ilə də bağlıdır. Elektronikanın bu sahəsində nazik təbəqələrin sadə və iqtisadi cəhətdən sərfəli şəkildə hazırlanması imkanları onların yüksək effektivliyini birləşdirən kompleks yanaşma ilə təyin olunur. Bu, bir tərəfdən yeni-yeni materialların axtarılması və onların nazik təbəqələrindən istifadə olunması imkanlarının araşdırılması, digər tərəfdən isə mövcud mürəkkəb yarımkeçiricilərin nazik təbəqələrinin alınma texnologiyasının təkmilləşdirilməsi ilə yanaşı, onların parametrlərini yüksək səviyyədə saxlamaqla daha sadə texnologiya ilə alınması sahəsində tədqiqatların genişləndirilməsini tələb edir.

Bu istiqamətdə aparılan tədqiqatlar göstərir ki, belə strukturların effektivliyi təkcə generasiya-rekombinasiya prosesləri ilə deyil, həm də kontakt materiallarının seçilməsi ilə yanaşı, onların alınmasının texnoloji və konstruktiv xüsusiyyətləri ilə təyin olunur.

Müasir materialşünaslığın aktual problemlərindən biri halkogen komponentli yarımkeçiricilərin nazik təbəqələrinin sadə və iqtisadi cəhətdən sərfəli texnologiyasının işlənməsi və təkmilləşdirilməsidir. Bu üsullardan biri nazik təbəqələrin sulu məhluldan kimyəvi çökdürməsidir. Həmin üsulun bilavasitə sulu məhluldan çökdürmə, məhlulun yüksək elektrik sahəsi və ya pulverizasiya ilə altlığa hopdurulması, elektrokimyəvi çökdürmə kimi müxtəlif variantları mövcuddur. Məhlul aerosolun pulverizasiyası məhlulda yaranan kompleks birləşmələrin qızmar altlıqda termik destrukturasiyasına əsaslanır. Məhluldan kimyəvi çökdürmə üsulunun perspektivliyi bir sıra amillərlə: mürəkkəb yarımkeçirici materialların təbəqələrinin; müxtəlif yarımkeçirici bərk məhlulların və nazik təbəqəli kompozitlərin alınması; aktiv aşqarların daxil edilməsi; çox təbəqəli strukturların hazırlanması; elektrik kontaktlarının formalaşması, vahid bir texnologiya ilə reallaşdırmaq imkanları; massiv altlıq üzərində eyni materialın nanoölçülü təbəqələrinin epitaksiya imkanları, mikro və nanomaterialların alınması və tətbiqi ilə bağlıdır. Bu üsul müxtəlif metalların unikal xassələrə malik

halkogenli birləşmələrinin böyük ölçülü səthlərdə nazik təbəqələrini seriya şəklində səmərəli istehsalını reallaşdırmağa və həmin materialların tətbiq oblastlarını genişləndirməyə imkan verir. Son dövrlərdə xassələri qabaqcadan müəyyənləşdirilə bilən və yüksək təkrarlanma dərəcəsinə malik təbəqələrin alınmasında bu üsulun tətbiqindəki məhdudiyəti aradan qaldırmaq üçün baş verən proseslərin mexanizminin öyrənilməsinə məqsədyönlü yanaşma prinsipi işlənib hazırlanmışdır. Artıq bu proseslərin ümumi sxemi, optimal rejiminin seçilməsi və təbəqələrin çökdürməsi prosesinin kinetikasi ətraflı öyrənilmişdir. Termodinamik analiz məhlulda ionların real xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla ilkin duzların növündən və məhlulun turşuluğundan asılı olaraq onların mövcudluğu və müxtəlif kompleks formalarının üstünlük təşkil etdiyi oblastları təyin etməyə, eləcə də yaranmış komplekslərin dayanıqlığını müqayisəli şəkildə qiymətləndirməyə imkan vermişdir. Qeyd olunan texnologiya ilə alınan təbəqələrin və onların tərkibindəki zərrəciklərin ölçülərinin kiçildilməsi istiqamətində aparılan tədqiqatlar, bu üsulun yeni üstünlüklərini aşkara çıxardı. Müasir mikroelektron qurğuların istehsalında, nanoölçülü elementlərdə ağır metalların halkogenli nanohissəciklərinin istifadə olunması bu hissəciklərin alınması sahəsində tədqiqatları əsaslı şəkildə genişləndirmişdir. Bu məqsədlə kimyəvi çökdürmə üsulunun molekulyar-şüa epitaksiya, litoqrafiya kimi perspektivli üsullarla müqayisəsi onun fərqli və üstün cəhətlərini göstərdi. Belə ki, məhluldan kimyəvi çökdürmə üsulu daha kiçik ölçülü kürəvi formalı yarımkeçirici nanokristallitlər almağa imkan verir, bu isə məlum olduğu kimi, effektin kvantlanması və diskret səviyyələrin alınması üçün çox vacib şərtidir.

ZnS əsaslı yüksək həssaslığa malik nanoquruluşlu təbəqələrinin alınmasına imkan verən rejimin müəyyənləşdirilməsi, alınmış təbəqə və strukturlarda müxtəlif növ prosesləri, o cümlədən, optik udma, fotoluminessensiya, fotokeçiricilik kimi bir sıra maraqlı effektlərin müşahidə olunub tədqiq edilməsi, bu materiallar əsasında metal-yarımkeçirici, yarımkeçirici-yarımkeçirici strukturları yaradılmasının fiziki əsaslarının öyrənilməsi baxımından aktualdır. Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, bu üsul nanoölçülü təbəqələrin cərəyankeçmə mexanizminə təsiri məsələlərinin araşdırılmasında, eləcə də onların çıxış parametrləri və xarakteristikalarının nanoölçülü klaster və əlavələrdən asılılığının

öyrənilməsində əhəmiyyətli rol oynayır.

Tədqiqatın obyektı və predmeti: ZnS, $Zn_{1-x}Cd_xS$, ZnS:Cu, ZnS:Mn, ZnS:Sn və ZnS:Fe nanohissəcikləri və nanoquruluşlu təbəqələri, Si/ $Zn_{1-x}Cd_xS$, $CuInSe_2/Zn_{1-x}Cd_xS$, CdTe/ $Zn_{1-x}Cd_xS$ və CdTe/CdS/ $Zn_{1-x}Cd_xS$ heteroqəçidləri.

Kimyəvi, elektrokimyəvi çökdürmə və Lazer ablyasiya üsülları.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Dissertasiya işinin *məqsədi* elektrokimyəvi və kimyəvi metodlarla alınmış nanoquruluşlu ZnS əsaslı təbəqələrdə elektron proseslərin və onların əsasında hazırlanmış strukturlarda cərəyankeçmənin ümumi qanunauyğunluqlarını müəyyənləşdirmək və praktik tətbiq imkanlarını genişləndirməkdən ibarətdir.

Bu məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı *vəzifələrin* həlli qarşıya qoyulmuşdur:

1. ZnS nazik təbəqələrinin fiziki xassələrinin onların alınma və termik emal rejimlərindən asılılığını tədqiq etməklə, lazımi parametrlərə malik təbəqələr hazırlamaq üçün optimal şərtləri müəyyənləşdirmək;

2. Cu, Mn, Sn, Fe-la aşqarlanmış ZnS nazik təbəqələrinin alınması optik, fotoelektrik və lüminessensiya xassələrinin tədqiqi;

3. Lazer şüalarının ZnS əsaslı təbəqələrin quruluşuna və xassələrinə təsirinin araşdırılması;

4. Nanoquruluşlu ZnS təbəqələrinin fotoelektrik xassələrinin ilkin reagentdən asılılığının öyrənilməsi

5. Lazer şüalarının köməyi ilə məhluldan $Zn_{1-x}Cd_xS$ nanohissəciklərinin alınması;

6. Kimyəvi və elektrokimyəvi çökdürmə üsulu ilə yaradılmış nanoölçülü $Zn_{1-x}Cd_xS$ nanohissəciklərinin və təbəqələrinin tərkibdən, çökdürmə rejimlərindən asılı olaraq xassələrini müqayisəli tədqiq etmək;

7. Si lövhələri əsasında hazırlanmış Si- $Zn_{1-x}Cd_xS$ heteroqəçidli günəş çeviricilərinin yüksək effektivliyini təmin edən optimal tərkibi və termik emal rejimini müəyyənləşdirmək;

8. Məhluldan elektrokimyəvi çökdürmə və termik emal rejimlərinə nəzarət etməklə CdTe/ $Zn_{1-x}Cd_xS$ heteroqəçidlərində cərəyankeçmə mexanizmini tədqiq etmək;

9. Məhluldan elektrokimyəvi çökdürmə və termik emal rejimlərinə nəzarət etməklə çoxtəbəqəli CdTe/CdS/ $Zn_{1-x}Cd_xS$

heteroqeçidləri əsasında yüksək həssaslığa malik fotoqəbuledicilər hazırlanma imkanlarını tədqiq etmək.

Tədqiqat metodları. Nazik təbəqələrin sulu məhluldan kimyəvi, elektrokimyəvi üsulla alınma qurğuları, nanohissəciklərin və nanoquruluşlu təbəqələrin RFA, SEM, TEM, AGM analiz, fotokeçiricilik və fotolüminessensiya spektrlərinin və fotocərəyanın kinetikasının, eləcə də, onların əsasında strukturların volt-ampere, volt-farad xarakteristikalarının tədqiqi metodları.

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Məhluldan kimyəvi çökdürmə üsulu ilə ZnS nanohissəciklərinin, nanoquruluşlu təbəqələrinin və heteroqeçidlərin vahid texnologiya ilə alınma imkanları.

2. Elektrokimyəvi üsulla alınmış nanoquruluşlu ZnS:Cu təbəqələri yüksək təmizlik və təkmillik dərəcəsinə, spektrin geniş diapazonunda yüksək buraxma qabiliyyətinə malikdir.

3. Kimyəvi çökdürmə üsulu ilə müxtəlif konsentrasiyalı aktivləşdiricilərdən istifadə etməklə alınmış nanoquruluşlu ZnS:Mn təbəqələrin optik və lüminessensiya xassələrinin nanohissəciklərin ölçüsündən və termik emal şəraitindən asılı olaraq dəyişmə qanunauyğunluqları.

4. Nanoquruluşlu ZnS təbəqələrinin fotoelektrik xassələrinin ilkin reagentin növündən asılı olaraq dəyişmə qanunauyğunluğu

5. Lazer ablyasiyası üsulu ilə ayrı-ayrı həlledicilərdə $Zn_{1-x}Cd_xS$ nanozərrəciklərin alınması və məhlul daxilində stabilliyini təmin etmək mümkünlüyü.

6. Kimyəvi üsulla alınmış $Zn_{1-x}Cd_xS$ nanozərrəciklərinin fiziki xassələrinin müqayisəli təhlili, məhluldakı komponentlərin və həlledicilərin miqdarının və konsentrasiya nisbətinin hissəciklərin ölçülərinə və dayanıqlılığına təsiri.

7. Kimyəvi çökdürmə metodu ilə alınmış $Zn_{1-x}Cd_xS$ nazik təbəqələrinin qadağan olunmuş zolağının eninin təbəqələrin tərkibindən asılı olaraq dəyişmə qanunauyğunluğu, eləcə də fotokeçiricilik və fotolüminessensiya spektrlərində müşahidə olunan xüsusiyyətləri.

8. Elektrokimyəvi metodla alınmış p-CdTe/ $Zn_{1-x}Cd_xS$ heteroqeçidlərində cərəyankeçmə mexanizminin əsas xüsusiyyətləri.

9. Kimyəvi metodla alınmış p-CdTe/CdS/Zn_{1-x}Cd_xS kəskin anizotip heteroqəçidlərinin alınma texnologiyası, alınmış heteroqəçidlərin həcmi yüklər oblastında generasiya-rekombinasiya proseslərinin mövcud olmasının cərəyankeçmə mexanizmində səciyyəvi rolu.

Tədqiqatın elmi yenilikləri:

1. Kimyəvi metodun ZnS əsaslı nanoquruluşlu materialların parametrləri və xarakteristikalarının başqa metodlarla nisbətə məqsədyönlü şəkildə dəyişmək və idarə etmək üçün daha geniş imkanlara malik olması müəyyən olunmuşdur.

2. İmpuls lazer ablyasiyası ilə çökdürülmüş ZnS nanoquruluşlu təbəqələrində spektrin ultrabənövşəyi (UB) oblastında müşahidə olunan şüalanmanın eksitonlarla və məxsusi defektlərlə bağlı olduğu müəyyən edilmişdir.

3. Elektrokimyəvi metodla alınmış ZnS:Cu təbəqələrinin faza tərkibi müəyyən olunmuş, səth quruluşu öyrənilmiş və qadağan olunmuş zonasının eni qiymətləndirilmişdir.

4. ZnS:Mn təbəqələri və (7-20) nm ölçülü polidispers nanohissəciklərinin optik və fotolyüminessensiya xüsusiyyətləri analiz olunmuşdur. ZnS:Mn nanohissəciklərinin qadağan olunmuş zonasının eni 3,6 eV-dan 3,9 eV-a qədər artması və ZnS:Mn nanohissəciklərinin fotolyüminessensiya intensivliyi nanohissəciklərin ölçüsündən asılılıq qanunauyğunluğu müəyyən olunmuşdur.

5. Kimyəvi üsulla alınmış nanoquruluşlu ZnS:Sn təbəqələrində yaşıl rəngli lüminessensiya, ZnS:Fe təbəqələrinin isə maqnit xüsusiyyətə malik olması aşkar olunmuşdur.

6. Nanoquruluşlu ZnS təbəqələrinin fotoelektrik xassələrinin ilkin reagentin növündən və alınma metodikasından asılılığı öyrənilmişdir.

7. Elektrokimyəvi metodla çökdürülmüş Zn_{1-x}Cd_xS nazik təbəqələrinin elektrik keçiriciliyinin və E_g-nin sinkin miqdarından asılılığı, eləcə də fotoelektrik və fotolyüminessensiya xassələrinin əsas xüsusiyyətləri və ümumi qanunauyğunluqları müəyyən edilmişdir.

8. P-CdTe/Cd_{1-x}Zn_xS heteroqəçidinin əsas xüsusiyyətləri və termik işlənmə nəticəsində onun xarakteristikalarında baş verən dəyişikliklər Donelli və Milns tərəfindən təklif olunmuş model əsasında izah olunmuşdur.

9. Elektrokimyəvi üsulla alınmış p-CdTe/CdS/Zn_{1-x}Cd_xS heteroqəçidlərinin cərəyankeçmə mexanizmində tunel-rekombinasiya proseslərinin həlledici rola malik olduğu müəyyən edilmişdir.

Tədqiqatın nəzəri və praktik əhəmiyyəti. Dissertasiyada alınan nəticələr qismən nizamsız və nanosistemlər fizikasının inkişafında mühüm rol oynayır. ZnS nanoquruluşlu təbəqələri aşağı gərginliklərdə işləyən mavi/UV lazerlər, günəş batareyaları, LED-lər, sensorlar, display cihazları və fotodetektorlar kimi optoelektronik cihazlar üçün potensial material kimi istifadə oluna bilər. Yüksək keyfiyyətli nano və mikro strukturlu ZnS nazik təbəqələrinin istehsalında səmərəli və ucuz texnologiya kimi geniş yer tuta bilər.

İşin aprobasiyası. Dissertasiya işinin əsas nəticələri Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 90-cı ildönümünə həsr olunmuş Magistrantların və Gənc Tədqiqatçıların “Fizika və Astronomiya Problemləri” VIII Respublika Elmi Konfransının Materialları (17 May 2013, Bakı, Azərbaycan), Akademik B.M.Əsgərovun 80 illik yubileyinə həsr olunmuş «Fizikanın Aktual Problemləri» Beynəlxalq Elmi Konfransının Materialları(6 Dekabr 2013 Bakı, Azərbaycan), «Ультрамелкозернистые и наноструктурные материалы» (6-10 октября, 2014, Уфа, Башкирия Россия) və Bakı Dövlət Universitetinin Yarımkeçiricilər fizikası kafedrasının elmi seminarlarında məruzə və müzakirə edilmişdir.

Dissertasiya işinin mövzusunə aid çap olunmuş 14 elmi işi, o cümlədən 11 məqaləsi (4 məqalə Web of Science bazasına daxil olmuşdur), 3 tezisi onlardan 2-i Beynəlxalq elmi konfransda dərc edilmişdir.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi, Bakı Dövlət Universitetinin Fizika Fakültəsinin Yarımkeçiricilər fizikası kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işi girişdən (9088 işarə), dörd fəsildən (I fəsil – 81732 işarə, II fəsil – 43557 işarə, III fəsil – 14710 işarə, IV fəsil – 18527 işarə), nəticələrin qısa şərhindən (2642 işarə) olmaqla cəmi 170356 işarədən və 153 adda elmi ədəbiyyatın biblioqrafik siyahısından ibarət olub, 54 qrafik 17 şəkil və 5 cədvəl olmaqla 149 səhifədə əks olunmuşdur.

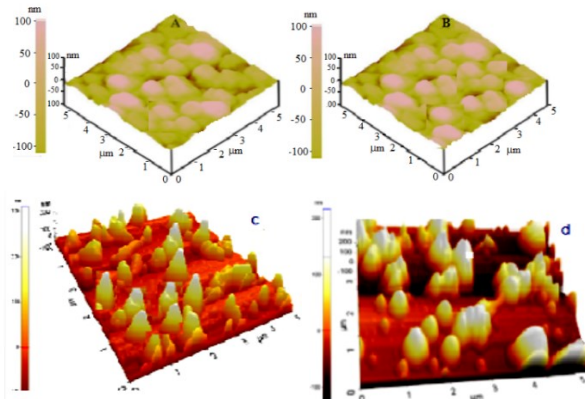
İŞİN QISA MƏZMUNU

Girişdə mövzunun aktuallığı, işin məqsədi, qarşıya qoyulan məqsədə nail olmaq üçün həll edilmiş məsələlər, işin elmi yeniliyi və praktiki dəyəri, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, dissertasiya işinin materiallarının aprobeşiyası və publikasiyası, eləcə də ayrı-ayrı fəsillərinin qısa məzmunu barədə məlumat şərh olunmuşdur.

Birinci fəsil $A^{II}B^{VI}$ birləşmələrinin bərk məhlullarının nazik təbəqələrinin kimyəvi və elektrokimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınması, onların optik və fotoelektrik xassələri barədə, habelə müxtəlif texnoloji üsullarla nazik təbəqələr əsasında heterostrukturların hazırlanmasına dair mövcud elmi ədəbiyyatın qısa icmalından ibarətdir. Bu fəsildə şərh olunanlardan görünür ki, ümumi halda elektrokimyəvi çökdürmə üsulunun geniş tətbiq tapmasına baxmayaraq, yalnız binar $A^{II}B^{VI}$ yarımkeçirici nazik təbəqələrinin alınması texnologiyası geniş tətqiq olunub. Onların üçqat bərk məhlullarının alınma texnologiyasına isə az diqqət yetirilib.

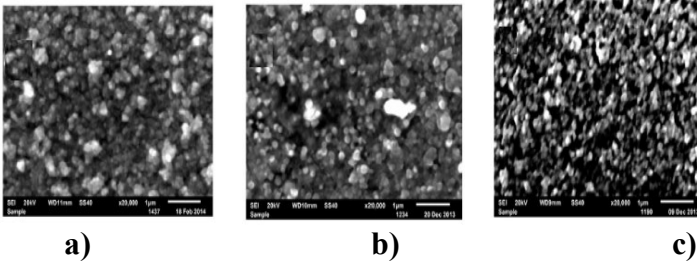
Birinci fəsildə həmçinin məhluldan kimyəvi və elektrokimyəvi çökdürmə üsulu ilə müxtəlif tərkib və qalınlıqlı (0.5÷2.0 mkm) ZnS, və ZnCdS nazik təbəqələrinin alınması texnologiyası və fiziki-kimyəvi təhlili verilmişdir.

ZnS, ZnS:Cu və ZnS:Mn nanoquruluşlu təbəqələrinin atom qüvvət mikroskopunda çəkilmiş fotosəkilləri şəkil 1.-də verilmişdir.



Şəkil 1. ZnS (a), ZnS:Cu (b) və ZnS:Mn (c,d) nanoquruluşlu təbəqələrinin atom qüvvət mikroskopunda çəkilmiş fotosəkilləri.

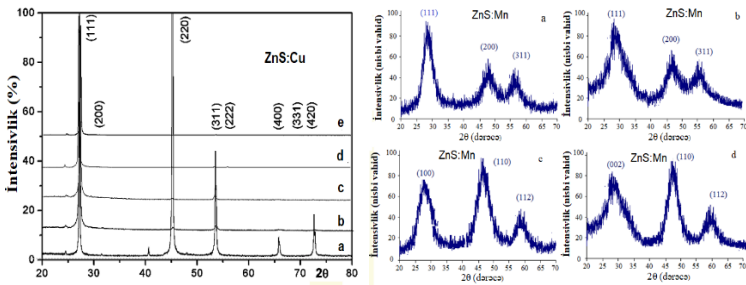
ZnS nazik təbəqələrinin SEM təsvirləri şəkil. 2.-də verilmişdir.



Şəkil 2. Sink asetat və tiokarbamid məhlulundan alınmış ZnS təbəqələrinin morfolojiyası: a-stexiometrik tərkibli məhluldan, b – kükürd artıqlığı ilə alınan təbəqələr, c- 500⁰C-də termik emaldan sonra.

Şəkillərdən görüldüyü kimi, ZnS nanozərrəcikləri küre formasında yetişir və onların ölçüləri çox fərqlənir. Sintez şəraitini dəyişdirərək (məhlulun konsentrsiyası, komponentlərin nisbəti, zaman və temperatur) kürelərin ölçülərini effektiv şəkildə idarə etmək olar. ZnS-in termik emalı morfolojiyanın dəyişməsinə gətirir, havada 500⁰C temperaturda termik emaldan sonra səthin eroziyası baş verir və element tərkibi oksigenlə zənginləşir (şəkil 2.c.).

ZnS:Cu və ZnS:Mn təbəqələrinin rentgenfaza analizinin nəticələri şəkil 3.-də verilmişdir.



Şəkil 3. ZnS:Cu (termik emaldan əvvəl – a, və sonra: b – 200⁰C c – 300⁰C, d – 400⁰C, e – 500⁰C) və ZnS:Mn təbəqələrinin (a,b –şüşə üzərində, c,d-Si altlığı üzərində, termik emaldan əvvəl – a, c və sonra-b,d.) rentgenoqrammaları

Təcrübi nəticələrin analizinə görə, bütün ZnS:Cu təbəqələri qəfəs parametrləri $a=0,56572-0,56700$ nm olan sfalerit tipli kubik quruluşa malikdir. Şüşə üzərində alınan ZnS:Mn təbəqələri kubik quruluşa, Si altlıqları üzərində alınan təbəqələr isə heksaqonal quruluşa malik olur.

İkinci fəsil məhluldan kimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınmış ZnS nazik təbəqələrinin optik və fotoelektrik xassələrinin təbəqələrin tərkibindən, çökdürülmə və havada termik emalı rejimlərindən asılılığının tədqiqinə həsr edilmişdir. ZnS sintezi üçün aşağıdakı komponentlərdən istifadə olunmuşdur: $(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$, $(\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$, $(\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$ və ya $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$.

ZnS nazik təbəqələri həm də lazer ablyasiya üsulu ilə alınmışdır. Ablyasiya gücü $3,5 \text{ C}/\text{sm}^2$ olan Ar impuls lazeri vasitəsi ilə ($\lambda=193$ nm, impulsun müddəti 15 ns) həyata keçirilmişdir. Lazer altlığa 45° bucaq altında düşmüşdür. Fotolüminessensiya spektrini ölçmək üçün alınan təbəqələr dalğa uzunluğu 254 nm Hg lampa işığı vasitəsi ilə həyacanlanmışdır. Ən optimal ablyasiya şəraiti, altlıq qızdırılmadan alınıb. Lazer tablaması üçün də həmin lazerdən istifadə edilmişdir.

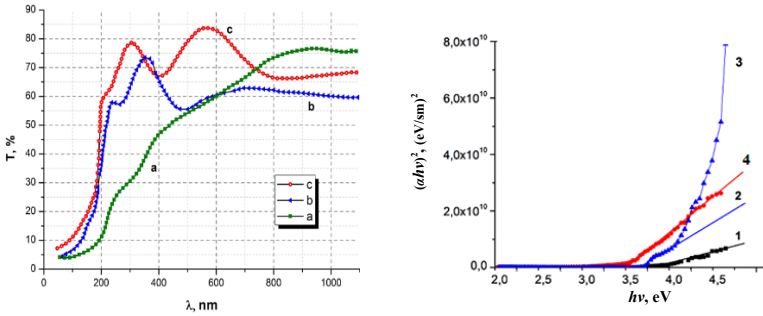
ZnS nazik təbəqələrin fotolüminessensiya spektri aşağıdakı əsas zolaqlardan ibarətdir: UB oblastda enerjisi 3.48 eV olan sərbəst eksiton və görünən dalğa oblastında, S mərkəzli dərin defektlərlə bağlı, intensivliyin maksimumu 2.3-2.6 eV olan enli zolaq. Lazer tablaması eksiton pikinin artmasına səbəb olub, lakin onun forması və spektral yeri dəyişməyir. Defektlərlə bağlı olan piklər isə spektrin UB oblastına tərəf sürüşür. Lazer tablaması təbəqələrin morfolojiyasının dəyişməsinə və 40 – 60 nm ölçülü klasterlərin əmələ gəlməsinə səbəb olur. Lazer şüalarının tezliyi narıncı xəttlərin intensivliyinin azalmasına, yaşıl xətlərin intensivliyin artmasına səbəb olur. Təbəqələrin alınması zamanı lazer şüaları oksigen artıqlığını asanlıqla aradan götürür və narıncı xəttlərin intensivliyinin azalmasına gətirir.

ZnS:Cu təbəqələrinin elektrokimyəvi çökdürmə texnologiyası işlənmiş, alınmış təbəqələrin səthinin morfolojiyası, strukturu, müəyyənləşmiş, müxtəlif temperaturlarda termik emalın təsiri

öyrənilmişdir. Mis aşqarı olan sink sulfid birləşməsinin nazik təbəqələri məhluldan elektrolitik çökmə üsulu ilə alınmışdır. İşçi elektrod – kvarts altlığı və ya ITO-lu şüşədir ($\text{In}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$).

ZnS:Cu nazik təbəqələrin IQ-spektrində, müvafiq olaraq, su molekulların valent və deformasiya rəqslərinə aid olan, $3650\text{-}3100\text{ sm}^{-1}$ oblastında maksimumu 3420 sm^{-1} olan və $1550\text{-}1700\text{ sm}^{-1}$ oblastında maksimumu 1620 sm^{-1} olan udma zolaqları müşahidə olunur. Termik emal olunmuş nümunələrin IQ spektrində oksigenli aşqarlara aid udma zolaqları müşahidə olunmamışdır.

Buraxma və əksolunma əmsallarının spektral paylanmasına əsasən udma spektri və qadağan olunmuş zonanın eni təyin olunmuşdur.



Qrafik 1. ZnS:Cu təbəqələrinin termik tablamadan sonra buraxma və udma spektrləri $T, ^\circ\text{C}$: 200 (1,a), 300 (2,b), 400 (3,c), 500 (4)

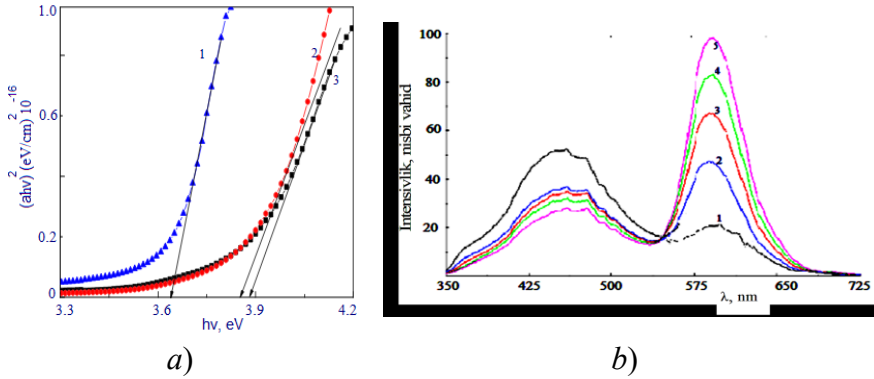
Məlum olduğu kimi, nanozərrəciklərin qadağan olunmuş zonanın eni kristalın qadağan olunmuş zonanın enindən, tədqiq olunan kristalın gətirilmiş kütləsindən və nanozərrəciklərin ölçülərindən asılıdır:

$$E_{g(nano)} = E_{g(krist.)} + \frac{\hbar^2\pi^2}{2m_r a^2} \quad (1)$$

Hesablamalar göstərir ki, ZnS:Cu parametrlərini nəzərə almaqla alınan hesablama qiyməti udma spektrində E_g üçün alınan qiymətlə ($3,65\text{-}3,78\text{ eV}$) uyğunluq təşkil edir.

ZnS:Mn nanozərrəciklərin udma və fotolüminessensiya (FL) spektrlərindən (qrafik 2) görüldüyü kimi, fotolüminessensiya

spektrləri nəinki optik udma kənarına uyğun şüalanır, həm də kəsilməz spektrə uyğun şüalanmanı əhatə edir. FL spektri $\lambda=460$ nm maksimumuna və nöqtəvi defektlərlə bağlı zəif maksimuma malikdir. FL spektri 2 zolaqdan ibarətdir ki, $\lambda=460$ nm – özü-özünə aktivləşmə şüalanmaya və $\lambda=585$ nm – Mn^{2+} şüalanmasına aiddirlər. FL spektrlərinin dəyişməsi göstərir ki, Mn-in molyar konsentrasiyası artdıqca, uzundalğalı zolağın intensivliyi artır. Müəyyən olunmuşdur ki, dimetilsulfoksidin konsentrasiyası artdıqca, lüminessensiya piklərinin intensivliyi artır, bu da zərrəciklərin ölçülərinin azalmasını göstərir.



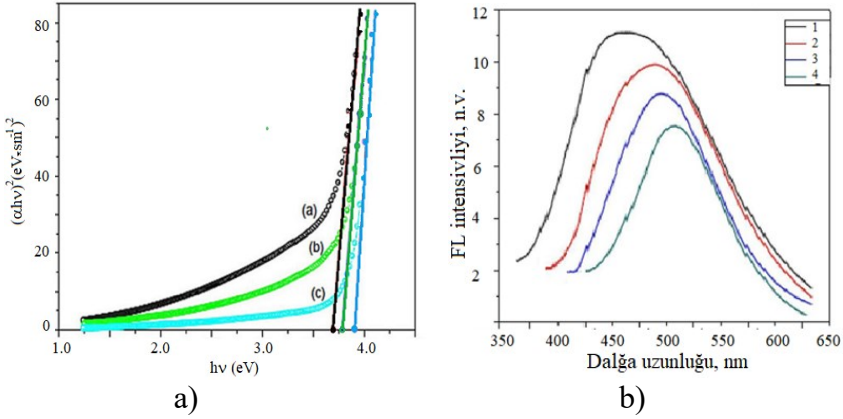
Qrafik 2. *a* – Şüşə altlığ üzərində ZnS:Mn təbəqələrin (1) və nanozərrəciklərin (2,3) udma spektri. *b* – Şüşə (1-3) və silisium (4, 5) altlığ üzərində ZnS:Mn təbəqələrin (1) və nanozərrəciklərin (2-5) fotolüminessensiya spektrləri.

ZnS və ZnS:Sn təbəqələri üçün optik udma spektri [udma (\square) dalğa uzunluğunun (λ) funksiyası kimi] tədqiq olunmuşdur. Udma əmsalı bütün dalğa uzunluğu diapazonu üçün Sn miqdarının artması ilə artır. Udmanın artması şəffaflığın azalması deməkdir ki, bu da Sn daxil olması səbəbindən qalınlığın artması ilə əlaqədar ola bilər. Qalayın miqdarının artması ilə (ZnS üçün ~ 1300 nm) təbəqələrin qalınlığı 1400 nm-ə qədər artır.

Qrafik 3a-da $(\alpha hv)^2$ -nin foton enerjisinin $h\nu$ funksiyası kimi qrafiki göstərilir. $(\alpha hv)^2$ asılılığının absis oxuna ekstrapolyasiyası

E_g qadağan olunmuş zolağın enini verir. Qadağan olunmuş zolağın eninə uyğun gələn kəskin udma kənarının dikliyi təbəqələrin yaxşı keyfiyyətə malik olduğunu göstərir. Qadağan olunmuş zolağın eni ZnS üçün $\sim 3,69$ eV-dən 5% Sn üçün $\sim 3,90$ eV-ə qədər artır və ZnS üçün mavi sürüşməni göstərir. Qalay sulfidinin qadağan olunmuş zolağın eni sink sulfidindən xeyli aşağıdır və buna görə də qalayın birləşməsi qadağan olunmuş zolağın eninin qırmızı sürüşməsinə səbəb olmalı idi. Beləliklə, təbəqələrin tərkibinin $\sim 5\%$ dəyişməsi qadağan olunmuş zolağın eninin bu qədər artmasına səbəb ola bilməz. Müşahidə olunan hissəciklərin ölçüləri ZnS-də Bor eksiton radiusundan qat-qat böyük olduğundan, kvant ölçü effekti tam şəkildə belə mavi sürüşmənin səbəbi deyil. Yeganə digər mümkün səbəb altıbucaqlı heksaqonal quruluşuna (100 müstəvisi) uyğun gələn əsas difraksiya pikinin nisbi intensivliyinin artması ola bilər. Nisbi intensivliyin bu cür artması daha nizamlı struktur və toplu qiymətə daha yaxın bir qadağan olunmuş zolağın eni deməkdir. Beləliklə, zonanın eninin böyüməsi altıbucaqlı vyursit strukturunun əsas difraksiya pikinin nisbi intensivliyinin artması nəticəsində struktur nizamının genişlənməsi ilə əlaqələndirilə bilər. Altıbucaqlı vyursit strukturunda qadağan olunmuş zolağın eni hətta $\sim 4,4$ eV-lik çox yüksək qiymətə çata bilər.

ZnS təbəqələrinin fotoluminessensiya (PL) spektrlərinin həyəcanlandırıcı şüanın dalğa uzunluğundan (λ_h) asılılığı tədqiq edilmişdir. Şəkil 3b müxtəlif həyəcanlanma dalğa uzunluğu (340-420 nm) üçün PL intensivliyi spektrinin dalğa uzunluğuna qarşı tərtib edildiyini göstərir. Həyəcanlandırıcı şüanın dalğa uzunluğunun artması ilə qırmızı yerdəyişmə müşahidə edilmişdir. Piklərin intensivliyi həyəcanlanma dalğasının uzunluğunun artması ilə azalır.



Qrafik 3. a– Şüşə altlıq üzərində ZnS (a), ZnS: Sn 2.5% (b) və ZnS: Sn - 5% (c) təbəqələrinin udma spektri. b –ZnS:Sn təbəqələrin (1) və nanozərrəciklərin (2-4) fotolüminessensiya spektrləri, həyəcanlandırıcı şüanın dalğa uzunluğu, nm:1-300, 2-320, 3-340, 4-380.

ZnS:Sn təbəqələrinin fotolüminessensiya (PL) spektrlərinin həyəcanlandırıcı şüanın dalğa uzunluğundan (λ_h) asılılığı tədqiq edilmişdir. Həyəcanlandırıcı şüanın dalğa uzunluğunun artması ilə qırmızı yerdəyişmə müşahidə edilmişdir ki, bu da eksiton şüalanması və onun fonon təkrarlayıcılarının verdiyi əlavələrlə bağlı ola bilər. Piklərin intensivliyi λ_h -ın artması ilə azalır.

Müxtəlif reagentlərdən kimyəvi və elektrokimyəvi üsulla alınmış ZnS nanoquruluşlu təbəqələrinin fotokeçiriciliyinin spektri və kinetikasi tədqiq olunmuşdur. Təbəqələr ZnCl₂-dən kimyəvi və elektrokimyəvi, Zn(NO₃)₂ məhlullarından İTO altlığına elektrokimyəvi, Zn(Ac)₂ məhlulundan İTO altlığında kimyəvi üsulla alınmışdır. Bütün təbəqələr üçün emal şəraiti eyni olduğundan (havada 20 dəq ərzində 400°C), müxtəlif təbəqələrin struktur və optik xassələri müqayisə və təhlil edilmiş. sabit və dəyişən fotocərəyan ölçmələri aparılmışdır.

Əsasən bütün təbəqələr sürətli bir fotocərəyan artımını və ardınca asta relaksasiyanı göstərir. Fotocərəyanın azalması da iki

komponentdən ibarətdir: sürətli düşmə və sonra asta xarakterli relaksasiya. Kimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınan ZnS təbəqələrində həm eksiton, həm də defektlərlə əlaqəli PL-ni göstərdiyi halda, elektrokimyəvi üsulla əldə edilən ZnS təbəqələrində həm udmada, həm də PL-də eksitonla əlaqəli dominant xüsusiyyətlər və defektlərin minimum təsiri müşahidə olunur. Buna görə də, keçici fotocərəyan reaksiyasının artma vaxtı oksigenin desorbsiyası ilə bağlıdır. Halbuki, foto cərəyanın sürətli düşməsi elektronların yüüklüyü və tətbiq olunan gərginliklə tərs mütənasib olan keçid vaxtı ilə bağlıdır. Asta relaksasiya prosesi səthdə oksigenlə əlaqəli deşik-tələ hallarının mövcudluğu ilə bağlı davamlı fotokeçiricilik effektlərinin nəticəsidir ki, bu da yükdaşıyıcıların rekombinasiyasının qarşısını alır və onların yaşama müddətini artırır. Bu nəticələr göstərir ki, ZnS-in fotocərəyan relaksasiyası onun struktur və səth xüsusiyyətləri ilə yanaşı, əsasən ZnS-nin TE prosesi ilə idarə olunan daxili defektləri ilə bağlı ola bilər.

Kimyəvi metodla çökdürmə prosesi zamanı Fe-la aşqarlanmış ZnS nazik təbəqələri üçün təbəqələrin qalınlığı 200 nm-dir və Fe klasteri kimi çöküntü yoxdur. Bir fazalı Fe qatqılı ZnS nümunəsi üçün temperaturdan asılı maqnitləşmə (M-T) əyrisi təbəqə müstəvisinə perpendikulyar tətbiq olunan maqnit sahəsi 1000 Oe(Ersted) olan SQUID maqnitometrindən istifadə etməklə ölçülür. Si altlığının böyük diamaqnit reaksiyasına münasibətdə nazik təbəqələrdən gələn maqnit signalını artırmaq üçün nisbətən böyük tətbiq olunan maqnit sahəsində ölçmələr aparılır. Ölçmələr də 3000 Oe-də aparılıb və temperaturdan asılılıq göstərilib.

Üçüncü fəsildə müxtəlif üsullarla hazırlanmış $Zn_{1-x}Cd_xS$ nazik təbəqələrinin struktur analizi və optik, fotokeçiricilik, lüminessensiya xassələri tədqiq olunmuşdur. $Zn_{1-x}Cd_xS$ nazik təbəqələri elektrokimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınmışdır. Bunun üçün $CdCl_2$ – kadmium xloridin, sink xloridin ($ZnCl_2$) və natrium tiosulfatın ($Na_2S_2O_3$) sulu məhlulu istifadə olunmuşdur. $ZnCl_2$ -in konsentrasiyası isə $Zn_{1-x}Cd_xS$ bərk məhlulunda sinkin miqdarından asılı olaraq dəyişib. Bu zaman çökmə potensialı və cərəyan sıxlığı müvafiq olaraq 0.65 ± 0.7 V və 20 ± 25 mA/sm² tərtibində saxlanılmışdır.

Elektrokimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınmış $Zn_{1-x}Cd_xS$ nazik

təbəqələrinin optik udma, fotokeçiricilik və lüminessensiya spektrləri ölçülmüşdür. Optik udma spektri KSVU-2 tipli kompleks universal optik sistemi vasitəsilə həyata keçirilmişdir. Fotokeçiricilik və lüminessensiya hadisələrinin təcrübi tədqiqində maye lazerdən (PRA, LN-107) istifadə olunmuşdur. Lazerin dalğa uzunluğunun dəyişmə oblastı (473 – 547) nm intervalı əhatə edir. Lazer impulsunun müddəti 3ns, gücü isə 12 MVt/sm² olmuşdur. Lazer şüalarının intensivliyi kalibrə olunmuş neytral filtrlər vasitəsi ilə dəyişdirilib. Elektrik və fotoelektrik ölçmələr nümunənin səthində vakuum çökdürmə üsulu ilə alınmış indium omik kontaktlar vasitəsi ilə aparılmışdır.

Zn_{1-x}Cd_xS nazik təbəqələrinin buraxma spektrləri də sinkin miqdarından asılı olaraq əhəmiyyətli dərəcədə dəyişikliklərə məruz qalır. Xüsusi müqavimətin, buraxma spektrinin yuxarıda qeyd olunmuş dəyişiklikləri, E_g-in x-dən asılılığı əsasında izah olunur.

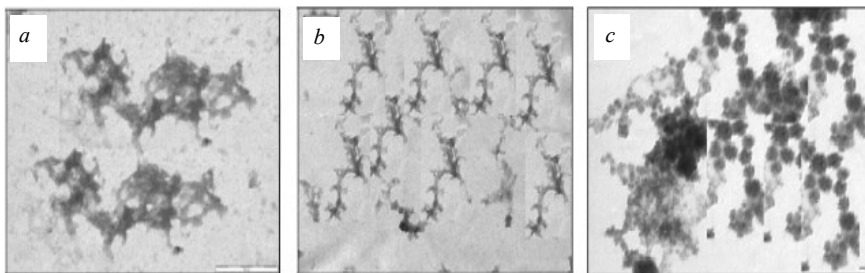
Zn_{1-x}Cd_xS nazik təbəqələrin fotolüminessensiya spektrləri əsasən, tərkib artdıqca yüksək enerjilər tərəfə sürüşən iki rekombinasiya xəttindən ibarətdir. Şüalanmanın qısdalğalı piki ancaq sinkin kiçik konsentrasiyasında müşahidə olunur (x= 0,9÷1,0). CdS (x=1) üçün qısdalğalı xətt sərbəst eksiton şüalanması ilə əlaqədardır. Sərbəst eksitonların ionlaşma enerjisi eksiton hallarının hidrogenəbənzər seriyasından təyin olunub və 10 meV-a bərabərdir.

Ablyasiya üsulu Nd: YAG (Laser Design, Almaniya) lazerin ikinci harmonikanın (532 nm) vasitəsilə həyata keçirilmişdir. Lazerin impulsları 1sm uzunluqlu, içində 3,5 ml həlledici olan küvetdə yerləşən yarımkeçirici nümunəyə fokuslanmışdır

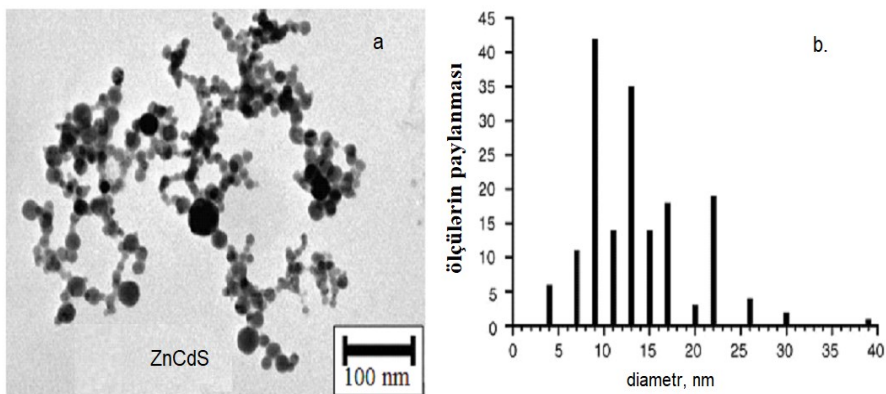
Ablyasiya zamanı aşağıdakı həlledicilər istifadə olunub: butanol-2-ol, polivinil spirti (PVS), polietilenqlikol (PEQ), distillə edilmiş su. Elektron mikroskop üçün alınan zərrəciklər maye şəklində karbon təbəqəylə örtülmüş mis torun üstünə yerləşdirilirdi. Sonra onlar, həlledici tam buxarlanana qədər, (Philips, 250 Vt) infraqırmızı lampa vasitəsi ilə qurudulurdu. Bu proses üç-dörd dəfə təkrarlanıb. Bundan sonra karbon torlar FX TEM Joel 2000 mikroskopuna yerləşdirilir. Görüntülər 200 kV sürətləndirici gərginlikdə alınıb.

Lazer ablasiya zamanı məhlulların rəngi açıq-bozdan şəffaf

rəngə dəyişir. $Zn_{1-x}Cd_xS$ nanozərrəciklərin udma spektrlərin müvafiq dəyişməsi qrafik 3-də göstərilmişdir. Bütün şərtlər şəkilaltı yazıda verilmişdir. Ablasyiyadan fərqli olaraq, udmanın dəyişmə sürəti kiçik olduğundan, burada lazerin tezliyi daha böyük götürülüb. Şəkildən göründüyü kimi, şüalandırılmış məhlullar görünən oblasta nisbətən daha çox UB oblastda udmaya malikdirlər. Deməli məhluldakı zərrəciklərin orta ölçüləri azalır. Udma spektrindən və TEM görüntülərindən məhluldakı zərrəciklərin orta ölçüləri $2,2 \pm 0,8$ nm olduğu tapılmışdır.



Şəkil 4. H₂O-da (a), PVS-də (b) və PEQ-də (c) ZnCdS dispersiyaların PEM-fotoları. $(CH_3COO)_2Cd$, Zn:Na₂S nisbəti: 1:1.



Şəkil 5 və qrafik 4. Butanol-2-ol məhlulunda alınmış $Cd_{1-x}Zn_xS$ nanozərrəciklərin TEM (a) və ölçülərin paylanma asılılığı (b).

Yaxın və uzaq UB-oblastda udma spektrləri 200-900 nm intervalında spektrofotometr vasitəsi ilə optik yolun uzunluğu 1-10 mm olan kvars küvetlərdə ölçülmüşdür. CdS zərrəciklərin orta radiusu udma spektrlərindən udma kənarına görə (Urbax kənarı), qadağan olunmuş zonasının eninin (ΔE_g) həcmə nisbətən dəyişməsindən hesablanmışdır. Zərrəciklərin ölçüləri CM12 (Philips) elektron mikroskopu vasitəsi ilə təyin olunmuşdur.

Yuxarıda qeyd olunan üsulla üç həlledicidə kolloid məhlullar seriyası alınmışdır. Su yüksək $\epsilon=78$ olan yüksəkpolyarlı proton həlledicidir və $A^{II}B^{VI}$ qrupun KN-nə stabilləşdirici xüsusiyyətlərini tətbiq edə bilmir. PVS polimerləşməyə qadir deyil, bu da sintez olunan kolloidlərin zamanla stabilliyini qiymətləndirməyə imkan verir. Yuxarıda göstərilən üsulla sintez olunmuş ZnCdS nanozərrəciklərin kolloid məhlulları stabil olmuşlar və onları qaranlıqda bir neçə sutka saxlandıqdan sonra onların optik xassələrin dəyişməsi yox idi. Məhlulları şüalandırdıqdan sonra bütün həlledicilərdə zərrəciklərin fotokorroziyası müşahidə olunub. ZnCdS/H₂O kolloid məhlullarını 7 sutka saxladıqdan sonra, ZnCdS zərrəciklərin çöküntüsü baş verir. Mexaniki qarışdırandan sonra zərrəciklər həcmdə bərabər paylanır və dispersiya uzun müddət stabil qalır. Bu ondan dəlalat edir ki, ZnCdS/H₂O kolloid məhlulları daha çox koagulyasion dayanıqlığa malikdirlər.

Müxtəlif həlledicilərdə ZnCdS nanozərrəciklərin udma spektrləri verilmişdir. Reagentlərin müxtəlif konsentrasiya miqdarları üçün udma spektrlərinin analizindən məlum olur ki, kadmium, Zn və S prekursorların ekvimolyar nisbətində $(CF_3COO)_2Cd,Zn:H_2S$, onların tam qarşılıqlı təsiri olmur. Beləliklə, ZnCdS yaranan KN ilə yanaşı reaksiyaya daxil olmayan Cd, Zn asetatları qalır. Kadmium üçün kükürd ionlarının dördqat artığı, həlledicilərdə yüksək konsentrasiyada hissəciklərinin formalaşmasına səbəb olur. Udma spektrində birinci eksiton pikinin forması qeyd etməyə imkan verir ki, kadmium artıqlığı olan hala nisbətən kükürd izafi olan halda sistemdə PVS zərrəcikləri daha monodispersdilər, bununla yanaşı udma kənarı sürüşmüş və zərrəciklərin ölçüləri sabitdir. Kükürd artıq olan halda udma zolağının maksimumu cüzi olaraq uzundalğalı oblasta sürüşür, bu da

nanozərrəciklərin cuzi böyüməsindən xəbər verir. KN-in sintezi zamanı, suda ən böyük polidispers zərrəciklər formalaşır – eksiton pikinin maksimumu bir mənalı deyil və 370 nm oblastında yerləşir.

Udma spektrlərindən ZnCdS zərrəciklərin orta diametri hesablanmışdır. PVS və PEQ zərrəciklərin diametri təxminən 5 nm təşkil edib və demək olar ki, çökdürənin prekursa nisbətindən asılı deyil. ZnCdS/H₂O sistemi üçün hidrogen-sulfidin konsentrasiyası artdıqca ölçüləri 5,5-dən 8,0 nm olan daha böyük zərrəciklər formalaşır. Udma spektrlərindən hesablanan zərrəciklərin diametrinin nəticələri PEM nəticələri ilə yaxşı uyğunlaşır.

CF₃COO⁻ və NaS⁻ ionları adsorbsiya olunmuş ayrı-ayrı zərrəciklərin birləşməsi. ZnCdS ən böyük aqlomeratı (1 mkm-ə qədər) PEQ monomerində müşahidə olunur, bu da yəqin ki, mühitdə polimer zəncirlərinin mövcudluğu ilə bağlıdır.

Dispersiyaların şüalanma xassələrinin tədqiqi göstərir ki, PVS / ZnCdS və PEQ / ZnCdS fluorensensiya spektrlərində zonalar arası keçidlə bağlı olan zolaq yoxdur və 400-700 nm diapazonunda geniş zolaq müşahidə olunur. Şüalanma, ZnCdS kristallik qəfəsinin defekt səviyyələrdən şüalanma relaksasiyasından və zərrəciklərin səthində adsorbsiya olunmuş CF₃COO⁻ və NaS⁻ ionların təsiri nəticəsində baş verən «səth lüminessensiyaya» aiddir. ZnCdS/H₂O sistemində flüoressensiya müşahidə olunmayıb.

Buna bir neçə səbəb ola bilər, məsələn, flüoressensiyayı söndürən CdS aşqarları. ZnS üçün ZnCdS-ə analogi olan dispersiyanın udmasının intensivliyinin prekursorların konsentrasiyasının nisbətindən asılılığı müşahidə olunur. Zərrəciklərin ölçülərinin hidrogen-sulfidin konsentrasiyasının artmasından asılılığı da müşahidə olunmayıb.

Işığın dinamik səpilmə üsulundan alınan nəticələrə görə, CdS-dən fərqli olaraq, bütün dispersiyalarda ZnS-in KN iri aqlomeratlar əmələ gətirmirlər. PVS və PEQ-də ZnS-in KN-də yaxın UB- və spektrin görünən diapazonunda (350-500 nm) şüalanma müşahidə olunur və spektrdə həm zonalar arası keçidlə bağlı və zərrəciklərin ölçülərindən asılı olan «həcmi», həm də deffektlərlə bağlı «səthi» fluorensensiya birüzə verir.

IV Fəsildə öyrənilən p-Si/Zn_{1-x}Cd_xS hetero keçid «sendviç»

strukturuna malikdir. Onların alınmasında (001) oxu istiqamətində yönəlmiş 0,4-0,5 mm qalınlıqlı monokristallik Si təbəqəsi altlıq (katod) kimi istifadə olunub. p-Si xüsusi müqaviməti 8-20 Om·sm təşkil edib. Anod kimi molibden çubuqlardan istifadə olunub. Sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyası təbəqənin faiz tərkibindən asılı olaraq $(0.2 \div 8) \times 10^{16} \text{sm}^{-3}$ təşkil edib. Omik kontakt kimi gümüş pastası və metallik indium istifadə olunmuşdur.

Termik emal açıq havada $t=100-500^\circ\text{C}$ temperaturda $\tau=0 \div 20$ dəqiqə ərzində baş verib. Açıq havada 12 dəqiqə ərzində 400°C -də termik tablamaya məruz qalmış heteroquruluşlar üçün açıq dövrə gərginliyi və qısa qapanma cərəyanı üçün, müvafiq olaraq $V_{a.d.}=0,6$ V və $I_{q.q.}=23 \text{mA/sm}^2$ qiymətləri alınmışdır.

p-CdTe/n-Zn_{0,5}Cd_{0,5}S heteroquruluşunun yarımloqarifmik koordinatlarda VAX xətti asılılığa tabe olur ki, bu da cərəyanın gərginlikdən asılılığının eksponensial qanunla təsvir olunduğunu göstərir. Müxtəlif temperaturalarda ölçülmüş $I(V)$ volt-ampere xarakteristikalarının xətti hissəsinin gərginlik oxuna ekstrapolyasiyasından ϕ_0 potensial çəpərin hündürlüyünün qiyməti təyin olunmuşdur. $\phi_0 = qV_{bi}$, V_{bi} - kontakt potensialları fərqidir.

Heteroquruluşun volt-ampere xarakteristikası ardıcıl müqavimətin təsirini nəzərə almaqla təsvir olunmuşdur (Qrafik 5a). VAX-xətlərinin meylinin temperaturdan asılı olmadığını və metallurji sərhəddə səht hallarının yüksək konsentrasiyasının yüksək qiymətə malik olduğunu nəzərə alaraq, cərəyankeçmənin çoxpilləli tunel-rekombinasiya mexanizminin üstünlük təşkil etdiyini qəbul etmək olar. Bu halda:

$$I = B \exp\{-\alpha[\phi_0(T) - q(V - IR_s)]\},$$

$\alpha = 8.1 \text{eV}^{-1}$, VAX-ın xətti hissələrinin meylinə tapılır. B əmsali aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$B = \exp[\ln I_0 + \alpha\phi_0(T)],$$

burada $\ln I_0$ qiymətləri VAX -ın xətti hissələrinin cərəyan oxu ilə kəsişməsindən götürülür.

Analiz göstərir ki, gərginliyin $0.12 < |U| < 0.7\text{V}$ əksinə cərəyan

$I_{rev}(V)$ Frenkel-Pul emissiyası modeli əsasında yaxşı izah olunur. Bu halda səht halları tərəfindən tutulan yükdaşıyıcıların elektrik sahəsinin təsiri ilə elektrik sahəsinin köməyi ilə həcmi yüklər oblastında elektrik sahəsinin intensivliyinin tətbiq olunan gərginlikdən asılılığı asanlaşan termik həyəcanlaşması baş verir. Həcmi yüklər oblastında güclü daxili sahənin olması kontakt potensiallar fərqi böyük qiyməti ilə təsdiq olunur. ($U_{bi}=0.97V$). Asimmetrik heteroqəçidin həcmi yüklər oblastında elektrik sahəsinin intensivliyinin tətbiq olunan gərginlikdən asılılığı - $E(V)$ verilmişdir. heteroqəçidin həcmi yüklər oblastında elektrik sahəsinin intensivliyi aşağıdakı ifadəyə görə hesablanmışdır:

$$E = \frac{V_{bi}-V}{W} = \sqrt{\frac{q N_A (V_{bi}-V)}{2 \epsilon \epsilon_0}}$$

W — həcmi yüklər oblastının eni, ϵ_0 — dielektrik sabiti. Əksinə cərəyanın gərginlikdən asılılığı

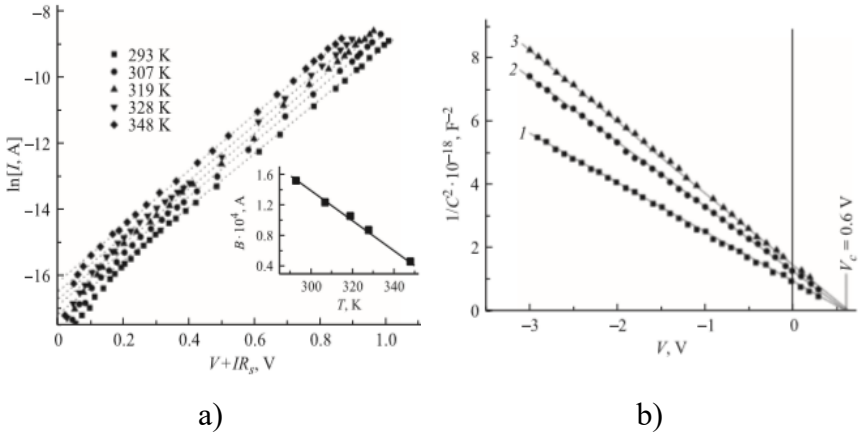
$$I_{\text{əks}} = \alpha |V| \exp(2\beta \sqrt{|V|/T})$$

ifadəsi ilə verilir. β — sabit kəmiyyətdir. Əksinə cərəyanın gərginlikdən asılılığının $0.12 < |V| < 0.7$ V intervalında $\ln(I_{\text{obr}}) = f(|V|^{1/2})$ koordinatlarında qurulmuş qrafikləri şəkildə təsvir olunmuşdur. Əksinə istiqamətdə tunel cərəyanının gərginlikdən asılılığı

$$I_{\text{əks}} = \alpha_0 \exp\left(\frac{b_0}{\sqrt{\varphi_0(T) - qV}}\right)$$

İfadəsi ilə verilir, burada a_0 — energetik səviyyələrin dolma ehtimalı ilə təyin olunan parametrdir, b_0 kəmiyyəti cərəyanın gərginlikdən asılı olaraq dəyişmə sürətini təyin edir. Bu tənləyə görə $\ln(I_{rev}) - (\phi_0 - qV)^{-1/2}$ asılılığının $0.75 < |U| < 1.8$ V intervalda xətti qanuna tabe olması tunel mexanizminin üstünlük təşkil etdiyini göstərir. $\ln(a_0) = f(10^3/T)$ asılılığının meylinə görə yapışma mərkəzinin energetik dərinliyi təyin olunmuşdur - 0.13eV.

p-CdTe/*n*-Zn_{0.5}Cd_{0.5}S heteroqəçidinin otaq temperaturunda təsiredici siqnalın müxtəlif tezliklərinə volt-farad xarakteristikası $C^{-2}(V)$ koordinatlarında xətti olması kompensə olunmayan akseptor mərkəzlərinin həcmi yüklər oblastında kəskin paylanmasını göstərir (Qrafik 5b).



Qrafik 5. *p*-CdTe/*n*-Zn_{0.5}Cd_{0.5}S heteroqəçidinin VAX-ın müxtəlif temperaturlarda düzünə qolları və *B* əmsalının temperatur asılılığı (a). *p*-CdTe/*n*-Zn_{0.5}Cd_{0.5}S heteroqəçidinin dəyişən siqnalın 10 (1), 20 (2), 30 kHs (3) tezliklərində volt-farad xarakteristikası (b).

Kontakt potensiallar fərqi volt-farad xarakteristikasından alınan qiyməti volt-ampere xarakteristikasından alınan qiymətlərdən kiçikdir və praktiki olaraq tezlikdən asılı deyil. Bu mənzərə Donelli və Milns tərəfindən təklif olunmuş heteroqəçidin metallurji sərhədində lokallaşmış elektrik yüklərinin təsirini nəzərə alan model əsasında yaxşı izah olunur.

$$V_c = V_{bi} - \frac{Q_{ss}^2}{2q(\epsilon_p N_a + \epsilon_n N_d)}$$

Burada $Q_{ss} = qN_{ss}$ - keçid sərhədində toplanan yükün miqdarı kontakt potensiallar fərqi volt-ampere xarakteristikasından alınan qiyməti azaldır.

Tədqiq olunan p-CdTe/n-Zn_{0.5}Cd_{0.5}S strukturunun elektrik xassələri, ikiqat ionlaşmış kadmium-sink vakansiyalarının və donor tipli aşqarların daxil olduğu $(V^{-2}_{Cd,Zn} - D^+)^-$ mürəkkəb defektlərlə təyin olunur.

İşdə p-CdTe altlıq üzərində Zn_{1-x}Cd_xS nazik təbəqələri çökdürməklə p-CdTe/CdS/Zn_{1-x}Cd_xS heterostrukturun alınma texnologiyası hazırlanmışdır.

Stasionar VAX əsasında aparılan ölçmələrdən müəyyən olunub ki, bütün tədqiq olunan p-CdTe/CdS/Zn_{1-x}Cd_xS heteroqeyidləri düzləndirici diod xüsusiyyətlərinə malikdirlər. Düzləndirmə əmsalının maksimal qiyməti ($k = 1200 \div 1300$) 300 °C-də 6 – 7 dəqiqə ərzində açıq havada termik emaldan sonra müşahidə olunur. Bu halda strukturların şuntlayan müqaviməti kəskin azalır ($3 \cdot 10^4$ -dən 280 Om-a qədər), bu da kontaktda olan təbəqələrin intensiv kristallaşmasını və keçidin formalaşmasını göstərir. Lakin, daha uzunmüddətli termik emal ($t \geq 350^\circ\text{C}$, $\tau = 10 \div 15$ dəq) düzləndirmə əmsalının qiymətinin azalmasına səbəb olur. VAX-da 0,6V gərginlik oblastında olan eksponensial hissəsi, kifayət qədər yaxşı aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$I = I_0 \exp(eU / \beta kT)$$

burada $\beta = 1.2 - 2$. Temperatur azaldıqca, bu hissənin qiyməti azalır, bu da həcmi yüklər oblastında qenerasiya-rekombinasiya proseslərin mövcudluğunu göstərir. VAX-ın ikinci hissəsi aşağıdakı qanuna tabedir:

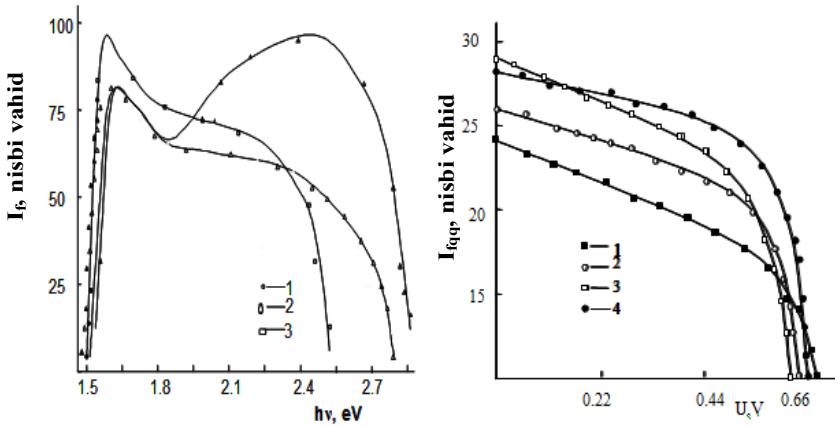
$$I = I_0 [\exp(A(U - I'R)) - 1],$$

burada R – baza hissəsinin müqavimətidir. Müxtəlif temperaturalarda VAX-ın ikinci hissəsinin meyilliyi praktiki olaraq dəyişmişir. I_0 – doyma cərəyanıdır və temperaturdan praktiki olaraq eksponensial asılıdır, bu da yüksək gərginliklərdə keçiddə tunel cərəyanlarının mövcudluğunu göstərir. Tədqiq olunan strukturların VAX-ın ayrı-ayrı hissələrinin analizi göstərir ki, yükdaşıyıcıların tunellənməsi bütün heterosərhəd boyunca deyil, ancaq müəyyən dar kanallardan baş verir. Bunun səbəbi, tədqiq olunan

heterostrukturların ayırma sərhəddində səth yüklərinin mövcudluğudur.

Əks istiqamətdə kiçik gərginliklərdə ($U \leq 2.3 \div 3$ V) VAX xətti qanuna tabedir, yüksək gərginliklərdə isə keçidin yumşaq deşilməsi əks cərəyanının tunel mexanizmi üzrə baş verdiyinə dəlalət edir. VAX-ın xətti hissəsinə görə təyin olunan doyma cərəyanı 10^{-8} A/sm² tərtibindədir. Heterokeçiddə tutumun gərginlikdən $C^{-2} = f(U)$ xətti asılılığı müşahidə olunur ($U_d = 0.65 \div 0.67$ V) bu da kəskin heterokeçidin formalaşdığını göstərir.

Qrafik 6 –da 300°C və $\tau = 15$ dəqiqə ərzində termik işləməyə məruz qalmış strukturların fotocərəyanın spektrləri (a) və işıq VAX-ı (b) göstərilmişdir.



Qrafik 6. p-CdTe /CdS/Cd_{1-x}Zn_xS (x: 1-0.1, 2-0.4, 3-0.6) strukturların qısa qapanma cərəyanının spektral paylanması (b) (x: 1-0.1, 2-0.4, 3-0.6) və işıq VAX-ı (a) (x: 1-0.1, 2-0.4, 3-0.6, 4-0.8)

$W = 100$ Vt/sm² işıqla işıqlandırdıqdan sonra, termik emala məruz qalmış strukturlar aşağıdakı fotoelektrik parametrlərə malik olublar: $J_{cqp} \approx 29.5$ mA/sm², $U_{bg} \approx 0.658$ V, $\eta = 12$ %. Beləliklə, işdə inkişaf etdirilmiş Zn_{1-x}Cd_xS təbəqələrini elektrokimyəvi üsulla alınma texnologiyası, p-CdTe/CdS/Zn_{1-x}Cd_xS heterokeçidlərini almaq imkanı yaradır.

NƏTİCƏ

1. ZnS əsaslı nanoquruluşlu təbəqələrin yüksək həssaslığa malik olması üçün məhlulların tərkibi, optimal çökdürmə və termik emal şəraiti müəyyən edilmiş; tətbiq olunan metodla alınan təbəqələrin ümumi və xarakteristik xüsusiyyətləri müəyyən olunmuşdur.

2. Elektrokimyəvi metodla alınmış ZnS:Cu nanoquruluşlu təbəqələrinin udma spektrindən qadağan olunmuş zolağının eni qiymətləndirilmişdir (3,6-3,78eV).

3. ZnS:Mn nanoquruluşlu təbəqələrinin fotolüminessensiya intensivliyi nanohissəciklərin ölçüsünün kiçilməsi ilə artır 7-20 nm ölçülü polidispers ZnS:Mn nanohissəciklərinin qadağan olunmuş zonasının eni 3.6 eV-dan 3.9 eV-a qədər artmışdır.

4. Kimyəvi üsulla alınmış nanoquruluşlu ZnS:Sn təbəqələrində yaşıl rəngli lüminessensiya, ZnS:Fe təbəqələrinin isə maqnit xüsusiyyətə malik olması aşkar olunmuşdur.

5. Lazer ablyasiyası metodu ilə alınmış $Zn_{1-x}Cd_xS$ təbəqələrinin fotolüminessensiya spektrinin lazer şüasının intensivliyi və səthə düşən impulsların sayından əhəmiyyətli dərəcədə asılı olduğu aşkar edilmişdir.

6. Elektrokimyəvi çökdürmə metodu ilə alınmış $Zn_{1-x}Cd_xS$ nazik təbəqələrinin elektrik keçiriciliyinin və E_g -nin fotokeçiriciliyin və fotolüminessensiya xassələrinin sinkin miqdarından, eləcə də nanozərrəciklərin ölçülərindən asılılıq qanunauyğunluqları müəyyən edilmişdir.

7. Elektrokimyəvi üsulla alınmış $Si/Zn_{1-x}Cd_xS$ heteroquruluşlu qatın açığa çıxardığı qısa qapanma cərəyanının ($I_{q,q}$) termik emal temperaturu və müddətindən asılılığı qeyri-monoton xarakter daşıyır və açığa havada 12 dəqiqə ərzində 400°C-də termik emaldan sonra $V_{a.d.}=0,65$ V və $I_{q,q.}=28$ mA/sm² təşkil edir.

8. Elektrokimyəvi metodla alınmış p-CdTe/Cd_{1-x}Zn_xS heterostrukturunun əksinə istiqamətdə cərəyanı Frenkel-Pul emissiyası modeli əsasında, Volt-Farad Xarakteristikası isə Donelli və Milns tərəfindən təklif olunmuş model əsasında izah olunur.

9. p-CdTe/CdS/Zn_{1-x}Cd_xS strukturunda aralıq CdS təbəqəsindən ibarət buffer qatı bu heterostrukturların cərəyankeçmə mexanizmində tunel cərəyanının rolunu azaldır. Düzləndirmə əmsalı $k=1200$ təşkil edir.

Dissertasiya işinə aid çap olunan məqalələr:

1. Джафарли, Р.С. Оптические и фотоэлектрические свойства тонких пленок Cd_{1-x}Zn_xS полученных методом химической пульверизации // Magistrantların və Gənc Tədqiqatçıların Fizika və Astronomiya Problemləri VIII Respublika Elmi Konfransının Materialları. – Bakı: 17 may BDU, – 2013, – s. 68-69.
2. Джафарли, Р.С. Фотоэлектрические свойства солнечных преобразователей CuInSe₂/Cd_{1-x}Zn_xS // Fizikanın Aktual Problemləri Beynəlxalq Elmi konfransının Materialları. – Bakı: 6 dekabr BDU, – 2013, – s. 171-174.
3. Jafarov, M.A., Nasirov, E.F., Jafarli, R.S. Generation of Cd_{1-x}Zn_xS nanoparticles by laser ablation in liquids // – California, United States: Proc. SPIE 9170, – 2014. Nanoengineering: Fabrication, Properties, Optics and Devices, XI, – p. 9170151-9170155.
4. Джафаров, М.А., Джафарли, Р.С. Тонкие пленки Cu₂ZnSnS₄, полученные методом электроосаждения // Ультрамелкозернистые и наноструктурные материалы. – Уфа: 6-10 Октябрь, – 2014, – с.37.
5. Jafarov, M.A. Al/CZTS/ZnS solar cells / M.A. Jafarov, E.F. Nasirov, S.A. Jahangirova [et al.] // International Journal of Engineering Research and General Science, – 2015, – p.21-25.
6. Jafarov, M.A. Nano-ZnS thin films for solar cell / M.A. Jafarov, E.F. Nasirov, S.A. Jahangirova [et al.] // Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics, – 2015. – p.644-649.
7. Jafarov, M.A. Photoelectric properties of thin film Si/Cd_{1-x}Zn_xS heterojunctions / M.A. Jafarov, E.F. Nasirov, S.A. Jahangirova [et al.] // International Journal of Engineering Research and

- General Science, – 2016. – p.174-180.
8. Кязым-заде, А.Г. Фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии CdTe/CdS/CdZnS / А.Г. Кязым-заде, В.М. Салманов, М.А. Джафаров [и др.] // Bakı Universiteti Xəbərləri, Fizika-riyaziyyat elmləri seriyası, – 2016. – №2, – с. 126-137.
 9. Dzhafarov, M.A., Nasirov, E.F., Jafarli, R.S. Synthesis and Optical Properties of Nanostructured ZnS:Mn Films // – Nanotechnologies in Russia, – 2016. – p.344-348.
 10. Dzhafarov, M.A., Nasirov, E.F., Jafarli, R.S. Preparation and Optical Properties of Nanostructured ZnS:Cu films // – Glass Physics and Chemistry, – 2016. – p.421-425.
 11. Kyazym-zade, A.G. Specific Features of ZnCdS Nanoparticles Synthesized in Different Solvents / A.G. Kyazym-zade, M.A. Jafarov, E.F. Nasirov[et al.] // Semiconductors, – 2017. –p. 454-457.
 12. Jafarov, M.A. Nanostructured Zinc Sulphide thin Films / M.A. Jafarov, E.F. Nasirov, S.A. Jahangirova [et al.] // International Journal of Scientific and Engineering Research, – 2015, – p.1268-1279
 13. Cəfərli, R.S. Sn-lə aşqarlanmış ZnS nazik təbəqələrinin optik xassələri // – Bakı: Azərbaycan AMEA Fizika İnstitutu Azərenerji ASC AZ. ET və Layihə-Axtarış Energetika İnstitutu, Energetikanın Problemləri, – 2022. №3, – s. 65-68.
 14. Jafarli, R.S. Photoconductivity of ZnS Thin Films Deposited by Solution-Processing Techniques // – Bakı: Bakı Universitetinin Xəbərləri, Fizika-riyaziyyat elmləri seriyası, – 2022. №2, – s.180-188.

Dissertasiyanın müdafiəsi 09 fevral 2024-cü il tarixində saat 15⁰⁰-da Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən BFD 2.19 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1148, Bakı ş., Z. Xəlilov küç. 23, Bakı Dövlət Universiteti, Əsas bina.

Dissertasiya ilə Bakı Dövlət Universitetinin Elmi Kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Bakı Dövlət Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 08 anvar ~~20~~-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 28.12.2023

Kağızın formatı: A5

Həcm: 37420

Tiraj: 100