

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI TƏHSİL NAZİRLİYİ

BAKİ DÖVLƏT UNİVERSİTETİ

Əlyazma hüququnda

ALİM DİNÇER

**NANOHISSƏCİKLİ $GaSe<B,Er,Dy>$ NAZİK TƏBƏQƏLƏRİNİN
ELEKTROOPTİK XASSƏLƏRİ**

2222.01 – Nanoquruluşların fizikası və texnologiyası

**Fizika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın**

A V T O R E F E R A T I

Bakı-2017

**İş Gəncə Dövlət Universitetinin “Fizika” kafedrasında yerinə
yetirilmişdir.**

Elmi rəhbərlər:

**prof.V.M. Salmanov
prof .M. Karabulut**

Rəsmi Opponentlər:

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor **S.İ. MEHDİYEVA**

Fizika elmləri doktoru,
professor **M.A. MUSAYEV**

Aparıcı təşkilat:

**Azərbaycan Texniki Universiteti
(Fizika kafedrası və Nanostrukturların
Fizikası və Texnikası elmi-tədqiqat
laboratoriyası)**

**Müdafiə “ 30 ” May 2017-ci ildə saat 14:00 Bakı Dövlət Universiteti
nəzdində fəaliyyət göstərən D.02.012 Dissertasiya Şurasının iclasında
keçiriləcəkdir.**

Ünvan: AZ 1148, Bakı şəh., Z.Xəlilov küç., 23, Bakı Dövlət Universiteti,
əsas korpus, 437 saylı auditoriya.

Dissertasiya işi ilə Bakı Dövlət Universitetinin Elmi Kitabxanasında tanış
olmaq olar.

Avtoreferat “ 26 ” Aprel 2017-ci ildə göndərilmişdir.

D.02.012 Dissertasiya Şurasının

Elmi katibi f.-r.e.n.

dos.M.R. RƏCƏBOV

Mövzunun aktuallığı. A^3B^6 yarımkeçirici birləşmələri, xüsusi ilə bu birləşmələrin ən parlaq nümayəndəsi olan GaSe kristalları, uzun müddətdir ki, fiziklərin intensiv tədqiqat obyektinə çevrilmişdir. Bunun əsas səbəbi bu kristalların laylı quruluşu və unikal fiziki xassələrə malik olmalarıdır. Hələ 1965 –ci ildə dünya şöhrətli alim H.B. Abdullayevin rəhbərliyi ilə GaSe kristallarında sürətli elektronların təsiri ilə lazer effekti müşahidə olunmuşdur. Laylar arasında zəif Van-der-Vaals, lay boyunca kovalent rabitənin mövcudluğu onlarda anizotrop yarımkeçiricilərə xas olan bir sıra yeni fiziki hadisələrin meydana gəlməsinə səbəb oldu. GaSe kristallarının böyük qeyri-xətti nüfuzluq əmsalına malik olması, fundamental udma kənarında optik keçidlərin böyük əlaqə enerjisinə malik olan (~ 20 meV) eksitonlarla baş verməsi, qadağan olunmuş zolağının eninin müasir lazerlərin tezliyinə uyğun gəlməsi onları kvant elektronikasının, xüsusi ilə qeyri-xətti optikanın əsas elementlərindən birinə çevirdi. Təsadüfi deyildir ki, GaSe kristallarında bir sıra qeyri-xətti optik effektlər kəşf edilmişdir: harmonikaların generasiyası, çoxfotonlu udma hadisəsi, optik bistabillik, işığın parametrik çevrilməsi, lazer şüalarının, o cümlədən teraherst şüalarının generasiyası, optik modulyatorlar, qəbuledicilər və s.

Son illər yarımkeçirici nanohissəcikli nazik təbəqələrin meydana gəlməsi GaSe kristallarına olan marağı daha da artırdı. Gözləmək olardı ki, unikal fiziki xassələrə malik olan GaSe kristalları nazik təbəqə və nanohissəciklər halında bir sıra mövcud olan fiziki hadisələrin və kvant ölçülü effektlərin tədqiqində daha böyük əhəmiyyət kəsb edəcəklər. Bizim və digər tədqiqatçıların apardığı elmi tədqiqat işləri bu mülahizənin doğru olduğunu təsdiq etdi. Hal-hazırda Günəş enerji çeviriciləri Si kristalları əsasında hazırlanır. Ancaq bu kristallarda kənar aşqarlar mövcud olduğundan onların effektivliyi məhduddur. Bir çox yarımkeçiricilərin kimyəvi təmizlənməsi bəzi bəzi gəlmişdən, nanotexnologiya üsullarından istifadə edilir. Əgər maddənin ölçüləri nanohissəciklərə qədər kiçilə bilərsə, onun ancaq bir hissəsində aşqarların olduğu halda, əksər hissəsi kimyəvi təmiz olacaqdır. GaSe kristallarının səthində yarımçıq kimyəvi əlaqələrin sıxlığının son dərəcə az olması ($\sim 10^{10} \text{ cm}^{-2}$) onların təbii güzgü səthinə malik olmalarına gətirib çıxardı. Bu da GaSe nanozərrəcikləri əsasında işıq diodları, Günəş enerji çeviriciləri, kvant nöqtəsində lazer, ifrat sürətli, miniatur integral sxemlərin hazırlanmasına imkan verəcəkdir.

Dissertasiya işinin məqsədi kimyəvi çökdürmə üsulu ilə nanohissəcikli $\text{GaSe} < \text{B}, \text{Er}, \text{Dy} >$ nazik təbəqələrinin alınması, onların müasir tədqiqat üsulları ilə səth morfologiyasının və quruluşunun

öyrənilməsi, alınan nümunələrə bor, disprozium və erbium aşqarları daxil etməklə elektrooptik xassələrinin tədqiq edilməsi və praktik tətbiq olunma imkanlarını müəyyənləşdirməkdən ibarətdir.

Qarşıya qoyulan məqsədə nail olmaq üçün:

- Modifikasiya olunmuş kimyəvi çökdürmə üsulu ilə GaSe və B, Dy, Er atomları ilə aşqarlanmış GaSe nazik təbəqələrinin və nanohissəciklərinin alınma üsulları işlənib hazırlanmış;
- $\text{GaSe} < \text{B}, \text{Dy}, \text{Er} >$ nanozərrəciklərinin müasir tədqiqat üsulları olan Rentgen Şüalarının Difraksiyası (XRD), Atom Qüvvə Mikroskopu (AQM), Skanedic Elektron Mikroskopu (SEM) və Rentgen Şüalarının Dispers Enerji Spektroskopiyası (EDAX) vasitəsilə səth morfologiyası və quruluşu öyrənilmiş, nanozərrəciklərin ölçüləri müəyyən edilmiş;
- $\text{GaSe} < \text{B}, \text{Dy}, \text{Er} >$ nanozərrəciklərinin optik udma spektrləri ölçülmüş, optik keçidlərinin mexanizmləri araşdırılmış və nümunələrin qadağan olunmuş zolağının eni müəyyən edilmiş;
- GaSe nanozərrəciklərində kvantölçülü effekt tədqiq olunmuş və qadağan olunmuş zolağın eninin zərrəciklərin ölçülərindən asılılığı müəyyən edilmiş;
- GaSe və $\text{GaSe} < \text{B}, \text{Dy}, \text{Er} >$ nazik təbəqələrinin və nanozərrəciklərinin volt-ampere xarakteristikaları müxtəlif temperatur və işıqlanma şəraitində öyrənilmiş;
- GaSe və $\text{GaSe} < \text{B}, \text{Dy}, \text{Er} >$ nazik təbəqələrinin və nanozərrəciklərinin fotokeçiriciliyinin müxtəlif temperaturda spektral asılılığı təcrübə olaraq ölçülmüş, impuls lazeri vasitəsilə fotokeçiriciliyin relaksasiyaya ayrılması alınmış;
- Lazer şüalarının təsiri ilə GaSe nazik təbəqələrinin kəsilməz spektrində “dərini eksiton”larla bağlı rekombinasiya şüalanması aşkar edilmişdir.

İşin elmi yeniliyi.

- İlk dəfə olaraq kimyəvi çökdürmə üsulu ilə GaSe birləşməsinin və onun B, Er, Dy elementləri ilə aşqarlanmış nanozərrəciklərin alınmasının optimal texnologiyası işlənmişdir. GaSe , $\text{GaSe} < \text{B} >$, $\text{GaSe} < \text{Er} >$, $\text{GaSe} < \text{Dy} >$ nanozərrəciklərinin həndəsi ölçülərinin onların alınma texnologiyasının rejimindən, kation və anion məhlullarının ion aktivliyindən asılılıqları müəyyən edilmişdir;
- GaSe və $\text{GaSe} < \text{B}, \text{Er}, \text{Dy} >$ nanozərrəciklərinin rentgen şüalarının difraksiyası (XRD), atom qüvvə mikroskopu (AQM), rentgen

şüalarının dispers enerji spektroskopiyası (EDAX) və skanedic elektron mikroskopu (SEM) vasitəsilə səth topologiyası və quruluşu öyrənilmiş və nanozərrəciklərin ölçülərinin (4÷20)nm intervalında olduğu müəyyən edilmişdir;

- GaSe və GaSe< B, Dy, Er> nanozərrəciklərinin optik udma spektrləri ölçülmüş, optik keçidlərinin sərbəst eksitonlarla əlaqəli olduğu müəyyən edilmiş, nümunələrin qadağan olunmuş zolağının eni təyin edilmiş və təcrübədə əldə olunan nəticələr həmin maddələrin zona quruluşu ilə müqayisə edilmişdir;
- İlk dəfə olaraq GaSe nanozərrəciklərində kvantölçülü effekt aşkar olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, nanozərrəciklərin ölçülərinin (4-20)nm intervalında dəyişməsi qadağan olunmuş zolağın eninin 2,02eV-dan 2,18 eV –a qədər artmasına səbəb olur; Bu hadisənin mexanizminin zərrəciklərin diametrinin yaxın qonşuluqda olan atomların orta sayından asılı olduğu göstərilmişdir;
- GaSe nazik təbəqələrinin elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığından akseptor aşqarlarının ionlaşma enerjisi hesablanmışdır: $E_a=0,23$ eV. Bor elementi ilə aşqarlanmış GaSe nazik təbəqələrdə isə aktivləşmə enerjisi 0,348 eV olan akseptor səviyyəsi aşkar edilmişdir;
- Borla aşqarlanmış GaSe kristalında 220K-dən aşağı temperaturalarda spektrin infraqırmızı oblastında aşqar fotokeçiricilik aşkar edilmişdir. Bu fotokeçiriciliyin bor aşqarlarının GaSe-də yaratdığı enerji səviyyələri hesabına (0,765eV və 0,98 eV) yarandığı göstərilmişdir;
- İlk dəfə olaraq nanoquruluşlu GaSe nazik təbəqələrinin fotoluminessensiya spektrində yüksək enerjili iki şüalanma zolaqları (3,43 və 3,33 eV) aşkar edilmişdir. Bu şüalanma rekombinasiyasının GaSe nazik təbəqələrinin kəsilməz spektrində mövcud olan “dərin eksiton” və aşqar səviyyələri hesabına yarandığı göstərilmişdir;
- YAG:Nd lazerinin təsiri ilə GaSe və GaSe< B, Dy, Er> nazik təbəqələrinin luminessensiya spektrləri və lüks-ampere xarakteristikaları ölçülmüş, B, Dy, Er elementlərinə məxsus xarakterik şüalanma xətləri müşahidə olunmuşdur;
- İlk dəfə olaraq lazer şüalarının təsiri ilə GaSe nanozərrəciklərinin relaksasiya ayrılarda sürətli (~12ns) işıq cərəyanı aşkar edilmişdir. Alınmış nəticələr GaSe

nanozərrəciklərində sürətli rekombinasiya mərkəzinin olması ilə izah olunur.

Dissertasiya işinin praktiki əhəmiyyəti:

- Dissertasiya işində yarımkeçirici materialların sintezinin alçaq temperaturu texnologiyası işlənmişdir. Əsasını ionların altlıq üzərinə adsorbsiya və kimyəvi reaksiya təşkil edən bu texnologiya binar və üçqat halkogenid yarımkeçirici birləşmələrin nanozərrəciklərinin və nazik təbəqələrinin yetişdirilməsi üçün tətbiq oluna bilər;
 - Borla aşqarlanmış GaSe nazik təbəqələrində aşkar edilmiş sürətli işıq cərəyanı (12ns) və şüalanma spektri (yarımeni $8A^0$) onların əsasında işıq detektorlarının hazırlanmasına imkan verə bilər;
 - GaSe nazik təbəqələrində müşahidə olunan yüksək enerjili şüalanma rekombinasiyası, bu maddələr əsasında yarımkeçirici işıq mənbəyi hazırlanmasına imkan verə bilər;
 - GaSe nanozərrəcikləri əsasında Günəş enerji çeviriciləri və kvant nöqtəsində lazer hazırlanması imkanları vardır.
- #### **Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:**
- Anion məhlulu olan selenosulfat natrium məhluluna salınmış altlıq selen ionları ilə, sonra çıxarılaq kation məhlulu olan $GaCl_3$ məhluluna salındıqda isə qallium ionları ilə laminasiya olunur, selen və qallium ionları arasında reaksiya gedərək GaSe birləşməsinin mümkünlüyü;
 - SİLAR üsulu ilə GaSe, GaSe, GaSe<Dy> və GaSe<Er> nanozərrəciklərinin şüşə və GaSe monokristal altlıqlar üzərində alınmasının mümkünlüyü;
 - GaSe və GaSe <B, Er, Dy> nanozərrəciklərinin rentgen şüalarının difraksiyası (XRD), atom qüvvə mikroskopu (AQM), rentgen şüalarının dispers enerji spektroskopiyası (EDAX) və skanedic elektron mikroskopu (SEM) vasitəsilə səth topologiyası və quruluşunun öyrənilməsinin mümkünlüyü;
 - GaSe və GaSe <B, Er, Dy> nanozərrəciklərinin optik udma spektrlərinin tədqiqi və udma mexanizmlərinin müəyyən edilməsi;
 - Borla aşqarlanmış GaSe monokristallarında stimullaşmış aşqar fotokeçiriciliyin dərindən aşqar səviyyələrinin alçaq temperaturda boşalması hesabına yaranması;
 - Nanozərrəciklərdən təşkil olunmuş GaSe nazik təbəqəsinin $180 \div 210$ K temperatur intervalında elektrik keçiriciliyinin

temperatur asılılığı eksponensial xarakterlidir və bu intervalda elektrik keçiriciliyi valent zonadan yerləşmə hündürlüyü 0,242 eV olan akseptor səviyyəsinin ionlaşması hesabına formalaşması;

- SİLAR üsulu ilə yetişdirilmiş disprozium aşqarlı GaSe nanoquruluşu klasterlərdən ibarət olur. Dy aşqarları GaSe-in udma kənarının yayılmasına səbəb olan dayaz akseptor səviyyələri və yerləşmə dərinliyi 1,35 eV olan şüalanma rekombinasiyası rolunu oynayan səviyyə yaratması;
- Er element ilə aşqarların GaSe nanozərrəciklərinin şüalanma spektrində müşahidə olunmuş dörd şüalanma zolaqları aşqar səviyyələri ilə keçirici və ya valent zonaları arasında baş verən şüalanma rekombinasiyası hesabına formalaşması;
- GaSe nanozərrəciklərində kvantölçülü effektlərin mükünlüyü, qadağan olunmuş zolağın eninin zərrəciklərin ölçülərindən asılılığının müəyyən edilməsi;
- Lazer şüalarının təsiri ilə GaSe nazik təbəqələrinin yüksək enerji səviyyələrindən rekombinasiya şüalanmasının mümkünlüyü və mexanizminin müəyyən edilməsi;
- GaSe(B) nanohissəcikləri əsasında sürətli qəbuledicilərin hazırlanmasının mümkünlüyü;

İşin aprobasiyası. Dissertasiya işinin mövzusunə dair elmi işlərin nəticələri «Energetikanın müasir elmi-texniki problemləri» Beynəlxalq elmi konfransda (Sumqayıt, SDU, 2015), «Opto, nanoelektronika, kondensə olunmuş mühit və yüksək enerjilər fizikası» Beynəlxalq elmi konfransda (Bakı, BDU, 2015), Turkish Physical Society 30th International Physics Congress (Istanbul-Turkey-2013), Bakı Dövlət Universitetinin «Yarımkeçiricilər fizikası» kafedrasının və Gəncə Dövlət Universitetinin fizika kafedrasının elmi seminarlarında məruzə edilmişdir.

Publikasiyası. Dissertasiya işinin əsas materialları 7 məqalə və 6 beynəlxalq və respublika səviyyəli konfrans materiallarında dərc olunmuşdur.

Dissertasiyanın strukturu. Dissertasiya giriş, dörd fəsil əsas nəticələr və istinad edilmiş 132 adda ədəbiyyatın biblioqrafik siyahısından ibarət olub, 159 səhifə mətn və 63 şəkildən ibarətdir.

Girişdə dissertasiya mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, işin məqdəsi, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, elmi yeniliklər, işin praktik əhəmiyyəti və fəsillərin qısa məzmunu şərh edilmişdir.

Birinci fəsildə GaSe kistallarının alınması, energetiq quruluşu, elektrik, optik, fotokeçiricilik və lüminessensiya xassələrinə dair mövcud elmi ədəbiyyatın təhlili aparılmış və qısa icmal verilmişdir. Göstərilmişdir ki, GaSe kistallarının tədqiqinə həsr olunmuş nəzəri və təcrübi işlər əsasən massiv nümunələrdə aparılmış və bir sıra mühüm nəticələr əldə edilmişdir. GaSe kistallarında atomlar arasındakı kimyəvi rabitə iki növlü olduğundan, onlar kəskin anizotrop xassələrə malikdirlər. Laylı GaSe kistallarının unikal xassələri imkan verir ki, bir sıra qeyri-trivial üsullardan istifadə etməklə onların əsasında keyfiyyətli heteroqecidlər hazırlansın. GaSe kistallarının xassələrindəki xüsusiyyətlər optoelektronikada tətbiq üçün böyük praktik əhəmiyyət kəsb edir.

Hal-hazırda GaSe nanozərrəcikləri müxtəlif üsullarla (termik buxarlanma, elektrokimyəvi və s.) alınsa da, bu zərrəciklərin otaq temperaturuna yaxın temperaturda sadə alınma texnologiyası işlənib hazırlanmamış, B, Dy və Er atomları ilə aşqarlanmış GaSe nanozərrəciklərinin alınma üsulu və fiziki xassələrinin məxsusiyyətləri öyrənilməmişdir. GaSe nanozərrəciklərinin müasir metodlarla struktur analizi və səth morfologiyası aparılmamış, kompleks şəkildə onların fiziki xassələri öyrənilməmiş və tətbiq sahələri müəyyən edilməmişdir. Bütün bunlar dissertasiya işinin məhz belə bir problemin həllinə həsr olunmasına səbəb olmuşdur.

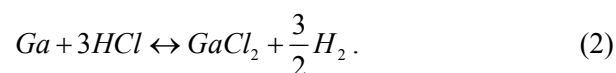
İkinci fəsildə GaSe və GaSe <B, Er, Dy> nazik təbəqələrinin və nanozərrəciklərinin alınma texnologiyası və Rentgen Şüalarının Difraksiyası (XRD), Atom Qüvvə Mikroskopu (AQM), Skanediç Elektron Mikroskopu (SEM) və Rentgen Şüalarının Dispers Enerji Spektroskopiyası (EDAX) vasitəsilə səth morfologiyası və strukturu haqqında ən zəruri məlumatlar verilmişdir.

Tədqiq olunan maddələr məhluldan kimyəvi çökdürmə üsulu (Modified Chemical Bath Deposition, M-CBD) ilə alınmışdır. Maye məhlulların tədarükü üçün Se, Ga, Na₂SO₃, HCl və bidistillə olunmuş su ilkin materiallar kimi istifadə olunmuşdur. Elementar Se və Ga maddələri 99,99998 % təmizliyə, Na₂SO₃ və HCl turşuları isə «xüsusi təmiz maddə» kateqoriyalı təmizliyə malik olmalıdırlar. Na₂SO₃ turşusuna Se dənəcikləri əlavə etməklə aşağıdakı reaksiyanın gedişinə nail olunmuşdur:



Kation məhlulu adlandırılan GaCl₂ birləşməsi isə aşağıdakı reaksiya

nəticəsində alınmışdır:



Bu reaksiyaların son məhsulları olan Na_2SeSO_3 və $GaCl_3$ birləşmələrinin suda məhlullarının hidrogen aktivliyi $pH=5$ çatdırılaraq, onlardan ilkin məmumat kimi istifadə etməklə GaSe nanozərrəcikləri alınmışdır.

Modifikasiya olunmuş kimyəvi çökdürmə üsulu ilə nanozərrəciklərin alınması prosesində altlıq materialların seçilməsi vacib məsələdir. Bizim işdə altlıq materialı olaraq optik təmiz şüşə və təzə hazırlanmış GaSe monokristallik nazik lövhələr istifadə olunmuşdur. Təbii güzgü səthinə malik olan GaSe nazik lövhələri ideal altlıq rolunda istifadə oluna bilər. Nanozərrəcikləri almaq üçün həcmi 50 ml olan dörd ədəd şüşə stəkanlardan istifadə olunmuşdur. Stəkanların təmizlənməsi şüşə lövhələrin təmizlənmə texnologiyası ilə eyni olmuşdur. Birinci stəkanda $pH=5$ aktivli Na_2SeSO_3 anion məhlulu, ikinci stəkana bidistillə edilmiş su, üçüncü stəkana $pH=5$ aktivli $GaCl_3$ duzunun məhlulu, dördüncü stəkana yenə su doldurulmuşdur. Hazırlanmış şüşə və ya GaSe altlıq lövhələri birinci stəkanda 20 saniyə saxlandıqdan sonra, çıxarılaraq ikinci stəkanda salınmışdır, 10 saniyə müddətdən sonra çıxarılıb üçüncü stəkana salınmışdır. Bu stəkanda 15 saniyə saxlandıqdan sonra çıxarılaraq dördüncü stəkana salınmışdır. 10 saniyədən sonra lövhə çıxarılaraq otaq temperaturunda vakuum şkafinda qurudulmuşdur. Dörd taktdan ibarət olan texnoloji tsikl nanozərrəciklərin alınmasında 35-40 dəfə, nazik təbəqə alınmasında isə 120-130 dəfə təkrarlanmışdır.

$GaSe(B)$ nanozərrəciklərinin alınmasında təmiz GaSe nanozərrəciklərinin alınması texnologiyasında olduğu kimi təzə hazırlanmış anion və kation məhlulları 20 ml-lik stəkanlara ayrı-ayrılıqda tökülmüşdür. Digər iki stəkana isə bidistillə su tökülmüşdür. Birinci stəkandakı tərkib 20ml həcmində 0,5 molyarlıq $GaCl_3$ məhlulundan 1ml həcmində 0,5 molyarlıq $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ məhlulundan və ion aktivliyini $pH=2$ -ə çatdırmaq üçün əlavə edilmiş 4 ml həcmində 1 molyarlıq şərab turşusundan ibarətdir. Üçüncü stəkandakı məhlul 20 ml həcmində 0,03 molyarlıq selenosulfat natriumdan ibarətdir. İkinci və dördüncü stəkanlara isə bidistillə edilmiş 20 ml həcmində su tökülmüşdür. Nazik təbəqəni və

nanozərrəcikləri almaq üçün təmizlənmiş şüşə lövhə və GaSe monokristal lövhə istifadə olunmuşdur. Hər bir altlıq birinci stəkanda 20 saniyə, ikinci və dördüncü stəkanlarda 10 saniyə, üçüncü stəkanda isə 15 saniyə müddətində mayelərdə batırılaraq saxlanılmışdır. Nanozərrəciklərin alınmasında bu müddətlər 2-3 dəfə azaldılmışdır. Altlıqların ardıcıl olaraq götürülən müddətlərdə stəkanlarda saxlanması dörd taktlı əməliyyat bir tsikl təşkil edir. Nazik təbəqənin alınması üçün GaSe altlıq 43 tsikllə təkrarlanan, şüşə altlıq isə 50 tsikllə təkrarlanan əməliyyata məruz qalmışdır. Eksperimental olaraq müəyyən olunmuşdur ki, eyni şəraitdə və texnoloji rejimdə yetişdirilən GaSe və GaSe nanozərrəcikləri müxtəlif sürətlə formalaşırlar və bor atomları nanozərrəciklərin böyümə sürətini artırır. Kimyəvi çökdürmə üsulu ilə 150 nm qalınlığında yetişdirilmiş GaSe nazik təbəqələri təmiz GaSe nazik təbəqələrinə nəzərən daha böyük dənəciklərdən ibarət olmuşdur.

Disproziomla aşqarlanmış GaSe birləşməsinin həmin üsulla nanozərrəciklərinin alınması texnologiyası borla aşqarlanmış GaSe-in alınma texnologiyasından prinsipə fərqlənir. GaSe<Dy> nazik təbəqəsinin alınmasında kation məhlulu qismində $GaCl_3$ kation məhlulu ilə disproziyum nitratın pentahidratının ($Dy(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$) suda məhlulunun qarışığından istifadə olunmuşdur. Sarı rəngli disproziyum nitratın pentahidratı suda 88,6 °C temperaturda əriyərək həll olunur və soyudulduqda otaq temperaturunda suyun dibində çöküntü verir. Ona görə də 4,3563 qram miqdarında $Dy(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$ kristalını toz halında 89 °C temperaturda 25 ml suda həll etdikdən sonra $GaCl_3$ duzunun 250 millilitrlik məhlulu ilə qarışdırılmışdır. Alınan kation məhlulu qaranlıq şəraitdə otaq temperaturunda çöküntü verməmişdir. Anion məhlulunun hazırlanması və tərkibi GaSe nazik təbəqələrinin alınmasında götürülmüş məhlulla eynidir. Burada əvvəlcə ion aktivliyi $pH \approx 9$ olan selenosulfat natrium duzunun suda məhlulundan istifadə olunmuşdur. SİLAR üsulu ilə erbium aşqarlı GaSe nanozərrəcikləri almaq üçün anion məhlulu kimi selenosulfat natriumun ion aktivliyi $pH=9$ olan 0,03 mol. % suda məhlulundan istifadə olunmuşdur. Kation məhlulu isə ion aktivliyi $pH=2$ olan $GaCl_3$ və $ErCl_3$ duzlarının suda və şərab turşusundakı məhlulundan ibarət olunmuşdur. $ErCl_3$ birləşməsində erbium üç valenli atom kimi özünü aparır. Qallium atomları kimi üçvalentli erbium atomları GaSe birləşməsində kation düyünlərində yerləşə bilərlər. Bu səbəbdən Er aşqarları Ga-Ga rabitəsini Ga-Er rabitəsinə çevirməklə nanozərrəciklərin quruluşunda fundamental dəyişikliyə səbəb ola bilərlər.

Rentgenstruktur analiz üsulu ilə GaSe nanozərrəciklərinin heksaqonal quruluşunun β -modifikasiyaya aid olduğu müəyyən edilmişdir ($a=3,75\text{\AA}$, $c=15,94\text{\AA}$). Alınmış rentgenoqramlar əsasında Debay-Şerer düsturu vasitəsilə GaSe nanozərrəciklərinin ölçüləri müəyyən edilmişdir:

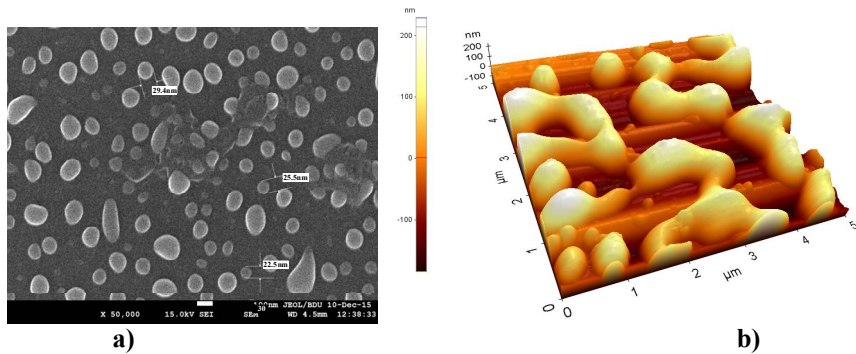
$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}, \quad (3)$$

burada D-nanozərrəciklərin ölçüsü, $\kappa = 0,9$ – xəttin formasını xarakterizə edən əmsal (shape factor), $\beta = 0,1355$ – xəttin intensivliyinin yarımənisi (FWHM- Full Width at Half Maximum), λ – rentgen şüalarının dalğa uzunluğu, $\lambda=1,54\text{\AA}$, θ -Breqq bucağı, $\cos \theta=0,99$.

Hesablamalar göstərir ki, nanozərrəciklərin ölçüləri 4 ± 20 nm intervalında dəyişir.

Şəkil 1,a-da GaSe nanozərrəciyin Skanedici Elektron Mikroskopu vasitəsilə alınan təsviri verilmişdir. Göründüyü kimi nazik təbəqə diskret strukturundan ibarətdir və strukturu təşkil edən zərrəciklər forma və quruluş etibarı ilə eynidirlər. Zərrəciklərin ölçüləri və konsentrasiyası laminasiya tsikllərinin sayından asılıdır. Zərrəciklərin ölçüləri eyni zamanda hər bir taktıda altlığın ion məhlullarında saxlanma müddətindən də asılıdır. Şəkil 1,b-də GaSe nanozərrəciyin Atom Qüvvə Mikroskopunda vasitəsilə alınan təsviri verilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi nanozərrəciklərin homogen paylanması müşahidə olunmur.

EDAX üsulu ilə qallium atomlarının selen atomlarına nisbətinin (GaSe=1:1) götürülmüş maddələrin stexiometrik nisbətində uyğun olduğu göstərilmişdir.



Şəkil 1. GaSe nanozərrəciyinin SEM (a) və AFM (b) təsvirləri.

Dissertasiya işinin üçüncü fəslə GaSe və GaSe <B, Er, Dy> nazik təbəqə və nanozərrəciklərinin elektrik və optik xassələrinin tədqiqinə həsr olunmuşdur. GaSe nazik təbəqələrinin xüsusi keçiriciliyinin temperatur asılılığı eksponensial xarakter daşıyır. $\lg \sigma = f\left(\frac{1000}{T}\right)$ düz xəttli asılılığının

mailliyindən p-GaSe nazik təbəqəsində akseptor aşqarlarının ionlaşma enerjisinin $E_a=0,23$ eV –a bərabər olduğu müəyyən edilmişdir. Şəkil 2,a-da GaSe nanozərrəciklərinin volt-ampere xarakteristikası (VAX) verilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi nümunəyə tətbiq olunan gərginliyin kiçik qiymətlərində VAX xətti, gərginliyin böyük qiymətlərində isə eksponensial xarakter daşıyır. Eksponensial hissə aşağıdakı tənliklə ifadə olunur:

$$I = I_0 \exp(eU / \beta kT). \quad (4)$$

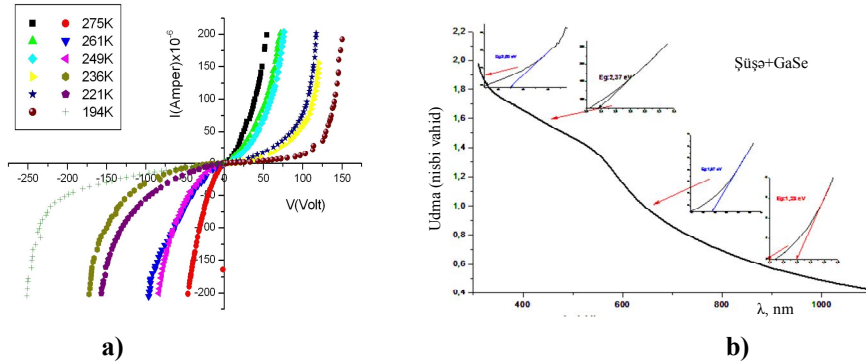
burada $\beta = 1,2 - 2,0$. Temperaturun aşağı düşməsi eksponensial hissənin kiçilməsinə səbəb olur, bu da həcmi yüklər oblastında baş verən generasiya-rekombinasiya prosesləri ilə izah oluna bilər.

GaSe nanohissəciklərinin optik udma spektrləri difraksiya qəfəsi olan JOBİN-YVON monoxromatoru vasitəsi ilə həyata keçirilmişdir. Qəbuledici olaraq U2C-16H7316 tipli CCD-kameradan istifadə olunmuşdur. Çıxışda alınan siqnal rəqəmli qeyri-stasionar sistemə (transient dijital sistem) verilmişdir. Eyni zamanda yaddaşlı ossilloqraf (Le Groy 9400) və computer sistemindən də (Board Master 800 ABI 8) istifadə olunmuşdur.

GaSe nazik təbəqəsinin ($\sim 10\text{nm}$) udma əmsalının spektral asılılığından fundamental udma kənarının $2,00\text{eV}$ -a uyğun gəldiyi müəyyən edilmişdir. Bu da optik keçidlərin sərbəst eksitonlar hesabına baş verdiyini göstərir. $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ asılılığından GaSe nazik təbəqəsinin qadağan edilmiş zolağının eni təyin edilmiş və onun $\Delta E_g = 2,02$ eV –a bərabər olduğu göstərilmişdir. Sərbəst eksitonların əlaqə enerjisinin ~ 20 meV olduğu müəyyən edilmişdir.

GaSe nanozərrəciklərinin udma spektri onların nazik təbəqələrinin udma spektrindən əsaslı sürətdə fərqlənir (şəkil 2,b). Şəkildən göründüyü kimi şüşə altlıq üzərində alınmış GaSe nanozərrəciklərinin udma spektri fundamental udma kənarını əks etdirməklə yanaşı (~ 600 nm), spektrin qısalğalı oblastına qədər uzanır (~ 336 nm). GaSe nanozərrəciklərin udma spektrində $2,37\text{eV}$, $1,87\text{eV}$ və $1,28\text{eV}$ enerjilərdə müşahidə olunan optik

udmalar tutma mərkəzlərindən keçirici zonaya elektron keçidlərinin nəticəsində olduğunu güman etmək olar. GaSe p-tip keçiriciliyə malik olduğundan göstərilən səviyyələr akseptor səviyyələr kimi elektronların lokallaşmasını təmin edir və qaranlıq keçiricilik dəşiklərin bu səviyyələrdən valent zonaya termik aktivləşməsi hesabına yaranır. Şəkildən görüldüyü kimi valent zonadan bu səviyyələrə qədər olan məsafə uyğun olaraq $\Delta E_p=2,41$ eV; 1,82 eV; 1,32 eV və 0,32 eV təşkil edir.



Şəkil 2. (a)- GaSe nanozərrəciklərinin müxtəlif temperaturalarda volt-ampere xarakteristikaları, (b) - Şüşə üzərində yetişdirilmiş GaSe nanozərrəciklərin udma spektri.

Borla aşqarlanmış GaSe nazik təbəqəsinin udma əmsalının spektral asılılığında fundamental udma kənarına uyğun gələn (~600nm) optik keçidlə yanaşı uzundalğalı oblastda, təxminən 900 nm-dən başlayan optik udulma müşahidə olunur. Udma spektrində müşahidə olunan uzundalğalı maksimum, təmiz GaSe nanozərrəciklərində müşahidə olunmadığından, onun bor aşqarları ilə əlaqədər olduğunu söyləmək olar. Şüşə altlıq üzərində alınmış Dy aşqarlı GaSe nanozərrəciklərinin udma spektrində iki xarakterik optik keçid müşahidə olunur, 1,82eV və 1,35eV. Bu optik keçidlər Dy aşqarları GaSe nanozərrəciklərində eksponensial paylanan dayaz akseptor səviyyələrini yaradır ki, bunlar da özlərini hal sıxlığının quyruğu kimi göstərir.

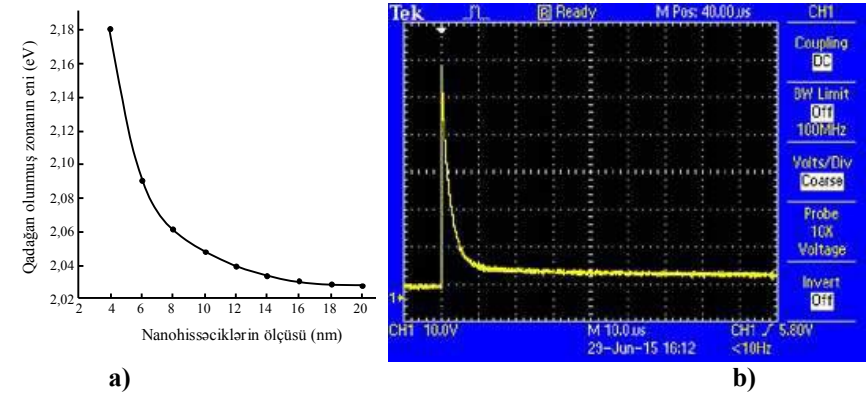
İlk dəfə olaraq GaSe nanozərrəciklərində kvantölçülü effekt müşahidə olunmuşdur. Belə ki, GaSe nanozərrəciklərində qadağan olunmuş zolağının eninin zərrəciklərin ölçülərindən asılı olaraq dəyişməsi aşkar edilmişdir. Qadağan olunmuş zolağının eninin zərrəciklərin ölçülərindən

asılılığı aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$E_g = E_g^{(kris.)} + E_b \left(\frac{\pi a_B}{D} \right)^2, \quad (5)$$

burada E_g – nanostrukturun, $E_g^{(kris.)}$ isə massiv kristalın qadağan olunmuş zolağının eni, E_b – eksitonun əlaqə enerjisi, a_B - eksitonun Bor radiusu, D - nanozərrəciklərin ölçüləridir. Adları çəkilən parametrlər GaSe birləşməsi üçün aşağıdakı qiymətlərə malikdir: $E_g^{(kris.)}=2,02$ eV, $E_b=20$ meV, $a_B=37$ Å⁰.

Şəkil 3,a-da GaSe nanostrukturlarının qadağan olunmuş zolağının eninin nanozərrəciklərin ölçülərindən asılılığı verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi nanozərrəciklərin ölçülərinin 10nm-dən kiçik qiymətlərində GaSe-də kvantölçülü effektlər öz təsirini göstərməyə başlayır. Zərrəciklərin ölçülərinin 20nm-dən 4 nm-ə qədər dəyişməsi, E_g -nin 2,02eV-dən 2,18 eV-a qədər artmasına səbəb olur. E_g -nin zərrəciklərin ölçülərindən asılılığı zərrəciklərin diametrinin yaxın qonşuluqda olan atomların orta sayından asılılığı ilə izah oluna bilər.



Şəkil 3. (a)-GaSe nanostrukturlarının qadağan olunmuş zolağının eninin nanozərrəciklərin ölçülərindən asılılığı, (b)- GaSe nazik təbəqəsində lazer şüalarının təsiri ilə yaranan fotocərəyanın relaksasiya əyrisi.

Dissertasiya işinin dördüncü fəslində GaSe və GaSe <B, Er, Dy> nazik təbəqə və nanozərrəciklərində fotoelektrik və lüminessensiya hadisələri tədqiq edilmişdir. Laylı GaSe kristallarının fiziki-kimyəvi

xassələri geniş tədqiq olunduğundan, bizim tədqiqatlar əsasən borla aşqarlanmış GaSe(B) nazik təbəqələrinin fotoelektrik və fotoluminessent xassələrinin tədqiqinə həsr olunmuşdur. Bor atomlarının Yer kürəsində silisiumdan sonra ən çox yayılmış element olduğunu nəzərə alsaq, GaSe detektorlarının Bor yataqlarının tədqiqində nə qədər mühüm rol oynadığını təəvvür edə bilərik.

GaSe(B) nazik təbəqələrinin fotokeşiriciliyi (0,5-2,5)eV optik diapazonu əhatə edir. Fundamental udma kənarına uyğun gələn maksimumdan (~2,02eV) başqa, spektrin uzundalğa oblastında yeni bir maksimum (~900nm) müşahidə olunur. GaSe(B) nazik təbəqəsinin udma spektrindən müşahidə olunan uzundalğalı maksimum təmiz GaSe-də müşahidə olunmadığından, onun bor aşqarları ilə əlaqədar olduğunu söyləmək olar. GaSe və GaSe(B) nazik təbəqələrinin fotokeşiriciliyinin relaksasiya ayrılırları Nd:YAG lazerinin 2-ci hamonikası ($\hbar\omega = 2,34 \text{ eV}$) ilə ölçülmüşdür. GaSe nazik təbəqələrində rekombinasiya prosesi iki kanal vasitəsilə həyata keçirilir: zona-zona (~100mks) və aşqar (250 mks) keçidləri. Bor atomları ilə aşqarlanmış GaSe(B) nazik təbəqələrinin relaksasiya ayrılırları GaSe-nin relaksasiya ayrılırlarından əsalı sürətdə fərqlənir: fotokeşiriciliyin relaksasiya müddəti əhəmiyyətli dərəcə ~10 dəfədən çox azalır (250mks əvəzinə 10mks), intensivliyi isə 60-dəfədən çox artır. Ən başlıcası odur ki, lazer şüalarının intensivliyindən asılı olaraq rekombinasiya mexanizmi dəyişir. Lazer şüalarının intensivliyinin artması ($5 \cdot 10^{22} \div 1 \cdot 10^{24} \text{ kv./sm}^2 \cdot \text{san}$) qeyri-tarazlıqda olan yükdaşıyıcıların yaşama müddətini 3mks-dən 0.2mks-dək azalır. Eyni zamanda aşağı intensivliklərdə müşahidə olunan yavaş rekombinasiya kanalı aradan gedir, ossilloqramda ancaq sürətli rekombinasiya kanalı qalır. Bu zaman yükdaşıyıcıların yaşama müddəti $2 \cdot 10^{-7} \text{ san}$. tərtibində olur (şəkil 3,b). GaSe nazik təbəqələrinin fotoluminessensiyanın spektri maksimumu $\lambda = 920 \text{ nm}$ -ə uyğun gəən çox ensiz (~ 2-3nm) bir pikdən ibarətdir. Fotoluminessensiya spektrinin GaSe nazik təbəqələrinin udma spektri ilə müqayisəsi şüalanmanın bor aşqarları ilə əlaqədar olduğunu söyləməyə imkan verir. Qeyd etmək lazımdır ki, Nd:YAG-lazerinin 2-ci harmonikası həyəcanlaşdırılan ($\hbar\omega = 2,34 \text{ eV}$) təmiz GaSe nazik təbəqələrinin luminessensiya spektrində maksimumu $\lambda = 920 \text{ nm}$ dalğa uzunluğuna uyğun gələn luminessensiya spektri müşahidə olunmamışdır. Alınmış nəticələr bor aşqarları vurulmuş GaSe nazik təbəqələri əsasında işıq qəbuledicilərə hazırlanmağının mümkünlüyünü göstərir.

GaSe<Dy> nanozərrəciklərini 535 nm dalğa uzunluqlu lazer şüası

ilə həyəcanlandırdıqda 863 nm dalğa uzunluğunda müşahidə edilmiş şüalanma pikinin Dy aşqarları hesabına yarandığını güman etmək olar. GaSe<Er> nanozərrəciklərinin fotoluminessensiya spektri dörd əsas şüalanma zolağından ibarətdir: 2.931, 2.485, 2.335 və 2.291 eV. GaSe<Er> nanozərrəciklərində qadağan olunmuş zonanın eninin 3,64 eV olduğunu nəzərə alsaq, demək olar ki, bütün şüalanma zolaqları aşqar səviyyələr ilə keçirici və ya valent zonalar arasında baş verən şüalanma rekombinasiyası hesabına formalaşır.

Güclü lazer şüalarının kiçikölçülü yarımkeçiricilərlə qarşılıqlı təsiri əvvəllər öyrənilməsi nisbətən çətin olan bir sıra fiziki hadisələrin təcrübi tədqiqinə imkan yaradır. Buna misal olaraq yarımkeçiricilərin fundamental udma kənarından böyük enerjilərdə zona quruluşunun müəyyən edilməsi və həmin energetik səviyyələrlə bağlı olan optik və fotoluminessensiya hadisələrinin xüsusiyyətləridir. Əlbəttə belə təcrübələrin aparılması güclü lazer şüaları ilə yanaşı müəyyən xüsusiyyətlərə malik olan yarımkeçirici maddələrin olmasını da tələb edir. Bizim fikrimizcə, GaSe kristalları bu qəbildən olan təcrübələrin aparılması üçün ən münasib maddədir. Buna səbəb, GaSe kristallarının yuxarıda göstərilədiyi kimi, təbii güzgü səthinə malik olması, spektrin kəsilməz oblastında klassik yarımkeçiricilərə nəzərən kiçik udma əmsalına malik olması ($\alpha \sim 10^3 \text{ sm}^{-1}$), qadağan olunmuş zolağının eninin ($E_g \sim 2,02 \text{ eV}$) müasir lazerlərin tezliyinə uyğun gəlməsi, ən başlıcası isə bu materialların nazik təbəqələrinin və nanohissəciklərinin olmasıdır.

Dissertasiya işində lazer şüalarının təsiri ilə GaSe nazik təbəqələrinin böyük enerji oblastında optik udma və luminessensiya spektrləri təcrübi olaraq tədqiq olunmuşdur. Işıq mənbəyi olaraq YAG:Nd lazerinin 3-cü harmonikasından ($\lambda=355 \text{ nm}$) istifadə olunmuşdur. GaSe nazik təbəqələrinin fotoluminessensiya spektrləri 350 – 2000 nm dalğa uzunluğu diapazonunda şüalanmanı qeyd edə bilən, kompüterlə idarə olunan detektor və ikiqat dispersiyalı M833 tipli avtomatlaşdırılmış monoxromator vasitəsi ilə tədqiq olunmuşdur.

GaSe nazik təbəqələrinin kəsilməz spektrlərində müşahidə olunan optik udma zolağı luminessensiya spektrində aşkar edilmişdir. Belə ki, nümunələri lazer şüaları ilə həyəcanlandırdıqda, şüalanma spektrinin 355 – 375 nm dalğa uzunluğu intervalında iki maksimum müşahidə olunur: $\lambda_1=362 \text{ nm}$ (~ 3,43 eV) və $\lambda_2=372 \text{ nm}$ (~ 3,33 eV). GaSe-nin yuxarı energetik səviyyəsinin enerjisinin $E_g = 3,69 \text{ eV}$ -a bərabər olduğunu bilərək, enerjisi 3,43eV olan λ_1 maksimumunun dərin eksitonlarla (deep excitons) əlaqədar şüalanma verdiyini söyləyə bilərik. Bu eksitonların əlaqə enerjisi

(0,26eV) GaSe kristalların udma kənarında müşahidə olunan sərbəst elektronların əlaqə enerjisindən (0,02eV) təxminən bir tərtib çoxdur. O ki, qaldı $\lambda_2=362$ nm maksimumlu şüalanmanın təbiətinə, bu şüalanmanın GaSe nazik təbəqəsində mövcud olan struktur defektləri və ya aşqarları ilə bağlı olduğunu mülahizə etmək olar, bir şərtlə ki, həmin defektlər və ya aşqarlar məxsusi udma kənarından böyük enerjilərdə, yəni bütöv spektr oblastında səviyyə yaratmış olsunlar.

Beləliklə alınan nəticələr onu göstərir ki, GaSe nazik təbəqələri fundamental udma oblastında optik udmanı və lüminessensiyanı tədqiq etmək üçün əlverişli obyektidir. Yüksək enerjili şüalanma zolağının GaSe nazik təbəqəsində kifayət qədər intensivlikli olması və bütün nümunələrdə müşahidə olunması onu göstərir ki, GaSe spektrinin qısa dalğalı oblastından şüalanma mənbəyinin hazırlanmasında istifadə oluna bilər.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Kimyəvi çökdürmə üsulu ilə GaSe birləşməsi və onun B, Er, Dy elementləri ilə aşqarlanmış nanozərrəcikləri alınmış və onların ölçülərinin 4÷20nm intervalında olduğu müəyyən edilmişdir.
2. GaSe <B, Er, Dy> nanozərrəciklərinin rentgen şüalarının difraksiyası (XRD), atom qüvvə mikroskopu (AQM), rentgen şüalarının dispers enerji spektroskopiyası (EDAX) və skanedici elektron mikroskopu (SEM) vasitəsilə səth topologiyası və quruluşu öyrənilmişdir.
3. GaSe və GaSe <B, Er, Dy> nanozərrəciklərinin optik udma spektrləri təcrübi olaraq tədqiq edilmiş, onların energetik diaqramı və optik parametrləri öyrənilib, optik keçidlərin mexanizmi müəyyən edilmişdir.
4. GaSe nanozərrəciklərində kvantölçülü effekt müşahidə edilmişdir. Nanozərrəciklərin ölçülərinin 4-20 nm intervalında dəyişməsi qadağan olunmuş zolağının eninin 2.02 eV-dan 2.18eV –a qədər artmasına səbəb olmuşdur.
5. Nanosaniyəli YAG:Nd lazeri vasitəsilə aparılan ölçmələr, əvvəllər massiv kristallarda öyrənilməsi mümkün olmayan, GaSe maddəsinin yuxarı energetik səviyyəsini təyin etməyə imkan vermiş ($E_g=3,69$ eV) və lüminessensiya spektrində müşahidə olunan maksimumun “dərin eksiton”larla əlaqədar olduğu göstərilmişdir.
6. GaSe və GaSe <B, Er, Dy> nazik təbəqə və nanozərrəciklərində effektiv fotolüminessensiya şüalanmasının aşkar edilməsi onlar

əsasında yarıməni (3-5) A^0 olan, koherent işıq mənbəyi hazırlanmasına imkan verir.

7. GaSe nanozərrəciklərində sürətli rekombinasiya mərkəzinin olması onlar əsasında optik detektorların hazırlanmasının mümkünliyünü söyləməyə imkan verir.

Dissertasiya işinə aid çap olunan məqalələrin siyahısı

1. Alkan Y., Dinçer A., Ertap H., Mamedov G.M., Karabulut M. Cam ve tek kristal alt tabanlar üzerinde modifiye kimyasal büyütme yöntemi ile büyütülen GaSe ince filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özelliklerinin araştırılması. / Turkish soc. 30th Intern. Phys. Cong., Istanbul, 2-5 sept., 2013, p. 501.
2. Dinçer A., Ertap H., Mamedov G.M., Karabulut M. Growth of GaSe<B, Dy> thin films by SILAR method and formation of van der Waals junctions. / 1 Inter. Chem. and Chem. Engin. Confer., Baku, Azerbaijan, 17-21 april, 2013, p. 19.
3. Dinçer A., Mammadov N., Mammadova E., Ertap H., Mammadov H., Karabulut M. Optic absorption of GaSe<B, Dy> thin films. / Iner. Turkish . Cong. on Molec Spectrosc. Istanbul, 15-20 sept., 2013, p. 125.
4. Кязым-заде А.Г., Салманов В.М., Гусейнов А.Г., Салманова А.А., Динчер А.Х., Мамедов Р.М. Высокоэнергетическое излучение в области сплошного спектра тонких пленок GaSe под действием лазерного излучения. // “Opto, nanoelektronika və kondensə edilmişə olunmuş mühit və yüksək enerjilər fizikası” Beynəlxalq konfransın materialları. BDU, Bakı, 2015 c.29-31.
5. Салманов В.М., Гусейнов А.Г., Салманова А.А., Мамедов Р.М. Исмаилов Р.М., Динчер А.Х., Алиева Х.И. Структурный анализ наночастиц GaSe, полученных методом химического осаждения. // Energetikanın müasir elmi-texniki və tətbiqi problemləri, Beyn. Elmi Konf. mat. SDU. 2015, s. 188-191.
6. Huseynov A.H., Salmanov V.M., Karabulur M., Dinçer A., Gallium monoselenide doped with boron. // American Journal of Science and Technologies. 2015, v.6.p.18-26.
7. Kyazumzade A.H., Salmanov V.M., Huseynov A.H., Dzhaferov M.A., Karabulur M., Dinçer A., Mamedov R.M. Structure, optical and luminescent properties of GaSe and InSe nanoparticles. // International Journal of Current Research.USA, 2015, v.7, №7, p.18321-18327
8. A.G.Kyazym-zade, M.Karabulur, A.Kh.Dincher, V.M.Salmanov,

- M.A.Dzhafarov, A.M.Guseinov, and R.M.Mamedov. Structure, Optical, and Luminescent Properties of GaSe nanoparticles // Nanotechnologies in Russia 2015, Vol.10, № 9-10, pp.92-97.
9. Гусейнов А.Г., Салманов В.М., Кязым-заде А.Г., Карабулур М., Динчер А.Х., Джафаров М.А., Мамедов Р.М., Алиева А.М. Электрические и оптические свойства наночастиц InSe. // AMEA Xəbərləri, Fizika- texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, 2015, №5, s. 100-108.
 10. Ə.H.Hüseynov, A.H.Kazımcadə, V.M.Salmanov, R.M.Məmmədov, A.Ə.Salmanova, İ.M.Əliyev, A.X.Dinçer. GaSe<Dy> nazik təbəqələrin və nanozərrəciklərinin alınması və optik xassələri. AMEA-nın xəbərləri, fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, fizika və astronomiya 2016, № 5, səh.36-42.
 11. A.G.Kyazm-zade, Karabulur M, A.H.Dincer, V.M.Salmanov, A.G.Guseinov, R.M.Mamedov, A.A.Salmanov. Peculiarities photoluminescence spectra and photoconductivity of GaSe crystals and nanoparticles. // Journal of Qafqaz University-Physics, volume 4, № 1, 2016. pp.59-67.
 12. V.M.Salmanov, A.G.Guseinov, A.A.Salmanova, Alim Dincher, R.M.Mamedov. High –energy radiation in the region of the continuous spectrum of nanoparticles gallium and indium selenide by laser radiation. // Science and Education Studies, № 1 (17), January-June, 2016, volume II. “Stanford University Press” 2016. pp. 562-572.

ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРНЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК $GaSe<B,Er,Dy>$

Алим Динчер

АННОТАЦИЯ

Диссертационная работа посвящена одному из актуальных вопросов современной физики твердого тела – получение, анализ структуры и исследования электрических, оптических, люминесцентных и фотоэлектрических свойств наноструктурных тонких пленок $GaSe<B,Er,Dy>$.

Впервые методом химического осаждения получены наноструктурные тонкие пленки GaSe и пленки, легированные атомами B, Dy, Er. При помощи дифракционного анализа рентгеновских лучей, атомного силового микроскопа, сканирующего электронного микроскопа и спектроскопии дисперсионной энергии рентгеновских лучей проведены исследования морфологии и структуры полученных образцов. Впервые в наночастицах GaSe обнаружен квантооразмерный эффект - ширина запрещенной зоны вещества зависит от размеров наночастиц. Уменьшение размеров наночастиц от 20 нм до 4 нм приводит к увеличению ширины запрещенной зоны от 2,02 эВ до 2,18 эВ. Экспериментально исследованы спектры поглощения наночастиц $GaSe<B,Er,Dy>$, определена энергетическая диаграмма исследованных структур и механизмы оптических переходов, связанных со свободными экситонами и примесными уровнями.

При возбуждении тонких пленок GaSe 3-ей гармоникой YAG:Nd лазера ($\lambda=355$ нм) в области сплошного спектра обнаружена люминесценция, связанная «глубокими» экситонами ($\sim 3,43$ эВ) и структурными дефектами ($\sim 3,33$ эВ). В спектрах люминесценции тонких пленок GaSe, легированных атомами бора наблюдается полоса излучения с максимумом ~ 920 нм. Сравнение спектров люминесценции GaSe(B) со спектрами люминесценции нелегированных наночастиц GaSe, позволяет утверждать, что эта линия излучения обусловлена атомами бора. В тонких пленках GaSe, легированных атомами бора наблюдается быстрый фотоотклик, со временем релаксации $\sim 2 \cdot 10^{-6}$ сек, что позволяет на основе GaSe(B) изготовить быстродействующие детекторы.

**ELECTRO-OPTICAL PROPERTIES OF
NANOSTRUCTURAL THIN FILMS GaSe <B, Er, Dy>**

Alim Dincher

SUMMARY

Dissertation work is devoted one pressing questions of modern solid state physics- the obtaining, analysis of the structure and investigation of electrical, optical, luminescent and photoelectric properties of nanostructured thin films.

For the first time, nanostructured thin films of GaSe and doped with B, Dy, Er atoms were obtained by chemical deposition. X-ray diffraction analysis, atomic force microscope, scanning electron microscope, and X-ray energy dispersion spectroscopy have been used to investigate the morphology and structure of the samples obtained. For the first time in the GaSe nanoparticles a quantum-size effect has been discovered - the width of the forbidden zone of a substance depends on the dimensions of the nanoparticles. Reducing the size of nanoparticles from 20 nm to 4 nm leads to an increase in the width of the forbidden band from 2.02 eV to 2.18 eV. The absorption spectra of nanoparticles have been experimentally studied, the energy diagram of the structures studied and the mechanisms of optical transitions due to free excitons and impurity levels have been determined.

The excitation of thin GaSe films by the third harmonic of a YAG: Nd laser ($\lambda = 355$ nm) in the region of the continuous spectrum revealed luminescence due to "deep" excitons (~ 3.43 eV) and structural defects (~ 3.33 eV). In the luminescence spectra of thin GaSe films doped with boron atoms, an emission band with a maximum of 920 nm is observed. Comparison of the luminescence spectra of GaSe (B) with the luminescence spectra of undoped GaSe nanoparticles allows us to confirm that this emission line is due to boron atoms. In thin GaSe films doped with boron atoms, a fast photoresponse is observed, with a relaxation time of $\sim 2 \cdot 10^{-6}$ sec, which allows the fabrication of high-speed detectors based on GaSe (B).

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ
РЕСПУБЛИКИ**

БАКИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

АЛИМ ДИНЧЕР

**ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРНЫХ
ТОНКИХ ПЛЕНОК GaSe < B, Er, Dy >**

2222.01 – Технология и физика наноструктур

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

доктора философии по физике

БАКУ - 2017