

**ÓZBEKSTAN RESPUBLIKASÍ JOQARÍ HÁM ORTA
ARNAWLÍ BILIMLENDIRIW MINISTRILIGI**

**BERDAQ ATÍNDAĞÍ QARAQALPAQ MÁMLEKETLIK
UNIVERSITETI
MAGISTRATURA BÓLIMI**

Qol jazba huqıqında

UDK __538.9__

ELMIRA ESENBAEVA

**ITTERBIY ATOMÍNÍN GaAs HÁM AlGaAs
EPITAKSIAL PLENKALARÍNÍN OPTIKALÍQ QÁSIYETLERINE
TÁSIRI**

**5A140204 - Kondensaciyalıq ortalıqlar fizikası hám materialtanıw
qánigeligi boyınsha magistr akademiyalıq dárejesin alıw ushın jazılğan**

D I S S E R T A C I Y A

MAK da jaqlawğa ruxsat:

Magistratura bólim baslıgı:
A.Gulimov

yu.i.k., doc:

Ilimiy basshı:

docent: M. Sháribaev

Kafedra baslıgı:
Ismaylov

professor: Q.

Nókis – 2019 j

MAZMUNÍ

Kirisiw.....	3
I BAP. ÁDEBIY SHOLÍW	
§1.1 AlGaAs tiykarındaǵı qattı strukturalardıń optikalıq qásiyetlerin úyreniw. Itterbiy elementi boyınsha tiykarǵı túsinikler.....	11
§ 1.2 Keń qadaǵan qatlamǵa iye yarımótkizgishli materiallardıń fizikalıq jaqtan áhmiyetliligi hám ámeliyatta qollanılıwı.....	23
II BAP. EKSPERIMENTALLÍQ TEXNIKANÍŇ JAZÍLÍWÍ	
§2.1 Yarımótkizgishli strukturalardıń optikalıq qásiyetlerin izertlewde qollanılauǵın priborlar	28
§ 2.2 Úlgilerdi tayarlaw hám fotoelektrlik lyuminescenciya xarakteristikasını ólshew texnikası.....	35
III BAP. EKSPERIMENTTÍŇ NÁTIYJELERI HÁM OLARDÍŇ TALQÍLANÍWÍ	
§3.1 AlGaAs strukturasınıń itterbiy atomı menen legirleniw dárejesine qaray otırıp fotolyuminescentlik xarakteristikaların úyreniw.....	38
§3.2 GaAs juqa plenkasınıń dáslepki hám itterbiy atomı menen legirlengen keyingi optikalıq qásiyetleriniń ózgeriwlerin úyreniw.....	43
Juwmaqlaw.....	77
Paydalanılǵan ádebiyatlar	78

Kirisiw

Ilim hám texnikanıń rawajlanıwı menen yarımótkizgishli materiallardıń qollanıw oblastları artıp barmaqta. Yarımótkizgishli materiallardıń yamasa olar tiykarındaǵı yarımótkizgishli ásbaplıq úskenelerdiń derlik barlıq tarawlarda paydalanılıw múmkinshilikleri ilimiy hám texnikalıq jaqtan sheshilip atır. Yarımótkizgishli materiallardıń kóp túrliligi, olardıń quramındaǵı yarımótkizgishli elementlerdiń sanları, olardıń qálegen ólshemleriniń alınıwı, tochkalıq, epitaksiallıq ólshemleriniń alınıwları optikalıq hám elektrofizikalıq xarakteristikalarınıń elede ózgeriwlerine alıp kelmekte.

Házirgi waqıttaǵı zamanagóy texnikalardıń derlik barlıǵı usı yarımótkizgishli materiallardan tayarlangan ásbap-úskeneler arqalı óziniń jumısın atqaradı yamasa olardıń ishindegi tiykarǵı aktiv elementleri usı yarımótkizgishli materiallar bolıp esaplanadı. Yarımótkizgishli materiallardıń ólshemleriniń nano, mikro ólshemlerge iye bolıwı hámde olar tiykarındaǵı hár qıylı tarawlarda paydalanılatuǵın yarımótkizgishli ásbaplardıń kelip shıǵıwları bul yarımótkizgishler fizikasınıń eń bir jetiliskeńligin kórsetiwshi faktorlar bolıp esaplanadı. Yarımótkizgishli materiallardıń elede qollanıw oblastların artırıw ushın, olardıń uzaq waqıt buzılmaстан jumıs alıp barıwı ushın olardıń elede optikalıq, elektrofizikalıq xarakteristikaların izertlew eń mashqalalı máselerdiń biri.

Bul máseleni házirgi waqıtta aldımızda turǵan áhmiyetli wazıypalardan biri sıpatında kóriwdi búgin zamannıń ózi talap etpekte.

Solay eken bizler usı magistrlik dissertatsiya jumısımızda qatlamlı AlGaAs/GaAs, GaAs juqa plenkalarına itterbiy atomlarınıń konsentratsiyalarınıń Yb muǵdarı hár qıylı bolǵan belgili bir úleslerin kirgizip olardıń optikalıq qásiyetleriniń qatlam qalınlıqlarına baylanıslı ózgeriwlerin izertlep shıqtıq. Yarımótkizgishli kristallardıń optikalıq dúzilisin izertlew arqalı olardıń zonalıq qurlısı haqqında kóp keńeytilgen túsiniklerin bilip alıwǵa boladı. Qattı denelerdiń fundamental dúzilisin anıqlaw ushın olardıń

zonalıq qurlısın biliwimiz kerek. Real kristallardaǵı defektlerdiń energetikalıq strukturasın anıqlaw júdá áhmiyetli bolıp tabıladı. Teoriyalıq jaqtan bul strukturalardıń dúzilisin anıqlaw kóp qıyınshılıqlardı keltirip shıǵaradı, sonlıqtan da eksperimental metod arqalı bunday strukturalar izertlenedi. Ideal kristallarda kristallıq reshetkanıń bir neshe tiptegi defektleri bar boladı: fononlar, elektronlar, gewekler, eksitonlar, polyaronlar, túyinlerdegi atomlar yamasa ionlar, basqa túrdegi atomlar, dislokatsiyalar. Bul defektlerdiń energetikalıq strukturasın izertlew ushın yarımótkizgishlerdiń nurlanıw rekombinatsiyasın izertlewimiz kerek. Bul metodika úlken qadaǵan qatlamǵa iye yarımótkizgishli dúzilislerdiń qásiyetlerin izertlewde qollanıladı. Yarımótkizgishlerde hám izolyatorlarda metallarǵa qaraǵanda zaryad tasıwshılardıń konsentratsiyası turaqlı bolmaydı. Kristallarda zaryad tasıwshılardıń yaǵnıy elektronlardıń hám gewekler parınıń joq bolıp ketiwi yamasa annigilyasiyası rekombinatsiya dep aytıladı. Elektronlardıń hám geweklerdiń rekombinatsiyası nurlanıwsız bolıw múmkin, sonlıqtan da energiyanıń belgili bir bólegi generatsiya protsessine beriledi. Nurlanıw rekombinatsiyası yarımótkizgishlerde tómendegi protsesslerdiń járdeminde bolıp ótedi. a) Erkin elektron hám geweklerdiń rekombinatsiyası b) Lokallıq oraylar menen baylanıslı bolǵan erkin zaryad tasıwshılardıń rekombinatsiyası (lokallıq oray-zona ótiwi) v) Geweklerdiń hám elektronlardıń bir lokallıq oraydan rekombinatsiyası (ishki oraylıq ótiwler) g) Erkin eksitonlardıń lokallıq oraylar annigilyasiyalanıwı. Yarımótkizgishlerdegi nurlanıw spektrleriniń rekombinatsiya mexanizmlerin izertley otırıp rekombinatsiya mexanizimi hám elektronlardıń energetikalıq spektrlerin anıqlawımızǵa boladı. Jaqtılıq kvantları menen generatsiyalangan zaryad tasıwshılardıń nurlanıw rekombinatsiyası bul fotolyuminescenciya qubılısı bolıp esaplanadı.

Defektsiz hám minimal kernewge iye priborlardı alıwımız ushın yarımótkizgishli geteroepitaksiallıq qatlamlardaǵı awısıq kernewdi joǵaltıwdıń taza texnologiyaların izlewimiz kerek. Betke ósirilgen epitaksiallıq qatlamlardıń

optikalıq qásiyetlerinde izertley otırıp olardıń zonalıq strukturaları haqqında da keń kólemdegi túsiniklerdi alıwımızǵa boladı. Yarımótkizgishlerdiń nurlanıw rekombinatsiyasın izertlew defektlerdiń energetikalıq qatlamındaǵı hár qıylı tásirleri haqqındaǵı paydalı informatsiyalardı beredi. Ósirilip atırǵan stexiometriyalıq quramǵa jaqın hám ózgeshe monokristallardı ósiriwde, ósiriliw metodına qaray otırıp ondaǵı pataslıqlardı kemeytiwimizge boladı. Úlken qadaǵan qatlamǵa iye yarımótkizgishli materiallardıń optikalıq qásiyetlerin izertlegenimizde biz dáslep onıń qanday usılda ósirilgen anıqlap hám qanday elementlermen legirlengen ekenin anıqlap alıwımız kerek hám ósirilip atırǵan strukturamızdı qurawshı elementlerdiń qanday qatnasta alınǵanın biliwimiz kerek.

Bizler ózimizdiń magistrlik dissertatsiya ilimiy jumısımızda joqardaǵı ayılǵan máselelerge tiykarlanıp AlGaAs/GaAs strukturasınıń mollik muǵdarına qaray otırıp olarǵa itterbiy atomların kiritip nurlanıw spektrleriniń ózgerislerin izertlep shıqtıq.

Jumıstıń tiykarlanıwı hám aktuallıǵı: Nano ólshemge iye bolǵan epitaksial plenkalardıń texnikasınıń hár qıylı tarawlarında qollanılıp, hámde mikro hám optoelektronika ásbaplarınıń (geterolazerlerdiń, optikalıq modulyatorlardıń, jaqtılıq diodlarınıń, joqarı jıyılıqlı nurlandırǵısh ásbaplarınıń) tiykarǵı aktiv elementleri bolıp esaplanadı. Sonlıqtan da kishi ólshemli binarlı hám qattı birikpelerdi alıw eń bir aktual yarımótkizgishler fizikasınıń máseleleri bolıp esaplanadı. Yarımótkizgishli epitaksial plenkalardı ligirlew olardıń optikalıq xarakteristikalarınıń ózgeriwine alıp keledi. Itterbiy atomları menen alyuminiy galliy arsenid strukturasını AlGaAs: Yb legirlew arqalı onıń optoelektronlıq xarakteristikasını ózgertiw menen birge onıń qollanılıw oblastıda ózgeredi. Sonlıqtanda AlGaAs: Yb qattı birikpesiniń optikalıq xarakteristikasını izertlew eń aktual máselelerdiń biri.

Magistrlik dissertatsiya jumısının maqseti: Yarımótkizgishli materiallar barlıq mikroelektronikanıń tiykargı elementleri bolıp esaplanadı (integrallıq sxemalar) hám barlıq texnika tarawlarında paydalanıladı. Kerekli qadağan qatlamğa iye bolğan yarımótkizgishli materialdı alıw ushın yarımótkizgishli materialğa basqa elementtiń atomların kiritiw gerek. Magistrlik dissertatsiya jumısının maqseti bul alyuminiy galliy arsenid strukturasına itterbiy atomın kiritip onıń optikalıq qásiyetleriniń ózgeriwin izertlew bolıp esaplanadı.

Magistrlik dissertatsiya jumısının wazıypası: AlGaAs qattı birikpeleri hár qıylı qadağan qatlamğa iye bolğan basqarılıwğa iye bolğan yarımótkizgishli material bolıp esaplanadı. AlGaAs strukturasına itterbiy atomlarınń konsentratsiyasın kiritiw arqalı onıń optikalıq hám elektrofizikalıq xarakteristikasınıń ózgertiwge boladı. Magistrlik dissertatsiya jumısının wazıypası AlGaAs qattı birikpesine itterbiy atomınıń konsentratsiyasın kiritip onıń optikalıq qásiyetleriniń ózgeriwin izertlew bolıp esaplanadı.

Jumıstıń maqseti hám wazıypaları: Magistrlik dissertatsiya jumısının maqseti itterbiy atomları menen AlGaAs:Yb qattı birikpesin legirlew arqalı onıń optikalıq qásiyetleriniń ózgeriwin izertlew bolıp tabıladı. Usı maqsetke erisiw ushın tómendegi wazıypalardı orınlawımız gerek.

1. Legirlenbegen AlGaAs, GaAs strukturalarınıń fotosezgirlik, fotoluminescenciya, fotoshağılısıw xarakteristikaların anıqlaw.

2. Itterbiy atomı menen legirlengen AlGaAs: Yb, GaAs strukturalarınıń fotosezgirlik, fotoluminescenciya, fotoshağılısıw xarakteristikaların anıqlaw.

Izertlew obykti: Magistrlik dissertatsiya jumısının obykti etip AlGaAs: Yb qattı birikpesi alındı.

Izertlew predmeti: Magistrlik dissertatsiya jumısının predmeti etip alyuminiy galliy arsenid strukturasını itterbiy atomı menen legirlep onıń nurlanıw spektrlerin izertlew.

Izertlewdiń ilimiy jańalıǵı:

1. Qattı AlGaAs:Yb birikpesiniń itterbiy atomları menen legirlengennen keyingi taza nurlanıw sızıqları anıqlandı.
2. AlGaAs:Yb qattı birikpesiniń shetki hám tolqın uzınlıǵı úlken táreplerindegi fotolyuminescenciya spektriniń nurlanıw maksimumları anıqlandı.
3. AlGaAs:Yb qattı strukturasınıń temperaturaǵa baylanıslı fotolyuminescenciya spektrleriniń ózgeriwleri izertlendi.
4. Itterbiy atomlarınıń konsentratsiyasına baylanıslı fotolyuminescenciya spektriniń maksimumlarınıń ózgeriwleri anıqlandı.

Problemanıń izertleniw dárejesi: Yarımótkizgishli materiallardı redkozemelnıy elementler menen legirlew eń az izertlengen máselelerdiń biri. Sonlıqtan da GaAs, AlGaAs qattı birikpelerin itterbiy atomları menen legirlegennen keyingi optikalıq xarakteristikaların izertlew arqalı onıń qollanıw oblastların tabıwmızǵa boladı.

Tema boyınsha qısqasha ádebiyatlar analizi.

Bul jumısta tiykarǵı ádebiyatlar [3-18] nen keń paydalanıldı.

Bul ádebiyatlardaǵı eksperiment nátiyjeleri analiz etilip nátiyjeler menen salıstırıldı. Sonday aq bir Qatar konferenciya materiallarınan hám isenimli internet saytlarınan paydalanıldı. Dissertaciya nátiyjeleri ilimiy jurnallardaǵı 1 maqala hám konferenciyalardaǵı 5 tezis materiallarında óz tastıyqın tapqan.

Dissertatsiya jumısınıń strukturası.

Dissertatsiya barlıq qaǵıydalarǵa tiykarlanǵan. Tiykarǵı bólimi 3 bob va 6 paragraftan ibarat:

1-Bap AlGaAs juqa plenkasınıń optikalıq qásiyetleriniń sırtqı tásirlerge baylanıslı ózgeriwlerin fotoótkizgishlik, fotolyuminescenciya, fotoshaǵılısıw

spektrleri arqalı izertlengen basqa avtorlardıń ilimiy miynetlerin sholıwdan ibarat. Sonıń menen birge hár qıylı tásirlerden keyingi fotoelektrlik qásiyetlerin izertlewlerge hám itterbiy atomınıń fizikalıq, ximiyalıq dúzilislerin úyreniwge baǵıshlangan.

2-Bap A_2V_6 hám A_3V_5 birikpelerinen turıwshı yarımótkizgishli materiallardıń lyuminestsentlik, fotoótkizgishli, fotoshaǵılısıw qásiyetlerin ólshew ushın kerekli bolǵan ulıwmalıq úskenelerdiń ólshew metodikasına hám geterostrukturalardıń ósiriliw usıların úyreniwge baǵıshlangan.

3-Bap AlGaAs juqa plenkasınıń optikalıq qásiyetleriniń ózgeriwlerin itterbiy atomınıń hár qıylı muǵdarın kirgiziw arqalı fotolyuminestsentsiya, fotoshaǵılısıw, fotoótkizgishlik qublıları boyınsha anıqlawǵa baǵıshlangan. İzertlengen eksperimenttiń nátiyjeleri tolıq basqa avtorlar tárepinen izertlengen nátiyjelerge sáykes kelip, eksperiment nátiyjeleri hár qıylı qásiyetleri arqalı dálillengen. Eń áhmiyetli nátiyjelerge itterbiy atomın qattı alyuminiy galliy arsenid birikpesine kirgizgennen keyin, nurlanıw spektrleriniń eksitonlıq oblastında taza nurlanıw oraylarınıń payda bolıwı bolıp esaplanadı. Magistrant magistrlik ilimiy dissertatsiya jumısın orınlawda 2-jılda alǵan bilimin jumıstı orınlawda qollana bilgen.

Basis and actuality of the theme: Epitaxial films with nanoscale sizes is used in different fields of technology and is the basis of the active elements of micro and optoelectronic devices (heterolasers, optical modulators, LEDs, RF radiating devices). Therefore, obtaining binary and solid semiconductor structures with small quantities is an urgent problem of physics. Doping of semiconductor epitaxial films leads to their change in optical characteristics. When ytterbium atoms are doped to a solid compound, aluminum gallium arsenide GaAs:Yb in the structures changes the optoelectronic characteristics and the scope of these structures changes. Therefore, the study of AlGaAs:Yb optical characteristics is an urgent task of physics.

The purpose of Master dissertation work: Semi-conductor materials is fundamentals of microelectronics (integrated circuits) and it is applied in all areas of the equipment. For receiving required semi-conductor materials with these forbidden bands it is necessary to alloy semi-conductor material. On it the purpose of our scientific master's dissertation theses is the research of optical characteristics ytterbium atom influence on optical characteristics aluminum gallium the arsenidovykh of structures of AlGaAs: Yb.

The mission of Master dissertation: AlGaAs strong structures is applied to obtaining the operated diode laser structures with the different forbidden zones. With addition of concentration of atom of ytterbium on firm structures of Al_xGa_{1-x}As changes optical and electrophysical properties of these structures. Tasks master dissertation works determination of optical properties after alloying with ytterbium of strong structures AlGaAs is.

The purpose and mission the work. The purpose of master's scientific dissertation theses is definition change of optical properties after alloying with AlGaAs ytterbium atoms: Yb. To aspire it the purpose we has to will solve the following problems.

1. Definition is photosensitive, the photoluminescent, photoreflected characteristics not the legorvannykh of AlGaAs GaAs of structures.
2. Definition is photosensitive, the photoluminescent, photoreflected characteristics alloyed by AlGaAs ytterbium atoms: Yb, GaAs of structures.

Object of investigation: Object master dissertation works is strong structures alloyed with different concentration atoms of ytterbium GaAs, AlGaAs:Yb.

Subject of investigation: Subject master dissertation works is the research of radiating characteristics aluminum arsenide galiy of the gadding firm structures alloyed by ytterbium atoms

Scientif novelty of the work:

1. It is defined new radiating lines with alloying with AlGaAs ytterbium atoms: Yb of strong structures.

2. It is defined regional and long-wave radiating maxima of photoluminescence of AlGaAs: Yb of strong structures.

3. Temperature dependences of AlGaAs are put in order: Yb of strong structures

4. Dependences on concentration of ytterbium photoluminescence maxima of radiating lines are defined.

The degree investigation of the problem: Strong structures alloyed by rare-earth elements is poorly studied semiconductor materials. Therefore studying the optical characteristics alloyed by the rare-earth elements GaAs, AlGaAs: We can find Yb a scope of these strong structures.

The structure of the dissertation work. The dissertation correspond to all the rules. The main body consists of 3 chapters and 6 paragraphs:

Chapter 1 consists of descriptions to the works of other authors that have searched the changing of the optical peculiarities of AlGaAs thin film in accordance with the external effects through the spectra of photoconductivity, photoluminescence, photoreflection. Besides, it is dedicated to learn the photoelectrical peculiarities after different influences and to learn the physical and chemical structures of ytterbium atom.

Chapter 2 is dedicated to the methodology of the evaluation of the general instruments that are needed to evaluate the photoconductive, photoluminescent, photoreflexive peculiarities of the semiconductive materials which consists of $A_2V_6A_3V_5$ combinations and to learn the growing ways of heterostructures.

Chapter 3 is dedicated to determine the changes of the optical peculiarities of AlGaAs thin film through entering different amounts of the ytterbium atom

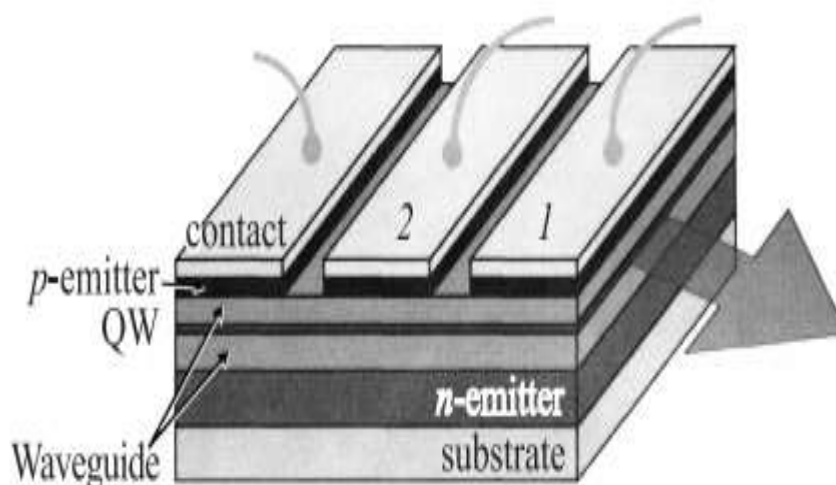
according to the photoconductivity, photolumination, photoreflection processes.

The results of the researched experiment are suitable to the results of researches which have been carried out by other authors and the results of the experiment have been proved through different peculiarities. The most significant results include the appearance of the new radiation centres in the excitonal area of radiation spectra, after entering the ytterbium atom into the combination of solid aluminum gallium arsenide. The master student managed to use her knowledge which has been gained in 2 years in order to carry out the scientific dissertation.

I-BAP. ÁDEBIY SHOLÍW

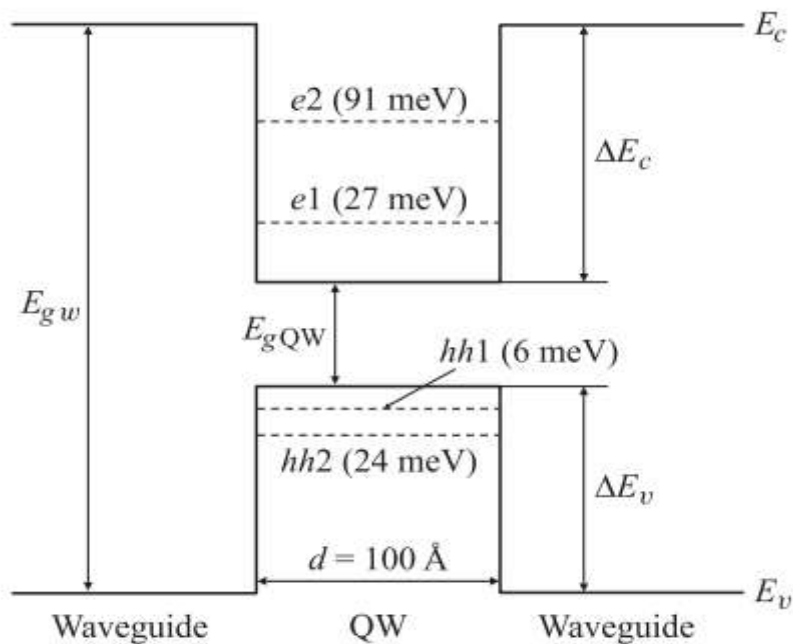
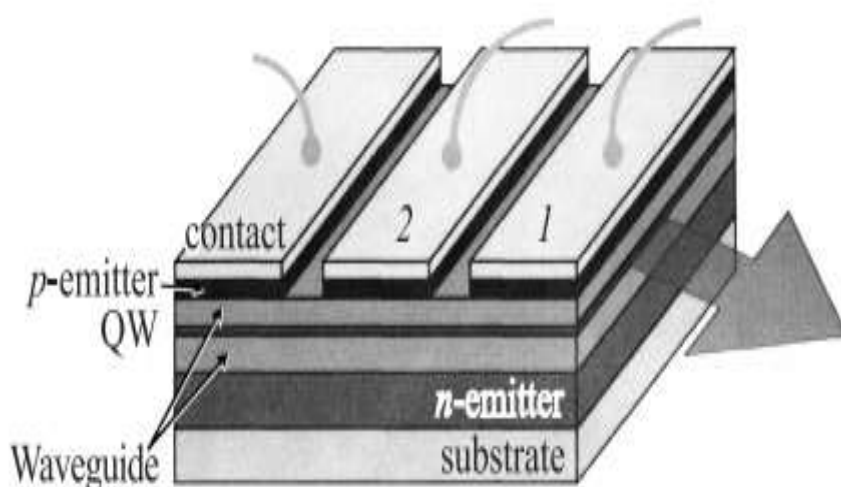
§1.1. AlGaAs tiykarındaǵı qattı strukturalardıń optikalıq qásiyetlerin úyreniw. Itterbiy elementi boyınsha tiykarǵı túsinipler

Asa joqarı jıyilikli tranzistorlardı islewde, millimetrlik diapazonda islewshi mikrosxemalardı islewde AlGaAs/GaAs úshlik qattı birikpesi paydalanıladı. Maydanlı tranzistorlardıń jıyilikli diapazonın úlkeytiw ushın elektronlardıń dreyflik tezliklerin arttırıw kerek boladı. Dreyflik tezliklerdi arttırıw ushın qattı qatlamǵa iye AlGaAs/GaAs strukturasındaǵı alyuminiy yamasa galliydiń mollik muǵdarın arttırıw kerek. AlGaAs/GaAs strukturası gaz fazalı epitaksiya jolı menen ósiriledi. Bunday qattı strukturalarda qalıńlıǵına baylanıslı tok ótkeriw protsessleri, nurlanıw protsessleri ózgermeli bolıp keledi. Sonlıqtanda, qattı AlGaAs/GaAs strukturasınıń ósiriliw usılındaǵı temperaturaǵa baylanıslı qollanıw oblastlarında ózgerip otıradı. Bunday strukturalar lazerlerdiń aktiv oblastı xızmetinde atqaradı. 1.1-súwrette AlGaAs/GaAs strukturasınıń sxemalıq kórinisi kórsetilgen.



1.1.-súwret. Kóp seksiyalı AlGaAs/GaAs strukturasınıń sxemalıq kórinisi

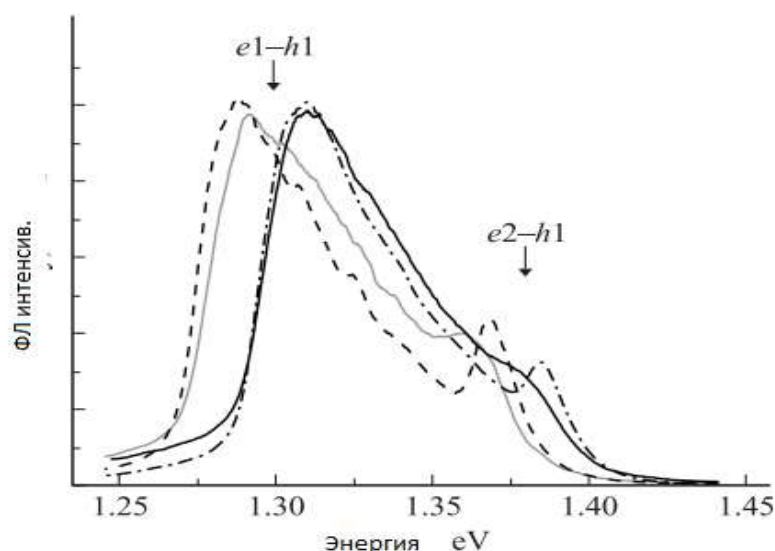
Kórsetilgen sxemadağı úlgide tranzistordıń aktiv hám passiv oblastları 1-2 dep belgilengen. 2-dep belgilengen oblast bul aktiv oblast 1-dep belgilengen oblast passiv oblast. Bunday lazerlerdiń aktiv hám passiv oblastlarınıń optikalıq xarakteristikaların izertley otırıp olardıń quramlarındağı pataslıqlardı buzbastan anıqlawımızǵa boladı. 1.2-súwrette AlGaAs/GaAs tiykarındaǵı geterolazerdiń aktiv oblastınıń zonalıq diagramması kórsetilgen.



1.2-súwret. AlGaAs/GaAs tiykarındaǵı geterolazerdiń aktiv oblastınıń zonalıq diagramması

Sxemadan aktiv oblastnıń kvantlanıw ólshemleriniń teoriyalıq jaqtan esaplangan qáddilerin kóriwimizge boladı. Teoriyalıq jaqtan AlGaAs/GaAs strukturasınıń kvantlanıw halların esaplaǵanda kernewdiń ólshemi zonalıq turaqlılarǵa sáykes etip alındı. AlGaAs/GaAs tiykarındaǵı izertleniwshi lazerli diodlardıń ishki optikalıq joǵaltıwı hám kvantlı shıǵıwı $0,8 \text{ sm}^{-1}$ bolıp bul 99 % ti quraydı. Bul óz gezeginde bunday geterostrukturalardıń joqarı sapalıqqa iye ekenligin bildiredi. Aktiv oblastlardıń zonalıq strukturası diodlardıń nurlanıw xarakteristikasını anıqlap beredi.

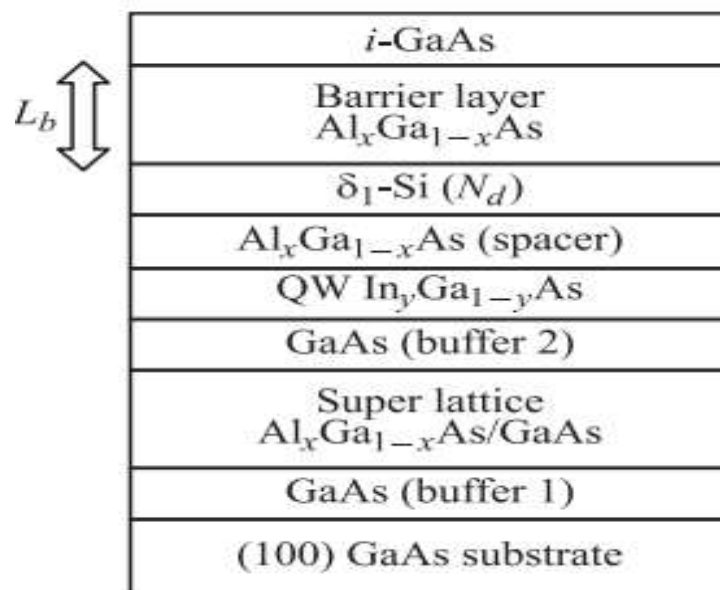
Injektsiyalanıwshı tok aktiv oblastnıń ózgeriw múmkinshiligini anıqlap beredi. Aktiv oblastaǵı injeksiyalanǵan zaryadlardıń zonalıq oblastaǵı parametrlerge tásirini izertlew aktiv oblastnıń kópshilik xarakteristikalarını anıqlap beredi. Aktiv oblastlardıń xarakteristikasınıń biri bul elektro hám fotolyuminescenciya qubılısları bolıp esaplanadı. Aktiv oblastlardıń AlGaAs/GaAs strukturasınan tayarlangan waqıttaǵı ósiriliw baǵıtı barlıq waqıtta (110) baǵıtında saylap alınadı. Injektsiyalıq kontakt oblastınıń maydanı $200 \times 700 \text{ mkm}$ etip alınadı. 1.3-grafiginde usı AlGaAs/GaAs strukturasınıń elektroluminescenciya grafigi kórsetilgen.



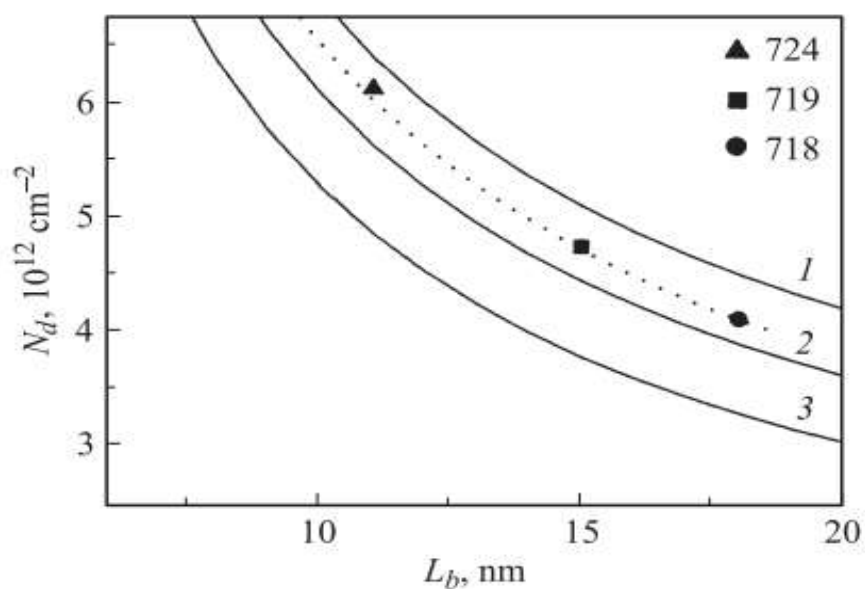
1.3-grafiginde usı AlGaAs/GaAs strukturasınıń elektroluminescenciya grafigi

Grafikten kórinip turganday elektroyuminescenciya hár qıylı tok tıgızlıǵında ólshengen. Elektroyuminescenciya maksimumları birlik tochkaga keltirilgen. Grafikte elektr togınıń qozdırıw tıgızlıǵına baylanıslı hár qıylı tok tıgızlıǵında elektroyuminescenciya maksimumları hár qıylı yarım keńlikke iye bolǵan. Toktıń tıgızlıǵınıń artıwı menen úlgerdiń nurlanıw maksimumlarınıń intensivlikleri hár qıylı bolıp ózgergen. Elektroyuminescenciya yarım keńligi tok tıgızlıǵınıń artıwı keńeyip bara bergен. Yarım kenliktiń keneyiwi eki qurawshıdan turadı. Birinshisi, bul kishi tolqın uzınlıǵı tárepke jıljıwı bolıp, bunday jıljıwdı aktiv oblasttaǵı zaryad tasıwshılardıń konsentratsiyasınıń kóbeyiwi menen túsindiredi. Toktıń tıgızlıǵınıń artıwı menen ekinshi qısqa tolqınlı ekstremum payda boladı. Bunday ekstremumnıń payda bolıwı ($2e-2hh$) nıń, ekinshi elektronlıq qáddiden kvantlıq yamadaǵı awır gewek qáddige ótiwine tiykarlangan boladı. Spektral sıızıqtıń ekinshi keneyiwdegi qurawshısı bul úlken tolqın uzınlıǵı tárepinde payda boladı. Aktiv oblastnıń elektroyuminescenciya nátiyjesinde qızıp ketiwden payda boladı. Tok impulsınıń waqıtınıń kishireyiwi menen spektrdiń jıljıwı aktiv oblastta ózgermeydi. Bul óz gezeginde aktiv oblasttıń lazer nurı tásirinde qızıp ketiwi kishi nurlanıw spektrlerine óziniń jeterli tásirin tiygizbeydi degendi bildiredi. Temperaturanıń tásirsiz elektroyuminescenciya qubılısı [1] avtorlardıń jumısında izertlengen. Elektroyuminescenciya nátiyjesinde nurlanıw spektrleriniń ózgeriwi tok tasıwshılardıń ishki shashırawı hám atomnıń potensialnıń kristallnıń reshetkanıń erkin zaryad tasıwshıları menen ekranlaw sebep bolıp esaplanadı. Erkin zaryad tasıwshılardıń konsentratsiyasınıń artıwı menen kvantlı yamanıń qadaǵan qatlamınıń kishireyiwi payda boladı.

Tok tıgızlıǵınıń ózgeriwine baylanıslı uzın tolqın uzınlıǵına tiyisli maksimal intensivliktiń ózgeriw grafigi tómende kórsetilgen.



N_0	$N_d, 10^{12} \text{ cm}^{-2}$	$L_b, \text{ nm}$	$n_H, 10^{12} \text{ cm}^{-2}$			$n_{\text{sdH}}, 10^{12} \text{ cm}^{-2}$	$\mu_H, \text{ cm}^2/(\text{B} \cdot \text{c})$		
			300 K	77 K	4.2 K		300 K	77 K	4.2 K
718	4.1	18	1.54	1.50	1.54	1.53	6600	19 400	21 380
719	4.7	15	1.69	1.60	1.55	1.55	7800	30 300	35 500
724	6.2	11	1.71	1.63	1.71	1.68	6620	25 560	36 800



**1.4-súwrette tok tıǵızlıǵınıń ózgeriwine baylanışlı uzın tolqın
uzınlıǵına tiyisli maksimal intensivliktiń ózgeriw grafigi**

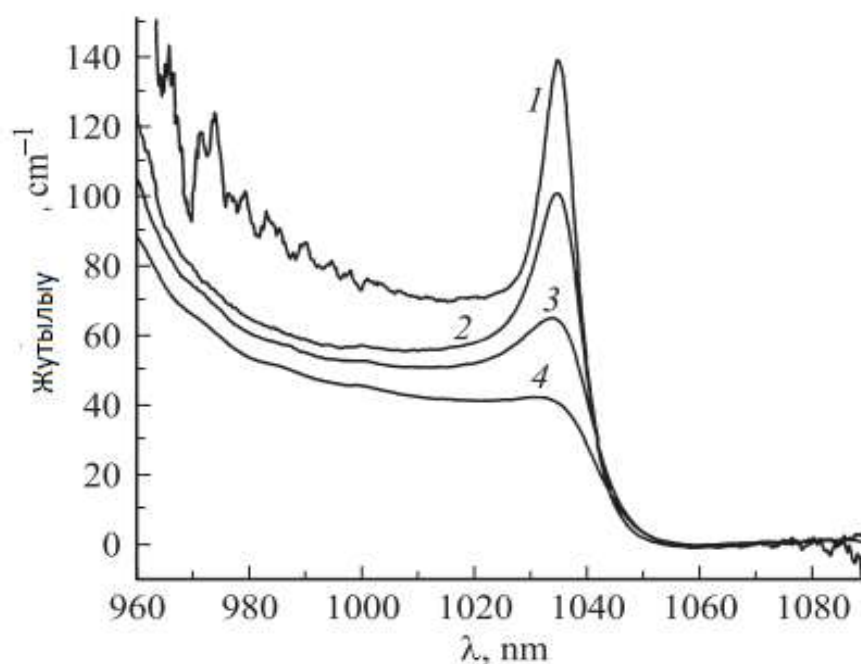
Elektrolyumnescenciyanıń nurlanıw maksimumlarınıń tok tıǵızlıǵı artıwı menen úlken energiya tárepine ózgeriwi bolıp esaplanadı. Izertlengen aralıqta nurlanıw maksimumlarınıń ózgeriwi anıqlanǵan. Kishi qozdırıw aralıǵınan ($0-36 \text{ A/sm}^2$) tok tıǵızlıǵın 1000 A/sm^2 aralıǵına ózgertkende nurlanıw maksimumı 10 meV aralıǵına $0,008 \text{ nm/A/sm}^2$ tezligi menen qozǵaladı. Elektrolyuminencenciya tiykarında alınǵan spektrler eki protsesstıń yaǵnıy jutılıw hám nurlanıw rekombinatsiyasınıń nátiyjesi bolıp esaplanadı. Jutılıw spektrlerin izertlew metodikası úsh seksiyalı qattı kristallarda alıp barıldı. Seksiyalar bir-birinen birdey optikalıq tolqın ótkiziwshilikke iye etip alınıp, olar bir-birinen izolyaciyalanǵan halda jeke bólinip alındı. Elektrik izolyasiya travit etilgen r-emmitter tárepinen 10 mkm keńliginde alındı. Hár bir seksiya ólshemi $200 \times 700 \text{ mkm}$ etip alındı. Elektrolyuminescenciya ólshengen waqıtta tek bir qırı (zerkalnıy) jıltır ayna formasında qaldırıldı. Jutılıw spektri eki etapta alıp barıldı. Birinshi etapta hár qıylı úlgielerdiń hár qıylı tok tıǵızlıqlarında elektrolyuminescenciyası ólshenip shıqtı. Alınǵan spektrlerdiń nátiyjesi 1.3-súwretegi ǵárezlikti keltirip berildi. Ekinshi etapta jutılıw spektrleri ólshendi. Jutılıw spektrleri úsh qáddide alıp barıldı. Usınday qáddime qáddi ólshew nátiyjeside nurlanıwdıń spektrallıq quramı anıqlandı. Ortasha seksiyanı qollanıw arqalı ólshewdiń anıq túrdegi nátiyjesin alıwǵa múmkinshilik jaratıladı. Usıǵan tiykarlanǵan halda Buger-Lambert-Ber nızamı paydalınıldı.

$$I=I_0\exp(\alpha L) \quad (1.1)$$

Bunda I –intensivlik, I_0 –dáslepki intensivlik, α -jutılıw koeffitsenti, L -jutılıw spektri izertlenetuǵın uzınlıq.

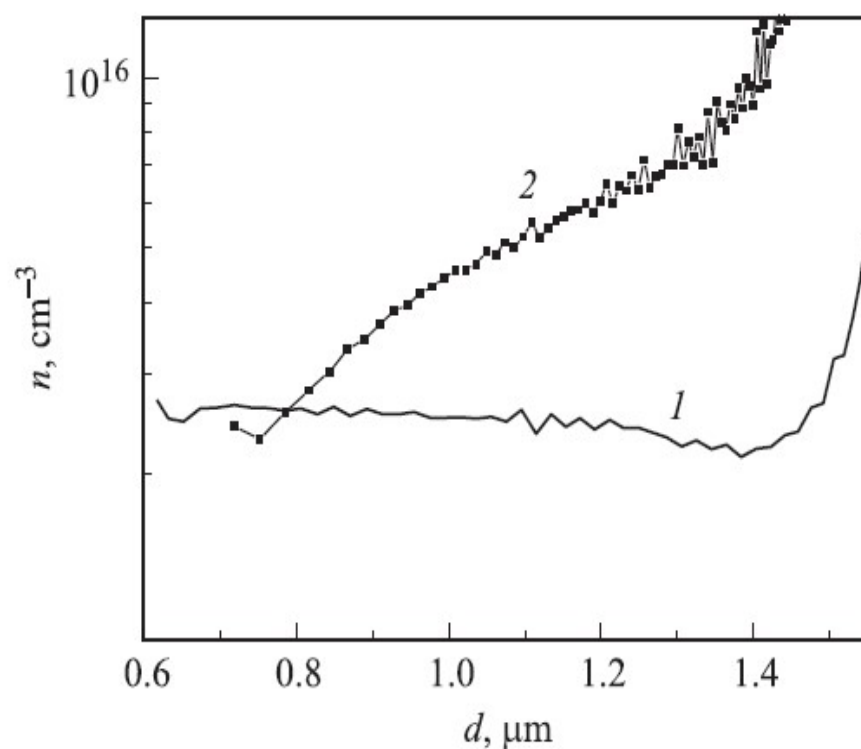
1.5-súwrette jutılıw spektriniń grafigi kórsetilgen. Jutılıw spektriniń tolqın uzınlıǵı úlken tárepke sáykes keliwshi maksimum 7 meV jiyiligi boyınsha 140 sm^{-1} teń. Alınǵan jutılıw maksimumı eksitonlıq jutılıw mexanizimine baylanıslı bolıp esaplanadı. Spektrdiń intensivliginiń

ózeriwi shetki jutılıw spektrine juwap beriwshi oraydın annigiliyasiyalanıwı menen túsindiriledi. Usınday etip úlken tolqın uzınlıǵı tárepindegi jutılıw spektrindegi ózgerislerdi zaryad tasıwshılardıń fotogeneratsiyası menen túsindiremiz.



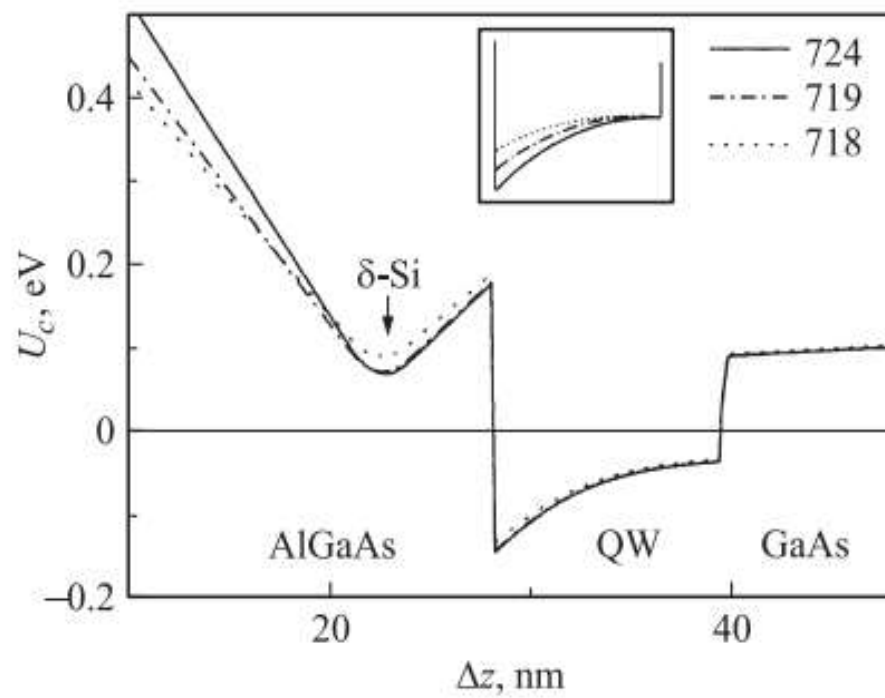
1.5-súwret. AlGaAs juqa plenkasınıń jutılıw spektriniń grafigi

1.6-súwrette birdey intensivliktegi tuyıq hám tuyıq emes shınjırdaǵı fototoktıń jutılıw spektrleri kórsetilgen.

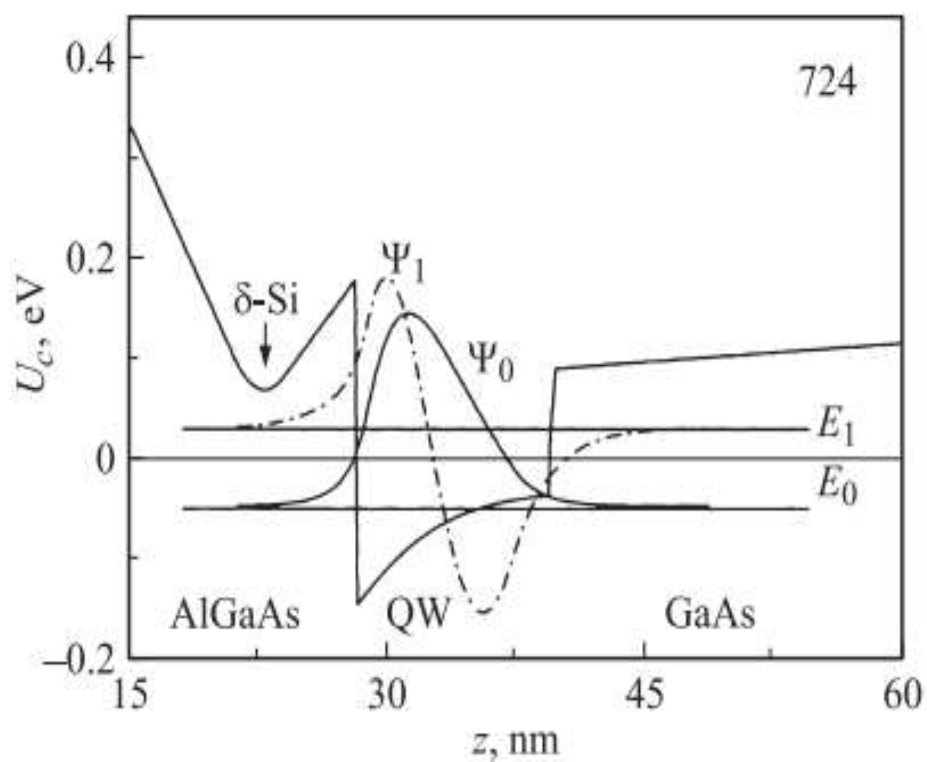


1.6-súwret. Fototoktńń úlken tolqın uzınlıǵı tárepindegi iyni fotogeneratsiyalaǵan zaryad tasıwshılardıń toplanıwı natiyjesinde kishi energiya tárepine jılǵıydı

Grafikten kórinip turǵanday fototok fotogeneratsiyalaǵan zaryad tasıwshılardıń toplanıwına kvantlı yamada tosqańlıq jasaydı. Qısqa tuyıqlanıwǵa iye úlgedeǵi úlken tolqın uzınlıǵına iye jutılıw maksimumı óziniń intensivligin saqlap qaladı.



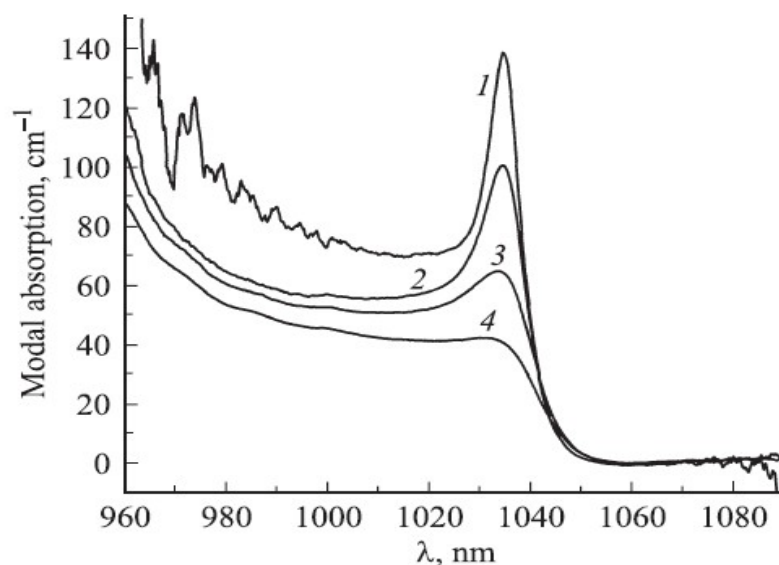
Strukturanın sxemalıq dúzilisi



Nurlanıwdıń betlik oraylar boyınsha bólistiriliwi

1.6-súwrettegi grafikten ashıq ótkizgishtegi fototoktıń úlken tolqın uzınlıǵı tárepindegi iyni fotogeneratsiyalanǵan zaryad tasıwshılardıń toplanıwı nátıyjesinde kishi energiya tárepine jılǵıydı. Tolqın uzınlıǵı úlken tárepke qaray jutılıw spektriniń jılǵıwın tómendegishe tusindiremiz. Seksiyanı optikalıq jaqtan generatsiyalanǵan waqıtta fotogeneratsiyalanǵan zaryad tasıwshılar payda boladı. Usınıń nátıyjesinde elektrlik shınjır úziledi, fotogeneratsiyalanǵan zaryad tasıwshılar kvantlı yamada hám getero qatlamlarda jıynaladı hám waqıtqa baylanıslı spontanlı rekombinatsiya nátıyjesinde hár qıylı nurlanıwları payda etedi. Spontanlı rekombinatsiya nátıyjesinde fotogeneratsiyalanǵan zaryad tasıwshılardıń konsentratsiyası nolden ózgeshe boladı. Spontanlı rekombinatsiya qánshelli kóp bolatuǵın bolsa, jutılıw seksiyasınıń qáddi joqarı boladı. Aktiv oblastaǵı zaryad tasıwshılardıń konsentratsiyası qanshelli úlken bolatuǵın bolsa qadaǵan qatlamnıń keńligi sonshelli kemeyedi. Aktiv oblastaǵa toplanǵan zaryad tasıwshılardıń jutılıw spektrine ǵárezligi izertlendi. Bunday ólshewlerdi júrgiziw ushın ótkiziwshilik spektri izertlenip, izertleniw waqıtında shetki seksiya hár qıylı amplitudaǵı tok penen támiyinlep turıldı.

1.7-súwrette usı ólshengen jutılıw spektriniń grafigi korsetilgen.



1.7-súwret. AlGaAs juqa plenkasınıń jutılıw spektriniń grafigi

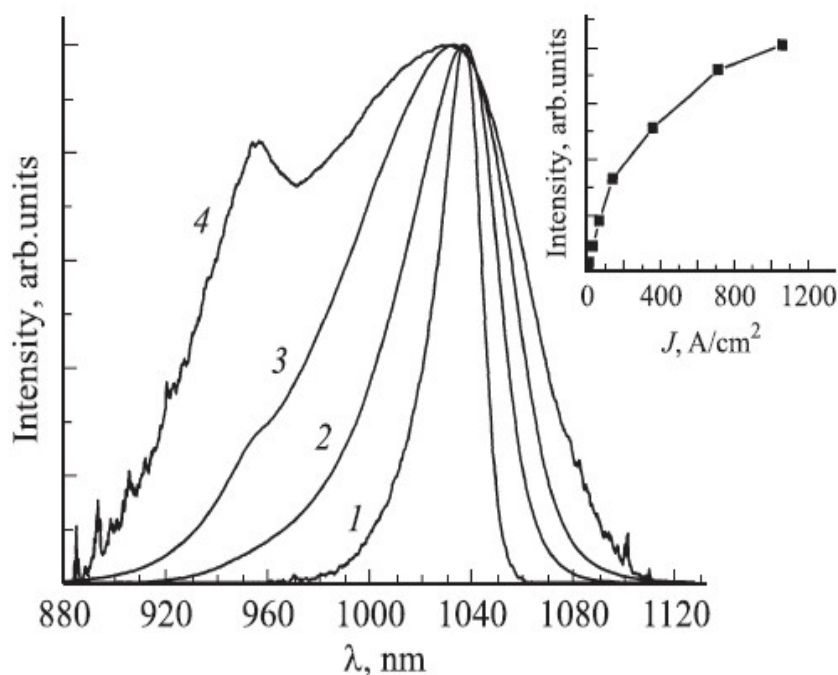
Grafikten kórinip turganday zaryad tasıwshılardıń konsentratsiyasınıń artıwı menen aktiv oblastta shetki jutılıw spektriniń intensivliginiń maksimumınıń kemeyiwın kóriwimizge boladı. Tok tıǵızlıǵı 16 A/sm^2 teń bolǵanda intensivlik tolıǵı menen sónedi. Zaryad tasıwshılardıń toplanıwı kishi tolqın uzınlıǵı tárepinde jutılıw spektrin tómendetedi. Demek, shetki jutılıw maksimumınıń jaqtı túsiriw nátiyjesinde annigiliyasiyalanıwı, fotogeneratsiyalangan zaryad tasıwshılardıń toplanıwına baylanıslı boladı. Sheptegi fototok fotogeneratsiyalawshı zaryad tasıwshılardıń toplanıwına tásirin tiygizedi. Usınıń nátiyjesinde jutılıw spektri óziniń formasın saqlap qaladı. Usınday ózgeris nızamlıǵın jutılıw koeffitsentin basqarıw ushın paydalanadı. Basqarıw jutılıw seksiyasındaǵı fototok qarsılıǵın modulyasiyalawdı basqarıw menen basqarıladı.

Spektrallıq ǵárezlilik materiallıq kúsheyiwdiń xarakteristikası bolıp esaplanıp, lazerli diodlardıń bosǵa generatsiyalaw shárti menen orınlanadı. Kúsheyiwdiń spektrallıq ǵárezlilik koeffitsienti [3-4] jumıslarda kórsetilgen. Eksperiment ótkizgen úlgiardiń parametrleri joqarıda kórsetilgen konstrukciya parametrlerine teń etip alındı. Izertleniwshi strukturanıń intensivligi tómendegishe anıqlandı. G-modallıq kúsheyiw, L-seksiya keńligi, R_{sp} -spontallı rekombinatsiya tezligi, β_{sp} -fotonlar úlesin anıqlap beriwshi koeffitsient. Spontanlı nurlanıwdıń intensivligine bir tekligine, lokallıǵın bile otırıp modallıq kúsheyiwdiń intensivliginiń spontanlı nurlanıwdıń kúsheyiw intensivligine qatnasın tómendegishe anıqlaymız. L_1 hám L_2 –seksiyalar keńligi 3-formuladan esaplangan modallıq kúsheyiwdiń grafigi (1.7-súwrette kórsetilgen). Grafikten kórinip turganday oń kúsheyiwde lokal minimumdı kóriwimizge boladı. Kórsetilgen minimumnıń payda bolıwı izertleniwshi strukturanıń konstruktiv xarakteristikasına baylanıslı boladı. 3-formuladan anıqlangan spontanlı nurlanıw spektrlerin registratsiyalaytuǵın bolsaq, birdey seksiyada hár qıylı tolqın uzınlıǵına iye boladı. Zaryad tasıwshılardıń kóp bóleksheli tásirlesiwleri qadaǵan qatlamnıń temperaturalıq kishireyiwine

hám úlken tolqın uzınlıǵı tárepindeǵı kúsheyiwdiń joq bolıp ketiwine alıp keledi.

§1.2. Keń qadaǵan qatlamǵa iye yarımótkizgishli materiallardıń fizikalıq jaqtan áhmiyetliligi hám ámeliyatta qollanılıwı

1.8-súwrette usı joqarıda kórsetilgen AlGaAs juqa plenkamızdıń yaǵnıy usınday alyuminiy galliy arsenid strukturamızdıń fotolyuminescenciya spektri kórsetilgen.

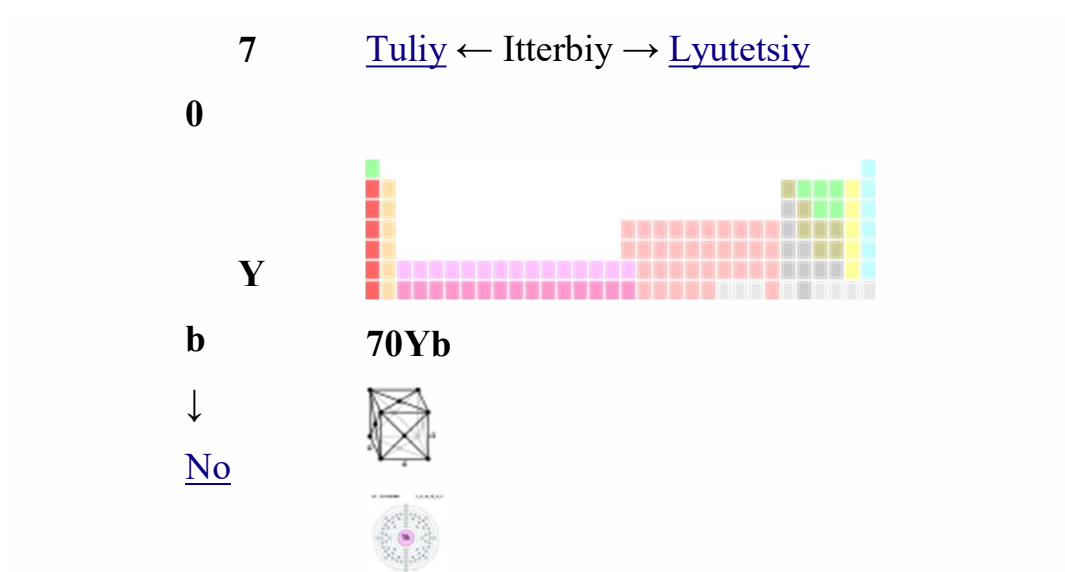


1.8-súwret. AlGaAs juqa plenkasınıń FL spektri

Grafikten kórinip turǵanıday fotolyuminescenciya spektrinde eki nurlanıw maksimumı bar. Grafikte alınǵan fotolyuminessensiya spektrinde 4-iymeklikti kóriwimizge boladı. Bunday qara reńge iye FL spektri alyuminiydiń muǵdarı $x=0,238$ teń bolǵan qadaǵan qatlamı $E_g=1,769$ eV

bolğan úlğimizdiń FL spektri, ekinshi FL spektri alyuminiy muǵdarı $X=0,232$ eV bolğan qadağan qatlamı $E=1,76$ eV bolğan úlğimizdiń, 3-shi FL spektri alyuminiy muǵdarı $x=0,20$ qadağan qatlamı $1,723$ eV bolğan úlğiniń FL spektri, 4-shi alyuminiy muǵdarı $x=0,19$ bolğan qadağan qatlamı $E=1,779$ eV FL spektri kórsetilgen. Grafikten kórinip turǵanıday alyuminiydiń muǵdarı kemiyip barıwı menen FL spektri kishi energiya tárepine qaray jılıǵanın kóriwimizge boladı. Dáslep alyuminiy muǵdarı $x=0,238$ teń bolǵanda FL spektri nurlanıw maksimumı $1,38$ eV teń boldı, sońınan alyuminiy muǵdarı kemeyiwı menen FL nurlanıw maksimumı $1,28$ eV kishi energiya tarepine qaray jılıydı. 1.8-súwrettegi grafikten bizler fotoluminescenciya spektriniń intensivligi ózgermegenin hám alyuminiy muǵdarınıń ózgeriwı menen nurlanıw FL maksimumlarınıń kishi energiya tarepine ózgeriwın alyuminiy atomlarınıń nurlanıw oraylarına juwap beriwi menen túsindiremiz. Grafikte usı alyuminiy galliy strukturamızdıń qalınlıqqa baylanıslı jutılıw spektrleriniń tolqın uzınlıqqa baylanıslı grafigi kórsetilgen. Grafikten kórinip turǵanıday strukturamızdaǵı alyuminiy muǵdarınıń artıwı menen qalınlıq boyınsha jutılıw artıp bara beredi. Bul protsessi bizler alyuminiy muǵdarı artıw menen strukturamızdıń jutılıw protsessi úlken boladı dep boljadıq. Ekinshi iymeklikten kórinip turǵanıday tolqın uzınlıǵı strukturamızda alyuminiydiń muǵdarınıń ózgeriwı menen ózgermey saqlanıp qaladı. Bul biziń strukturamızdıń optikalıq jaqtan jaqsı xarakteristikalarınıń biri bolıp esaplanadı. Solay etip bizler ózlerimizdiń magistrlik dissertaciya jumısımızda AlGaAs alyuminiy-galliy strukturasınıń optikalıq qásiyetlerin izertlep shıqtıq, izertlewlerden alınǵan juwmaqlardan tómendegi juwmaqlawdı keltirip shıǵardıq.

Itterbiy elementi boyınsha tiykargı túsinikler



Itterbiydiń ápiwayı tábiyattaǵı kórinisi



Јıltır gúmis reńge iye, jabısqaq, sozılǵısh metall.

Atomınıń dúzilisi

Atı, simvolı,
nomeri

Itterbiy / Ytterbium (Yb), 70

Atomlıq
massası

173,045(10)^[1] a. e. m. (g/mol)

(molyar massası)

Elektronlıq konfiguratsiyı [Xe] 4f¹⁴ 6s²

Atomınıń radiusı 194 [pm](#)

Ximiyalıq dúzilisi

Kovalentli radiusı 170 [pm](#)

Ionlıq radiusı (+3e) 85.8 (+2e) 93 [pm](#)

Elektrlik shkalası 1,1 (shkala Polinga)

Elektrodlq potentsialı Yb←Yb³⁺ -2,22
Yb←Yb²⁺ -2,8 V

Okisleniw dárejesi 3, 2

Ionizatsiya energiyası 603,0 (6,25) [kJ/mol](#) ([eV](#))

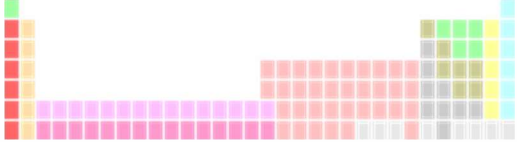
Itterbiydiń termodinamikalıq dúzilisili

Tıǵızlıǵı 6,9654 g/sm³

Balqıw temperaturası 1097 [K](#)

Qaynaw temperaturası 1466 [K](#)

Itterbiydiń kristallıq reshetkası

Kubliq	Qaptal orayǵa jıynalǵan
Reshetka parametri	5,490 Å
7	Tuliy ← Itterbiy → Lyutetsiy
0	
7	
b	70Yb
↓	
No	

Itterbiy (**[lat.](#) *Ytterbium***) — Mendeleevtiń ximiyalıq tablitsasındaǵı úshinshi gruppanıń qosımsha podgruppasında jatıwshı [element](#) bolıp, lantonoidlarǵa kiredi. Ápiwayı itterbiy qońır jarıq reńge iye metall bolıp esaplanadı. Itterbiy eki kristallıq modifikatsiyaǵa iye bolıp α -Yb mıs tipindegi kublıq reshetkaǵa hám β -Yb orayǵa kólemlik α -Fe jıynalıwshı kublıq formaǵa eki túrge bólinedi. Bir tiptegi itterbiy metallı ekinshi tiptegi túrine $\alpha \leftrightarrow \beta$ 792 °C^[2]temperaturada ótedi. Itterbiy 1878 jılı Marinyak tárepinen erbiy okisinen alınǵan.

Jer qabıǵında 0,33 g/t muǵdarda bolıp, okeanda onıń muǵdarı $2 \cdot 10^{-6}$ ^[4].teń.

II BAP. EKSPERIMENT METODIKASI

§ 2.1. Yarımótkizgishli strukturalardıń optikalıq qásiyetlerin izertlewde qollanılatuǵın priborlar

Eksperiment qoyıw ushın arnalǵan biziń qurılmamız tiykarınan tórt bólimnen turadı: rekombinatsiyalıq nurlanıwdı payda etiwshi lazerlerden, kriostattan, monoxromatordan hám registratsiyalawshı qurılmadan turadı. Bul qurılmanıń blok sxeması 2.1-súwrette kórsetilgen.

LAZER. Argonoviy lazer tiykarınan hár qıylı tolqın uzınlıǵına iye nurlardı ózinen shıǵaradı (kók, jasıl, fioletoviy h.t.b.). Lazerdi qospastan burın onı suwıtıp turıwshı krandı aǵızıp qoyıwımız kerek, eger krandaǵı suwdıń aǵımı ásten bolatuǵın bolsa lazerdi qosıwımızǵa bolmaydı. Sebebi, lazer qızıp tez isten shıǵıwı yamasa kúyip ketiwi múmkin. Suwdıń xızmeti bul lazerdiń gazlı trubkasın suwıtıp turıw bolıp suw arqalı gazlı trubka qorshalǵan boladı. Suw trubkası eki parallel shlangadan turadı. Birinshi shlangadan krannan suwıq suw kelip gazlı trubkanı suwıtadı, al ekinshi shlangadan isletilgen qızǵan suw shıǵarıp taslanadı. Lazer menen islesiw waqtında suw aǵıp turǵan shlangalardı sırtınan waqtı-waqtı menen uslap turıwımız kerek. Eger shlangalardıń ekewide qızıp ketken bolsa, onda suwdıń aylanısı joq ekenin bildiredi. Demek, bul suwdı joqarıǵa gazlı trubkaǵa aydawshı nasostıń islemegenin bildiredi. Nasostıń islewi ushın nasos baginde barlıq waqıtta dissosatsiyalangan suwdıń muǵdarı saqlanıp turıwı kerek. Suwdıń az yamasa kópligin biz baktıń aynası arqalı biliwmizge boladı. Eger suwdıń muǵdarı kórsetilgen qızıl sızıqtan tómén bolsa, onda nasosdı qosıwımızǵa bolmaydı. Argonlı lazerdiń hár qıylı quwatlılıqtaǵı islewin támiyinlew ushın lazer bloginde trubkanıń anod katodlarına beriletuǵın toktıń muǵdarı kórsetilgen boladı. Bul beriliwshi tok shitke tutastırılǵan boladı. Lazerge tiyisli blok karobkasına tok basqarıwshı rukyatka bar boladı, usı rukayatka arqalı toktıń shamasın kórsetiwshi ampermetr arqalı toktıń qálegen

muğdarın beriwimizge boladı. Beriletuǵın toktıń shaması 12 amperden 24 amperge shekem jetedi. Kishi tok arqalı islegenimizde lazerdiń 6-7 saatlap tolıq islewine iseniwimizge boladı. Sebebi, suwdıń aǵıw tezligi úlken bolǵanda bunday toktıń quwatlılıǵında lazerdiń qızıp ketiwi múmkin emes. Eger toktıń shamasın 18 amperden joqarı tokta lazer menen jumıs alıp baratuǵın bolsaq onda hár 10-20 minuttan suw keliwshi hám suw ketiwshi shlangalardı uslap tekserip turıwımız kerek. Eger lazer qızıp ketse tez isten shıǵadı. Lazerdiń bir tolqın uzınlıǵınan ekinshisine ótiwi ushın gazlı trubkadan paydalanamız. Gazlı trubkanıń bir ushında kishkene arnawlı klyuch sıyatuǵın sańlaq boladı. Usı sańlaq arqalı klyuch penen lazerdiń shıǵıwshı tolqın uzınlıqların ózgeriwimizge boladı. Dál maksimal reńdegi nurdı alıwımız ushın lazerdiń reńine tiyisli nurlanıw shıńın (nurlanıw pikin) tabıwımız kerek. Lazerden shıǵıwshı nurdıń reńiniń ózgeriwi degende gazlı trubkadaǵı har qıylı ionlanıw dárejesiniń ózgeriwin túsinssek boladı. Lazerdiń suwıtıw úskenesiniń lazerdiń tok penen támiyinlewshi úskenenen qosqannan keyin 10-15 minuttan soń avtomat túrde gazlı trubkanıń ózi qosıladı hám de 3-5 minuttan soń qálegen toktıń muǵdarın bersek boladı. Usı joqarıdaǵı ayılǵan waqıt ishinde lazer óziniń islew dárejesindegi temperaturaǵa iye boladı. Lazerdi óshiriwde dáslep toktı minimal mániske shekem qaytarıp alıp sońınan gazlı trubkanı tok bóleginen ajratamız. Gazlı trubkaǵa kelip turǵan suwdıń temperaturası parallel gazlı trubkadan shıǵıp turǵan suwdıń temperaturasına teńlesken waqıtta lazerdi tolıǵı menen óshiriwimizge boladı.

Geliy-neonovıy lazer bul 5000 saat jumıs islew waqtına tiykarlanıp islengen. Bul lazer menen isleskende dáslep lazerdi tokqa tutastırıp 15-20 minut ótkennen soń lazerdiń trubkasın iske túsiremiz. Geliy-neon lazeri 220 Voltlıq ápiwayı tok dereğine jalǵanadı. Bul lazerdiń maksimal shıǵaratuǵın tolqın uzınlıǵı (qızıl reńdegi) $\lambda = 632 \text{ nm}$ bolıp esaplanadı. Bul lazer arqalı qadaǵan zonası kishi bolǵan yarımótkizgishler materiallardı qozdıradı.

KRIOSTAT. Yarımótkizgishli kvantlı yamalardıń, kvantlı tochkalardıń nurlanıw rekombinatsiyaları hám shaǵılısıw spektrleri $4,2^{\circ}\text{ K}$ nen 300° K temperaturaları aralıǵında izertlenedi. Bunday temperaturalıq diapazonlarda izertlew júrgiziw ushın kriostattıń úsh túri qollanıladı.

1. $4,2^{\circ}\text{ K}$ nen 100° K ge shekemgi temperaturalar oblastında eki hár qıylı tiptegi metall kriostatlar (KR, 15) qollanıladı. Bunday kriostatlar bir-birinen óziniń tómengi bólimi arqalı ayrılıp turadı. Kriostattıń tómengi bólimi degende kriostattıń ishki ıdısına kepserlengen yaǵnıy suwıtıwshı suyıqlılıq quyılatuǵın (geliy, azot, vodorod) bólimin túsınsek boladı. Birinshi tiptegi kriostat ishki ıdısqa mistan islengen sterjen xlodoprovod kepserlengen boladı. Onıń shlipovka etilgen betine gúmis pasta arqalı úlgimiz ornalastırıladı. Kriostattıń tómengi bóliminde úsh tegis parallel kvarstan islengen diametri 40 mm ge teń bolǵan aynası bar boladı. Birinshi aynası arqalı qozdıırıwshı fotolyuminescenciya jaqtılıǵı al, qalǵan eki aynası arqalı úlgiden nurlanǵan rekombinatsiyalıq nurlar shıǵadı. Bunday islengen konstruksiya úlginiń tegis betinen rekombinatsiyalanıwshı nurlanıwdı alıwǵa múmkinshilik beredi. Termopara gúmis pasta arqalı úlgige bekitiledi. Termoparanıń mıs, konstanttan hám altın-mıs túrleri qollanıladı. Altın-mıs termoparası 80° K temperaturadan kishi temperaturada júdá jaqsı xarakteristikanı beredi. Sonlıqtan da 80 K ge shekemgi temperaturada altın-mıs ($\text{Au} + 3\%\text{Fe}$) – (Cu) termoparası qollanıladı. Termoparanıń elektr qozǵawshı kúshin (EQK in) ólshew ushın turaqlı tok potenciometri R 306 qollanıladı. Pribordıń nollik rejimi retinde voltlıq sezgirliktegi $0,3 \cdot 10^{-6} \text{ B} / \partial e \pi$ galvanometr qollanıladı. Temperaturanıń dál ólsheniwi $T \approx 1^{\circ}\text{ K}$ teń boladı. Birinshi tiptegi kriostat bir qansha kemshiliklerge iye boladı. Bul kriostatda 13° K temperaturadan kishi úlginiń temperaturasın alıw múmkin emes. Qozdıırıwdıń intensivliginiń hár qıylı muǵdarda ózgeriwi menen úlginiń temperaturası ózgerip otıradı. Usıǵan tiykarlanıp bunday kriostatda ólshengen yamasa alınǵan spektrdiń forması birden eki faktordıń tásiiri menen hár qıylı bolıp ózgerip otıradı: Temperatura

hám qozdırıw intensivliginiń ózgeriwi. Bunday tásirlerdi ayırım waqıtları ayırıw múmkin emes. Sonıń menen birge bunday kriostatda úlginı ózgertiw júdá kóp waqıttı aladı. Tájriybe waqtında úlginı ózgertiw múmkin emes. Ekinshi kriostattıń túrinde ishki ıdısqa mıstan islengen ótkeriwshi trubka kepserlengen bolıp, ol trubka kvars stakanı menen tamamlanǵan boladı. Mıs, kvars ótiwi tat baspaytuǵın polat hám invarovoy dóńgelek kompensator arqalı payda etiledi. Stakannıń túbide invardan tayarlanǵan boladı. Invar-kvars tutasıp 200°C temperaturada araldid arqalı kleylew jolı menen iske asırıladı. Trubka joqarı sapaǵa iye optikalıq kvarstan tayarlanǵan bolıp kelip turǵan nurlardı, shıǵıwshı nurlardı shashırarshı nurlardıń intensivligin páseytirmeytuǵın ayna bolıp esaplanadı.

Suwıttırarshı suyıqlıq stakanǵa toltırıladı. Úlgi bolsa kriostattıń suyıqlıq quyırshı trubkası arqalı usı stakanǵa túsiriledi. Suyıqlıqta turgan úlginı atmosferalıq basımda uslaǵanımız ushın tájriybe waqtında úlginı tez ózgertiwimizge boladı. Úlgilerimiz suwıttırarshı suyıqlıq penen barlıq waqıtta baylanısta bolǵanlıqtan $4,2^{\circ}\text{K}$ de, 20°K de, 77°K temperaturalardaǵı spektrlerin registratsiyalawımızǵa boladı. Nurlandırarw intensivligin eksperiment waqtında eliw ret ózgertsekte úlginıń temperaturası turaqlı bolıp qaladı, maksimal quwatlılıqta úlgiǵe túsetuǵın nurlar úlginıń betin ózgerte almaydı. 77°K temperaturadan 300°K temperaturada nurlanıw spektrlerin izertlegenimizde optikalıq kvarstan islengen kriostat qollanıladı.

Kvarslıq diywaldıń tómengi bóliminde úsh tegis parallel aynası boladı. Kriostattıń bunday túrinde de úlginıń barlıq waqıtta suwıttırarshı suyıqlıq penen baylanısı boladı.

MONOXROMATOR. Yarımótkizgishlerdiń nurlanıwınıń rekombinatsiyalıq spektri múmkin bolǵanınsha qısqa hám intensivligi kishi bolǵan spektrlerden turadı, sonlıqtan da jaqtılıq kúshi úlken bolǵan monoxromatordan paydalanamız. Bizlerdiń berilgen jumısımızda MDR-23 monoxromator qollanıldı. MDR-23 monoxromatorınıń jaqtılıq kúshi

prizmalıq monoxromatorlarga qaraǵanda bir neshe ese kúshli boladı. Monoxromatordıń sańlaǵınan shıǵıwshı jaqtılıqtıń aǵımı tómendegishe anıqlanadı.

$$\Phi = \beta_{\lambda} \tau_{\lambda} (\Delta\lambda)^2 \frac{h}{f} S \frac{d\varphi}{d\lambda} \quad (2.1)$$

Bunda, β_{λ} -derektiń monoxromatorlıq jaqtırtılıwı, τ_{λ} -monoxromatordıń jiberiw koeffitsienti, $\Delta\lambda$ -monoxromatordıń shıǵıw sańlaǵınıń spektrallıq keńligi (monoxromatorlarda kiriw sańlaǵınıń ólshemi shıǵıw sańlaǵınıń ólsheminen teńdey etip alınadı). Monoxromatordıń jaqtılıq kúshi jaqtılıq aǵımınıń F shıǵıw sańlaǵındaǵı mánisi menen anıqlanıladı, eger $\beta_{\lambda} = 1$ hám $\Delta\lambda = 1$ bolǵanda.

$$L = \tau_{\lambda} \frac{h}{f} S \frac{d\varphi}{d\lambda} \quad (2.2)$$

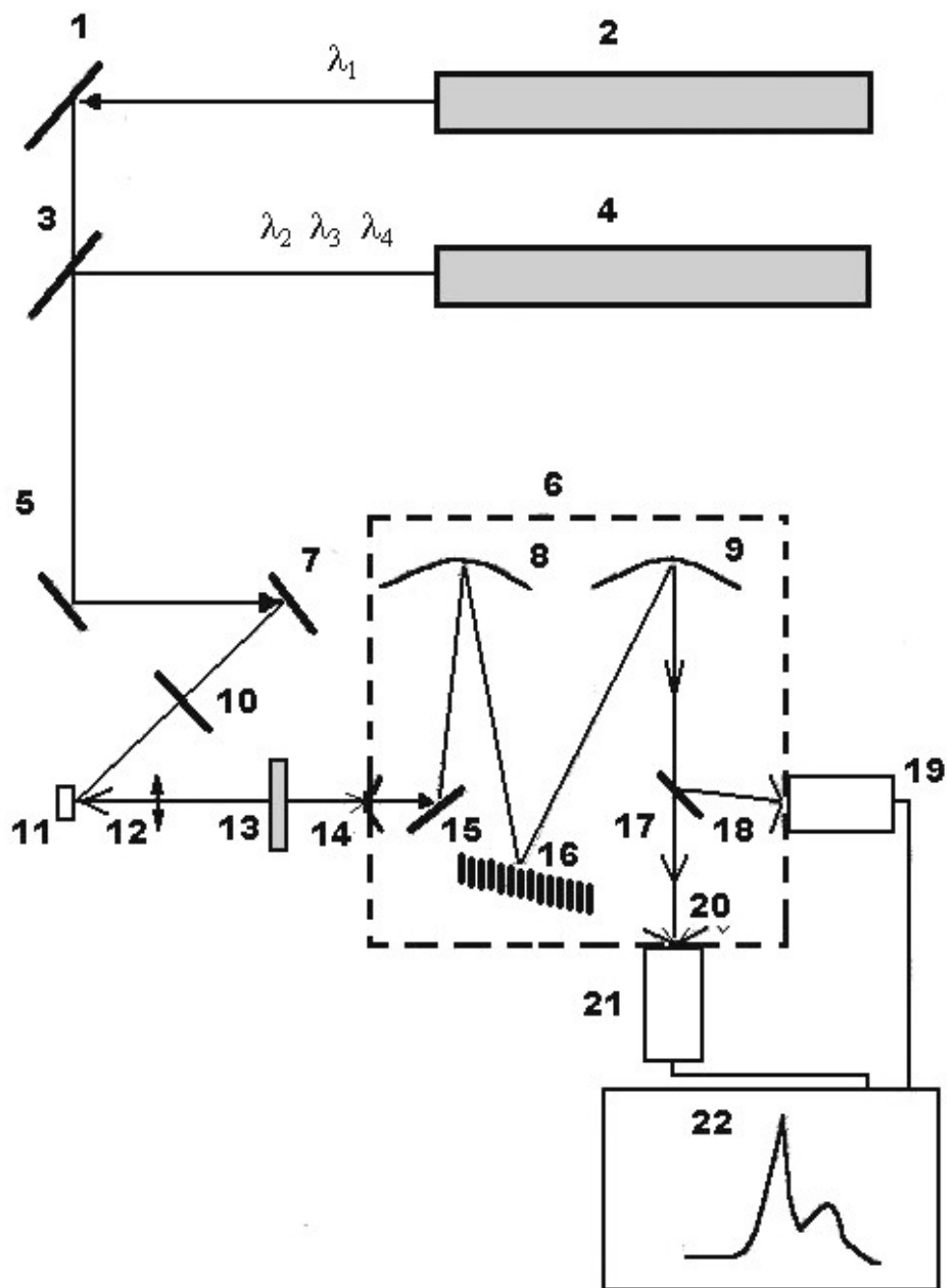
Joqarıdaǵı formulada difrakciyalıq reshetkanıń tásir etiwshi diafragmanıń shaması menen baylanısı esapqa alınbaydı. Bul baylanıstı esaplaytuǵın koeffitsientler birge teń bolıp esaplanadı. Monoxromatorlarda dispersiyalıq element retinde difrakciyalıq reshetka qollanıladı. Monoxromatorlarga kiriw sańlaǵı aldında KC 19 filtri qoyıladı hám filtr arqalı qozdırıwshı nurlardı uslanıp qalınadı.

Monoxromatordan shıqqan optikalıq nurlar (FEU-62 FEU-100) fotoelektrik umnojitel arqalı kúsheytilgen elektr signalarına aylandırıladı. Joqarıdaǵı súwrette kórsetilgenindey sxemada eń sońında elektron esaplaw mashinası arqalı biz intensivliktiń tolqın uzınlıǵına baylanıslı grafigin alamız. Fotoshaǵılısıw spektrlerin ólshegen waqtımızda derek retinde argonoviy geliy-neon lazer menen birlikte DRSH-250 lampalarında qollanıladı.

Geterostrukturalardıń quramına kiriwshi Telluri-sink optoelektronikanıń perespektivalı materialı bolıp esaplanadı. Onıń qadaǵan zonasınıń eni ($E_g = 2,26$ eV 300 K temperaturada) ol jeke halında kishi ólshemli materiallarda barer esabında qollanıladı [6-7]. Bul material GaAs-arsenid galliy podlojkasına hár

qıylı epitaksiyalıq metod arqalı ósiriledi. Bul geterostrukturanıń eń bir áhmiyetli jeke termikalıq hám qaldıq kernewlerge tiykarlangan xarakteristikası onıń deformatsiyalanıwı bolıp esaplanadı. Biziń barlıq kvantlı yamalarımız hám kvantlı tochkalarımız molekulyar puchkovoy epitaksial metodı arqalı “Katun” ustanovkasında ósirildi. Bul usatovkada molekulyar puchkalardıń belgili bir sisteması qayta islenip hám olarda ekvivalent basımda turaqlı uslanıp turadı. Plenkalarđı ósiriwde hár qaysısı jeke derekler arqalı parlanıw jolı menen ósiriledi. GaAs arsenid-galliy podlojkasınıń beti dáslep tábiyǵıy okislerden tazalanadı. Sońınan (100) orientatsiyasında 3° iyiliw menen $\langle 110 \rangle$ baǵıtında $570^\circ\text{S} \pm 10^\circ\text{S}$ ǵa shekem podlojkanı qızdırıp 250°S - 280°C temperaturaǵa shekem podlojka suwıtıladı. Usı protsessler ótkennen keyin Ga_2Te_2 birikpesin payda etiw ushın sink parında uzaq waqıt uslap turıladı. ZnTe Tillurid-sink plenkasınıń payda bolıwı usı temperaturada boladı. Tez qozǵalıwshı elektronlar difraksiyalıq elektronlar kartinasında sterjen formasınan reflekslerdiń payda etilgennen keyin yaǵnıy 100 nm qalınlıqta epitaksial struktura ósirilgennen keyin podlojka temperaturasını 320 - 350°C temperaturaǵa shekem uslanıp turıwı kerek. Bunday geteroepitaksial qatlamnıń ósiriliw tezligi $0,2 \text{ nm/s}$ teń boladı. Jeke dereklerden kelip turǵan (molekulyar puchkalardan shıǵıwshı) Zn sink hám Te_2 tellurdiń ekvivalent basımı alıngannan soń ósip kiyatırǵan plenkanıń rekonstruksiyası $\text{S}(2 \times 1) + (2 \times 1)$ túrinde alınadı. Monoqatlamlarǵa kiriwshi CdTe kadmiy-tellur plenkasında molekulyar puchkavoy epitaksiya metodı menen alınadı.

Yarımótkizgishlerde hám izolyatorlarda metallarǵa qaraǵanda zaryad tasıwshılardıń konsentratsiyası turaqlı bolmaydı. Kristallarda elektron hám geweklerdiń (teń salmaqlı hám teńsalmaqsız) joq bolıp ketiwi yamasa annigilyasiyalanıwı rekombinatsiya dep ataladı. Elektron hám geweklerdiń rekombinatsiyası nurlanıwsız bolıwıda múmkin (rekombinatsiya waqtında bólinip shıqqan energiya kristalldıń elementar qozdırıwına generatsiyasına ketedi). Elektron hám gewekler rekombinatsiyasınıń nurlanıwdı payda etiwı de múmkin (bólinip shıqqan barlıq energiya jaqtılıq kvantı retinde nurlanadı).



2.1-súwret

Yarımótkizgishlerdiń nurlanıw energiyası tómendegi rekombinatsiya mexanizmleri járdeminde bolıwı múmkin:

- a) Erkin elektron hám geweklerdiń rekombinatsiyası (zona-zonalıq ótiwler).

§2.2 Úlgilerdi tayarlaw hám fotoelektrik lyuminescenciya xarakteristikasını ólshew texnikası

Fotoelektrik hám lyuminescentlik xarakteristikasını izertlew ushın tómendegi kórsetilgen komplekslerge izertlewler júrgizildi.

1. Fototoktın spektrallıq gárezliligi.
2. Fotolyuminescenciya.
3. Fototoktın temperaturağa gárezliligi.
4. Fotolyuminescenciya intensivliginiń temperaturağa gárezliligi.
5. Termostimulastırılğan fotoótkizgishlik.
6. Fototoktın optikalıq hám termikalıq sóniwi.
7. Fotolyuminescenciyanıń optikalıq hám termikalıq sóniwi.
8. Volt-amperlik xarakteristika.

Izertlew ushın ligerlenbegen ZnSe kristalı alındı. Ólshew 77-400 K temperaturalar oblastında ótkerildi. Temperaturanı ólshew ushın mıs termoparaları paydalanıldı hám avtomatikanıń potenciometr KSP-4 paydalanıldı. ZnSe kristallınıń dáslep taza bólekleri alındı hámde beti polirovka etildi. Sońınan kristalldıń betin brom menen polirovka etip shıǵıladı. Keyingi metall betin polirovka etiw usı formada alıp barıldı. Kristallğa omalıq kontaktler retinde indiydi paydalandı, indiydi balqıtıp taza kristall betine súrtiw arqalı kontakt ornatıldı yamasa vakuumlı nurlandırıp jolı menen kontakt ornatıldı.

Omalıq kontakttıń ornatılıwı volt-amperlik xarakteristika arqalı tekserilip barıldı. Úlgilerde fototoktın, termostimulastırılğan toktıń, fotolyuminescenciya spektriniń temperaturağa baylanışlı spektral sızıqlarınıń ózgeriwi mıs blokli elektropechkada alıp barıldı.

Kriostat úlgini uslap turıwshı uslaǵısh penen birge jaqtılıq ótpeytuǵın metall yashikke ornalastırıldı. Fotolyuminescenciya spektrin ólshewde úlgiler tuwrı suyıq azotqa batırıldı. 2.1-súwrette termostimulastırılğan toktı ólshew ushın qurlıstıń sxeması kórsetilgen. 1- suwıtıw hám qızdırıw ushın arnalǵan blok , 2-qozdırıw deregi yamasa hár qıylı intensivliktegi lampalar, 3-temperaturanı

esaplawshı blok, 4-toktı esaplawshı blok. Termostimullastırılğan tok V7-30 voltmetr-elektrometri menen ólshendi. Fototoktıń deregi retinde MDR-23 monoxromatorı paydalanıldı.

ZnSe kristallınıń 77K temperaturada qadağan qatlamınıń keńligi 2.8 eV bolıp, ol 4430 Å tolqın uzınlığına teń. 4430-5800 Å oblastında Cu, Cl, In aralaspalarına baylanıslı basqada lyuminescenciya spektrleri qozdırılıwı múmkin. [14]

Bizniń jaǵdayımızda qızıl sıızıq oblastı $\lambda=5100$ Å maksimumında kúshli qozdırıladı. Xlor menen legirlengen kristall óziniń menshikli spektral sıızığına iye bolıwı kerek, sonıń menen birge mis tiyisli spektral sıızıqtan ayırılıp turadı. Bul spektral sıızılarda bóliniwi qızıl spektral sıızıqtı ajıratıp turadı.

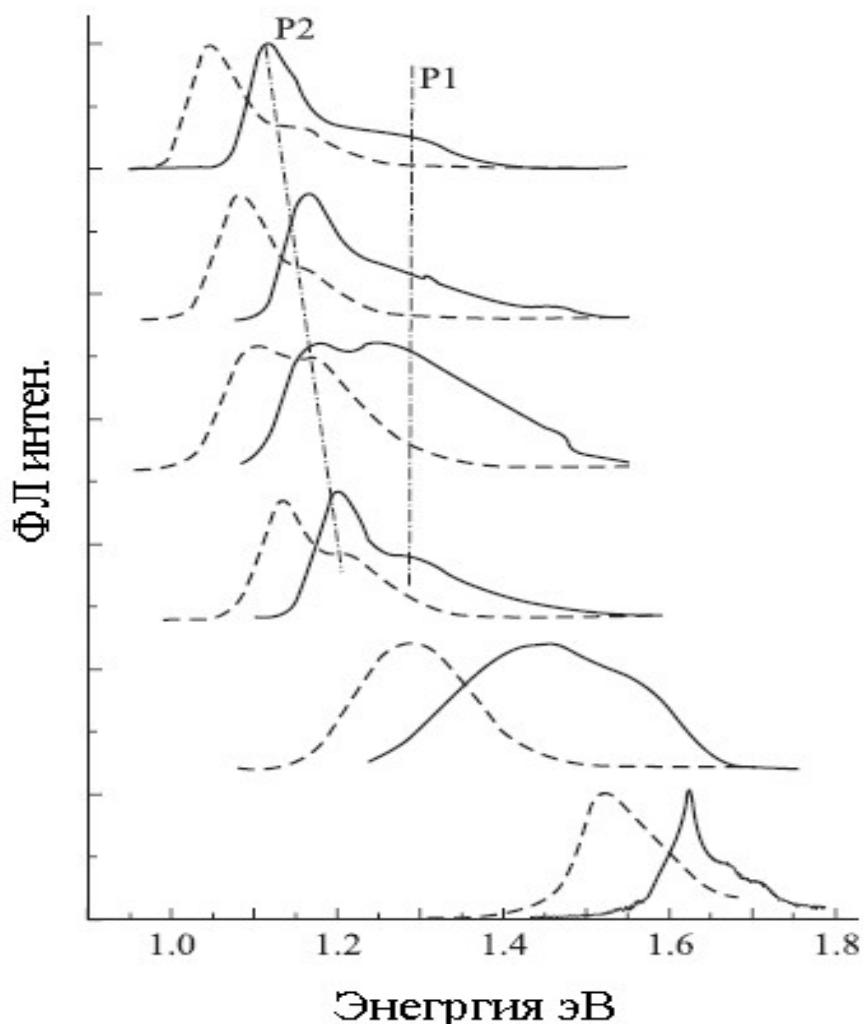
Balqıtılğan sinkte misli aralaspalar temperaturanıń artıwı menen betke shıǵa baslaydı, bul demek 850° C temperaturada júzege keledi. Balqıtılğan sinkke kiritilgen xlorı bar úlgielerde 300 K temperaturada fotolyuminescenciya spektrinde 6050 Å hám 77 K temperaturada 6150 Å teń bolǵan fotolyuminescenciya spektrlerin kóriwimizge boladı. Temperaturanıń tómenlewi tolqın uzınlığınıń maksimumınıń qızıl sıızıq tárepke jılıwın kórsetedi. Usıǵan tiykarlanıp qızıl spektral sıızıq mis atomına tiykarlanıp payda boladı degendi bildiredi. Bizniń izertlep atırǵan úlgilerimizde qızıl spektral sıızıq penen birge kók túrge iye spektral sıızılardı payda boladı bul mis atomınıń teń salmaqsız bólistiriliwin beredi. Bizler joqardaǵı ayılǵan spektral sıızılardan basqada tolqın uzınlığı $\lambda=0,96$ mkm teń bolǵan taza spektral sıızılardı da taptıq. Temperaturanıń intensivlikke baylanıslıǵınan biz qızıl maksimal oblastqa iye spektral sıızıqtıń temperaturanıń tómenlewi menen sóngenin kóriwimizge boladı, sonıń menen birge usı oblastta $\lambda=0,96$ mkm teń bolǵan spektral sıızıq payda boladı. Fotolyuminescenciyanıń temperaturaǵa baylanıslıǵı kórsetilgen. 1- iymeklilik sıızığı temperaturanıń artıwı menen $\lambda=0,64$ mkm tolqın uzınlığınıń ózgeriwi. 2- iymeklilik sıızığında temperaturanıń artıwı menen fotolyuminescenciya spektriniń ózgeriwi kórsetilgen. Qızıl sıızıq spektri 240 K temperaturada tolıǵı menen sónedi, sonıń menen birge infraqızıl spektral sıızıq

maksimumı 240-250 K temperatura oblastında eń úlken mániske iye boladı. Temperaturaǵa baylanıslı tolıq sóniw 240 K temperaturada bolıp, basqa avtorlardaǵı ólshewlerge qaraǵanda tómewlew temperaturada sóngen bolıp esaplanadı. Biz bunday sóniwdi teń salmaqıız zaryad tasıwshılardıń bólistiriliwi tómewlew temperaturada bolıp ótedi dep juwmaq shıǵardıq. Demek, biziń izertlegen kristallarımızda sóniw energiyası 0,55 eV qaraǵanda azlaw energiyada tamam boladı. Ertede usı kristallardı izertlewde temperaturaǵa baylanıslı lyuminescenciyanıń payda bolıwı, tochkalıq kishkene qáddilerdiń bosap qalıwı menen túsindirilgen edi. Termostimullastırılǵan tok spektri berilgen temperaturalar intervalında kórinbeydi, infraqızıl sızıq spektri elektronlardıń qáddilerden bosawınan payda boladı. Bul óz gezeginde berilgen oraylarga sıykes rekombinatsiyalıq aǵımdı kóbeytedi .

III BAP. EKSPERIMENTTÍN NÁTIYJELERI HÁM OLARDÍN TALQÍLANÍWÍ

§3.1 AlGaAs strukturasınıń itterbiy atomı menen legirleniw dárejesine qaray otırıp fotolyuminescentlik xarakteristikaların úyreniw

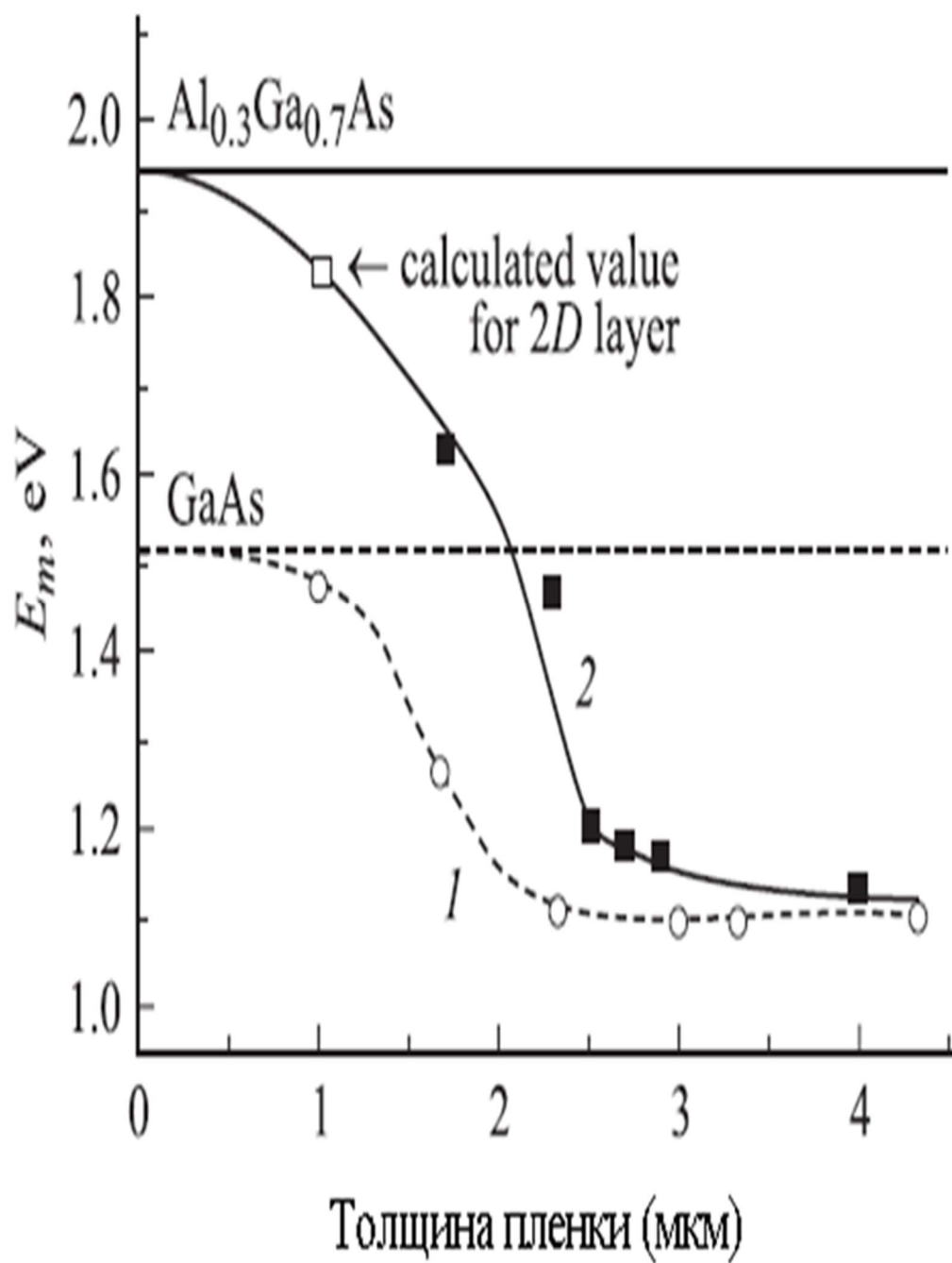
3.1-súwrette $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$ -juqa plenkasınıń hár qıylı quramına iye bolǵan juqa plenkasınıń itterbiy Yb atomı menen legirlengennen keyingi fotolyuminescenciya spektriniń ózgerisleri kórsetilgen.



3.1-súwret. $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$ -juqa plenkasınıń hár qıylı quramına iye bolǵan juqa plenkasınıń itterbiy Yb atomı menen legirlengennen keyingi fotolyuminescenciya spektri

Fotoluminescenciya spektri $T=77$ K temperaturada ólshenip tolqın uzınlıǵı $\lambda=476$ nm bolǵan argon lazeri menen qozdırıldı. $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$ juqa plenkası molekulyar nurlı epitaksiya jolı menen ósirildi. Grafikten kórinip turǵanıday strukturadaǵı galliy atomlarınń mollik muǵdarınıń ózgeriwi menen hám itterbiy atomınıń konsentratsiyasınıń ózgeriwi menen fotoluminescenciya spektriniń maksimumları hár qıylı nurlanıw oraylarına iye bolıp, nurlanıw tochkalarına sáykes keliwshi maksimumlar bir-birinen derlik parq qıladı. Nurlanıw oraylarına juwap beriwshi barlıq nurlanıw maksimumları, nurlanıwdıń yarım keńligi, nurlanıw tochkalarınıń intensivlikleri tolıǵı menen ózgergenligin kóriwimizge boladı. Grafikte nurlanıw maksimumları ekew bolıp birewi $E=1,02$ eV nurlanıw maksimumında, ekinshisi $E=1,05$ eV nurlanıw maksimumında bolıp galliydıń hám itterbiy atomınıń muǵdarına qaray otırıp onıń nurlanıw maksimumları $E=1,65$ eV qa shekem ózgeredi. Fotoluminescenciya maksimumlarında usı nurlanıw tochkalarınıń ózgerisleri úzilikli sızıq arqalı kórsetilgen bolıp bunday ózgerislerdiń bolıwı itterbiy atomlarınń hám galliy atomlarınń konsentratsiyasınıń artıwı menen hám de itterbiy atomınıń úlken radiusqa iye bolıwı menen túsindiriledi. Itterbiy atomınıń awır element bolıwına baylanıslı olardıń atomlarınń alyuminiy galliy arsenid betine otırǵızılǵannan keyin p-tiptegi yarımótkizgishli materiallardı payda etiwı bul óz gezeginde yarımótkizgishli materiallardıń elektrofizikalıq xarakteristikasınıń ózgeriwinede alıp keledi. Itterbiy atomlarınń konsentratsiyası usı energiyalar aralıǵında $N=2 \times 10^4$ atomnan $N=2 \times 10^5$ shekem ózgerip otıradı. Jer betinde siyrek ushırasatuǵın elementlerdiń yarımótkizgishli materiallardıń optikalıq qásiyetlerine tásiri az izertlenligine baylanıslı nurlanıw maksimumlarınıń bir orınnan ekinshi orınǵa jılıwı tolıq túrde túsindirilmegen bolıp esaplanadı. Sonlıqtan da awır elementlerdiń yarımótkizgishli materillargá tásiri belgili bir izbe-izlikte izertlenip atır.

3.2-súwrette biziń usı alyuminiy galliy arsenid (AlGaAs) hám arsenid galliy strukturalarımızdıń ólsheminiń qalınlıǵına baylanıslı nurlanıw maksimumınıń yaǵnıy fotoluminescenciya maksimumınıń ózgeriw grafikleri kórsetilgen.

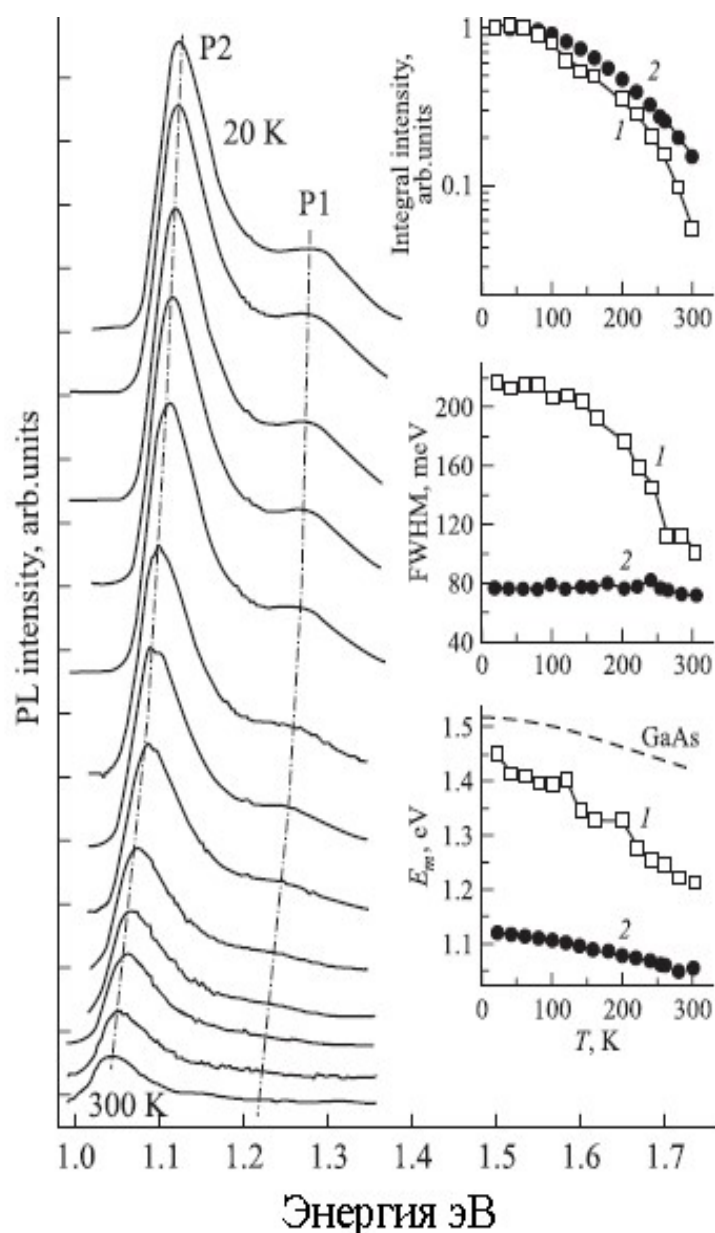


3.2-súwret. Alyuminiy galliy arsenid strukturamızdın AlGaAs hám arsenid galliy strukturalarımızdın ólsheminiń qalınlığına baylanışlı nurlanıw maksimumınıń yaǵnıy fotolyuminescenciya maksimumınıń ózgeriw grafikleri kórsetilgen

Súwrette alyuminiy galliy arsenid strukturamızdın qalınlığı menen arsenid galliy yarımótkizgishli juqa plenkamızdın qalınlıqları birdey qılıp alıngan. Alyuminiy galliy arsenid strukturamızdın fotolyuminescenciya maksimumları arsenid galliy juqa plenkalarına qarağanda fotolyuminescenciya intensivlikleri jeterli dárejede úlken hámde qalınlığının artıwı menen nurlanıw maksimumlarının ózgeriwleri arsenid galliyge qarağanda ózgeshe ekenligi kórinip turıptı. Alyuminiy galliy arsenid juqa plenkasınıń qalınlığı $d=4$ mkm bolğansha fotolyuminescenciya maksimumlarının intensivlikleri arsenid galliy strukturamızğa teń bolıp qaladı, yaǵnıy juqa plenkaların qalınlıqları usı kórsetilgen qalınlıqtan úlken bolğannan keyin nurlanıw maksimumları derlik ózgerissiz bolıp qalatuǵının tájiriybede anıqladıq. Arsenid galliyli juqa plenkalarımızda fotolyuminescenciya intensivligi alyuminiy galliy arsenid juqa plenkasına qarağanda qalınlıqqa baylanıslı tezirek kishireyip $d=4$ mkm bolğanda eki juqa plenkamızda da birdey bolıp qaladı. Ólshengen barlıq úshlik elementten turıwshı alyuminiy galliy arsenid strukturalarımızda usı joqardaǵı elementlerdın fotolyuminescenciya maksimumları tolıq birdey energiyada, birdey yarım keńlikte, birdey intensivlikte ózgerdi. Arsenid galliy strukturamızda bolatuǵın bolsa, bunday parametrlerdın ózgerisleri tolıǵı menen ózgermeli boladı, sonın menen birge juqa plenkanın qalınlığının ózgeriwi menen FL spektrlerinin barlıq parametleri bir-birinen ózgeshe boldı. Bunday alyuminiy galliy arsenid strukturalarında fotolyuminescenciya spektrlerinin intensivlikleriniń arsenid galliy strukturasınan ózgeshe bolıwı alyuminiy atomlarının qalınlıq boyınsha tez nurlanıw orayların ózgertiwi menen túsindiriledi, ekinshi jaqtan bunday ózgerislerdın bolıwı kristall reshetkanın formasının ózgeriwi menen túsindiriledi. Bul biraq, bızın ilmiy magistrlik dissertatsiya jumısımızdın tiykarǵı izertleniw wazıypasına kirmeydi. Alyuminiy galliy arsenid juqa plenkası, arsenid galliy strukturasına qarağanda joqarı temperaturada ósiriledi usı sebepten betlik strukturalardın nurlanıw sızıqları hám nurlanıw intensivlikleri bir-birinen tolıq túrde parq qıladı. Nurlanıw intensivlikleriniń hár qıylı tolqın uzınlıqları táreplerinde payda bolıwları ósiriliw temperaturasına juqa plenkanın

quramına kristalldı qurawshı elementlerdiń reshetkalarına, atomlıq radiuslarına, kiritilgen elementlerdiń túrine, kiritiliw temperaturalarına baylanıslı bolıp esaplanadı. Eki juqa plenkalardıńda intensivlikleri birdey bolıwı múmkin, biraq nurlanıw oraylarınń tolqın uzınlıqları bir-birine ulıwmalıq túrde sáykes kelmeydi. Bunday ózgerislerdiń bolıwı bir neshe avtorlardıń jumıslarında kórsetilgen [7-9].

3.3-súwrette AlGaAs juqa plenkasınıń temperaturaǵa baylanıslı fotolyuminescenciya spektriniń ózgeriw grafıǵı kórsetilgen.



3.3-suwret. AlGaAs juqa plenkasınıń temperaturaǵa baylanıslı fotolyuminescenciya spektriniń ózgeriw grafıǵı

Grafikten kórinip turǵanıday nurlanıw maksimumları temperaturanıń ózgeriwi menen óziniń yarım keńligin belgili ese yaǵnıy temperatura artqan sayın yarım keńligi artadı, fotolyuminescenciya maksimumları bolsa, belgili ese kemeyedi. Bunday ózgerislerdiń bolıwı itterbiy atomınıń tásirine baylanıslı bolmaydı, sebebi temperatura artatuǵın bolsa, qálegen yarımótkizgishli materialda yarım keńlik artadı. Yarımótkizgishli materialdıń temperaturasınıń artıwı atomlar arasındaqı jıllılıq energiyasın arttırıp usınıń esabınan nurlanıw keńligi belgili ese artıp ketedi. Fotolyuminescenciya spektriniń intensivliginiń ózgeriwi bolsa, bul belgili $T=110$ K shekem bir tekli yaǵnıy birdey intensivlikke iye boladı, sońınan temperaturanıń elede artıwı menen intensivlik belgili ese azayıp belgili bir temperaturaǵa kelgennen keyin fotolyuminescenciya spektriniń sóniwi payda boladı. 3.3-súwrettiń shep tárepindegi grafikte usı AlGaAs úlgimizdiń fotolyuminescenciya spektrdiń yarım keńliginiń, fotolyuminescenciya intensivliginiń, fotolyuminescenciya intensivliginiń ózgeriwleriniń itterbiy atomınıń muǵdarına qaray otırıp ózgeriw grafikleri kórsetilgen. Kórinip turǵanıday nurlanıwdıń yarım keńligi hám intensivligi tez temperatura ózgergende proporsional túrde tez ózgergenin kóriwimizge boladı. Fotolyuminescenciya intensivligi bolsa itterbiy atomları kiritilgennen keyinde derlik strukturamızda birdey bolıp saqlanıp qalınadı.

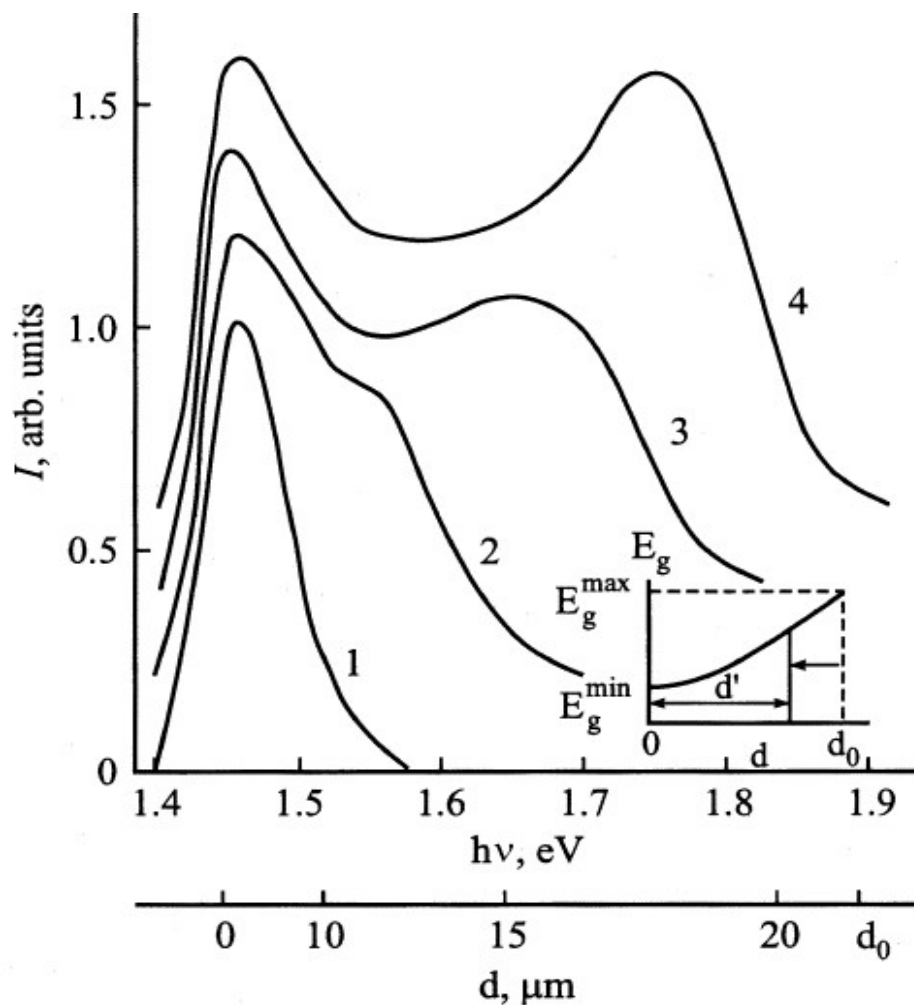
§3.2. GaAs juqa plenkasınıń dáslepki hám itterbiy atomı menen ligirlengen keyingi optikalıq qásiyetleriniń ózgeriwlerin úyreniw

Bul fotolyuminescenciyaallıq spektral sızıqlardıń energetikalıq halı bir monoqatlamlı 1 ms struktura ushın 2.369 eV hám 2.3601 eV teń bolıp, al ekinshi tórt monoqatlamlı struktura ushın energetikalıq halı 2.367 eV hám 2.359 eV teń.

Kvantlıq tochkaǵa tiyisli fotolyuminescenciyaallıq spektral sızıqtıń energetikalıq halı 1 ms bir mono qatlamlı struktura ushın 2.287 eV al, spektral

fotoluminescenciya sızılıqlıqtıń keńligi $W \approx 11$ eV teń, tórt qatlamı monoqatlamnan turıwshı strukturanıń kvanthlı tochkaga tiyisli fotoluminescenslik spektral sızılıqlıqtıń energetikalıq halı ($h\nu = 1,99$ eV) al spektral fotoluminescenciya sızılıqlıqtıń keńligi $W = 80$ meV teń.

3.4-súwrette GaAs monoqatlamınıń artıwı menen fotoluminescenciya spektriniń úlken tolqın uzınlıǵı tárepine (qızıl jılǵıw) qaray jılǵıwın hám de fotoluminescenciya spektriniń eniniń keńeyiwın kóriwimizge boladı.

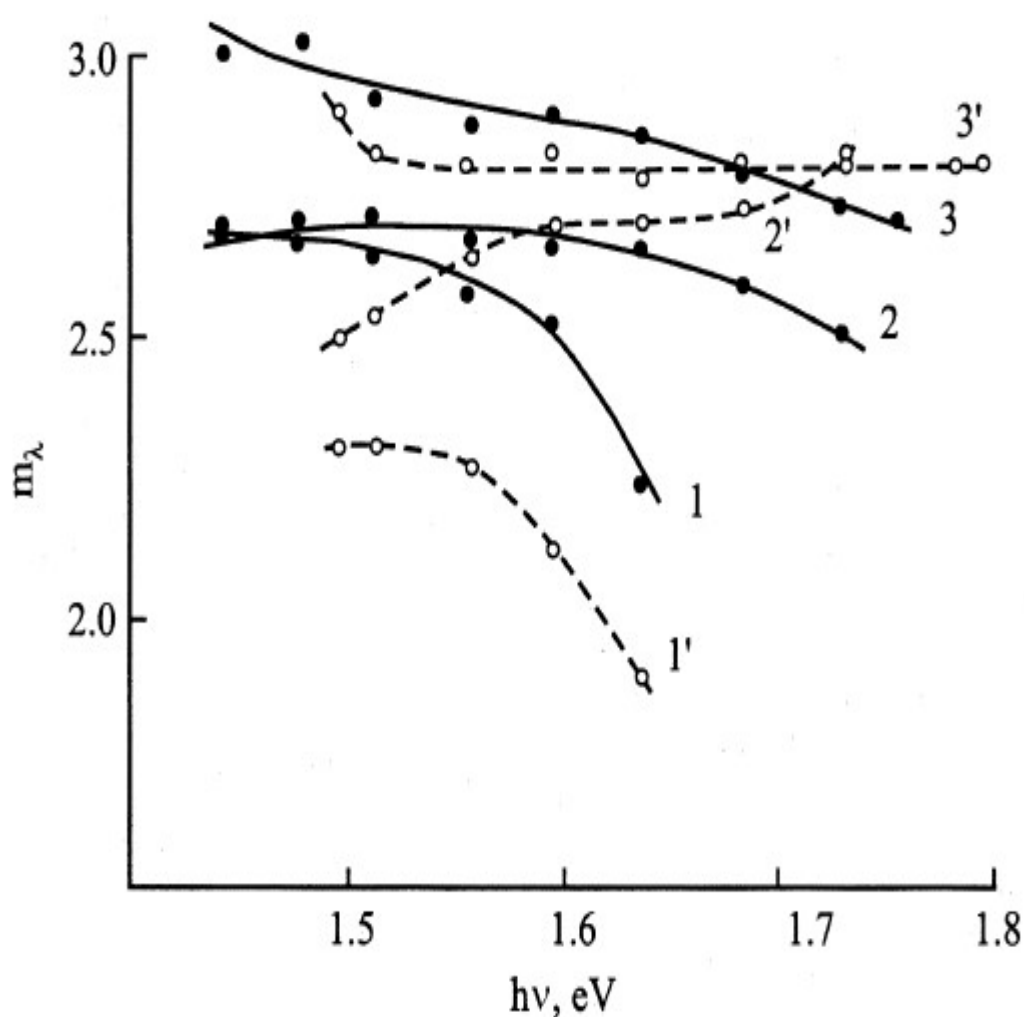


3.4 –súwret. GaAs mono qatlamınıń artıwı menen fotoluminescenciya spektriniń úlken tolqın uzınlıǵı tárepine (qızıl jılǵıw) qaray jılǵıwın hám de fotoluminescenciya spektriniń eniniń keńeyiwi

Bunday effektlerdiń júz beriwine qosımsha diplomatsiyalardıń tásiiri úlken bolıp esaplanadı, bunday qosımsha deformatsiyalar GaAs epitaksiyalıq qatlamı AlGaAs alyuminiy galliy arsenid qatlamı menen qollanıwınan yaǵnıy jetkiliksiz deformatsiyalıq relaksatsiyanıń payda bolıwına tiykarlangan boladı. 1 ms monosloyǵa iye strukturanıń fotolyuminescenciya spektri 4 ms monosloyǵa iye strukturadaǵı lyuminescenciya spektrine qaraǵanda intensivligi boyınsha júdá úlken shamalarǵa pariǵ qıladı. GaAs epitaksiyalıq qatlamına tiyisli oblasttıń fotolyuminescenciya spektr sızıǵın epitaksiyalıq qatlamı kólemlik fotolyuminescenciya spektri menen salıstırǵanda energetikalıq qáddiniń ayırmashılıǵı bir qansha elektron voltqa iye, kólemlik ZnTe tillurid sink kristallında bul eksitonlıq oblastqa tiyisli fotolyuminescenciya spektriniń energetikalıq halı $h\nu = 2,375 \text{ эВ}$ teń (77 K temperaturada). Usı qatlamdaǵı tartılıw deformatsiyasınıń payda bolıwına tiykarlangan boladı. Qosımsha deformatsiyanıń payda bolıwınıń tiykarǵı sebebi bul GaAs arsenid galliydiń reshetskalarına sáykes kelmewi hám deformatsiyanıń termikalıq payda bolıwı bolıp esaplanadı [ZSa]. Tórt qatlamlı 4 ms monosloyǵa iye úlginin (№ 142 tablitsada) tolqın uzınlıǵınıń úlken tárepke jılıwı, qalınlıǵı 1,5 mm teń bolǵan GaAs galliy arsenidke iye AlGaAs geterostrukturasındaǵı fotolyuminescenciya spektrine sáykes energiyadanda kishi energiyaǵa sáykes ekenin kórsetedi [ZSf]. Bunday geterostrukturada energetikalıq fotolyuminescenciya spektriniń mánisi ($h\nu = 2,3673 \text{ эВ}$) (77K temperaturada) teń. Tómen teperaturalı fotolyuminescenciya spektri kvantlıq tochkanıń ólshemin hám hár qıylı úlgilerdiń kompozitsiyasın túsindirip beredi. 3.4-súwrette bir monosloyǵa iye №158 úlginin fotolyuminescenciya spektrin kóriwimizge boladı. Úlgi boylap fotolyuminescenciya spektrin qarastırǵanıımızda úlginin qaptal oblastlarında bir teksizlik fotolyuminescenciya spektrin kóriwimizge boladı. Bul 3.2-súwrettegi fotolyuminescenciya spektri kvantlıq tochkaǵa tiyisli bolıp, úlginin qaptal táreplerine qaray fotolyuminescenciya spektrleriniń ózgeriwlerin kóriwimizge boladı. GaAs galliy arsenidke iye AlGaAs bet boyınsha multimodul bólistiriliwin elektronlıq mikroskop arqalı AFM súwretke alındı. Basqa úlgilerde

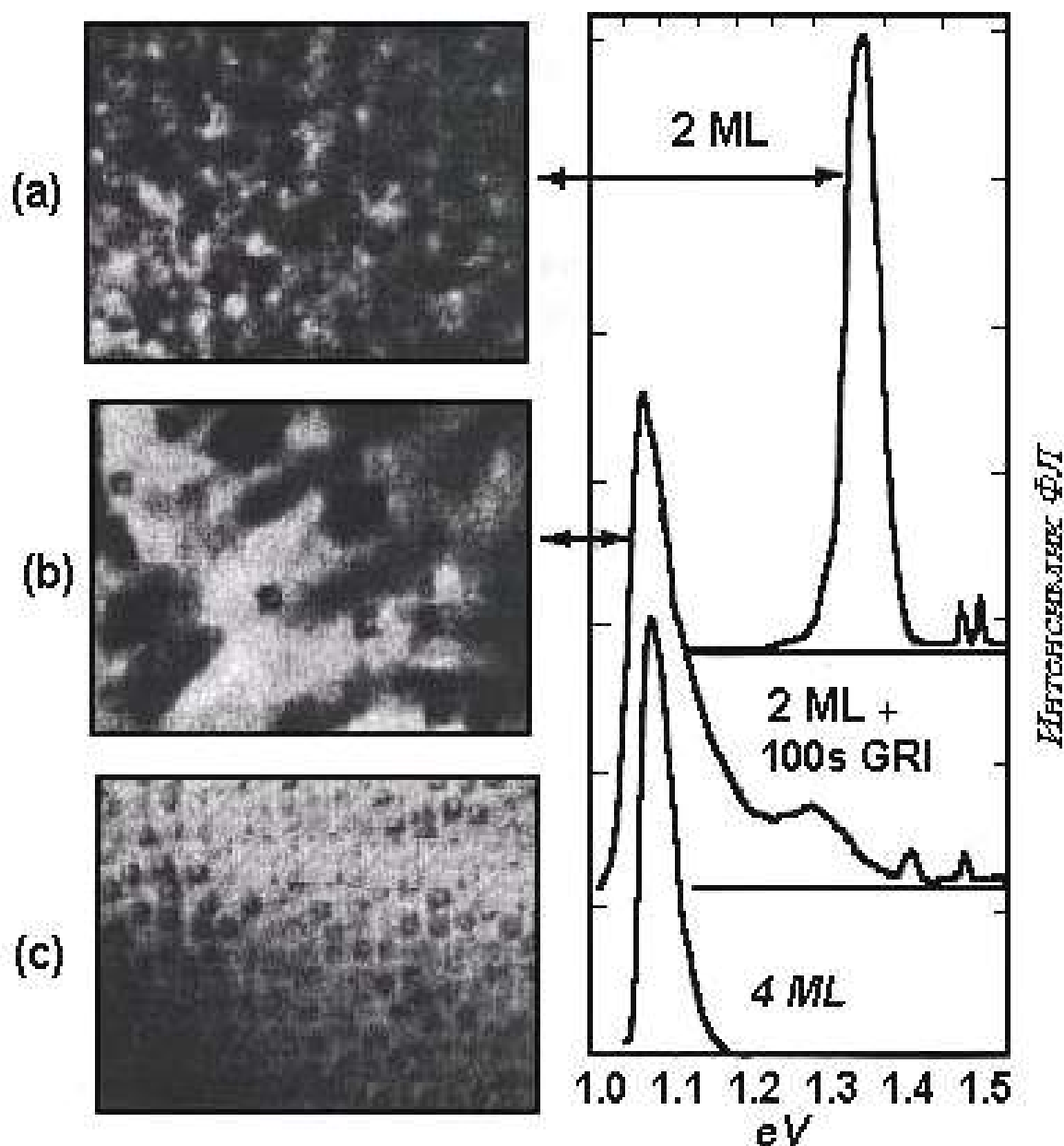
mikroskop arqalı kórgenimizde olardağı kvantlıq tochkalardıń bir moddalıq rejimde jaylasqanın anıqladıq.

3.4-súwrette bir monosloyğa iye №158 úlginıń fotolyuminescenciya spektrin kóriwimizge boladı. Úlgi boylap fotolyuminescenciya spektrin qarastırǵanımızda úlginıń qaptal oblastlarında bir teksizlik fotolyuminescenciya spektrin kóriwimizge boladı.



3.5-súwret. Bimodal túrde ósirilgen alyuminiy galliy arsenid juqa plenkasınıń fotolyuminescenciya spektriniń intensivliginiń temperaturaǵa ǵárezligi nurlanıw intensivliginiń maksimumınıń yarım keńliginiń temperaturaǵa ǵárezliligi hám nurlanıw energiyasınıń temperaturaǵa ǵárezliliginıń grafikleri

Kvantlıq tochkalardıń bimodal bólistiriliwi eki gaussionǵa tiykarlanǵan boladı. 3.5-súwrette bimodal túrde ósirilgen kvantlıq tochkanıń fotolyuminescenciya spektriniń intensivligi temperaturaǵa ǵárezligi nurlanıw intensivliginiń maksimumınıń yarım keńliginiń temperaturaǵa ǵárezliligi ham nurlanıw energiyasınıń temperaturaǵa ǵárezliliginıń grafikleri kórsetilgen.



3.6-súwret. AlGaAs juqa plenkasınıń atomlıq mikroskop tásirindegi betiniń kórinisi hám qalıńlıǵına baylanıslı FL spektiniń ózgerisi

Súwrettiń birinshi a) jaǵdayında E_{Fl} nurlanıw energiyasınıń spektriniń temperatura 130 K shekem birdey bolıp turatúǵının kóriwimizge boladı. Yarım kernewliliktiń temperaturaǵa ǵárezliligi arqalı biz qaptal táreplerde eksitonlıq lokalizatsiya bolıp ótetuǵının seziwimizge boladı. Fotolyuminescenciya spektriniń intensivligi temperaturalıq ǵárezliligi eki energiya aktivatsiyaǵa iye Arrhenus diagrammasına tiykarlanǵan boladı.

Bul energiyanıń shamaları ($E_1 \approx 3,5 \text{ мэВ}$ $E_2 \approx 130 \text{ мэВ}$) teń bolıp bul eksitonniń tereńdegi qáddinen kishi bolıp esaplanadı. Usıǵan tiykarlanıp biz tómén temperaturalı fotolyuminescenciya qubılısın kvantlıq tochka hám barer menen shegarasındaǵı defektlerdiń radiatsiyalıq bolmaǵan kanalları menen túsindire alamız.

Úlgilerge itterbiy atomların kiritiw arqalı kiritilgen úligerde bir qansha ózgerisler boldı. Itterbiy atomları tásir bolǵannan keyingi kvantlıq tochkaniń tómén temperaturalı fotolyuminescenciya spektriniń intensivliginiń yarım keńliginiń hám intensivliktiń energiyasınıń temperaturaǵa ǵárezli ózgeriwi 3.5-súwrettiń jaǵdayında kórsetilgen.

Basqa elementtiń atomları táhiri bolǵannan keyin úlgide tómendegishe ózgerisler boladı:

1) Buferlik oblastıń GaAs hám kvantlıq točkaǵa tiyisli oblasttıń fotolyuminescenciya spektrine intensivligi azǵantay ózgeredi.

2) Kvantlıq tochkaniń fotolyuminescenciya spektri radiatsiyaǵa soń tolqın uzınlıǵı kishi tárepke jılıydı.

3) Kvantlıq tochkaniń fotolyuminescenciya polosası kishireydi.

4) Aktivatsiya energiyası E_1 hám E_2 azayadı.

5) Tómén temperaturalı oblastta E_{Fl} temperaturaǵa ǵárezliligi artadı.

6) Spektral sıızıqtıń keńliginiń temperaturaǵa ǵárezliligi bolmaydı.

7) Bettıń morfologiyası ózgeredi.

Fotoluminescenciya intensivliginiń hám de energiya aktivatsiyanıń ózgeriwi bul radiatsiyalıq qızdırganda defektlerdiń payda bolıwına tiykarlangan boladı. (Fotoluminescenciya spektriniń kishi tolqın tárepine ózgeriwi hám fotoluminescenciya spektriniń kishireyiwi kvantlıq tochkaniń kompozitsiyanıń ózgeriwine hám kvantlıq tochkaniń ólsheminiń úlkeyiwine baylanıslı boladı, bunday protsesslerdiń bolıwı kvantlıq tochkaniń jıllılıq arqalı kúydiriwde baqlangán [13, 14]). Bizlerdiń jaǵdayımızda bunday qubılıslar komnata temperaturasında (300-360 K) izertlendi hám de GaAs diń óz-ara diffuziyasınıń artıwı menen túsindiriledi. Fotoluminescenciya spektriniń keńliginiń hám spektral sıızıqtıń keńliginiń temperaturaǵa ǵárezliligi radiatsiyadan soń eksitonlardıń qaptal lokalizatsiyası saqlanadı. Itterbiy atomınıń soń óz-ózinen payda bolatuǵın kvantlıq tochkalardıń AlGaAs/GaAs jıllılıq protsessleriniń hám kóp relaksatsiyalıq protsesslerdegi alıp keliniwi tek izbe-iz izertlewler arqalı ámelge asırıladı.

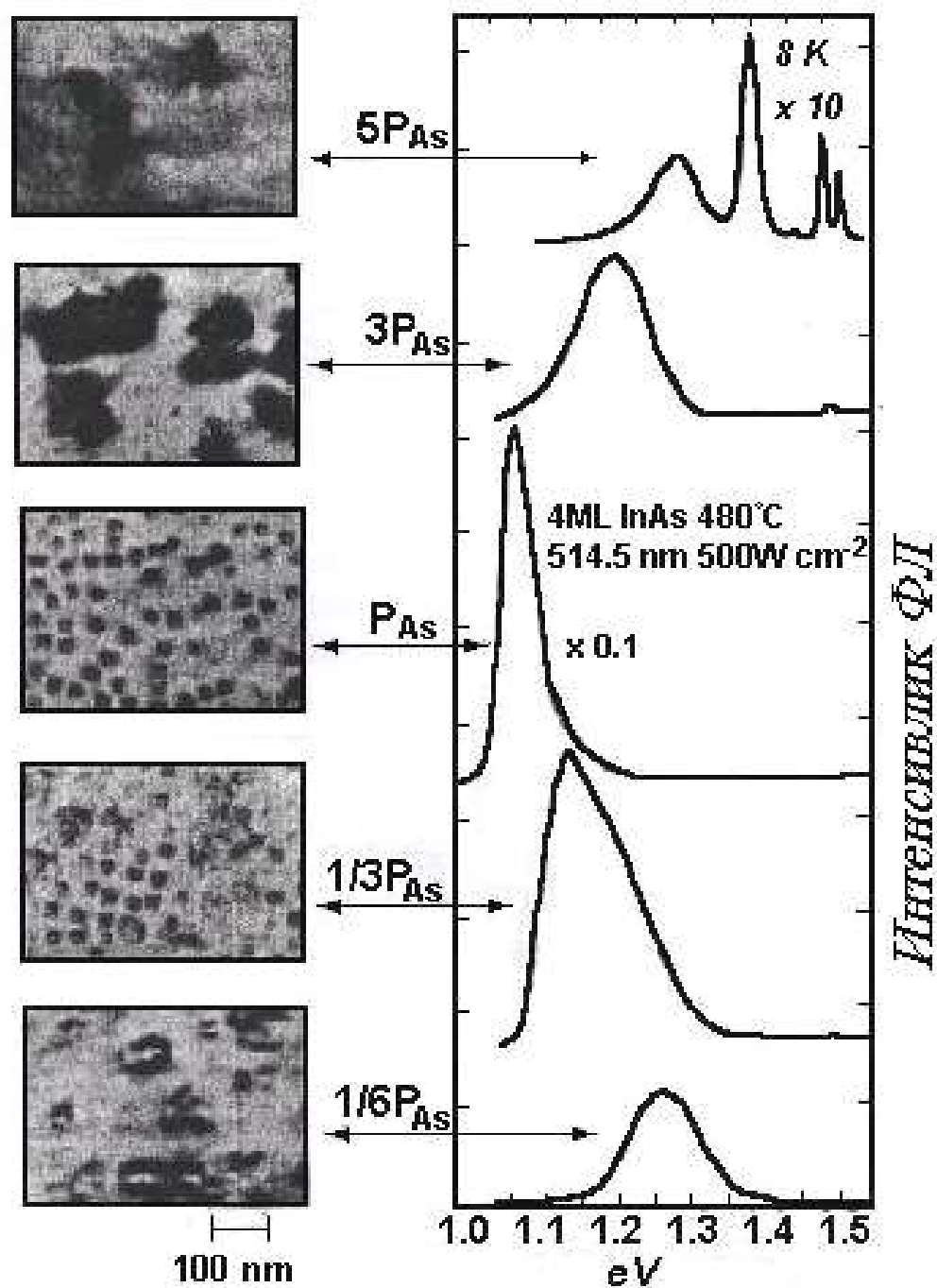
Kvantlı tochkaniń ósiriw waqtında úzilistiń bolıwına baylanıslı fotoluminescenciya spektriniń ózgeriwi. Úsh ólshemli kvantlı tochkalardıń ósiriliwinde ósiw waqtınıń úzlikli bolıwı kvantlı tochkaniń kóp optikalıq qásiyetleriniń ózgeriwine alıp keledi. Ósiwdiń úzlikligin *InAs* – *GaAs* strukturası ushın qollanıp kórdik. *InAs* arsenid indiydiń muǵdarınıń artıwı menen yaǵnıy tórt monosloyǵa shekem artıwında fotoluminescenciya spektriniń úlken tolqın uzınlıǵı tárepine qaray jıljıwın kóriwimizge boladı. Bul demek kvantlıq tochkaniń KT ólsheminiń artıwı menen xarakterlenedi. Kvantlıq tochkaniń ólsheminiń artıwı jaqtılandırıwshı elektronlıq mikroskop arqalı tekserilip kórildi. *InAs*-ortasha qalınlıǵınıń tórt monosloyǵa shekem artıwı kvantlıq tochkaniń hám fotoluminescenciya spektriniń úlken tolqın uzınlıǵı tárepke jıljıy beriwine alıp keledi, biraq strukturada mezoskopiyalıq klasterler payda boladı, bular óz ishine dislokatsiyalardı qamtıydı hám fotoluminescenciya spektrleriniń intensivligi FL kemeyedi. Strukturalardıń ósiwi waqtınsha úzlikli bolıwında da kvantlıq tochkalardıń fotoluminescenciya spektrleriniń úlken tolqın uzınlıǵı tárepke jıljıwına alıp keledi. Ósiw waqtınıń úzlikli bolıwına baylanıslı kvantlıq

tochkanıń *InAs* -arsenid indiydiń eki monosloy qatlamǵa iye bolǵanında da fotolyuminescenciya spektri úlken tolqın uzınlıǵı tárepke qaray jılıydı.

3.6- súwrette ósiriliw waqtı úzilisli bolǵan *InAs / GaAs* strukturasınıń hár qıylı rejimdegi alınǵan optikalıq spektrleri kórsetilgen.

3.7- súwrette kvantlıq tochkanıń optikalıq spektrine mıshyaktıń basımınıń tásiiri kórsetilgen hám usı hár bir optikalıq fotolyuminescenciya spektrine sáykes kvantlıq tochkanıń betiniń elektron mikroskopiyalıq súwretleniwi kórsetilgen. GaAs-arsenid galliy betine tórt monosloy *InAs* -arsenid indiy otırǵızılǵan hám de mıshyak basımı standart $2 \cdot 10^{-6}$ Tor teń bolıp 3-5 ese arttırıldı hám 3-6 ese kemeytirildi.

Mıshyaktıń standart basımında úsh ólshemli kogarent kernewge iye bolǵan (ostravka) biyiksheler payda boladı. Mıshyaktıń basımınıń tómenleniwi menen strukturanıń eki ólshemli strukturaǵa aylanıp yaǵnıy dreyflik betke iye strukturaǵa aylanadı. Mıshyak basımınıń artıwı menen úsh ólshemli biyikshelerdiń (ostrovka) payda bolıwına hám úlken *InAs* klasterlerin payda etedi. Bul *InAs* klasterleri úlken dislokatsiyalarǵa iye boladı. Strukturalardıń ósiriliw shártiniń ózgeriwi hám otırǵızılatuǵın materialdıń muǵdarına baylanıslı kvantlıq tochkalardıń optikalıq spektrleri ózgerip otıradı. Mıshyaktıń basımınıń tómenlewi menen fotolyuminescenciya spektriniń intensivligi azayadı. Sonıń menen birge fotolyuminescenciya spektriniń keńligi artadı. *InAs / GaAs* strukturası molekulalıq puchkovoy epitaksiya metodi menen alındı. Ósiriliw temperaturası 480⁰S bolıp mıshyaktıń parınıń basımı $2 \cdot 10^{-6}$ Tor teń boldı.



3.7-súwret. AlGaAs juqa plenkasınıń galliy atomınıń konsentratsiyasına baylanışlı ózgeriwi

A_2V_6 -birikpesinen turıwshı geterostrukturalardıń optikalıq spektrleri

Kvant ólshemli A_2V_6 strukturaları «Katun» qurılmasında molekulyar puchkovoy metodı arqalı ósiriledi. Al A_3V_5 -kvant ólshemli strukturalar metall organikalıq birikpe paydalanıw arqalı gaz fazasınan otırǵızıldı.

Biziń paydalanǵan úlgerimizdiń parametrleri, olardıń radiatsiyalıq elektronlıq tásir almaǵan keyingi rejeleri tómendegi tablitsada kórsetilgen fotolyuminescenciya hám fotoshaǵılısıw spektlerin ólshew $1,4$ den 24 eV diapazonında alıp barıladı, al temperatura $4,2$ K nen 80 K -in diapazonında avtomatlastırılǵan reshetskalı ustanovakada $0,6-1,4$ eV diapazonında prizmalıq monoxromatorda alıp barıladı.

Fotolyuminescenciya spektri argon lazeri menen qozdırıladı. $\lambda_1=0,51453$ mkm hám $\lambda_2=0,488$ mkm .

A_2V_6 strukturanı qayta islewde radiatsiyanıń eki túri qollanıldı: rentgen kvantları menen nurlandıırıw **ILU-6** impulsli tezletkishinde alıp barılıp, onıń integral nurlandıırıw $4 \cdot 10^{16}$ sm^2 ge teń bolıp onıń nurlandıırıw energiyası $1,8$ MeV teń boldı.

IMU-6 impulsli tezletkishinde nurlanıw tómendegi rejimlerde alıp barıladı: impulstıń uzaqlıǵı 700 mkm jıylıǵı 25 Gs impulstegi elektronlıq tok tıǵızlıǵı $3,5 \cdot 10^{14}$ sm^2 . Úlgini nurlandıırǵanda temperatura 60 $^{\circ}S$ dan asqan joq.

Bunday rejimde energiyanıń nurlanıw tıǵızlıǵı yaǵnıy impulstıń tásir etiwinen $ZnTe$ strukturasınıan bólinip shıqqan energiyanıń tıǵızlıǵı $\approx 3 \cdot 10^{21}$ $eV/sm^3 \cdot s$ bolǵan «Elektron gewektiń» bir jubın payda etiw ushın joqarı energetikalıq nurlandıırıw menen qozdırǵanda $\approx 3 \cdot E_g \approx 10$ ϑB teń bolǵan energiya kerek boladı, bunda E_g -qadaǵan zonanıń keńligi, elektron-gewekli juptıń generatsiya tempi $\approx 3 \cdot 10^{20}$ $eV/sm^3 \cdot s$ quraydı.

Elektronlıq nurlandırırw waqtında strukturada $\approx 3 \cdot 10^{23}$ *jup/sm³* elektron-geweklik *jup* payda boladı. Elektronlıq nurlandırırwdıń ionizatsiyalanırwshı háreketi menen birge atomlardıń udarlıq awısıwı esabınan konsentratsiyası $N_{PD} \approx 10^{17} \text{ sm}^3$ teń bolǵan radiatsiyalıq defektler payda boldı.

Tablitsa.. Izertleniwshi strukturalardıń parametrleri.

N	Kvantlı yamalardıń parametrleri	<i>Qayta islewdiń túrleri</i>	Deformatsiyalanırw shaması (4,2 K)
1 -1	<i>Al_{0,17}Ga_{0,83}As</i> $L_{z1}=L_{z2}=L_{z3}=2\text{nm}$ <i>$L_B=2\text{nm}$</i>	-----	$6,4 \cdot 10^{-4}$
1 -2	<i>Al_{0,17}Ga_{0,83}As</i> $L_{z1}=L_{z2}=L_{z3}=2\text{nm}$ $L_B=2\text{nm}$	E=1.8 MeV $D=4 \cdot 10^{16} \text{cm}^{-3}$	$5.0 \cdot 10^{-4}$
1 -3	<i>Al_{0,17}Ga_{0,83}As</i> $L_{z1}=L_{z2}=L_{z3}=2\text{nm}$ $L_B=2\text{nm}$	<i>Rentgenlik nurlandırırw</i> <i>$D = 1 \cdot 10^4 \text{rad}$</i>	$5.4 \cdot 10^{-4}$
4	$\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ $L_{z1}=2,5 \text{ nm } L_{z2}=4,2 \text{ nm}$ $L_{z3}=8,0\text{nm } L_B=100\text{nm}$	γ -kvantı ^{60}So $D = 2 \cdot 10^9 \text{ rad}$	-----

Al, rentgen kvantı menen nurlandırırw **RAP 150/300** apparatında úzliksiz rejimdeki spektr menen volfram trubkasında *100 kV* kernew astında alıp barıladı.

Ekspozitsiyalıq diapazonnıń quwatlıǵı 10 R/s bolıp, al espozitsiyalıq doza $D=10 \text{ R}$ dı quradı. Nurlandıırw waqtında strukturada $\approx 5 \cdot 10^{16} \text{ жсн} / \text{см}^3 \cdot \text{с}$ tı quradı, al barlıq elektron-geweklik juptı $\approx 5 \cdot 10^{19} \text{ nap} / \text{см}^3 \cdot \text{с}$ -quradı.

A_3V_5 -strukturasını nurlandıırw γ -kvantı ^{60}So menen bolıp onıń dozası $2 \cdot 10^9 \text{ pad}$ qurap, al quwatlılıǵı $2 \cdot 10^9 \text{ pad} / \text{с}$ tan. Bul berilgen quwatlılıqta úlgimizdi nurlandıırǵanıımızda $10^{16} \text{ jup} / \text{см}^3 \cdot \text{с}$ (barlıǵı $\approx 10^{22} \text{ жсн} / \text{см}^3$) «elektron gewek» jubı payda boladı.

Biz usı nurlanıw alǵan úlgilerimizdiń tómén temperaturalı fotoluminescenciya tómén temperaturalı fotoluminescenciya hám fotoshaǵılısıw qubılısların úyrendik. 3.8-súwrette úsh kvantlıq yamaǵa iye (K) $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As-GaAs}$ strukturasınıń γ -nurlanıwına shekem, hám γ -nurlanıw alıwınan keyingi tómén temperaturalı (77 K) podlojka tárepinen ólshengen fotoluminescenciya hám spektrlerin kóriwimizge boladı. Bunda L_Z -yamaniń keńligi, L_B -barer keńligi. Podlojka tárepinen alınǵan fotoluminescenciya spektrinde shetki (krevoy) oblastınan dógereginde eki polosanı ($I^{(DX)}=1,508 \text{ eV}$ hám $I_2^{(ec)}=1,49 \text{ eV}$) hám eki keń ($I_3=1,38 \text{ eV}$ hám $I_4=0,78 \text{ eV}$) polosanı kóriwimizge boladı.

I_1 hám I_2 -polosaları donor menen baylanıslı eksitonǵa tiyisli bolıp hám elektronnıń uglerod atomına ótiwine baylanıstı payda boladı. I_3 spektr sızıǵı donorlıq-akseptorlıq ($V_{As}Cu_{Ga}$), al I_4 -spektr sızıǵı elektronlardıń tereńdegi donorga ótiwine baylanıslı boladı ($D_{(As)}$). 3.8-súwrette biz γ -nurlanıwdan alıwınan soń, nurlandırılmaytuǵın rekombinatsiyalıq oraylardıń payda bolıwına tiykarlanǵan boladı.

Dozası $2 \cdot 10^9 \text{ pad}$ nurlanıw alǵannın soń I_1 hám I_2 spektr sızıqlarınıń integrallıq intensivliginiń (I_F), dáslepki nurlanıw almaǵan intensivlikke qatnası 10^{-2} shamasın quraydı, al I_4 -spektr sızıǵınıń dáslepki spektral sızıqtıń intensivligine qatnası $I_F/I_0 \approx 0,5$ shamasın quraydı.

Hár qıylı spektral sızıqlardıń intensivliginiń qatnası I_F/I_0 bir-birinen ózgeshe bolıwı sebebi hám nurlanıw algannan keyini fotoluminescenciya intensivliginiń páseyiwi tek nurlandırmaytuǵın rekombinatsiyalıq oraylardıń dóretiliwi menen emes al, nurlanıw oraylarınıń qayta bólistiriliwine de tiykarlangan boladı.

Bul súwrette tómén temperaturalı ($4,2/K$) úlginin epitaksiya qatlamı ósirilgen betiniń fotoluminescenciya spektrleri kórsetilgen. Úsh kvantlı yamaǵa iye $GaAs/Al_{0,28}Ga_{0,72}As$ qalınlıǵı 25, 42 hám 80 Å bolǵan úlginin dáslepki hám nurlanıw algannan sońǵı tómén temperaturalı fotoluminescenciya spektrleri kórsetilgen.

Joqarıda úlginin strukturasınıń sxeması kórsetilgen. Qozdırıw

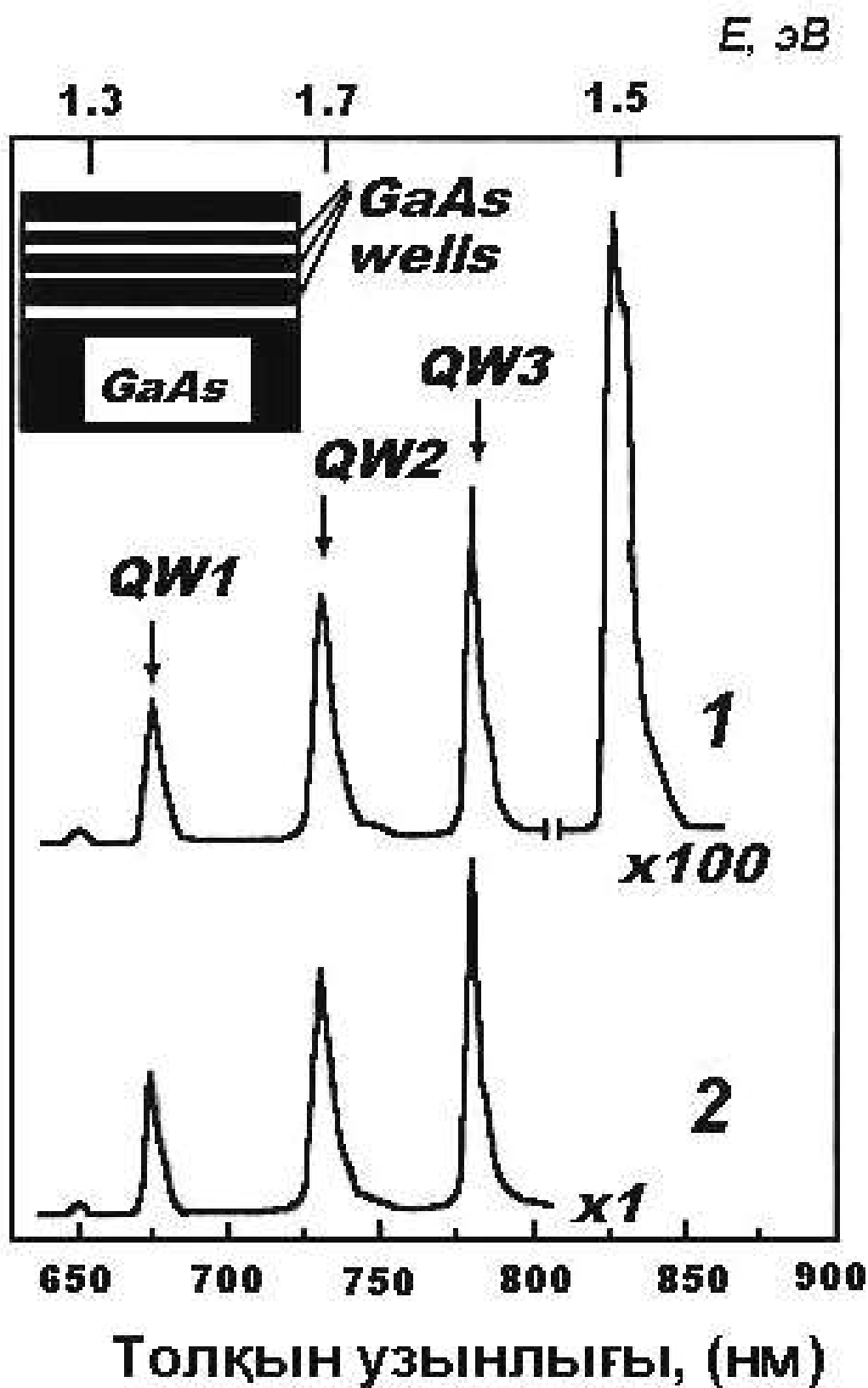
$$((\lambda_{exc} = 632,8 \text{ нм}) P \approx 5 \text{ Вт} / \text{см}^2) .$$

Súwrettegi 1,8 4225, 1,6972 hám 1,5889 eV iye ensiz spektrler KYA_1 hám KYA_3 (673, 730,6 hám 780,4 nm) kvantlı yamalarına tiyisli bolıp, bul elektronlardıń $n=1$ qáddinen ótiwine tiykarlangan boladı. Bul sızıqlardıń yarım maksimumǵa iye tolıq keliwligi 14, 20 hám 7 MeV teń boladı.

Dozası $2 \cdot 10^9 \text{ рад}$ bolǵan γ -nurlandıırıwınan soń γ -nurlandıırıwınıń soń kvantlıq yamanıń rekombinatsiyalıq xarakteristikasında ózgerisler bolmaydı (intensivliginde hám spektriniń yarım keńliginde).

Buferlik epitaksiallıq qatlamǵa tiyisli $GaAs$ -ni tiyisli $\approx 15 \text{ нм}$ buferlik epitaksiallıq qatlamdaǵı spektral sızıq γ -nurlandıırıwdan soń tolıǵı menen joq bolıp ketedi. Demek, biz $2 \cdot 10^9 \text{ рад}$ teń bolǵan γ -nurlandıırıwdan soń yarım izolyasiyalanǵan $GaAs$ podlojkasınıń hám $GaAs$ tiń buferlik epitaksiallıq qatlamınıń fotoluminescenciya spektrleriniń intensivlikleriniń keńeyiwin kórdik, biraq kvantlı yamanıń $GaAs/AlGaAs$ nurlandıırıw xarakteristikası tolıǵı menen saqlanadı. Demek, bunday kvantlı ólshemli strukturalardıń optikalıq qásiyetleriniń xarakteristikaları radiatsiyalıq nurlandıırıwdan soń turaqlı bolıp qalatuǵının anıqladıq.

Интенсивлик, ФЛ, с.б.



3.8-сúwрет. Ёш tunelli baylanısqan kvanthı yamanıń fotolyuminescenciya spektri kórsetilgen

Bul úlgi $\lambda_{exc} = 0,51453 \text{ мкм}$ tolqın uzınlıǵına iye argonlı lazer arqalı qozdırıldı, bul demek *GaAs* hám *AlGaAs* qadaǵan zonasınan úlken energiya menen qozdırıldı degendi bildiredi [8]. Bul súwrette epitaksiallıq qatlamnıń buferlik eksitonlıq oblastına tiyisli bir neshe tómén temperaturalı fotolyuminescenciya spektrlerin hám intensivliginiń úlken bolǵan kvantlı yamaǵa I^{KYA} -ǵa tiyisli fotolyuminescenciya spektrlerin kóriwimizge boladı. Epitaksiyalıq qatlam *ZnTe*-ǵa hám kvantlı shamaǵa tiyisli fotolyuminescenciya spektrleri oblastında yarım keńliginiń shaması ($FWHM \ 2 \text{ MeV}$) teń birneshe jıńışke spektrlerdi kóriwimizge boladı.

Bul jıńışke polosalar qozdırıwshı svettiń jıyliginiń LO-fononnıń shamasınıń $n=1,2,3, \dots$ kóbeymesine salıstırǵanda bir-birinen jılastırılǵan boladı (Bul polosalar svettiń kombinatsiyalıq shashıravına tiykarlangan boladı).

n -niń artıwı menen intensivliginiń nemonotonlı ózgeriwi buferdegi hám kvantlı yamadaǵı jıtılıw sızıǵı menen romanlıq sızıqtıń jıyliginiń sáykes keliwine baylanıslı boladı (rezonanslıq kúsheyiw dep ataladı). [9]

Fotolyuminescenciya spektrindegı baqlanǵan $\hbar\gamma = 23736$ (522,4 nm) eksitonlıq sızıqtı I_{EX}^{th} kóbinshe erkin eksiton hám neytral donor menen baylanısqa eksiton yamasa polyariton komponentalarınan turadı dep qarastıradı [10, 11].

Sonıń menen birge akseptor emes aralaspa menen baylanısqa eksiton $\hbar x = 2 \cdot 37 \text{ эВ}$ (523,2 nm). I_1^1 spektr sızıǵı baqlandı (bunda akseptor As_{zn} [12] yamasa V_{zn}) al intensivligi kishi bolǵan elementar emes fotolyuminescenciya spektral sızıǵı $I_x^{\hbar\gamma} = 2,3568 \text{ эВ}$ (526,13 nm) menshikli defektlerge yamasa protyajennıy defektlerge tiyisli bolıp esaplanadı [13].

Elektronlıq nurlanıw hám rentgenlik nurlanıw alǵannan keyingi fotolyuminescenciya spektrleride kórsetilgen bolıp bunday nurlanıwdı alǵannan

keyin I_2 I_1^1 hám I_1 polosalarınǵın intensivliginiń kishireyiwin kóriwimizge boladı (2 hám 3 iymeklikler).

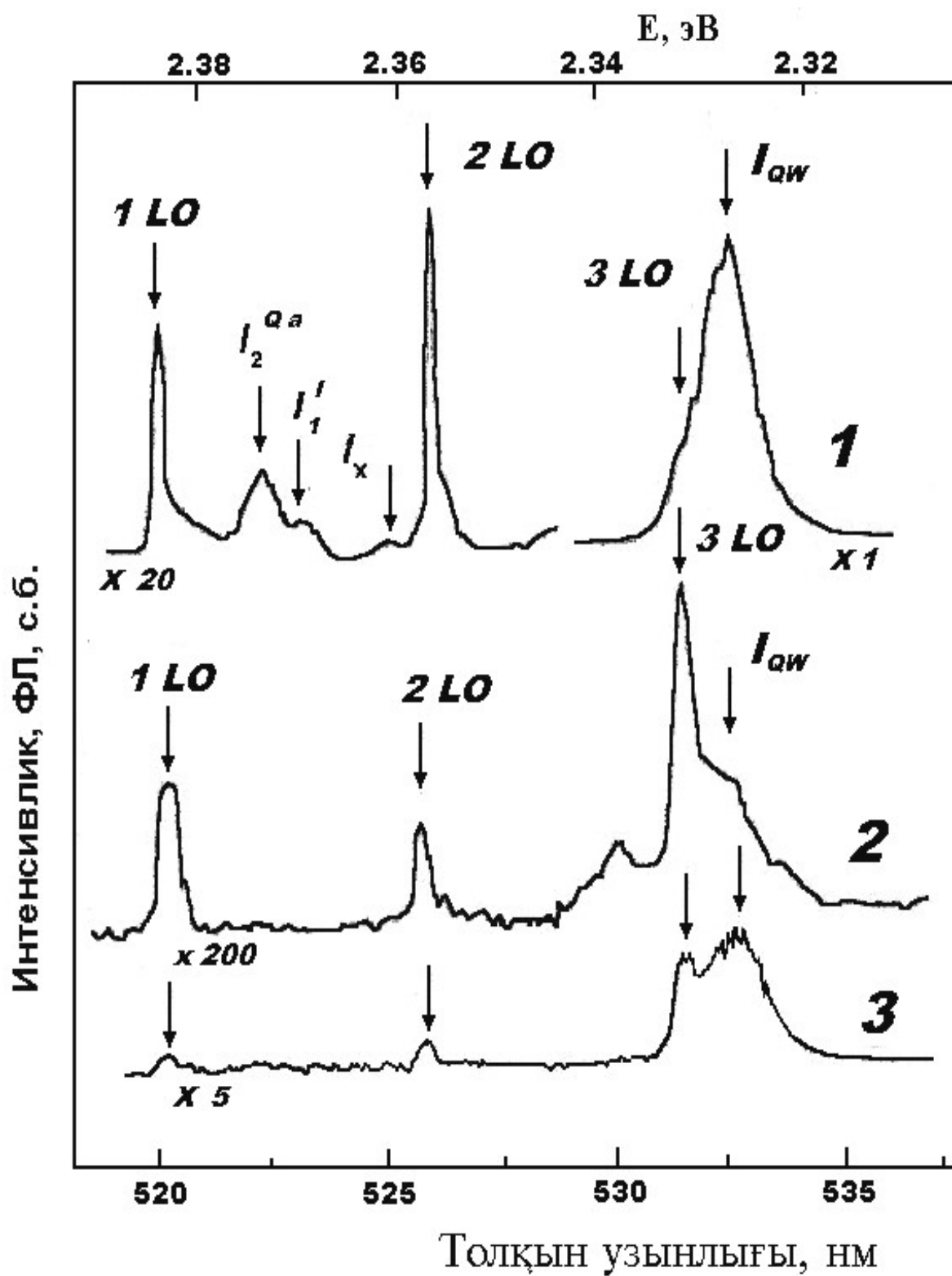
Kvantlıq yama oblastındaǵı fotoluminescenciya spektrinde nurlanıw alıwdıń eki túrinen keyin intensivliginiń I_{KYA} kemeyiwin anıqladıq, biraq az ózgerisler boladı. Elektronlıq nurlanıwdan soń I_{KYA} -polosa úlken energiya tárepine ($\Delta E \sim 0,7$ MeV) jılıydı, al rentgenlik nurlandıırıwdan soń kishi energiya tárepke ($\Delta E \sim 0,6$ MeV) jılıydı. Buferden payda bolatuǵın eksitonlıq lyuminescenciya oblastınıń nurlanıwdan soń payda bolatuǵın energiya boyınsha jılınıwı romanlıq shashıraw sızıqlarınıń aralasıp kemiwine baylanısıp onsha sezilerlik dárejede bolmadı.

Fotoluminescenciya spektrleri tolıq izertlew ushın, bizler berilgen úlgininń dáslepki hám nurlanıw alǵannan keyingi shaǵılısıw spektrlerin ólshep shıqtıq.

3.7-súwrette 77 K temperaturadaǵı úlgininń dáslepki hám nurlanıwlar alǵannan sońǵı shaǵılısıw spektrleri hám 4,2 K temperaturadaǵı fotoluminescenciya spektrleri kórsetilgen. Súwrette 1a shaǵılısıw spektrleri 1b fotoluminescenciya spektrine salıstırıw arqalı awır gewekshesin hám jeńil geweksheniń eksitonlıq rezonansına tiykarlanıp alınǵan shaǵılısıw spektrlerin kóriwimizge boladı.

Shaǵılısıw spektrine tiykarlanıp awır hám jeńil geweksheniń jaylasıwına hám gewekshelerdin rezonanslı bir-birinen ayırılıp turıwına baylanıslı serpimli deformatsiyanıń awısıw shamaların ólshedik.

Úlgininń dáslepki halı ushın bul shama $\varepsilon \approx 6,4 \cdot 10^{-4}$ (4,2 K) teń boldı. Nurlandıırıw alǵannan soń eksitonlıq rezonansqa tiykarlanıp spektrimiz kishi tolqınlar tárepke qaray jılıydı. Bul jılıwdıń sebebi belgili relaksatsiyalıq kernewdin (kemeyiwine) nurlanıw alǵannan sońǵı nátiyjesine tiykarlangan boladı. Kvantlı-ólshemli strukturalardaǵı relaksatsiyalıq kernewdin radiatsiyalıq-stimullastırılǵan mexanizmi uzın yamasa tochkalıq defektlerdin generatsiyası menen hám yamanıń sostavınıń ózgeriwi menen túsindiriledi.



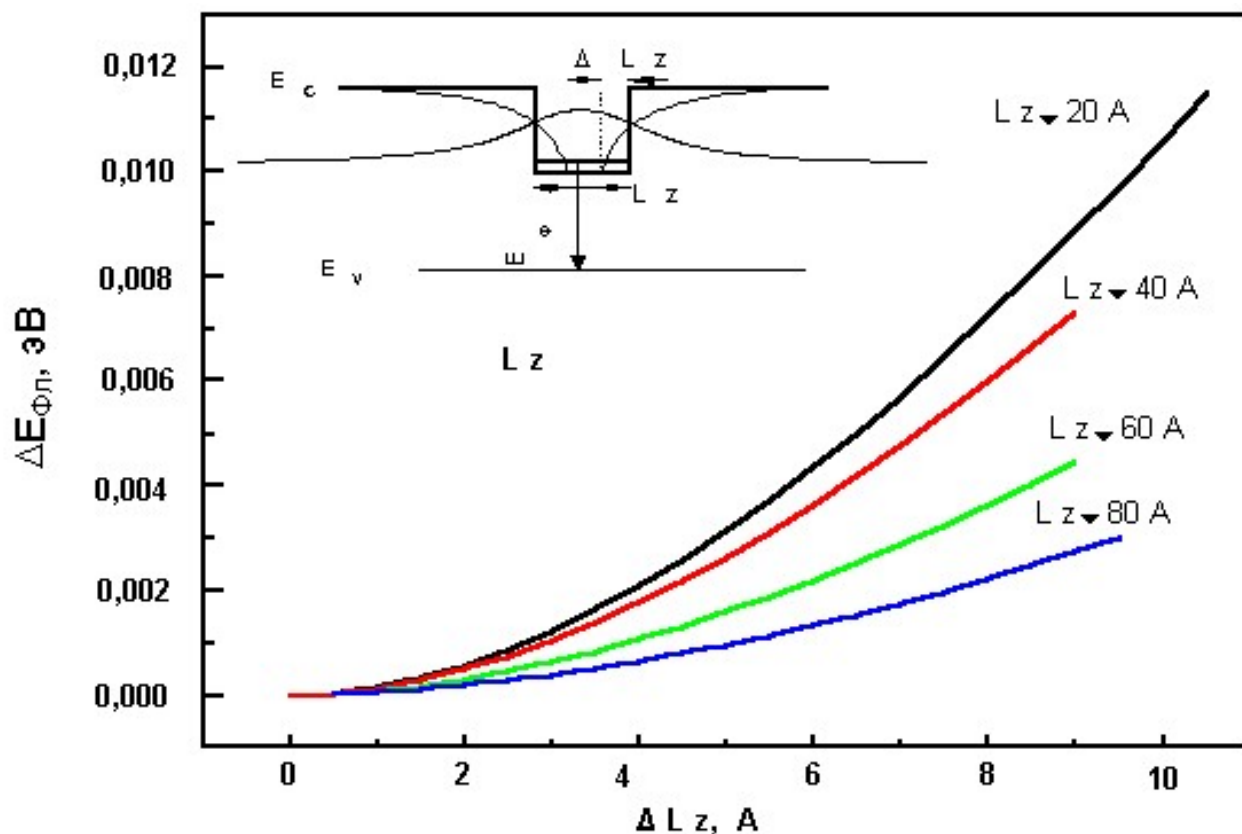
3.9-сúwрет. Hár қыял тасирлерден кейинги óлshengen FL спектри

Kvantlıq yamanın úlken tolqın uzunlıq tárepke jıljıwı mexanikalıq kernewdın relaksatsiyası menen túsindiriledi, al kvantlıq yamanın kishi tolqın uzunlıgı tárepine jıljıwı yamanın tereńliginiń ózgeriwi menen yamasa yamanın hám barerdin interdiffuziya komponentleriniń yama diywalına tásiri menen túsindiriledi. Biziń $Cd_{0,17}Zn_{0,83}Te/ZnTe$ birlik kvantlıq yamamızda bul hallar kvantlıq yamanın ózgerip ketiwi hám mexanikalıq kernewdın relaksatsiyası menen túsindiriledi.

Tiykarında da biziń strukturamızda nurlanıw polosasınıń ózgeriwi kvantlı yamanın ózgerip ketiwi hám mexanikalıq kernewdın relaksatsiya protsessleri menen túsindiriledi.

Nurlanıw algannan soń epitaksiallıq qatlamnıń eksitonlıq sızıgı tolqın uzunlıgınıń kishi tárepine qaray ózgeredi, bul demek usı qatlamda rastoyaniesi (aralıgı) kernewiniń keńeygenin kórsetedi. Bir buferlik qatlamğa ZnTe iye epitaksial strukturalarda relaksatsiya praktikalıq jaqtan tolıq qatnasadı, demek bul quramalı geterostrukturalarda kernewdın radiatsiyalıq-stimullastırılğan relaksatsiyası (barer hám yamalardıń reshetskalarınıń parametrleriniń sáykes keliwi menen baylanıslı boladı) barer hám yama arasında bolıp ótedi. Eger kvantlı yamada qısılıw kernewine orın bolatuğın bolsa, onda kvantlı yamanın fotolyuminescenciya polosalı tolqın uzunlıgı úlken tárepke qaray jıljıydı. Bizler kvantlıq yamanın fotolyuminescenciya polosasınıń ($\Delta E\Phi\lambda$), yamanın diywalınıń hár qıylı ólshemdegi shamalarğa óz ΔL_z ózgergende mánislerin esaplap shıqtıq.

3.8-súwrette bir kvantlıq yamağa iye $Al_{0,17}Ga_{0,83}As$ strukturasınıń fotolyuminescenciya polosasınıń energetikalıq jıljıwı kórsetilgen. Bunda yama tereńligi ($2 \cdot \Delta L_z < L_z$) ózgermeydi hám usıǵan sáykes túrde L_z -yama eni ózgerip otıradı. Bul strukturanıń esaplanıwı tómendegi jol menen alıp barıldı. Berilgen yamanın qalıńlıgı L_z -boyınsha eksperiment arqalı kalibrovka iymeklik boyınsha kvantlıq yamanın fotolyuminescenciya polosası ólshenedi [15] hám yamanın quramı anıqlandı.



3.10-súwret. Kwantlı yamanıń fotolyuminescenciya spektrine baylanıslı ózgeriwleri

Ápiwaylılıq ushın (Ga-diń bólistiriliwin eksponensial formaǵa iye bolıp Fik nızamı orınlanadı dep qaraıstıramız hám interdiffuziya koeffitsienti D qurawshılardıń dáslepki konsentratsiyasına ǵárezli emes dep qaraıstıramız).

Shredinger teńlemesiniń sheshiminen yamadaǵı qáddilerdiń jaylasqan halı esaplanıp hám ΔL_z -yama keńliginiń ózgeriwinen fotolyuminescenciya polosasınıń jılıwı esaplanadı.

3.9-súwrette usı fotolyuminescenciya FL polosasınıń diffuziya tásirinen hár qıylı yamaǵa iye bolǵandaǵı mánislerine ǵárezli grafıgi kórsetilgen. Esaplaw hám eksperiment jolına tiykarlanıp I_{KYA} -polosasınıń belgili bir jılıwın yama tereńliginiń ózgermewi hám yama keńliginiń ózgeriwi menen túsindiriwimizge boladı. Qoyılǵan eksperiment hám esaplawlarımızdıń nátiyjesine tiykarlanıp

kishi tolqın uzınlıǵı tárepine fotolyuminescenciya polosanınıń jılıwın tek joqarıdaǵı ayılǵanlar menen emes, al Ga-dıń diffuziya koeffitsientine de kewil bóliwimiz kerek (eger úlgi nurlanıw alǵan bolsa) diffuziya koeffitsientin tómendegishe anıqlap

$$(D_{cd} = (\Delta L_z)^2 / t) \quad (3.1)$$

t -bunda nurlanıw waqtı, $\approx 2 \cdot 10^{-17} \text{ cm}^2 \cdot \text{c}^{-1}$ bul temperatura $T=360 \text{ K}$ ushın diffuziya koeffitsientinen bir neshe márte úlken boladı [16].

Elektronlıq nurlanıwdan soń AlGaAs/GaAs strukturasında radiatsiyalıq-stimullastırılǵan ózgerisler menen birge elektronlıq qozdırıw arqalı atomlardıń udarlıq jılıwları payda boladı.

Al, biraq rentgen nurlanıwınan soń bunday protsessler júz bermeydi. Bunnan biz elektronlıq qozdırıwdıń tásiiri qaralıp atırǵan strukturamızǵa radiatsiyalıq stimullastırılǵan ózgeris kiritedi degen juwmaqqa kelemiz.

Elektron-geweklik juplardıń tómén konsentratsiyası rentgenlik nurlanıw alǵannan soń strukturalardıń fotolyuminescenciya spektrinde az ózgeris kiritedi. Demek AlGaAs/GaAs strukturasında hám rentgen nurları menen qozdırılǵanda buferlik qatlamda radiatsiyalıq-stimullastırılǵan relaksatsiyanıń aǵıp ótiwin payda etedi hám kvantlıq yamanıń diywalınıń diffuziyalıq ózgeriwin keltirip shıǵaradı.

A_3V_5 -strukturalarında doza $2 \cdot 10^9 \text{ pad}$ bolǵanda tek buferlik qatlamında ózgerisler payda boladı. A_3V_5 -strukturaların dúzilgen kvantlı yamalardıń radiatsiyalıq turaqlılıǵı A_2V_6 strukturalarınan dóretilgen kvantlı yamalardan radiatsiyalıq turaqlılıǵın bir neshe ese úlken boladı hám de joqarı termikalıq stabillikke iye boladı. A_2V_6 -strukturalarınan dóretilgen kvantlı yamalardıń radiatsiyalıq turaqlılıǵınıń A_3V_5 -strukturası radiatsiyalıq turaqlılıǵınan az bolıwı strukturalardıń úlken defektligi bolıp esaplanadı.

Haqiqatında da [17] aldınğı islengen jumislarda AlGaAs dın barerlik qatlamında defektlerdın konsentratsiyasınıń artıwı baqlanǵan, sonıń menen birge V_{zn} -tın kóbeyiwi baqlanıp usılardıń sebebinen kvantlı yamanıń ózgeriwi payda boladı.

Asareshetkaǵa iye yarımótkizgishli materiallar hám magnitli multi qatlamlar

Sońǵı waqıtları fizik injener izertlewshilerdın eń tiykarǵı izertlew oblastları bul qatlamlı yarımótkizgishli materiallar (hár qıylı yarımótkizgishli materiallardın izbe-iz biriniń ústine biri qaytalanıp ósiriliwine iye bolǵan yarımótkizgishli materiallar) hám magnitlik materiallar bolıp esaplanadı. Yarımótkizgishli qatlamlı strukturalardıń ólshemleri 10 – 1000 Å aralǵında bolıp, olardı nanostrukturalar dep ataymız. Nanostrukturalarǵa joqardaǵı ayılǵan materiallardan basqa: fullerenler, kremniyli trubkalar hám hár qıylı biologiyalıq obyektler jatadı.

Bunday materiallardın elektronika hám optoelektronikadaǵı tiykarǵı paydalanılıwınıń sebebi tez islewinde hám energiyanı az talap etiwinde bolıp esaplanadı. Sonıń menen birge bunday materiallar júdá kishi ólshemge iye bolıwı menen ajralıp turadı. .

Nanostrukturalardıń tábiyǵıy emes túrin hám kerekli fizikalıq xarakteristikasını alıw bul fundamental ilim izertlewshiler ushın úlken bir másele bolıp tabıladı. Házirgi waqıtta texnologiyanıń jedelesiwi menen atomlıq qáddidegi ólshemge iye hám kerekli fizikalıq xarakteristikaǵa iye yarımótkizgishli materiallardı alıw múmkinshiliklerine iye bolıp esaplanadı.

Texnikanıń rawajlanıwı menen yarımótkizgishli juqa plenkalardıń ósiriliwiniń atomlıq nurlı epitaksiya (ALE), metall-organikalıq epitaksiya usılları payda boldı. Bettin ósiwin tekserip barıw ushın hám quramın tekserip barıw ushın tunnellik mikroskop (STM), elektronlıq oje-spektroskopiya (EOS), shaǵılısqan elektronlardın difraktsiyası (DOBE) usılları paydalanıp atır..

Asareshetka dep - bir bağıtta yarımótkizgishli materiallardıń juqa qatlamlarınıń izbe-iz dáwirli túrde qaytalanıp ósirilgen birikpelerine aytamız.. Asareshetkanıń dáwirliǵı kristall reshетка turaqlısınan júdá az aralıqta úlken boladı hám de elektronlardıń erkin júriw uzınıǵınan belgili ese kishi boladı.

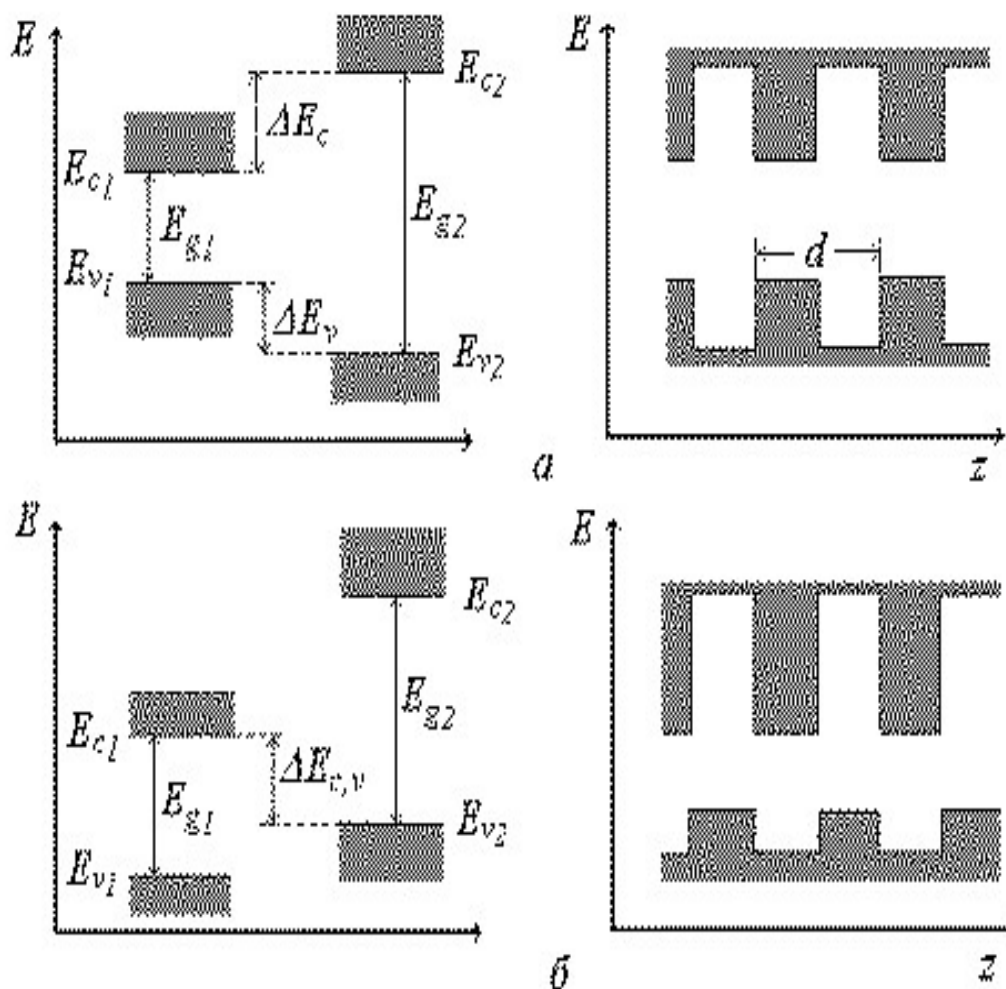
Bunday struktura belgili kristall reshetkanıń dáwirli potentsialına iye boladı, al yarımótkizgishli materiallardıń qatlamlı ósiriliwinen payda bolǵan potentsialǵa asareshetkanıń qosımsha potentsialı dep ataymız. Asareshetkanıń jeke potentsialı yarımótkizgishi materialdıń energetikalıq strukturasın ózgertip turadı. Yarımótkizgishli asareshetkalar belgili bir fizikalıq dúziliske iye bolıp, tómendegi xarakteristikalarǵa iye boladı.

- Dáslepki yarımótkizgishli materialǵa qaraǵanda energetikalıq spektrleri boyınsha belgili bir ózgeriske iye boladı;
- Energetikalıq qáddilerdiń kóp sanına iye boladı;
- Kúshli anizotropiyaǵa iye boladı (dvumernost);
- Elektron-geweklik rekombinatsiyanıń joq bolıp ketiwine iye boladı;
- Elektron hám geweklerdiń konsentratsiyası asa ótkizgishte belgili ózgertiwlerge iye boladı (legirleniw menen anıqlanbaydı);
- Zonalıq strukturanı úlken ózgertiw múmkinshiliklerine iye boladı.

Yarımótkizgili asareshetkanıń usınday qásiyetlerge iye bolıwı tábiyǵıy emes jasalma formasındaǵı alıńǵan formasına tiyisli bolıp esaplanadı.

Dáwirli potentsialǵa iye bolǵan asaótkizgishli yarımótkizgishli materiallar bir neshe tipke iye boladı. Usılardıń ishinde eń kóp tarqalǵanı kompozitsiyalı hám legirlengen yarımótkizgishli asaótkizgishli materiallar bolıp esaplanadı. *Kompozitsiyalı asareshetkalı ótkizgishler dep* - reshетка turaqlıları bir-birine jaqın biraq quramı boyınsha hár qıylı bolǵan epitaksial plenkalardıń dáwirli túrde izbe-iz ósirilgen túrlerine aytamız.

Birinshi márte asareshetkalı ótkizgishlik etip alıńan material $GaAs - Al_xGa_{1-x}As$ materialı bolıp esaplanadı. Bunday materialda alıńan asareshetkaniń ayırmashılıǵı bul alyuminiydiń valentligi hám ionlıq radiusı boyınsha galliy menen birdey bolıwında hám kristallıq strukturada belgili bir iymeyiwdiń payda bolmawında bolıwı bolıp esaplanadı. Biraq alyuminiy asareshetkada kerekli potentsial amplitudasın beredi.



3.11-súwret. Kompozitsiyalıq asareshetkaǵa iye yarımótkizgishli materiallardıń sxemalıq kórinisi

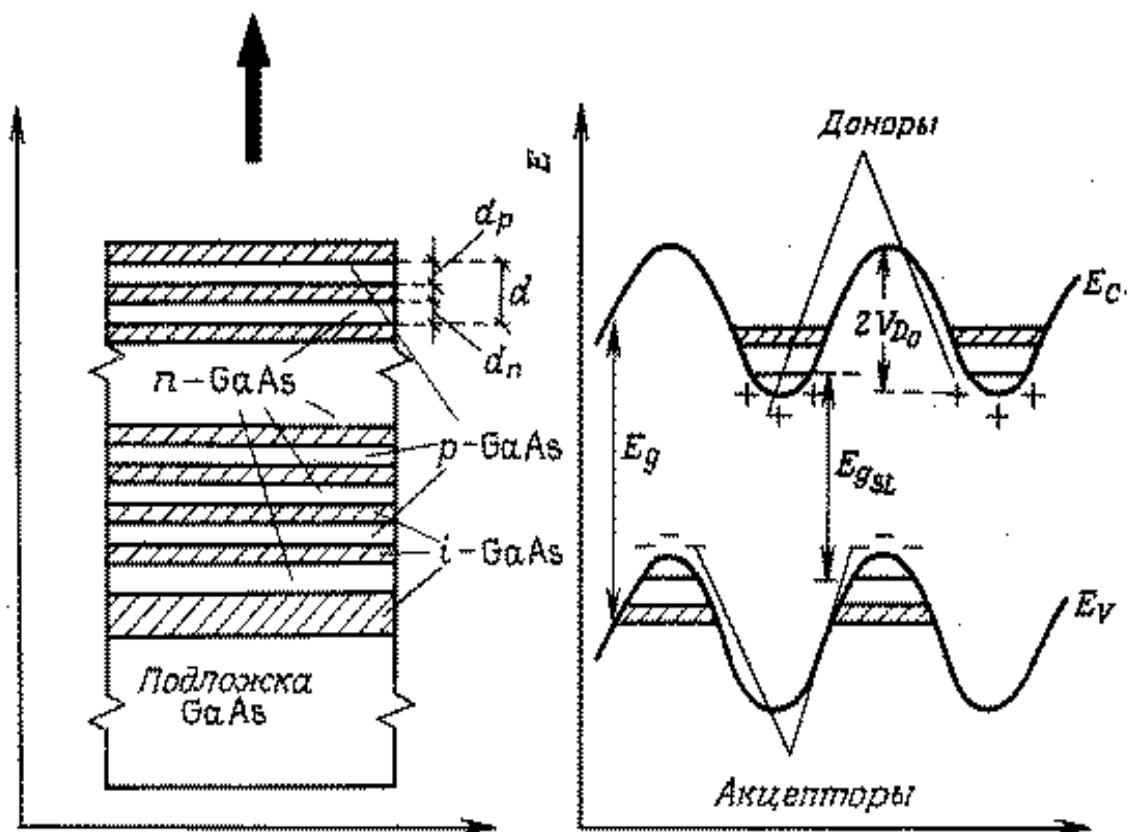
Yarımótkizgishli materiallardan tayarlanǵan asaótkizgishler energetikalıq zonalarınıń jaylasıwı boyınsha bir-neshe tipke bólinedi.

Yarımótkizgishli $GaAs - Al_xGa_{1-x}As$ struktura I tipke jatadı.. Bunday birinshi tiptegi strukturada ótkizgishlik zonanıń minimumı E_{cl} ekinshi yarımótkizgishli materialdıń qadağan qatlamı ishinde jatadı 3.11-súwret.

Asareshetkalı materiallardıń 1-tiptegi túrlerinde kvantlı yamalar sisteması payda boladı, kvantlı yamalar bir-birinen ekinshi yarımótkizgishli materiallardıń qadağan qatlamı boyınsha ayırılıp turadı. Kvantlı yamalardıń tereńligi elektronlar ushın ΔE_s eki yarımótkizgishli materiallardıń ótkizgishlik zonasıń minimumı menen ayırılıp turadı. Gewekler ushın kvantlı yamalardıń ayırması valentli qatlamdağı geweklerdıń maksimumları menen ayırması menen ayırılıp turadı ΔE_v (3.11-súwret,a).

Ekinshi tiptegi asareshetka (3.11-súwrettiń,b) birinshi yarımótkizgishli materialdıń ótkizgishlik zonası ekinshi yarımótkizgishli materialdıń energetikalıq qáddinde jaylasadı.

Asareshetkanıń energetikalıq diagramasın 3.11-súwrette kóriwimizge boladı. Bunday asareshetkalı materiallarda ótkizgishlik hám valentli zona birdey belgige iye boladı. Asareshetkanıń bunday túrine $In_xGa_{1-x}As - GaSb_{1-y}As_y$ strukturası mısál bola aladı. Bunday kompozitsiyalı asareshetkalı materiallarda ótkizgishlik zonanıń minimumı ekinshi yarımótkizgishli materialdıń valentli zonasınan tomende jaylasadı. Legirlengen asareshetkalı materiallarda dáwirli potentsial n -hám p -tiptegi birdey materiallardıń almasıp kelip dáwirli jaylasıwı menen payda boladı. Bunday yarımótkizgishli materialarğa n_i - p_i -kristallar dep ataydı. Legirlengen asareshetkalı materiallardı alıwda $GaAs$ ekilik birikpesi paydalanıladı. n_i - p_i -kristallarda qatlamlardıń jılasıwı 3.12-súwretinde kórsetilgen. Asareshetkanın zonalıq diagramasınıń koordinatağa gárezliligi 3.12-súwrettiń on jaǵında kórsetilgen.



3.12-сúwret. Legirlengen asareshetkalı GaAs strukturasınıń ósiriliw sxeması hám zonalıq diagramsınıń kórinisi

Legirengen asareshetkaniń potentsialı zaryadlardıń keńisliktegi bólistiriliwi menen anıqlanadı. Olardıń payda etetuǵın potentsialı legirlengen oblastaǵı aralaspalardıń ionizatsiya potentsialına baylanıslı boladı. Legirlengen asareshetkalarda donorlıq oraylar oń zaryadlangan, al aktseptorlıq oraylar teris zaryadlangan boladı. Legirlengen asareshetkalı materiallarda kólemlik zaryadtıń potentsialı dáslepki alıńan materialdıń shetki zonasın modellestirip beredi. Elektronlar hám gewekler keńislikte bir-birinen ayırılıp turadı. Legirleniw dárejesine qaray otırıp hám qatlam qalınlıqlarına qaray otırıp bólistiriliw ámeliy jaqtan tolıq bólingen dep qarawımızǵa boladı.

Legirlengen asareshetkalı ótkizgishlerdiń áhmiyetli tárepi bul elektron hám geweklerdiń tolıq asareshetkanıń yarım dáwirine salıstırmalı túrde jılıǵan boladı. Legirlengen asareshetkanıń effektiv qadaǵan qatlamınıń aralıǵı E_{gsz} valentli zonanıń astı menen ótkizgishlik zonanıń astı aralıǵı menen anıqlanadı. Bunday parametrlerge E_g daslepki materialdıń qadaǵan qatlamına legirlew dárejesine qaray otırıp qadaǵan qatlamdı eki tárepke de jılıtıwǵa boladı.

Kompozitsiyalıq hám legirlewshi asareshetkadan basqa basqada oziniń múmkinshilikleri menen bir-birinen ayırılıp turıwshı modulyatsiyalıq potentsialǵa iye materiallar bar. Spinli asareshetkalı yarımótkizgishli materialdı legirlew magnitli aralaspalar menen ámelge asırıladı. Bunday strukturalarda dáwirli potentsial sırttan magnit maydanın túsirgende payda boladı. Asareshetkanıń potentsialı jaqtılıq nurınıń boyǵa tolqını menen yamasa ultrases penen dáwirli túrde tásir etiw menen payda boladı [3].

Yarımótkizgishli asareshetkalı elektronlıq spektri arqalı onıń fizikalıq dúzilisi anıqlanadı. Elektronlıq spektrdi anıqlaw ushın elektronnıń kvantlı yamadaǵı tolqınlıq funktsiyasınıń Shredinger teńlemesin bir elektronlı jaqınlasıw usılı menen sheshiw kerek.

$$\nabla^2 \psi(\mathbf{r}) - \frac{2m_e^*}{\hbar^2} [E - V(\mathbf{r}) - \Delta(z)] \psi(\mathbf{r}) = 0, \quad (3.2)$$

z – asareshetkanıń betlik baǵıtı; m_e^* – elektronnıń effektiv massası; E – bóleksheniń tolıq energiyası.

Dáwirli asareshetkanıń aralıǵı reshetka turaqlısınan úlken bolǵanlıqtan hám asareshetkanıń potentsialı kristallıq potentsialdan belgili ese kishi bolǵanlıqtan $[\Delta(z) \ll U(\mathbf{r})]$ (1) teńleme ańsat sheshiledi.

Asareshetka potentsialı tek z baǵıtınan ǵárezli boladı, sonlıqtanda elektronlardıń energetikalıq spektri anizotroplıq xarakterge iye boladı.

Elektronnıń tegisliktegi qozǵalısqı asareshetka kósherine perpendikulyar boladı, sonın ushın onıń potentsialı belgili tásir kórsetpeydi. Sonlıqtanda elektronlardıń qozǵalısqı z -kósheri boyınsha d -periodınıń qozǵalısqı menen birley boladı.

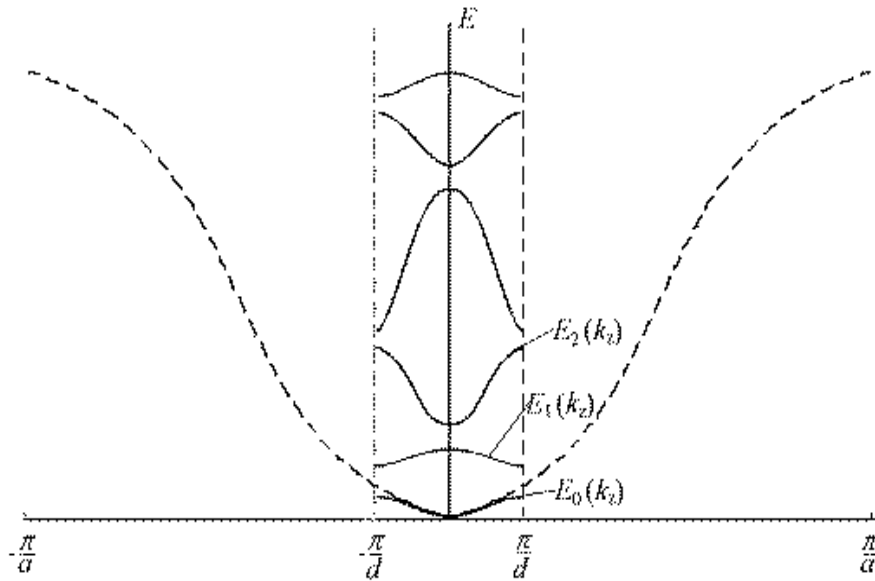
Asareshetkadaǵı dispersion qatnas ulıwmalıq túrde tómendedishe jazıladı:

$$E(\mathbf{k}) = \frac{\hbar^2 \mathbf{k}_\perp^2}{2m_e^*} + E_j(k_z), \quad (3.3)$$

j – mini zonalar dıń energetikalıq sanı

Zonalıq strukturanıń nátiyjelerinen paydalanıp Kroning-Penn modeli boyınsha sapalı juwmaq shıǵarıwǵa boladı.

Asareshetkanıń potentsialı dáwirli, sonıń ushın elektronnıń energetikalıq spektri asareshetka baǵıtında zonalı xarakterge iye boladı. Asareshetkanıń dáwiri d reshetka a , turaqlısınan belgili ese úlken sonlıqtanda asareshetkalar mini zonaları kishi bólingen dáslepki yarımótkizgishli materiallardıń zonaların keltirip shıǵaradı (3.13-súwret). Brillyuenniń mini zonası $-\pi/d \leq k_z \leq \pi/d$ [3] aralıǵında elektronnıń k_z tolqınlıq vektorı menen anıqlanadı.



3.13-súwret. Minizonalar esabınan payda bolǵan energetikalıq diagrammalar

Elektronlıq hallardıń yarımótkizgishli asareshetkalardaǵı tıǵızlıǵı sistemadaǵı úsh ólshemli tıǵızlıqtan ayırılıp turadı. 3.14-súwretinde asareshetkadaǵı elektron hallar tıǵızlıǵının energiyaǵa ǵárezli grafigi kórsetilgen. Energiyalar aralıǵı úsh mini zonalardan turadı. Hár bir mini zonanıń eni E_1 , E_2 , E_3 sáykes keledi. Hallar tıǵızlıǵın salıstırıw ushın súwrette salıstırıw kórsetilgen.

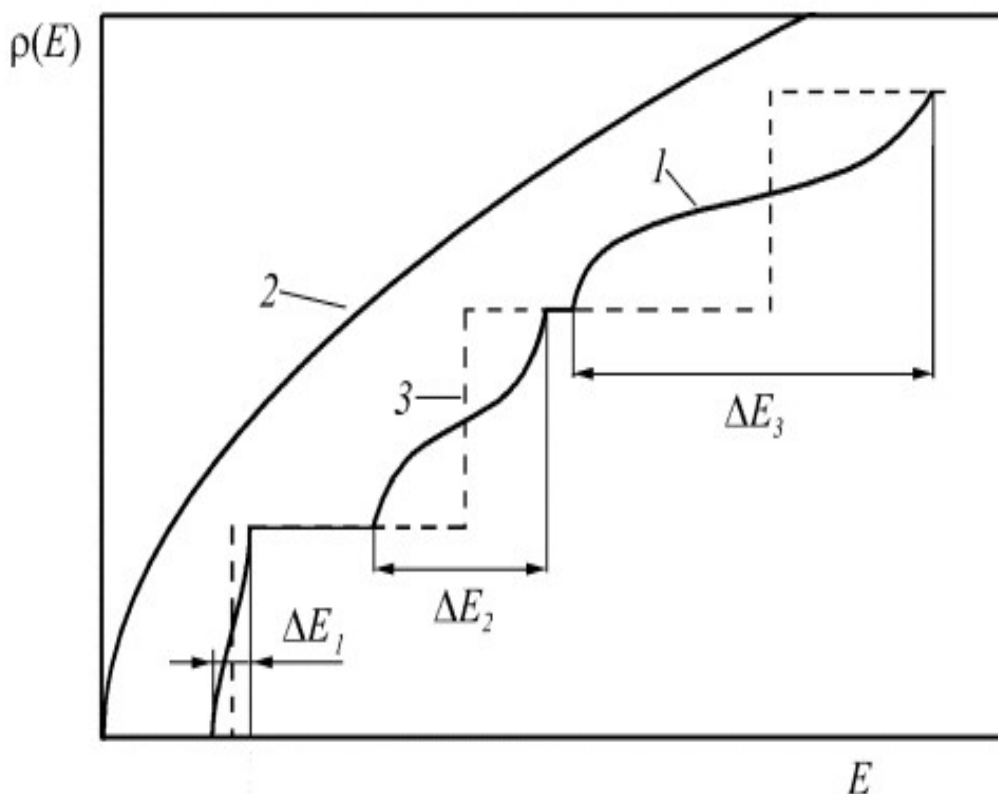
$$\rho(E) = \frac{m_e^* \sqrt{2m_e^* E}}{\pi^2 \hbar^3} \quad (3.4) \quad \rho(E) = \frac{im_e^*}{\pi \hbar^2}$$

Úsh ólshemli elektron gazı ushın 2-iymeklik hám (i - pútin) eki ólshemli gaz ushın (shtrixlangan tekshe formasındaǵı iymeklik 3).

Yarımótkizgishlerdiń energetikalıq mini zonalarındaǵı asareshetka baǵıtı boyınsha energetikalıq bólistiriliw berilgen tiptegi asareshetka ushın nátiyje bolıp esaplanadı. Mini zonalardaǵı zaryad tasıwshılar ushın dispersiyalıq nızam asareshetkanıń anıq tipi menen anıqlanadı. Mısalı, I-tiptegi kompozitsiyalıq

reshetkalardağı mini zonaların energetikalıq dispersiyası ótkizgishlik zonadağı kúshli baylanısqa tiykarlana otırıp tómendegishe anıqlanadı.

$$E_{c,j}(k_z) = E_{c,j}(d_I) - \Delta_j(d_{II}) \cos k_z d, \quad (3.5)$$



3.14-súwret. Asareshetkadağı hallar tıgızlıǵı

bunda

$$E_{c,j}(d_I) \approx \frac{\hbar^2 \pi^2}{2m_c^{*(I)} d_I^2} (j+1)^2, \quad j = 0, 1, 2, \dots \quad (3.6)$$

Usı formula dağı d_I hám d_{II} – birinshi hám ekinshi yarımótkizgishli materialdın qalınlıǵı,

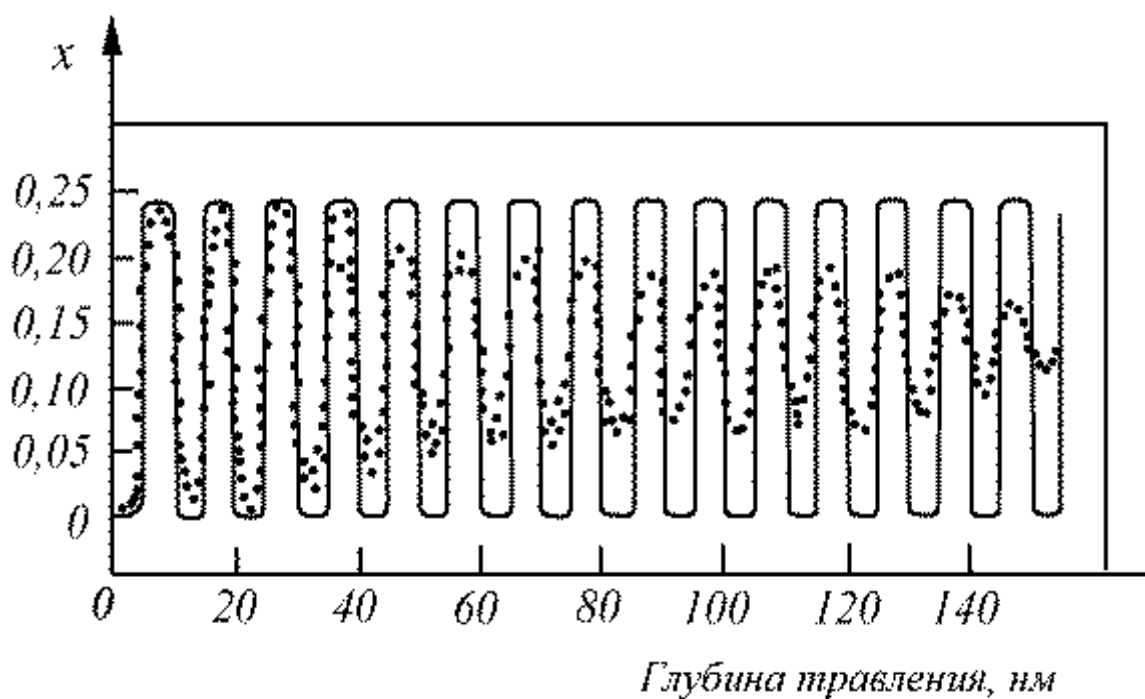
$m_c^{*(I)}$ - birinshi yarımótkizgishtegi elektronnıń effektiv massası. $|\Delta_j(d_{II})|$ - j-shi mini zonanıń kenligi. (2)-qatnas $E_{c,j} \ll u_c$ (u_c – mini zona potentsialı) mini zonanıń qopalıraq bahalanıwı bolıp esaplanadı.

Elektronlar ushın yamanıń kenligin ózgertiw arqalı d_I , mini zonanıń kenligin $E_{c,j}$ ózgertiwge boladı eken. $d_I = 100 \text{ Å}$ teń bolğan jaǵdayda mini zona parametrleri $d_{II} = 50 \text{ Å}$, $E_{c,0} = 50 \text{ meV}$, $E_0 = 10 \text{ meV}$ teń boladı.

Asareshetkalardı izertlew hám qollanıw

Yarımótkizgishli asareshetkalardı izertlewde asa strukturanıń dúzilisi hám geteroótiwler shegarası haqqında sorawlar payda boladı. Strukturalıq izertlew usılınan yaǵnıy ionlıq travlenie esaplaw arqalı elementlerdiń tereńlik boyınsha konsentratsiyası (oje-spektroskopiya) anıqlandı hám rentgen nurlarınıń kishi múyeshli difraktsiyası arqalı tereń oraydaǵı konsentratsiya anıqlanǵan.

3.15-súwrette GaAs hám $Al_{0,25}Ga_{0,75}As$ turıwshı dáwirli strukturanıń oje-spektroskopiya arqalı anıqlanǵan grafigi kórsetilgen. Hár bir qatlamnıń qalınlıǵı 5 nm quraydı. Tochkarlar arqalı eksperimentte anıqlanǵan x – sanıń mánisi kórsetilgen. İzertlengen natiyjelerden Al (1390 eV) hám As (1228 eV) teń boladı. Alyuminiydiń konsentratsiyası izbe-iz ionlı argonnıń energiyası 1,5 keV teń bolğan energiyası menen travit etiw arqalı kemeyiwi yamasa kóbeyiwi anıqlandı. Travlenie tezligi 0,3 – 1 nm/min teń etip alındı. Travit etiw arqalı x-ólsheminiń ostsillyatsiya amplitudası kemeyip bara berdi.



3.15-súwret. GaAs hám $\text{Al}_{0,25}\text{Ga}_{0,75}\text{As}$ turıwshı dáwirli strukturanıń oje-spektroskopiya arqalı anıqlanǵan grafigi kórsetilgen

Multi qatlamǵa iye strukturalardıń áhmiyetli xarakteristikaların rentgen nurınıń kishi múyeshli difraktsiyasınan anıqlaymız. Kóp qatlamlı strukturalardıń rentgen nurınıń kishi múyeshi astındaǵı baqlanıwı ($0,5\alpha < 2\alpha < 8\alpha$, α – shaǵılısıw múyesh) qosımsha reflekslerdiń asareshetkadaǵı dáwirligine baylanıslı boladı.. Refleks halı d asareshetka periodı menen baylanıslı boladı.

$$d = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta}, \quad (3.7)$$

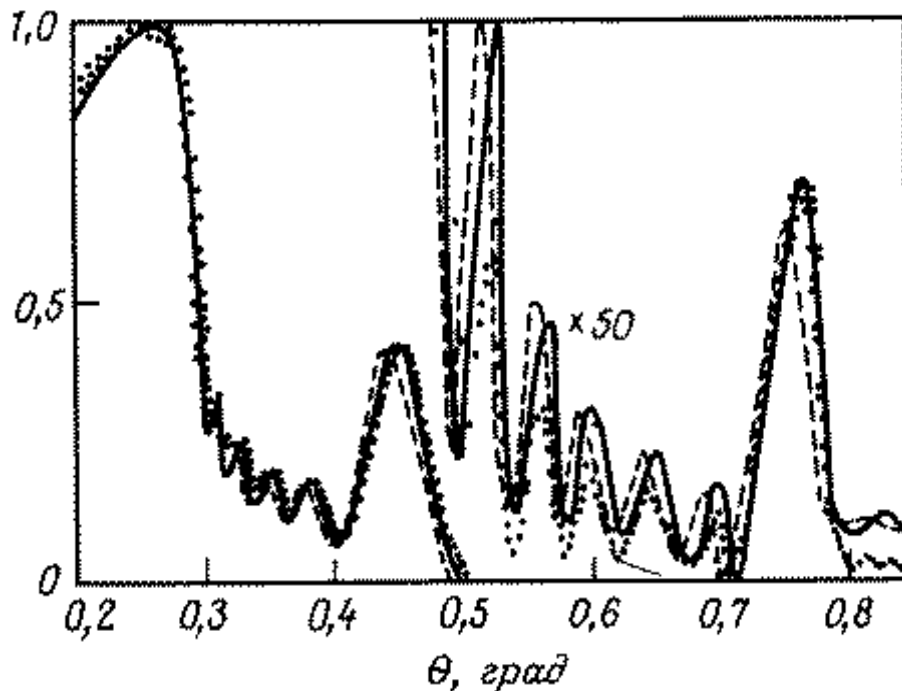
λ - nurlanıwdıń tolqın uzınlıǵı, n – shaǵılısıw tártibi.

3.16-súwretinde 6-dáwirli qatlamğa iye *GaAs* – *AlAs*, asareshetkanın kishi múyeshli difraktsiyalıq grafigi kórsetilgen [2,4]. Súwrette eksperimentten alınğan nátiyjeler hám (úziliksiz sızıq) teoriyalıq jaqtan esaplanğan nátiyjeler kórsetilgen $d = 12,72$ nm. Eksperimentte alınğan nátiyjeler menen teoriyalıq alınğan nátiyjeler ózleriniń tek maksimumları menen emes, al intensivligi hám keńligi menen de bir-birine sáykes keledi.

Shtrix penen kórsetilgen sızıqlar teoriyalıq ólsheplerden alınğan nátiyjeler bolıp, asareshetkanın dáwirli qaytalanıwı 0,28 nm awısadı.

Asastrukturanın refleks halı kóp qatlamlı strukturanın d modulyatsiya dáwiri menen anıqlanıladı.

$$\frac{2 \sin \theta^{\pm}}{\lambda} = \frac{1}{d^*} \pm \frac{n}{d} \quad (3.8)$$



3.16-súwret. 6-dáwirli qatlamğa iye *GaAs* – *AlAs*, asareshetkanın kishi múyeshli difraktsiyalıq grafigi

bunda n – asa strukturaniń refleksiń tártibi, d^* - tiykarǵı refleksiń tegislik aralıǵı, θ^+ hám θ^- - kishi hám úlken múyesh tárepinen asa strukturaniń refleksiń halınıń kórsetiliwi.

Qatlamlar arasındaǵı shegara tıǵız bolatuǵın bolsa, intensivlik hám asa strukturaniń refleksińler muǵdarı kem boladı. Usınday etip kishi múyeshke iye oblasta qosımsha refleksińlerdi alamız.

Yarımótkizgishli asareshetkalı materiallardı izertlew taza teris differentsial qarsılıqqa iye ásbaplardı izertlewde payda bolǵan.

Sırtqı elektr maydanın asareshetka elektronlarınıń kósheri boyınsha túsirilgen bolsa, z-tolqınlıq vektordıń komponentalarınıń absolyut mánisin arttıradı.

Egerde elektronlardıń erkin jolı asareshetka dáwirinen úlken bolatuǵın bolsa,

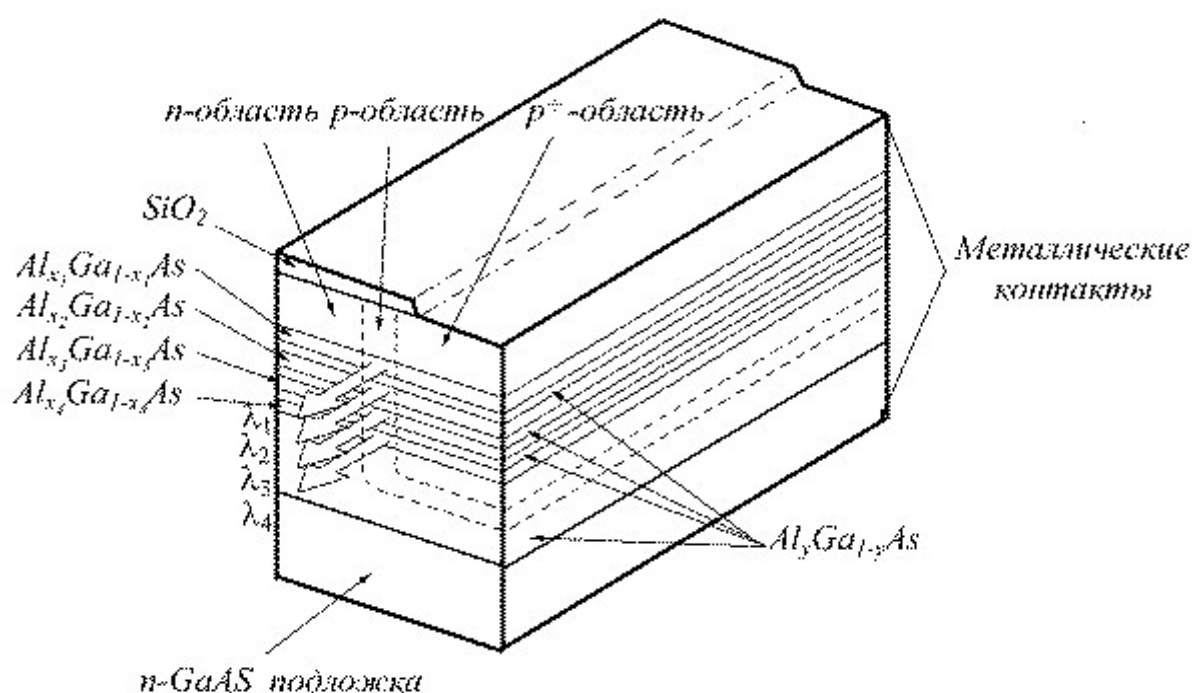
onda elektronlar $-\frac{\pi}{d}$ hám $+\frac{\pi}{d}$ aralıǵında Brillyuen zonasına jetpey shashırıp ketedi. Olardıń massası teris effektiv massa boladı. Usı waqıttaǵı elektronlardıń dreyflik tezligi elektr maydanı artıwı menen kemeyip baradı, bul óz gezeginde teris massa menen túsindiriledi. Teris qarsılıq. *GaAs* – *GaAlAs* asareshetkasında payda bolǵan [1].

Elektronlardıń shashırar waqtı úlken bolǵan waqıtta yarımótkizgishli asareshetkalarda jáne bir kvantlı effekt payda boladı. Sırtqı elektr maydanın asareshetkaǵa túsirgende elektronlar dáwirli túrde mini zonalarda qozǵalısqalı keledi, usı waqıtta bregovski shashırar eki shegarada da payda boladı. Ostsilyatsiya jiyiligi tómendegishe anıqlanadı.

$$\nu = \frac{eEd}{\hbar} \quad (3.9)$$

Elektr maydanı ushın $E = 103 \text{ V/sm}$ hám turaqlı reshetka $d = 100 \text{ Å}$ $\gamma = 250 \text{ GGts}$ teń boladı. Birdey getero ótiwge iye asareshetkalı strukturalar hár qıylı tolqın uzınlıǵında nur shıǵaratuǵın lazerlerdi tayarlawda paydalanıladı.

3.17-súwrette kóp tolqın uzınlıǵında nur shıǵarıwshı lazerdiń sxeması kórsetilgen. Strukturada tórt aktiv $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ qatlamları bar quramları hár qıylı ($x = x_1, x_2, x_3, x_4$), usı printsipke tiykarlanıp lazer $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ hám λ_4 tolqın uzınlıqlarında isleydi.



3.17-súwrette kóp tolqın uzınlıǵında nur shıǵarıwshı lazerdiń sxeması kórsetilgen

Juwmaqlaw

1. Molekulalıq nurlanıw (MPE) hám atomlıq nurlanıw usılı menen ósirilgen qatlamlı strukturalardıń optikalıq xarakteristikaların izertley otırıp olardıń hár qıylı nurlanıw oraylarına iye ekenligin anıqladıq.

2. AlGaAs/GaAs juqa plenkasına Yb itterbiy atomınıń hár qıylı konsentratsiyasın kiritip fotolyuminessensiya hám fotoshaǵılısıw qubılısların úyrene otırıp, hár qıylı úlgielerde qatlam qalıńlıqlarına qaray nurlanıw oraylarınıń ózgeretuǵının anıqladıq.

3. AlGaAs, GaAs juqa plenkalarınıń nurlanıw oraylarınıń ózgerislerin izertlep shıqtıq, hámde eksitonlıq hám tereń oraylardaǵı nurlanıw oraylarınıń bir-birinen ayırmashılıqların izertlep shıqtıq.

4. Itterbiy atomınıń AlGaAs, GaAs juqa plenkalarınıń betine qanday tereńlikke kiriwine baylanıslı, olarǵa qaray nurlanıw spektrleriniń ózgerisleri anıqlandı.

5. Galliy arsenid juqa plenkasınıń, alyuminiy galliy arsenid juqa plenkasına qaraǵanda optikalıq qásiyetleriniń bir- birinen ózgeshelikleri anıqlandı.

6. Qattı birikpelerdegi qadaǵan qatlamnıń sekirmeli túrde ózgeriwiniń temperaturaǵa hám elementlerdiń mollik muǵdarına baylanıslı ekenligi anıqlandı.

PAYDALANÍLGAN ÁDEBIYATLAR

Basshí ádebiyatlar

1. Mirziyoev SH.M. Erkin va farovan demokratik Ózbekiston davlatini birgalikda barpo etamiz. Ózbekiston Respublikasi Prezidenti lavozimiga kirishish tantanali marosimiga bag'ishlangan Oliy Majlis palatalarining qoshma majilisidagi nutq. Toshkent, Ózbekiston NMIU, 2016 y. 56 – b.
2. Mirziyoev SH.M. Qonun ustuvorligi va inson manfaatlarini taminlash – yurt taraqqiyoti va xalq faovonligining garovi. Ózbekstan Respublikasi Konstituciyasi qabul qilinganligining 24 yilligiga bag'ishlangan tantanali marosimidagi maruza. 2016 yil 7- dekabr Toshkent, 2017, 48 – b.
3. Mirziyoev SH.M. Tanqidiy taxlil, qatiy tartib – intizom va shaxsiy javobgarlik – har bir rahbar faoliyatining kundalik qoydasi bolishi kerak. Mamlakatimizni 2016 yilda ijtimoiy – iqtisodiy rivojlantirishning asosiy yakunlari va 2017 yilda moljallangan iqtisodiy dasturning eng muxim ustuvor yonalishlariga bag'ishlangan Vazirlar Mahkamasining kengaytirilgan majilisidagi maruzasi 2017 yil 14 – yanvar, Toshkent, Ózbekiston. 2017 y, 104 – b.
4. Mirziyoev SH.M. Buyuk kelajagimizni mard va oliyjanob xalqimiz bilan birga quramiz. Mazkur kitobdan Ózbekiston Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoevning 2016 yil 1-noyabrdan 24-noyabrga qadar Qoraqalpog'iston Respublikasi viloyatlar va Toshkent shahri saylovchilari vakillari bilan otkazilgan saylovoldi uchrashuvlarida solzlagan nutqlari olin olgan. Toshkent, Ózbekiston, 2017 y., 488-b.
5. Ózbekistan Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoevning Oliy Majlisga Murojaatnomasi// HUQUQ, 2019 yil 3-yanvar

II. Normativ- huqiqiy hujjetlar

1. Ózbekstan Respublikasi Konstituciyasi. Toshkent, “Ózbekiston” 2018 – yil.
2. Ózbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bóyicha “Xarakatlar strategiyasi” to’grisidagi ПФ – 4947 sonli farmoni. Toshkent, 2017-yil 7 – fevral.
3. Ózbekiston Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoev 2016-yil 30-dekabr kuni mamlakatimizning yetakchi ilm-fan namoyandalari bilan uchrashuvi va ilm fanni yanada rivojlandirish haqqida farmoni.
4. Ózbekiston Respublikasi Prezidentining 2018-yil 30-apreldagi “Oliy tálim tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to’grisida”gi 19–son.
5. Magistratura to’grisidagi nizomini tasdiqlash haqida Ózbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi qarori, 2015 yil 2 mart, 36-son.
6. Ózbekiston Respublikasining “ Tálim to’grisida”gi qonuni 1997 yil 29 avgust.
7. Ózbekiston Respublikasining “Kadrlar tayyorlash Milliy dasturi to’grisida”gi qonuni 1997 yil 29 avgust.

III. Arnawli ádebiyatlar

1. Шарибаев М.Б., Исмаилов К.А., Тагаев М.Б. Радиационные эффекты в структурах на основе соединений A_3B_5 и A_2B_6 . //Узбекский физический журнал. -2009. -№.2. –С.24-25.
2. Шарибаев М.Б., Жумабаев М.М., Дүйсенова Г., Худайбергенов А.К. Влияние электронного облучения на спектры отражения тонких пленок ZnTe. //Вестник КГУ им. Бердаха, 2009.-№1.-С.17-18.

3. G.N. Semenova, E.F. Venger, N.O.Korsunskaya, V.F. Kladko, L.V. Borkovskaya, M.P. Semtsiv, M.B. Sharibaev, V.I. Kushnerenko, Yu.G. Sadofyev. Defects and radiation-enhanced defect reactions in ZnSe/(001)GaAs MBE layers.//Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics.-2002.-V.5.-№2.-C.133-137.
4. M.Ya. Valakh, Yu.G. Sadofyev, N.O.Korsunskaya, G.N. Semenova, V.V. Strelchuk, L.V. Borkovskaya, M.V. Vuychik, M. Sharibaev. Deep-level defects in CdSe/ZnSe QDs and giant anti-Stokes photoluminescence.//Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics.-2002.-V.5.-№3.-C.254-257.
5. Ye.F. Venger, G.N. Semenova, N.O.Korsunskaya, M.P. Semtsiv, M. Sharibaev, Ye.Yu. Braylovsky, Yu.G. Sadofyev. Optical characterization of CdZnTe/ZnTe heterostructures modified by electron or X-ray irradiation.//Materials Science Engineering-B, -2001.-V-180/1 pp.193-196.
6. Е.Ю. Брайловский, Е.Ф., Г.Н. Семенова, Ю.Г. Садофьев, Н.Е. Корсунская, М.П. Семцов, М.Б. Шарibaев. Некоторые радиационные эффекты в квантово-размерных структурах соединений АЗВ5 и А2В6, выращенных на полуизолирующем GaAs.//Збірник наукових праць інституту ядерних досліджень, -2000.-Т.2.С.114-121.
7. E.F. Venger, Yu.G. Sadofyev, G.N. Semenova, N.O.Korsunskaya, V.P. Rladko, B. Embergenov, L.V. Borkovskaya, M.P. Semtsiv, M. Sharibaev. Molecular-beam epitaxial growth of CdZnTe/ZnTe QW structures and superlattices on GaAs (100) substrates for optoelectronics.//SPIE, -1998.-V.3890.-pp.537-541.
8. E.F. Venger, Yu.G. Sadofyev, G.N. Semenova, N.O.Korsunskaya, V.P. Rladko, B. Embergenov, B.R. Dzhumaev, L.V. Borkovskaya, M.P. Semtsiv, M. Sharibaev. Investigation of intermediate layers of ZnTe, ZnCdTe, ZnSe

(001)GaAs heterostructures grown by MBE.//SPIE, -1998.-V.3890.-pp.537-541.

9. Шарибаев М.Б. Исследование эпитаксиальных слоев ZnTe/GaAs(100) методом ИТ фотолюминесценций.//Международная научная практическая конференция «Структурная релаксация в твердых телах» (Винница, Украина, 2009);
10. Шарибаев М.Б. Исследование влияния электронного облучения на тонкие пленки ZnTe//GaAs(001) полученные методом МПЭ//V-Международной научной-технической конференций «Фундаментальные и прикладные проблемы физики», (Саранск , Россия, 20-22 апреля, 2009 г);
11. Шарибаев М., Исмаилов К., Бижанов Б. Радиационно-стимулированная релаксация напряжений в квантово-размерных структурах.//Труды VI Международной научной конференции «Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах» (Томск, Россия 8-15 августа, 2008 г. С.360-365);
12. Шарибаев М.Б., Исмаилов К.А., Отеев Т.П. Изучение фотолюминесцентных свойств экситонных областей тонких пленок ZnTe/GaAs.//Тезисы докладов 2-международной научной конференции «Физика и физическое образование: достижения и перспективы развития» (Бишкек, Киргизистан 18-20 сентября, 2008);
13. Sharibaev M., Ismailov K., Uteniyazov A., Borkkovska L., Karazhanov S. Luminescence properties of g -irradiated p -CdTe/ZnTe nanostructures.//Тезисы докладов 2-международной научной конференции «Физика и физическое образование: достижения и перспективы развития» (Бишкек, Киргизистан 18-20 сентября, 2008);
14. Шарибаев М.Б., Бержанова Т.Ы., Хожаназарова Р.М., Сейтимуратова Г. Радиационные эффекты в структурах GaAs/GaAlAs с тремя квантовыми

- ямами.//Тезисы докладов 2-международной научной конференции «Физика и физическое образование: достижения и перспективы развития» (Бишкек, Киргизистан 18-20 сентября 2008);
15. Даўлетмуратов Б.К., Шарибаев М.Б., Аметов Б.Т. Влияние импульсного лазерного облучения на комбинационное рассеяние света в приповерхностных слоях n-GaAs.//Международная конференция «Неравновесные процессы в полупроводниках и в полупроводниковых структурах» (Ташкент, Узбекистан 2007);
 16. Шарибаев М.Б. Влияния γ -радиаций на структур GaAs/AlGaAs с тремя квантовыми ямами.// XI-Международной научной конференции «Физика и технология тонких пленок и наносистем» (Ивано-Франковск, Украина , 2007)
 17. Журавлев К.С., Якушева Н.А., Шамирзаев Т.С. и др. Влияние легирования гадолинием висмутового раствора-расплава на остаточные примеси в эпитаксиальном GaAs // ФТП. 1993. Т. 27. № 9. С.1473-1479.
 18. Романова И.Д., Максимова Н.К., Потахова Л.Ю., Якубеня М.П., Яновский В.П. Влияние подслоев Ga и As на межфазные взаимодействия и термостабильность структур Pd-GaAs. //Поверхность.- 1984.- №1.-С. 40-46.
 19. Тхорик Ю.А., Хазан Л.С. //Пластическая деформация дислокации несоответствия в гетероэпитаксиальных системах. Киев: Наукова думка.- 1983.-303 С.
 20. Воронина Т.Н., Лагунова Т.С., Саморуков Б.Е., Стругов Н.А. Свойства эпитаксиальных слоев арсенида галлия, легированных редкоземельными элементами // ФТП. 1988. Т. 22. № 1. С. 147-150.
 21. Арсенид галлия в микроэлектронике // Под ред. Н.Айнспрука и Уиссмана. М.: Мир. 1988. -555с.

22. Иванов С. В., Торопов А. А., Сорокин С. В. и др.// ФТП. 1998. Т. 32. В. 10, С. 1272-1276.
23. Haase M. A., Qiu J., De Puydt J. M., Cheng H.// Appl. Phys. Lett. 1991. V. 59., N11, P. 1272-1274.
24. Басов М. Г., Дианов Е. М., Козловский В. И. И др.// Квантовая электроника. 1995. Т. 22. В. 8, С. 756-758.
25. J. Kim, M.S. Kim, D.Y. Kim, H.J. Park, J.S. Kim, D.Y. Lee, J.S. Kim, J.S. Son, H.H. Ryu, G.S. Cho, M. Jeon, J.Y. Leem. J. Nanosci. Nanotechnol., **9**, 4207 (2009).
26. Вавилов В.С., Горин Б.М., Данилин Н.С., Кив А.Е., Нуров Ю.А., Шаховцев В.И. Радиационные методы в твердотельной электронике. - М.: Радио и связь, 1990, 184с.
27. Мамонтов А.П., Чернов И.И. Эффект малых доз ионизирующего излучения. –М.: Энергоатомиздат, 2001, 250 с.
28. Belyaev A.E., Venger E.F., Ermolovich I.B., Konakova R.V., Lytvyn P.M., Milenin V.V., Prokopenko I.V., Svechnikov G.S., Soloviev E.A., Fedorenko L.L. Effect of microwave and laser radiations on the parameters of semiconductor structures.-Київ: Інтас, 2002, -191 p.

IV. Ilimiy maqalalar

1. Шарибаев М., Бижанов А., Есенбаева Э.
Влияние редкоземельного элемента Yb на оптических свойств ЭП GaAs и $Al_xGa_{1-x}As$ «Современные проблемы физики полупроводников»Материалы республиканской научной конференции. Ташкент., 26-27 октября 2018 года 64-66
2. Шарибаев М., Курбанбаева З., Қунназаров А., Есенбаева Э

Резонансное усиление ЛО – фононов в CdZnTe/ZnTe гетероструктурах с квантовыми ямами. “Яримўтказгичлар физикасининг ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг замонавий муаммолари ” Республика илмий – амалий анжумани. Андижон.2018, 45-46 б

3. Шарибаев М.Б., Турманова Г., Бабахова Г., Есенбаева Э.

Влияние редкоземельного элемента Yb на оптических свойств эпитаксиальных слоев GaAs и $Al_xGa_{1-x}As$ ВЕСТНИК КГУ им. Бердаха. -2017. № 3(36). с.10 – 12.

4. Шарибаев М.,Есенбаева Э., Асенбаев М.

Изучение оптических преобразователей на основе двуокисного кремния – SiO_2 Magistrlardin ilimiy miynetleri toplamı. Nókis, 2018 j 18-19

Internet materialları

1. <http://fizik.bos.ru/>
2. <http://www.edu.ioffe.ru/apple/>
3. <http://www.edu.ioffe.ru/>
4. www.en.edu.ru (Portal)
5. [www. Semiconductors.ru](http://www.Semiconductors.ru)
6. <http://www.physicon.ru>
7. <http://www.college.ru/physics/index.php>
8. Ziyo.uz
9. Edu.uz
10. Lex.uz
11. Karsu.uz