

**ЎЗБЕКСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ЖОҚАРЫ ҲӘМ ОРТА АРНАЎЛЫ
БИЛИМ МИНИСТИРЛИГИ**

**БЕРДАҚ АТЫНДАҒЫ
ҚАРАҚАЛПАҚ МӘМЛЕКЕТЛИК УНИВЕРСИТЕТИ**

Қолжазба ҳуқықында

Қалилаев Аяпберген Жаңабаевич

Ультра сестин диодлық структураларға тәсирин үйрениў

5A440103 «Ярым өткизгишлер хәм диэлектриклер физикасы»
кәнигелиги бойынша магистр дәрежесин алыў ушын

МАГИСТРЛИК ДИССЕРТАЦИЯ

Магистрлик диссертация
“Ярымөткизгишлер физикасы”
кафедрасында көрип шығылды хәм
қорғаўға усынылды.
Кафедра баслығы: ф.м.-и.к.,__доцент
Камалов А.Б.
“ ___ ” _____ 2010 жыл

Илимий басшы ф.-м.и.д.,
проф. Исмаилов Қ. А.

Нөкис - 2010 жыл

М А З М У Н Ы

Кирисиў	3
<u>I БАП. ӘДЕБИЙ ШОЛЫЎ</u>	5
§1.1 Ярымөткизгишли материаллардағы оптикалық процесслер	
§1.2. Теллурид кадмий кристаллына ультрасес хәм басым менен тәсир еткеннен кейинги фотолюминесценция спектрлериниң өзгериўи	16
<u>II. БАП ЭКСПЕРИМЕНТ МЕТОДИКАСЫ</u>	22
2.1. Ярымөткизгишли структуралардың оптикалық қәсийетин изертлеўде қолланылатуғын приборлар	
2.2. Үлгилердиң өсирилиў усыллары	30
2.3. Ярымөткизгишли гетероэпитаксиаллық структураларды өсириў усыллары	31
<u>III БАП. ЭКСПЕРЕМЕНТТИҢ НӘТИЙЖЕЛЕРИ ХӘМ ОЛАРДЫҢ ТАЛЫҚЛАНЫЎЫ</u>	33
§3.1. Сульфид кадмий монокристалларының фотоэлектрлик хәм фотолюминесцентлик қәсийетлерин изертлеў	33
§3.2. Ультрасес тәсиринен кейин A^2B^6 кристалларының термостимулластырылған өткизгишлигиниң өзгериўи	38
Питкерий қәнигелик жумысы бойынша жуўмақлар	53
Пайдаланылған әдебиятлар	54

К И Р И С И Ы

Ярымөткізгішли материаллардың қолланылығуы областының артығуы менен оларға қойылатуғын талаптарда теориялық хәм практикалық жақтан артып бармақта. Усы талапқа сәйкес түрде A^2B^6 хәм A^3B^5 бирикпелерин пайдаланылығуы областы артып күннен-күнге көбейип атыр. Бул топарға кириғуши элементлерден куралған ярымөткізгішли материаллар бирикпесиниң қадаған етилген зонасы қатламы нольден баслап бирнеше электронвольтқа тең болығуы мүмкин. Бул жақтылық нурландырығуши ярымөткізгішли материаллардан исленген әсбаптардың электрлик., фотоэлектрлик хәм оптикалық кублысларының хәр қыйлы болығуына алып келеди. Демек, A^2B^6 тийкарында исленген ярымөткізгішли әсбаптар инфрақызыл областан фиолет нурланығуы областына шекем ислей алады дегенди билдиреди.

Барлық әсбаптарда хәм әсбаплық үскенелерде A^2B^6 бирикпелери точкалық дефектке байланыслы өзиниң хәр түрли характеристикалары менен айырылып турады. Бул дефектлердиң тәбиятты илимий хәм әмелий аспекте әхийметли болып есапланады. Бул бизиң диплом жұмысымыз кристаллының фотоэлектрлик хәм люминесценциялық қәсийетине точкалық дефектлердиң тәсирин анықлағуы болып есапланады. Бизиң жұмысымызда нурланығуы рекомбинациясының механизмлери хәмде нурланығуы спектрлери изертленилди. A_2B_6 бирикпесиндеги нурланығуы рекомбинация орайлары точкалық дефектлерден туратуғын болса, онда усы дефектлердиң қандай тереңликте жатығуы усы оптикалық усыллар арқалы изертленеди. Температураның өзгерийи менен точкалық дефектлердиң нурланығуы рекомбинациясының энергияға байланыслы толқын узыннлығы өзгерип отырады. A^2B^6 бирикпелеринде киритилген араласпаның донорлық ямаса акцепторлық болығуына байланыслы нурланығуы рекомбинациясы хәр қыйлы областта хәр түрге ийе болады. Сульфид кадмий, селенид цинк, теллурид кадмий кристалларының қадаған қатламы үлкен болғанлықтан, оның

қадаған қатламындағы араласпалардың жайласуы хәр қыйлы энергиялар арқалы анықланылады. Сонлықтанда усы орайларды анықлау ушын үзиликсиз спектрге ийе лазерлерден пайдаланыуымыз керек. Лазерлик нурдың энергиясының артыуы менен бирге изертленип атырған улгилеримизде нурланыу спектрал сызықларының өзгериуи мүмкин. Сонлықтанда, ярымөткізгешли материаллардың оптикалық қасийетлерин изертлегенимизде биз дәслепп көлемлик кристалл уақтындағы фотолюминесценция, фотоөткізгешлик, жутылыу қасийетлерин изертлеуимиз керек. А2В6 бирикпесине турыушы кристаллар үлкен қадаған қатламға ийе болғанлықтан оның киши зоналарында араласпа атомлары хәр қыйлы болып жайласады. Хәр бир араласпа атомның өзине сәйкес нурланыу, жутылыу спектрлери болады. Бизлер өзимиздиң илимий жумысымызда сульфид кадмий, селенид цинк, теллурид кадмий кристалларын хәр қыйлы атомлар менен легирлеп соңынан оның фотоэлектрлик, фотоөткізгешлик, люминесцентлик қасийетлерин изертледик. Араласпаларды киритиу түрине қарай оның фотолюминесценция спектрлериниң өзгериуин бақладық. Точкалық дефектлердиң жайласуу орайларына қарай отырып берилген ярымөткізгешли материаллымыздың қаншели патасланыу дәрежелерин анықладық. Фотолюминесценция спектриниң температураға байланыссы интенсивлигиниң толқын узынлығының өзгериулерин анықладық.

I БАП. ӘДЕБИЙ ШОЛЫҰ

§1.1 Ярымөткізгішлі материаллардағы оптикалық процесстер

Элементар қоздырыу арқалы диэлектриклерде тарқалыушы экситонлық көз қараслар биринши рет Френкель тәрәпинен дәрәтилди. Френкель N – атомнан турыушы кристалды қарастырды, олардың биреуин қоздырылған E_1 халына өтеди деп қарастырды. Усыған сәйкес түрде атом аралық тәсирлесіу толқынлық функциясын төмендегише алды.

$$\Phi_j = A \varphi \varphi_2 \dots \psi_j \dots N_\varphi$$

Френкеллик экситон электроннан өзиниң нейтраллығы менен айырылып сонлықтанда токты тасыуға қатнаспайды, бирақ ол энергияны тасый алады. Екинши оның бир айырмашылығы K -импульси Бриллюэнниң биринши зонасында жатады. Усы қатынаста экситон фононға уқсайды. p -трансляцион эквивалент атомлардың ямаса молекулалардың элементар ячейкаларда фононлар сыяқлы экситонлық спектрлерде p -шақаларды пайда етеди. Бирдей молекулалық қоздырыудың нәтийжесинде $K=0$ точкада спектрал сызық шақаларының хәр қыйлы болып бөлиниуи Прихотью бақлауы деп аталады. Френкел экситонларының пайда болыуы биринши рет молекулалық кристалларда бакланды. Сонлықтанда Френкел методы молекулалық экситонларға тийисли болып есапланады. Органикалық молекулалар қоздырылған халында еки типке ийе болады:

1) Синглетлик. спини бойынша

2) Триплетлик.

Әпиуайы жағдайда тийкарғы халдан синглетлик халға өтиуге мүмкиншилиги русат етилген болып олар кристаллардағы жутылыу спектрин қысқа уақытлы нурланыу спектрлерин анықлайды, триплетлик халлар қоздырылған халлардың ең киши энергиясына ийе болып оған өтиуге рұхсат етилмеген болып ол халлар арқалы узақ уақытлы фосфорценция нурланыуы

анықланылады. Рухсат етилген қоздырылған халдағы E_1 – энергиясына ийе халлар эффектив диполлик моментке ийе болады $P_1 \exp(iE_1 t / \hbar)$

Еки $P_1 P_2$ моментлерине ийе бирдей жийилик пенен хәм бир биринен R аралықта турыўшы классикалық диполь-дипольлик моментлердин тәсирлесийи төмендегише жазылады.

$$V_{dd} = R^{-3} (P_1 P_2) - 3R^{-5} (P_1 R)(P_2 R)$$

Бул тәсирлесийи қоздырылған халдың атомлары (молекулалары) арасында тәсирлесийи болып нәтийжеде экситон қозғалыўға келип экситонлық қатламды пайда етеди. Пайда болған қатлам $P^2 R^{-3}$ кеңликке ийе болып, $P=1$ D, $\langle R \rangle = 4$ А тең болады. Диполь–дипольлик механизм узақ хәрекет етиўши хәм толқынлық функцияның тәсирине ғәрезсиз болады.

Жоқары тәртипли мультимайданлы тәсирлесийулер өзине сәйкес қадаған қатламға ийе болады. Триплетлик өтиўлер спини бойынша қадаған болып, дипольлик жоқары мультимайданлы тәсирлесийулер жүдә әзсиз болады. Усының салдарынан толқынлық функцияның қоздырылған қоңсы молекулалық қатламды азғантай жаўып турыўына байланыслы кишкене өтиўдин матрицалық элементи пайда болады. Бундай халды сақлап турыа ушын азғантай майданның өзи жетерли болып есапланады. Металлдагы ионлық қоздырылған d –қатламға ийе хәм редкоземельных ионлардағы f-қатлам электрлик дипольлик қатламға өтиўге ийе болмайды. Усындай типтеги ионлардағы орайлық кристаллық симметрияға ийе болмаған майданлар ямаса фононлар менен тәсирлесийулер рухсат етилген қатламға айландырады.

Ванье экситонлары. Әпиўайы эффектив масса методы

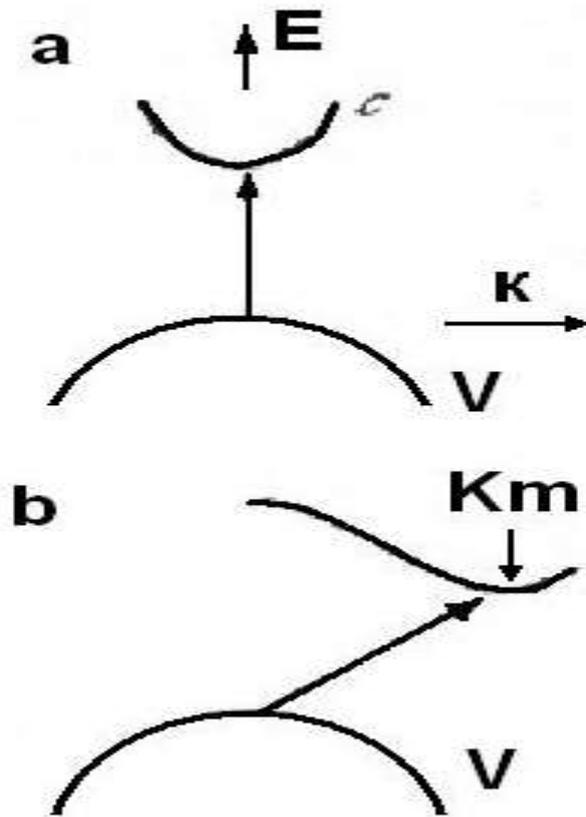
Экситон еки өлшемли бөлекше болатуғын болса, онда оның энергия кәдин хәм толқынлық функциясын есаплаў бир электронлы мәселеге карағанда қыйын болады. Егер электрон менен геўик арасындагы аралык решетка турақлысынан үлкен болса онда эффектив масса методынан

пайдаланамыз бул метод ең биринши ирет Ванье тәрәпинен ислеп шығылды. Усы ўақыттағы ең әхийметли нәрсе бул бир бөлекшели зоналық теорияда диэлектриктиң ең төменги қоздырылған халында абсолют точкаға жақын точкада өткізгішлік қатлам бос болады хәм валентли қатламда геўиклер барлық ўақытта толық электронға ийе болады. Бундай точкада қадаған қатламы E_g –тең болған тийкарғы қатламнан энергияның мәниси үлкен болады. Электронның хәм геўиктиң кинетикалық энергиясы экстремум точканын дөгерегинде оң анық квадратлық формаға ийе болады $\hbar(K-K_m)$ бунда $\hbar K_m$ -экстремумға ийе импульс. 1- сүүретте а) изотроплық айнымаған $K_m=0$ зонаның орайында жатыўшы экстремум точкасы көрсетилген усы жағдай ушын кинетикалық энергия төмендеги мәниске ийе болады.

$$E_k = \hbar^2 k^2 / 2m^*$$

$m^{\#}$ -эффектив масса (m_e^* электрон ушын эффектив масса, геўик ушын эффектив масса m_h^*) Экситонлар кристалды қоздырғаннан кейин азғантай ўақыт жасаўшы энергиясы тийкарғы ҳалдан бир неше электрон вольтка киши болып, оларды тек **оптикаспектроскопия арқалы** ғана анықлаўға болады. Экситонлық қәддилердиң энергетикалық схемасы шексиз жаўып турыўшы **континуум болады**. Оптикалық өтиў ўақтында экситонлар толық энергияға ийе болады хәм олардың спектрлери импульстиң сақланыя нызамына тийкарланып муўапық бирден болады. Кристалдың тийкарғы халына $K=0$ сәйкес келип фотон $\hbar\omega$ энергиясы менен экситонды пайда етиўи мүмкин, пайда болған экситонның импульси төмендегише аныкланады.

$K = \frac{n_r \omega}{c}$ бунда кристалдын сыныу көрсеткиши. Егер $\hbar \omega \ll E_g$ эВ онда $\omega/c \ll 10^5 \text{ см}^{-1}$ хэм $m \ll m_0$ тең болып $\hbar^2 K^2 / 2M \approx 10^5 \text{ эВ}$ тең болады.



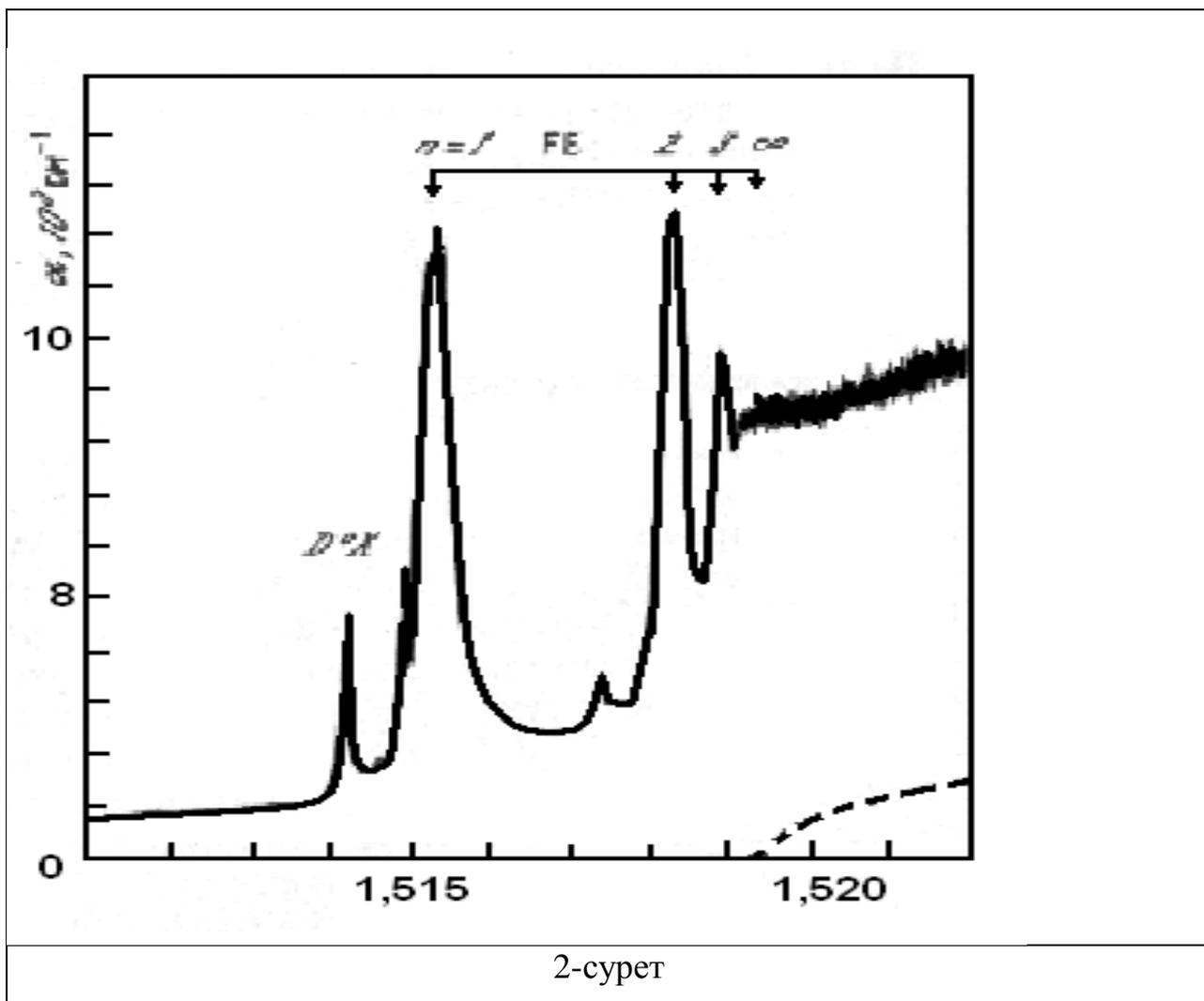
1- сүүрет. Диэлектриклердеги өткізгішлік қатлам хэм валентли қатлам арасындагы туўры хэм туўры емес өтиўлер.

Сонлықтанда экситонлар фотонды туўры жутыў арқалы қатаң тұрақлы бир энергияға ийе болады. Соның менен бирге кинетикалық энергиясы сақланады. Және бир тәрәпинен еркин электрон-геўиклик жупларды пайда етиў $E > E_g$ болғанда жутылыў спектрлери үзиликсиз болады. Импульстиң сақланыў нызамы тек экситонның масса орайынын қозғалысына өзиниң шегин қойады. Электронның хэм геўиктиң салыстырмалы қозғалысы энергияның сақланыў нызамына тийкарланады. Сонлықтанда Ванье моделинде ушқырлы сызықлардың пайда болыўы таза кристалларда экситонлардың пайда болыўын сүүретлеп береді. 2-сүүретте GaAs таза эпитаксиал кристаллының жүдә жуқа қатламға ийе үлгисиниң жутылыў спектри көрсетилген. Экситонлық ҳаллардың рұхсат етилген $n=1,2,3$ болған ҳалларының өтиўлери анық көринип тур, $n > 3$ болғанда үзиликсиз жутылыя

спектрине отеди. Эксперименталлық алынған нәтижелер менен теориялық есаплаўлар менен алынған нәтижелердин азгантай айырмашылығы экситонлық эффектлерди есаплаўда үлкен әхийметке ийе болады.

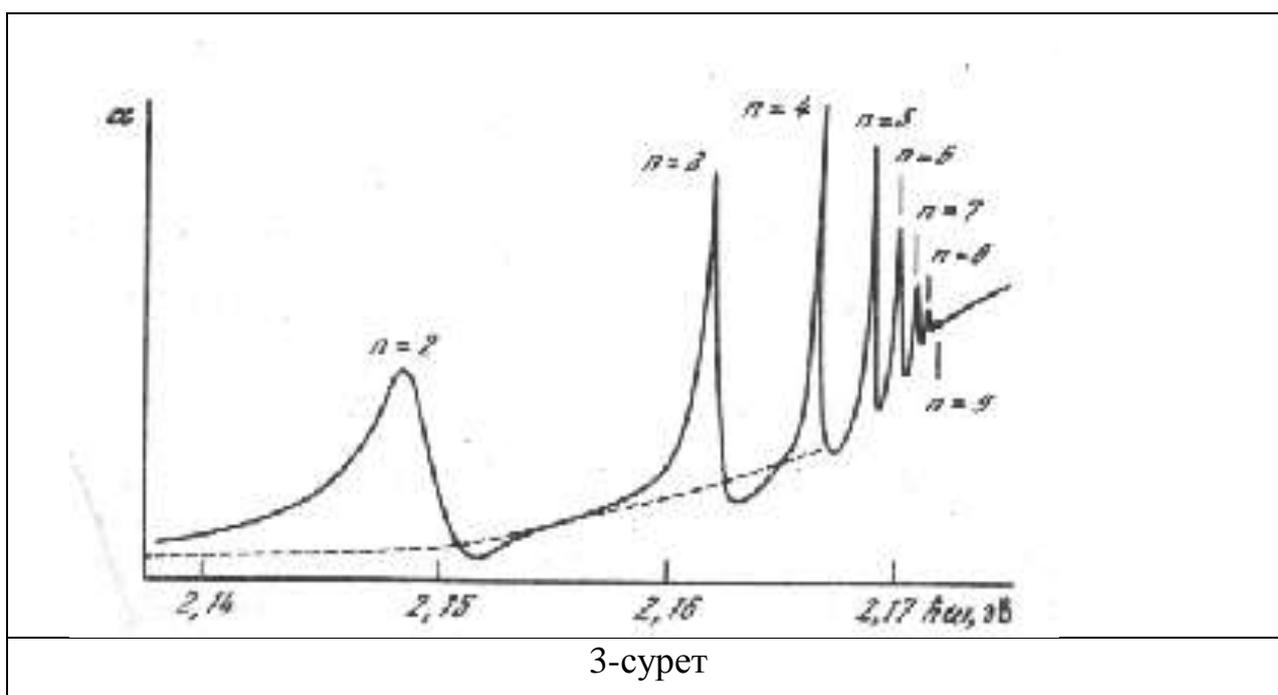
Кадаған өтиўлер

Жокарыдағы қобалжыўларға байланыслы әсте рухсат етилген зоналарға айланыўы мүмкин.

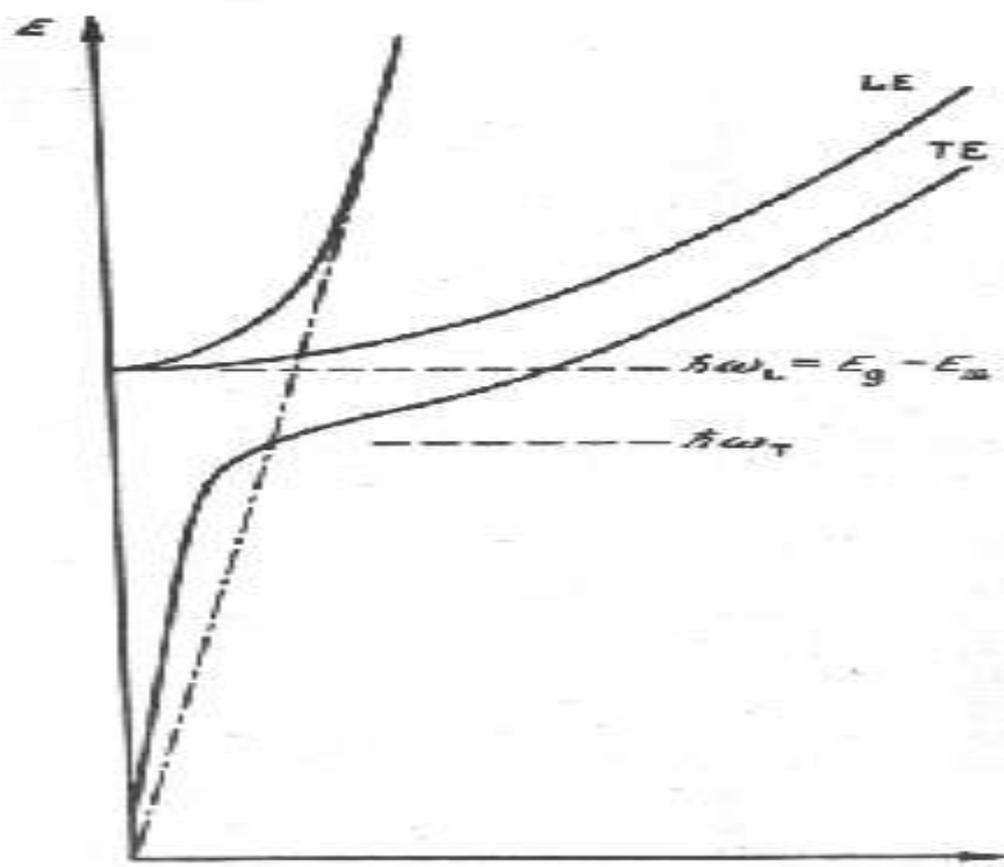


Ақылға сай қалыңлықтағы үлгилерде бундай өтиўлер өзиниң киши интенсивликке ийе болыўы менен тарийхый әхийметке ийе. қағыйдалар бойынша есапланған рухсат етилмеген өтиўлер хәр қыйлы Туўры емес

өтиўлерге рухсат емеслик $K_m=0$ системасын сайлап алыўға байланыслы хәмде электрон фононлық тәсирлесийде фонон аўысық импульсти алып кетеди. Маклин тәрәпинен туўры емес өтиў қатламына ийе Ge,Si ярымөткизгишлери деталлық карастырылды. Жутылыў спектрлери үзиликсиз болып, жутылыў коэффиценти экситоннын хәм фононның энергиясын анықлайды. Сайлаў қағыйдасы трансляцион симметрияға ийе K хәм k_m дан алынып аморф кристалларда экситонлық эффектлер жүдә кишкентай болады. Көпшилик кристаллар трансляционлық симметриядан басқа айланыў салыстырмалығына байланыслада симметрияға ийе болады. Мысалы: ярымөткизгишлер көбинесе кублық кристаллар болып O_h -точкалық группасына жатады ямаса T_d гексогональ группасына жатады Зоналар орайы точкалық группалар симметриясына жатып , блох функциялары $K=0$ боғанда түрленеди. Басқа зоналық точкалар төмен симметриялы болып келеди. Егер блох функциялары өткизгишлик қатламның шетки зоналарына хәм орайға симметриялы кристалдың валентли қатлам областына жуўап беретуғын болса, онда бирдей жуплыққа ийе болады. Буған класслық мысал Cu_2O кристалындағы жутылыў спектри мысал болып GaAs жутылыўындағы спектрге қарағанда бирнеше есе интенсивлиги киши болады. **3-сүүретте көрсетилген.**



Экситон р-типке ийе болып орбиталь триплет полярлы вектор есабында түрлениуі керек. Экситон өз гезегинде поляризацияға ийе болады $P_{ex}(iKR)$, ол өз гезегинде оптикалық фонон қусап бойға хәм көлденеңлік қубылысқа ийе болады $P_{\perp K} \quad P_{\parallel K}$. Электромагнитлик майдан менен тек көлденең толқынлар тәсир етисе алады. Усы тәсирлесіуі өз гезегинде экситонлық спектрди бойға хәм көлденең шақаларға айырады хәм $K \parallel 0$ болғанда аналитикалық болады. Өз-ара тәсирлесіуі **4-сүўретте көрсетилип дисперсия 3- сүўрет. Си нызамы схематикалық турде берилген.**



4-сурет

Фотонның спектраллық иймеклиги хәм экситонның спектраллық иймеклиги араласып өзлериниң индивидуаллығын жойтып нәтийжеде **комбинировать** етилген бөлекше поляритон пайда болады. Фононлық диаграмманың тийкарғы әҳмийетлиги бул экситонның кинетикалық

энергиясы $\hbar^2 K / 2M$ тең болып экситонлық шакалар жоқарға ийілген болады, LO TO фононлары арасында қадаған қатлам пайда болады. Спектрдің бундай ийилиуі К толқынлық векторының локалық емес диэлектрик сиңиргишликке ғәрезли болып қалады.

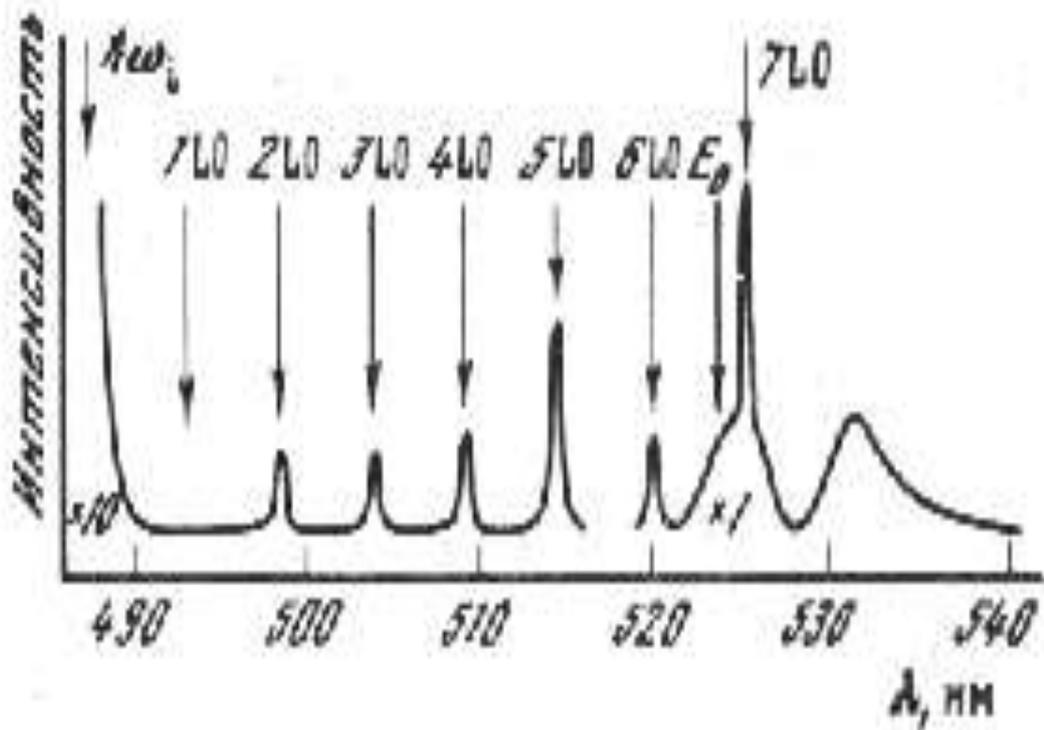
Лазерлердің керекли жийиликтеги мүмкиншиликлерине ийе болыуы яғный спектроскопиялық инструмент иретінде пайдаланылыуы $E(K)$ байланысын толық түрде анықлап береді.

Электрлик, магнитлик майданлардың хәм деформацияның ярымөткизгизилерге тәсири

Ванье экситонының үлкен өлшемге ийе болыуына байланыслы ол күшли поляризацияға ийе болады. Сонлықтанда электр магнит хәм деформация оның энергиясына хәм толқынлық векторына күшли өзиниң тасирин тийгизеди. Экситонлық қәдилердің бөлиниуйине улыұмалық симметрия өзиниң тәсирин тийгизеди, бул процесс Бриллюэн зонасының белгили экстримумына тийкарланған. Байланысқан экситонларды идентификация ислеуде оптикалық өтиулерге сәйкес сызыклардың бөлиниуйи магнит майданына тусирилген кернеуіге байланыслы болады. Реал кристалларда араласпалар, дефектлер бар болады, GaAs кристалының өзінде хәр қыйлы техникалық қолланыуларды пайда еткеннің өзінде 10^{15} см^{-3} араласпалар бар болады. Бундай халлар төмен температуралы оптикалық спектрлерде аныкланылады. J түйинінде жайласқан қоздырылған араласпа хәм дефектлерди қарастырамыз $E^1 = E_1 + \square$. Егер \square жүдә үлкен болатуғын болса, локалланған экситонлық энергияға ийе халды береді. Бул хал экситонлық зонадан сыртта, ал араласпалы түйиннің орайында жайласқан болады. Егер $\Delta < 0$ болатуғын болса бундай хал түбки зоналарда жайласқан болса экситонның бундай зонадан шығыуы ушын шекли энергия активациясы керек. Еркин экситон фотонды жутыя арқалы пайда етилген болса, кристал матрицаларында бир түйиннен екінши түйинге өтип рекомбинация боламан

дегенше қозғалыста болады. Экситонның қозғалысы диффузиялық болыуы мүмкін (хәр бир түйиннен кейин секириуден) ямаса баллистикалық болыуы мүмкін. Көпшилик ярымөткізгішли кристалларда меншикли жутылуы спектрине ийе областында монохроматикалық қоздыруы болғанда эквидистант сызықлар сериясы пайда болады. Бул нурланыуы сызықлары толқын узынлығы үлкен тәрепке қоздыруышы сызықтан еки, үш, төртке көбейткенге тең энергияларға ийе LO фононларды пайда етеди. Бир фононлы LO шашырауы сызығы жеделестирилген кристалда болмайды.

Басқа интенсивлиги салыстырмалы түрде өзгешеликке ийе болып, экситонлық резонанс областында интенсивлик белгили есе артады. 7-сүүрет. Көп фононлы шашырауы спектиринде кеңлиги санының артыуына байланысly өзгермей қалады. Бул сызықлар өзиниң спектраллық сызығының тийкарында рекомбинациялық шашырауы спектрине жатады. Комбинациялық шашырауы спектриниң амплитудасы резонанстан алдыңғы шашырауы спектрлери арқалы анықланылады. Экситон-фононлық люминесценциядағы энергитикалық өзгериуишлер шашыраудың санының артыуы менен өзгермейди. Бул өзгериуишлердиң көбиси резонанстың көп ирет қайталаныуына байланысly киши мәниске ийе болыуы мүмкін. Сонлықтанда көп фононлы шашырауда нурланыуы интенсивликлери бир бирине салыстырғанда хәр қыйлы мәниске ийе болады. Меншикли жутылуы областында көп фононлы шашырауы халларын экситонлық зоналардың дискрет халлары деп қарауымызға болады. Шашыраудың кесимин есаплауы ушын хәм эксперементтиң нәтийжесириң сапасын интерпретация етиуы ушын бир типтеги халлардың аралығын есаплауымыз керек. LO фононлардың избе-из шашырауы халлары ямаса экситонлық зоналар Гросстың жұмысларында көрсетилди. Оның көрсеткен моделинде резонанс шәрти толық реал халдағы шашырауы кублысына сәйкес келеди. N- тәртипли нурланыудың интенсивлиги төмендеги формула менен анықланады.



5-сурет

$$I_N = W_1 (\hbar\omega_1) \frac{W_2 (\hbar\omega_2)}{\Gamma(\hbar\omega_s + \hbar\Omega)} \prod_{m=1}^{N-2} \frac{\Gamma_0 \hbar\omega_1 - m\hbar\Omega}{\Gamma(\hbar\omega_i - m\hbar\Omega)}$$

$W_1(\hbar\omega_1)$ LO фононының қатнасындағы экситонлық туұры емес жутылыұ спектриниң итималлығы. $W_2(\hbar\omega_s)$ экситонның энергиясының нурланыұ итималлығы, $\Gamma(E)$ экситонның кері толық жасаұ ұақыты. А2В6 бирикпелеринен турыұшы ярымөткизгишли материаллар өзиниң қадаған қатламы менен А3В5 бирикпелеринен айырылып турады. Сонлықтанда олардың практикада қолланылыұ областыда бир-биринен айырылып турады А2В6 бирикпесиниң жоқары мөлдирлигине байланыслы оларды оптикалық көриниұ областында, ультрафиолет областында хәм инфрақызыл аралықларында пассив элемент тийкарында пайдаланыұға болады. Оптикалық элемент тийкарында акустикооптикалық системаларда хәм оптоэлектроникада, оптикалық байланыс жолларында пайдаланылады.

Бундай структураның ең көп қолланылатуғын областы бул силовой оптика болып есапланады, хәмде толкын узынлығы $\lambda=10.6$ мкм дәллигин қабыл етеди. A_2B_6 бирикпелери оптикалық айна хәм инфрақызыл аралықта (5 ден 10 мкм ға шекемги) лазерлерлерди ислеп шығыўда пайдаланылады. A_2B_6 -бирикпелери миниятюралық детекторлар қолланылып радиацияға шыдамлы хәм кең динамикалық диапазонда пайдаланылады. Ал, A_2B_6 тийкарындағы бирикпелерден куралған гетероструктураларда фотоэлектрлик түрлендиргишлер ретинде пайдаланылады. A_2B_6 бирикпелеринен турыўшы барлық ярымөткизгишли материалларға электромагнитлик, ультрасес, термоэлектрлик, радиациялық хәм басқада тәсирлер болғанда, оның фотоэлектрлик, фотолюминесценция спектрлеринде бир қанша өзгерислер болады. Сонлықтанда изертлеўши илимпазлардың барлығы, усы жоқардағы айтылған тәсирлерден кейинги фотоэлектрлик, фотоөткизгишлик хәм люминесценция спектрлерин өлшей отырып ярымөткизгишли материаллардағы релаксациялық процесслерди үйренеди.

§1.2. Теллурид кадмий кристаллына ультрасес хәм басым менен тәсир еткеннен кейинги фотолюминесценция спектрлериниң өзгериуи

Егер ярымөткізгішли материалларға ультрасес тәсир ететуғын болса, материалдағы релаксациялық процесслер өз өзгешелиги менен айырылып турады.

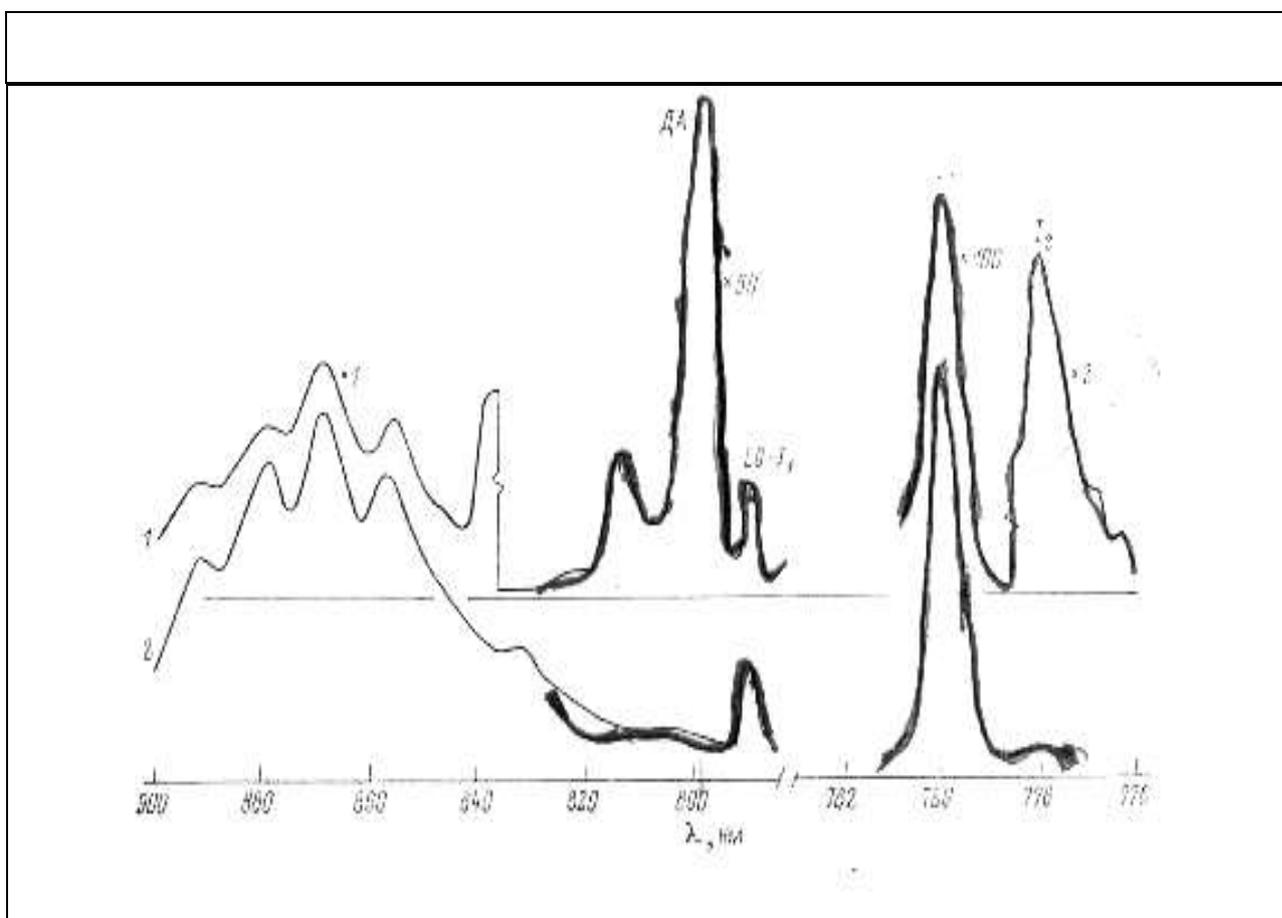
Ультрасестің белгили бир қуәатлылығы тәсиринде қайта іслеу $Zn_xCd_{1-x}Te$, ($0 \leq x \leq 1$) монокристал фотоөткізгішликтің хәм тең салмақлы кристалдағы өткізгішликтің өзгериуине алып келеди [1]. Бундай өзгеріслерди түсиндириу механизмлери ультрасестің тәсиринде қозғалыушы акцепторлардың дислокация тәрепинен ушлап қалыуы менен дәлилленген. Биринши процесс киши дислокациялы кристалларға тийисли болып, ультрасес дислокациялардың санын белгили еса артырады. Ультрасестің тәсиринде дәслепки кристалдың концентрациясының артыуы сезилерликтей болмаған ўақытта екинши процесс әмелге асырылды. Донорлардың хәм акцепторлардың концентрацияларының жыйындысы рекомбинациялық орайларды толтырады хәм тең салмақлық өткізгішликке алып келеди, бирақ қозғалыушы дефектің акцепторлық тәбиятын бул процесс пенен түсиндириу мүмкин емес.

Қозғалыушы дефектлердің тәбиятын түсиндириу үшін [1,2] авторлары 4,2 К температурада теллурид кадмий кристалының экситонлық областының фотолюминесценция спектрин изертлеген. CdTe-теллурид кадмий кристалының экситонлық спектрлери жақсы изертленген бирақ дефектлердің акцепторлар өткізгішликке ийе болыуына хәм олардың химиялық тәбиятын түсиндириу үшін эксперимент өткерген.

CdTe-монокристалының Р-типтеги лигерленбеген көлемлик кристаллын изертлеу объекти ретинде алынған. Пластинаның рекомбинациясына сәйкес

келиўши белгили жийликке ийе кернеў, пьезоэлектрик пластинаға клейлеў жолы менен жабыстырылып ультрасес тербелиси қоздырылды. Кернеў 30 В тең болып, қайта ислеў узаклығы 1-саат даўамында алып барылған. Фотолюминесценцияны өлшеў КСВУ-23 монохроматоры базасында алып барылған. Қоздырыў дереги ретинде гелий неоновый ЛГ-126, толқын узынлығы $\lambda = 632,8 \text{ А}^0$ хәм гелий-кадмийевый ЛПМ-11 толқын узынлығы $\lambda = 4410 \text{ А}^0$ хәмде ксеновый лампа ДКСШ-150 пайдаланылған. Люминесценция қоздырыў бетинен бақланған нурланыўды қабыллаўшы ретинде электронлық көбейтиўши ФЭУ-100 хәм суўытқышқа ийе. Үлгилерди нурланыў спектрлерин дәслепки мәнислеринде экситонлық нурланыў спектрлеринде I_2 -донорға байланыслы хәм I_2 -(778-782 нм) акцепторға байланыслы (850-950 нм, фононсыз-850 нм) тең болған кристалдың фотосезгирлиги орайында заряд тасыўшылардың тең салмақсыз рекомбинациясына байланыслы пайда болған краевой люминесценция спектрлери пайда болған (1,2-сүўретлер). Фотолюминесценция спектрлери еки топарға бөлинген. Биринши топардағы фотолюминесценция спектринде шетки максимумға ийе фононсыз $\lambda = 805 \text{ нм}$ спектрал сызық, еки байланыслы экситонға сәйкес $\lambda_m = 778,2(I_2)$ $\lambda = 780(I_1)$ хәм интенсивлиги бойынша киши болған $\lambda = 850 - 950 \text{ нм}$ тең болған люминесценция спектр сызығы анықланған. (1-сүўрет). Екинши топар люминесценция спектрлеринде биринши топар спектрлериниң тийкарғы айырмашылығы бул шетки нурланыў спектри ультрасес тәсиринен кейин өзин сақлап қалыўында хәм 850-950 нм фотолюминесценция спектри үлкен интенсивликке ийе болады. Екинши топар фотолюминесценция спектрлериниң экситонлары нейтрал акцепторларға байланыслы сызығында еки $\lambda_m = 780 \text{ нм}$ хәм $\lambda_n = 779 \text{ нм}$ тең болған типлер пайда болады. Ультрасес пенен тәсир еткеннен кейин барлық үлгилерде фотолюминесценция спектрлери өзгерип $\lambda_m = 840 \text{ нм}$ тең болған дислокацияға ийе сызық пайда болды. Бул демек ультрасестиң тәсириндеги

дислокацияның көбейуін көрсетеді. Биринши топардағы үлгилерде $\lambda_m = 850 \text{ нм}$, $I_1 = 780 \text{ нм}$ тең болған спектрал сызықлардың



1-сүүрет. Биринши группаға тийисли CdTe кристаллының фотолуминесценция спектри 1. дәслепки үлгиниң спектри, 2. ультрасес тәсиринен кейинги алынған спектр.

6-сүүрет. Екинши группаға тийисли CdTe кристаллының фотолюминесценция спектри.

1. дәслепки үлгиниң спектри, 2. Ультрасес тәсиринен кейинги алынған спектр.

Интенсивлигин белгили есе кемеиди хәм I_2 -спектрал сызығының интенсивлиги 80 есе азаяды, 850-950 нм тең болған нурланыў спектриниң сызықлары өзгермей қалады.

Екинши типтеги үлгилерде 850-950 нм тең болған люминесценция спектрлери өзиниң интенсивлигин өзгертеди, ал $I_1, \lambda = 770,8 \text{ нм}$ б-есе, $I_1', \lambda = 780$ интенсивлигин 8-есе, $I_2, \lambda = 778,2 \text{ нм}$ спектрал сызығы 3-есе интенсивлигин кемейткен. Ультрасестиң тәсиринде I_1 - сызығының интенсивлигин белгили есе кемеийўи, ал араласпалы орайларға тийисли

люминесценция спектри салыстырмалы өзинің интенсивлигин сақлап қалады. I_2 -спектрал сызығының интенсивлигин әсте өзгеріуі ультрасестің кристаллда акцепторлардың концентрациясын кемеитіліуі менен түсіндириледі. Демек, улыұмалық фотолюминесценция спектри интенсивлигинің кемеитіуі рекомбинациясының таза дислокациялық каналларының пайда болыуы менен түсіндириледі. Теллурид кадмий кристалындағы $\lambda = 805 \text{ нм}$ тең болған шетки донорлық-акцепторлық нурланыуға ийе спектрал сызық Li, Na акцепторларының Cd орнында тұрғанлығы менен түсіндириледі. Усы акцепторлар $I_1(\lambda = 779,95 \text{ нм})$ люминесценция спектрлерінде пайда етеді. Биринши группа үлгилерінде донорлық-акцепторлық орайларға байланыслы пайда болған люминесценция спектрлеринің интенсивлиги бирдей формада кемеитеді, ал 850 нм тең болған спектрал люминесценция сызығы өзинің интенсивлигин азғантай өзгертеді, себеби ультрасес тәсирінде көрсетілген акцепторларды рекомбинация процессинен қууып шығады.

Екинши типтеги кристалларда ультрасес тәсиринен кейин $I_1(\lambda = 779,8 \text{ нм})$, $I_1(\lambda = 780 \text{ нм})$ хәм 850 нм араласпасының интенсивлиги белгили есе кемеитеді.

$I_1(\lambda = 779,8 \text{ нм})$ хәм араласпалы орайға тийисли 850 нм спектрал люминесценция сызығы кристалындағы Cu_{Cd} - тийисли рекомбинациялық процесси. Ag_{Cd} - рекомбинациялық процессинен бұрын тез болып өтеді, сонлықтанда $I_1(\lambda = 779,8 \text{ нм})$ сызығының интенсивлиги тез кемеитеді. Дислокацияның белгили есе кемеитіп кетиуі, дислокациялық сызықтың интенсивликтің артыуына алып келеді хәмде дислокацияның азайыуы менен рекомбинацияның процесстеги акцепторларды қууып шығыуы итималлығы үлкен болады. Бул экспериментте анықланған процесстерде акцепторларға жеңіп диффузияланыушы араласпалар болып табылады. Себеби изертленип атырған CdTe кристалында диффузия кадмий вакансиялары бойынша болып, араласпалар Cd кадмийдің орнын алмастырып турады

II. БАП Эксперимент методикасы

§2.1. Ярымөткізгішлі структуралардың оптикалық қасиетін изертлеуде қолланылатұғын приборлар

Эксперимент қойыу үшін арналған бизің құрылмамыз тийкарынан төрт бөлімнен турады: рекомбинациялық нурланыуды пайда етиуши лазерлерден криостаттан, монохроматордан хэм регистрациялаушы құрылмадан турады. Бул құрылманың блок-схемасы 2.1-сүүретте көрсетілген.

Лазер. Аргоновый лазер тийкарынан хэр қыйлы толқын узынлығына ийе нурларды өзіннен шығарады (көк, жасыл, фиолетовый х.т.б.). Лазерди қоспастан бұрын оны сууытып турыушы кранды ағызып қойыуымыз керек, егер крандағы суудың ағымы әстен болатуғын болса лазерди қосыуымызға болмайды. Себеби, лазер қызып тез истен шығыуы ямаса күйип кетиуи мүмкин. Суудың хызмети бул лазердиң газлы трубкасын сууытып турыу болып суу арқалы газлы трубка қоршалған болады. Суу трубкасы еки параллель шлангадан турады. Биринши шлангадан краннан сууық суу келип газлы трубканы сууытады, ал екінши шлангадан ислетілген қызған суу шығарып тасланады. Лазер менен ислесиу уақтында суу ағып турған шлангаларды сыртынан уақыты-уақты менен услап турыуымыз керек. Егер шлангалардың екеуиде қызып кеткен болса онда суудың айланысы жоқ екенін билдиреди. Демек бул сууды жоқарыға газлы трубкаға айдаушы насостың ислемегенін билдиреди. Насостың ислеуи үшін насос багинде барлық уақытта диссоацияланған суудың муғдары сақланып турыуы керек. Суудың аз ямаса көплигін биз бактиң айнасы арқалы билимизге

болады, Егер суудың муғдары көрсетілген қызыл сызықтан төмен болса онда насосды қосыуымызға болмайды. Аргонлы лазердің хәр қыйлы қуаттылықтағы ислеуин тәмийинлеу ушын лазер блогинде трубканың анод катодларына берилетуғын токтың муғдары көрсетілген болады. Бул берилиуши ток шитке тутастырылған болады. Лазерге тийисли блок каробкасына ток **басқаруышы рукятка бар болады, усы рукаятка аркалы токтың шамасын көрсетиуши** амперметр аркалы токтың қәлеген муғдарын бериуимизге болады. Берилетуғын токтың шамасы 12 амперден 24 амперге шекем жетеди. Киши ток аркалы ислегенимизде лазердің 6-7 саатлап толық ислеуине исениуимизге болады. Себеби, суудың ағыу тезлиги үлкен болғанда бундай токтың қуаттылығында лазердің қызып кетиуи мүмкин емес. Егер токтың шамасын 18 амперден жоқары токта лазер менен жұмыс алып баратуғын болсақ онда хәр 10-20 минуттан суу келиуши хәм суу кетиуши шлангаларды услап тексерип туруымыз керек. Егер лазер қызып кетсе тез истен шығады. Лазердің бир толқын узынлығынан екиншисине өтиуи ушын газлы трубкадан пайдаланамыз. Газлы трубканың бир ушында кишкене арнаулы **ключ сыятуғын саңлақ болады. Усы саңлақ аркалы ключ пенен лазердің шығыушы толқн узынлықларын өзгертиуимизге болады. Дәл максимал реңдеги нурды алыуымыз ушын лазердің реңине тийисли** нурланыу шыңын (нурланыу пикин) табыуымыз керек. Лазерден шығыушы нурдың иреңиниң өзгериуи дегенде газлы трубкадағы хәр қыйлы ионланыу дәрежесиниң өзгериуин түсинсек болады. Лазердің сууытыу үскенесиниң лазердің ток пенен тәмийинлеуши үскенени қосқанан кейин 10-15 минуттан соң автомат түрде газлы трубканың өзи қосылады хәм де 3-5 минуттан соң қәлеген токтың муғдарын берсек болады. Усы жоқарыдағы айтылған уақыт ишинде лазер өзиниң ислеу дәрежесиндеги температураға ийе болады. Лазерди өшириуде дәслеп токты минимал мәниске шекем қайтарып алып соңынан газлы трубканы ток бөлегинен ажыратамыз. Газлы трубкаға келип турған суудың температурасы

параллель газлы трубкадан шығып тұрған суудың температурасына теңлескен уақытта лазерди толығы менен өшириуимизге болады.

Гелий-неоновый лазер бул 5000 саат жұмыс ислеу уақытына тийкарланып исленген. Бул лазер менен ислескенде дәслеп лазерди токқа тутастырып 15-20 минут өткеннен соң лазердиң трубкасын иске түсиремиз. Гелий-неон лазери 220 Вольтлық эпиуайы ток дерегине жалғанады. Бул лазердиң максималы шығаратуғын толқын узынлығы (қызыл иреңдеги) $\lambda = 632 \text{ нм}$ болып есапланады. Бул лазер аркалы қадаған зонасы киши болған ярымөткизгишлер материалларды қоздырады.

КРИОСТАТ. Ярымөткизгишли квантлы ямалардың, квантлы точкалардың нурланыу рекомбинациялары хәм шағылысыу спектрлери $4,2 \text{ K}$ нен 300 K температуралары аралығында изерленеди. Бундай температуралық диапазонларда изертлеу жүргизиу үшін криостаттың үш түри қолланылады.

1. $4,2 \text{ K}$ нен 100 K ге шекемги температуралар областында еки хәр қыйлы типтеги металл криостатлар (КР, 15) қолланылады. Бундай криостатлар бир-биринен өзиниң төменги бөлими аркалы айрылып турады. Криостаттың төменги бөлими дегенде криостаттың ишки ыдысына кепсерленген яғный сууытыушы суйықлылык қуйылатуғын (гелий, азот, водород) бөлимин түсинсек болады. Биринши типтеги криостат ишки ыдысқа мыстан исленген стержень **хлдопровод** кепсерленген болады. Оның шлиповка етилген бетине гүмис паста аркалы үлгимиз орналастырылады. Криостаттың төменги бөлимінде үш тегис параллель кварцтан исленген диаметри 40 мм ге тең болған айнасы бар болады. Биринши айнасы аркалы қоздырыушы фотолюминесценция жақтылығы ал қалған еки айнасы аркалы үлгиден нурланған рекомбинациялық нурлар шығады. Бундай исленген конструкция үлгиниң тегис бетинен рекомбинацияланыушы нурланыуды алыуға мүмкиншилик береді. Термопара гүмис паста аркалы үлгиге бекитиледи. Термопараның мыс, константан хәм алтын-мыс түрлери

қолланылады. Алтын-мыс термопарасы $80 \square K$ температурадан киши температурада жүдә жақсы характеристиканы береді. Сонлықтанда $80 K$ ге шекемги температурада алтын-мыс $(Au + 3\%Fe) - (Cu)$ термопарасы қолланылады. Термопараның электр қозғаушы күшин (ЭҚК ин) өлшеу үшін тұрақлы ток потенциометри R 306 қолланылады. Прибордың нольлик режими ретінде вольтлық сезгирликтеги $0,3 \cdot 10^{-6} B / дел$ гальванометр қолланылады. Температураның дәл өлшениуі $T \approx 1^\circ K$ тең болады. Биринши типтеги криостат бир қанша кемшиликлерге ийе болады. Бул криостатда $13 \square K$ температурадан киши үлгиниң температурасын алыу мүмкин емес. Қоздырыудың интенсивлигиниң хәр қыйлы муғдарда өзгериуі менен үлгиниң температурасы өзгерип отырады. Усыған тийкарланып бундай криостатда өлшенген ямаса алынған спектрдиң формасы бирден еки фактордың тәсири менен хәр қыйлы болып өзгерип отырады: Температура хәм қоздырыу интенсивлигиниң өзгериуі. Бундай тәсирлерди айырым уақытлары айырыу мүмкин емес. Соның менен бирге бундай криостатда үлгини өзгертиу жүдә көп уақытты алады. Тәжрийбе уактында үлгини өзгертиу мүмкин емес. Екинши криостаттың түринде ишки ыдысқа мыстан исленген өткериуши трубка кепсерленген болып ол трубка кварц стаканы менен тамаланған болады. Мыс, кварц өтиуі тат баспайтуғын полат хәм инваровой дөңгелек компенсатор аркалы пайда етиледі. Стаканның түбиде инвардан таярланған болады. Инвар-кварц тутасып $200 \square C$ темеперутурада аралдид арқалы клейлеу жолы менен иске асырылады. Трубка жоқары сапаңа ийе оптикалық кварцтан таярланған болып келип тұрған нурларды, шығыушы нурларды шашыраушы нурлардың интенсивлигин пәсейтирмейтуғын айна болып есапланады.

Сууыттырыушы суйықлық стаканға толтырылады. Үлги болса криостаттың суйықлық қуйыушы трубкасы арқалы усы стаканға түсириледи. Суйықлықта тұрған үлгини атмосфералық басымда

улағанымыз ушын тәжрийбе ўақтында ўлгини тез өзгертиўимизге болады. Ўлгилеримиз суўытыўшы суйықлық пенен барлық ўақытта байланыста болғанлықтан 4,2□К де, 20□К де, 77□ К температуралардағы спектрлерин **регистрациялаўымызға болады.** **Нурландырыў** интенсивлигин эксперимент ўақтында елиў ирет өзгертсекте ўлгиниң температурасы турақлы болып калады, максимал куўатлылықта ўлгиге түсетуғын нурлар ўлгиниң бетин өзгерте алмайды. 77□К температурадан 300□К температурада нурланыў спектрлерин изертлегенимизде оптикалық кварцтан исленген криостат қолланылады.

Кварцлық дюардың төменги бөлиминде үш тегис параллель айнасы болады. Криостаттың бундай түриндеде ўлгиниң барлық ўақытта суўытыўшы суйықлық пенен байланысы болады.

МОНОХРОМАТОР. Ярымөткизгишлердин нурланыўының рекомбинациялық спектри мүмкин болғанынша қысқа хәм интенсивлиги киши болған спектрлерден турады, сонлықтанда жақтылық күши ўлкен болған монохроматордан пайдаланамыз. Бизлердин берилген жумысымызда MDR-23 монохроматор қолланылды. MDR-23 монохроматорының жақтылық күши призмалық монохроматорларға карағанда бир неше есе күшли болады. Монохроматордың саңлағынан шығыўшы жақтылықтың ағымы төмендегише анықланады.

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

бунда β_{λ} -деректин монохроматорлық жақтыртылыўы, τ_{λ} - монохроматордың жибериў коэффициенти, $\Delta\lambda$ -монохроматордың шығыў саңлығының спектраллық кеңлиги (монохроматорларда кириў саңлығының өлшеми шығыў саңлығының өлшеминен теңдей етип алынады). Монохроматордың жақтылық күши жақтылық ағымының Φ шығыў саңлағындағы мәниси менен анықланылады, егер $\beta_{\lambda} = 1$ хәм $\Delta\lambda = 1$ болғанда.

$$L = \tau_{\lambda} \frac{h}{f} S \frac{d\varphi}{d\lambda}$$

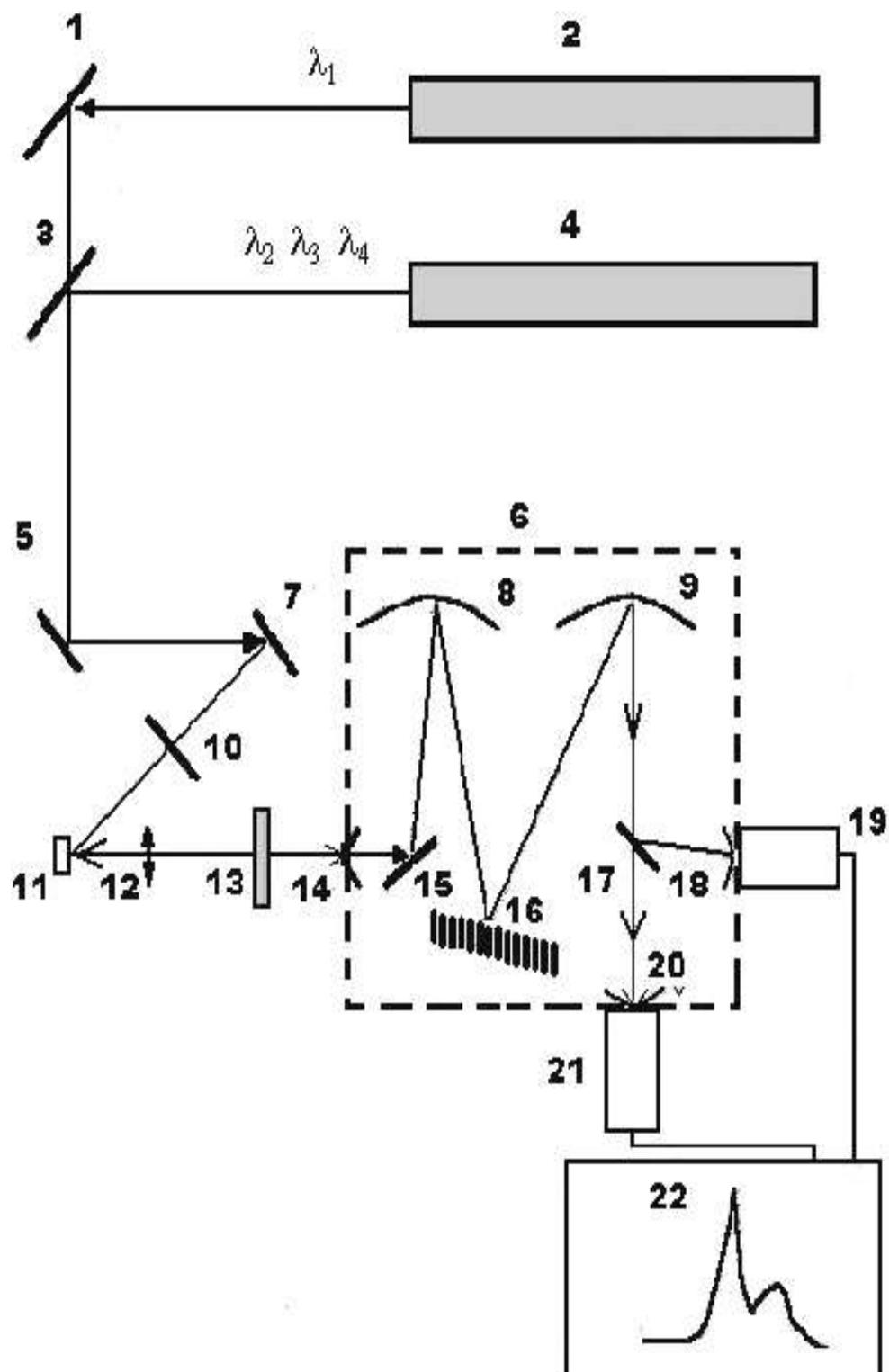
Жоқарыдағы формулада диффракциялық решетканың тәсир етиуіші диафрагманың шамасы менен байланысы есапқа алынбайды. Бул байланысты есапайтуғын коэффициентлер бирге тең болып есапланады. Монохроматорларда дисперциялық элемент иретинде диффракциялық решетка қолланылады. Монохроматорларға кириуі саңлағы алдында КС 19 фильтри қойылады хәм фильтр арқалы қоздырыушы нурларды усланып калынады.

Монохроматордан шыққан оптикалық нурлар (ФЭУ-62 ФЭУ-100) фотоэлектрик умножитель арқалы күшейтилген электр сигналарына айландырылады. Жоқарыдағы сүүретте көрсетилгениндей схемада ең соңында электрон есаплау машинасы арқалы биз интенсивликтің толқын ұзынлығына байланыслы графигин аламыз. Фотошағылысуы спектрлерин өлшеген ўақтымызда дерек иретинде аргоновый гелий-неон лазер менен бирликте ДРШ-250 лампаларында қолланылады.

Гетероструктуралардың курамын кириуіші Теллури-цинк оптоэлектрониканың переспективалы материалы болып есапланады. Оның қадаған зонасының ени ($E_g=2,26$ эВ 300 К температурада) ол жеке халында киши өлшемли материалларда барьер есабында қолланылады [6-7]. Бул материал GaAs-арсенид галлий подложкасына хәр қыйлы эпитаксияллық метод арқалы өсириледи. Бул гетероструктураның ең бир әхмийетли жеке термикалық хәм қалдық кернеулерге тийкарланған характеристикасы оның дифформацияланыуы болып есапланады. Бизиң барлық квантлы ямаларымыз хәм квантлы точкаларымыз молекуляр пучковой эпитаксиал методы арқалы “Катунь” установкасында өсирилди. Бул усатовкада молекуляр пучкалардың белгили бир системасы қайта исленип хәм оларда эквивалент басымда турақлы усланып турады. Пленкаларды өсириуде хәр қайсысы жеке дереклер арқалы парланыу жолы менен өсириледи. GaAs-арсенид-галлий подложкасының бети дәслеп тәбийғый окислерден тазаланады. Соңынан

(100) ориентациясында 3×3 ийилиу менен $\langle 110 \rangle$ бағытында $570 \text{ }^\circ\text{C} - 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ға шекем подложканы қыздырып $250 \text{ }^\circ\text{C} - 280 \text{ }^\circ\text{C}$ температураға шекем подложка сууытылады. Усы процесслер өткеннен кейин Ga_2Te_2 бирикпесин пайда етиу үшін цинк парында узақ уақыт ушлап тұрылады. ZnTe -Тиллурид-цинк пленкасының пайда болуы усы температурада болады. Тез қозғалуыш электронлар диффракциялық электронлар картинасында стержень формасынан рефлекслердің пайда етилгеннен кейин яғный 100 нм қалықта эпитаксиал структура өсирилгеннен кейин подложка температурасын $320 - 350 \text{ }^\circ\text{C}$ температураға шекем усланып тұруы керек. Бундай гетероэпитаксиал қатламның өсирилиу тезлиги $0,2 \text{ нм/с}$ тең болады. Жеке дереклерден келип тұрған (молекуляр пучкалардан шығуышы) Zn цинк хәм Te_2 теллурдың эквивалент басымы алынғаннан соң өсип киятырған пленканың реконструкциясы $C(2 \times 1) + (2 \times 1)$ түрінде алынады. Моноқатламларға кириуши CdTe кадмий-теллур пленкасында молекуляр пучкавой эпитаксия методы менен алынады.

Ярымөткізгішлерде хәм изоляторларда металларға қарағанда заряд тасушылардың концентрациясы тұрақлы болмайды. Кристалларда электрон хәм геуиклердің (тең салмақлы хәм теңсалмақсыз) жоқ болып кетиуи ямаса аннигиляцияланыуы рекомбинация деп аталады. Электрон хәм геуиклердің рекомбинациясы нурланыусыз болуыда мүмкин (рекомбинация уақтында бөлинип шыққан энергия кристаллдың элементар қоздыруына генерациясына кетеди). Электрон хәм геуиклер рекомбинациясының нурланыуды пайда етиуи де мүмкин (бөлинип шыққан барлық



2.1-сүүрэг

энергия жақтылық кванты иретінде нурланады). Ярымөткізгіштердің нурланыуы энергиясы төмендегі рекомбинация механизмдері жәрдеминде болыуы мүмкін:

§2.2. Үлгілердің өсирилиуі усыллары

а) Еркін электрон хәм геуіктердің рекомбинациясы (зона-зоналық өтиулер).

б) Заряд тасыушылардың локаль орайлары менен хәм еркін рекомбинациясы (локаль орай-зона өтиу).

в) Электрон хәм геуіктердің хәр қыйлы локаль орайлар менен рекомбинациясы (араласпалар арқалы өтиулер).

г) Электронның геуік пенен бир орайлық локаль орай шегіндегі рекомбинациясы (ишки орайлық өтиулер).

д) Экситонлардың локаль орайлар менен байланыслы хәм еркін аннигиляцияланыуы.

§2.3. Ярымөткізгішли гетероэпитаксиаль структураларды өсириуі усыллары

A_2B_6 -монокристаллары көп қолланыу мүмкіншиликлерине ийе болыуы менен бирге, деформациялық турақлығы жүдә кишкентай болып есапланады. 1980-жылларда молекулалық пучковой эпитаксия, металл-органикалық химиялық газовой отырғызыу методларын қолланыу арқалы керек емес араласпалардың концентрациясын 10^{14} см^{-3} дәрежесине шекем кемитиуге мүмкіншилик болды. Усындай методларға тийкарланып жоқары дәрежелі A_2B_6 гетероэпитаксиаль қатламлар алынды. (69). Усындай бирикпелердің қолланыуы менен көп перспективалы приборлардың құрамында өзгерістер

болды (оптоэлектронлы приборларда, лазерли системаларда, фотодетекторларда, солнечный элементлерде, фотошағылысыушы приборларда хэм т.б). Бундай қатламлы гетероэпитаксиаль структураларды өсирийде подложка иретинде GaAs-арсенид галлий қолланылады. Себеби арзан GaAs қалеген майдандағы жоқары сапалы структураны алыудың технологиясы ертеде A_2B_6 структурасын алыядан бұрын исленип шыққан. Соның менен бирге арсенид галлий подложкасын қолланылғанда бир қанша қыйыншылықтарғада ушырасамыз. Бириншиден, бинарлы бирикпелер менен A_2B_6 арсенид галлийдің решетка турақлыларының сәйкес келмеуі, яғный ZnSe/GaAs бирикпесиниң решетка турақлысына салыстырғандағы процентлик шамасасы 0.28% курайды, ал комната температурасында ZnTe/GaAs бирикпеси ушын 7.6% курайды. Усындай процентлик өзгерислер олардың термикалық кеңейіу коэффициентлери арасындада бар болып, системада таза серпимли деградация процессинде әхмийетли рольди тутады. Квантлы ямадан подложкаға шекем қанша аралық үлкен болса (барьерлик қатламның қалыңлығы қанша үлкен болатуғын болса) жүдә үлкен температурада квантлы яма жоқ болып кетпейди. Бундай буферлик қатламларды қолланыулар квантлы ямалардағы серпимли кернеудің өзгерисине алып келеди. Әдебияларды шолыуда айтылғанындай A_2B_6 /подложка бөлиминиң шегарасында дефектлери деградацияға алып келиуши дереклердің бар екенлигин көрсетип бере алмайды. Демек қалың қатламлы эпитаксиаль структураларды (критикалық қалыңлыққа ийе қатламлар) тексеріу бул мүкин болған деградациялық дереклердің түрлерин изертлеу болып есапланады. Сонлықтанда бизлер структуралық дефектлердің рентген нурларының дифракциялық бөлистирилиуи хэм төмен температуралы (Т4,2-77 К) фотолюминесценция методлары арқалы тәжрийбелер жүргизилген. Терең қатламларда лигерленбеген эпитаксиаль қатламларда селенид-цинк, теллурид-цинк хэм теллурид-кадмийдің хәр қыйлы қалыңлыққа ийе үлгилеринде (GaAs-подложка) төмен температуралы фотолюминесценция спектрлери қарастырылды. Усы жоқарыда айтылған

методлар арқалы буферлик қалам менен подложка арасында рекристаллизировать етилген теллурид-цинк қатламының тәсиринде изертленди. Эпитаксиаль қатламлар менен бирге теллурид-цинк көлемли кристалларының подложкаға орнатылған қалың қатламларыныңда төмен температуралы фотолюминесценция спектрлери қарастырылды. Арнаўлы легирленбеген (0,5-5,7 мкм) болған хәр қыйлы қалыңлықтағы селенид-цинк, теллурид-цинк хәм (CdZnTe) қатламлары катуњь установкасында молекуляр пучковой эпитаксия методы арқалы өсирилди. Өсирилиў жоқары таза парланыў (99,999) жолы менен хром менен легирленген подложкада алынып барылды.

Камерадағы қалдық басымның шамасы $8 \cdot 10^{11}$ торға тең болды. Арсенид-галлий оксидли қатламнан тазалаў ушын $550-580^{\circ}\text{C}$ вакуумда күйдирилди. Деокислениў өсиў процессинде бақлаў ушын жоқары энергетикалық электронлардың диффракциялық методлары қолланылды.

Подложкаға селенид-цинк қатламын өсириў ушын подложканы $260-340^{\circ}\text{C}$ температурасына шекем ұқыздырдық соңынан 100 секунд даўамында цинк пучкасы арқалы қайта исленди. Өсиў процессинде басым $4 \cdot 10^7$ торға тең болды.

III БАП. ЭКСПЕРИМЕНТТИҢ НӘТИЙЖЕЛЕРИ ХӘМ

ОЛАРДЫҢ ТАЛЫҚЛАНЫҰЫ

§3.1. Сүльфид кадмий монокристалларының фотоэлектрлик хәм фотолюминесцентлик қәсийетлерин изертлеу

Материаллардың дефектлик структурасының өзгеріуинің изертлеу арқалы қатты денелерге ультразвуктың қандай тәсир етиуін үйрениуимізге болады. Ультрасес металларды тазалау үшін пайдаланылады. Ярымөткізгішли кристалларға хәм диэлектриклерге үлкен қуатлы ультрасес пенен тәсир еткенде таза эффектлердің пайда болыуын көриуимізге болады. Ультрасес толқынларының үлкен қуаттылыққа ие болған мәнислерінде акустолюминесценция пайда болады. Егер ультрасестің қуатлығы өзінің шеклі мәнисинен асып кетсе $W \geq W_n$ кристалларда точкалық эффектлер пайда болады, ямаса қурамалы орайға ие болған структуралар пайда болады [4]. 1-саат дауамында CdS-селинид кадмий монокристалына $W \geq W_n$ ультрасестің пороговай қуаттылықтан үлкен қуаттылық пенен ультрасес тәсир еткенде точкалы дефектлер пайда болады ямаса қурамалы орайға ие структуралар пайда болады. Ультрасестің тәсир етиуі менен терең орайларға тийкарланған фотомолюминесценция спектрінің интенсивлиги кемейип, ал фототок хәм үлгинің акустикалық **добротности үлкейе баслайды**. Үлгинің фотоэлектрлик люминесцентлик хәм акустикалық характерлеринің өзгеріуі **ультрасеслик қайта іслеу ямаса УЗО** деп аталады. Ультрасестің тәсир етиуі механизмин үйрениуі хәм усындай процесслерди келтирип шығарыушы орайларды пайда етиуші орайларды тексеріуі үшін селинид кадмий кристалының моно-поликристалларының фотоөткізгішлик хәм люминесценция спектрларын үйренип шықтық хәмде төмен температуралы термостимулластырылған өткізгішлигин изертлеп шықтық. Дәслеппеген жөқары омы салыстырмалы қарсылық

$p = 10^7 - 10^9 \text{ Ом}$ ға тең болған n-типтегі Cds-моно хәм поликристаллар изертленди. Ультрасес тербелісі Cds-кристалларын қоздырыу үшін жоқары жийиликли электр майданында омлық индиевий контакт орнатылғаннан кейін кристалдың меншикли пьезоэффекти тәрәпинде әмелге асырылды. Ультрасес жийлиги берілген үлги үшін ($f_p=100-200 \text{ КГц}$) тең болып көлденең резонансқа ийе болады хәмде акустикалық добротность кесекесиминиң майданы $1-2 \text{ мм}^2$, С-көшери менен сәйкес келиуши, стержен формасына ийе узынлығы $10-12 \text{ мм}$ үлги үшін резонанс антирезонанс методы менен анықланады. Поликристалдың үлгилерге ультрасес резонанслық жийлиги $f_p=1,2 \text{ м}$ үшін тең болған клейленген пьзоэлектрик түрлендиргиш арқалы берилди.

Ультрасестің тәсир етиуі ұзақлығы $\Delta t_{уз}$ температура хәм үлгиге берилиуши өзгермели кернеуі оның амплитудасын өзгертиуге туура пропорциональ болады, усы өзгеріулердиң нәтижесинде Q-акустикалық добротность, фототок люминесценция спектрлериниң интенсивлиги өзгерип отырады. Ультрасес тәрәпинен пайда етилген релаксация тезлиги кристалдың параметрлери өзгереді хәм ұақты менен сыпатлап бериледи. ($T_{уз} > 20^0 \text{ C}$) температура интервалында кристалда болып өтетуғын фотохимиялық реакцияны есаплағанда, ультрасес пенен тәсир етилген үлгиде, монохраматорлық жақтыландырыу ұзақлығы, қоздырыу фототок ямаса люминесценция $10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ интенсивликтен кем болмаған интенсивликте **10 секундтан асып кеткен жоқ. 1-сүүрет а) да CdS –монокристалының** ($\Delta t_{уз} = 1 \text{ р}, T_{уз} = 30^0 \text{ C}$) акустикалық добротностиның $U_{уз}$ -кернеуіне ғәрезлиги көрсетилген. Ультрасестің киши интенсивлигинде Q-добротности дәслепки мәніси $Q_0 = (1 - 3) \cdot 10^2$ -ден максималь Q_{max} -жетеди. Кернеуін $U_{уз} = U_{\text{max}}$ тең болған мәнісинен кейін люминесценция спектриниң айырым сызықлары интенсивлиги бойынша төменлегенин көриуимизге болады. Айырым үлгилер үшін $\frac{Q_{\text{max}}}{Q_0}$ қатнасы 2-3 жетеди. 1-сүүрет б) да ультрасестің сульфид-кадмийдиң терең орайларына көк $h\nu_{\text{max}} = 2,42 \text{ Эв}$, қызыл $h\nu_{\text{max}} = 1,72 \text{ Эв}$,

оранжевый 2,05 эВ тәсир еткеннен кейинги фотолюминесценция спектрлери көрсетилген. Ультрасестиң энергия тығызлығының киши мәниси менен тәсир етиў арқалы ($W=0,1 \text{ Wn}$) люминесценция хәм фототок спектрлериниң интенсивлигиниң кеширейгенин көриўимизге болады. Ал $U_{уз} = U_{\max}$ тең болған мәнислеринде барлық спектрлердиң сөнгенин анықладық. $U_{уз} > U_{\min}$ болғанда U_{\min} мәнислерин бир-бирине жақын болып, бирақ 1-сүўретте көрсетилгениндей бир-бирине сәйкес кемийди. Акустикалық аўысыўдың амплитудасынан биз $U_{уз} > U_{\min}$ мәниси 1-3 Å тең екенлигин көриўимизге болады. Ультрасестиң нәтийжесинде

а) Хәр бир нур шығарыўшы орайлардың спектрлери өзгермейди (ток интенсивлиги өзгередиди).

б) Фототок хәм люминесценция қоздырыў спектрлерине қосымша спектраль сызықлар пайда болмайды. Бул өз гезегинде аса-жоқары интенсивликтен үлкен болған ультрасестиң тәсиринде таза спектраль сызықлардың ямаса үлгиниң дәслепки халларының өзгериўине алып келеди. Ультрасестиң тәсир етиў нәтийжелери $T_{уз}$ -температурасына байланыслы болады. Сонлықтанда бизлер усыған сәйкес түрде төмендеги изертлеўлерди жүргиздик. 2- сүўреттен фототоктың, ультрасестиң тәсир етиў ўақтына температура 20-90⁰С аралығында алынды. Хәр бир температурада алынған точка ток күшиниң экспоненциаль нызамы менен анықланады.

$$\Delta \tau_{\phi} \sim \exp\left(-\frac{\Delta t_{уз}}{\tau_0}\right)$$

τ_0 -ультрасести характерлеўши ўақыт, активация энергиясына ғәрезли болады.

$$E_0 = 0,36 \pm 0,03 \text{ эВ}$$

[5] Жумыс авторларының изертлеўи бойынша ультрасестиң тәсир етиўинде j хәм i_{cp} -өлшемлери ўақыттың өтиўи менен релаксация нәтийжесинде өзиниң дәслепки мәнисине қайтып келтирилген хәм $T=20-50^0\text{C}$

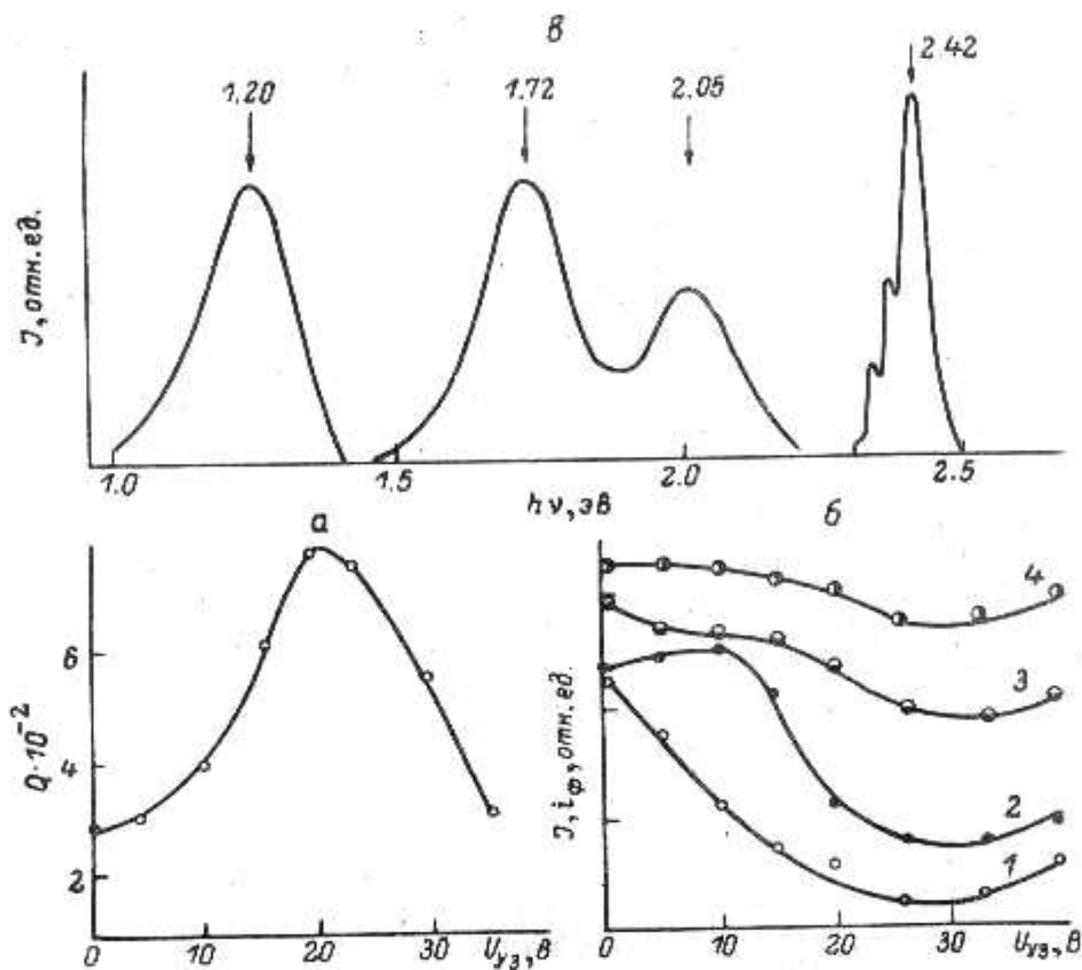
температурада $\Delta t_p = 1-10$ саат релаксация қайтымсыз халларда қалатуғыны анықланған. 3.2-сүүрет б) да ультрасестің тәсири тоқтағаннан кейін фототоктың релаксацияға байланысly иймеклиги көрсетилген. Ультрасес ушын характеристикалық релаксация ўақыты Тр-температураға ғәрезли түрде анықланды хәмде активация энергиясы

$$E_a = 0,52 \pm 0,03 \text{ эВ}$$

түринде анықланды. Бул авторлардың изертлеўине аналогия болған изертлеўди, бизлерде өзимиздің илимий журналымызда көрип шықтық. Алынған нәтийжелерден E_a^0 хам E_a^p энергияның мәнислерин таптық. Бундай сульфид-кадмий материалларында бундай шамалар бир-бирине жақын келетуғын $0,47 \pm 0,9$.

Фототоктың активация энергиясы E_a^0 хәм E_a^p CdS сульфид кадмий кристалында фотолюминесценция спектри интенсивлигиниң өзгеріў релаксациясы хәм ультрасестің өзгеріўине байланысly болып сеапланады. Усы ўақытта фототоктың ўақытқа байланысly CdS монокристалының байланысly экситонның областындағы спектраль сызығына ультрасестің тәсиринде изерледик (3.1-сүүрет). Экситонлық областтың люминесценциясының сөниўи менен бирге, оның айырым нурланыў шақаларының қайта бөлистрилиўин анықладық. Экситонлық областтың фотолюминесценция спектрин өлшегенимизде еки хәр қыйлы үлгиде қайталаныўшы эффектін анықладық: 1) $\lambda = 486,9 \pm 0,5 \text{ \AA}$ тең болған j_2 [9] сериялар сызығы $U_{uz} \approx U_{min}$ болғанда салыстырмалы түрде интенсивлиги киширейеди (бул спектраль сызық киши нейтрал донорға тийисли Cd^0 [10] болып табылады). 2) $\lambda = 4885 \pm 0,5 \text{ \AA}$ толқын узынлығына тийисли сызық болып, бул спектраль сызық ультрасес тәсир еткеннен кейинги j_1 киши толқын узынлығына сәйкес келеди. (3.1-сүүрет а,б). Байланысly экситон спектраль сызығы нейтрал түйинлер арасындағы (S_i^0) сульфид атомына тийисли. 4869 \AA -тең болған сызықтың интенсивлигиниң кеңейіўи кери

характерге ийе, себеби үлгини 20-минут даўамында 80°C температурада қыздырғанымызда (ямаса 10-саат 20°C температурада қыздырғанымызда) интенсивлиги бұрынғы халға келеди. Бирақ 4885 \AA -тең болған спектрал сызықта бундай процесс қайталанбады.



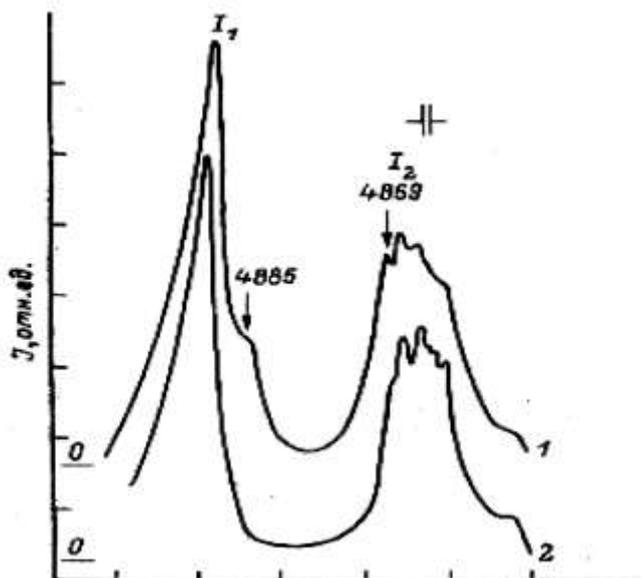
3.1-сүүрет. а) CdS монокристаллына ($t_{y3}=1$ саат) түсірилген ультрасестин кернеўге б)кернеўдің акустикалық добротностьқа ғәрезлиги в) араласпалы орайдың ФЛ спектри

§3.2. Ультрасес тәсиринен кейин A^2B^6 кристалларының термостимулластырылған өткізгішлігінің өзгеріуі

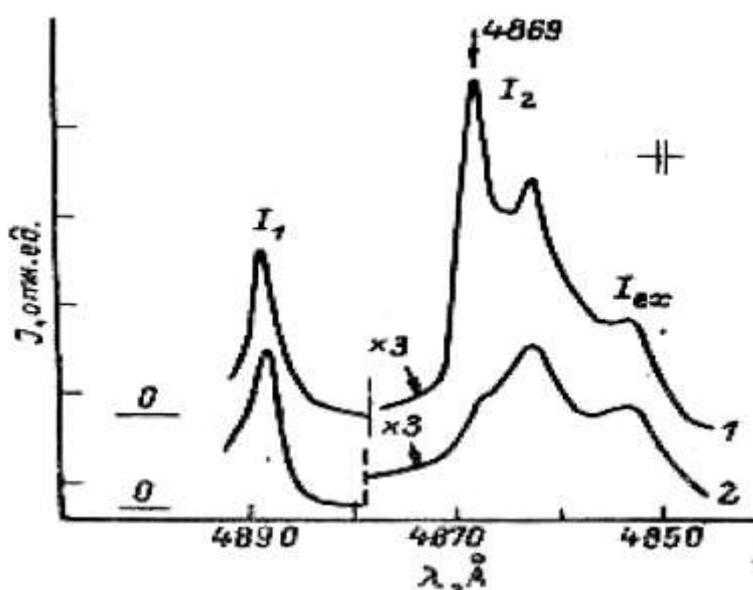
Сульфид кадмийдің термостимуляцияланған өткізгішлігін төмен температурада киши донорлар анықлайды, сонлықтанда бизлер өзимиздің питкеріу қәнигелик жұмысымызда ультрасестің ТСП-спектри тәсиріндегі өзгерісін изертледік. Эксперимент нәтижесінде ультрасес тәсиринен кейин ТСП спектринің киши донорларына тийісли областының интенсивлігінің бир неше есе кемейетуғынын анықладық. Демек бул областта концентрацияда кемийди. Бул өзгеріс қайтымлы характерге ийе болып табылады. Жәнеде сонны айтып өтиу керек ультрасес тек фотоэлектрлік хәм люминесцентлік характеристикаға емес, ал сульфид кадмий кристалының акустикалық дүзилісін жеке халында акустикалық добротностын өзгертеди. Усы өзгеріуді анықлау үшін релаксациялық иймекликтің коррелляциясын изертледік. 5-сүүретте монокристаллардың ультрасес тәсиринен усы өлшемлеринің өзгеріуі менен келесі релаксациясы көрсетілген ($T_{уз}=T_p=50^0C$). Бул анықланған өлшемлердің ультрасес майданында өзгеріуі $U_{уз}$ - бирдей кернеуде пайда болады, бирақ ультрасести қосқаннан кейин релаксация хәр қыйлы характерге ийе болады. Әсиресе фототок уақытқа байланысly түрде өзинің дәслепки мәнісине қайтып келеди (3.2-сүүрет). Добротност өсип бара береди, ал өзинің тойыныу дәрежесине жеткенде оның өсиу процесси тоқтайды. Демек бул сульфид кадмий кристалының фотоэлектрлік хәм акустикалық дүзилісіннің өзгеріуін кристалдағы хәр қыйлы ағып өтетуғын процесслерге байланысly деп айтсақ болады. Сульфид кадмий монокристалындағы ультрасестің тәсирінде ($W>W_n$) акустикалық добротностың кемейіуі (ишки сүйкелиу коэффициентинің артыуы) [11] жұмыста анықладық. Авторлардың есаплауы бойынша бул процесстің пайда болыу себеби үлгідегі акустикалық толқын

ағып өтіуі нәтижесінде меншикли деффектлердің шегараланыуы болып табылады. Бизиң көз-қарасымыз бойынша киши U_{y3} -кернеуін сәйкес Q -өсиуі $W < W_n$ сәйкес келеди. Добротностың артыуы дислокациялық сызықлардағы концентрациялардың артыуына байланысly болып табылады. Добротносттың өзгериуі қайтымсыз болыуы дислокация сызықларының беккемлениуіне байланысly болып табылады. Усы процесстиң себебинен $\lambda_{\text{max}} = 4885 \text{ \AA}$ байланысly экситон сәйкес келиуіши сызықтың сөниуіне алып келеди.

**3.2-сүүрет. А), Б) ультрасестин температураға байланысly б)
фототоқтың релаксациясы**

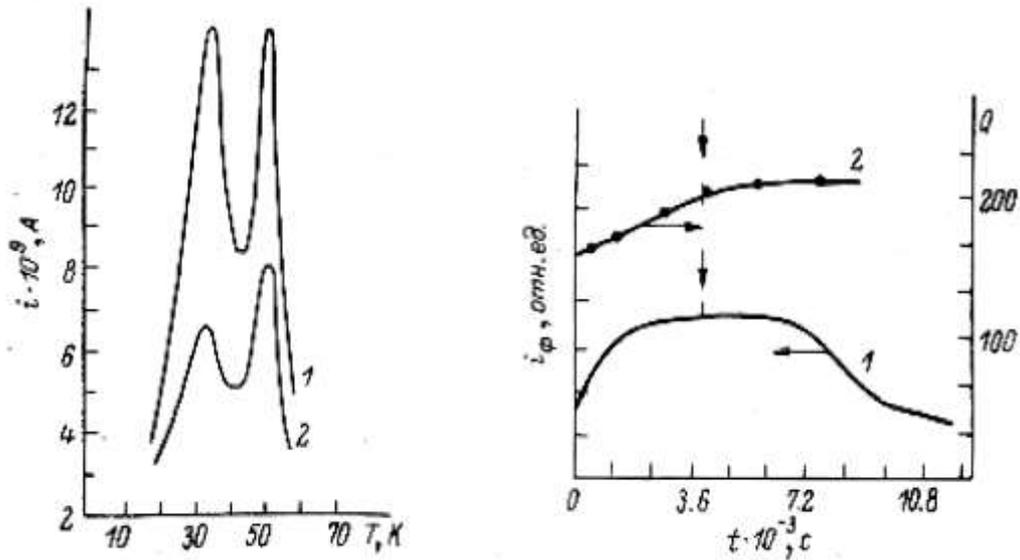


**3.3-сүүрет. CdS-монокристаллының экситонлық областының
1)дәслепки хәм 2)ультрасес тәсиринен кейинги люминесценция
спектрлери**



**3.4-сүүрет. CdS-монокристаллының экситонлық
областының1)дәслепки хәм 2)ультрасес тәсиринен кейинги**

люминесценция спектрлери



3.5-сүүрет. Сульфид кадмий монокристаллының термостимуластырылған өткізгішлік спектрлери. 1) УС-тен бұрынғы 2) УС кейинги. 1)Изотермикалық қайта іслеу хәм фототок релаксациясы.

Моно-поликристаллық сульфид кадмийдің люминесцентлик, фотоэлектрлик қасиетлерин ультрасестің тәсиринен алынған нәтижелерге хәм ультрасестің реласацияға тәсирин үйрене отырып (3.6-сүүрет) усы процесстің механизимин үйрениўге болады. Сульфид кадмий кристалында $T > 50^{\circ}\text{C}$ температура интервалында эффектив түрде фотохимиялық реакция болып өтеди. Усы процесс ўақтында түйинлер арасындағы тәбиятқа ийе қозғалыўшы орайлар яғный донорлық типтеги (Cd_i хәм Li_i) үлкен әхмийетли рол ойнайды. Бул орайлардың диффузиялық активация энергиясы 0,3-0,4 эВ [13] аралығында болып, бизлер анықлаған $E_a^0 = 0,36$ хәм $E_a^p = 0,52$ эВ жақын болып есапланады. Cd_i -атомын ультрасес тәсиринде қатнасыўы экситонлық орайға сәйкес келиўши концентрацияның кемейиўи болып табылады. Усы орайлардың концентрациясының кемейиўин термостимул етилген өткізгішликтен анықласақ болады. (3.4-сүүрет). 4869 \AA тең болған экситонлық сызықтың интенсивлигиниң кемейиўи хәм термостимулланған

өткізгішліктің ультрасес тәсирінде қайта тиклениуі, люминесценция спектринің өзгеріуі терең орайларға хәм фототокка байланыслы болады. Ультрасестің активация энергиясының жақын болыуы хәм Cd-диффузиялық атомлары сульфид кадмий кристалындағы ультрасестің тәсир етиуі механизмлерин түсіндирип береді.

а) ультрасестің дислокацияларға тәсир етиуі электр майданында меншикли дефектлердің $T=T_{уз}$ -температурада зарядланған дрейфин келтирип шығарады, яғный терис зарядты пайда етеді.

б) дислокациялар тәрөпинен бул орайлар усланып қалады,

в) релаксация процессин анықлап бериуішн көлемге дислокациядан термостимуляцияланған атомлардың өтиуі.

Соңғы этапта диффузияланған орайлар қосымша энергетикалық барьерлерди алып өтиуі керек.

$$\Delta = E_0^P - E_a^0 = 0,16 \text{ эВ}$$

Киши донорлардың кристал көлеминен дислокацияларға өтиуі фототоктың сөниуіне алып келеді хәм киши донорлардың ассоциясы нәтийжесинде нурланыуысыз рекомбинацияның жаңа каналларын пайда етип люминесценцияға тәсир етиуі ямаса кристалдың компенсацияланыу дәрежесин өзгертеді, өз гезегинде бул процесс рекомбинация орайларын теңсалмақлы геуеклердің саны көбейеді. Ультрасестің дислокациялар менен байланыслы төмендеги экспериментте дәлиллеп береді; егер изертленип атырған үлгиде релаксация хәм ультрасестің циклик тәсири бир неше мәрте қайталанса, онда хәр бир ультрасес тәсиринен кейин белгиленген $U_{уз}$ кернеуінен кейин $\frac{\Delta i_\phi}{i_\phi}$ (ямаса $\frac{\Delta j}{j}$) салыстырмалы түрде киширейип барады хәм бир неше циклден кейин $\frac{\Delta i_\phi}{i_\phi} < 10^{-2}$ бул қатнас бақланбайды. Бул процессти биз төмендегише түсіндирсек болады. Дислокациялардың избе-из биригиуі менен дислокациялардың тербелисинің амплитудасы кемейип барады хәм өз гезегинде кристал майданын ийелеуді үлкейтип бара береді.

Бул өз гезегінде зарядлап донорларды дислокациялардың ұслау итималлығын кемейтеді. Егер $U_{уз}$ кернеуін көбейтсек хәм дислокация тербелісіннің амплитудасын арттырсақ, онда кристалда және ультрасес тәсири бақланады. Жоқарыдағы алынған нәтижелердің барлығы сульфид кадмий моно-поликристалларына ультрасес тәсиринен кейин, кристалларда релаксация сақланып қалатуғынын дәлиллеп береді. Өлшеудеги активация энергиясының айырмашылығы

$$E_a^0 = E_a^p = 0,47 \pm 0,3 \text{ эВ}_{\text{қа тең.}}$$

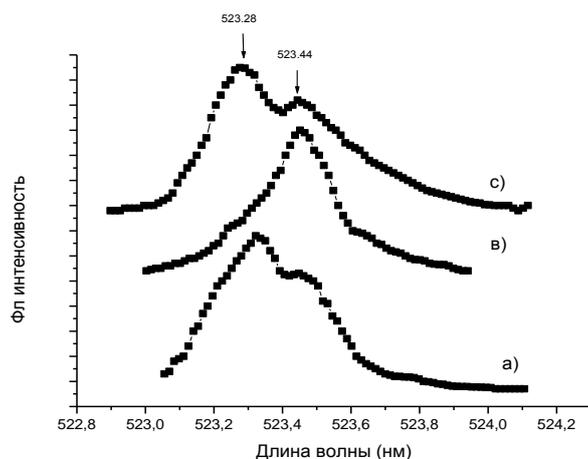
Бундай кристалларға өзгеріушіликтің себеби: қозғалыушы дефектлерди ұслап қалыушы эффектив ионлар тек дислокациялардың өсиуі емес, жеке кристаллардан турыушы қатламлар арасындағы қабатлар болып, ультрасестің нәтижесінде бир-бирине саластырмалы түрде тербеліп турады.

ZnTe/GaAs кристалының фотолуминесценция спектрлерин изертлеу

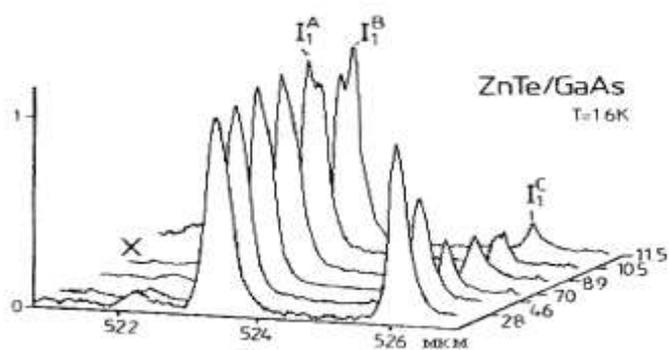
ZnTe/GaAs жуқа пленкасы өсирилиу ұсылына қарай отырып оптикалық қәсийетлерин хәм электрофизикалық қәсийетлерин хәр қыйлы етип өзгертип отырады. Металл органикалық басымда өсирилген бундай жуқа пленка қатламы атомлық, молекулалық ксылда өсирилген пленкадан өзинің нурланыу спектрлери менен айырылып отырады. ZnTe/GaAs пленкасының легирлениуіне қарай отырыпта олардын фотолуминесценция, фотоөткізгішлік, фотошағылысу қәсийетлери өзгерип отырады. Соның менен бирге қатламның қалыңлығына байланыслы жуқа пленкалардың нурланыу спектрлери бир-биринен

өзгеше болыуы мүмкин. Бірақ **ZnTe/GaAs** пленкасының фотолюминесценция спектрлери молекулалық нурланыу , атомлық нурланыу методлары менен өсирилгенде қалыңлықа байланыслы олардың люминесцентлик спектрлери турақлы болып қалады. Бундай фотолюминесценция спектрлериниң изертлениуи бизиң илимий жумысымызда тәжирийбеде дәлиленди. 3.6- сүүретте қалыңлығы 2.8 мкм дан 11.2 мкм шекемги хәр қыйлы жуқа **ZnTe/GaAs** пленкасының фотолюминесценция спектрлери көрсетилген. Фотолюминесценция спектр **ZnTe/GaAs** экситонлық област ушын өлшенген. Үлгилердиң экситонлық областында үш нурланыу спектрин анықладық. Температураның өзгериуи менен экситонлық люминесценция спектрлериниң хәр қыйлы интенсивликте хәм хәр қыйлы толқын узлық областларына өзгергелигин анықладық. **ZnTe/GaAs** жуқа пленкасында анықланған фотолюминесценция спектрлериниң I^A_1 , I^B_1 , I^C_1 тийкары акцепторлық орайлар болып есапланады. I^A_1 фотолюминесценция спектриниң нурланыу энергиясы 2.3571 эВ қа, I^B_1 , фотолюминесценция спектриниң нурланыу энергиясы 2.3689 эВ, I^C_1 фотолюминесценция спектриниң нурланыу энергиясы 2.3571 эВ тең екенлиги анықланды. Үлгилердиң қалыңлығының киширейиуи менен I^A_1 спектраль сызығының интенсивлиги турақлы болып қалды. I^B_1 спектраль сызығының интенсивлиги хәр қыйлы болып өзгередиди хәм үлкен толқын узынлығына қарай аўысады. I^C_1 фотолюминесценция спектриниң интенсивлиги үлгиниң қалыңлығы киширейиуи менен төменлей

баслайды. Экситонлық областқа жууап бериуши бул үш фотолюминесценция спектриниң пайда болыуына мышьяк атомының нурланыуы себепши болады. Фотолюминесценция спектри қоздырылған уақытта нурланыушы орайлар еки түрли деформацияланыу хәм термикалық тәсирдиң нәтийжесинде нурланыя спектрлери хәр қыйлы болып өзгереди. Сонлықтанда қәлеген жуқа қатламға ийе структураларды изертлеген уақытымызда бизлер нурланыу спектрлериниң өзгерисин усы көрсетилген тәсирлердиң нәтийжесинде әмелге асырамыз. Егер нурланыушы орайға берилетуғын қозырыу энергиясы үлкен болатуғын болса, онда нурланыушы орайдан шыққан люминесценция спектрлери толқын узынлығы үлкен тәрепке карай жылжый баслайды. Себеби қәлеген қоздырылған нурланыу орай қәншели үлкен энергия менен нурландырылған болса, жоқары тезликте хәм интенсивли нурды өзинен шығарады. Бундай процесслер көплеген жуқа пленкалы қатламлар ушын анықланған. Нурланыу орайларына жууап бериуши акцепторлық мышьяк атомының еки түрли нурланыуына байланыслы - сүүреттеги фотолюминесценция спектрлери пайда болып, бул спектрлер қоздырыу энергиясы өзгериуи менен интенсивлиги өзгерип турады.



3.7-сүўрет. ZnTe/GaAs кристалының қалыңлығының өзгеріуі менен экситонлық областының фотолуминесценция спектринің өзгеріуі.



3.8-сүўрет. ZnTe/GaAs кристалының байланысly экситонлар областына тийисли (I_1^A хэм I_1^B) фотолуминесценция спектрлери. а)дәслепки б) вакуумда күйдирилгеннен кейинги в) As-атомы басымында күйдирилгеннен кейинги ФЛ спектрлери.

3.6-сүўретте I_1^A хэм I_1^B спектраль сызығының дәслепки, машьяк атомының басымының қатнасыуы астында 3-саат услап турылғаннан кейинги хэм вакуумда үш саат күйдирилгеннен кейинги фотолуминесценция

спектри көрсетілген. Γ^A_1 нурланыў спектраль сызығы 3-саат вакуумда кўйдирилгеннен кейин өзиниң интенсивлигин төменлетеди ал бирақ 3-саат мышьяк атомының басымында кўйдирилген ўақытта өзиниң интенсивлигин қайта тиклепалады 3.1-сўўреттиң с). Γ^B_1 спектраль нурланыў сызығы болса 3-саат вакууда кўйдирилгеннен кейин оның интенсивлиги артып, мышьяк басымы астында 3-саат кўйдирилген ўақытта интенсивлиги төменлейди хәмде оның фотолюминесценция спектри толқын узынлығы үлкен тәрәпке жылжыйды 3.1-сўўреттиң в), с). Еки нурланыў спектраль сызығыда GaAs подложкасынан ZnTe мышьяк атомына байланыслы болып нурланыў сызықларының өзгериси төмендегише түсиндириледи. ZnTe/GaAs жуқа қатламлы структураларда экситонлық нурланыў орайына жуўап бериўши орай мышьяк атомы болып табылады. Мышьяк атомы акцепторлық атом болып оның нурланыў усыллары хәр тәрәплеме түсиндириледи. Мышьяк атомының подложка бетине диффузияланыўы өсирилиў ўақытында пайда болады. Вакууда Γ^A_1 спектраль сызығының кўйдирилгеннен кейин интенсивлигиниң кемейиўи мышьяк атомларының концентрациясынын төменлеўи менен түсиндириледи. Мышьяк парында 3-саат ушлап турылғаннан кейин үлги өзиниң дәслепки ҳалына келеди. Үлгилердиң интенсивлигиниң өзгериўи тийкарынан температураға байланыслы болады. Γ^B_1 спектраль сызығының интенсивлигиниң өзгериўи кўйдирилиў ўақтында усы орайға жуўап бериўши байланыслы экситонлардың терең орайлардан акцепторлардың нәтийжесинде қайта толтырылыўы менен түсиндириледи. Γ^C_1 нурланыў спектраль сызығы ZnTe хәм GaAs структураларының компата

температурасындағы дислокациялар саны арқалы аңлатылады. Қалыңлыққа байланысты бундай жуқа пленкаларда дислокациялар тығызлығы өзгеріп отырады. Усының нәтижесінде усы орайға жууап бериуши нурланыу сызығының интенсивлиги бин неше мәртеге өзгереді. 3.1-сүүретте қалыңлыққа байланысты дислокациялар тығызлығының графиги көрсетілген. Бул нурланыу Γ_1^C орайына жууап бериуши фотолюминесценция спектрлериниң хәр қыйлы қалыңлыққа нурланыу сызықлары болып табылады. 3.7-сүүретте дислокациялар тығызлығының оның люминесценция уақтындағы интенсивлигине байланысты графиги көрсетілген.

Дислокациялар тығызлығы төмендеги формула бойынша есапланды.

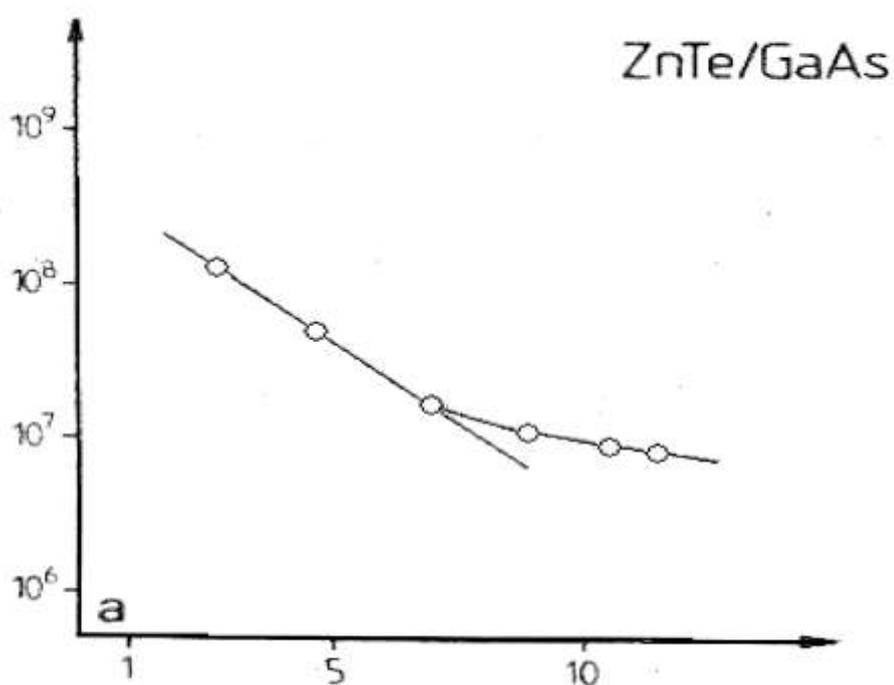
$$D = \frac{F^2}{9b^2}$$

Бунда F қатламлардағы радианда өлшенген ярымкеңлигиниң қалыңлығы, b - Бургерс векторы болып цинк теллурид ушын ол төмендеги мәниске ийе болады.

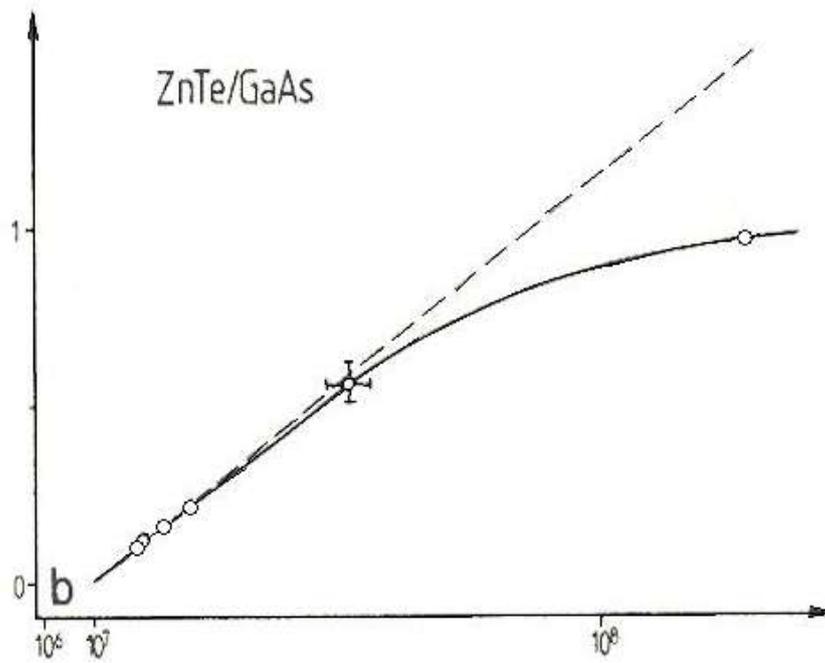
$\frac{a}{\sqrt{2}}$ a бунда ZnTe кристалының решетка турақлысы. Дислокациялар тығызлығының артыуы үлгиниң қалыңлығының киширейиуи менен түсиндириледі. Фотолюминесценция спектраль сызығының интенсивлиги дислокация тығызлығының артыуы менен өзиниң ең үлкен мәнисине жетеді. А2В6 структураларында вакансия-араласпа комплекслери деффектлердиң келип шыуына себепши болады.

3.7-сүүретте көлемлик ZnTe кристалының хәм ZnTe/GaAs жуқа пленкасының фотолюминесценция спектрлери көрсетілген. Фотолюминесценция спектрлери $T=16$ К температурада өлшенип, қоздырыушы лазердиң толқын узынлығы 325 нм тең. Лазер жоқары энергияға ийе (гелий-кадмий) He-Cd лазер болып нурланыу биртегис бетте

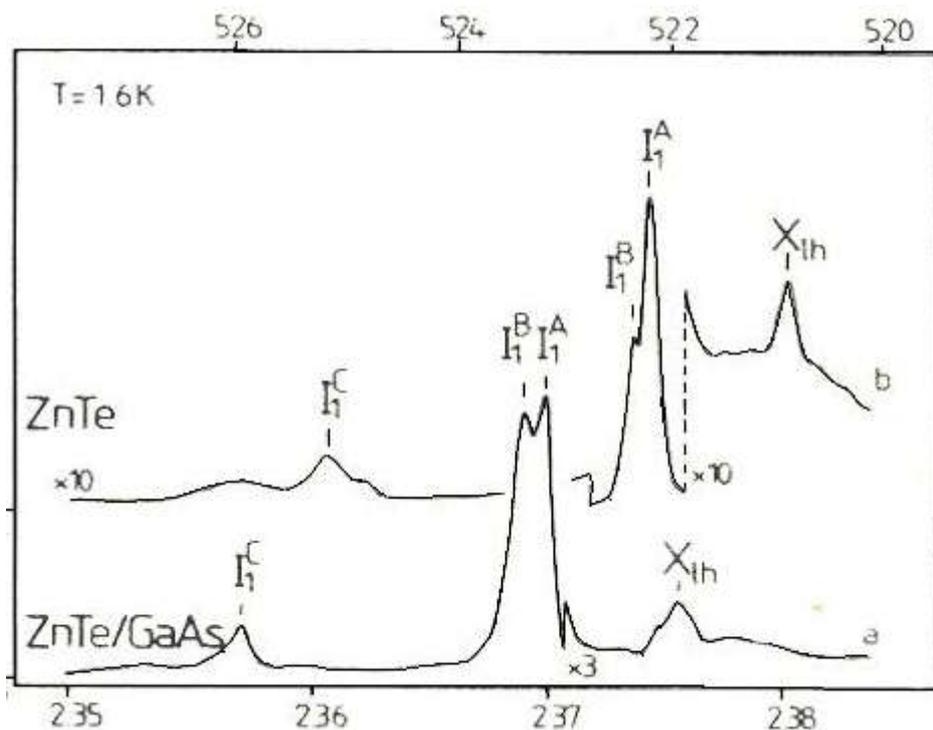
алып барылды. Фотолюминесценция спектраль сызығы экситонлық областта болып, оның нурланыў сызықлары Еркін экситонның нурланыў сызықларынан басланады. Биз колемлик кристалда фотлюминесценция спектрлериниң киши толқын узынлығы тәрепке аўысатуғын анықладық. Байланыслы экситонлар интенсивлиги жуқа пленкалар тәрепинде жүдә үлкен екенлигин анықладық. 3.8-сүүретте ZnTe/GaAs кристалының ишки механикалық көриниси хәм оларға қоздырыў болған ўақыттағы вакансиялардың дислокациялардың орналасыўлары көрсетилген.



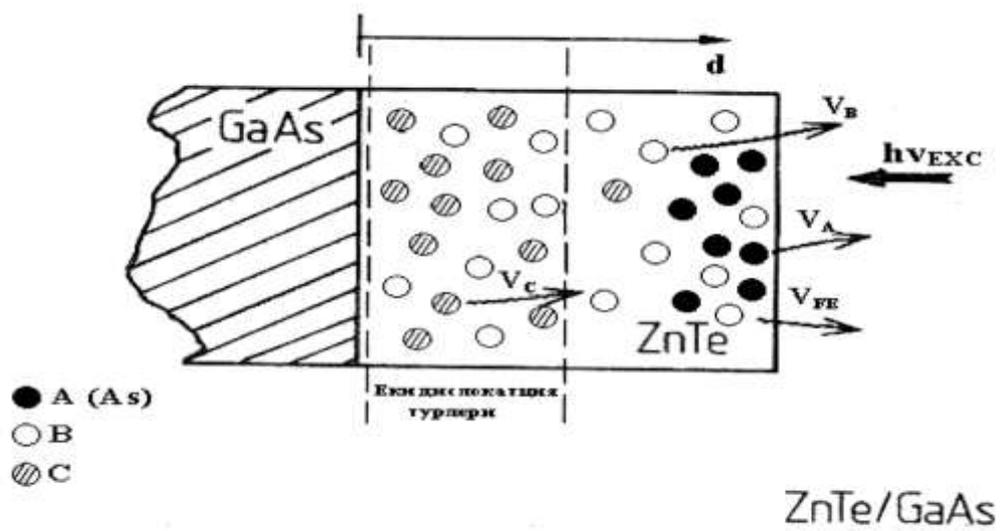
3.10-сүүрет. ZnTe/GaAs кристалының бетлик областындағы дислокациялар тығызлығының қалыңлыққа байланыслы өзгериўи.



3.11-сурет ZnTe/GaAs кристалының I_1^C ФЛ спектрининг интенсивлигининг дислокациялар тыгызлыгына байланышы өзгөрсө.



3.12-сүүрөт. ZnTe/GaAs көлөмлүк кристалының хэм жука пленкасының фотолуминесценция спектрлери.



3.13-сүүрет. ZnTe/GaAs кристалының люминесценция спектрлерининң пайда болуў механизмлериинң көриниси.

Ж У Ы М А Қ Л А Ы

1. Сульфид кадмий монокристалының экситонлық областыннан алынған фотолюминесценция спектринің интенсивлигинің ультра сес тәсиринен кейин кемеийұи анықланылды.

2. Ультрасестиң избе-из тәсир етиұинен кейин фототоктың дәслепки халына салыстырғанда интенсивлигинің киширейиұ механизмлери анықланылды.

3. Температураға байланыслы сульфид кадмий кристаллында фотоөткизгишлик спектрлеринің интенсивлигинің кемеийұи хәм сөниұ механизмлери үйренілди.

4. ZnTe/GaAs жуқа пленкаларында қалыңлықтың өзгерийұи менен нурланыұ спектрлеринде пайда болатуғын спектраль сызықлардың өзгешеликлери анықланды.

5. ZnTe/GaAs жуқа пленкалары хәм көлемлик ZnTe кристалының экситонлық областларының нурланыұ өзгешеликлери анықланды.

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЯТЛАР

1. Н.Г.Басов, Е.М.Дианов, В.И.Козловский, А.Б.Крыса, А.С.Насибов, Ю.М.Попов, А.М.Прохоров, П.А.Щербаков. Лазерная электроно-лучевая трубка на основесверхрешетки ZnCdSe/ZnSe, работающая при $T=30^0C$ //Квантовая электроника.1998, т.22, №8, с.323-326.
2. Н.Н.Леденцов, В.М.Устинов, В.А.Щукин, П.С.Копьев, Ж.И.Алферов, Д.Бимберг, Гетероструктуры с кватовыми точками: получение, свойства, лазеры, Обзор,//ФТП, 2003,т.32, №4, с.385-410.
3. D. Bimberg, M. Grundmann and N.N. Ledentsov, “Quantum dot heterostructures”, *John Wiley & Sons Ltd*, Chichester, England, pp. 328. 1999.
4. O. Brandt, L. Tapfer, K. Ploog, R. Bierwolf, M. Hohenstein, F. Phillipp, H. Lage, and A. Heberle, “InAs quantum dots in a single-crystal GaAs matrix”, *Phys. Rev.* Vol.44 (15), pp. 8043-8051, 2003.
5. T.R. Ramachandran, R. Heitz, P. Chen and A. Madhukar, “Mass transfer in Stranski-Krastanow growth of InAs on GaAs”, *Appl. Phys. Lett.*, Vol.70 (5), pp. 640-642, 1997.
6. I. Suemune, T. Tawara, T. Saitoh and K. Uesugi, “Stability of CdSe and ZnSe dots self-organized on semiconductor surfaces”, *Appl. Phys. Lett.*, Vol.71 (26), pp. 3886-3888, 2003.
7. H. Kirmse, R. Schneider, M. Rabe, W. Neumann, and F. Henneberger, “Transmission electron microscopy investigation of structural properties of self-

assembled CdSe/ZnSe quantum dots”, *Appl. Phys. Lett.*, Vol.72 (11), pp. 1329-1331, 1998.

8. C. Gourgon, B. Eriksson, Le.Si. Dang, H. Mariette, C. Vieu, “Photoluminescence of CdTe/ZnTe semiconductor wires and dots”, *J. Cryst. Growth*, Vol.138 (1), pp. 590-594, 1994.

9. Y. Terai, S. Kuroda, K. Takita, T. Okuno, Y. Masumoto, “Zero-dimensional excitonic properties of self-organized quantum dots of CdTe grown by molecular beam epitaxy”, *Appl. Phys. Lett.*, Vol.73 (25), pp. 3757-3759, 1998.

10. V.V. Zaitsev, V.S. Bagaev, E.E. Onishchenko, “Особенности температурных зависимостей фотолюминесценции квантовых островков и ультратонких квантовых ям CdTe/ZnTe”, *Phys.Status Solidi*, Vol.41, N..., pp. 647-654, 1999.

11. V.S. Bagaev, V.V. Zaitsev, E.E. Onishchenko, Yu. G. Sadofyev, “Photoluminescence of various $Zn_{1-x}Cd_xTe/ZnTe$ heterostructures grown by MBE GaAs (001) substrates: temperature dependences”, *J. Cryst. Growth*, Vol.214/215 (1), pp. 250-254, 2000.

12. S. Seto, A. Tanaka, F. Takeda, and K. Matsuura, “Defect-induced emission band in CdTe”, *J. Cryst. Growth*, Vol.138 (1/4), 346-351, 1994.

13. A.O. Kosogov, P. Werner, U. Gösele, N.N. Ledentsov, D. Bimberg, V.M. Ustinov, A.Yu. Egorov, A.E. Zhukov, P.S. Kop`ev, N.A. Bert and Zh.I. Alferov, “Structural and optical properties of InAs-GaAs quantum dots subjected to high temperature annealing”, *Appl. Phys. Lett.*, Vol.69 (20), pp. 3072-3074, 1996.

14. S.J. Xu, X.C. Wang, S.J. Chua, C.H. Wang, W.J. Fan, J. Jiang and X.G.Xie, "Effects of rapid thermal annealing on structure and luminescence of self-assembled InAs/GaAs quantum dots", *Appl. Phys. Lett.*, Vol.72 (25) pp. 3335-3337, 1998.
15. A. Patane, A. Polimeni, M. Henini, L. Eaves, P.S. Main, T. Surkova, "Carrier relaxation and thermal escape processes in InAs/GaAs self-assembled quantum dots", *Abstracts of XXVIII Intern. School on Phys. of Semicond. Compounds.*, Jaszowiec`99, pp. 73-75.
16. E.F. Venger, Yu.G. Sadofyev, G.N. Semenova, N.E. Korsunskaya, V.P. Klad`ko, B. Embergenov, L.V. Borkovskaya, M.P. Semtsiv and M. Sharibaev, "Molecular-beam epitaxial growth of CdZnTe/ZnTe QW structures and superlattices on GaAs (100) substrates for optoelectronics", *SPIE Proceeding*, Vol.3890, pp. 537-541, 1998.
17. V.I. Kozlovski, A.B. Krysa, Yu.G. Sadofyev, A.G. Turyansky, "ZnTe epilayers and CdZnTe/ZnTe QWs grown by MBE on GaAs (100) substrates with use of solid-phase crystallization on seeded amorphous ZnTe layers", *Sol. Fiz. Techn. Poluprov.* Vol.33 (7), pp. 810-814, 1999.
18. Дамаска, Динс С. Точеные дефекты в металлах. М., 1996. 291 с.
19. Островский И.В. Собственно-дефектный механизм акустолюминесценции кристаллов. - Письма ЖЭТФ, 2000, т. 34, в. 8, с 462-466.

20. Островский И.В. Лысенко В.Н. Генерация ультразвуком точечных дефектов в CdS. –ФТТ, 2002, т. 24, в. 4, с. 1206-1208.
21. Громашевский В.Л., Дякин В.В., Сальков Е.А., Скаляров С.М., Хилимова Н.С. Акустохимические реакции в сульфиде кадмия. –УФЖ, 2003, т. 29, в. 4, с. 550-554.
22. Здебский А.П., Остапенко С.С., Савчук А.У., Стимулированное ультразвуковыми колебаниями преобразование люминесцентных и акустических характеристик монокристаллов CdS. – Письма ЖТФ, 2006, т. 10, в. 20, с. 1243-1247.