

№ 4 ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ЖҰМЫС

ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШТЕРДЕГІ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ЖӘНЕ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ

ЖҰМЫС МАҚСАТЫ:

- а) жартылай өткізгіштердегі фото- және электролюминесценциямен танысу;
- б) жартылай өткізгіштердің фото- және электролюминесценцияның спектралдық сипаттамаларын зерттеу.

ТЕОРИЯЛЫҚ КІРІСПЕ

Қатты денелердегі рекомбинациялық сәулелену - люминесценция - ол жұтуға кері құбылыс болып табылады. Ол жартылай өткізгіштерде электрондық ауысуларға негізделген: өткізу өңірі - валенттік өңір, өткізу өңірі - акцепторлық деңгей, донорлық деңгей - валенттік өңір, донорлық деңгейлер - акцепторлық деңгейлері және аралық ауысуда тасушыларды экситонды күйде байланыстыратын актылар.

Онда сәулеленетін жарықтың спектрі бір немесе бірнеше жолақтардан тұрады. Рекомбинациялық сәулеленудің спектрлерін зерттеу өңірлік моделінің параметрлері туралы, тыйым етілген өңірге қоспалар кіргізілетін локалдық деңгейлердің орыны туралы, сонымен бірге экситондардың, фотондардың т.б. энергетикалық спектрлеріне әсері туралы ақпаратты беру мүмкін.

Рекомбинациялық сәулеленуге келтіретін процестер еркін тасушыларды қоздырудан басталады. Осы процестің нәтижесі бір немесе екі типті (электрондар және кемтіктер) тепе-тең емес заряд тасушыларының пайда болуы.

Тепе-тең емес тасушыларды қоздырудың негізгі тәсілдері: 1) фотондардың ағынымен қоздыру - фотолюминесценция; 2) электрондардың ағынымен қоздыру - катодлюминесценция; 3) негізгі емес тасушылардың p-n-ауысу арқылы инжекция жолымен қоздыру - электролюминесценция; 4) күшті электр өрісімен қоздыру - Дестрио типті электролюминесценция болып табылады.

Жартылай өткізгіштерді қоздырудың фотолюминесценция және электролюминесценция екі тәсілінде тоқтайық.

Фотоллюминесценция. Фотоллюминесценцияның сәулелену спектрі, әдетте, жұту спектрмен салыстырғанда ұзынтолқынды аумаққа ығыстырылған, басқаша айтқанда сәулеленетін (шығарылатын) энергиясы жұтылатын энергиясынан кем. Осы энергиялардың

айырмасын Стокс ығысу деп атайды, ол центрмен жұтылған энергияның бөлігі фотондар түрінде люминесценцияның центрінен қоршайтын кристал решеткасына беруді белгілейді.

Кез келген люминесценция екі негізгі параметрлермен сипатталады - интенсивтігімен және люминесценция спектрімен, олар жартылай өткізгіштерде қоспалардың болуына тәуелді (активаторлар деп аталатын). Қоспа деңгейлер жұтатын, аралықты немесе сәулеленетін болуы мүмкін. Мұндай деңгейлердің ролін валенттік өңірмен өткізетін өңірде орындай алады. Жартылай өткізгіштерде рекомбинацияның келесі механизмдері болуы мүмкін.

Еркін электрондардың және кемтіктердің рекомбинациясы.

Зоналық электрондар және кемтіктердің рекомбинациясының сұрақтарын қарастырғанда негізгі сұрақ пайда болуы мүмкін - ол рекомбинация кезінде бөлініп шығатын энергия қандай түрде болады?

Егер рекомбинация акты жарық квантының пайда болуымен болса, онда энергия және импульс сақталу заңдарының бір мезгілде орындалуы немесе импульстері бірдей (және қарама-қарсы) электрон мен кемтіктің рекомбинациясы болатынымен, онда импульсі нольге тең жарық кванты рекомбинация кезіндегі бөлінетін барлық энергияны алып кетеді, немесе рекомбинация акты үш "денелердің": электронның, кемтіктің және фононның соқтығысу түрінде пайда болады. Осындай жағдайда фонон, бөлініп шығатын азғантай үлесін алып (немесе беріп), барлық импульсті ала алады (немесе бере алады), сонымен әр түрлі импульсті электрондардың және кемтіктердің рекомбинациясы (фотонды шығаруымен) мүмкін болады.

Жоғарыда келтірілген варианттардың екеуі жарықтың жұтулуына кері процесс, ол валенттік өңірден өткізетін өңірге "түзу" деп аталатын және "түзу емес" деп аталатын электрондардың фотоауысуларына келтіреді.

Түзу тыйым салынған өңірі бар жартылай өткізгіштерде импульс сақталатын ауысулар квазиимпульстердің шамалары бірдей күйлерді байланыстырады (сур.1, а). Сондықтан, жұту процестеріне сәйкес сәулелену кезінде спектр мынадай берілумен жазылады:

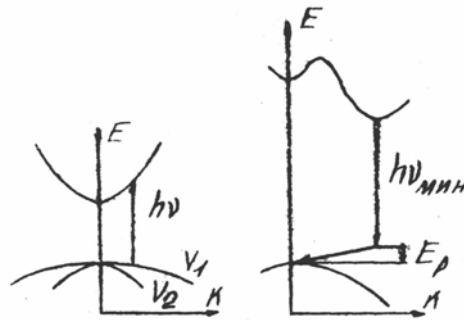
$$I(h\nu) = B(h\nu - E_g)^{1/2}$$

мұнда $I(h\nu)$ - сәулеленудің интенсивтілігі, B - өңір-өңір ауысуының ықтималдығы, E_g - тыйым салынған өңірдің ені, $h\nu$ - шығарылған фотонның энергиясы.

Қоздыру жылдамдығы өскен кезде және температура жоғарығанда өңірдің жоғары күйлері толтырылады, ол энергиясы неғұрлым жоғары фотондардың сәулеленуіне себеп болады. Сонымен еркін тасушылардың рекомбинациясының температураға тәуелділігі

жоғары энергетикалық құйрығы сипаттайды, ал төмен энергетикалық жиегі энергиясы $h\nu = E_g$ болғанда тік кесілген.

Түзу (а) және түзу емес (б) сәулелену ауысулар



1-ші сурет.

Түзу емес тыйым салынған өңірі жартылай өткізгіште барлық толтырылған жоғары күйлер (басқаша айтқанда өткізу өңіріндегі күйлер) барлық бос төмен күйлерімен (басқаша айтқанда валенттік өңірдегі күйлерімен) әрекеттесуі мүмкін, бірақ, ауысуларда импульсты сақтауға мүмкіншілік беретін аралық процестері болу керек (сур. 1, б). Фононның эмиссиясы - ең ықтимал аралықтағы процесс.

Қоздыру деңгейлері жоғары түзу емес тыйым салынған өңір материалдарында, өңірлердің толуы өскенде және Ферми квази деңгейлері өңірге тереңдей ығысқанда, сәулелену спектрі екі кез келген күйлерінің арасындағы бола алатын, бір бірінен берілген E_g шамасындай алшақ, бастапқы және соңғы күйлерінің арасындағы импульстың айырмашылығына байланысты емес ауысулардан тұрады.

$$I(h\nu) = V'(h\nu - E_g + E_p)^2$$

мұнда E_p - фононның энергиясы, V' - ауысудың ықтималдығы.

Үш денелердің соғысу рекомбинация актының ықтималдығы екі денелердің ықтималдығынан өте төмен болғандықтан, $V' \ll V$ және де сондықтан түзу емес өңірлі материалдардағы люминесценция интенсивтігі түзу өңірлі интенсивтігінен өте кем.

"Өңір-қоспа" ауысуы.

R-типті жартылай өткізгіште өткізу өңірінен акцепторлық деңгейге ауысу мүмкін, n-типті жартылай өткізгіште - донорлық деңгейден валенттік өңірге. Бірінші жағдайда әуелі акцепторлық деңгей валенттік өңірден кемтікті қармайды, одан кейін ол өткізу өңірдегі электронмен рекомбинацияланады, ал екінші жағдайда донорлық деңгей әуелі өткізу өңіріндегі электронды қармайды, одан кейін оның валенттік өңірдің кемтігімен рекомбинациясы болады.

Түзу ауысу кезінде шығарылатын жарық квантының энергиясы

$$h\nu = E_g - E_i,$$

мұнда E_i - қоспа центрінің (донор немесе акцептор) ионизация энергиясы.

Ауысулар түзу емес жағдайында:

$$h\nu = E_g - E_i + E_p$$

мұнда E_p - рекомбинацияға қатысатын фононның энергиясы.

Сонымен "өңір-қоспа" ауысуы кезінде люминесценция спектрінің максимумы "өңір - өңір" ауысулар кезіндегі люминесценция спектрінің максимумына салыстырғанда ұзынтолқынды аумаққа ығыстырылған.

Донорлық деңгей-акцепторлық деңгейге ауысу

Егер жартылай өткізгіштікте ионизация энергиясы E_d донорлар және ионизация энергиясы E_a акцепторлар бар болса, онда олар жұпты құрайды. Егер донор мен акцептордың арасында r арақашылықтығы бар болса, онда донордың электроны акцептордың кемтіктігімен рекомбинацияланған кездегі шығарылған кванттың энергиясы мынадай берумен көрсетіледі:

$$h\nu = E_g - E_d - E_a + (e^2/\chi r)$$

мұнда χ - жартылай өткізгіштіктің диэлектрлік өтімділігі.

Донорлық және акцепторлық атомдар тордың түйіндерінде орналысқасындықтан, r -дың тек қана кейбір дискреттік шамалары болуы мүмкін. Сондықтан осы r шамаларына сәйкес сәулеленудің жінішке сызықтары көрінеді.

Электролюминесценция.

p-n-ауысу түзу бағытпен ығысса инжекцияланған тасушылар ауысудың өзінде немесе p-n-ауысуына жақын жердегі негізгі емес заряд тасушылардың диффузиялық ұзындығымен анықталатын аумақты рекомбинациялады. Негізгі емес тасушылардың рекомбинациясы кристал торына шығарылатын энергияның берумен (сәулеленбейтін рекомбинация) немесе энергиясы жартылай өткізгіштің тыйым салынған өңірінің еніне жақын жарық квантарының шығаруымен (сәулеленетін рекомбинация) іске асуы мүмкін.

Әдетте сәулелену рекомбинациясы жартылай өткізгіштің p- немесе n- аумағында байқалады. Сондықтан негізгі емес тасушылардың сәулелену рекомбинациясы өтетін жартылай өткізгіштің аумағындағы токтың p-n-ауысу арқылы өтетін толық токтың қатынасына тең инжекция коэффициенті γ диодтың маңызды сипаттамасы болып табылады. Басқаша айтқанда, егер сәулелену рекомбинациясы p - аумағында өтсе, онда:

$$\gamma = I_{n0}/(I_{n0} + I_{p0}),$$

мұнда I_{n0} - токтың электрондық компоненті, ал I_{p0} - p-n-ауысумен өтетін токтын кемтіктік компоненті. Егер де сәулелену рекомбинациясы n-ауданында өтсе, онда:

$$\gamma = I_{p0}/(I_{n0} + I_{p0}).$$

Жартылай өткізгіштегі өтетін электролюминесценция қозу процесі сұлбесі 2-ші суретте көрсетілген.

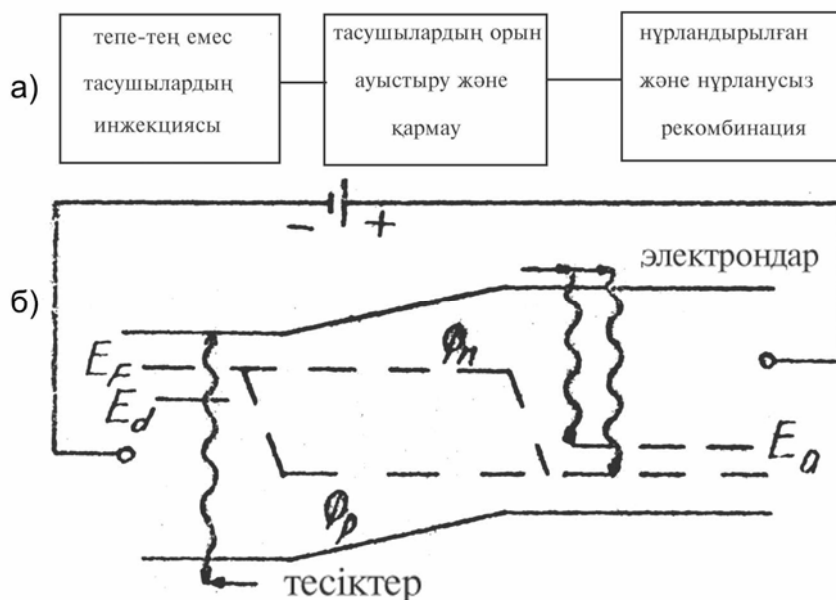


Рис.2. Разделение возбуждения люминесценции на элементарные акты (а), зонная диаграмма p-n-перехода при прямом смещении (б); E_F ϕ_n ϕ_p -уровень й квазиуровни Ферми, E_d - донорные уровни, E_a - акцепторные уровни.

Өлшеу қондырғысы және өлшеу әдісі.

Фото- және электролюминесценцияның спектрлерін зерттейтін қондырғының блок-сұлбесі 3-ші суретте көрсетілген.

Криостатқа орналыстырылған зерттелетін үлгі О, ЛГ лазердің көмегімен қоздырылады. М модулятордың көмегімен лазерлық сәулелер жиілігі 160 Гц жарықтық импульстерге модуляциялады. L_1 линзасы сәулені зерттелетін үлгіге фокустау үшін қолданылады. Жартылай өткізгіштің температура шамалары 77-ден 300-ге К дейін аралықта фото- және электролюминесценциясы зерттеледі. Үлгінің температурасы ТП термокосақпен және В7-23 микровольтметрмен өлшенеді. Лазерлік сәулемен қоздырылған кристалдың рекомбинациялық сәулеленуі L_2 конденсормен МДР-2 монохроматорының кіру саңылауына фокустеледі. Монохроматордан монохроматты сәулеленуі ФЭУ-28 (спектрлік аумағының сезгіштігі 0,4-1,1 мкм-ге тең) фотоэлектрлік көбейткішке түседі, онымен электр сигналға түрлендіріледі де У2-8 селективті (талғауш) күшейткішке беріледі. Нық сигналды алу үшін вольфрам лампы және фотодиод қолданылады. Фотолюминесценция

спектрлері күшейтілгеннен кейін және В9-2 синхродетектордың көмегімен синхрон детектірлеуден кейін өзжазғыш КСП-4-мен жазылады.

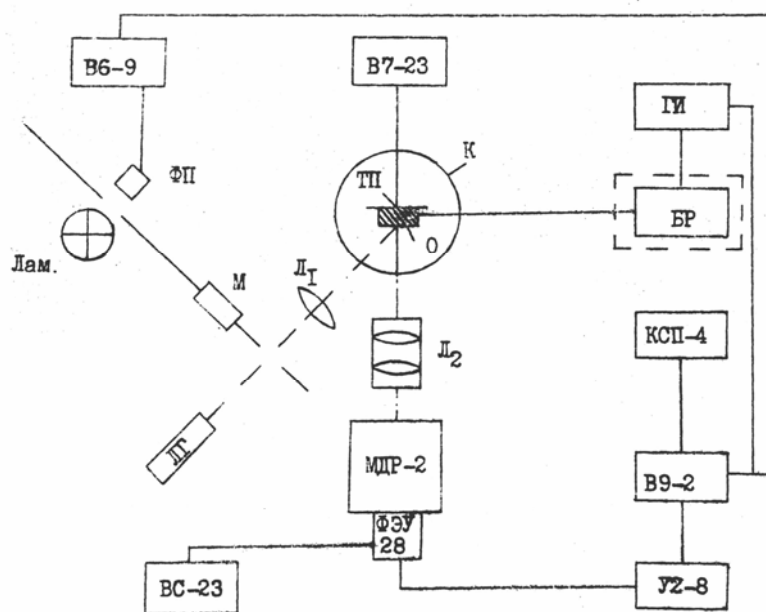


Рис.3. Блок-схема установки для исследования фото- и электролюминесценции.

Электролюминесценцияны өлшеу режимінде ГИ импульс генератордан айнмалы кернеу БР коздыру блогына беріледі және нық сигнал түрінде В9-2 беріледі. БР блогынан ГИ-мен берілген жиілігімен токтың тікбұрышты сигналдары О үлгіге беріледі де онын ішінде электролюминесценцияны коздырады. Әрі қарай сәулеленуді тіркеу фотолуминесценцияның спектірін жазатын сұлбемен бірдей.

ЖҰМЫСТЫҢ ТАПСЫРМАСЫ

1. Жартылай өткізгіштердің фотолуминесценция спектрлерін зерттеу.

- 1.1. Лабораторияда жұмыс істейтін кездегі қауіпсіздік инструкциясымен танысу.
- 1.2. У2-8-ді, В6-9-ды, КСП-4-ті, В9-2-ні, лазердың қоректендіру блогын, жоғарывольттық ФЭУ-28-ді қоректендіру блогын (жоғары кернеуді жалғамай және 30 минуттын ішінде аспаптарды жылытып) электр желісіне қосу.
- 1.3. Криостатқа сұйық азотты құйып және сілкүдін көмегімен қайнау орталарын жою.
- 1.4. Тұтқышқа үлгіні орналыстырып оны сұйық азотқа батыру.
- 1.5. ФЭУ қоректендіру блогына жоғары кернеуді қосу.
- 1.6. Алдын ала монохроматордың барабанының зерттелетін үлгінің фотолуминесценция спектіріне сәйкес көрсеткіштері қойып монохроматордың оптикалық сынауларын ашу.

1.7. Л линзаның көмегімен қоздыру шоғын үлгіде фокустау. К конденсордың көмегімен үлгіні лазердың сәулесіне қатынысты бағыттап У2-8 күшейткіште фотолюминесценцияның ең жоғары сигналын алуға тырысу.

1.8. В9-2-нің "фаза" тұтқасын реттеп аспаптың шкаласында максимал ауытқуын алу.

1.9. МДР-2-нің автоматтық жазбасын жалғап зерттелетін үлгінің фотолюминесценциялық спектірін жазу.

2. Жартылай өткізгіштердің электролюминесценциясын зерттеу.

2.1. 1.5. пункті қоспай, алдыңғы параграфтың 3.1.1-3.1.6 пунктерін орынданыз.

2.2. ГИ генераторды қосыңыз.

2.3. Б5-43 қоректендіру блоғын қосу және диод арқылы өтетін токты 10 мА-ге тең қылып орнату.

2.4. В9-2-нің "фаза" тұтқасын бұрап, аспаптың шкаласында максимал ауытқу алу.

2.5. КСП-4-те зерттелетін үлгінің электролюминесценция спектірін жазу.

Бақылау сұрақтар:

1. Жартылай өткізгіштердегі тепе-тең емес заряд тасушылардың қоздырудың негізгі тәсілдерін аттап шығыңыз.
2. Тураөңірлі және тура емес өңірлі жартылай өткізгіштердегі заряд тасушылардың рекомбинацияның ерекшеліктері қандай?
3. Қоспалы жартылай өткізгіштердің люминесценция спектрінің ерекшелігі неде?
4. Инжекция коэффициенті деп нені айтады?
5. Тура өңірлі және тура емес өңірлі материалдағы люминесценция мәнінің қандай ерекшелігі болады, неге?

1. Перечислите основные способы возбуждения неравновесных носителей заряда в полупроводниках.
2. Каковы особенности рекомбинации носителей заряда в прямозонных и непрямозонных полупроводниках?
3. Чем отличается спектр люминесценции примесных полупроводников?
4. Что такое коэффициент инжекции?
5. Как отличается величина интенсивности люминесценции в материалах с прямой и непрямой шириной запрещенной зоной и почему?

ҚОЛДАНЫЛҒАН ШЫҒАРМА КӨЗДЕРІ

1. Шалимова К.В. Физика полупроводников. - М.: "Энергия", 1976.
2. Берг А., Дин П. Светодиоды. - М.: "Мир", 1979.