

Кисабекова Әсемгүл Ағыбайқызының
«6D072300 – Техническая физика» мамандығы бойынша философия докторы
(PhD) дәрежесін алуға ұсынылған «Ақ жарық диодтар үшін Bi^{3+} иондарымен
белсендірілген перспективті материалдар – ниобат
лантаноидтер спектроскопиясы» диссертациялық жұмысының
АННОТАЦИЯСЫ

Диссертациялық зерттеудің мақсаты

Бұл жұмыстың мақсаты Bi^{3+} иондарымен белсендірілген ниобат лантаноидтерінің: $\text{YNbO}_4:\text{Bi}$, $\text{GdNbO}_4:\text{Bi}$, $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}$ және $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}, \text{Eu}$, сондай-ақ белсендірілмеген ниобаттың LuNbO_4 люминесценция сипаттамаларын егжей-тегжейлі эксперименталды зерттеу; олардың сәулелену жолақтарының табиғатын түсіндіру; люминесценция орталықтарының сәйкес қозған күйлерінің құрылымы мен параметрлерін анықтау; люминесценция орталықтарының қозған күйлерінде болатын процестердің механизмдерін түсіндіру болып табылады. $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}, \text{Eu}$ ниобатын зерттеудің мақсаты Bi^{3+} иондарынан Eu^{3+} иондарына энергия беру процестерін зерттеу болып табылады, бұл ақ жарық диодтарындағы осы материалдың мүмкін болатын практикалық қолданылуын бағалау үшін қажет.

Зерттеудің міндеттері. Диссертациялық жұмыс барысында келесі нақты ғылыми міндеттер қойылды және шешілді:

1. Bi^{3+} иондарымен белсендірілген YNbO_4 , GdNbO_4 , LuNbO_4 ниобаттары, сондай-ақ белсендірілмеген LuNbO_4 және $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}, \text{Eu}$ ниобаттары үшін кең температура диапазонындағы (4,2 – 500 К) сәулелену және қозу спектрлерін, сондай-ақ люминесценцияның өшу кинетикасын зерттеу.

2. Осы материалдардың люминесценция интенсивтілігінің Bi^{3+} концентрациясына тәуелділігін зерттеу.

3. Люминесценция орталықтарының табиғатын, сонымен қатар осы материалдардағы жұту (қозу) және сәулелену жолақтарын анықтау.

4. Осы материалдардың меншікті люминесценциясына және Bi^{3+} иондарымен байланысты люминесценцияға жауап беретін қозған күйлердің құрылымы мен параметрлерін анықтау.

5. $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}, \text{Eu}$ үлгілеріндегі $\text{Bi}^{3+} \rightarrow \text{Eu}^{3+}$ энергиясының берілу механизмін зерттеп, осы материалды ақ жарық диодтарда пайдалану мүмкіндіктерін бағалау.

6. Bi^{3+} иондарымен белсендірілген YNbO_4 , GdNbO_4 , LuNbO_4 ниобаттары үшін кең температура диапазонындағы фотолюминесценция мен катодолюминесценция спектрлерін салыстыру.

Зерттеу әдістері

Үлгілер фотолюминесценттік сипаттамалары уақыт бойынша ажырату спектроскопия әдістерімен және люминесценцияның стационарлы қозу арқылы эксперименттік зерттеулер кең температура диапазонында (4.2 - 500 К) жүргізілді.

Bi^{3+} иондарымен белсендірілген YNbO_4 , LuNbO_4 , GdNbO_4 микрокристалды ұнтақтардың катодолюминесценттік сипаттамалары ~ 100 кэВ импульсті электронды қоздыруында сәулелену тереңдігі 20 мкм-ден жоғары кезінде өлшенді.

Қорғауға шығарылатын нәтижелер:

1. Активтендірілмеген және белсендірілген Bi^{3+} лантанидті ниобаттардың кең шығарынды жолақтары YNbO_4 , GdNbO_4 , LuNbO_4 үлкен Стокс ауысымдары люминесценция орталығының үштік қозған күйінен өтуіне байланысты. Осы күйдің салыстырмалы түрде төмен ($\sim 1\text{мэВ}$) спин-орбитаға бөліну энергиясы барлық байқалған сәулелену жолақтарының экситон тәрізді сипатын көрсетеді; Bi^{3+} ионының үштік релаксацияланған қозған күйі өткізгіштік аймақтың ішінде орналасқан. Зерттелетін материалдарда Bi^{3+} ионының үштік релаксацияланған қозған күйінің радиациялық ыдырауынан туындаған сәуле жоқ (яғни, электронды ауысулар ${}^3\text{P}_1 \rightarrow {}^1\text{S}_0$). Экситондық сипаттағы люминесценция Bi^{3+} ионының ${}^1\text{S}_0 \rightarrow {}^3\text{P}_1$ ауысуларына сәйкес келетін Bi^{3+} ионының негізгі күйінен оның үштік қозған күйіне фотостимуляцияланған электронды ауысулар нәтижесінде пайда болады.

1. Үлкен Стокс ауысымдары бар белсендірілмеген және белсендірілген Bi^{3+} ниобат лантаноидтерінің YNbO_4 , GdNbO_4 , LuNbO_4 кең сәулелену жолақтары люминесценция орталығының үштік қозған күйінен өтуіне байланысты. Бұл күйдің салыстырмалы түрде төмен ($\sim 1\text{ мэВ}$) спин-орбитальдік бөліну энергиясы барлық байқалған сәулелену жолақтарының экситон тәрізді сипатын, Bi^{3+} ионының үштік релаксацияланған қозған күйі өткізгіштік зонасының ішінде орналасқандығын көрсетеді. Зерттелетін материалдарда Bi^{3+} ионының үштік релаксацияланған қозған күйінің (яғни, электронды ауысулар ${}^3\text{P}_1 \rightarrow {}^1\text{S}_0$) радиациялық ыдырауынан туындаған сәулеленудің болмауын түсіндіреді. Экситондық сипаттағы люминесценция Bi^{3+} ионының негізгі күйінен оның еркін Bi^{3+} ионының ${}^1\text{S}_0 \rightarrow {}^3\text{P}_1$ ауысуларына сәйкес келетін үштік қозған күйіне фотостимуляцияланған электронды ауысулар нәтижесінде пайда болады.

2. Bi^{3+} иондарымен белсендірілген ниобаттардың сәулелену интенсивтілігінің зерттелетін үлгілердегі висмут концентрациясына тәуелділігі бұл материалдардың күрделі көрінетін сәулелену жолақтары бір Bi^{3+} иондарының жанында және $\{\text{Bi}^{3+} - \text{Bi}^{3+}\}$ димерлер маңында локализацияланған экситондардың радиациялық ыдырауынан тындайтын екі компоненттен тұратындығын көрсетеді.

3. $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}, \text{Eu}$ ниобатындағы Bi^{3+} иондарымен байланысты люминесценттік орталықтардан Eu^{3+} иондарына энергияның берілуі анықталды және осы материалды ақ жарық диодтарында қолдану мүмкіндігі бағаланды.

4. $\text{YNbO}_4:\text{Bi}$, $\text{GdNbO}_4:\text{Bi}$, $\text{LuNbO}_4:\text{Bi}$ ниобаттардың қарқынды кең катодлюминесценттік жолақтары күрделі құрылымға ие және олар экситондық сипаттағы бірнеше жолақтардың суперпозициясы болып табылады. Спектрдің ультракүлгін аймағындағы әлсіз ультражылдам сәулелену ВЗЛ ішкі зоналық люминесценциясы деп аталатын сәулеленуіне жатады.

Негізгі нәтижелердің сипаттамасы:

Стационарлық және импульсті фотолюминесценцияны қоздыруы кезінде белсендірілмеген және белсендірілген Bi^{3+} ниобат лантаноидтерін кең температура диапазонында ($4.2 - 500\text{ K}$) зерттеу кезінде анықталды, үлкен Стокс ауысымдары бар бұл материалдардың кең сәулелену жолақтары люминесценция орталығының үштік қозған күйінен ауысулардан болатыны анықталды. Бұл күйдің салыстырмалы түрде төмен ($\sim 1\text{ мэВ}$) спин-орбитальдік бөліну энергиясы барлық байқалған сәулелену жолақтарының экситон тәрізді сипатын көрсетеді.

Алынған мәліметтерден Bi^{3+} ионының үштік релаксацияланған қозған күйі өткізгіштік зонасының ішінде орналасқандығы шығады. Бұл тұжырым Bi^{3+} ионының үштік релаксацияланған қозған күйінің (яғни, электронды ауысулар ${}^3\text{P}_1 \rightarrow {}^1\text{S}_0$) радиациялық ыдырауынан туындаған сәулеленудің зерттелетін материалдарда болмауын түсіндіреді. Экситондық сипаттағы люминесценцияның пайда болуы Bi^{3+} ионының негізгі күйінен оның еркін Bi^{3+} ионының ${}^1\text{S}_0 \rightarrow {}^3\text{P}_1$ ауысуларына сәйкес келетін үштік қозған күйіне фотостимуляцияланған электронды ауысулар нәтижесінде болады.

Bi^{3+} иондарымен белсендірілген ниобаттардың сәулелену интенсивтілігінің зерттелетін үлгілердегі висмут концентрациясына тәуелділігінен, күрделі көрінетін сәуле шығару жолағы экситондардың жалғыз Bi^{3+} иондарының маңында немесе $\{\text{Bi}^{3+} - \text{Bi}^{3+}\}$ димерлерінің жанында локализацияланған ыдырауынан туындайтын екі компоненттен тұрады деген қорытынды жасалды.

$\text{LuNbO}_4:\text{Bi},\text{Eu}$ ниобаттарында қоздырылған Bi^{3+} иондарынан Eu^{3+} иондарына сәулеленбейтін энергияның тиімді ауысуы болатындығы анықталды.

Катодолюминесценция мен фотолюминесценцияны салыстырмалы түрде талдау барлық зерттелген ниобаттардың интенсивті кең катодолюминесценттік жолақтары кешенді құрылымға ие және олар бір Bi^{3+} қоспаға немесе олардың димерлеріне $\{\text{Bi}^{3+} - \text{Bi}^{3+}\}$ жақын оқшауланған экситондар мен автолокализацияланған (матрицалық) экситондардың сәулелену жолақтарының суперпозициясы болып табылады деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Ішкі зоналық люминесценция деп аталатын спектрдің ультрафиолет аймағында әлсіз ультра жылдам сәулеленудің болуы көрсетілген.

Нәтижелердің жаңалығы мен маңыздылығын сипаттау

Зерттеу нәтижелерінің ғылыми жаңалығы мен теориялық маңыздылығы:

Bi^{3+} ионымен белсендірілген лантаноид ниобаттарының YNbO_4 , LuNbO_4 , GdNbO_4 және активтендірілмеген LuNbO_4 ниобатының фотолюминесценция сипаттамаларын стационарлық қоздыру кезінде де, уақыт бойынша шешілетін спектроскопия әдістерімен де температураның кең диапазонында (4.2 – 500 K) толық зерттеу алғаш рет кеңінен жүргізілді, бұл осы материалдардың экситонды табиғатын орнатуға мүмкіндік берді.

Люминесценция интенсивтілігінің Bi^{3+} концентрациясына тәуелділігі өлшенді, бұл Bi^{3+} легирленген ниобаттарының күрделі көрінетін сәулелену жолағы бір Bi^{3+} иондарының жанында және $\{\text{Bi}^{3+} - \text{Bi}^{3+}\}$ жұпталған орталықтар маңында локализацияланған экситондардан тудыратын екі компоненттен тұратындығын анықтауға мүмкіндік берді.

Bi^{3+} иондарының жұту жолағында зерттелген материалдарды қоздыру кезінде экситондық сипаттағы сәулеленудің пайда болуына әкелетін процестер қарастырылды.

$\text{LuNbO}_4:\text{Bi},\text{Eu}$ үлгілеріндегі Bi^{3+} иондарынан Eu^{3+} иондарына энергия беру механизмі және мұндай энергия беру тиімділігінің Eu^{3+} концентрациясына тәуелділігі жан-жақты зерттелді.

$\text{LuNbO}_4:\text{Bi},\text{Eu}$ үлгілері үшін люминесценцияның кванттық шығу мәндері мен CIE түстілік координаттары анықталды және осы материалды ақ жарық диодтарында пайдалану мүмкіндігі бағаланды.

Bi^{3+} иондарымен белсендірілген YNbO_4 , GdNbO_4 , LuNbO_4 ниобаттары үшін кең температура диапазонындағы фото- және катодолюминесценция спектрлерін салыстыру жүргізілді.

Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер практикалық қолдану үшін ең перспективалы болып спектрдің көрінетін аймағында экситонды сипаттағы кең сәулелену жолақтары бар Bi^{3+} иондары қосылған материалдар, яғни Bi^{3+} ионының ең төменгі қозған күйі матрицаның өткізгіш диапазонының төменгі жағында орналасқан материалдар болуы мүмкін екенін көрсетеді. Алынған нәтижелер ақ жарықдиодты шамдар үшін, сондай-ақ өрістік эмиссия дисплейлері үшін арзан және тиімді люминофорлар алу мақсатында висмутпен легирленген лантаноид ниобаттарын одан әрі оңтайландыруға негіз ретінде қолдануға мүмкіндік береді.

Ғылымның даму бағыттарына немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкестігі

Диссертациялық жұмыс Қазақстан Республикасында жүзеге асатын ғылыми жұмыстардың және жаңа ғылыми негіздеріне жатады, сонымен қатар орындалған жұмыстың нәтижесі маңызды ғылыми бағыттардың дамуы үшін қажет.

Ізденушінің қосқан әр басылымды дайындауға қосқан жеке үлесі

Диссертацияда көрсетілген зерттеу нәтижелерін автор жеке өзі, сондай-ақ Тарту университетінің физика институтының иондық кристалдар физикасы зертханасының қызметкерлерімен (Тарту, Эстония) және Польша Ғылым академиясының Физика институтында алды, жарияланымдарда көрсетілген.

Нәтижелерді талқылау және талдау ғылыми консультанттармен, сондай-ақ физика-математика ғылымдарының докторы С.Г. Зазубовичпен және физика бойына философия докторы А.С. Красниковпен бірге жүргізілді.

Диссертациялық зерттеудің негізгі нәтижелері диссертация тақырыбына толық сәйкес келетін 8 баспа жұмыстарында жарияланды. Оның ішінде 2 мақала Web of Science және Scopus мәліметтер базасына енгізілген рецензияланған ғылыми журналдарда, ал 6 тезис халықаралық ғылыми конференциялар жинағында жарияланған.

Диссертацияның негізгі нәтижелері халықаралық ғылыми конференцияларда баяндалды және талқыланды: 20th International Conference on «Radiation Effects in Insulators» (Нур-Султан, Қазақстан 2019); 7th International Congress on «Energy Fluxes and Radiation Effects» (Томск, Россия, 2020); 9th international conference on «Radiation in various fields of research» (Herzeg-Novi, Montenegro, 2021); 8 Халықаралық ғылыми конференция «Физика. Технологии. Инновации» (Екатеринбург, Россия, 2021), Халықаралық ғылыми конференция «Тенденции развития физики конденсированных сред» (Фергана, Узбекистан, 2021).