Төлепов Жандос Қайырмағанбетұлының

«Модификацияланған GeSbTe қабыршақтарының құрлымы мен электрондық қасиеттері»

PhD докторлық диссертацияна

6D071000 - Материалтану және жаңа материалдар технологиясы мамандығы бойынша

АҢДАТПА

Жұмыстың жалпы сипаттамасы: Диссертацияда Ge-Sb-Te жүйесіндегі висмут қоспасымен түрлендірілген $Ge_2Sb_2Te_5$ халькогенидті шынытектес жартылайөткізгіштердегі жұқа қабықшалардың құрылымы мен электронды қасиеттерін эксперименталды зерттеу нәтижелері келтірілген.

Тақырыптың өзектілігі. Физика және техникада кристаллдық емес материалдар - конденсірленген күй физикасы, материалтану және нанотехнология саласында қарқынды дамып келе жатқан физика тармақтарының бірі болып табылады. Кристаллдық емес құрылымды материалдардың ішінен, ерекше қасиеттері мен құбылыстарға: өту және жады эффектісі, фотоқұрылымды түрлендіру, қоспаның электронды қасиетке әлсіз әсері, кристалды материалдардың арасында ұқсастығы жоқ, керемет ерекше орынды халькегонидті шынытектес жартылай өткізгіштер (ХШЖ) алады. ХШЖ – ның мұндай қасиеттері оның атомдық құрылымының ерекшелігі мен атомдағы электрон жұптарының бөлінбегендігімен және орныққан электрондық күйдің үлкен тығыздығымен ерекшеленеді. Бұның негізін тыйым салынғын зонаның ортасындағы Ферми деңгейін орнықтыратын құрылымның өздік зарядталған ақаулары құрайды.

ХШЖ жұқа қабыршақтарында өту эффектісі байқалады және ол қатты электр өрісіндегі ХШЖ кедергісінің азаюымен байланысты. Өту эффектісінен кейін оны қайта кристалдануға алып келетін, құрылымның локалды қайта құрылысы байқалса, және сыртқы электр өрісі болмаған жағдайда төменгі кедергі сақталса, мұндай эффект –жад эффектісі деп аталады.

Осы эффекттің негізінде есте сақтайтын құрылғыларда: энерготәуелсіз жад PCM (PhaseChangeMemory), информацияны тасымалдайтын жеке класс қалыптастырылды.

PCM құрылғыларындағы қолданылатын материалдарға ХШЖ –ң күрделі құрамы қолданылады және ол $GeTe\text{-}Sb_2Te_3$ квазибинарлық сызығында жатады. Ал $Ge_2Sb_2Te_5$ құрамды жұқа қабыршақтар PCM құрылғыларында қолдануға маңызы зор.

Басқа жағынан, электрондық қасиеттермен және ХШЖ негізіндегі жартылай өткізгішті материалдардың құрылымын басқаруға мүмкіндіктің болуы, олардың қолдану аймағын кеңейтеді.

Жоғарыда көрсетілген әдіспен ХШЖ аз мөлшердегі концентрациямен енгізілген қоспалар, әдетте электр активтілігін көрсетпейді, өйткені құрылымның өздік зарядталған ақауларымен жойылады, ал қоспалардың концентрациясының өсуі кристалдануға алып келеді. ХШЖ физико-химиялық

қасиеттерінің өзгеруі үшін екі әдіс қолданылады. Ол әдістер құрылымдық және қоспалық модификациялауға негізделген. ХШЖ ион-плазмалық жоғары жиіліктегі тозаңдату әдісін іске асыруға мүмкіндік береді. Бір жағынан [2] ион-плазмалық тозаңдату арқылы алынған ХШЖ қабықшаларының құрылымында және вакуумдағы термиялық буланuы нәтижесінде алынған қабықшалардағы электронды параметрлердің айырмашылығы, бұл атомдардың буланuы мен конденсациясының едәуір әр түрлі жағдайларымен байланысты. Екінші жағынан, иондық-плазма әдісі ХШЖ және металдың бір-біріне шағылыстыру арқылы жоғары қоспалар концентрациясымен аморфты қабықшалар алуға мүмкіндік береді, олардың кристалданудан аулақ болуына және олардың электрондық қасиеттерін айтарлықтай өзгертуге мүмкіндік береді [3]. ХШЖ электронды қасиеттерін бақылаудың бұл әдісі әдебиетте «суық» допинг әдісінің атауы немесе модификациясы (химиялық модификация) [4] болды. Бұдан басқа, $Ge_2Sb_2Te_5$ композициясы сияқты күрделі және көпкомпонентті композициялардың пленкаларын алу үшін ион-плазмалық спирттеу әдісі термиялық буланудың кеңінен қолданылатын әдісі бойынша бірнеше артықшылыққа ие, себебі бұл компоненттердің осы ара қатынасы бар біртекті композицияның қабыршақтарын алуға мүмкіндік береді.

Біздің зерттеулерімізде, висмут $Ge_2Sb_2Te_5$ қабыршақтарында қоспалар ретінде модификациялау қолданылды. Бұл $Ge_2Sb_2Te_5$ композициясының негізгі компоненттерінің бірі үшін изовалентті және изоморфты қоспалар болуы мүмкін және Bi ауыстыру тетігі арқылы допинг жасауға мүмкіндік береді [5, 6]. Сонымен қатар, висмут атомдары қазіргі уақытта жұмыс істейтін бос орындарға $Ge_2Sb_2Te_5$ құрылымында толтыра алады, олардың концентрациясы [7-9] сәйкес 20% дейін жетуі мүмкін. Висмутпен Ge-Sb-Te композицияларының модификациясы олардың кристалдану уақытының 30% -ға [10,11] және өткізгіштігінің *p*-типінен *n*-типінен түрленуіне әкеледі [12, 13]. Дегенмен, осы бірнеше жұмыста $Ge_2Sb_2Te_5$ пленкаларының құрылымына, оптикалық және электр қасиеттеріне висмут қоспасының ықпалын жан-жақты зерттеу жүргізілмеді және коммутация мен жады тиімділігі зерттелмеді.

Осылайша, висмутпен қоспаларды модификациялау арқылы $Ge_2Sb_2Te_5$ кристалды емес жартылай өткізгіш материалдың электрондық қасиеттерін бақылаудың тиімділігін анықтау үшін $Ge_2Sb_2Te_5$ <Bi> материалының құрылымы мен электрондық қасиеттерін жан-жақты зерделеу қажет.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты ион-плазмалық жоғары жиілікті тозаңдату арқылы алынған Bi қоспасы түрлендірілген ХШЖ композициясының $Ge_2Sb_2Te_5$ аморфты және кристалды жұқа қабықшаларының құрылымы мен электрондық қасиеттерін зерттеу болып табылады.

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды:

- аргон атмосферасындағы ион-плазмалық жоғары жиіліктегі тозаңдату әдісімен бастапқы ХШЖ құрамына сәйкес келетін компоненттерге қатынасы бар $Ge_2Sb_2Te_5$ композициясының жұқа аморфты қабықшаларын шығару технологиясын әзірлеу;

- модифицирленген аморфты $Ge_2Sb_2Te_5$ <Bi> қабықшаларын алудың технологиясын әзірлеу, құрамдастырылған мақсатты халькогенидті жартылай өткізгішті металды ион-плазмалық жоғары жиіліктегі шағылыстыру арқылы жасау;

- Аморфтық және кристалдық күйлердегі $Ge_2Sb_2Te_5$ және $Ge_2Sb_2Te_5$ <Bi> қабықшаларының құрамын және құрылымын зерттеу;

- қабықшалардың оптикалық контрастты және олардың негізгі жартылай өткізгіштік параметрлерін анықтау үшін аморфты және кристалды жұқа қабыршақтардың $Ge_2Sb_2Te_5$ <Bi> оптикалық және электр қасиеттеріне висмут қоспасының әсерін зерттеу;

- Bi қоспасының жұқа $Ge_2Sb_2Te_5$ <Bi> қабықшаларының өту және жады эффектілеріне тиімділігінің параметрлерін зерттеу.

Зерттеу нысаны. Ион-плазмалық тозаңдату әдісімен алынған аморфты және кристалды $Ge_2Sb_2Te_5$ және $Ge_2Sb_2Te_5$ <Bi> жұқа қабыршақтары

Зерттеу пәні. Аморфты және кристалды жұқа қабыршақтардың висмут қоспасымен модифицирленген $Ge_2Sb_2Te_5$ құрылымы мен электронды қасиеттері және өту эффектісінің параметрлері.

Эксперименттік және теориялық әдістер. Қабыршақтардың құрамы мен құрылымы энергетикалық дисперсті талдау әдісі және сканерлеуші электрондық микроскопия әдістері, Рамандық спектроскопия әдісімен зерттелді; Рентгендік фотоэлектрондық спектроскопия; электрлік, оптикалық және фотоэлектрлік қасиеттерін зерттеу әдістерін, сондай-ақ өту және жады эффектісін зерттеу әдістері қолданылды.

Сенімділік және жарамдылық. Эксперименттер қазіргі заманғы құрал-жабдықтарда дәлелденген зерттеу әдістерін және инновациялық тәсілдерді қолдана отырып жүргізілді. Нәтижелерді талқылау кафедраның ғылыми семинарларында, осы саладағы жетекші сарапшылардың қатысуымен халықаралық және республикалық конференцияларда, симпозиумдарда жүзеге асырудың әр кезеңінде өткізілді. Алынған нәтижелер Thompson Reuters және Scopus дерекқорларының бөлігі болып табылатын халықаралық конференциялардың мерзімді басылымдарында және жарияланымдарында жарияланымдарды қарастыру кезінде дәлдік пен жарамдылық үшін сыналды. Сондай-ақ, зерттеу нәтижелері негізінде автор Қазақстан Республикасының патенттік ведомствосында сынақтан өтіп патент алған.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы

- Висмут қосасының концентрациясы 15,9% -ке дейінгі жұқа аморфты және кристалды $Ge_2Sb_2Te_5$ <Bi> қабықшаларының құрылымын және электрондық қасиеттерін жан-жақты зерттеудің нәтижелері. Ион-плазмалық жоғары жиілікті тозаңдату арқылы алынған. Висмут кластерлерінің қабыршақтар құрылымында жоқ екендігі анықталды, ал аморфты және кристалды пленкалардың негізгі жартылай өткізгіш параметрлері қоспаның концентрациясына байланысты.

- Алғаш рет XPS әдісімен қолданылғанда, висмут атомдары аморфты және кристалды қабаттарда матрицалық компоненттермен әртүрлі химиялық

қосылыстарды түзеді және 6.3 ат.% концентрациясы кезінде, висмут тек теллур атомымен өзара әрекеттеседі, яғни Bi_2Te_3.

- $Ge_2Sb_2Te_5$ <Bi> қабыршақтарындағы оптикалық контрастты (ОК) спектральды бөлу зерттелді. Көрінетін жарық диапазонында $Ge_2Sb_2Te_5$ <Bi> үшін ОК мәні, қоспаларсыз қабыршақтарға қарағанда айтарлықтай көп екенін анықтады. $Ge_2Sb_2Te_5$ <Bi 6,3 ат.%> қабыршақтары алғаш рет спектральды диапазондағы 630-дан 800 нм-ге дейін, сондай-ақ $Ge_2Sb_2Te_5$ Bi-тің 15,9 ат.% -ға дейін 360-тан 600 нм-ге дейінгі диапазонда сипатталады.

- Висмут қоспасының $Ge_2Sb_2Te_5$ <Bi> жұқа қабыршақтарында коммутациялық және жады тиімділігіне әсері зерттелді. Бірінші рет көрсеткендей, Bi концентрациясы ~ 6,3% болатын қабыршақтар оңтайлы жады параметрлерімен сипатталады.

Зерттеудің практикалық маңызы

- Ион-плазмалық жоғары жиілікті тозаңдатуы арқылы $Ge_2Sb_2Te_5$ < Bi > қабыршақтарында Bi концентрациясы 15,9% -ға дейін алуға болады. Металл висмут кластерлері жоқ аморфты құрылыммен.

- Висмутпен қоспалармен модификациялаудың кең ауқымы бойынша $Ge_2Sb_2Te_5$ композициясының аморфты және кристалды жұқа қабықшаларының электрондық қасиеттерін тиімді бақылау мүмкіндігі көрсетілген.

- Bi концентрациясы бар $Ge_2Sb_2Te_5$ <Bi> қабыршақтары 6,3 және 15,9 ат.% тең. Оптикалық CD-RW, DVD, Blu-Ray дискілері үшін перспективті материалдар.

- $Ge_2Sb_2Te_5$ <Bi 6.3 ат.%> қабыршақтар заманауи ақпаратты жазу және сақтау үшін энергиядан тәуелсіз жады үшін перспективті материал болып табылады.

Қорғау ережелері

- Жоғары жиілікті иондық-плазмалық тозаңдату әдісімен алынған Bi қоспасымен концентрациясы 15,9 ат.%- ке дейін модификацияланған $Ge_2Sb_2Te_5$ қабыршақтары аморты құрлымға ие және химяилық құрылымы келесі байланыстармен анықталады: Bi_2Te_3, Sb_2Te_3, GeTe и Sb_2O_3,GeO_2 және Ge, Sb, Te элементтері.

- $Ge_2Sb_2Te_5$ <Bi> аморфты қабыршақтарының кристаллдану кезінде аморфты күйде кездеспейтін қосымша химиялық қоспалар түзеді: TeO_2, Bi_2O_3, $BiSbO_4$, $Bi_2Sb_2O_4$ және $Bi_2Ge_3O_9$

- $Ge_2Sb_2Te_5$ <Bi> қабыршақтарында оптикалық контрастың шамасы мен спектралді таралуын висмут қоспасының концентрациясын өзгерту арқылы оңтайлы басқаруға болады.

-.Өту және жады эффектісінің параметрлері висмут қоспасының концентрациясы 6,3 ат.% кезінде эффективті болуының бірден-бір себебі, оның құрлымына байланысты, себебі, қабыршақ аморфты және кристалды күйде висмут атомдары тек қана теллур атомдарымен байланыс түзеді.

Жұмыстың апробациясы. Жұмыстың негізгі нәтижелері туралы:

- 13th Inter. Conf. “NON-CRYSTALLINE MATERIALS” (NCM-13). 24-29 jul., Canada, Halifax. -2016.
- IEEE 36th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2016) - 19-21 April, Kiev, Ukraine. - 2016
- Международная конференция «Аморфные и микрокристаллические полупроводники» (AMS), 4-7 июля Санкт-Петербург, Россия. -2016.
- XIII международная научная конференция «Физика твердого тела» (ФТТ), 26-28 апреля Астана, Казахстан. -2016.
- IV International Scientific Conference “Modern problems condensed matter physics, nanotechnologies and nanomaterials”. 10-12 october, Almaty, Kazakhstan. -2016.
- 10th Intern. Conf. “Chaos and structures in nonlinear systems. Theory and experiment”. Almaty, Kazakstan, 2017.
- V Международная научная конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ, НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ» (Сарсембиновскме чтения), 17-18 мая, Алматы, Казахстан. -2018.

Диссертациялық жұмыстың зерттеу бағдарламалары. Диссертациялық жұмыс тақырыптар №ГР 0215RK01347 (2015-2017) және №ГР 0118RK01188 жаратылыстану ғылым саласындағы негізгі ғылыми-зерттеу ҒК ҚР БҒМ басым «іргелі зерттеулер» гранттық қаржыландыру ғылыми-зерттеу бағдарламасы бойынша жүзеге асырылды (2018-2019 жылдарға).

Диссертацияның жарияланымдары мен жеке үлесі. Диссертациялық жұмыстың материалдарына сәйкес 10 мақала жарияланды, соның ішінде Thomson Reuters және Scopus деректер базасына енгізілген (IF = 2.48; SJR = 0.72), 4 басылым (соның ішінде 1 патент) , 6-ы халықаралық конференциялар материалдарында, оның 4-і Thompson Reuters деректер базасына енгізілген.

Диссертацияның көлемі мен құрылымы. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, үш бөлімнен, қорытындыдан және әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмысы баспадан 102 беттен тұрады, 83 фигура, 12 кесте және 99 атаудан алынған анықтамалар тізімі бар.