

ӘӨЖ 539.1

АРСЕНИД НЕГІЗІНДЕГІ МАГНИТ ӨРІСІНІҢ РАДИАЦИЯЛЫҚ- ТҰРАҚТЫ СЕНСОРЛАРЫ

Ұласбек Бақдаулет Сәкенұлы

[*Spr_rvt@mail.ru*](mailto:Spr_rvt@mail.ru)

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, физика-техникалық факультетінің
магистранты, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Ғылыми жетекші: Бекмуханбетова Динара Байгельдыевна., т.ғ.к., доцент

Аннотация: III–V топтағы жартылай өткізгіш материалдардың радиациялық тұрақтылығын зерттеу маңызды және өзекті мәселе болып табылады. Радиациялық төзімді жартылай өткізгіш материалдарға негізделген магниттік датчиктер термоядролық өнеркәсіптік және эксперименттік реакторлардың магнит өлшеу жүйелерінде кеңінен қолданылады. Нейтронды сәулелену жағдайында жартылай өткізгіш материалдарды зерттеудің негізгі тәсілдері және InSb, InAs Үнді жартылай өткізгіш материалдарын және олардың InAs x Sb1-x қорытпаларын сынау бойынша кейбір эксперименттердің нәтижелері келтірілген. Радиациялық жағдайларда материалдарды және магниттік диагностикалық датчиктерді жедел бақылауға арналған жабдықты әзірлеудің ұсынылған тәжірибесі ИТЭР және басқа термоядролық реакторлар жағдайларына жақын жағдайларда материалдардың кең спектрін сынау үшін пайдаланылады.

Жоғары радиациялық белсенділік аймақтарында магнит өрісін өлшеу уақтылы шешуді талап ететін маңызды міндет болып табылады. Мысал мен дәлел-бұл өлшеу плазманы тұрақтандыру және ұстап тұру үшін қажет термоядролық реакторлардың жұмысы. Магнит өрісінің сенсорларының ең сенімді және қарапайым түрлерінің бірі-жартылай өткізгіш (сирек металл) материалдағы Холл әсеріне негізделген Холл сенсорлары. Датчиктер жоғары

сезімталдыққа, сондай-ақ әртүрлі сәулелену түрлерінің әсерінен жоғары өнімділікке ие болуы керек. Негізінен нейтрон ағындары, бірақ зарядталған бөлшектердің ағындарына, гамма-сәулеленуге және басқаларға қатысты маңызды және төзімді. Сонымен қатар, құрылғылар жоғары температуралық тұрақтылыққа ие болуы керек.

Қазіргі заманғы жартылай өткізгіш технология әр түрлі материалдар негізінде Холл сенсорларын жасауға мүмкіндік береді, және, ең бастысы, эпитаксия әдісі арқылы әртүрлі химиялық қосылыстардың наноөлшемді монокристалды қабаттарын бір кристалда біріктіре отырып, олардың қабатты құрылымын құруға мүмкіндік береді. Әдетте, магнит өрісінің Холл сенсорларын жасау үшін GaAs және InAs сияқты жоғары электронды қозғалғыштығы бар жартылай өткізгіш материалдар қолданылады. Әр түрлі эпитаксиалды технология мен құрылғылардың қабатты құрылымы радиацияның әсерінен әртүрлі әсерлерге әкелетіні эксперименталды түрде анықталды. Сондықтан әр түрлі материалдар мен наногетероқұрылымдардың конструкцияларын пайдалана отырып, холл эффектісі негізінде магнит өрісінің сенсорларына сәулеленудің әртүрлі түрлерінің әсерін егжей-тегжейлі зерттеу қажет.

Бәрімізге белгілі, бұл тақырып "арсенидті наногетероқұрылымдарға негізделген магниттік өрістің радиациялық-тұрақты сенсорлары" қарқынды зерттелуде. Сондықтан, осы мақалада біз осы бағытта зерттеу жүргізген ресейлік және шетелдік авторлардың еңбектерін қарастырамыз.

Біз қарастыратын алғашқы жұмыс-авторлар А. В.Войцеховский, Н. А. Кульчицкий, А. А. Мельников және А. П. Коханенконың "Ge кванттық нүктелері бар Si/Ge наноқұрылымдарының электрлік сипаттамалары" тақырыбындағы мақаласы. Бұл жұмыстың мәні мынада, мұнда Ge/ Si наноқұрылымдарының электрлік қасиеттері туралы әдеби мәліметтерге толық талдау жасалады. Жұмыстың мазмұны мен зерттеуі бойынша ол біздің тақырыбымызға жақын, өйткені бұл жұмыста кванттық нүктелері бар жартылай өткізгіш құрылымдардың ерекшеліктері және олардың электрофизикалық қасиеттері сипатталған. Сондай - ақ, бұл мақалада Ge кванттық нүктелері бар жартылай өткізгіш Ge/ Si-наногетероқұрылымдардың электрофизикалық параметрлерін өзгерту әдістеріне шолу жасалды. Авторлар Ge/Si наногетероқұрылымдарының вольт-фарадтық сипаттамасына толығырақ тоқталады. Зерттеушілердің пікірінше, вольт-фарадтық сипаттама әдісі келесідей: яғни кванттық нүктелері бар құрылымға ауыспалы кернеу қолданылады. Бұл жағдайда бір жарты кезең ішінде тасымалдаушыларды нүктелермен басып алу миссиядан басым болады, ал екінші жарты кезеңде, керісінше, эмиссия басым болады. Нәтижесінде кванттық нүктелер массиві қолданылатын айнымалы кернеудің тазалығына қайта зарядталады, яғни конденсатор сияқты әрекет етеді. Әр түрлі ығысу кернеулеріндегі сыйымдылықты өлшеу арқылы үлгідегі тасымалдаушылардың концентрациясы, кванттық нүктелер жинақтаған заряд және күйлердің тығыздығы туралы ақпарат алуға болады.

Зерттеу барысында авторлар терең деңгейдегі стационарлық емес сыйымдылық спектроскопиясы және өткізгіштік температуралық спектроскопия әдістерімен әртүрлі жұмыстарда алынған кванттық нүктелердің бір қабаты бар Si/ Ge зерттелген құрылымдарындағы кванттық нүктелерден тесіктердің эмиссиясының активтену энергиясы 200...700 мэВ аралығында болатындығын дәлелдеді. Сонымен қатар, күн элементтерін зерттеу үшін практикалық тұрғыдан ВАХ-ны зерттеу маңызды, өйткені оның негізінде элементті түрлендірудің тиімділігі, паразиттік қарсылықтардың әсер ету дәрежесін анықтауға болады.

Авторлар И.С.Васильевский, А.Н.Винченко және М.М.Грехов өз жұмысында "жоғары сапалы эпитаксиалды қабаттардың өсуі мен қасиеттері N + InAs (Si), күшті легіріленген омикалық байланыстарды құру үшін" InAs қабаттарының бетінің кедір-бұдырлығы төмен электрондардың жоғары қозғалғыштығына қол жеткізуге мүмкіндік беретін әртүрлі өтпелі қабаттар мен өсу әдістерін ұсынды. Авторлар қабаттардың максималды құрылымдық сапасын сақтай отырып, кремний донорлары N + InAs (Si) жұқа қабықшаларын эпитаксиалды өсіру әдістерін дамытуды мақсат етті. Бұл жұмыста айна беті бар жоғары дәрежелі кристалды жетілдірудің N + InAs монокристалды пленкаларын молекулалық сәулелік эпитаксия әдісімен өсіруге мүмкіндік беретін тәсілдер жүзеге асырылады. Кремниймен күшті допинг электрондардың концентрациясына $1...6 \cdot 10$ диапазонында 19 градусқа жетеді, олардың

қозғалғыштығы өте жоғары. Өзірленген технология GaAs үйлесімді гетероқұрылымдарының үстіне жоғары сапалы InAs эпитаксиалды қабаттарын шығаруға мүмкіндік береді, оны HEMT транзисторларында жүзіп кетпейтін омикалық байланыстар жасау үшін пайдалануға болады.

Біздің келесі мақалада «Development of Bismuth Hall sensors for ITER steady state magnetic diagnostics» "тұрақты магниттік диагнозға арналған висмут холл сенсорларын дамыту" Иван Дуран, Славомир Энтлер, Мартин Кочан, Ладислав Виеребл, Радомир Мучалек, Томас Чрачка, Джордж Вайакис тақырыпты зерттеді. Висмутты сезімтал қабаты бар холл датчиктері ИТЭР-ге жұптық күйдегі экс-тамырлы магниттік датчиктер ретінде реабилитациялау үшін таңдалды. Мақалада осы сенсорлардың дизайны және оларды жасау технологиясы, соның ішінде кейбір балама нұсқалар қарастырылған. Датчиктердің прототиптері олардың ИТЭР талаптарымен үйлесімділігін бағалау үшін мұқият сыналды. Сенсорлардың температураға тәуелділігі сезімтал қабаттың әртүрлі қалыңдығына өте жақын екендігі анықталды. Нейтрондық сәулеленуге арналған сынақтардың нәтижелері датчиктердің жеткілікті радио-қатыгездігін дәлелдейді және ИТЭР-де қызмет ету мерзімі ішінде олардың сезімталдығының өте қарапайым өзгеруін ғана көрсетеді.

Авторлардың технологиясы бойынша әр түрлі қалыңдықтағы сезімтал қабаты бар висмут холл датчиктерінің бірнеше топтамасы жасалды. Қалыңдығы шамамен 1 мм висмут холл коэффициентінің кестелік мәніне сәйкес шамамен 0,5 В / А/Т жеткілікті сезімталдық арасындағы оңтайлы ретінде табылды. Сондай-ақ жақсы сенімділік пен репродуктивтілік бар. Көп жағдайда 4mA айнымалы ток қолданылды. Мұндай сенсорлардың кіріс және шығыс кедергісі шамамен 20-30 болды.

Висмут өзінің жартылай металл табиғатына байланысты Холл сезімталдығының температураға айтарлықтай тәуелділігін көрсетеді. Бұл тәуелділік бөлме температурасынан 250 С-қа дейінгі температура диапазонында жүйелі түрде өлшенді. осы мақсатта олардың ортасында 0,5 Тесла магнит өрісін құратын оқшауланған капот мыс сымынан оралған Жоғары температуралы үйлесімді Гельмгольц катушкалары қолданылды. Датчиктердің ығысу кернеуін анықтау үшін катушкалар арқылы өтетін Ток мезгіл-мезгіл қосылып, сөніп тұрды. Өлшеу кезінде сенсорларды жылыту табиғи түрде катушканың тогынан джоульді қыздыру арқылы жүзеге асырылды. Салқындатуға катушканың ішіндегі реттелетін ауа ағынымен пропорционалды түрде қол жеткізілді. Датчиктің температурасы датчикке тікелей қосылған PT-100 термисторларымен өлшенді. Холл сенсорының шығыс кернеуі АМЕТЕК DSP lock in 72.30 күшейткішімен синхронды түрде өлшенді.

Осылайша, бұл мақалада ИТЭР жағдайында олардың болжамды жұмысына қойылатын жоғары талаптарға сәйкес келетін висмут холл сенсорларын өндірудің сенімді технологиясы жасалды. Бұл технологияның негізгі элементтері-коммерциялық қол жетімді DBS субстраттарын пайдалану, мыс контактілі платформалардың беткейлерін жұқа микро өндеу, висмуттың сезімтал қабатының магниттік спутнигі, байланыс алаңдарына бекітілген шығыс сымдары және Zircon керамикалық пастасымен сенсордың жалпы экнапсуляциясы.

Авторлар Р.Р.Галиев, Д.Л.Гиатюк, А.В.Зуев, Д.В.Крапухин, Майтам М.В., О.С.Матвеевко, С.В.Михайлович, Ю.В.Федоров, М.Ю.Щербакова туралы айтатын болсақ, олар толқын ұзындығының миллиметрлік диапазонын игеру үшін нитридті технологияларды талдады. Олар соңғы сегіз жыл ішінде шетелде және Ресейде кең аймақтық гетероқұрылымдарда миллиметрлік микротолқынды құрылғыларды жасау технологиясын дамытудың қазіргі жағдайы мен негізгі бағыттарын талдау нәтижелерін берді. Нитридті гетероқұрылымдарда миллиметрлік диапазондағы монолитті интегралды схемаларды әзірлеу мен өндірудің қол жеткізілген технологиялық деңгейі әлемдік тенденциялар мен жетістіктерге жақсы сәйкес келеді, бұл Ресейде қабылдау-беру жүйелеріне арналған МАЖ жиынтықтарын, арсенидті гетероқұрылымдардағы микротолқынды құрылғылардан асатын жиілік диапазондарын құру мен дамытуға алғышарттар жасайды.

Келесі мақалада "механикалық жүктеме түрінің пьезоэлектрлік генераторлардың энергия тиімділігіне әсері", зерттеушілер В.А.Акопян, И.А.Паринов, Е.В.Захаров, Ю.Н.Рожков және В.А.Чебаненко импульстік, квазистатикалық және гармоникалық жүктеме режимдерінде осьтік

типтегі көп қабатты пьезоэлектрлік генераторды зерттеу нәтижелерін берді. ПЭГ қуаты электр жүктемесінің кедергісіне және оның сезімтал элементінің сыйымдылығына айтарлықтай тәуелді екендігі көрсетілген. Зерттеу нәтижелері бойынша гармоникалық жүктеме режимінде ПЭГ шығу қуаты импульстік режимдегі оның қуатынан асатын немесе оған тең болатын мәндер диапазоны белгіленген. Осылайша, көп қабатты ПЭГ шығыс кернеуі импульстік кернеудің жоғарылауымен монотонды түрде өсетіні анықталды. 500 кОм-ға дейінгі электрлік жүктеме кедергісінде бұл тәуелділік сызықтық сипатқа ие. Зерттелген осьтік типтегі ПЭГ энергия тиімділігін бағалау келесі параметрмен жүргізілді: Шығыс қуатының нормаланған мәндерін есептеу негізінде. Гармоникалық жүктеме режиміндегі ПЭГ Шығыс қуатының нормаланған мәні импульсивті кернеу кезінде қол жеткізілген оның деңгейінен басым болатын жүктеме кедергісінің мәндерінің диапазоны анықталды. Бұл механоэлектрондық түрлендіргіштің тиімділігін анықтауға мүмкіндік береді. Механикалық жүктеудің әр түрлі түрлері үшін көп қабатты осьтік типтегі ПЭВ-тің зерттелген түрінің Шығыс сипаттамаларын өлшеу және есептеу нәтижелері белгілі бір құрылғының максималды энергия тиімділігін қамтамасыз ету үшін ПЭГ-ге үлкен сыртқы механикалық әсердің басым түрін ескеретін пьезоэлектрлік энергия дискілерінің біріктірілген өлшеу схемаларын жасауға мүмкіндік береді.

Яғни, осы мақалаларды қарастыра отырып, біз әр түрлі арсенидті наногетероқұрылымдар негізінде магнит өрісі сенсорларының радиациялық және температуралық тұрақтылығына эксперименттік және теориялық зерттеу жүргіздік, авторлардың әртүрлі еңбектеріне сілтеме жасай отырып, салыстырмалы талдау жасадық.

Әрі қарайғы зерттеу жұмысында біз әр түрлі сәулеленудің жартылай өткізгіштер мен жартылай өткізгіш гетероқұрылымдарға әсер етуінің теориялық негіздерін зерттеуге, деградацияның әртүрлі механизмдерін және оларды болдырмау әдістерін талдауға тырысамыз. Сонымен қатар, сәулеленуге ұшыраған магнит өрісі сенсорларының сипаттамаларын өлшеу нәтижелері бойынша эксперименттік деректерді өңдейміз. Біз келесі әдістерді қолдану арқылы мақсаттарға қол жеткіземіз: Холл әдісімен наноқұрылымдардың концентрациясы мен қозғалғыштығын өлшеу, Ван дер Пау әдісі, молекулалық-сәулелік эпитакия, нейтрондар мен иондаушы сәулелену көздері.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Василевский И.С., Виниченко А.Н., Рубакин Д.И., Большакова И.А., Каргин Н.И. / Высокоточные датчики магнитного поля с широким диапазоном рабочих температур IOP: Материаловедение и инженерия
2. Bolshakova A., Kulikov S.A., Konoplev R.F., Chekanov V.A., Vasilevskii I.S., Shurygina F.M., Makido E. Yu., Durane I., Moroza A. P., and Shtabalyuka A. P. // Application of Reactor Neutrons to the Investigation of the Radiation Resistance of Semiconductor Materials of Group III–V and Sensors // 2014, published in Fizika Tverdogo Tela, 2014, Vol. 56, No. 1, pp. 156–159.
3. Bolshakova I., Belyaev S., Bulavin M., Brudnyi V., Chekanov V., Coccorese V., Duran I., Gerasimov S., Holyakal R., Kargi N., Konopleva R., Ya. Kost, Kuech T., Kulikov S., Makido O., Moreau Ph, Murari A., Quercia A, Shurygin F., Strikhanov M., Timoshyn S., Vasil'evskii I., Vinichenko A. // Experimental evaluation of stable long term operation of semiconductor magnetic sensors at ITER relevant environment // International Atomic Energy Agency // Nucl. Fusion 55 (2015) 083006 (7pp)