

Қўлёзма ҳуқуқида
УДК 621.315.592

МАВЛОНОВ ГИЁСИДДИН ҲАЙДАРОВИЧ

**КРЕМНИЙДАГИ МАРГАНЕЦ АТОМЛАРИ НАНОКЛАСТЕРЛАРИНИНГ
ФОТОЭЛЕКТРИК ВА МАГНИТ ХУСУСИЯТЛАРИ.**

01.04.10 – ярим ўтказгичлар физикаси

Физика – математика фанлар номзоди
илмий даража олиш диссертациянинг

АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2010

Иш Абу Райхон Беруний номидаги Тошкент давлат техника ниверситетининг
“Электроника ва микроэлектроника” кафедрасида бажарилди.

Илмий раҳбар: физика-математика фанлари номзоди, доцент
Аюпов Қутуб Саутович.

Расмий оппонентлар: физика-математика фанлари доктори, профессор
Мирсагатов Шавкат Акромович.

физика-математика фанлари номзоди, доцент
Назыров Дилшод Эргашевич.

Етакчи ташкилот: Самарқанд давлат университети

Химоя «___» _____ 2010 йил соат _____ да ЎзР ФА сининг С.А.Азимов
номидаги
“Физика-Қуёш” ИИЧБ, Физика-техника институти қошидаги D.015.08.01 махсус
Кенгашида бўлади.
Манзил: 100084, Ташкент шаҳри, Бодомзор йўли кўчаси 2^б, Факс (871) 233-42-91,
E-mail: karimov@physic.uzsci.net

Диссертация билан, ЎзР ФА нинг “Физика-Қуёш” ИИЧБ , Физика-техника
институтининг кутубхонасида танишиш мумкин.

Автореферат «___» _____ 2010 йил тарқатилди.

Авторефератларга отзивларни 2 нусхада, муҳр билан тасдиқлаб юқорида
кўрсатилган манзилга, махсус Кенгаш Илмий котибига юборишингизни сўраймиз.

Махсус Кенгаш
Илмий котиби
ф-м.ф.д,профессор

А.В.Каримов

1. ДИССЕРТАЦИЯНИНГ УМУМИЙ ТАВСИФИ

Ишнинг долзарблиги. Ярим ўтказгич материалларнинг кристалл панжасида киришма атомларининг концентрацияси ва структураси бошқариладиган нанокластерларини шакиллантириш, наноўлчамдаги структураларни олишда тубдан янги ёндашув ҳисобланади. Наноўлчам структураларни электроника саноатидаги мавжуд қиммат қурилмаларда, технологик жараёнларнинг мураккаб босқичларида олишдан фарқли, киришма атомларининг нанокластерларини паст хароратли диффузион усулидан фойдаланиб шакиллантиришнинг маълум афзалликлари мавжуд. Буларга, ярим ўтказгич кристаллининг бутун ҳажми бўйича тенг тақсимланган наноўлчам структураларини ҳосил қилиш, уларнинг ўлчами ва структурасини бошқариб ҳамда магнитли ва кўп зарядли нанокластерларни олиш имкониятларини мисол қилиш мумкин.

Ярим ўтказгичлар физикасида, ярим ўтказгич материалларида нанокластерларнинг шакилланиш ҳолатлари ва бу материалларнинг электрофизик хусусиятлари шу кунгача деярли ўрганилмаган. Ярим ўтказгич материалларнинг кристалл панжарасида магнит хусусиятли ва кўп зарядли нанокластерларнинг шакилланиш технологиясини яратиш ва уларнинг электрофизик хусусиятларини ўрганиш катта илмий ва амалий аҳамиятга эга бўлиб, ҳозиргача фанда номаълум бўлган физик хусусиятларни ва электроникада қўллашдаги янги қирраларни очишга имкон беради.

Ярим ўтказгич материалларнинг кристалл панжарасида магнит моментли киришма атомларининг, турли заряд ҳолатидаги нанокластерларни шакиллантириш ва киришма атомларининг ҳолатини бошқариш янги технологик ва термодинамик ёндашувни талаб этади. Кўп зарядли ва магнит хусусиятли нанокластерларни ярим ўтказгич материалларида олиш, бу янги илмий йўналиш ҳисобланиб, бундай материалларни электроника саноатида амалий фойдаланишда ҳам катта имкониятларни очиб беради.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ион имплантицияси, радиацион ва кимёвий усуллар ёрдамида киришма атомларининг нанокластерларини шакиллантириш [1,2,3], бу нанокластерларнинг материал хусусиятига таъсирини ўрганиш бўйича олиб борилаётган илмий изланишларни бошлангани узок бўлмасада, бу соҳа ҳозирги кунда етарли даражада шиддат билан ривожланмоқда. Шунга қарамасдан, ярим ўтказгичли материалларда кўп зарядли ва магнит хусусиятли нанокластерларни классик диффузион усул билан легирлаб ҳосил қилиш ҳамда уларнинг физик хусусиятлари ҳозиргача ўрганилмаган.

Диссертация ишининг илмий тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация иши, Тошкент давлат техника университетининг «Электроника ва микроэлектроника» кафедрасидаги ОТ-Ф2-079 «Кремнийда наноўлчамли магнит хусусиятли кластерларининг шакилланишининг термодинамик шароитларини текшириш, улар асосида олинган материал ва структураларнинг магнит ва фотомагнит хусусиятларини ўрганиш» мавзусидаги давлат илмий гранти дастурига мувофиқ бажарилинди (2008-2011 й.).

Тадқиқот мақсади: ярим ўтказгич кремний панжарасида марганец атомларининг нанокластерларини шакллантиришга уларнинг, магнит моменти ва

заряд ҳолатини бошқаришга имкон берувчи технологияни яратиш, бу нанокластерларнинг кремнийнинг электр, магнит ва фотоэлектрик хусусиятларига таъсирини ўрганиш, ҳамда бундай материалларни электроника саноатида қўллашдаги функционал имкониятларни аниқлашга бағишланган.

Тадқиқот вазифалари:

1. Кремнийда марганец атомларининг паст ҳароратли газ ҳолатидан легирлашнинг диффузион технологиясини яратиш ҳамда кремний панжарасида марганец атомлари нанокластерларининг шакилланишидаги қулай (мақбул) термодинамик шарт-шароитларни аниқлаш;

2. Кремнийдаги марганец атомлари нанокластерларининг электрофизик хусусиятларини ўрганиш ва нанокластерларнинг электрофизик параметрларини турғунлигининг ҳарорат соҳасини аниқлаш;

3. Кремнийдаги марганец атомлари нанокластерларининг магнит хусусиятларини ўрганиш. Бу материалларнинг магнит қабул қилишлиги, магнитсизланиши ва магнит моменти аниқлаш. Манфий магнит қаршилигининг максимал юқори қйматга эришиш шароитини ва уни материалнинг параметрларига боғлиқлик ҳолатида ўзгариш қонуниятларини аниқлаш;

4. Кремнийдаги кўп зарядли марганец атомлари нанокластерларининг фотоэлектрик хусусиятларини ўрганиш;

5. Кремнийда марганец атомлари нанокластерларининг структурасини ва таркибини аниқлаш ҳамда уларнинг электроника саноатида қўлланишидаги функционал имкониятларини очиб бериш.

Тадқиқот объекти ва предмети. Ўрганиш объекти сифатида электроника саноатида кенг ишлатилинадиган р-турдаги бор атомлари билан легирланган, солиштира қаршилиги $\rho=2, 5, 10, 100$ Ом·см бўлган манокристал кремний танлаб олинди. Кришма атоми сифатида марганец элементи танланди, чунки марганец ноёб электрон структура ($3d^5 4s^2$) тузилишга эга бўлиб, парамагнит самарадорлиги юқори ҳамда кремний панжарасидаги бошқа турдаги нуксонлар билан ўзаро кимёвий таъсирлашиш эҳтимолига катта ҳисобланади. Тадқиқот предмети кремнийнинг электр, магнит ва фотоэлектрик хусусиятларига нанокластерларнинг таъсир қилиш қонуниятларидан иборат.

Тадқиқот методлари. Кремнийдаги марганец атомлари нанокластерларнинг тузилишлари электрон парамагнитик резанатор ҳамда атом кучли микроскоп усуллари билан аниқланди. Олинган материалларнинг электрофизик хусусиятлари, кенг ҳарорат оралиғида, Холл самарадорлиги (эффекти) усули билан ўрганилди. Намуналарнинг магнит қаршилигига электр ва магнит майдон, ҳарорат ва ёритилинганлик даражаларининг таъсирларини ўрганиш махсус яратилинган қурилмада амалга оширилди. Намуналарнинг фотоэлектрик ва фотоўтказувчанликни спектрал боғлиқли хусусиятлари ИКС-21 монохроматик спектрометрида, ҳароратни, электр майдон кучланганлигини, интеграл ёки инфра қизил нурларни ёритилинганлик даражасининг таъсирларини кенг оралиқда бошқариш имкониятларини берадиган махсус криостатда ўрганилди.

Тадқиқот гипотезаси. Кришма атомларининг кўп зарядли ва магнит хусусиятли нанокластерлар – квант нукталарининг янги кўринишда намаёнланган алоҳида хоссасидир. Бундай нанокластерли ярим ўтказгич материалларида

кузатилиши мумкин бўлган тубдан янги бўлган физик ҳодисалар ката илмий ва амалий аҳамиятга эга. Параметрлари бошқариладиган кўпзарядли ва магнит хусусиятли нанокластерларнинг шакиллантириш тубдан янги технологик ечимларни ҳал қилишни талаб этилади.

Химояга олиб чиқиладиган асосий ҳолатлар:

1. Илмий асосланган кремний панжарасида марганец кришма атомларининг нанокластерларини вужудга келиши ва уларнинг заряд ҳолатини $[(\text{Mn})_4^{+4}, \text{B}^{-1}]^{+3} \div [(\text{Mn})_4^{+8}, \text{B}^{-1}]^{+7}$ оралиғида бошқариш имконияти.

2. Марганец атомларининг кўп зарядли нанокластерларнинг концентрацияси $5 \cdot 10^{13} \div 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ оралиқда мавжуд бўлган ярим ўтказгич кремнийини олиш технологияси.

3. Юқори ҳароратларда ($T=230 \div 300 \text{ K}$) кремнийдаги марганец атомларининг магнит хусусиятли қийматининг ўзгариши $\Delta\rho/\rho=300 \%$ гача ўзгарувчи кластерларга боғлиқ ғайри оддий катта қийматдаги манфий магнит қаршилиқ эффекти.

4. Кремнийнинг тақидланган соҳасида, $\Delta E=(E_v+0,42) \div (E_c-0,4) \text{ эВ}$ энергетик оралиғида марганец кришма атомларининг узлуксиз сатҳини ҳосил қилувчи ва ўта катта қийматдаги кришмали фотоўтказувчанлик ҳосил қилувчи кўп зарядли марганец атомлари нанокластерлари мавжуд кремнийнинг фотоэлектрик ва электрофизик хусусиятлари.

Илмий янгилиги:

1. Кремний панжарасида кришма марганец атомлари нанокластерларини шакилланишининг қулай (мақбул) технологик шарт-шароитлари аниқланди ва илмий асосланди.

2. Марганец атомлари нанокластерларининг магнит моментни, магнит қабул қилишини ҳамда нанокластерларнинг зряд ҳолатининг даражасини кремнийдаги бор атомларининг концентрациясига боғлиқ равишда бошқариш имкониятлари кўрсатилинди.

3. Янги, ноёб, физик хусусиятларга эга бўлган наноўлчам структурали кремний материални ва унинг ҳажмида кўп зарядли марказларини олиш имкониятлари ҳамда электроникада янги тур материалларни олишни биринчи маротиба очиб берилди.

4. Кремнийдаги марганец атомларининг кўп зарядли нанокластерларда биринчи маротаба катта қийматдаги юқори ҳароратли манфий магнит қаршлиқ самарадорлиги (эффекти) $T=230 \div 320 \text{ K}$ ҳарорат оралиғида аниқланди ва уларнинг ўзгариши $\Delta\rho/\rho=300 \%$ эришилди. Марганец атомлари билан легирланган кремнийда, бошқа ярим ўтказгич материалларида кузатилинган магнит қаршилиқлардан тубдан фарқ қиладиган, манфий магнит қаршилиқ аниқланди, унинг магнит ($0,6 \div 2,1 \text{ Тл}$) ва электр ($0,1 \div 400 \text{ В/см}$) майдон, ёритилинганлик жадаллиги ва ҳарорат таъсирларида ўзгариши қонуниятлари аниқланди.

5. Кремний намунасида магнит қаршилиқ ишорасини $T=170\text{K}$ ва $T=400\text{K}$ ҳароратларда икки маротаба ўзгариш эффекти (самарадорлиги) аниқланди. Марганец кришма атомлари нанокластерларининг концентрациясига ва заряд ҳолатига манфий магнит қаршилиқнинг боғлиқли қонуниятлари очилди.

6. Кремнийдаги марганец атомлари нанокластерларида $\lambda=1,5\div 8\text{мкм}$ монохраматик тўлқин узунлиги оралиғида ўта катта қийматдаги киришмали фотоўтказувчанлик ҳамда унинг ғайри оддий қолдиқ ўтказувчанлиги аниқланди ва ўрганилди.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти:

1. Кремний киристалининг бутун ҳажми бўйича тенг тақсимланган марганец атомларининг наноструктураларини олиш технологияси яратилинди.

2. Юқори ҳароратда кузатилинган ўта катта қийматдаги манфий магнит қаршилиқ асосида асосида фуниқционал электроникада янги турдаги ўта сезгир магнитдатчиклар ва фотомагнитик асбобларни яратиш имкониятлари очиқ берилди.

3. Кўп зарядли нанокластерли кремний материали асосида самарадорлиги юқори бўлган инфра қизил нурларни сезадиган фотопрёмниклар, оптик ва электр хотирали қурилмаларни яратиш имкониятлари мавжудлиги аниқланди. Бу материалларида киришмали фотоэлектрик эффект асосида ишловчи самарадорлиги юқори бўлган фотоэлементларини яратиш имкониятлари ҳам мавжудлиги кўрсатилинди.

4. Магнитли нанокластерлари бўлган кремний асосида сезгирлиги юқори бўлган магнит датчиклар яратилди.

Натижаларнинг жорий қилиниши. Диссертация ишининг натижаларини, «Фотон» очиқ турдаги акционерлик жамиятида ишлаб чиқарилаётган турли ярим ўтказгич асбобларни яратиш технологиясида тадбиқ этиш мумкин. Тошкент давлат техника университетининг «Электроника ва микроэлектроника» кафедрасининг технологик тизимида, чекланган миқдорда тажриба сифатида ишлаб чиқарилаётган ярим ўтказгич датчиклар ва ўқув стендларини яратишда фойдаланилди. Олинган натижалардан ярим ўтказгич кремний асосида яратилинадиган асбобларнинг параметрларини турғунлигини оширишда ва мавжуд олиш технологияларини такомиллашда фойдаланиш мумкин.

Ишнинг синовдан ўтиши. Диссертация ишининг асосий натижалари халқаро ва республика миқёсидаги илмий анжуманларда; «Рост, свойства и применение кристаллов» (Андижон, 11-12 апрель 2008й.), «Неравновесные процессы в полупроводниках и в полупроводниковых структурах» (Тошкент, 12-14 ноябрь 2009й.), «Физика ва физик таълимнинг замонавий муаммолари» (Самарканд, 11-12 декабрь 2009й.), «Физика фанининг бугунги ривожиди истедодли ёшларнинг ўрни» (Тошкент, 8-9 апрель 2010й.), ҳамда «Физика-Қуёш» ИИЧБ Физико-технического институт қошидаги бирлашган семинарда муҳокамалардан ўтказилди.

Натижаларнинг эълон қилинганлиги. Диссертация иши бўйича 10 та илмий ишлар, улардан 5 таси мақола, 5 таси илмий конференцияларнинг тезислар тўпламларида. Автореферат сўнгида илмий ишлар рўйхати келтирилиган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация 120 босма бетда ёзилган бўлиб, кириш, 4 та боб, хулоса, 46 та расм, 4 та жадвал ва фойдаланилган 102 та адабиётларнинг рўйхатидан иборат.

2. ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

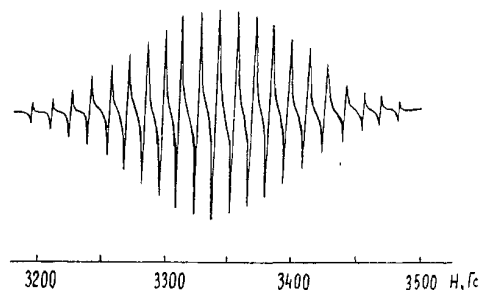
Киришда диссертация ишининг долзарблиги асосланган ва ўрганиладиган муаммонинг ҳолати илмий талқин қилинган, илмий йўналишнинг янгилиги, ишнинг мақсади, муаммони ҳал қилишдаги асосий масалалар, изланишнинг илмий ва амалий қиймати асослаб берилган.

Биринчи бобда, ярим ўтказгич материалларининг ва уларни киришма атомлар билан лигерлаш жараёнида электрофизик хусусиятларини бошқаришдаги мавжуд усулларнинг адабиётлардаги талқинлари берилган. Киришма атомларининг ўзаро ва кристалл панжарадаги нуқсонлар билан ўзаро таъсирини ўрганиш, ноёб электрофизик хусусиятли наноўлчам структурали ярим ўтказгич материалларни олишнинг янги имкониятларини очиб бериши кўрсатилган. Бунда, коэффициент диффузияси катта, кристалл панжарада турли ҳолатларда бўладиган ҳамда ўзаро ва кристалл панжара нуқсонлари билан фаол таъсирланувчи киришма атомларининг физик хусусиятларини ўрганишга катта эътибор берилмоқда. Киришма атомларининг нанокластерларини шаклланиши, уларни панжара атомлари билан ўзаро таъсирланишида қулай термодинамик ва технологик шарт-шароитларни аниқлаш, ярим ўтказгичлар физикасининг асосий масалаларидан бири ҳисобланади. Бу, амалда қаттиқ жисимлардаги кимёвий реакцияларни бошқариб, дискрет яккаланган киришма атомларидан фарқли, ноёб хусусиятлари билан ажраладиган турли нанокластерларни олиш имконларини очишдир. Киришма атомларининг ўзаро кристалл панжара нуқсонлари билан таъсирларини бошқариш, маълум электрофизик параметрли ҳамда тубдан янги бўлган ноёб хусусиятли ярим ўтказгич материалларни олишда янги технологик ечимни ҳал қилади ва улардан электроника саноатида фойдаланиш имкониятларини очиб беради.

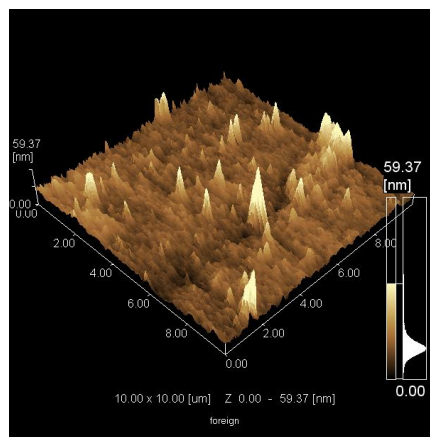
Иккинчи бобда, кремнийда марганец атомларининг нанокластерларини шаклланишида қулай термодинамик ва технологик шарт-шароитлар, нанокластерларни олишда яратилинган технологиянинг босқичлари ёритилинган. Бу, технология кремний материалига киришма атомларини паст ҳароратли ва босқичма-босқич янги диффузион легирлаш усули асосида амалга оширилади. Марганец атомларининг кремнийдаги нанокластерларининг структураси ва таркиби электрон парамагнит резонатор (ЭПР) ҳамда кучли атом микроскопда ўрганилганида олинган натижалар 1(а ва б) расмлар берилди.

Кўп зарядли марганец атомларининг нанокластерлари фақат компенсацияланган р-турдаги кремний материалларида, Ферми энергетик сатҳи кремнийнинг тақидланган соҳасини маълум энергетик оралиғида $F = [(E_v + 0,3) \div (E_v + 0,45)] \text{ эВ}$ бўлгандагина шаклланиши аниқланди. Бунда, марганец атомларининг нанокластерлари ярим ўтказгич кремний ҳажмида тенг тақсимланган бўлиши шарт. Олинган натижалар асосида, марганец атомларининг нанокластерлари, манфий зарядланган бор киришма атомига яқин тугунлар аро жойлашган 4 та мусбат зарядланган марганец атомларидан иборат эканлиги $[(\text{Mn})_4^{+n}\text{B}^{-}]^{+(n-1)}$ аниқланди. Марганец атомларининг заряд ҳолатига боғлиқ ҳолда нанокластерларнинг ўлчами 1÷2 нм оралиғида эканлиги ҳамда бор киришма атоми (В⁻) атрофидаги мусбат зарядланган марганец ионлари (Mn^+ , Mn^{++}) билан боғлиқ ҳолда ички ўзаро Кулон таъсирлашиш кучининг қийматлари назарий ҳисобланди.

Марганец атомларининг нанокластерлари мавжуд кремний материалларидаги заряд ташувчиларнинг ҳаракатчанлиги ва уни ҳароратга боғлиқ ҳолда ўзгаришилари ўрганилди. Бу намуналарда заряд ташувчилар ҳаракатчанлигининг қиймати жуда кичик бўлиши ва ҳарорат таъсирида ғайри оддий ўзгариши аниқланди.



1,а. расм. Кремнийдаги 4 та марганец атоми нанокластерининг ЭПР спектри.

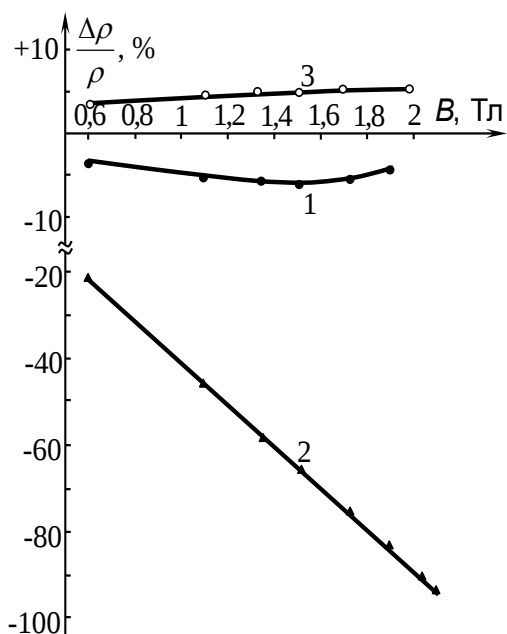


1,б. расм. Кучли атом микроскопида олинган кремнийдаги марганец киришма атомларининг нанокластерларини кўриниши.

Учинчи бобда, нанокластерли ва нанокластерлар бўлмаган кремний материалларининг магнит қаршилигини ўрганишдаги илмий натижалар келтирилган. Намуналарда кузатилинган манфий магнит қаршилиқнинг алоҳида ажраладиган хусусиятлари, унга магнит ва электр майдон катталикларини, ҳарорат ва ёритилганликнинг таъсирлари, нанокластерларининг концентрациясини ва магнит майдон йўналиш бурчагини ўзгаришига боғлиқликлари ўрганилинди. 2-расмда, $T=300\text{K}$ ҳароратда бир хил электрофизик параметрли нанокластерлар бўлмаган ва янги технология асосида олинган нанокластерлар мавжуд кремний намуналаридаги магнит қаршилиқнинг қийматини магнит майдон кучланганлигининг катталигига боғлиқлиги кўрсатилинди. Расмдан кўринадиган бу икки хил намуналарда магнит қаршилиқни ўзгариши на фақат қиймат жихатидан, балки ишорасини ўзгариши билан ҳам бир-биридан фарқ қилади. Нанокластерли кремний намуналарида манфий магнит қаршилиқнинг ўзгариши сезиларли даражада катта бўлиб, магнит майдон кучланганлигини ошиши билан чизиқли ошиб боради ва тўйиниш кузатилмайди. Манфий магнит қаршилиқнинг нинг қийматини ўзгариши нанокластерли кремний намуналарида, оддий намуналардаги магнит қаршилиқни ўзгаришига нисбатан 20-30 маротаба катталиги аниқланди. Олинган натижалар асосида, бошқа ярим ўтказгичли материалларда кузатилинмаган, нанокластерли кремний намуналарида нисбатан юқори ҳароратларда ($T=300\text{K}$) ғайри оддий катта қийматдаги манфий магнит қаршилиқнинг мавжудлиги тасдиқланди. Бундай ғайри оддий манфий магнит қаршилиқни кузатилишига кремний кристал панжарасидаги киришма марганец атомларидан ташкил бўлган нанокластерлар сабабчи эканлиги аниқланди. Тажрибалар натижасида манфий магнит қаршилиқни кузатилиши мумкин бўлган кремний намуналарнинг чегаравий

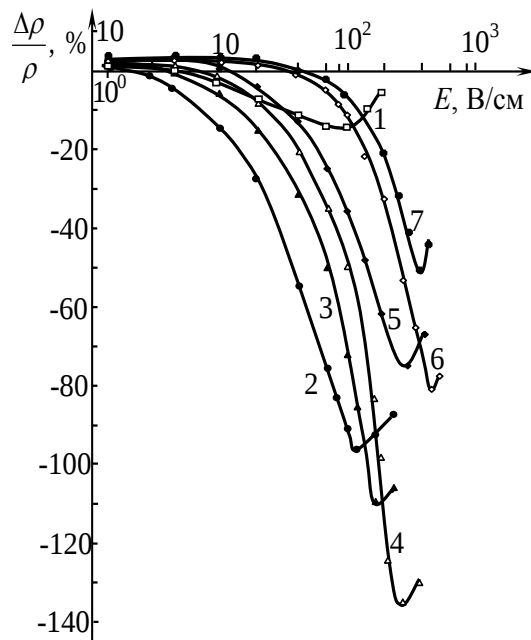
солиштира қаршилиги $\rho \geq 3 \cdot 10^2$ Ом см дан катта бўлиш керакли кўрсатилинди. Ташқи электр майдон ва ҳароратини бошқариш усули билан, аниқланган чегаравий солиштира қаршилиқнинг қийматини камайтириш ёки кўчайтириш мумкин экан. манфий магнит қаршилиқнинг энг катта қиймати, кремний материалынинг тақидланган соҳасида Ферми энергетик сатҳи $F=E_v+(0,38 \div 0,42)$ эВ энергия оралиғида жойлашган марганец атомларининг нанокластерлари бўлган кремний намуналарида намоён бўлиши аниқланди. Бу натижалар асосида, кремний намуналарида манфий магнит қаршилиқнинг Ферми сатҳи ҳолатига қараб ўзгариш қонунияти яратилинди.

Марганец атомларининг нанокластерлари мавжуд бўлган кремний намуналардаги манфий магнит қаршилиқнинг катталиги электр майдон кучланганлигини қийматига боғлиқлиги, $T=300\text{K}$ ҳароратда ўрганилди. Олинган тажриба натижалари шуни кўрсатадики, манфий магнит қаршилиқнинг энг катта қиймати электр майдон кучланганлиги қийматини маълум катталигига ва намуналарнинг солиштира қаршилигига боғлиқ экан (3-расм).



1. $\rho=8 \cdot 10^3$ Ом·см нанокластерли Si<B,Mn> p-турдаги; 2. $\rho=6 \cdot 10^3$ Ом·см нанокластерсиз намуна Si<B,Mn>p-турдаги; 3) назоратдаги намуна Si $\rho=10^4$ Ом·см.

2 расм. Нанокластерли кремний намуналарининг магнит қаршилигини магнит майдон кучланганлигининг қийматига боғлиқлиги. $T=300\text{K}$ ва $E=100\text{В/см}$



1. $\rho=8 \cdot 10^2$ Ом·см, 2. $\rho=8 \cdot 10^3$ Ом·см, 3. $\rho=1,2 \cdot 10^4$ Ом·см, 4. $\rho=2 \cdot 10^4$ Ом·см, 5) $\rho=4 \cdot 10^4$ Ом·см, 6) $\rho=1,2 \cdot 10^5$ Ом·см, 7. $\rho=2 \cdot 10^5$ Ом·см p-тур

3 расм. Турли солиштира қаршилиқдаги намуналардаги магнит қаршилиқни электр майдон кучланганлигига боғлиқлиги, $T=300\text{K}$, $B=2\text{Тл}$

Расмдан кўринадики, нанокластерли кремний намуналарнинг солиштира қаршилиги ошиб бориш билан, манфий магнит қаршилиқнинг энг катта қийматини кузатилиш нуқтаси ҳам, электр майдон кучланишининг ўсиш тарафига ошиб борар экан. Электр майдон кучланганлигининг қиймати нисбатан кичик $E < 2\text{ В/см}$

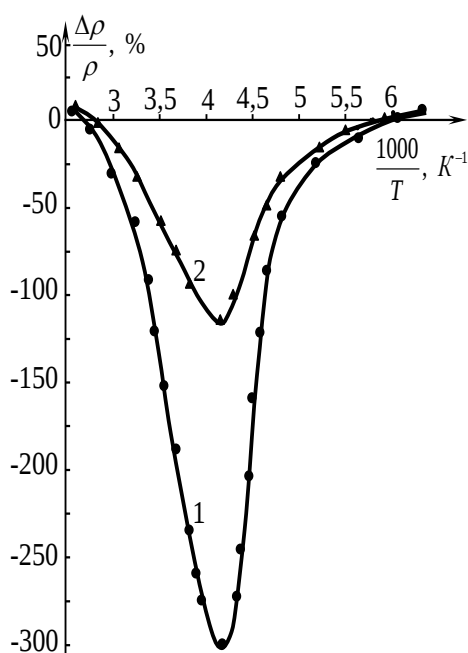
бўлганида намуналарни солиштирма қаршилигининг қийматидан қаттиқ назар ҳар икки турдаги намуналарда ҳам мусбат магнит қаршилиқ кузатилиши аниқланди. Электр майдон кучланганлигининг қиймати ошиши билан мусбат магнит қаршилиқнинг қиймати камайиб, маълум бир $E \sim E_{\text{ўт}}$ чегарадан манфий магнит қаршилиқнинг қиймати тез ошиб боради ва $E = E_{\text{max}}$ да ўзининг энг юқори қийматига эришади. $E > E_{\text{max}}$ да манфий магнит қаршилиқнинг нинг қийматини ўзгариши секинлашди ва маълум кучланишда манфий магнит қаршилиқ кузатилмайди, яъни манфий магнит қаршилиқнинг электр майдони таъсирида сўниш ходисаси кузатилинди.

Ҳарорат $T < 300\text{K}$ дан совутилганида нанокластерли кремний материалларидаги магнит қаршилиқнинг ўзгаришида қизиқ натижалар кузатилинди. Ҳароратни пасайиши билан манфий магнит қаршилиқнинг қиймати тез ортиб бориб, $T = 240 \div 235\text{ K}$ да ўзининг энг юқори қийматига эришди. Бу ҳарорат оралиғида манфий магнит қаршилиқнинг ўзгаришини қиймати энг катта кўрсаткичга $\Delta\rho/\rho = 300\%$ етиб борди.

Ҳароратни $T = 215 \div 235\text{ K}$ оралиғида камайиб бориши манфий магнит қаршилиқнинг қийматини тез камайишига олиб келди. Сўнгра, ММҚ қийматининг ўзгариш тезлиги камаяди. $T \leq 170 \div 175\text{ K}$ да ҳарорат оралиғида магнит қаршилиқнинг ишораси ўзгаради, яъни мусбат магнит қаршилиқка ўтди. Ҳароратни кейинги пасайиши давомида мусбат магнит қаршилиқнинг қиймати сезиларли даражада кучаяди. Тажриба натижаларига асосланиб шуни айтиш мумкинки, бошқа ярим ўтказгич материаллардан фарқли, нанокластерли кремнийда ҳарорат пасайиши билан манфий магнит қаршилиқнинг қиймати ўсиш ўрнига камайиб бориб, паст ҳароратларда магнит қаршилиқнинг ўзгариши мусбат магнит қаршилиқка ўтар экан. Олинган натижалар асосида, марганец атомларининг нанокластерлари мавжуд кремнийда Si (Mn)_4 манфий магнит қаршилиқнинг кузатилиши бир неча ҳақиқатдан ҳам юқори ҳароратли эффект эканлиги, иккинчидан ҳароратни бошқариб магнит қаршилиқнинг ишорасини ўзгартириш эффекти ҳам кузатилиш мумкинлиги кўрсатилди. манфий магнит қаршилиқнинг ҳарорат таъсирида ўзгаришини магнит майдон кучланганлигининг катталигига боғлиқ эмаслиги ҳам аниқланди (4 расм). $T = 240 \div 340\text{ K}$ ҳарорат оралиғида манфий магнит қаршилиқнинг қийматини 300 маротаба ўзгариши эътиборга олинса, бу ҳар бир ҳароратда манфий магнит қаршилиқнинг қийматини 3% дан ўзгариб боради дегани. Ҳароратга бундай сезгирлик бўлган, марганец атомларининг нанокластерлари бўлган кремний асосида электроника саноатида магнит сезгир датчикларни янги турларини яшаш имкониятлари ҳам кўрсатилди. Ёритганда Нанокластерли кремний намуналарини инфра қизил нурлар билан манохрамастик ёруғлиқнинг жадаллигини ортиши билан манфий магнит қаршилиқнинг қиймати сезиларли даражада камаяр экан. Намуналарга тушаётган ёритилганлик жадаллигининг ўсиши, ҳар бир ҳароратга мос келган манфий магнит қаршилиқнинг максимал қийматини нисбатан юқори ҳарорат томонига силжишига ҳамда манфий магнит қаршилиқнинг кузатилиш ҳарорат оралиғини сезиларли даражада торайишига олиб келар экан (5. расм).

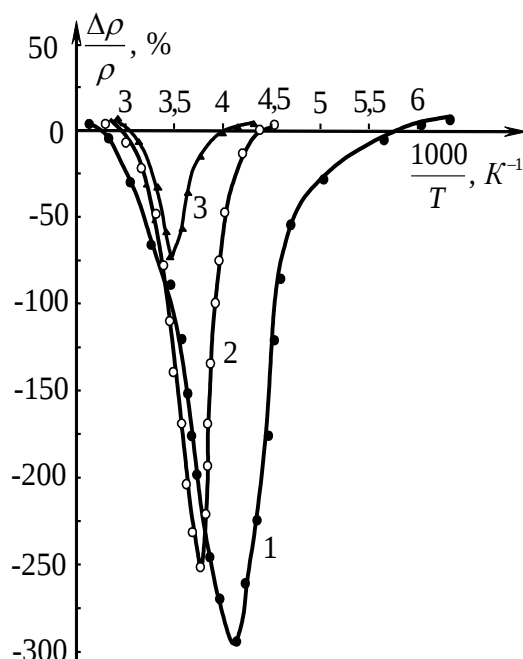
Олинган натижалар асосида, нанокластерли кремний намуналарида манфий магнит қаршилиқнинг ёруғлиқ таъсирида сўниш эффекти мавжудлиги аниқланди. Ёруғлиқ жадаллигини манфий магнит қаршилиқга таъсирини ўрганишлар асосида,

ёруғлик жадаллигининг қийматини бошқариб, манфий магнит қаршиликнинг кузатилиши мумкин бўлган ҳарорат оралиғини, энг катта қийматидаги манфий магнит қаршиликни кузатилиш ҳароратини (T_m) ва магнит қаршиликнинг ишорасини бошқариш мумкинлиги асослаб берилди.



магнит майдоннинг 1. $B=2$ Тл,
2. $B=1$ Тл қийматларида.

4 расм. Солиштирма қаршилиги $\rho=8 \cdot 10^3$ Ом·см бўлган p -Si<B,Mn> намунасининг магнит қаршилигини ҳароратга боғлиқлиги. $E=100$ В/см



1. қоронғу, 2. $I=10$ Лк, 3. $I=40$ Лк

5 расм. Қоронғи ва ёритилганликнинг турли қийматларида, солиштирма қаршилиги $\rho=8 \cdot 10^3$ Ом·см бўлган намунасининг магнит қаршилигини ҳароратга боғлиқлиги. $E=100$ В/см, $B=2$ Тл

Яратилган янги паст ҳароратли диффузион технология асосида, кремнийда нанокластерларнинг концентрацияси турлича [$(N_{(Mn)} \sim (5 \cdot 10^{13} \div 2 \cdot 10^{15}) \text{ см}^{-3})$] бўлган, бир хил электр физик параметрли намуналар олинди. Бу намуналарда нанокластерлар концентрациясининг ўсиши билан манфий магнит қаршилик қийматини сезиларли ошиши, яъни $N_{(Mn)} \sim (5 \cdot 10^{13} \div 2 \cdot 10^{15}) \text{ см}^{-3}$ оралиғида, бир хил тажриба шароитларида манфий магнит қаршилик қиймати, нанокластерларнинг концентрацияси энг кўп бўлган намуналарда энг камига нисбатан 8-10 маротаба катта эканлиги аниқланди. Нанокластерларнинг концентрацияси энг кўп бўлган кремний намуналарида электр майдон таъсирида манфий магнит қаршиликнинг қиймати (100-2500)% га ўзгариши мумкинлиги кўрсатилди.

Бобни сўнгида, олинган тажриба натижаларининг илмий таҳлили ва физик асослари берилди. Тажрибалардан аниқланишича, кремнийдаги нанокластерлар 4 та бир ёки икки карра мусбат ионлашган марганец атомларнинг мажмуасидан иборат бўлар экан. Бу мусбат зарядланган марганец атомлари манфий зарядланган бор атоми атрофида кристалл панжара тугунлари аро тетродидик шаклда жойлашар экан. Кремнийда нанокластерларни шаклланишида, албатта манфий зарядланган бор атоми ва уни атрофида яқин жойлашган 4 та мусбат зарядланган марганец атомлари бўлиши шарт. Марганец атомлари киритилган кремний намуналарини турли

технологик усуллар билан олинишига қарамасдан, n-турдаги намуналарда нанокластерлар шаклланмаслиги, шу сабабдан уларда манфий магнит қаршилик эффекти кузатилмаслиги ва ҳар доим фақат кичик қийматдаги мусбат магнит қаршилик кузатилиши аниқланди. Бу натижалар асосида, қатъий қилиб айтиш мумкинки, манфий магнит қаршилик эффектини кремнийда кузатиш учун албатта марганец атомларининг нанокластерлари бўлиши шарт. Экан яратилинган янги паст хароратли диффузион технология асосида киришма марганец атомларининг концентрацияси миқдорини кремнийда бошқарибгина қолмай, балки марганец атомларининг заряд ҳолатини ҳам бошқариш имкониятига эга бўлинди (Mn^0 , Mn^+ , Mn^{++}). Бу ўз навбатида тажрибалар учун кремнийдаги марганец атомлари нанокластерларининг ион концентрациясини $N_{Mn} \sim (5 \cdot 10^{13} \div 2 \cdot 10^{15}) \text{ см}^{-3}$ оралиғида, заряд миқдорини $[(Mn)_4^{+8}B^{-1}]^{+7} \div [(Mn)_4^{+4}B^{-1}]^{+3}$ оралиғида олишга имкон берди. Изланишлар натижалари шуни кўрсатадики, кремнийдаги нанокластерларнинг заряд ҳолати қанча катта бўлса, кузатилинган эффектлар яққолроқ намоён бўлар экан. Бошқа ярим ўтказгич материалларида кузатилинган манфий магнит қаршиликнинг физик механизми ток ташувчиларни кичик тўпланишлари, яъни кристалл панжада спин релаксацияси (тебраниши) туфайли содир бўлиши асосида тушунтирилган. Марганец атомларининг нанокластерлари мавжуд бўлган Кремнийда аниқланган ва ўрганилинган манфий магнит қаршиликни кузатилиш механизмига нанокластерлар томонидан монокристалл кремний панжарасида вужудга келадиган кучли электр ва магнит потенциаллари сабаб бўлар экан. Шунинг учун, кузатилинган манфий магнит қаршиликнинг қиймати ташқи электр майдон ва ёруғликнинг катталикларининг миқдорини ўзгаришига кучли боғлиқ бўлади. Бобнинг хулосасида, олинган илмий натижалар асосида, марганец атомларининг нанокластерлари мавжуд бўлган кремний магнит хусусиятли янги турдаги ярим ўтказгич материал эканлиги, унда шу даврчага кузатилинмаган гальваномагнит эффектлар кузатилиши ва улар асосида электроника саноатида янги турдаги магнит датчикларни яратиш имкониятлари мавжудлиги кўрсатиб берилди.

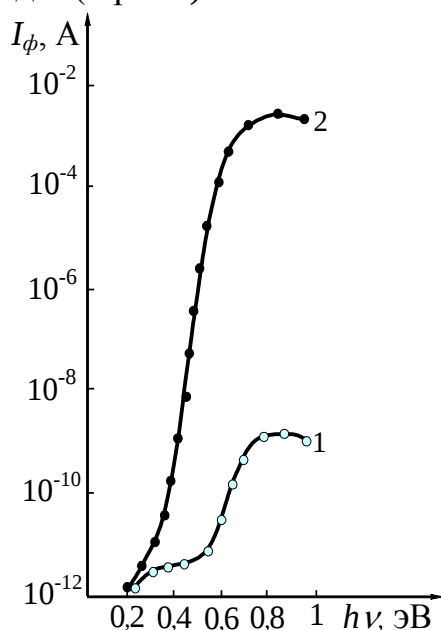
Тўртинчи бобда, марганец атомларининг нанокластерлари мавжуд бўлган кремнийнинг фотоэлектрик хусусиятларини ўрганишдаги тажриба натижалари келтирилди. Фотоэлектрик хусусиятлар 3 хил турдаги намуналарда, яъни олдинги бобда электр ва магнит хусусиятлари ҳар томонлама чуқур ўрганилган марганец атомлари турли диффузион усуллар билан киритилинган кремний намуналарида ўрганилди. Нанокластерли кремнийнинг фотоэлектрик хусусиятларни ўрганишдан олинган тажриба натижалари, олдинги бобларда манфий магнит қаршиликка электр ва магнит майдон тасирларининг хусусиятларини ўрганишда олинган натижаларни ўзаро тўлдириб, кремнийдаги кўп зарядли нанокластерларда кузатиладиган эффектларнинг моҳиятини очишга ҳамда бундай ноёб материаллар физикасини яратишга хизмат қилади.

Максимал манфий магнит қаршилик кузатилинган нанокластерли кремний намуналарининг фотоўтказувчанлигини спектрал боғланиши ўрганилганда бир қатор янги физик ходисалар кузатилинди. Булар, фотосезгирликни тушаётган фотонларнинг $h\nu=0,2 \text{ эВ}$ энергиясидан бошланиши, интенсивлиги сезиларли кичик бўлган ($J < 10^{-5} \text{ Вт/см}^2$) $h\nu=0,2 \text{ эВ}$ фотонлар энергиясида намуналарни ёритиб маълум вақт (бир неча минут) ушлаб турилганда, фототокнинг қиймати 5÷6 даражада

ўсишини мисол қилиш мумкин. Тушаётган монохроматик нурланиш ўчирилганидан сўнг ҳам фото токнинг қиймати деярли ўзгармасдан қолиши, яъни фотоўтказувчанликнинг ғайри оддий катта қийматдаги қолдиқ ҳолати мавжудлиги аниқланди.

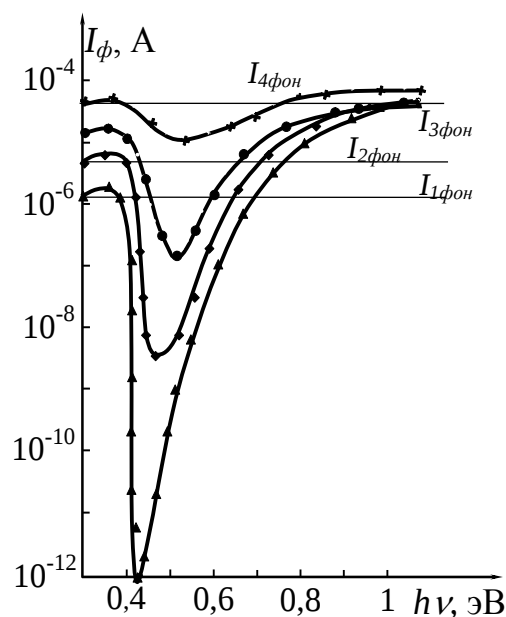
Тушаётган фотонларнинг $h\nu=(0,2\div 0,4)$ эВ энергиялари оралиғида намуналар худди фотонларни қайд қилувчи ҳисоблагич (дидектор) сифатида ишлаши мумкинлиги тажриба натижаларидан кўрсатилинди. Нанокластерли кремний намуналардаги фототокни тушаётган фотонларнинг $h\nu=(0,4\div 0,75)$ эВ энергияси оралиғида узлуксиз $10^9\div 10^{10}$ маротаба ўсиши ҳам бу намуналарда кузатилинган фотоўтказувчанликнинг навбатдаги ажралиб турадиган хусусиятларидандир. Тушаётган фотонларнинг $h\nu=(0,4\div 0,75)$ эВ энергияси оралиғида бу намуналарда ўта катта киришмали фотоўтказувчанлик ходисаси кузатилинди (6. расм).

Нанокластери кремний намуналарида, Ферми сатҳини тақидланган соҳанинг ўртасига $h\nu=0,4$ эВ қийматига силжишида, фотокнинг ИҚ нурлар таъсирида сўниши кузатилар экан. Фототокнинг ИҚ нурлар таъсирида сўнишининг даражаси, солиштира қаршилиги $\rho=(10^4\div 10^5)$ Ом·см бўлган нанокластерли кремний намуналарида $K=10^5\div 10^6$ гача борди. Тушаётган ИҚ нурларнинг интенсивлиги фон ёруғлик интенсивлигининг қийматидан сезиларли даражада кичик бўлишига қарамасдан, нанокластерли кремнийда ИҚ нурлар таъсирида фототокнинг сўниши фон ёруғлик интенсивлигининг (жадаллигининг) етарлича катта оралиғида кузатилди. (7 расм)



1. нанокластерли; 2. Нанокластерсиз

6 расм. Нанокластерли ва нанокластерсиз кремний $\rho=8\cdot 10^3$ Ом·см p-Si<B,Mn> намуналарида фотоўтказувчанликнинг спектрал сезгирлиги. $E=5$ В/см $T=80$ К



$J_1=5$ люкс, $J_2=20$ люкс, $J_3=40$ люкс, $J_4=80$ люкс

7 расм. Нанокластерли кремний p-Si<B,Mn> намуналарида фон ёруғлигининг турли қийматларида фотоўтказувчанликнинг спектрал сезгирлиги. $E=5$ В/см, $T=80$ К

Олинган илмий натижалар асосида, тушаётган фотонлар энергиясининг $h\nu=(0,4\div 0,8)\text{эВ}$ орлиғида ишлайдиган ўта сезгир ИҚ нур фотопрёмникларни яратиш имкониятлари мавжудлиги кўрсатиб берилди. Бундай фотопрёмниклар нисбатан кучли фон ёруғлигида, мавжудлигида кучсиз ИҚ нурларни сезиши ва қайд қилиши мумкин. Олинган тажрибалар асосида, кремнийдаги марганец атомлари нанокластерларининг заряд ҳолатини ўзгартириб таъсирида намуналарнинг фотосезгирлигини бошқариш қонунияти аниқланди.

Кузатилинган ва ўрганилган тажриба натижалари асосида олинган фототокнинг ИҚ нурлар таъсирида ғайри оддий чуқур сўнишининг ҳамда ўта катта қолдиқ ўтказувчанликнинг илмий адабиётлардаги мавжуд формулалар ёрдамида қийматларини назарий ҳисобланганда, кремний намуналарида марганец атомлари ҳосил қилган кўп зарядли нанокластерларда заряд ташувчи ковакларни ютиш юзасининг жуда ҳам кичик бўлиши $S_p < 10^{-26} \text{ cm}^2$ аниқланди. Амалда бундай кичик ютиш юзалари ярим ўтказгич материалларида мавжуд эмас.

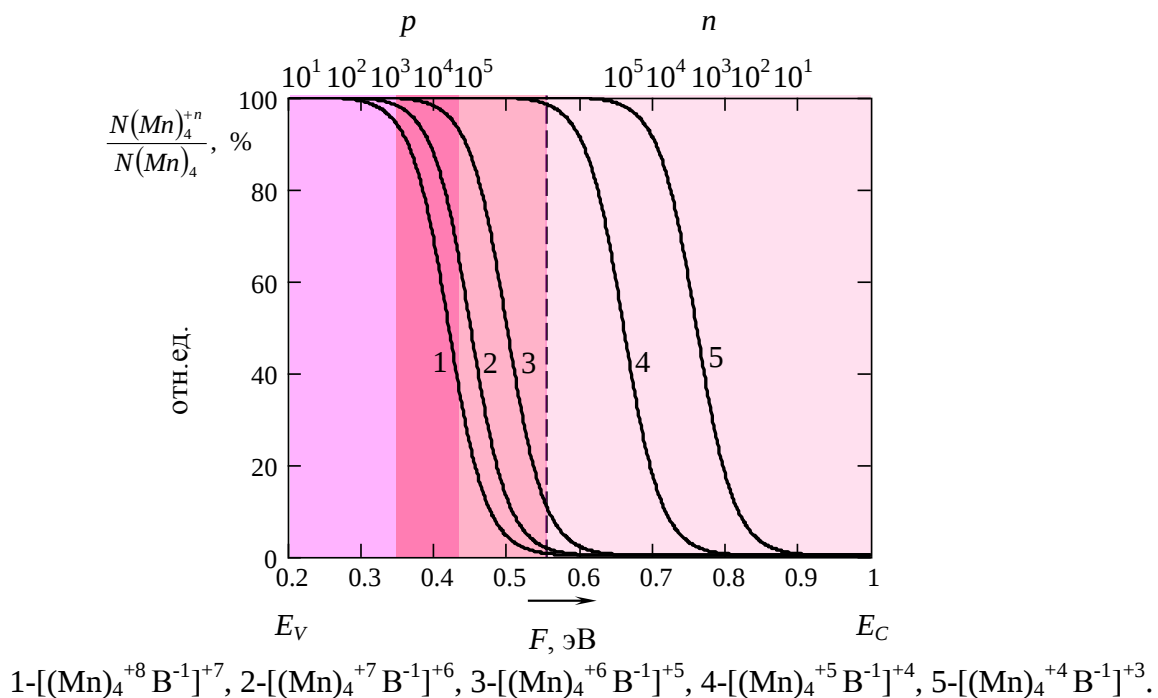
Марганец атомларининг нанокластерлари мавжуд бўлган кремний намуналардаги фотоўтказувчанликга ташқи электр майдон ва ҳароратни таъсири ҳам ўрганилди. Намуналарга қўйилган электр майдон кучланганлигининг қийматини ошириш билан киришмали фотоўтказувчанликнинг қийматини сезиларли даражада кўпайиши аниқланди. Электр майдон кучланганлигининг қийматини $5\div 6$ маротаба ошириб, кремний намуналардаги фототокнинг қийматини 3000 маротабагача оширишга эришилди. Нанокластерли кремний намуналардаги бундай юқори фотосезгирлик деярли ўзгаришсиз $T=100\div 240 \text{ K}$ ҳарорат оралиғида сақланиб турди ва нисбатан юқори ҳароратларда $T=300 \text{ K}$ фотоўтказувчанлик сезгирли сусаяди. Лекин бу сезгирлик бошқа ярим ўтказгич материалларнинг фотосезгирлигига нисбатан катта қийматларда эканлиги кўрсатилди. Фотоўтказувчанликнинг спектрал боғланишини ўрганиш натижаларида марганец нанокластерларини кремнийнинг тақидланган соҳасида ҳосил қилган энергетик сатҳининг қиймати аниқланди. Кремнийда марганец атомларининг нанокластерлари энергетик дискрет сатҳ эмас, балки, энергетик оралиқ ҳосил қилиши ва унинг қиймати $E=(E_v+0,5)\div (E_v+0,42)\text{эВ}$ оралиғида бўлиши ва бу энергетик оралиқда, заряд ташувчиларни ютиш юзасининг катталиклари (коваклар ва электронлар учун) бир-биридан фарқ қиладиган 5та энергетик сатҳ ҳосил бўлиши кўрсатилди.

Бобни сўнгида, марганец атомлари билан легирланган нанокластерли кремний материалида олинган тажриба натижаларининг катталиклари ярим ўтказгичлар физикасидаги узлуксизлик тенгламаси ёрдамида назарий ҳисобланди. Назарий ҳисоблар натижалари асосида кремнийнинг тақидланган соҳасида Форми сатҳининг ҳолатига боғлиқ равишда умумий нанокластерларнинг концентрациясига (1) нисбатан турли заряд ҳолатидаги нанокластерларнинг миқдорини ўзгаришлари аниқланди. (8 расм).

$$N_{(Mn)_4} = \frac{(N_{(Mn)_4})^{+7}}{1 + g \exp\left(\frac{E_1 - F}{kT}\right)} + \frac{(N_{(Mn)_4})^{+6}}{1 + g \exp\left(\frac{E_2 - F}{kT}\right)} + \frac{(N_{(Mn)_4})^{+5}}{1 + g \exp\left(\frac{E_3 - F}{kT}\right)} +$$

$$+ \frac{(N_{(Mn)_4})^{+4}}{1 + g \exp\left(\frac{E_4 - F}{kT}\right)} + \frac{(N_{(Mn)_4})^{+3}}{1 + g \exp\left(\frac{E_3 - F}{kT}\right)} \quad (1)$$

Қилинган хисобларнинг натижаларини тахлили шуни кўрсатадики, марганец атомларининг нанокластерлари мавжуд кремнийда. Энг катта манфий магнит қаршилиқ, киришмали фотоўтказувчанликнинг юқори киймати, ўта катта қолдиқ ўтказувчанлик, Ферми сатҳи кремнийнинг тақиқланган соҳасида $F=(E_v+0,35 \div E_v+0,42)$ эВ энергия оралиғида жойлашганида кузатилаар экан. Кремнийда Ферми сатҳи бу энергетик кийматлар оралиғида бўлганида, марганец нанокластерларининг заряди $[(Mn)_4^{+8}B^{-1}]^{+7} \div [(Mn)_4^{+7}B^{-1}]^{+6}$ ҳолатда бўлиши назарий хисоблардан аниқланди.



8 расм. Кремний намуналарида Ферми сатҳининг энергетик ҳолатига боғлиқ ҳолда нанокластерларнинг умумий концентрациясидан зарядланган нанокластерларга ўтишидаги нисбий ўзгариш (назарий хисоби)

Кремнийда, Ферми сатҳини $F > 0,42$ эВ энергия кийматидан юқорига силжиши марганец атомлари нанокластерларининг заряд миқдорини кескин камайишига, кузатилинган эффектларнинг заифлашишига ёки умуман йўқ бўлишига олиб келар экан. Олинган илмий натижаларнинг назарий хисоблари кузатилинган эффектларнинг физикасини тушунтириб берибгина қолмай, балки керакли ўрганилиши талаб қилинган маълум электрофизик параметрли марганец атомларининг нанокластерлари мавжуд бўлган кремний намуналарни олдиндан танлаб олиш имкониятларини беради.

3. Хулоса

1. Монокристалл кремний панжарасида марганец атомлари нанокластерларининг шакилланишидаги термодинамик шароитлар аниқланди ва паст ҳароратли диффузион легирлаш технологияси яратилди. Киришма атомлари нанокластерларини шакиллантирувчи структураси ва хусусиятини бошқариш имкониятини берувчи технология наноэлектрониканинг замонавий долзарб муаммоларини ҳал қилибгина қолмай, киришма атомлари нанокластерларининг кремнийдаги фундаментал параметрларини ва магнит хусусиятларини ўрганиш ва ҳозиргача номаълум бўлган яни физик ҳодисаларни очишга ҳам хизмат қилади.

2. Кремнийдаги марганец атомлари нанокластерларининг электрофизик хусусиятлари ўрганилди ва нанокластерлар параметрларини турғун бўлиш ва ҳарорат оралиғи аниқланди.

3. Биринчи маротаба кремнийдаги марганец атомлари нанокластерларининг магнит хусусиятлари ва ўта ката қийматдаги юқори ҳароратли манфий магнит қаршилиқ хоссалари ўрганилди.

4. Манфий магнит қаршилиқнинг қийматини, материалнинг параметрларига, электр ва магнит майдон кучланганлигининг ўзгаришига ва нанокластерлар концентрациясига боғлиқ ўзгариши қонуниятлари аниқланди.

5. Олинган тажриба натижалари асосида, электроника саноатида янги турдаги сезгир магнит датчикларни, фотомагнит асбобларни, $h\nu=8\div 1,5$ мкм тўлқин узунлиги оралиғида ишлайдиган ИҚ нурларни сезувчи фотопрёмникларни, хотира элементларини, эслаб қолувчи оптик қурилмаларни ҳамда фон ёруғликда ишлайдиган ИҚ нур фотопрёмникларини яратиш имкониятлари кўрсатилди.

6. Нанокластерларнинг олиш технологиясини янада такомиллаштириш, ярим ўтказгич материалынинг ҳажмидаги нанокластерларнинг концентрацияси ва тақсимланишини бошқариш, кўп босқичли, мураккаб ва кўп меҳнат сарфлайдиган технологик жараёнларсиз, янги турдаги материаллар ва улар асосида катта интеграция даражасидаги ҳажмий интеграл микросхемаларни олиш ҳамда қўллаш мумкин бўлган янги истиқболли соҳани очилишига олиб келади.

Адабиётлар:

1. Gerasimenko N.N., Parhomenko Yu.N., Troitskiy V.Yu., Irzhak A.V., Pavluchenko M.N., Djamanbali K.K. Quantum-dimensional structures produced by ion inplation // NIMB, 2003.– 206.– P. 644-647.

2. Герасименко Н.Н. Радиационные методы в технологии наноэлектроники //Сб. тр. Международной конф. Кремний-2007.– Москва, 2007.– С. 43

3. Сыркин В. Г. CVD метод–Химическое парофазное осаждение, М.: Наука, 2000.– 470 с.

4. ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР

1. Бахадырханов М.К., Мавлонов Г.Х., Аюпов К.С., Исамов С.Б. Отрицательное магнитосопротивление в кремнии с комплексами атомов марганца $[Mn]_4$ //

- Физика Техника Полупроводников. – Санкт–Петербург, 2010.– Т. 44.– В. 9.– С. 1181-1184.
2. Бахадырханов М.К., Аюпов К.С., Илиев Х.М., Мавлонов Г.Х., Саттаров О.Э. Влияние электрического поля, освещенности и температуры на отрицательное магнетосопротивление в кремнии легированного по методу «низкотемпературной диффузии» // Письма в ЖТФ. – Санкт–Петербург, 2010.– Т. 36– В. 16.– С.11-18.
 3. Аюпов К.С., Бахадирханов М.К., Мавлянов Г.Х., Зикриллаев Н.Ф., Нигманхуджаев С. Активация Нанокластеров атомов марганца в кремнии// Доклады АН РУз. – Ташкент, 2009. – № 3-4.– С. 56-58.
 4. Бахадырханов М.К., Мавлянов Г.Х., Сатторов О.Э., Валиев С.А. Неравновесные явления в кремнии с наноразмерными структурами // ТАТУ хабарлари.– Ташкент, 2008.– В. 1– С. 79-81.
 5. M.K.Bakhadirkhanov, G.Kh.Mavlonov, S.B.Isamov, K.S.Ayupov, Kh.M.Iliev, O.E Sattorov and S.A.Tachilin «Photoconductivity of Silicon with Multicharged Clusters of Manganese Atoms [Mn]₄» USA, Surface Engineering and Applited Electrohemistry, USA, 2010, Vol. 46. No.3, pp.276-280.
 6. Мавлонов Г.Х. Аномальной подвижность носителей заряда в кремния с нанокластерами атомов марганца // Тизислар туплами, Ўзбекистоннинг инновацион тараққиёти- ёшлар нигоҳида «Физика фанининг бугунги ривожига истедодли ёшларнинг ўрни».– Тошкент, 8-9 апрель 2010 г.– С. 149-153.
 7. Аюпов К.С., Норкулов Н., Зикриллаев Н.Ф., Бобонов Д.Т. Мавлонов Г.Х. Новый технологический способов формирования нанокластеров примесных атомов в решетке кремния // Республика конференция тезислари «Физик ва физик таълимнинг замонавий муаммолари».– Самарканд, 11-12 декабрь 2009 г.– С. 7-8.
 8. Бахадырханов М.К., Илиев Х.М., Мавлонов Г.Х., Зикриллаев Н.Ф., Отахонов А.С., Миджитов М.Х. Фотогашение отрицательного магнитосопротивления в кремнии с нанокластерами атомов// материалы 2- международной конференции «Неравновесные процессы в полупроводниках и в полупроводниковых структурах».– Ташкент, 12-14 ноября 2009 г.– С. 102-104.
 9. Аюпов К.С., Бахадырханов М.К., Мавлонов Г.Х., Зикриллаев Н.Ф., Исамов С.Б., Ковешников С.В. Исследование зависимости отрицательного магнетосопротивления в кремнии от концентрации нанокластеров атомов марганца // тезисы докладов VI Международная конференция и V Школа молодых ученых и специалистов «Кремний -2009».– Новосибирск, 7-10 июля 2009 г. –С. 194.
 - 10.Бахадырханов М.К., Зикриллаев Н.Ф., Мавлонов Г.Х., Исамов С.Б.,Мамаджанов Х.М.,Тачилин С.А. Фотоэлектрические свойства кремния с многозарядными нанокластерами атомов марганца // Материалы пятой республиканский научной конференции «Рост, свойства и применение кристаллов».– Андижан, 11-12 апреля 2008г.– С. 60-61.

Физика-математика фанлари номзоди илмий даражасига талабгор Мавлонов
Ғиёсидин Ҳайдаровичнинг 01.04.10 - «Ярим ўтказгичлар физикаси ихтисослиги
бўйича «Кремнийдаги марганец атомлари нанокластерларининг фотоэлектрик ва
магнит хусусиятларини ўрганиш» мавзусидаги диссертациясининг

РЕЗЮМЕСИ

Таянч сўзлар: нанокластер, киришма атоми, фотоэлектрик хусусият, магнит қаршилиқ, диффузия, энергиявий сатҳ, магнит датчик, фотоприемник.

Тадқиқот объектлари: марганец атомлари билан легирланган саноатида ишлатиладиган КДБ-2, 5, 10, 100 маркали монокристалл кремний намуналари.

Ишнинг мақсади: кремнийда марганец киришма атомлари нанокластерларининг заряд ҳолати ва магнит моментини бошқариш имкониятини берувчи технологияни яратиш, уларнинг хусусиятларини ўрганиш ва замонавий электроникада материалларнинг функционал хоссаларидан фойдаланиш имкониятларини очиқ бериш.

Тадқиқот методлари: усули: электрик ва фотоэлектрик ўлчаш усулларида электромагнит резонатор қурилмасидан, атом кучли ва инфрақизил микроскоплардан фойдаланилди.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги: ғайри оддий катта юқори ҳароратли манфий магнит қаршилиқ, $\lambda=1,5\div 8$ мкм оралиғида ўта катта қийматдаги қолдиқ фотоўтказувчанлик, фотоўтказувчанлик қийматини инфрақизил нурлар таъсирида ғайри оддий чуқур сўниш эффектлари очилди. Эффектларнинг ташқи электр ва магнит майдон, ҳарорат ва ёритилганлик даражасига боғлиқ ўзгариш қонуниятлари аниқланди.

Амалий аҳамияти: кремнийда марганец атомлари нанокластерларининг заряд ҳолатини ва концентрациясини бошқариш имконини берувчи технология яратилди. Магнит хусусиятли нанокластерлар мавжуд бўлган кремнийдаги манфий магнит қаршилиқ асосида янги турдаги сезгир магнит датчикларни ва фон ёруғлик етарлича кучли бўлганда ҳам инфрақизил нурларга ўта сезгир фотоприемникларни яратиш имкониятлари очиқ берилди.

Татбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: Диссертацияни бажаришда олинган натижаларни «Фотон» очиқ турдаги акционерлик жамиятида ва ТошДТУ нинг “Электроника ва микроэлектроника” кафедрасида ўқув жараёнида ишлатилиши мумкин.

Қўлланилиш соҳаси: микроэлектроника саноатида, қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш соҳаларида.

РЕЗЮМЕ

диссертации Мавлонова Гиёсидина Хайдаровича на тему: «Исследование фотоэлектрических и магнитных свойств кремния с нанокластерами атомов марганца» представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.10 - физика полупроводников

Ключевые слова: нанокластер, примесный атом, фотоэлектрические свойства, магнитосопротивления, диффузия, энергетическая зона, магнитодатчик, фотоприемник.

Объекты исследования: монокристаллические образцы кремния марки КДБ–2, 5, 10, 100 которые были легированы примесными атомами марганца.

Цель работы: разработка технологии формирования нанокластеров атомов марганца в решетке кремния с управляемым магнитным моментом и зарядовым состоянием, исследование влияния таких нанокластеров на электрические, магнитные и фотоэлектрические свойства кремния и определение их функциональных возможностей для использования в электронике.

Методы исследования: использовались электрические, фотоэлектрические методы, установка электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), силовым атомным и инфракрасным микроскопам.

Полученные результаты и их новизна: Впервые обнаружены эффекты: аномально большое высокотемпературное отрицательного магнитосопротивления, гигантская примесная фотопроводимость в области $\lambda=1,5\div 8$ мкм, аномально глубокие инфракрасного гашения фотопроводимости. Установлены закономерности изменения обнаруженных эффектов от величина электрического и магнитного полей, температур ыи интенсивности освещения.

Практическая значимость: разработана технология получения кремния с нанокластерами атомов марганца с управляемыми зарядовыми состояниями и концентрацией. Показана возможность создания на основе кремния с магнитными нанокластерами нового типа чувствительных магнитодатчиков, на основе ОМС и ИК фотоприемников работающих при наличие достаточно высоких уровней фонового освещения.

Степень внедрения и экономическая эффективность: полученные в работе результаты могут быть использованы в ОАО «ФОТОН» и на кафедре " Электроника и микроэлектроника" ТашГТУ в учебном процессе.

Область применения: микроэлектронная промышленность, в области использование возобновляемые источники энергии.

RESUME

Dissertation of Mavlonov Giyosiddin Haydarovich on a theme: «Research of photo-electric and magnetic properties of silicon with nanoclusters atom of manganese» the scientific degree of the candidate of physical and mathematical sciences presented on competition on a speciality 01.04.10 – “Semiconductors physics”

Key words: nanoclusters, impurity atom, photo-electric properties, magnetoresistance, diffusion, band gap, magnetic sensor, photodetector.

Subject of research: monocrystal samples of silicon of mark КДБ – 2, 5, 10, 100 which have been doped impurity atoms of manganese.

Purpose of work: working out of technology of reception of silicon with nanoclusters impurity atoms of manganese with steer able charging condition status and the magnetic moment, and also research of their properties and definition functional possibility for usage of such materials in modern electronics.

Method of research: electric, photo-electric methods, device of an electron spin resonance (ESR), atomic force and infra-red microscopes were used.

The results obtained and their novelty: for the first time effects are found out: it is anomalous high-temperature negative magnetoresistance, giant impurity photoconductivity in the field of $\lambda=1,5\div 8$ microns, it is anomalous infra-red quenching of photoconduction. Laws of change obtained effects from size electric are established and magnetic field, temperatures intensity of lighting.

Practical value: the technology of reception of silicon with nanoclusters atom of manganese steer able charging condition status and concentration is developed. Possibility of creation on the basis of silicon with magnetic nanoclusters new type sensitive magnetic sensors, on the basis of NMR and IR photodetectors working is shown at presence enough high levels of background light.

Degree of embed and economic effectivity: the results received in work can be introduced on Open Society "PHOTON" and on chair «Electronics and microelectronics» TSTU in educational process.

Field of application: the microelectronic industry, in area use renewed energy sources.