АҢДАТПА

6D074000 – Наноматериалдар және нанотехнологиялар мамандығы бойынша PhD философия докторы дәрежесін ізденушінің диссертациясына

Жетписбаев Кайратбек Уристимбекович

ЖОҒАРЫТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ АСҚЫНӨТКІЗГІШТІҢ СИПАТТАМАЛАРЫНА $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ ЖӘНЕ $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ НАНОҰНТАҚТАРЫ ҚОСПАСЫНЫҢ ӘСЕРІ

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. Диссертациялық жұмыс жоғарғы температуралық асқынөткізгіштердің критикалық температурасы, критикалық ток тығыздығы секілді негізгі сипаттамаларына наноөлшемді қоспаларының әсерін зерттеуге арналған. Қойылған мәселені шешу жұмыстары висмутқоспалы (BPSCCO)және иттрий-барийқоспалы (YBCO)жоғары температуралық асқынөткізгіш (ЖТАӨ) материалдарына наноөлшемді $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ (CZFO) және $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ (NZFO)ұнтақтарын қосу арқылы эффективті пиннигті орталықтарын жасау арқылы жүзеге асырылды.

Бұл жұмыс 3 тараудан тұрады. Бірінші тарауда мәселенің бүгінгі жағдайы туралы мәліметтер келтіріледі, ұнтақтардың басқада түрлерін қосу және сыртқы әртүрлі әсерлердің нәтижесінде алынған эффективті пиннингті орталықтарды жасауға арналған ғылыми еңбектерге шолу жасалады.

Екінші тарауда диссертациялық жұмыстағы қойылған есептің нәтижесін алу үшін қолданылған құрылғылар мен тәжірибе әдістерін сипаттауға арналады.

Үшінші тарауда ЖТАӨ материалдарының негізгі қасиеттеріне түрлі наноқұрылымдық қоспалардың әсерлерін зерттеудің тәжірибелік нәтижелерін талқылау, осы жұмыстағы өлшеу нәтижелерін талқылау және оларды басқа нәтижелермен салыстыру сипаталады.

Тақырыптың өзектілігі. Асқынөткізгіштік механизмін түсіндіре алатын теорияның болмауына қарамастан, қазіргі кезде ЖТАӨ материалдары электроникада, энергетикада, көліктерді үдетуге арналған техникаларда және т.с.с. бағыттарда кең қолданысқа ие болды. Олардың ішінде жоғарғы қуатты ток тасымалдаушы сымдар мен кабельдерді құрастыруға қолданылатын күрделі купраттар негізіндегі керамикалық висмут және иттрий-барий қоспалы ЖТАӨ материалдарын ерекше атап айтуға болады. АлайдаЖТАӨ материалдарының сыртқы магнит өрісіне күшті тәуелділігінен, критикалық температура және критикалық ток мәндерінің жоғары болмауынан олардың кең көлемдегі қолданысы шектеулі болып отыр. Сыртқы магниттік өріске тәуелділікті әлсірету мақсатында, соңғы жылдары пиннингті орталықтары күшін жоғарылату әдістерін кең пайдалана бастады. Пиннингтік орталықтар магнит өрісінің материалға терең енуі үшін қажет, соның нәтижесінде ток тығыздығын арттыруға мүмкіндік пайда болады. Пиннингтік орталықтары

кристалдық торлардағы әртүрлі ақаулардан қалыптасады. Атомдық деңгейдегі ақауларды алу және қалыптастырудың негізгі келесі түрлері бар:

- қоспаларды ендіру;
- сыртқы әсер ету (радиациалық);
- ақаулардың планарлы немесе реттелген құрылымын құрастыру.

Құрылымдық параметрлері және асқынөткізгіштік қасиетері арасындағы өзара байланысты анықтайтын асқынөткізгіштік механизмі теориясының болмауы алынған нәтижелерді түсіндіруге, сонымен қатар, тәжірибелерді жоспарлауғамүмкіндік беретін, көптеген модельдерді ұсынумен компенсацияланады. Осы жұмыста критикалық температураның жоғарғы параметрлеріне қол жеткізу үдерісіне CuO_2 – купраттық жазықтығын қалыптастыру нәтижесінде заряд тасымалдашыларының тиімді концентрациясымен байланыстыратын «зарядтар резервуары- жазықтық» деп аталатын модель қолданылады.

Купратты ЖТАӨ материалдарына оның құрамындағы кристалдардың қабатты болуынан критикалық токтарының лездік анизотропиясы тән болады. Пиннингтік орталықтары қызметін атқаратын атомдық деңгейдегі ақауларды қалыптастыру үшін наноөлшемдегі ұнтақтарды пайдалану ыңғайлы. Пиннингтік орталықтардың жоғарғы тығыздығына қол жеткізу үшін қажет тиімді қоспаларды іздеу кезінде ток тығыздығын жоғарылату негізгі мақсат болып табылады. Наноөлшемді ұнтақтарды қосу басқа әдістермен салыстырғанда ең тиімдісі болып табылады. Наноқоспалардың түрлерін, олардың мөлшерін, концентрациясын және наноөлшемдерін таңдау үдерісіндегі негізгі мақсат критикалық ток тығыздығының артуы және критикалық температураның төмендеуі арасындағы ымыраны іздеу болып табылады. Наноөлшемді ұнтақтарды қолдану кезінде критикалық ток тығыздығы мен температураның эффективті артуы жүзеге асатын концентрацияларын таңдауда жоғарғы және төменгі қандай да бір шектік мәндері болады. Бұл жұмыста наноөлшемді ұнтақтардың түрлері алынған алдыңғы нәтижелерге сүйеніп анықталды. Сондықтан аталған жұмыста $Co_{0.5}Zn_{0.5}F_2O_4$және $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ секілді күрделі құрамды наноөлшемді (5-50нм) ұнтақтар таңдалады. Аталған наоөлшемді материалдар әртүрлі магниттік материалдардан құралады.

Магнетизм және асқынөткізгіштік ұғымдарыбір-біріне қарама қарсы ұғымдар болғандықтан зерттеу үшін қызықты тақырыпболып табылады. Магниттік наноматериал магниттік тор мен магниттік текстура арасындағы өзара әсерлесу арқылы асқынөткізгіштің критикалық ток тығыздығының артуына ықпал етуі мүмкін. Антиферромагнитті Co-Fe_2O_3, ферромагнитті - Fe_3O_4 және диамагнитті ZnO қоспа ретінде қолданудың нәтижесінде BPSCCO критикалық температура мен критикалық ток тығыздығының артуына мүмкіндік берді. Күрделі магниттік оксидтерін пиннингтік орталықтың діңгегі ретінде магниттік өрістерді бекітуге арналған тиімді материал ретінде қолдануға болады. Олар күшті құрылымдық, электрондық, және магниттік, тіпті иондық еркіндік дәрежелерінің күшті әсерлесуіне негізделген қасиеттердің көптеген түрлеріне ие. Осыған дейінгі жұмыстарда

$Cu_{0,5}Tl_{0,5}Ba_2Ca_2Cu_3O_9$ құрамына жалпы массасының 0.08% етіп CZFO қоспасын ендіргенде критикалық температура мәні 3,35% және тиімді ақаулар концентрациясының артуы анықталған еді. CZFO және NZFO наоұнтақтарының BPSCCO және YBCO материалдарының негізгі сипаттамаларына әсері бұрын соңды зерттелмеген. Сондықтан осы жұмыста CZFO және NZFO таңдалды, себебі ол наноөлшемдгі ең тиімді суперпарамагнит, сонымен қатар, ол сынамаларды әзірлеу кезінде ферромагниттік нұсқа ретінде қолданылады.

Егер нано қоспаның өлшемі - d магниттік өрістің ЖТАӨ материалы бойына λ – ену тереңдігінен кіші және ξ- когеренттік ұзындығынан үлкен болған жағдайда критикалық ток тығыздығы - J_C жоғарылайды деген тұжырымды пайдаланамыз. Бұл жұмыста наноөлшемдері d=5-50 нм болатын ұнтақтары BPSCCO және YBCO ЖТАӨ материалдарына қолданылады.

Жұмыстың мақсаты. Сонымен, бұл жұмыстың негізгі мақсаты критикалық ток тығыздығын жоғарылатуға және критикалық температураны төмендетпеуге мүмкіндік беретін пиннингтік орталықтарды қалыптастыруға қажетті CZFO және NZFO наоөлшемді ұнтақтарды пайдалану (қосу) арқылы BPSCCO және YBCO жоғары температуралық асқын өткізгіш материалдарының негізгі сипаттамаларын зерттеу болып табылады.

Осы мақсаттарға қол жеткізу үшін диссертациялық жұмыста келесі **мәселелерді** шешу алға қойылды:

- висмут қоспалы $(Bi_{1.6}Pb_{0.4})Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ және иттрий-барий қоспалы $YBa_2Cu_3O_7$ материалдарына $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ (CZFO) и $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ (NZFO) наноөлшемді ұнтақтарын қосу арқылы ЖТАӨ критикалық температурасы– T_cжәнекритикалық ток тығыздығы – J_cсипаттамаларынатәжірибелік зерттеуді жүргізу;

- висмут қоспалы және иттрий-барий қоспалы ЖТАӨ материалдарын қатты фазалы және бірлесіп тұндыру әдістері арқылы алу, әртүрлі әдістермен алынған сынамалардың қасиеттерін салыстыру, сынамалардың магниттік сезімталдығын өлшеу арқылы критикалық температура мәнін дәлірек анықтау;

- ЖТАӨ критикалық ток тығыздығы мен температурасының наноөлшемді қоспалардың концентрациясына тәуелдігін анықтау,сонымен қатар күйдіру уақытына тәуелділігін анықтау;

- радиациялық әдісі секілді пиннингтік орталықтарды алудың басқа әдістердің нәтижелерімен салыстыру арқылы наноөлшемді пиннингтік орталықтардың тиімділігін бағалау.

Қорғауға шығарылатын негізгі тұжырымдар:

1. Күйдіру уақытын (125 сағаттан) жоғарылатпай, сынамаларды өңдеудің жоғары жиілігін сақтау арқылы висмут құрамды $(Bi_{1.6}Pb_{0.4})Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ материалына наноөлшемді $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$қоспаның 0,01-0,1% мөлшерінде ендіру критикалық ток тығыздығын 12% арттыруға, сонымен қатар, критикалық температура мәнін 100 К кемітпеуге мүмкіндік береді;

2. Күйдіру уақытын (50 сағаттан) жоғарылатпай, сынамаларды өңдеудің жоғары жиілігін сақтау арқылы иттрий-барий құрамды$YBa_2Cu_3O_7$ материалына наноөлшемді $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$қоспаның 0,02-0.1% мөлшерінде ендіру критикалық ток тығыздығын үш есеге арттыруға, сонымен қатар, критикалық температура мәнін 90 К кемітпеуге мүмкіндік береді;

3. Бірлесіп тұндыру әдісі қатты фазалы әдісіне қарағанда, ЖТАӨ материалдың біртектілігі тиімді болып табылатыны анықталды. Бірге тұндыру әдісінің көмегімен қатты фазалы синтез әдісімен (Bi-2212) салыстырғанда Bi-2223 фазасының үлесін екі есеге арттыруға қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Жүргізілген жұмыстың жаңалығы:

1. Алғаш рет висмут құрамды $(Bi_{1.6}Pb_{0.4})_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ЖТАӨ материалына жалпы массынан 0,01-0,5% мөлшерінде наноөлшемді $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ және $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ұнтақтарын қосу арқылы критикалық сипаттамаларына зерттеу жүргізілді.

2. Алғаш рет иттрий-барий құрамды $YBa_2Cu_3O_7$ЖТАӨ материалына жалпы массынан 0,01-0,5% мөлшерінде наноөлшемді $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ және $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ұнтақтарын қосу арқылы критикалық сипаттамаларына зерттеу жүргізілді.

3. $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ және $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ наноөлшемді қоспалардың аз концентрациясы мөлшеріндегі ендірулердің критикалық ток тығыздығы және температурасына әсері зерттелді, осы қоспаларды қолдану арқылы критикалық сипаттамаларының күйдіру уақытына тәуелділігі зерттелді.

4. $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ және $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ наноқоспалары арқылы бірлесіп тұндыру әдісі арқылы алынған BPSCCO сынамалардың қатты фазалы әдісі арқылы алынған сынамалармен салыстырғанда Bi-2223 фазасы Bi-2212 фазасынан екі есе жоғары болады.

Алынған нәтижелердің **теориялық маңыздылығы** магниттік наноөлшемді ұнтақтарды жасанды ендіру арқылы асқынөткізгіш бетімен ығысатын магниттік құйындары ағынын тоқтатудың (бекітудің) модельдік нұсқасы расталады. Аталған нәтижелер пиннингтік орталықтары ретінде алынған наноөлшемді магниттік ұнтақтарды біртекті тарату тиімділігін дұрыс түсінуге мүмкіндік береді, сонымен қатар, ЖТАӨ материалдарындағы пиннингтік орталықтарды әрі қарай дамытуда қолданылуы мүмкін.

Алынған нәтижелердің **тәжірибелік маңыздылығы** CZFO және NZFO наноөлшемді ұнтақтары тиімді пиннингтік орталықтарды құруға мүмкіндік береді. Бұл нәтижелер үлкен токтың тығыздығына ие асқынөткізгіш материалдарын құрастыруда болашақта қолдануға болады.

Жұмыс апробациясыдиссертациялық жұмыстың негізгі тұжырымдары мен зерттеу нәтижелері келесі халықаралық ғылыми-техникалық конференцияларда баяндалды және талқыланды:

- American institute of Physics, Conference Proceedings (USA, 2016);

- «Жаңа ғылым: заманға сай жағдайы және даму жолдары» атты Халықаралық ғылыми- тәжірибелік конференция (Оренбург, РФ, 2016);

- «Қазақстанның жаңа экономикалық саясатын жүзеге асырудағы жас ғалымдардың ролі мен орны» Халықаралық сатпаев оқуларының еңбектері. Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰЗТУ, 2-том, (Алматы, 2016 жыл);

- Студенттер мен жас ғалымдарының «Фараби әлемі» атты үшінші халықаралық ғылыми конференциясы, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ (Алматы, 2016);

Малайзия ұлттық университетінің қолданбалы физика институтының (Куала-Лумпур, Малайзия) жоғары температуралы жоғары өткізгіштер зертханасында шетелдік жетекші ұсынған жоғары дәлдіктегі заманауи зерттеу әдістері мен құрылғыларының көмегімен тәжірибелік нәтижелер алынды, BPSCCO және YBCO жоғары температуралы өткізгіштер қасиеттерін зерттеу ұйымдастырылды.Сонымен қатар, Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰЗТУ және әл-Фараби атындағы ҚазҰУ зертханаларында алынған ЖТАӨ материалдарының сипаттамаларын өлшеу жүргізілді.

Автордың жеке үлесітәжірибелік жұмыстарды қою және жүргізу, алынған нәтижелерді жинақтау және түсіндіру, мақалалар мен есептерді жазу. Жұмыстың мақсаты мен міндеттері, тәжірибелерді жоспарлау, нәтижелерді талқылау және қорғауға арналған негізгі ережелер ғылыми кеңесшілермен талқыланды.

Жарияланымдар. Диссертациялық жұмыстың тақырыбына сәйкес 9 мақала басып шығарылған, соның ішінде 4 – ҚР БҒМ білім және ғылым саласындағы бақылау Комитетімен ұсынылған ғылыми басылымдарда басылып шығарылған, 1 – Thomson Reuters ақпараттық базасына енген халықаралық ғылыми журналда, 4 – халықаралық ғылыми конференция материалдарында, соның ішінде 1 – шет елдегі конференцияда (Thomson Reuters ақпараттық базасына енген басылымдарда), 1- тезис шығарылған.

Нәтижесінде диссертациялық жұмыста қойылған мақсаттарға қол жеткізу үшін келесі мәселелер шешілді:

1. Бірлесіп тұндыру әдісі арқылы $Co_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$наноұнтағы қосылған висмут құрамды $(Bi_{1,6}Pb_{0,4})Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ ЖТАӨ материалын алғанда қатты фазалық әдіспен салыстырғанда Bi-2223 фазасының екі есе жоғары болатындығы анықталды.

2. Висмут құрамды $(Bi_{1,6}Pb_{0,4})Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ материалдарына $Co_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ наноөлшемді ұнтақтарын0,01-0,1мас.% мөлшерінде қосқанда критикалық ток тығыздығы 12% жоғарылайды және критикалық температура мәнін кемінде 100К шамасында сақтайды.

3. Иттрий-барий құрамды $YBa_2Cu_3O_7$ материалдарына $Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ наноөлшемді ұнтақтарын 0,02-0,1мас.%мөлшерінде қосқанда критикалық ток тығыздығы үш есе жоғарылайды және критикалық температура мәнін кемінде 90К шамасында сақтайды.

4. $(Bi_{1,6}Pb_{0.4})Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ және $YBa_2Cu_3O_7$ ЖТАӨ материалдарына суперпарамагнитті ($Co_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ және $Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$), ферримагнитті,

антиферромагнитті ($CoFe_2O_3$,Cr_2S_3) және диамагнитті (ZnO, CdTe) наноқлшемді ұнтақтарының аз мөлшеріндегі (0,01 – 0,5 мас%) концентрациясы ферромагнитті (Fe_3O_4,Co_3O_4, $CoFe_2O_4$) наноұнтақтарымен салыстырғанда T_C жән J_C мәндерін тиәімді әсер етіп жоғарылататындығы анықталды.

5. ЖТАӨ матеиалдарының критикалық сипаттамаларының күйдіру уақытына тәуелділігі анықталды. Висмут құрамды $(Bi_{1,6}\,Pb_{0,4})Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ материалдары үшін 100-125 сағаттық күйдіру уақыты тиімді болып, осы интервалда критикалық температураның мәні ең жоғары болды. Иттрий-барий құрамды $YBa_2Cu_3O_7$ материалдары үшін 48-75 сағаттық күйдіру уақыты тиімді болып, осы интервалда ең жоғарғы критикалық температура мәні тіркелді.

6. ЖТАӨ материалдарына ақау ретінде наноөлшемді ұнтақтарды ендіру радиациялық әдіспен салыстырғанда, оларда асқынөткізгіштікті жоймай магниттік құйындардың материалға енуін бекіту үшін пиннингтік орталықтардың біртекті орналасуына едәуір тиімді әсер етіп, Jc мәнінің жоғары болуына ықпал етеді.