

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за придобиване на научна степен „Доктор на науките”
по професионално направление: 4.1 Физически науки, Специалност: „Физика на
кондензираната материя”

Автор на дисертациония труд: доц. д-р Елена Кръстева Назърова,
Институт по физика на твърдото тяло на БАН „Акад. Г. Наджаков”

Тема на дисертациония труд: „Comparative study of cuprates and iron – based
superconductors” (Сравнително изследване на купрати и желязо-базирани
свръхпроводници)

Рецензент: Тимерфаяз Нургалиев, дфн, професор в Института по електроника на БАН
„Академик Емил Джаков”; рецензията е изготвена въз основа на заповед № РД-09-97
от 30.09.2016 г. на директора на ИФТТ БАН и решение на първото заседание на
Научното жури от 04.10.2016 г.

Обем и структура на дисертацията. Представеният дисертационен труд е на английски език. Той е в обем от 192 страници и включва 6 глави, като глава 1 има обзорежен характер. Съдържа 122 фигури, 14 таблици и са цитирани 523 литературни източника. Дисертацията е базирана на 30 публикации на автора и една заявка за патент. Обектът, целите и структурата на дисертацията накратко са описани на страници 3–9 от дисертацията. Всяка глава се съпровожда с кратки уводи, а оригиналните глави - и с кратки изводи.

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение. Една от най-големите „революции” в свръхпроводимостта беше обусловена от откриването през 1986-87 години на неконвенционалната високотемпературна свръхпроводимост (ВТСП) в купратите $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, (където Re е редкоземен елемент, например Y) с рекордна критична температура, достигаща 93 K. Това породило огромен интерес към феномена ВТСП както от страна на фундаменталната физика, за която изясняването на механизма на възникване на ВТСП стана една от приоритетните задачи, така и от страна на приложните науки, които виждаха перспективи за широко използване на тези оксидни материали в най-различни области на техниката и електрониката. За изминалите 30 години ВТСП беше открита в много други съединения, включително и в съединения на желязото. Сензори на магнитното поле и инфрачервени излъчвания, резонатори за безжична комуникация и за регистриране на сигналите на ЯМР, електрически кабели, създадени от ВТСП вече станаха комерсиални продукти. Комбинация от свръхпроводящи и магнитни материали дава възможност за създаване на нов тип устройства, характеристиките на които могат да се управляват както от заряда на носителите, така и от спиновото състояние на носителите (устройства на спинтрониката). Дисертационната работа е насочена към изучаване свойствата на 2 класа неконвенционални свръхпроводящи материали – желязо-базирани свръхпроводници, които показват и магнитни свойства (селенид на желязо FeSe, свръхпроводимостта на който е открита през 2008 година) и купрати (основно 1-2-3 система). Изследва се и се сравнява степента на влияние на субституциите и добавките (в частност Ag) върху структурните, магнитните и електрическите характеристики на тези материали. Такива изследвания несъмнено са много важни както за физиката (например, за изясняване как се модифицира зарядовото състояние и механизмите на

взаимодействие в системата), така и за приложни области (например, модифициране на параметрите на материала в съответствие с техническите изисквания). По тази причина актуалността на проблема, разработен в дисертационния труд, в научно и научно-приложно отношение не буди никакви съмнения.

2. *Познава ли дисертантът състоянието на проблема и оценява ли творчески литературния материал.* Доц. Назърова от 1986 година се занимава с темата високотемпературни свръхпроводящи (ВТСП) материали. Тя е един активно работещ учен и от 2008 година е ръководител на лаборатория „Нискотемпературна физика” в ИФТТ БАН, има 1 защитен докторант и студенти. Тя е ръководила проекти с Института по ниски температури и структурни изследвания на ПАН, Университета в Салерно, Италия, а също и Евроатом проект INRNE-BG 2010–2014. През 2009–2014 години е била член на редакционния борд на списание „Open Superconductors Journal” и е рецензирала статии за научни списания. Седем от публикациите на доц. Назърова 2 пъти са спечелили първа награда в конкурса за най-добра работа в ИФФТ БАН и са получили специален приз от акад. А. Петров за съществени постижения през 2016 година. Както научната биография на доц. Назърова, така и научното ниво на изложените материали по дисертацията - в обзорната част и в оригиналните глави, степента на обработка и интерпретация на представения експериментален материал показват, че дисертантката много добре познава проблема и оценява творчески информацията, представена в литературата.

3. *Избраната методика на изследване може ли да даде отговор на поставените цел и задачи на дисертационния труд.* Избраната методика включва технологични процеси за синтезиране на горепосочените материали, съвременни методи на анализ на кристалната структура (рентгенова дифракция, СЕМ), измерване и анализ на температурната зависимост на съпротивлението и на магнитния момент, индуциран при постоянни или променливи магнитни полета, обработка и интерпретация на резултатите. Тези изследвания са направени отчасти в България, а отчасти в партньорски лаборатории в чужбина и без съмнение са адекватни за разрешаване на поставените задачи и постигане на целите на дисертацията.

4. *Кратка характеристика на естеството и на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд.*

Първата глава е обзорна. В нея се анализира информация, представена в литературата, относно кристолографски, електрически и магнитни характеристики и носителите на заряд на купрати (1-2-3) и новооткрити желязо-базирани свръхпроводници (в частност FeSe), които представляват обекти на изследванията в дисертацията. Тези материали се отнасят към неконвенционалните свръхпроводници и се характеризират със слоиста кристална структура. Купратът 1-2-3 е еднозонен свръхпроводник с $T_C \sim 93$ K, докато FeSe е многозонен свръхпроводник с $T_C \sim 8$ K при стандартни условия, който притежава и феромагнитни свойства.

Глава 2 съдържа оригинален материал, описващ технологиите, които са използвани за изготвяне на „чисти” ВТСП образци от системата (1-2-3) и FeSe, а също и образци със субституция на Ca, Pb, Sn и образци с добавки на Ag. Трябва да се отбележи, че FeSe система, която притежава и магнитен момент, представлява един от най-интересните обекти за изследване. Накратко, основните резултати са следните: -изготвени са за първи път желязо-базирани свръхпроводници FeSe с добавка от сребро Ag; показано е, че добавка от Ag (4 тегл. %) помага за получаване на образци FeSe_{0.94}, които преимуществено съдържат свръхпроводяща тетрагонална фаза; оценени са типът и ефективната концентрация на носителите на заряд във FeSe_{0.94}+6 тегл. % Ag; за първи път експериментално е получена зависимост между критичната температура и

концентрацията на Ag-добавката във $\text{FeSe}_{0.94}$, която е подобна на универсалната параболична зависимост за купратите.

- показано е, че субституираните с Ca образци $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_z$ ($x = 0, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2$) могат да се окажат свръхлегирани, в резултат на което критичната температура пада с увеличаване на x ; определени са концентрациите на носителите (дупки) в субституирани образци $\text{Re}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_z$ ($\text{R} = \text{Y}, \text{Eu}, \text{Gd}$ и Er) с $x = 0, 0.2, 0.25$ и 0.3 с използване на универсалната параболична зависимост между редуцираната критична температура и концентрацията на носителите в CuO_2 равнини.

В глава 3 са представени сравнителни характеристики на ВТСП (1-2-3) и FeSe образци в смесено състояние, което се определя от пининга и динамиката на магнитните флуксони:

- определени са линии на необратимостта за образци $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_z$ ($x = 0.025, 0.1, 0.2$) и $\text{FeSe}_{0.94} + \text{Ag}$ (0 тегл. % и 4 тегл. %); показано е, че Ag-добавките повишават полето на необратимост на $\text{FeSe}_{0.94}$, когато концентрацията на добавката не е много голяма; показано е, че енергията на активация във $\text{FeSe}_{0.94}$ достига максимална стойност при концентрация на добавка Ag (6 тегл. %), което е свързано с присъствието на Ag или Ag_2Se , служещи като пининг центрове.

В глава 4 се изследват интра- и интер-грануларните свойства на купратите и желязо-базирания свръхпроводник:

-изследвана е хистерезисната зависимост за кристала $\text{Fe}_{1.02}\text{Se}$ ($T_C \sim 8$ K) с присъствието на феромагнитната хексагонална фаза Fe_7Se_8 (~18%); определена е температурната зависимост на критичния ток и е наблюдаван аномален пик в тази зависимост; природата на пик ефекта е интерпретирана като резултат от „електромагнитната грануларност” на образеца.

-установено е, че в образците $\text{LaBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_z$ без добавки от Ag интергрануларните връзки са от типа (S-I-S). Добавяне на Ag води до формиране на връзки от типа S-N-S. Трансформация на вида на интергрануларните връзки от S-I-S в S-N-S е наблюдавана и в Ca субституирани образци $\text{Y}(\text{Ca})\text{BCO}$, съответно синтезирани в азотна атмосфера и образци, продължително оксидирани в кислород. Установено е, че за слабо легиран образец повече е характерна 2D флуксонидна система, а за свръхлегиран образец - 3D флуксонидна система.

В глава 5 се изучават критичните параметри на горепосочените системи.

- показано е, че образци $\text{FeSe} + 4$ тегл. % Ag и $\text{FeSe} + 8$ тегл. % Ag представляват материали с многозонна структура; оценени са стойности на първото критично магнитно поле $H_{c1} = 30$ Oe, Лондоновската дълбочина на проникване $\lambda = 320$ nm, параметъра на Гинсбург-Ландау $\kappa \sim 104$ и дължината на кохерентност $\xi \sim 30$ nm за $\text{FeSe} + 4$ тегл. % Ag; показано е, че добавяне на сребро във FeSe води до увеличаване на критичната температура, второто магнитно поле, Гинсбург-Ландау параметъра; ширината на прехода и съпротивлението в нормално състояние за такива образци могат да бъдат по-малки от същите параметри на монокристалния FeSe ; в образци $\text{FeSe} + 4$ тегл. % Ag могат да се очакват параметри, приемливи за практически приложения, критична плътност на тока от $\sim 10^{11}$ A/m², ниска анизотропия и висока стабилност в магнитното поле.

-показано е, че второто критично магнитно поле на купрата $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_z$ се намалява, а дължината на кохерентността расте с увеличаване на степента на свръхлегиране с Ca.

В глава 6 са представени някои резултати от прилагането на свръхпроводници за практически цели.

За получаване на резултатите, представени в дисертацията, широко са използвани магнитни методи и анализ на фундаменталната и третата хармоники на

магнитната възприемчивост на образците, измервани при различни амплитуди и честоти на външното АС магнитно поле. Всъщност, материалите, изложени в дисертацията, демонстрират и значителни възможности на АС метода за изследване на ВТСП материали.

5. В какво се заключават научните или научно-приложните приноси на дисертационния труд.

Научно-приложните приноси на дисертантката се заключават в следното:

а) Към пункта „Получаване и доказване на нови факти” се отнасят всички резултати, свързани с изготвяне на неконвенционални ВТСП материали FeSe с добавки на различно количество Ag и резултатите от изследване на техните критични и други важни параметри (приноси 1-4 от дисертацията) като първо и второ критични полета H_{c1} , H_{c2} , Лондоновската дълбочина на проникване λ , параметъра на Гинсбург-Ландау κ и дължината на кохерентност ξ .

б) Към пункта „Получаване и доказване на нови факти” се отнася и определяне на концентрацията на носителите (дупки) в субституирани образци $Re_{1-x}Ca_xBa_2Cu_3O_z$ ($R = Y, Eu, Gd$ и Er) с $x = 0, 0.2, 0.25$ и 0.3 с използване на универсалната параболична зависимост между редуцираната критична температура и концентрацията на носителите в CuO_2 равнините.

в) Към пункта „Създаване на нови класификации, методи на изследване” може да се отнесат широко използваните в дисертацията магнитни методи, базирани на измерване и анализ на фундаменталната и третата хармоники на магнитната възприемчивост на образците при различни амплитуди и честоти на външното АС магнитно поле, а също и при наличието на външно DC магнитно поле (принос 8 от дисертацията).

Резултатите, получени в дисертационния труд, са важни и съществени както в научно, така и в приложно отношение. В частност, Fe базиран свръхпроводник FeSe с добавка Ag, за пръв път изготвен и изследван в рамките на дисертационния труд, представлява атрактивен обект за изучаване и от други научни групи. Получената от дисертантката информация за влияние на конкретни химически добавки и субституции върху параметрите на горепосочените свръхпроводници е много важна както за физиката (например, за изясняване как се модифицират механизмите на взаимодействие в системата), така и за приложните науки (например, за модифициране на параметрите на материала).

6. До каква степен приносите в дисертационният труд са личен принос на дисертанта. Преобладаващата част публикации, представени за рецензия, са в съавторство с колеги от лабораторията, български и чуждестранни учени. Експерименталната дейност изисква използването на специфични методи и съвременни скъпо струващи прибори и е невъзможна без използване ресурсите на различни институции. Без съмнение, съществена част от резултатите в трудовете, представени за рецензия, са получени с водещо участие на кандидата. Това се потвърждава и от факта, че тя е първи автор в 18 публикации и на второ място в списъка на авторите в 7 публикации.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд. Резултатите, включени в дисертацията, са отразени в 30 статии, които са отпечатани в 23 реномирани международни списания (Phys.St.Sol.(a), Physica C, Mater.Sci. and Eng., J.of Supercond., J.of Optoelectr.&Adv.Matter., J.of Supercond. and Novel Magnetism,

J.Mater.Sci. Technol., The Open Supercond. Journal, Supercond.Sci.Technol.) и в 4 сборника на международни конференции. 21 публикации са в списания с импакт фактор, 2 – с импакт ранг. Материалите са публикувани също в глава от книга и подадена заявка за 1 патент. Статиите на доц. Назърова са цитирани повече от 70 пъти. Най-цитирани статии на кандидата са E. Nazarova et al. Physica C 403 (2004) 283 (цитирана е 11 пъти) и E. Nazarova et al. Physica C 468/13 (2008) 955 (цитирана е 12 пъти).

8. Резултатите от дисертационния труд използвани ли са вече в научната практика, има ли постигнат пряк икономически ефект и пр. Резултатите от дисертационния труд засега не са използвани в практиката и няма документи за постигнат пряк икономически ефект.

9. Мотивирани препоръки за бъдещо използване на научните и научно-приложните приноси. В дисертацията се изследва влиянието на субституциите и добавките (в частност Ag) върху структурните, магнитните и електрическите характеристики на 2 класа свръхпроводящи материали – купрати (основно 1-2-3 система) и желязо-базирани свръхпроводници FeSe, които показват и магнитни свойства. Със сигурност резултатите представляват съществен интерес за международни институции и компании, занимаващи се с ВТСП електроника и силнотоккови компоненти и устройства. По-специално, за практически приложения представляват интерес образци FeSe + 4 тегл % Ag с критична плътност на тока от $\sim 10^{11}$ A/m² и с висока стабилност в магнитното поле.

10. Авторефератът изготвен ли е съгласно изискванията, правилно ли отразява основните положения и научните приноси на дисертационния труд. Нямам съществени забележки относно формата и съдържанието на автореферата. Авторефератът е изготвен съгласно изискванията и вярно отразява основните положения и приноси на дисертационния труд.

11. Други въпроси, по които рецензентът счита, че следва да вземе отношение. Познавам доц. Назърова лично и имам много добри впечатления относно нейната компетентност в професионалната област. Присъствах и на предзащитата на дисертационния труд и смятам, че представянето на резултатите беше на много добро ниво.

12. Заключение с ясно становище да се даде или не научната степен. Считаю, че представеният дисертационен труд има завършен вид, основната цел на изследванията е постигната и задачите са изпълнени. Дисертационният труд напълно отговаря на изискванията на ЗРАС в РБ и Правилника за неговото приложение, Правилника на БАН и Изискванията на НС на ИФТТ за присъждане на научна степен „Доктор на науките”. Отчитайки високото качество и значимостта на получените в дисертационния труд научни резултати, препоръчвам на уважаемото Научно жури да присъди научна степен „Доктор на науките” на Елена Кръстева Назърова по професионално направление 4.1. „Физически науки”, Специалност „Физика на кондензираната материя”.

София, 14.11.2016 г.

Рецензент

(проф. дфн Т.Нургалиев)