

ՄԵՐԳԵՅ ՆԻԿՈՂՈՍՅԱՆ

Ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածու

ԵՐԶԱՆԻԿ ԶԱՐԳԱՐՅԱՆ

Ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածու

ԱԼԲԵՐՏ ՄԱՐԳՍՅԱՆ

Ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների դոկտոր

**ԿԱՐՃԱՏԵՎ ԶԵՐՄԱՍՇԱԿՄԱՍԲ ՀԱՐՈՒՑՎԱԾ ԷԼԵՏՐԱՏՐԱՆՍՊՈՐՏԱՅԻՆ
ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԵՐԿԱՐԱՏԵՎ
ԾԵՐԱՑԱԾ $YBa_2Cu_3O_x$ ԲԱՐՁՐ ԶԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ
ԳԵՐՀԱՂՈՐԴԻՉՆԵՐՈՒՄ**

Համառոտագիր

Ջերմաստիճանային (77-290)Կ տիրույթում ուսումնասիրվել է սինթեզումից հետո 30 տարի սենյակային պայմաններում պահված բազմաբյուրեղային $YBa_2Cu_3O_x$ նմուշների էլետրատրանսպորտային բնութագրերը՝ կախված հետագա ջերմամշակման ռեժիմներից: Ստացվել են հետևյալ հիմնական արդյունքները.

1. Ջերմամշակումից հետո մինչև սենյակային ջերմաստիճան նմուշի արագ սառեցման դեպքում ցածր ջերմաստիճանային տիրույթում դիտվում է տեսակարար դիմադրության և գերհաղորդչային (ԳՀ) անցման լայնության աճ, որն ուղեկցվում է անցման կրիտիկական T_c ջերմաստիճանի նվազմամբ: Սակայն ջերմաստիճանից գծային կախվածության տիրույթում դանդաղ սառեցված նմուշի տեսակարար դիմադրությունը սկզբնական վիճակի համեմատությամբ աստիճանաբար նվազում է:

2. Հետազոտվող նմուշներում առանձնանում է մի ջերմաստիճան $T^p > T_c$, որից ցածր նմուշում հաստատվում է փսևդոգոտիական ռեժիմ, որը բնութագրվում է տեսակարար դիմադրության գծային կախվածությունից էականորեն տարբերվող շեղումով: Փսևդոգոտիական ռեժիմի առաջացման ջերմաստիճանը՝ T^p , նմուշի սառեցման արագությունից կախված, նվազում է անհամեմատ ավելի արագ, քան T_c -ն:

3. Նախնական, դանդաղ և արագ սառեցված նմուշներում ջերմաստիճանների $T > T^p$ տիրույթում տեսակարար դիմադրությունը փոփոխվում է գծայնորեն, սակայն առաջին և երկրորդ դեպքում այն դրսևորում է մետաղական, իսկ երրորդ դեպքում՝ կիսահաղորդչային վարքագիծ: Բացի այդ, վերջին դեպքում գի անցման սկզբին նախորդող նեղ ջերմաստիճանային տիրույթում դիտվել է քվադրատաղանկան վարքագիծ:

Այս արդյունքները որակապես մեկնաբանվում են նմուշների տարածական ցանցի Cu-O շղթաներում և հարթություններում նախապես առկա և

ջերմամշակման հետևանքով առաջացած նոր կառուցվածքային արատների միկրոսկոպիկ մակարդակով անհամասեռ բաշխման մոդելի սահմաններում:

Հանգուցային բառեր և արտահայտություններ բարձր ջերմաստիճանային $YBa_2Cu_3O_x$ գերհաղորդիչ (ԲՋԳՀ), գերհաղորդչային (ԳՀ) անցում, ԳՀ անցման կրիտիկական ջերմաստիճան (T_c), փսևոգոտի (Φ)

Նախաբան

Բարձր ջերմաստիճանային գերհաղորդիչների (ԲՋԳՀ) կրիտիկական և էլեկտրատրանսպորտային բնութագրերի կայունության ուսումնասիրությունը ջերմամշակման նկատմամբ կարևոր հիմնարար և կիրառական խնդիր է ժամանակակից պինդ մարմնի ֆիզիկայում [1]: Մի կողմից դա պայմանավորված է նրանով, որ վերջին տարիներին ինտենսիվ կերպով զարգանում է ԲՋԳՀ հիմքի վրա մշակվող տեխնոլոգիական սարքավորումների արտադրությունը, որոնց էլեկտրաֆիզիկական բնութագրերի կայունության հարցը ձեռք է բերում կարևոր նշանակություն [1-7]: Մյուս կողմից, չնայած ԲՋԳՀ հայտնաբերման պահից անցել է ավելի քան 30 տարի, սակայն նրանցում գերհաղորդականության մեխանիզմը մինչև այժմ միկրոսկոպիկ մակարդակով բացահայտված չէ [1]: Համաձայն որոշ աշխատանքներում բերված տեսակետի՝ ԲՋԳՀ-ում գերհաղորդականության բնույթի բացահայտման համար իբրև բանալի կարող են ծառայել նորմալ վիճակում կրիտիկական ջերմաստիճանին մոտ և նրանից բավականաչափ բարձր ջերմաստիճաններում դիտվող անսովոր հատկությունները: Դրանց թվին կարելի է դասել լայն ջերմաստիճանային տիրույթում ԲՋԳՀ միացություններում ծագող ֆլուկտուացիոն հաղորդականությունը [8], այսպես կոչված, փսևոգոտիական ռեժիմը [1,8], կոհերենտ էլեկտրատրանսպորտային երևույթները [9]: Ընդ որում հիշատակված երևույթների դրսևորման համար կարևոր են ինչպես նմուշի ջերմամշակման պայմանները (ջերմաստիճանը, տևողությունը, տաքացման և սառեցման արագությունը), այնպես էլ նրա ստացման նախապատմությունը [1-10]: Հատկապես մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում ցածր ջերմաստիճանային մշակումը, որը բերում է մետաստաբիլ վիճակների առաջացման [10-12], երբ նմուշի թթվածնային պարունակությունը չի փոխվում, սակայն փոխվում է տարրական բջջում թթվածնի ատոմների կարգավորվածության աստիճանը նրանց բարձր շարժունակության պատճառով [1,12-15]: Մետաստաբիլ վիճակում գտնվող և սենյակային պայմաններում երկարատև (10 տարի) պահված իտրիումային գերհաղորդչային միացության վերը հիշատակված բնութագրերի փոփոխությունը (ծերացման երևույթ), ինչպես ցույց է տրված [10] աշխատանքում, համարժեք է 200°C -ում 100 ժամ տաքացնելուց հետո առաջացած փոփոխություններին: Ծերացման երևույթը տարբեր միացություններում ուսումնասիրվել է ընդհուպ մինչև 17 տարի սենյակային պայմաններում պահելուց հետո [1-3]: Այդպիսի հետազոտությունները մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում ինչպես ԲՋԳՀ միացություններում գերհաղորդականության մեխանիզմի բացահայտման, այնպես էլ՝ նրանց նախնական բնութագրերի

վերականգնման տեսակետից [16,17]: Այդ նպատակով հաճախ կիրառվում է նմուշի կրկնակի ջերմամշակման մեթոդը [11]: Վերջերս մեր կողմից ուսումնասիրվել է սինթեզումից հետո մոտավորապես 30 տարի սենյակային պայմաններում պահված իտրիումային նմուշների տրանսպորտային և գերհաղորդչային հատկությունների վրա կարճատև ցածր ջերմաստիճանային կրկնակի ջերմամշակման ազդեցությունը ջերմաստիճանի (77-92)°K տիրույթում տեսակարար դիմադրության չափման ճանապարհով [18]: Ներկա աշխատանքում այդ հետազոտությունների ջերմաստիճանային տիրույթը ընդլայնվել է մինչև 290°K:

Չափման մեթոդներ

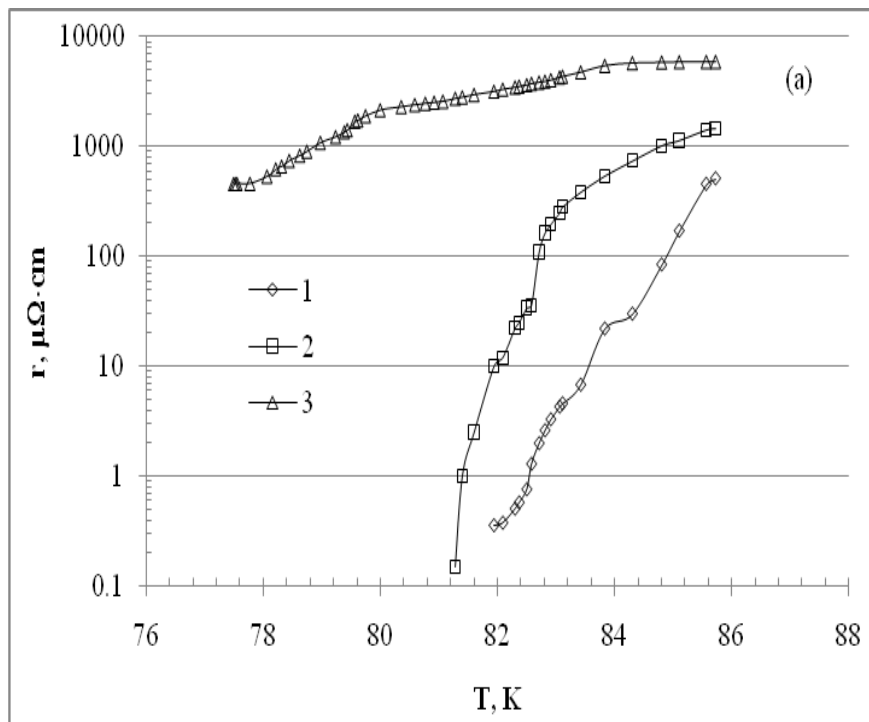
Հետազոտվող բազմաբյուրեղային տիպի $YBa_2Cu_3O_x$ FՋԳՀ միացությունները սինթեզվել են սովորական եղանակով [19,20] և սենյակային պայմաններում պահվել մոտ 30 տարի: Ռենտգենյան ֆլուորեսցենցիայի չափումները ցույց են տվել, որ այդ նմուշների մեջ բարիումի ատոմների կոնցենտրացիան, ըստ կշռի, մոտ 3-4 տոկոսով փոքր է 950°C-ում նախկինում սինթեզված նմուշների համեմատությամբ [19,20]: Այդ նմուշը ենթարկվել է կրկնակի ջերմամշակման սկզբում՝ 30 րոպե 400°C-ում օդում տաքացնելուց հետո վառարանի հետ միասին դանդաղ (3-4 աստիճան/րոպե) սառեցվել է մինչև սենյակային ջերմաստիճան: Մեկամսյա պարբերական չափումներից հետո այդ նույն նմուշը երկրորդ անգամ ևս 30 րոպե 400°C-ում օդում ջերմամշակվել և արագ (150-200 աստիճան /րոպե) սառեցվել է մինչև սենյակային ջերմաստիճան [18]: Ելակետային, մեկանգամյա և կրկնակի ջերմամշակումից հետո նմուշի վիճակները այսուհետև համապատասխանաբար կհամարակալվեն որպես 1, 2 և 3 նմուշներ: Յուրաքանչյուր ջերմամշակումից հետո մեկ ամսվա ընթացքում ժամանակ առ ժամանակ չափվել են են տեսակարար դիմադրության ջերմաստիճանային կախվածության $r(T)$ կորերը (88-290)°K միջակայքում Երկրի մագնիսական դաշտի առկայության պայմաններում՝ օգտագործելով վոլտամպերային բնութագրերի չափման քառակոնտակտ մեթոդը [19, 20]: Նշենք նաև, որ այդ բնութագրերը, որպես կանոն, մեկ ամիս անցնելուց հետո ժամանակից կախված շատ դանդաղ են փոխվում նմուշում առկա արատների նվազման պատճառով: Ուստի՝ այս աշխատանքում ներկայացված են ջերմամշակումից միայն մեկ ամիս հետո ստացված բնութագրերը, իսկ դրանց ժամանակային կախվածության արդյունքների մասին տվյալները հրապարակվել են այլ աշխատանքներում [21,22]: Գերհաղորդչային (ԳՀ) անցման լայնությունը որոշվել է հետևյալ ձևով՝ $\Delta T_c = T_c^{0.9} - T_c^{0.1}$, որտեղ $T_c^{0.9}$ և $T_c^{0.1}$ նորմալ վիճակի տեսակարար դիմադրության $0.9r_n$ և $0.1r_n$ արժեքներին համապատասխանող ջերմաստիճաններն են: Ընդունված է նաև, որ $T_c^{0.9}$ և $T_c^{0.1}$ համապատասխանում են ԳՀ վիճակին անցնելու սկզբի և վերջի (դիմադրության 0 դառնալու) կրիտիկական ջերմաստիճաններին՝ T_c^{on} և T_c^0 :

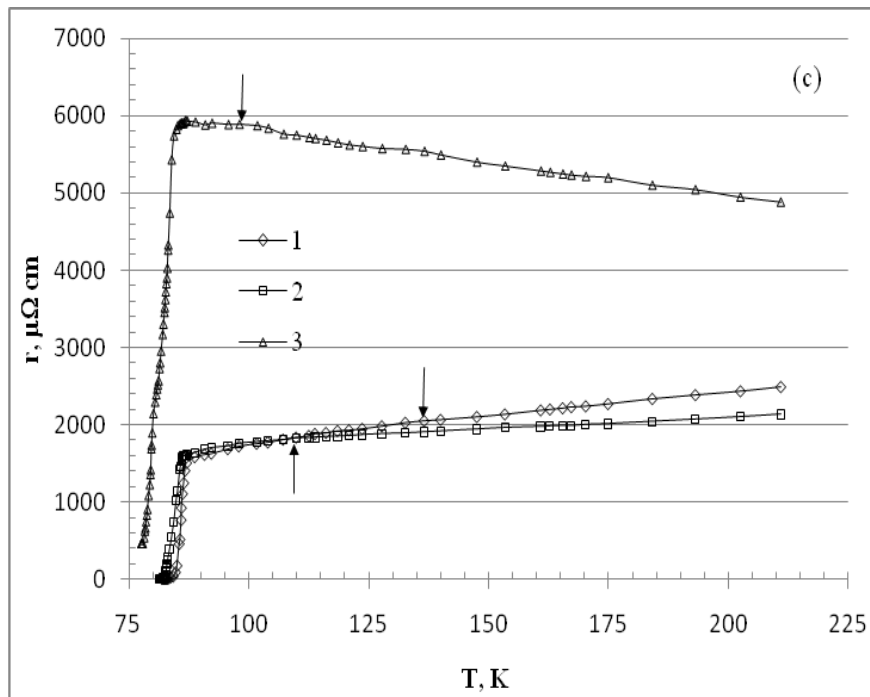
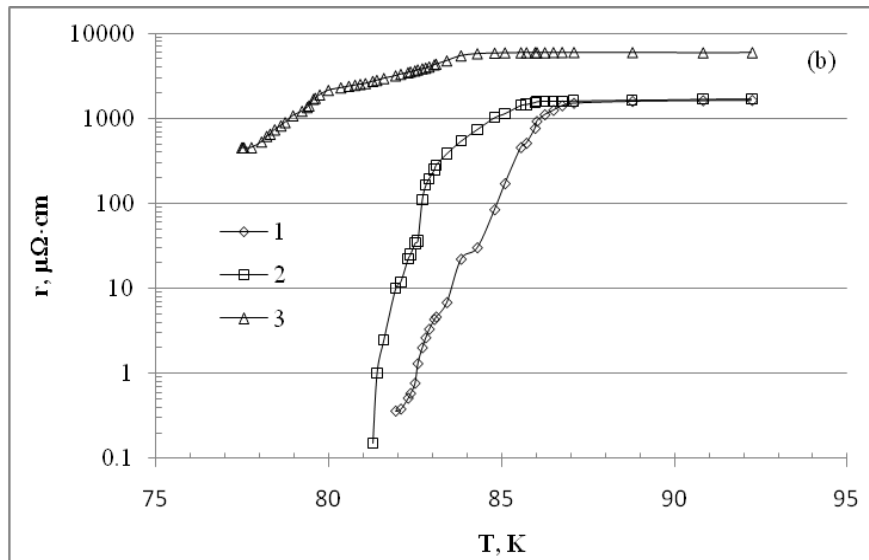
Ստացված արդյունքները և նրանց քննարկումը

Նկ.1 (a,b,c)-ում պատկերված են տեսակարար դիմադրության ջերմաստիճանային կախման կորերը երեք տարբեր ջերմաստիճանային տիրույթ-

ներում 1, 2 և 3 նմուշների համար: Ինչպես երևում է այդ նկարից, 30 տարի սենյակային ջերմաստիճանում պահելուց հետո ելակետային նմուշի տեսակարար դիմադրությունը՝ r (Նկ.1, կոր 1) նորմալ (ոչ գերհաղորդչային) վիճակում ջերմաստիճանի իջեցմանը զուգընթաց մինչև $T^p=136.5\text{K}$ գծայնորեն նվազում է, որը հատուկ է մետաղներին: Սակայն ավելի ցածր ջերմաստիճաններում դիտվում է r -ի գծային կախվածությունից ավելի արագ նվազում: 1 և 2 նմուշների T_c^{on} , T_c^0 , ΔT_c բնութագրերը համապատասխանաբար կազմում են 86.7K , 82.5K և 4.2K և 85.6K , 81.4K , 4.2K (տես աղյուսակը): Նկատենք, որ ջերմաստիճանային $T_c^0 < T < T_c^{\text{on}}$ տիրույթում 2-րդ նմուշի տեսակարար դիմադրությունը 1-ին նմուշի համեմատությամբ շատ ավելի մեծ է, քան բարձր ջերմաստիճաններում: Նշված տիրույթում հաղորդականությունը պայմանավորված է կուպերյան զույգերի կոնցենտրացիայի ջերմաստիճանային ֆլուկտուացիաներով [8]:

Ինչպես երևում է, 2-րդ նմուշի տեսակարար դիմադրությունը 1-ին նմուշի նկատմամբ մինչև $T = 110\text{K}$ շարունակում է (նկ. 1, կոր 2)





Նկ. 1. Տեսակարար դիմադրության (r) ջերմաստիճանային կախվածությունը 1, 2 և 3 նմուշների համար ջերմաստիճանային տարբեր տիրույթներում (a, b, c): Ուղղահայաց սլաքները մատնանշում են համապատասխան նմուշներում փոխդրոգոտիական ռեժիմի առաջացման ջերմաստիճանները (T^p):

նմուշ	$T_c^{\text{on}}, \text{K}$	T_c^0, K	$r(290\text{K}), \mu\Omega \cdot \text{cm}$	$r(100\text{K}), \mu\Omega \cdot \text{cm}$	$dr/dT, \mu\Omega \cdot \text{cm} / \text{K}$	T^p, K	$\Delta T_c, \text{K}$
1	86.7	82.5	2700	1733	5.90	136.5	4.2
2	85.6	81.4	2200	1765	3.00	110	4.2
3	83.7	-	4420	5880	-8.95	98	-

մնալ մեծ և դրսևորում է ոչ մետաղական վարքագիծ: Սակայն ավելի բարձր ջերմաստիճանների տիրույթում տեսակարար դիմադրությունը արդեն դրսևորում է մետաղական վարքագիծ, ընդ որում ջերմաստիճանի հետագա բարձրացմանը զուգընթաց, 1-ին նմուշի հետ համեմատած, սկսում է նվազել: Մենյակային ջերմաստիճանում այդ նվազման չափը կազմում է 18.5%: Բերված աղյուսակից երևում է, որ այդ նվազումը $2700 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ -ից մինչև $2200 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ ուղեկցվում է 1 և 2 նմուշների տեսակարար դիմադրության գծային կախվածության տիրույթից որոշված թեքության (dr/dT) նվազմամբ համապատասխանաբար $5.9 \mu\Omega \cdot \text{cm}/\text{K}$ -ից մինչև $3.00 \mu\Omega \cdot \text{cm}/\text{K}$: Նշենք, որ dr/dT բնութագրի նմանատիպ վարքագիծ դիտվել է նաև $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.55}$ և $\text{Y}_{1-y}\text{Pr}_y\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ միաբյուրեղներում, ինչպես բարձր ճնշումների կիրառումից [23], այնպես էլ խառնուրդային տեղակայումից հետո [24]: Ընդ որում dr/dT -ի նվազումը ուղեկցվել է նաև նմուշի դիմադրության նվազմամբ, որը բարձր ջերմաստիճաններում էապես ավելի մեծ է, քան ցածր ջերմաստիճաններում: Դիմադրության փոքրացումը, փաստորեն, վկայում է նորմալ հոսանքակիրների ցրման պրոցեսում ֆոնոնների դերի նվազման մասին [24]: Այդ պատճառով էլ 2-րդ նմուշի դիմադրությունը առաջինի համեմատությամբ ջերմաստիճանի (110-290)Կ տիրույթում աստիճանաբար նվազում է: Համաձայն [15,25,26] աշխատանքների, ցածր ջերմաստիճանային տիրույթում տեսակարար դիմադրությունը (ֆլուկտուացիոն հաղորդականությունը) պայմանավորված է Cu-O շղթաներում թույլ կապված O_4 , O_5 և O_1 ատոմների կարգավորվածությամբ, իսկ բարձր ջերմաստիճաններում՝ ուժեղ կապված թթվածնային ատոմների կարգավորվածությամբ Cu-O հարթություններում: Քանի որ Cu-O շղթաների թթվածնի ատոմները, հարթությունային ատոմների հետ համեմատած, ավելի թույլ են կապված, ապա ջերմամշակումը շղթաներում առաջացնում է ավելի մեծ թվով արատներ, որոնք, նպաստելով կուպերյան զույգերում կապի թուլացմանը և քայքայմանը, բերում են տեսակարար դիմադրության ավելի մեծ աճի:

Դիմադրության այդպիսի մեծ աճը 2-րդ նմուշում ուղեկցվում է ԳՀ վիճակի անցման կրիտիկական T_c ջերմաստիճանի նվազումով ընդամենը 1 աստիճանով, իսկ անցման լայնությունը մնում է հաստատուն՝ $\Delta T_c = 4.2$ Կ (տե՛ս աղյուսակը): Մինչդեռ բնութագրական T^p ջերմաստիճանը այդ դեպքում

նվազում է 136,5Կ մինչև 110Կ, այսինքն՝ ջերմամշակումը բերում է մետաղական հաղորդականության ռեժիմի դրսևորման ջերմաստիճանային տիրույթի էական ընդարձակման: Նկատենք, որ օդում արագ սառեցնելուց հետո, 3-րդ նմուշի ԳՀ անցման կորը նույնպես ընդհանուր առմամբ շեղվում է դեպի ցածր ջերմաստիճանների տիրույթ (նկ.1, կոր 3), և նմուշը հեղուկ ազոտի 77.3Կ ջերմաստիճանում չի անցում լրիվ ԳՀ վիճակի: Իսկ անցման սկզբի ջերմաստիճանը $T_{c^{on}}$ 85.6Կ-ից նվազում է մինչև 83.7Կ: Այսինքն՝ 3-րդ նմուշը դառնում է ավելի անհամասեռ, որն արտահայտվում է $T_{c^{on}}$ -ի համեմատությամբ ΔT_c -ի զգալի աճով T_c^0 -ի ավելի արագ նվազման պատճառով: Նրանում առաջացած անհամասեռության մասին է վկայում $r(T)$ կորի վրա պարզորոշ նկատվող աճը 80Կ-ի շրջակայքում նկ.1(a,b, կոր 3): Դիտվող անհամասեռությունը, ամենայն հավանականությամբ, պայմանավորված է թթվածնով հարուստ և աղքատ, տարբեր համաչափությամբ և T_c -ով (այդ թվում նաև՝ $T_c=80Կ$) օժտված ԳՀ փուլերի առաջացմամբ: Այս երևույթը հայտնի է իբրև, այպես կոչված, փուլային անջատման (phase separation) երևույթ և դիտվել է ջերմամշակման ենթարկված ոչ ստեխիոմետրիկ $YBa_2Cu_3O_{6.8}$ միաբյուրեղներում [10], ինչպես նաև խորիմուխի ատոմները ավելի մեծ իոնային շառավղով Pr-ի ատոմներով մասնակիորեն տեղակայված խորիմուխին նմուշներում: Հետաքրքիր է ընդգծել, որ ցածր ջերմաստիճանային մշակումից հետո, և սենյակային պայմաններում երկարատև պահված նմուշներում [10] օդում եղած ջրային գոլորշիների մասնակցությամբ տարրական բջջի թթվածնի, Y-ի և Ba-ի ենթացանցներում ի հայտ է գալիս ապակարգավորման երևույթ: Այս և ելակետային նմուշներում նախապես առկա արատները (Ba-ի ատոմների 3-4 % պակասորդ), և առաջացած ինչպես գերհաղորդիչ, այնպես էլ ոչ գերհաղորդիչ փուլերը անհամասեռ ձևով բաշխվում են միջհատիկային տարածություններում, առաջացնելով հսկայական լարվածություններ, որոնք դառնում են նորմալ հոսանքակիրների համար հավաքատեղիներ կամ արդյունավետ ցրման կենտրոններ [1]: Այս ամենը բերում է դիֆրակցիոն գծերի լայնության ընդարձակման [10], իսկ մեր դեպքում՝ ԳՀ անցման լայնության մեծացման: Փաստորեն, արագ սառեցման հետևանքով այդ կուտակումների եզրերում առաջանում են տարածական ցանցի հսկայական չափերի հասնող առաձգական լարվածություններ, ինչը բերում է տեսակարար դիմադրության և անցման լայնության ավելի մեծ աճի դանդաղ սառեցված նմուշի համեմատությամբ [13]: Նշենք, որ այս դեպքում ցածր ջերմաստիճանային տիրույթում տեսակարար դիմադրության դիտվող աճը 1-ին նմուշի համեմատությամբ մի քանի հազար անգամ մեծ է (նկ.1, կոր 3): Սակայն, եթե դանդաղ սառեցման դեպքում տեսակարար դիմադրությունը սենյակային ջերմաստիճանում նվազում է 18.5%-ով, ապա արագ սառեցման դեպքում այն, ընդհակառակը, մեծանում է ավելի քան 60%-ով (տե՛ս աղյուսակը): Բացի դրանից, նորմալ վիճակում նմուշը դրսևորում է կիսահաղորդչային հաղորդականություն (նկ.1, c): Նմանատիպ վարքագիծ մեր կողմից վերջերս դիտվել էր խորիմուխին բազմաբյուրեղներում, դրանք ջերմամշակումից հետո դանդաղորեն սառեցնելուց և սենյակային ջերմաստիճանում երկարատև պահե-

լուց հետո միայն [27]: Արժե հիշատակել, որ այլ հեղինակների կողմից սինթեզելուց հետո սենյակային պայմաններում 6 և 17 տարի պահված իտրիումային միաբյուրեղներում նույնպես դիտվել են տարբեր ԳՀ փուլեր, որոնք անցման կորերի վրա ի հայտ են եկել աստիճանների դրսևորման ձևով [24]: ԲԶԳՀ միացություններում կիսահաղորդչային տիպի վարքագծի առաջացման հնարավոր պատճառներից մեկը համարվում է նյութում միկրոսկոպիկ մակարդակով առկա կառուցվածքային արատների անհամասեռ բաշխվածությունը [28]: Սակայն հետաքրքիր է նշել, որ փսևդոգոտին էլ դիտարկվում է իբրև մի երևույթ, որը դրսևորվում է ընդհանրապես անհամասեռ էլեկտրոնային (ոչ միայն գերհաղորդիչ) համակարգերում [29]: Այստեղ բացահայտված է, որ կառուցվածքի նանոմասշտաբային անհամասեռությունների առկայությունը կարող է ուժեղացնել փսևդոգոտիական անոմալիաների դրսևորումները օպտիմալ թթվածնային պարունակությամբ $YBa_2Cu_3O_{6.93}$ գերհաղորդիչներում: Ինչպես երևում է (նկ.1-с, 3 կոր) կիսահաղորդչային ռեժիմում ջերմաստիճանի նվազմանը զուգընթաց մինչև $T^p=98K$ դիմադրությունը նույնպես մեծանում է գծային օրենքով: Այսինքն՝ 3 նմուշում նույնպես դրսևորվում է փսևդոգոտու ձևավորման ռեժիմ: Համանման կախվածություն դիտվել է նաև ցինկի ատոմներով մասնակիորեն տեղակայված բիսմութային նմուշներում բարձր ջերմաստիճանային մշակումից և օդում արագ կոփելուց հետո [4]: Բնութագրական T^p ջերմաստիճանը կապում են փսևդոգոտիական ռեժիմի հաստատման հետ, որի ծագման վերաբերյալ կա 2 մոտեցում: Համաձայն առաջինի՝ այն պայմանավորված է «դիէլեկտրիկ» տիպի, այսպես կոչված, մոտակա կարգի ֆլուկտուացիաներով, որոնք դիտվում են թերլեգիրացված միացություններում [6,7]: Երկրորդ մոտեցումը ենթադրում է կուպերյան զույգերի ձևավորում կրիտիկականից շատ ավելի բարձր ջերմաստիճանների տիրույթում $T^p \gg T_c$, երբ առաջացած լոկալ ԳՀ զույգերի խտությունը դեռևս բավականաչափ փոքր է և չի ապահովում անհրաժեշտ կոհերենտություն, որպեսզի նմուշն ամբողջ ծավալով մեկ անցնի ԳՀ վիճակի: Այդ կոհերենտությունը հաստատվում է միայն $T < T_c$ դեպքում [8]: T^p -ի նվազումը ջերմամշակումից հետո պայմանավորված է արատների առաջացմամբ ինչպես տարածական ցանցի շղթաներում, այնպես էլ հարթություններում: Արատների խտության մեծացումը համաձայն [4,8] աշխատանքների, խոչնդոտում է գերհաղորդչային զույգերի առաջացմանը: Սակայն հետաքրքիր է հիշատակել, որ օրինակ [1] աշխատանքում նկատվել է հակառակ արդյունք. սենյակային ջերմաստիճանում օդում երկարատև պահպանված մաքուր և ալյումինի ատոմներով մասնակիորեն տեղակայված իտրիումային միաբյուրեղներում դիտվել է T^p -ի բարձրացում 29 աստիճանով: Եղած աշխատանքների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ իտրիումային նմուշներում արատների ազդեցությունը T^p -ի և T_c -ի փոփոխության վրա միանշանակ չէ [1,5,24], և ինչպես վկայում են վերջերս կատարված հետազոտությունները, փսևդոգոտու առաջացման պատճառը դեռ վերջնականապես պարզ չէ [7]: Ստացված արդյունքների վերջնական բացատրության համար անհրաժեշտ է կատարել լրացուցիչ հետազոտություններ: Ցածր ջերմաստիճանային մշակումը իտրիումային

գերհաղորդիչներում առաջ է բերում անկայուն վիճակ, որը պայմանավորված է նրանցում եղած շարժունակ թթվածնի ատոմների (շղթայական) ապակարգավորվածությամբ և նրանց հետագա ռելաքսացիայով [1, 12-15]: Այդ դեպքում ի հայտ եկող հիմնական արատները Ba-ի և Y-ի ենթացանցներում առաջացած տեղաշարժված ատոմներն են, որոնք բերում են թթվածնի ատոմների վերադասավորությունների, ինչն էլ իր հերթին պայմանավորում է նմուշի բնութագրերի փոփոխությունը: Առաջացած արատներն ունեն նանոմետրերի հասնող չափսեր և տարրական բջջում բաշխված են խիստ անհամասեռ ձևով, ինչը համաձայն [29, 30] աշխատանքների, կարող է ուժեղացնել փսևոգոտիական անոմալիաների առաջացումը նույնիսկ օպտիմալ թթվածնային պարունակությամբ $\text{F}\text{e}\text{O}\cdot\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.93}$ միաբյուրեղներում, հակառակ այն պնդման, որ փսևոգոտիականությունը դիտվում է թթվածնով թերլեզված թթվածնի նմուշներում: Արագ սառեցված նմուշում լրիվ գերհաղորդականության վիճակի բացակայությունը 77Կ-ում, հավանաբար, կապված է նրանում առաջացած ավելի մեծ խտությամբ և նմ-ի չափսեր ունեցող արատների հետ, քանի որ այդ դեպքում դիտվում է ավելի լայն ԳՀ անցում: Նման դեպքերում հաճախ նմուշը չի անցնում լրիվ գերհաղորդականության վիճակի նույնիսկ շատ ցածր ջերմաստիճանների տիրույթում, քանի որ հոսանքակիրների մի զգալի մասը մնում է ոչ գերհաղորդիչ վիճակում [30]: Իսկ սառեցման արագությունից Tc-ի թույլ փոփոխությունը T_p-ի համեմատությամբ, նույնպես կարելի է բացատրել նմուշում նանոչափանի արատների (այդ թվում՝ 20 նմ-ի հասնող ամորֆ մասնիկներ) առաջացմամբ [10, 11]: Այս դեպքում [30] թթվածնի O4 հանգույցների բնակեցվածությունը փոխվում է աննշան չափով, մինչդեռ շղթայի O5 դիրքերում (իդեալական վիճակում հիմնականում չբնակեցված) այն բավականաչափ աճում է, ինչը բերում է Tc-ի բարձր արժեքների պահպանմանը կամ էլ նրանց թույլ փոփոխությանը և տեսակարար դիմադրության զգալի աճին (նկ. 1, նմուշ 3; աղյուսակ):

Եզրահանգում

Ուսումնասիրվել է կարճատև կրկնակի ջերմամշակման ազդեցությունը սինթեզված և 30 տարի սենյակային միջավայրում պահված $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ ԲՋԳՀ միացությունների էլեկտրատրանսպորտային հատկությունների վրա: Ստացվել են հետևյալ հիմնական արդյունքները .

1. 30 րոպե 400°C-ում տաքացնելուց հետո դանդաղորեն մինչև սենյակային ջերմաստիճան սառեցված նմուշի տեսակարար դիմադրությունը ֆլուկտուացիոն տիրույթում կտրուկ աճում է, որը ուղեկցվում է կրիտիկական ջերմաստիճանի նվազումով, իսկ անցման լայնությունը մնում է անփոփոխ՝ 4.2Կ:

2. Դիտվում է նաև լոկալ գույգերի ձևավորման T_p ջերմաստիճանի նվազում 136.5Կ-ից մինչև 110Կ, որը պայմանավորված է Cu-O թույլ կապված շղթաներում առաջացած արատներով: Այդ արատներով է պայմանավորված նաև դիմադրության վերը նշված մեծ աճը:

3. Ջերմամշակումից հետո արագ սառեցված նմուշներում դիտվում է ԳՀ անցման սկզբի ջերմաստիճանի T_c^{on} նվազում 3Կ-ով ելակետային նմուշի

համեմատությամբ, իսկ դիմադրությունը 0 չի դառնում հեղուկ ազոտի ջերմաստիճանում, այսինքն՝ տեղի ունի ԳՀ անցման լայնացում, ինչը վկայում է անհամասեռության մեծացման մասին: Ստացված արդյունքները թույլ են տալիս բավականաչափ պարզ մեթոդի օգտագործմամբ կապ հաստատել նյութի գերհաղորդչային և նորմալ բնութագրերի միջև, ինչը հնարավորություն կտա ստանալ բարձր ԳՀ բնութագրերով օժտված միացություններ, որոնք մեծ կարևորություն են ներկայացնում ուժային և չափիչ տեխնիկայում կիրառության տեսակետից:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. **Vovk R.V., Vovk N.R. and Dobrovolskiy O.V.** Aging effect on electrical conductivity of pure and Al-doped $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ single crystals with a given topology of planar defects. *Advances in Condensed Matter Physics*, v. 2013, Article ID 931726, 7 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/931726>.
2. **Vovk R.V., Vovk N.R., Goulatis I.L., Chroneos A.** Effect of long aging on the resistive properties of Aluminum doped $\text{YBa}_2\text{Cu}_{3-y}\text{Al}_y\text{O}_{7-x}$ single crystals with a given twin boundary topology, *J. Low Temp. Phys.* 2014, v.174, pp. 214-221.
3. **Хаджай Г.Я., Вовк Р.В.** Электротранспорт и устойчивость кислородной подсистемы монокристаллов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ при длительной выдержке в воздухе. *Физика низких температур*, 2014, т. 40, N12, с.1343-1347.
4. **В.М. Алиев, А.Н. Мамедова, С.С. Рагимов, Р.И. Селим-заде, Б.А. Таиров,** Исследование псевдощелевого состояния в $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ и $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{O}_y$ ВТСП материалах, *Физика низких температур*, 2016, т. 42, N10, с. 1184-1191.
5. **Y. Lubashevsky, A. Garg, Y. Sassa, M. Shi, A. Kanigel,** Insensitivity of the superconducting gap to variation in T_c in Zn-substituted $\text{Bi}2212$, *Phys. Rev. Lett.* 106, 047002 (2011).
6. **Садовский М.В.** Псевдощель в высокотемпературных сверхпроводниках, *УФН*, 17 (2001), N5, с. 539-564.
7. **Badoux S., Tabis W., Labiret F. et al.** Change of carrier density at the pseudogap critical point of a cuprate superconductor, *Nature*. 2016; doi: 10.1038/nature 1693.
8. **Соловьев А.Л., Дмитриев В.М.** Флуктуационная проводимость и псевдощель в высокотемпературных сверхпроводниках YBCO , *ФНТ*, 2009, т. 35, N3, с. 227-264.
9. **Vovk R.V., M.A. Obolenskii, A.A. Zavgorodniy, I.L. Goulatis, A.I. Chroneos, V.M. PinoSimoes,** Incoherent transport and pseudo-gap in $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ single crystals with different oxygen content, *J. Mater Sci: Mater Electron*, 20 (2009), , pp. 858-860.
10. **Блинова Ю.В., Титова С.Г., Сударева С.В., Романов Е.П.** Механизм термического распада нестехиометрического соединения $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.8}$, *Физика твердого тела*, 2009, том 51, вып. 6, с.1041-1045.
11. **Бабылев И.Б., Зюзева Н.А.** Влияние низкотемпературной обработки и последующего высокотемпературного отжига на критическую плотность тока $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$, *Физика твердого тела*, 2012, том 54, выпуск 7, с.1256-1259.
12. **Самойлов М.И., Сухов В.А, Рахманов А.Л.** Метастабильные фазы в пленках YBCO , создаваемые кратковременными отжигами, *ФТТ*, 2003, т. 45, вып. 1, с. 17-21.
13. **Veal B.W., Paulikas A.P., Hao Shi, Fang Y., and Downey J. W.** Observation of temperature-dependent site disorder in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ below 150°C , *Phys. Rev. B*, 1990, v. 42, 6305-6316.

14. **Jorgensen J.D., Pei Shiyu, Lightfoot P., Shi Hao, Paulikas A.P. and Veal B.W.** Time-dependent structural phenomena at room temperature in quenched $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.41}$ local oxygen ordering and superconductivity, *Physica C*, 1990, v.167, pp. 571-578.
15. **Shaked H., Jorgensen J.D., Hunter B.A., Hitterman R.L., Paulikas A.P. and Veal B.W.** Local ordering and charge transfer during room-temperature annealing of quenched tetragonal $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.25}$, *Physical Review B*, 1995, v.51, N1, pp.547-552.
16. **Z. Ali, A. Maqsood, M. Maqsood et al**, High-Tc superconductivity in $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{S}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_{2+x}\text{O}_y$ compounds, *Supecond. Sci. Technol.* 1996, v.9, pp. 197-200.
17. **Vidyalal V.** Electrical and magnetic measurements on some high Tc superconductors, Thesis. Department of Physics, Cochin University of Science and Technology, Cochin- 682022, December 1993.
18. **A.G. Sargsyan, S.K. Nikoghosyan, E.G. Zargaryan, E.A. Mughnetsyan**, Double short-term heat treatment effect on the electrical transport properties of long-term stored $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ polycrystalline superconductors, Collection of Scientific Articles, International Scientific-Educational Center of NAS of RA, "Zangak", Yerevan, 2017, pp. 16-22. (http://isec.am/images/gitakan_hraparakumner/Kachar-2017.pdf)
19. **S.K. Nikoghosyan, V.V. Harutyunyan, V.S. Baghdasaryan, E.A. Mughnetsyan, E.G. Zargaryan and A.G. Sarkisyan**, The effect of aging on the superconducting transition temperature and resistivity of Y-Ba-Cu-O ceramics after high temperature treatment, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* **49** (2013) p. 012042.
20. **S.K. Nikoghosyan, V.V. Harutyunyan, V.S. Baghdasaryan, E.A. Mughnetsyan, E.G. Zargaryan and A.G. Sarkisyan**, Effect of direct transport current and heat treatment on resistive properties of bismuth-based ceramic high-temperature superconductor oxide materials of various compositions, *Solid State Phenomena Vol. 200* (2013) pp 267-271.
21. **S.K. Nikoghosyan, A.G. Sargsyan, E.G. Zargaryan, E.A. Mughnetsyan**, Influence of Short-Term Heat Treatment on Superconducting and Normal-State Properties of Polycrystalline $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$, *Armenian Journal of Physics*, vol. 11, issue 1, (2018) pp.11-17.
22. **A.G. Sargsyan, S.K. Nikoghosyan, E.G. Zargaryan**, Time Evolution of Transport Properties stimulated by Low Temperature Short-Term Double Heat Treatment in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ Superconducting Polycrystals, Collection of Scientific Articles, INTERNATIONAL SCIENTIFIC EDUCATIONAL CENTER of NAS of RA, "Zangak", Yerevan, 2018, pp. 17-24. - <https://www.isec.am/science/scientific-publications.html>
23. **Р.В. Вовк, Г.Я. Хаджай, М.А. Оболенский**, Эволюция электросопротивления монокристаллов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ с $\delta \approx 0.45$ в процессе приложения высокого гидростатического давления, *Физика низких температур*, т. 38, N 3 (2012), с.323-326.
24. **Хаджай Г.Я., Вовк Н.Р., Вовк Р.В.** Проводимость монокристаллов $\text{Y}_{1-y}\text{Pr}_y\text{Ba}_2\text{CuO}_{7-x}$ в широком интервале температур и концентрации Pr, *ФНТ*, 2014, т. 40, N6, с. 630-635.
25. **Балаев Д.А., Семенов С.В., Петров М.И.** Доминирующее влияние эффекта сжатия магнитного потока в межгранульной среде гранулярного ВТСП на процессы диссипации во внешнем магнитном поле, *ФТТ*, 2013, т. 55, вып.12, с.2305-2311.
26. **Gaffney C., Petersen H. and Bednar R.** Phase-slip analysis of the non-Ohmic transition in granular $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.9}$, *Physical Review B*, 1993-I, v.48, N5, pp.3388-3392.
27. **S.K. Nikoghosyan, V.V. Harutyunyan, V.S. Baghdasaryan, E.A. Mughnetsyan, E.G. Zargaryan, A.G. Sarkisyan**, The appearance of semiconducting (dielectric) conduction in polycrystalline hightemperature superconducting cuprates after heat treatment, *Armenian Journal of Physics*, 2015, vol. 8, issue 1, pp. 1-6.

28. **Mosqueira J., Pomar A, Veira J.,A., Maza J., and Vidal F.** Resistivity-peak anomaly in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ crystals and nonuniformly distributed critical temperature inhomogeneities. J. Appl. Phys. 1994, V.76, N3, pp. 1943-1945.

29. **Мамсурова Л.Г., Пигальский К.С., Трусевич Н.Г. и др.** Усиление псевдощелевых аномалий в ВТСП $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.93}$ под влиянием наномасштабной структурной неоднородности, Письма в ЖЭТФ, 2015, т. 102, вып. 10, с.752-758.

30. **L. G. Mamsurova, N. G. Trusevich, S. Yu. Gavrilkin, A. A. Vishnev, L. I. Trakhtenberg,** Peculiarities in the low-temperature specific heat related to nanoscale structural inhomogeneity in fine-crystalline $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.93}$ high- T_c superconductors, JETP Letters, 2017, V. 105, Issue 4, pp 241–245.

SERGEY NIKOGHOSYAN

PhD in Physical and Mathematical Sciences

YERJANIK ZARGARYAN

PhD in Physical and Mathematical Sciences

ALBERT SARGSYAN

Doctor of Physics and Mathematics

FEATURES OF SHORT-TERM HEAT TREATED ELECTRICAL TRANSPORT PROPERTIES IN LONG-TERM STORED HIGH-TEMPERATURE $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ SUPERCONDUCTORS

Temperature (77-290) K has been studied in terms of the electrical transport of the polycrystalline $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ samples stored in the room for 30 years after the synthesis, depending on the subsequent heat treatment modes. The following main results were obtained:

1. In case of rapid cooling of the sample after heat treatment, increase of the low temperature resistivity and a superconducting (SC) transition width accompanied by a decrease in the critical transition temperature T_c . However, the resistivity in the region of linear temperature dependence, in case of slowly frozen sample, gradually decreases in comparison with the original state.

2. The samples are characterized by a temperature $T^p \gg T_c$ below which, the pseudogap mode is established in the sample, characterized by a significantly different deviation from the linear dependence of resistivity. The temperature of the pseudogap mode T^p decreases faster than T_c , depending on the sample freezing rate.

3. In the original, slow and rapid frozen samples, the resistivity in temperatures $T > T^p$ varies linearly, but in the first and second cases it is a metal, and in the third case, semiconducting behavior. In addition, in the latter case, the quasi-metal behavior was observed in the narrow temperature range, preceding the onset of the (SC) transition.

These results are qualitatively interpreted in the frame of the model of inhomogeneous distribution of previously present, as well as, new structural defects, caused by heat treatment in the Cu-O chains of the spatial lattice of samples.

СЕРГЕЙ НИКОГОСЯН

кандидат физико-математических наук

ЕРДЖАНИК ЗАРГАРЯН

кандидат физико-математических наук

АЛЬБЕРТ САРГСЯН

доктор физико-математических наук

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫХ СВОЙСТВ, СТИМУЛИРУЕМЫХ ПУТЕМ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ $YBa_2Cu_3O_x$ ПОСЛЕ ИХ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ

Изучены электротранспортные характеристики поликристаллических образцов $YBa_2Cu_3O_x$ в температурном диапазоне (77-290) К, хранящихся в комнатных условиях на протяжении 30 лет после синтеза, в зависимости от дальнейших режимов термообработки. Получены следующие основные результаты:

1. После термообработки образца и быстрого охлаждения до комнатной температуры наблюдается рост как низкотемпературного удельного сопротивления, так и ширины сверхпроводящего (СП) перехода, который сопровождается понижением критической температуры T_c перехода. Однако удельное сопротивление медленно остывающего образца в диапазоне линейной зависимости постепенно уменьшается по сравнению с начальным значением.

2. В исследуемых образцах выделяется температура $T_p \gg T_c$, ниже которой в образце устанавливается псевдощелевой режим, который характеризуется отклонением, существенно отличающимся от линейной зависимости удельного сопротивления. В зависимости от скорости охлаждения образца T_p понижается гораздо быстрее, чем T_c .

3. В исходном, медленно и быстро охлажденных образцах в температурном диапазоне $T > T_p$ удельное сопротивление меняется линейно, однако в первом и втором случаях оно проявляет металлическое, а в третьем случае – полупроводниковое поведение. Помимо этого в последнем случае в узкотемпературном режиме, предшествующем началу СП перехода, наблюдалось квазиметаллическое поведение.

Эти результаты интерпретируются в рамках модели неоднородного распределения на микроскопическом уровне структурных дефектов, заранее присутствующих и вновь возникающих в результате термообработки, в цепях и плоскостях Cu-O пространственной решетки образцов.

Հոդվածը ներկայացվել է տպագրության 05.02.2019թ.,
ուղարկվել է գրախոսության 10.04.2019թ., ընդունվել է տպագրության 08.05.2019թ.:

UDC 577.332

ARAM SHAHINYAN

Academician of NAS RA

ARMEN POGHOSYAN

Doctor of Physics and Mathematics

TIGRAN VARDANYAN

Master of Biophysics and Bioinformatics

ACETYLCHOLINESTERASE DOCKING ANALYSIS

Abstract

The struggle with Alzheimer's disease (AD) and the increase rate of nerve agents used in the world makes us study more closely the mechanisms of generation and termination of the neural signal. One of the most important enzymes involved in mechanisms is acetylcholinesterase (AChE).

The AChE is an enzyme that hydrolyses the acetylcholine (ACh) neurotransmitter in the neuromuscular junctions and in other cholinergic synapses to terminate the neuronal signal.

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫХ СВОЙСТВ, СТИМУЛИРУЕМЫХ ПУТЕМ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ $YBa_2Cu_3O_x$ ПОСЛЕ ИХ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ

Изучены электротранспортные характеристики поликристаллических образцов $YBa_2Cu_3O_x$ в температурном диапазоне (77-290) К, хранящихся в комнатных условиях на протяжении 30 лет после синтеза, в зависимости от дальнейших режимов термообработки. Получены следующие основные результаты:

1. После термообработки образца и быстрого охлаждения до комнатной температуры наблюдается рост как низкотемпературного удельного сопротивления, так и ширины сверхпроводящего (СП) перехода, который сопровождается понижением критической температуры T_c перехода. Однако удельное сопротивление медленно остывающего образца в диапазоне линейной зависимости постепенно уменьшается по сравнению с начальным значением.

2. В исследуемых образцах выделяется температура $T_p \gg T_c$, ниже которой в образце устанавливается псевдощелевой режим, который характеризуется отклонением, существенно отличающимся от линейной зависимости удельного сопротивления. В зависимости от скорости охлаждения образца T_p понижается гораздо быстрее, чем T_c .

3. В исходном, медленно и быстро охлажденных образцах в температурном диапазоне $T > T_p$ удельное сопротивление меняется линейно, однако в первом и втором случаях оно проявляет металлическое, а в третьем случае – полупроводниковое поведение. Помимо этого в последнем случае в узкотемпературном режиме, предшествующем началу СП перехода, наблюдалось квазиметаллическое поведение.

Эти результаты интерпретируются в рамках модели неоднородного распределения на микроскопическом уровне структурных дефектов, заранее присутствующих и вновь возникающих в результате термообработки, в цепях и плоскостях Cu-O пространственной решетки образцов.

Հոդվածը ներկայացվել է տպագրության 05.02.2019թ.,
ուղարկվել է գրախոսության 10.04.2019թ., ընդունվել է տպագրության 08.05.2019թ.:

UDC 577.332

ARAM SHAHINYAN

Academician of NAS RA

ARMEN POGHOSYAN

Doctor of Physics and Mathematics

TIGRAN VARDANYAN

Master of Biophysics and Bioinformatics

ACETYLCHOLINESTERASE DOCKING ANALYSIS

Abstract

The struggle with Alzheimer's disease (AD) and the increase rate of nerve agents used in the world makes us study more closely the mechanisms of generation and termination of the neural signal. One of the most important enzymes involved in mechanisms is acetylcholinesterase (AChE).

The AChE is an enzyme that hydrolyses the acetylcholine (ACh) neurotransmitter in the neuromuscular junctions and in other cholinergic synapses to terminate the neuronal signal.