

Теорема 4. [10] Следующие условия эквивалентны: (i) существует изоморфизм φ из булевой алгебры (X, μ) на булеву алгебру (Y, ν) такой, что $\mu(x) = \nu(\varphi x)$ для любого $x \in X$. (ii) паспорта булевых алгебр (X, μ) и (Y, ν) совпадают.

Далее рассмотрим некоммутативные алгебры построенные на алгебрах фон Неймана. Все необходимые обозначения и результаты теории алгебры фон Неймана взята из [8], теории некоммутативного интегрирования из [5].

Пусть M алгебра фон Неймана с точным нормальным полуконечным следом τ . Через $L_0(M, \tau)$ обозначим измеримые операторы, присоединенные к M . Рассмотрим пространство

$$L_{\log}(M, \tau) = \{T \in L_0(M, \tau) : \tau(\log(1 + |T|)) < \infty\}$$

в смысле [1]. $L_{\log}(M, \tau)$ является F -пространством относительно F -нормы

$$T_{\log} = \int_0^1 \log(1 + \mu_x(T)) dx$$

в случае конечного τ и

$$T_{\log} = \int_0^{\infty} \log(1 + \mu_x(T)) dx$$

в случае полуконечного τ , где $\mu_x(T)$ перестановка оператора T .

Определение. Алгеброй фон Неймана типа I_2 называется алгебра фон Неймана M , имеющая представление

$$M = L_{\infty}(X) \otimes B(H_2), \text{ где } H_2 - 2 \times 2 \text{ матрица [8].}$$

Для этих алгебр фон Неймана $\log$ -алгебра будет иметь вид

$$M_{\log}(M, \tau) = L_{\log}(X, \mu) \otimes B(H_2).$$

Пусть M и N алгебры фон Неймана типа I_2 с точными нормальными полу конечными следами τ_1 и τ_2 соответственно. Введем обозначения

$$L_{\log}(M, \tau_1) = L_{\log}(X, \mu) \otimes B(H_2),$$

$$L_{\log}(N, \tau_2) = L_{\log}(Y, \nu) \otimes B(H_2).$$

Теорема 5. Следующие условия эквивалентны: F -пространства $L_{\log}(M, \tau_1)$ и $L_{\log}(N, \tau_2)$ изометричны; F -пространства $L_{\log}(X, \mu)$ и $L_{\log}(Y, \nu)$ изометричны; Паспорта булевых алгебр (X, μ) и (Y, ν) совпадают.

Доказательство. (i)-(ii) верно в силу конечномерности $B(H_2)$. (i)-(ii) следует из [6].

Литература

1. Dykema K., Sukochev F., Zanin D. Algebras of log-integrable functions and operators. //Journal Complex Anal. Oper. Theory 10, 8. 2016. –P. 1775–1787.
2. Abdullaev R. Isomorphisms of Arens algebra of type I. Rendiconti Seminario Facolta Scienze Universita Cagliari Vol.68 Fascicolo Unico (1998), –P. 27-36.
3. Абдуллаев Р., Мадаминов Б.. Критерий изоморфности $\log$ -интегрируемых алгебр. //Узбекский математический журнал. –2017. №1. –С. 3-9. (01.00.00; №6).
4. Abdullaev R., Chilin V., Madaminov B. Isometric F -spaces of $\log$ -integrable function. //Siberian Electronic Mathematical Reports. 2020, T. 17. –P. 218-226.
5. Abdullaev R., Madaminov B. Isomorphisms and isometries of F -spaces of log-integrable measurable functions. //Uzbek Mathematical Journal. 2022. Vol. 66(1). –P. 5-13. (01.00.00; №6).
6. Abdullaev R.Z., Chilin V. Isomorphic Classification of *-Algebras of log-Integrable Measurable Functions. //Algebra, Complex Analysis, and Pluripotential Theory. Springer Proceedings in Mathematics and Statistics, 264. USUZCAMP 2017. –P.73-83.
7. Abdullaev R.Z., Chilin V.I. Arens algebras, associated with commutative von Neumann algebras. //Ann.Math.Blaise Pascal, Vol. 5, 1998 №.1.
8. Takesaki M. Theory of operator algebras. I. -New-York: Heidelberg Berlin: Springer, 1979, XII+415.
9. Yeadon F.J. Non-commutative L_p spaces. Math. Proc. Cambridge Phil., Soc., 1975, v. 77, n. 1 -P. 91-102.
10. Vladimirov D.A. Boolean Algebras in Analysis. //Mathematics and its Applications, 540, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002.

РЕЗЮМЕ. Мақолада лог-алгебралар ва σ -чекли ўлчовлар бўйича тузилган интеграллашувчи функцияларнинг турли фазолари ўртасида боғланиш ўрнатилади. Шунингдек, биз I_2 турдаги фон Нейман алгебраларида лог-алгебраларнинг изометрияларини ўрганамиз.

РЕЗЮМЕ. В работе устанавливается связь между $\log$ -алгебрами и различными пространствами интегрируемых функций, построенных относительно σ -конечных мер. Также изучаются изометрии $\log$ -алгебр на алгебрах фон Неймана типа I_2 .

SUMMARY. The paper establishes a connection between $\log$ -algebras and various spaces of integrable functions constructed with respect to σ -finite measures. We also study isometries of $\log$ -algebras on von Neumann algebras of type I_2 .

KUPRATLAR PARDALARIDA POLARON MASSASI: PARDA QALINLIGI SAMARASI

D.G' Xajibayev – tayanch doktorant

B.Ya.Yavidov – fizika-matematika fanlari doktori, dotsent

Ajiniyoz nomidagi Nukus davlat pedagogika instituti

Tayanch soʻzlar: kupratlar, pardalar, parda qalinligi, kichik polaron, polaron massasi.

Ключевые слова: купраты, пленки, толщина пленки, малый полярон, масса полярона.

Key words: cuprates, films, film's thickness, small polaron, polaron's mass.

1. Kirish. Qattiq jismlarning fizikaviy xossalari tushuntirishda faol ishlatiladigan kvazizarra tamoyillaridan biri – polaron tamoyilidir. Bu tamoyil avvaliga Landau tomonidan “avtolokallashgan elektron” sifatida fizikaga kiritilgan [1]. Keyinchalik qutbli qattiq jismlarda avtolokallashgan elektronga Pekar ishlarida “polaron” atamasi berilgan [2]. Polaron tamoyili taklif qilinganligiga va polaronlar fizikasi sohasining rivojlanayotganiga bir asrga chamalab qolishiga qaramasdan polaronlar fizikasida oʻz yechimini kutayotgan muammolar talaygina [3]. Polaronlar fizikasiga oid eng soʻnggi maʼlumotlarni [3-5] manbalardan olish mumkin. Yaqin oʻtmishda polaronlar

fizikasining jadal rivojlanishi XX asrning 80-yillarida mis oksidli asosli modda (kuprat) larda kashf qilingan yuqori haroratli oʻtaoʻtkazuvchanlik (YHOʻOʻ) hodisasi bilan chambarchas bogʻliq [6]. YHOʻOʻ hodisasining kashf etilishida ham aynan polaron tamoyili mayoq vazifasini oʻtagan. Darhaqiqat, keyinchalik bajarilgan koʻpchilik tajribalar kupratlarda elektron-fonon taʼsirlashuvi nihoyatda kuchli ekanligini va polaron va hatto bipolaron (polaronlar juftli) hosil boʻlishi mumkinligini koʻrsatmoqda [7]. Polaron tamoyili asosida kupratlarning asosiy xossalari sifat va son jihatdan tushuntirish mumkin [8]. Shu bilan birga, kupratlar pardalarining odatdagi va normal xossalari

hamon tushunib yetilmagan muammolar qatorida qolmoqda [9]. Shu bois, kupratlar pardalarida polaron xossalarini tadqiq etish, polaron xossalarining parda moddiy ko'rsatgichlariga qanday bog'liqligini tushunib yetish hozirda, nainki YHO'O' fizikasi, balki polaronlar fizikasining ham dolzarb muammolaridan biri hisoblanadi.

Kupratlar pardalari odatda biror taglikda o'stiriladi. Parda va taglik panjara doimiylarining o'zaro mos kelmasligi bois pardaning normal va o'tao'tkazuvchan (O'O) xossalari hajmiy kupratning mos xossalaridan farq qiladi. Xususan, kuprat pardalarining transport va O'O xossalari pardaning qalinligiga bog'liq bo'lishi tajribalarda ko'rsatilgan [10-14]. Ammo bu bog'liqlik hozirgi davrgacha nazariy yo'l bilan qoniqarli tushuntirilmagan. Adabiyotlarda mavjud ba'zi nazariy modellari [15,16] esa, standart Bardin-Kuper-Shriffer (BKSh) yondashuviga asoslanganligi bois ishonchli hisoblanmayotir. Chunki, to'plangan tajriba ma'lumotlari, standart BKSh modeli yordamida kupratlar xossalarini (x, T_c) fazaviy diagrammaning hech bir sohasida tushuntirib bo'lmashligini ko'rsatmoqda [17].

Ushbu maqolada biz aynan shu masala, u ham bo'lsa, parda moddasi tarkibidagi polaron xossalarining parda qalinligiga bog'liqligini yoritamiz. Buning uchun biz, bu sohada tamoman yangi yondashuv – polaron asosli model taklif qilamiz va shu model negizida polaron massasining parda qalinligiga bog'liq bo'lishini nazariy jihatdan ko'rsatib beramiz.

2. Nazariy model

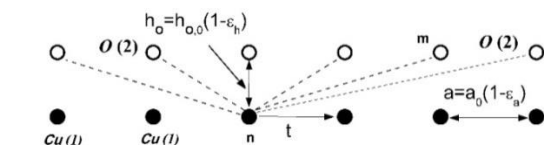
Kupratlarda elektron-fonon ta'sirlashuvchi kuchli va elektron (kovak)lar tizimi kuchli muvofiqlashgan ("correlated") bo'lganligi sabab, zaryad tashuvchisi xossalarini o'rganish uchun kengaytirilgan Holstein-kengaytirilgan Hubbard modeli yoki Fryolix-Kulon modeli [18] keng qo'llaniladi. Bu model xulosasiga ko'ra, kuchli elektron-fonon ta'sirlashish mavjud bo'lganda noadiabatik polaron massasi quyidagicha aniqlanadi [19,20]:

$$m_{non-ad-pol}/m^* = \exp[g_{non-ad-pol}^2], \quad (1)$$

$$g_{non-ad-pol}^2 = \frac{1}{2M\hbar\omega^3} \sum_m [f_m^2(\mathbf{n}) - f_m(\mathbf{n})f_m(\mathbf{n} + \mathbf{a})] \quad (2)$$

bo'lib, bu yerda, m^* - zaryad tashuvchisining zonali massasi, $g_{non-ad-pol}^2$ -polaron massasining eksponensial ortishini tavsiflovchi faktor, M - panjara tugunidagi ion massasi, ω - ionning tebranish chastotasi, $f_m(\mathbf{n})$ -panjaraning $\mathbf{n}$ -tugunida joylashgan zaryad tashuvchisining panjaraning $\mathbf{m}$ -tugunida joylashgan ion bilan ta'sirlashish kuchi bo'lib (1-rasm), u quyidagicha aniqlanadi:

$$f_m(\mathbf{n}) = \frac{\kappa h_{0,0}(1-\varepsilon_h)}{[|(\mathbf{n}-\mathbf{m})a_0(1-\varepsilon_i)|^2 + (h_{0,0}(1-\varepsilon_h))^2]^{3/2}}. \quad (3)$$



1-rasm. Kupratlar panjarasining zanjirli modeli. CuO₂ tekisligiga oid Cu(1) ionlar zanjiri bo'ylab harakatlanuvchi zaryad tashuvchisi O(2) apikal ionlar bilan (3) ifoda bilan berilgan kuch (punktir chiziqlar) orqali ta'sirlashadi. t - zaryad tashuvchisining tugunlararo sakrash integrali.

Ta'sirlashish kuchi ifodasi (3) dagi κ - biror doimiy, a_0 -kupratlarning CuO₂ tekisligidagi panjara doimiysi, $h_{0,0}$ -Cu(1)-O(2) ionlar oralig'ining muvozanatli masofasi, ε_a - va ε_h - lar esa panjarning mos ravishda a_0 - va $h_{0,0}$ - lar nisbiy deformatsiyasi (tarangligi). Panjara doimiylari nisbiy deformatsiya (taranglik) larini $\varepsilon_a = (a_0 - a)/a_0$ va $\varepsilon_h = (h_{0,0} - h_0)/h_{0,0}$ formulalar orqali aniqlaymiz, "0" indeksga ega (ega emas) panjara doimiysi deformatsiya-

lanmagan (deformatsiyalangan) holatni tavsiflaydi. Ya'ni panjara doimiysining siqilishi (cho'zilishi) musbat (manfiy) taranglik bilan tavsiflanadi. Elektron-fonon ta'sirlashish kuchli bo'lganda adiabatik yaqinlashuvda polaron massasi haqida qo'sh-potensial o'ra masalasini qarab xulosa qilishimiz mumkin [20-23]. Xususan, qo'sh-potensial o'radagi zaryad tashuvchisi asosiy energetik sathi parchalanishi

$$\Delta E = \Delta \cdot \exp[-g_{ad-pol}^2] \quad (4)$$

formula orqali topib, keyin adiabatik polaron massasi haqida ma'lumotni $m_{ad-pol} = \hbar^2/2a^2\Delta E$ munosabatdan aniqlasak bo'ladi. (4) munosabatda

$$\Delta = (\hbar\tilde{\omega}/\pi) \cdot \sqrt{E_p\kappa^{3/2}/2\hbar\omega} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - (E_p\kappa^{3/2}/2\hbar\omega)^{-1}}\right), \quad (5)$$

$$g_{ad-pol}^2 = (E_p\kappa^{1/2}/2\hbar\omega) \cdot \sqrt{1 - (E_p\kappa^{1/2}/2\hbar\omega)^{-1}}, \quad (6)$$

$\tilde{\omega} = \omega\kappa^{1/2}$ – ionlarning qayta normalashgan chastotasi, $\kappa = 1 - 1/\lambda^2$, $\lambda = E_p/2t$ – ikki tugun masalasida elektron-fonon ta'sirlashishini tavsiflovchi ko'rsatgich bo'lib elektron-fonon ta'sirlashishi doimiysi deb ataladi hamda

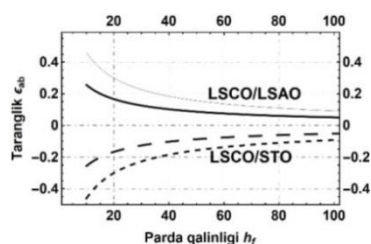
$$E_p = \frac{1}{2M\omega^2} \sum_m f_m^2(\mathbf{n}) \quad (7)$$

polaron energiyasi. Odatda, kuprat pardalari biror taglik (LaSrAlO₄, SrTiO₃, MgO va h.k.) da o'stiriladi. Parda va taglik panjalari doimiylari o'zaro mos kelmasligi bois parda panjarasi taranglashgan (siqilgan yoki cho'zilgan) holda bo'ladi. Xususan, kuprat pardasi (001) yo'nalishda o'stirilganda CuO₂-tekislikda vujudga kelgan taranglik [24]

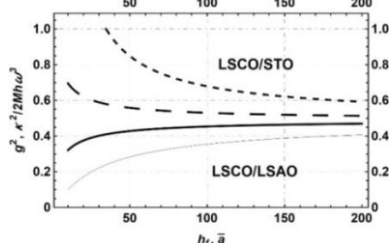
$$\varepsilon_{ab} = \frac{2\mu}{4\pi(1-\nu)\bar{B}} \cdot \frac{\ln(h_f/\bar{a})}{(h_f/\bar{a})}. \quad (8)$$

formula bo'yicha hisoblanishi mumkin. Bunda, $\bar{B}$ -kupratning biaksial taranglik (elastik) moduli, μ - kuprat siljish moduli, ν - Puasson koeffitsienti, h_f - parda qalinligi va $\bar{a}$ - kupratning CuO₂ tekisligi panjarasi doimiysi a va taglik panjarasi doimiysi a_s larning o'rtachasi: $\bar{a} = (a + a_s)/2$. Taglikda o'stirilgan kuprat pardasining faqat CuO₂ tekisligi taranglashib qolmay, balki c - o'qi bo'yicha panjara doimiysi ham Puasson samarasi tufayli taranglashadi. Agar kupratning c - o'qi bo'yicha taranglashgan va taranglashmagan panjara doimiylari, mos ravishda, c va c_0 bo'lsa, u holda shu o'q bo'yicha panjara doimiysi tarangligi $\varepsilon_c = (c_0 - c)/c_0$ bilan aniqlanad hamda ta'rifga binoan Puasson koeffitsienti $\nu = -\varepsilon_c/\varepsilon_{ab}$ munosabatdan topiladi. Kupratlar, kuchli anizotrop va kvazi ikki o'lchamli tuzulishga ega bo'lganligi sabab, ε_c va ε_h lar o'zaro teng bo'lmashligi mumkin. Odatda, $\varepsilon_h > \varepsilon_c$. Tajribada, hatto, $\varepsilon_h \cong 2\varepsilon_c$ ekanligi aniqlangan [25]. Yuqorida o'rnatilgan munosabatlar yordamida, biz keyingi bo'limda, polaron massasining kuprat pardasi qalinligiga bog'liqligi sifat va miqdor jihatdan o'rganamiz.

3. Natijalar. Endi biz yuqorida bayon etilgan yondashuv asosida olingan nazariy munosabatlarni miqdoriy o'rganamiz. Tadqiqot obyektlar sifatida LSAO va STO tagliklarda (001) yo'nalishda o'stirilgan LSCO pardalarini qaraymiz. Tajribalarning ko'rsatishicha tadqiqot ob'ektini tashkil etuvchi moddalar kristal panjaralari doimiylari quyidagicha (nm): $a=0.37357$, $c=1.31973$, $h_0=0.241115$ (LSCO), $a=0.3756$ (LSAO) va $a=0.3905$ (STO), LSCO uchun Puasson koeffitsienti $\nu=0.272$, siljish moduli $\mu=67.4$ GPa va (001) yo'nalishda o'stirilgan LSCO pardaning biaksial taranglik (elastik) moduli $\bar{B}=248$ GPa. (8) formulaga muvofiq (001) yo'nalishda o'stirilgan LSCO/LSAO va LSCO/STO pardalar CuO₂ tekisligida vujudga kelgan taranglikning parda qalinligiga bog'liqligi 2-rasmda tasvirlandek bo'ladi.



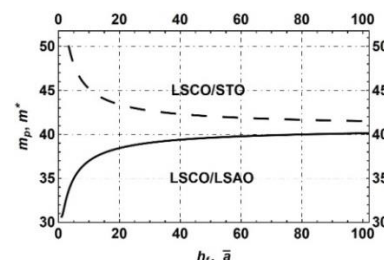
2-rasm. (001) yo'nalishda o'stirilgan LSCO/LSAO va LSCO/STO pardalar CuO_2 tekisligida vujudga kelgan taranglikning parda qalinligiga bog'liqligi.



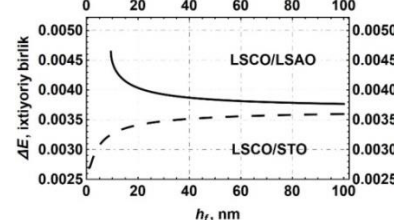
3-rasm. (001) yo'nalishda o'stirilgan LSCO/LSAO va LSCO/STO pardalar polaron tizimida massani qayta normalash faktorining h_f ga bog'liqligi.

Bunda tarnaglik $\mu/2\pi B$ birliklarda, parda qalinligi $\bar{a}$ uzunlikda berilgan, yo'g'on va ingichka chiziqlar Puasson koeffitsientining 0.1 va 0.5 qiymatlariga mos. Puasson samarasi tufayli c - o'qi panajara doimiysi ham mos ravishda h_f o'zgarishi bilan o'zgaradigan bo'ladi. Natijada, h_f o'zgarishi bilan LSCO/LSAO va LSCO/STO pardalaridagi polaron tizimi barcha parametrlari, jumladan noadiabatik yaqinlashuvda polaron massasini qayta normalovchi faktor $g_{non-ad-pol}^2$ o'zgaradi. $g_{non-ad-pol}^2$ (2), (3) va (8) formulalar orqali parda qalinligi h_f ga bog'liq bo'ladi (3-rasm). O'rganilayotgan tizimlarda noadiabatik polaron massasi pardalarda vujudga kelgan tarangliklarga (ε_{ab} , ε_c), lar orqali esa parda qalinligi h_f ga, bilvosita bog'liq bo'ladi. Bu bog'liqlik 4-rasmda keltirilgan. "Polaron massasi-parda qalinligi" bog'lanishidan ko'rinish turganidek, LSCO/LSAO va LSCO/STO pardalar qalinliklari kamayishi bilan, birinchi tizimda polaron massasi kamayadi, ikkinchi tizimda esa polaron massasi ortadi. Massaning bunday o'zgarishi tajribalarga uyg'un [10-12]. Chunki, O'O' likning bipolaron nazariyasiga ko'ra polaron hamda bipolaron massasining ortish (kamayishi) bipolaron gazi (suyuqligi) Boze-Eynshteyn kondensatsiyasi harorati kamayadi (ortadi). Parda qalinligi LSCO panjara doimiylaridan nihoyatda katta bo'lganda, $h_f \gg a, b, c$, LSCO pardasi O'O' xossalariga taglikning ta'siri kuzatilmagan va o'ta qalin parda hajmiy manuma xossalariga ega. Shu sabab, biz yuqorida keltirilgan natijalarni olishda $h_f=500$ nm qalinlikdagi parda uchun ikkala tizimdagi polaron massalari hajmiy namunadagi polaron massasiga teng bo'lishi kerak shartini qo'lladik. Ya'ni, $h_f=500$ nm qalinlikdagi parda uchun $\hbar\omega \approx 75$ meV, $E_p \approx 0.4$ eV va $m_p \approx 40m_e$ deb qabul qildik. Bunday ko'rsatgichlarga ega bipolaron gazi (suyuqligi) Boze-

Eynshteyn kondensatsiyasi harorati $T_{BEC} \approx 36$ K ga teng va u tajribada kuzatilgan O'O' kritik haroratiga teng. LSCO da massalar anizotropiyasi $\gamma_m = \gamma_c/\gamma_{ab} \approx 160$ deb qabul qilib, $m_{ab} \approx 7.5m_e$ ekanligini topamiz. Oxirgi topilgan natija optimal legirlangan LSCO da topilgan $m_{ab} \approx 4.9m_e \pm 0.8m_e$ natijaga yaqin [26]. Polaron massasining LSCO pardasi qalinligiga bog'liqligi adiabatik yaqinlashuvda ham 4-rasmda keltirilganga o'xshash bo'lishi kutiladi. Darhaqiqat, (4)-(8) munosabatlar yordamida



4-rasm. (001) yo'nalishda o'stirilgan LSCO/LSAO va LSCO/STO pardalarda polaron massasining parda qalinligiga bog'liqligi.



5-rasm. (001) yo'nalishda o'stirilgan LSCO/LSAO va LSCO/STO pardalarda adiabatik polaronning qo'sh-o'radagi asosiy holati energiya sathining parchalanish e' ni ΔE ning h_f ga bog'liqligi.

oligan sonli ma'lumotlar, masalan $\hbar\omega/t=0.8$ adiabatik yaqinlashuvda ham, polaron massasi parda qalinligiga xuddi noadiabatik yaqinlashuvdagidek bog'liq bo'lishi ko'rsatadi (5-rasm). Parda qalinligi kamayishi bilan LSCO/LSAO (LSCO/STO) tizimlarda qo'sh-o'radagi polaron asosiy energiyasi sathi parchalanishi ortadi (kamayadi). Oqibatda polaron va bipolaron massalari kamayadi (ortadi). Bu esa o'z navbatida bipolaronlar gazi (suyuqligi) Boze-Eynshteyn kondensatsiyasi harorati T_{BEC} (O'O' kritik harorati T_c) ortadi (kamayadi). Bunday hollar tajribada kuzatilgan.

4. Xulosa. Biz ushbu maqolada kengaytirilgan Holstein modeli negizida LSAO va STO tagliklarda o'stirilgan LSCO pardalaridagi polaron tizimini o'rgandik. Xususan, polaron massasining LSCO pardasi qalinligiga qanday bog'liq bo'lishi o'rganildi. Nazariy munosabatlar, noadiabatik va adiabatik yaqinlashuvlarda, polaron massasi parda qalinligiga bilvosita bog'liq ekanligini ko'rsatadi. Sonli ma'lumotlarni tahlil qilish natijasida har ikkala yaqinlashuvda ham polaron massasi parda qalinligi kamayishi bilan LSCO/LSAO tizimda kamayishi va LSCO/STO tizimda ortishi aniqlandi. Polaron massaning parda qalinligiga bog'liq bunday tarzda o'zgarishi LSCO/LSAO va LSCO/STO tizimlar O'O' kritik harorati va parda qalinligi orasidagi munosabatni tushuntirishda qo'llanilishi mumkin.

Adabiyotlar

1. Landau L.D. *Phys. Z. Sowjetunion* **3**, 664 (1933).
2. Pekar S.I. *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* **16**, 335 (1946).
3. Devreese J.T. and Alexandrov A.S. *Rep. Prog. Phys.* **72**, 066501 (2009).
4. David Emin, *Polarons* (Cambridge University Press, Cambridge, 2012).
5. A.Chatterjee & S.Mukhopadhyay, *Polarons and Bipolarons* (CRC Press, Boca Raton, 2019).
6. Bednorz J.G., Muller K.A. *Z. Phys. B* **64**, 189 (1986).
7. Mishchenko A.S. *Physics-Uspexhi* vol. **52**, no.12, 1193 (2009).
8. Alexandrov A.S. *Theory of Superconductivity: From Weak to Strong Coupling*, (IOP Publishing Ltd., Bristol and Philadelphia, 2003).
9. Naito M. et al., *Physica C* **546**, 84 (2018).
10. Kao H.L. et al., *Appl. Phys. Lett.* **59**, 2748 (1991).

11. M.Z.Cieplak et al., *Appl. Phys. Lett.* **65**, 3383 (1994).
12. Sato H. *Physica C* **468**, 991 (2008).
13. Meyer T.L. et al., *APL Mater.* **3**, 126102 (2015).
14. Howald L. et al., *Phys. Rev. B* **97**, 094514 (2018).
15. Lin H.Q. et al., *Physica C* **341-348**, 445 (2000).
16. Chen X.J. et al., *Phys. Rev. B* **61**, 9782 (2000).
17. Božović I. *Proc. of 7th ICSM-2021*, Oct 21-27, Milas-Bodrum. – Turkey: 2021, -P. 2.
18. Alexandrov A.S., Kornilovich P.E. *J. Phys.: Condens. Matter.* **14**, 5337 (2002).
19. Alexandrov A.S., Kornilovich P.E. *Phys. Rev. Lett.* **82**, 807 (1999).
20. Alexandrov A.S., Yavidov B.Ya. *Phys. Rev. B* **69**, 073101 (2004).
21. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. –Москва: «Наука», 1989), -С. 223.
22. Holstein T. *Ann. Phys.* **8**, 325 (1959); **8**, 343 (1959).
23. Yavidov B. et al., *Eur. Phys. J. B* **86**, 312 (2013).
24. Olsson E., Shinde S.L. in *Interfaces in High-Tc Superconducting Systems*, edited by S.L.Shinde and Rudman D.A. (Springer-Verlag, New York, 1994), -P. 116.
25. S.Pei et al., *Physica C* **169**, 179 (1990).
26. K.W.Post et al., *Phys. Rev. B* **103**, 134515 (2021).

РЕЗЮМЕ. Ushbu maqolada LaSrAlO_4 va SrTiO_3 tagliklar ustida o'stirilgan $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ pardalaridagi polaronlar qaralgan. Xususan, polaron massasining $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ pardasi qalinligiga bog'liqligi o'rganildi. Noadiabatik va adiabatik yaqinlashuvlarda, polaron massasi parda qalinligiga bog'liq ekanligi ko'rsatilgan. Har ikkala yaqinlashuvda ham polaron massasi parda qalinligi kamayishi bilan LSCO/LSAO tizimda kamayishi va LSCO/STO tizimda ortishi aniqlangan.

РЕЗЮМЕ. В статье рассмотрены полярны в пленках $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ выращенные на подложках LaSrAlO_4 и SrTiO_3 . В частности, изучены зависимость массы полярона от толщины пленки $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$. Показано, что масса полярона зависит от толщины пленки в адиабатическом и неадиабатическом приближениях. Установлено, что, в обоих приближениях, по мере уменьшения толщины пленки масса полярона уменьшается в системе LSCO/LSAO и увеличивается в системе LSCO/STO.

SUMMARY. In this article the polarons of $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ films grown on LaSrAlO_4 and SrTiO_3 substrates is considered. In particular, a dependence of polaron's mass on the thickness of $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ films is studied. It is shown that polaron's mass depend on the film's thickness in both adiabatic and nonadiabatic limits. It is established that upon decreasing the film's thickness the mass of polaron decreases in LSCO/LSAO system and increases in LSCO/STO system in both adiabatic and nonadiabatic limits.

ISLEW PROCESINDE JELINGEN DETALLARDI TEMIR ÓSIRIW JOLÍ MENEN QAYTA TIKLEW

B.Dawletmuratov – *texnika ilimleriniń doktori, docent*

D.Atashov – *magistrant*

Ájiniyaz atındaǵı Nókis mámleketlik pedagogikalıq institutı

Tayanch so'zlar: temir bilan qoplash, elektrolitlik o'stirish, galvanik qoplamalar, kimyoviy qoplamalar, anod, katod.

Ключевые слова: покрытия железом, электролитные выращивание, гальванические покрытие, химические покрытие, анод, катод.

Key words: iron, electrolyte ironing, galvanic coatings, chemical coatings, anode, cathode.

Házirgi waqıtta islew procesinde jelingen detallardı qayta tiklewdiń hár qıylı túrleri bar bolıp olar shártli ráwishte galvanikalıq hám basqada usıllar járdeminde jelingen detalldıń betine temir ósiriw usılları bolıwı múmkin. Bul usıllar qozǵalmaytuǵın birikpelerge iye hám az muǵdarda jelingen valsıyaqlı detallardı qayta tiklew kózqarastan jarıtıladı. Detailardı qayta tiklew usıllarınıń klassifikaciyası. Biz detailardı qayta tiklewde qandayda bir usıldı qollanıwda qayta tiklenetuǵın detaldaǵı defekttiń túrine qarap hámde materi-yaldıń túrine oǵan qoyılatuǵın talaplarǵa qarap tańlanadı. Galvanikalıq usıllar. Detailardı galvanikalıq hám ximiyalıq qaplamalar járdeminde qayta tiklew. Galvanikalıq metodlar tiykarında detailardıń betin qaplaw, elektrodlardan elektr toki ótiwi nátiyjesinde metal atomları detaildıń betine otırıp qalıwına tiykarlangan, elektrolitler sıpatında kislotalar, silteler hámde metallardıń suwdaǵı duzlı eritpelerinen paydalanıladı. Elektrolitlerden elektr toki ótiwi nátiyjesinde metallar ionı oń zariyadlanıp teris zariyadlangan detailardıń betine otradı hám qatlam payda etedi.

Jelingen detaildıń betin bir yaqi birneshe ret juqa metal qatlamları menen qaplaw. Bunday qatlamnıń juqalıǵı – mikrometrdiń bir neshe úleslerinen 40-50 mkm ge shekem (ayırım waqıtları, bir neshe millimetrgе shekem) boladı. Metallardıń galvanikalıq, diffuziyalıq vacuumlıq ximiyalıq, gaztermikalıq, ionplazmalıq, gazfazalıq hám detonaciya usılları bar. Galvanikalıq usılda metal elektrolitlik kóriniste qaplanadı (bul elektroliz qubılısı tiykarında isleydi). Bul usıl menen derlik barlıq metallardı (cink, kadmıy, nikel, xrom, qalayı, temir, gúmis, altın) hám bazı birikpeler (bronzа) di qálegen elektr ótkizgishlikke iye material betine qaplaw múmkin (Galvanikalıqtexnikada). Diffuziyalıq usılda diffuziya qubılısı sebebinen buyım betine bir yaqi bir neshe ximiyalıq elementler qatlamın payda etiledi. Bul usıl metall hám metal emes zatlar ushın qollanıladı. Vakuumlıq usılı - vakuumdа buyımlar betine qorǵawshı qatlam payda etiwde qollanıladı. Bunında metal hám metal emes túrleri bar. Tiykarınan katodlı búrkishli, termikalıq hám elektron-

nurı menen puwlandırıw usılları hám eki usıl birgelikte qollanıladı. Ximiyalıq usılda metal beti sol metaldıń duzlarınıń eritpeleri menen tiklenedi. Gaztermikalıq usılda suyıq metal gaz aǵımı járdeminde metal menen qaplanatuǵın betke búrkiledi. Ion-plazmalıq usılda metallar tómén temperaturalı tútewshi razryad yaqi jay razryad plazmasında búrkiledi. Gaz-fazalıq (ximiyatermikalıq) usılda buyımlardıń qızdırılǵan betine metal qatlamı otırızıladı. Detonaciya usılı detonaciya (jarılıw) tolıqını energiyasınan paydalanıwǵa tiykarlangan. Metal buyımlardıń betin bekkemlew, jeliniwge shıdamlılıǵı hám karroziyaǵa shıdamlılıǵın, elektr ótkizgishligin arttırıw, geyde buyımnıń kórkemligin asırıwda qollanıladı. Elektrotexnika, radiotexnika, optika, raketa texnikası, avtomobil islep shıǵarıw, keme islep shıǵarıw, samolyot islep shıǵarıw hám basqada tarawlarda metallarǵa talap joqarı [1-5].

Biz bul maqalamızda alıp barılǵan izertlewler islew procesinde jelingen palectiń betine temir ósiriw joli menen qayta tiklew ushın elektrolitlik ósiriw hám plazmalı suyultıp qaplaw metodların maqul dep esaplap bul usıllar ústinde izertlew jumisları alıp barıldı.

Jumıstıń maqseti avtomobiller, traktorlar, hám hár qıylı awıl xojalıǵı texnikalarınń jumıs procesinde jelingen detaildı (biziń jaǵdayımızda palecti) qayta tiklep detaildıń jumıs islew ómirin uzaytıwdan ibarat. Detaildı jelingen betin bekkemlew ushın az uglerodlı hám ortasha uglerodlı termoqaytaislewden ótpegen polat detailarǵa qollanıw múmkin. Detaildıń betin temir menen qaplaw (detaildıń betine temir ósiriw) bul paydalanıw dáwirinde az muǵdarda jelingen detailar ushın júdá jaqsı nátiyje beredi Qayta tiklengen detaildıń bahası, taza tap sonday paydalanılmaǵan detaildıń bahasınıń 30-50 %-tin quraydı.

Detaildıń jelingen betine temir ósiriwge tayarlaw ushın, detaildıń betin hár qıylı maylardan hám basqada kirlerden tazalaw kerek. Detaildıń betinde oyıq sıızıqlar bolsa onda mexanikalıq metotdan paydalanıp najdiyaklaw kerek.