UO‘K 539.23

MAGNETRON CHANGITISH USULIDA OLINGAN MoO_3 YUPQA PARDALARINING ATOM TARKIBI VA ZARYAD HOLATLARINI RENTGEN FOTOELEKTRON SPEKTROSKOPIYASI YORDAMIDA TADQIQ ETISH

Sharopov Utkirjon Bahodirovich,
O‘zbekiston Fanlar akademiyasi
Fizika-texnika instituti,
fizika-matematika fanlari doktori (DSc)
Toshkent, O‘zbekiston
utkirstar@gmail.com
Kuryozov Furqat Odilbekovich,
Urganch RANCH texnologiya universiteti
o‘qituvchisi, mustaqil tadqiqotchi
Urganch, O‘zbekiston
kuryozovfurkat22@gmail.com

Annotatsiya. *Ushbu ishda kremniy taglik ustida magnetron changitish usulida shakllantirilgan molibden oksidi MoO_3 yupqa pardalarining atom tarkibi va molibden atomlarining zaryad holati rentgen fotoelektron spektroskopiyasi (RFES) usuli bilan o‘rganildi. $Mo3d_{5/2}$ cho‘qqisining bog‘lanish energiyasi 233,8 eV ekanligi ko‘rsatildi, bu Mo^{6+} oksidlanish darajasiga mos keladi; 233,2 eV da Mo^{5+} komponenti aniqlandi. O1s darajasining dekonvolyutsiyasi panjara (531,3 eV) va adsorbsion (532,3 eV) kislorodni ajratdi. 10 nm qalinlikdagi pardalar uchun O:Mo nisbati 2,6 ni, Mo^{5+} ulushi esa 6–8 % ni tashkil etdi; qalinlik ortishi bilan nisbat deyarli o‘zgarmadi, Mo^{5+} ulushi esa 1–2 % gacha kamaydi. Ar^+ ionlari bilan tozalashdan keyin O:Mo nisbati 2,9 gacha oshdi. Namunalarni tashishda vakuum mini-kamera qo‘llanilishi adsorbsion uglerod konsentratsiyasini kamaytirdi. Olingan natijalar organik elektronikaning kovak injeksiya qiluvchi kontaktlari sifatida foydalanishga yaroqli stexiometrik MoO_3 pardalari shakllanishini tasdiqlaydi.*

Kalit so‘zlar: *molibden oksidi, RFES, stexiometriya, zaryad holati, injeksiya kontakti, organik elektronika.*

ИССЛЕДОВАНИЕ АТОМНОГО СОСТАВА И ЗАРЯДОВЫХ СОСТОЯНИЙ ТОНКИХ ПЛЁНОК MoO_3, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ, С ПОМОЩЬЮ РЕНТГЕНОВСКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Аннотация. *В работе методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) исследованы атомный состав и зарядовое состояние атомов молибдена в тонких плёнках оксида молибдена MoO_3, сформированных магнетронным распылением на кремниевой подложке. Показано, что энергия связи пика $Mo3d_{5/2}$ составляет 233,8 эВ, что соответствует степени окисления Mo^{6+}; выявлен минорный компонент Mo^{5+} при 233,2 эВ. Деконволюция уровня O1s обнаружила решёточный (531,3 эВ) и адсорбированный (532,3 эВ) кислород. Для плёнок толщиной 10 нм отношение O:Mo составило 2,6, а доля Mo^{5+} достигала 6–8 %; с ростом толщины отношение практически не изменялось, а доля Mo^{5+} снижалась до 1–2 %. После очистки поверхности ионами Ar^+ отношение O:Mo возрастало до 2,9. Применение вакуумной миникамеры при транспортировке образцов снизило концентрацию адсорбированного углерода. Полученные результаты подтверждают формирование стехиометрических плёнок MoO_3, пригодных в качестве дырочных инжектирующих контактов органической электроники.*

Ключевые слова: *оксид молибдена, РФЭС, стехиометрия, зарядовое состояние, инжектирующий контакт, органическая электроника.*

INVESTIGATION OF THE ATOMIC COMPOSITION AND CHARGE STATES OF MoO_3 THIN FILMS OBTAINED BY THE MAGNETRON SPUTTERING METHOD USING X-RAY PHOTOELECTRON SPECTROSCOPY

Abstract. *In this work, the atomic composition and charge state of molybdenum atoms in molybdenum oxide MoO_3 thin films deposited by magnetron sputtering on a silicon substrate were studied by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). The binding energy of the $Mo3d_{5/2}$ peak was found to be 233.8 eV,*

corresponding to the Mo^{6+} oxidation state; a minor Mo^{5+} component at 233.2 eV was identified. Deconvolution of the O1s level resolved lattice (531.3 eV) and adsorbed (532.3 eV) oxygen. For 10 nm films the O:Mo ratio was 2.6 and the Mo^{5+} fraction reached 6–8 %; with increasing thickness the ratio remained practically unchanged, while the Mo^{5+} fraction decreased to 1–2 %. After Ar^{+} ion cleaning the O:Mo ratio increased to 2.9. The use of a vacuum mini-chamber during sample transfer reduced the adsorbed carbon concentration. The results confirm the formation of stoichiometric MoO_3 films suitable as hole-injecting contacts for organic electronics.

Key words: *molybdenum oxide, XPS; stoichiometry, charge state, injecting contact, organic electronics.*

Kirish. So‘nggi o‘n yillikda organik elektronika – organik yorug‘lik chiqaruvchi diodlar (OLED), organik quyosh elementlari va organik maydon tranzistorlari – jadal rivojlanmoqda [1], [4]. Bunday qurilmalarning samaradorligini belgilovchi asosiy omillardan biri elektrod va organik qatlam orasidagi chegarada zaryad tashuvchilarning samarali injeksiyasidir. Kovaklarning (musbat zaryad tashuvchilar) samarali injeksiyasiga erishish uchun kontakt materialining chiqish ishi 5 eV dan yuqori bo‘lishi talab etiladi [5], [7]. An’anaviy metall va kremniy elektrodlarning chiqish ishi 4,8 eV dan past bo‘lib, bu energetik moslashuvni qiyinlashtiradi va injeksiya to‘sig‘ini oshiradi.

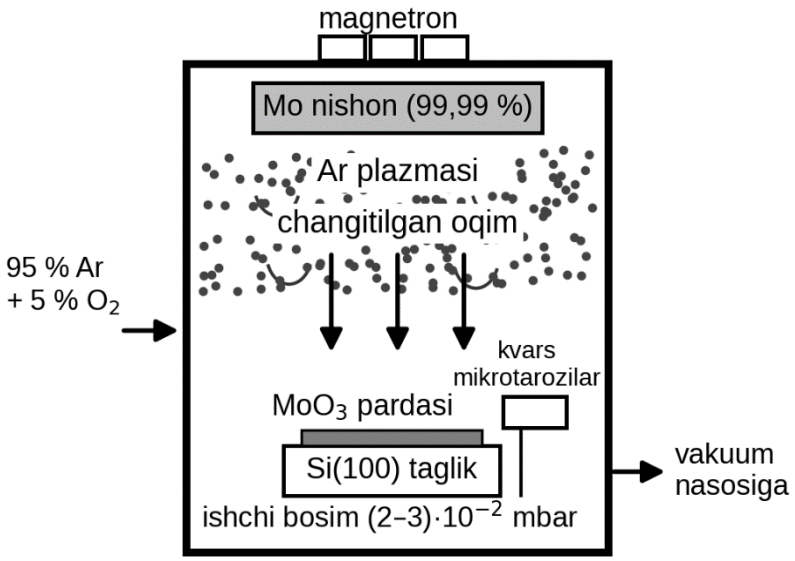
O‘tish metallari oksidlari, xususan, molibden oksidi MoO_3, ushbu muammoni hal qilishning istiqbolli yo‘nalishi hisoblanadi. MoO_3 ning chiqish ishi 6 eV gacha yetishi mumkin, bu uni kovak injeksiya qiluvchi qatlam sifatida foydalanishga imkon beradi [2], [5]. MoO_3 ning yuqori chiqish ishi uning chuqur joylashgan o‘tkazuvchanlik zonasi va Fermi sathining valent zona maksimumidan ancha pastda joylashishi bilan bog‘liq [5], [14]. Biroq qoplamaning samaradorligi bevosita uning atom tarkibi va stexiometriyasi bilan belgilanadi: molibden va kislorod konsentratsiyalari nisbati, shuningdek, Mo^{6+} va Mo^{5+} zaryad holatlarining nisbati pardaning elektron xususiyatlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi [3], [13].

Adabiyotlarda MoO_3 pardalarini olishning turli usullari – termik bug‘latish, magnetron changitish, atom qatlamli o‘tkazish – muhokama qilingan [4], [6], [12]. Magnetron changitish usuli yuqori bir jinslilik, qatlam qalinligini aniq nazorat qilish va sanoat miqyosida kengaytirilish imkoniyati tufayli ajralib turadi. Shu bilan birga, changitish jarayonida kislorod yetishmasligi natijasida pardada Mo^{5+} holatlari va kislorod bo‘shliqlari hosil bo‘lishi mumkin, bu esa stexiometriyaning buzilishiga olib keladi [11], [13]. Shu sababli olingan pardalarning atom tarkibini va molibden atomlarining zaryad holatini aniq nazorat qilish dolzarb vazifa hisoblanadi.

Ushbu ishning maqsadi magnetron changitish usulida shakllantirilgan MoO_3 pardalarining atom tarkibini va molibden atomlarining zaryad holatini rentgen fotoelektron spektroskopiyasi (RFES) yordamida tadqiq etishdan iborat. Ishda Mo3d va O1s o‘zak darajalarining batafsil tahlili, O:Mo nisbatining va Mo^{5+} ulushining parda qalinligiga bog‘liqligi, shuningdek, namunalarni tashish sharoitlarining sirt ifloslanishiga ta’siri o‘rganildi.

RFES usuli yuza yaqinidagi (2–5 nm chuqurlikdagi) qatlamning kimyoviy tarkibi va elementlarning zaryad holati haqida bevosita ma’lumot beruvchi eng axborotli usullardan biri hisoblanadi. Molibdenning turli oksidlanish darajalari (Mo^{6+}, Mo^{5+}, Mo^{4+}) Mo3d o‘zak darajasining bog‘lanish energiyasida aniq farqlanadigan siljishlarga ega bo‘ladi, bu esa pardadagi qaytarilgan holatlar va kislorod bo‘shliqlari konsentratsiyasini miqdoriy baholashga imkon yaratadi [3], [11]. Shu sababli RFES MoO_3 pardalarining sifatini nazorat qilishda asosiy vosita hisoblanadi. Bundan tashqari, molibden oksidi MoO_3 dan tashqari MoO_2 va oraliq Mo_nO_{3n-1} fazalarini ham hosil qilishi mumkinligi sababli, faqat aniq tarkibni nazorat qilish kerakli elektron xususiyatlarga erishishni kafolatlaydi [13], [14].

Materiallar va eksperimental usullar. MoO_3 pardalari Kepler 450 qurilmasida molibden nishonini (tozaligi 99,99 %) magnetron changitish usuli bilan kremniy Si(100) taglik ustiga o‘tkazildi. Ishchi gaz sifatida 95 % Ar va 5 % O_2 aralashmasi $(2–3)\cdot10^{-2}$ mbar bosimda foydalanildi. Parda qalinligi 10 dan 150 nm gacha bo‘lib, o‘tkazish jarayonida kvars mikrotarozilar yordamida nazorat qilindi. Changitish jarayoni sxematik tarzda 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Magnetron changitish jarayonining sxematik ko‘rinishi: Mo nishon, Ar^+ plazmasi, changitilgan oqim va Si taglik ustida MoO_3 pardasining shakllanishi

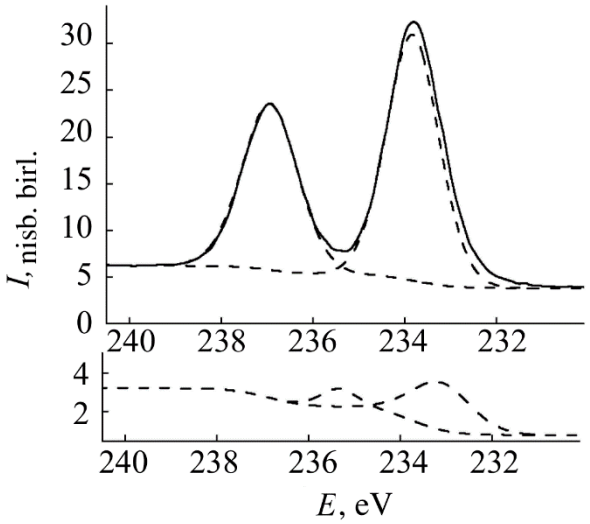
Atom tarkibi va zaryad holati Escalab 250Xi spektrometrida rentgen fotoelektron spektroskopiyasi (RFES) usuli bilan, monoxromatlashtirilgan Al Kα nurlanishi (1486,6 eV) yordamida o‘ta yuqori vakuum sharoitida o‘rganildi. O‘zak darajalarning dekonvolyutsiyasi Shirli foni va Foygt funksiyalarini hisobga olgan holda bajarildi. Namuna sirti energiyasi 500 eV bo‘lgan Ar^+ ionlari nuri bilan tozalandi. Adsorbsion uglerodning ta’sirini kamaytirish maqsadida namunalar o‘lchov kamerasiga ko‘chma vakuum mini-kamera (10^{-5} Torr) yordamida tashildi.

Bog‘lanish energiyasining shkalasini kalibrlash adventiv uglerodning C1s cho‘qqisi bo‘yicha (284,8 eV) amalga oshirildi. Atom konsentratsiyalari nisbati tegishli o‘zak darajalarning integral intensivligi va Skofild fotoionizatsiya kesimlarini hisobga olgan holda hisoblandi. Har bir qalinlik uchun kamida uchta nuqtada o‘lchovlar o‘tkazilib, o‘rtacha qiymatlar olindi. Namunalarni o‘tkazishning asosiy texnologik parametrlari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval. MoO_3 pardalarini magnetron changitish parametrlari

Parametr	Qiymat
Nishon materiali (tozalik)	Mo, 99,99 %
Ishchi gaz	95 % Ar + 5 % O_2
Ishchi bosim	$(2–3)\cdot10^{-2}$ mbar
Taglik	Si(100)
Parda qalinligi	10–150 nm
Qalinlik nazorati	kvars mikrotarozilar
Tashish vakuumi	10^{-5} Torr (mini-kamera)

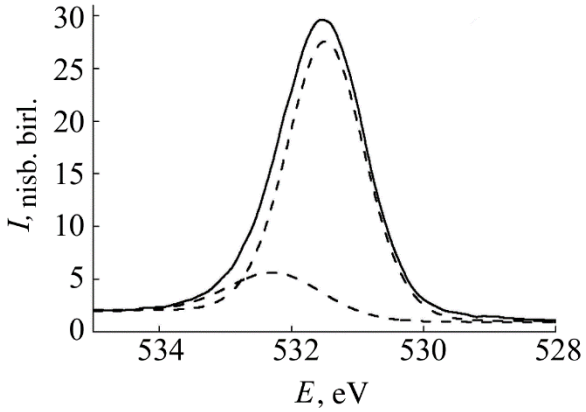
Natijalar va munozaralar. RFES umumiy spektrida asosiy komponentlar – O1s (531,3 eV), C1s (284,8 eV) va Mo3d (233,6 eV) – qayd etildi. Molibden atomlarining zaryad holati to‘g‘risidagi asosiy ma’lumot Mo3d o‘zak darajasining tahlilidan olindi. Mo3d spektri $Mo3d_{5/2}$ va $Mo3d_{3/2}$ dubletidan iborat bo‘lib, ular orasidagi spin-orbital ajralish 3,11 eV ni tashkil etdi (2-rasm).



2-rasm. MoO_3 pardasining Mo3d o‘zak darajasi RFES spektri va uning Mo^{6+} hamda Mo^{5+} komponentlariga dekonvolyutsiyasi

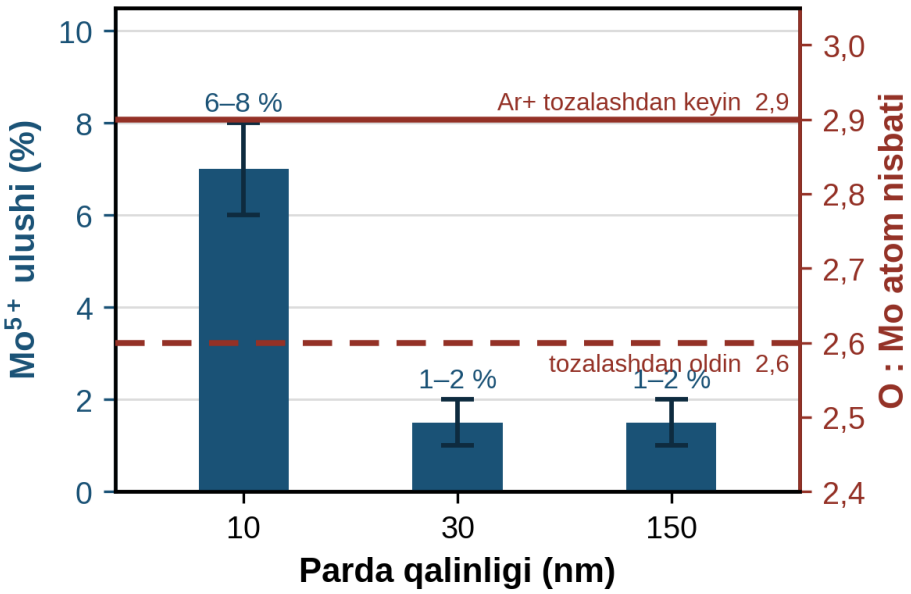
$Mo3d_{5/2}$ cho‘qqisining bog‘lanish energiyasi 233,8 eV ni tashkil etdi, bu molibdenning Mo^{6+} oksidlanish darajasiga, ya’ni stexiometrik MoO_3 ga mos keladi [3], [13]. 233,2 eV da kuzatilgan kamroq ifodalangan komponent Mo^{5+} holatiga tegishli bo‘lib, kislorod bo‘shliqlari bilan bog‘liq qisman qaytarilgan holatlarni aks ettiradi [11]. Mo^{5+} ning mavjudligi pardada kislorod yetishmovchiligi sodir bo‘lganligini ko‘rsatadi va uning ulushi changitish sharoitlariga sezilarli bog‘liqdir.

O1s o‘zak darajasining dekonvolyutsiyasi ikki komponentni ajratdi: 531,3 eV dagi panjara kislorodi (MoO_3 to‘rida Mo–O bog‘lanishlari) va 532,3 eV dagi adsorbsion kislorod (sirtdagi gidroksil guruhlari va adsorbsiyalangan suv) (3-rasm). Panjara kislorodi komponentining ustunligi pardaning yaxshi shakllangan oksid tuzilishiga ega ekanligini tasdiqlaydi.



3-rasm. MoO_3 pardasining O1s o‘zak darajasi spektri: panjara kislorodi (531,3 eV) va adsorbsion kislorod (532,3 eV)

Atom tarkibining parda qalinligiga bog‘liqligi muhim ahamiyatga ega. O‘rganilgan barcha qalinliklarda (10, 30 va 150 nm) O:Mo nisbati 2,6 ± 0,1 ni tashkil etdi va parda qalinligi ortishi bilan sezilarli o‘zgarmadi. Mo^{5+} ulushi esa qalinlikka sezilarli bog‘liq bo‘ldi: 10 nm qalinlikdagi pardalarda u 6–8 % ga yetdi, qalinlik ortganda esa o‘tkazilgan tahlil xatoligi chegarasiga yaqin bo‘lgan 1–2 % gacha kamaydi (4-rasm). Ar^+ ionlari bilan tozalashdan keyin O:Mo nisbati 2,9 ± 0,1 gacha oshdi, bu esa molibden atomlarining asosan Mo^{6+} holatida ekanligini tasdiqlaydi. Yupqa pardalardagi kislorod yetishmovchiligi, ehtimol, taglik bilan chegaradagi qatlamlararo ta’sir va boshlang‘ich o‘sish bosqichidagi notekis kislorodlanish bilan bog‘liqdir.



4-rasm. Mo^{5+} ulushining MoO_3 parda qalinligiga bog‘liqligi hamda Ar^+ ionlari bilan tozalashdan oldin va keyin O:Mo nisbati

2-jadval. MoO_3 pardalarining atom tarkibi va Mo^{5+} ulushining parda qalinligiga bog‘liqligi

Qalinlik (nm)	O:Mo nisbati	Mo^{5+} ulushi (%)
10	2,6 ± 0,1	6–8
30	2,6 ± 0,1	1–2
150	2,6 ± 0,1	1–2

Ko‘chma vakuum mini-kamerasini (10^{-5} Torr) namunalarni tashishda qo‘llash adsorbsion uglerodning nisbiy konsentratsiyasini atmosfera bilan kontaktdagi 20–25 % dan 10 % dan oshmaydigan darajagacha kamaytirishga imkon berdi. Bu sirt holatini o‘rganishda muhim ahamiyatga ega, chunki uglerod ifloslanishi chiqish ishini va atom tarkibini baholashda xatoliklarga olib kelishi mumkin. Ar^+ ionlari bilan tozalashdan keyin O:Mo nisbati 2,6 ± 0,1 dan 2,9 ± 0,1 gacha oshdi; bu sirtdagi adsorbsion qatlamning olib tashlanishi bilan bog‘liq. Pardaning hajmiy stexiometriyasi esa qalinlikka bog‘liq bo‘lmagan holda barqaror bo‘lib qoldi.

Olingan natijalarni boshqa mualliflarning ma’lumotlari bilan solishtirish shuni ko‘rsatadiki, $Mo3d_{5/2}$ ning 233,8 eV qiymati va Mo^{6+} ustunligi magnetron usulida olingan sifatli MoO_3 pardalari uchun xosdir [3], [6], [12]. Mo^{5+} ulushining qalinlik bilan kamayishi changitish jarayonida kislorod muvozanatining yaxshilanishi bilan izohlanadi. Stexiometrik MoO_3 pardalarining shakllanishi ularning yuqori chiqish ishini ta’minlaydi va organik elektronika qurilmalarida kovak injeksiya qiluvchi kontakt sifatida foydalanish uchun zaruriy shartdir [5], [18].

Shuni ta’kidlash kerakki, Mo^{5+} holatlari va ular bilan bog‘liq kislorod bo‘shliqlari MoO_3 ning elektron tuzilishiga ikki tomonlama ta’sir ko‘rsatadi. Bir tomondan, taqiqlangan zonada qo‘shimcha holatlar hosil bo‘lib, ular zaryad tashuvchilarning tutilish markazlari sifatida ishlashi va injeksiya samaradorligini pasaytirishi mumkin. Boshqa tomondan, me’yoriy konsentratsiyadagi kislorod bo‘shliqlari Fermi sathini siljitishi va o‘tkazuvchanlikni oshirishi mumkin [5], [14]. Shu sababli Mo^{5+} ulushini optimal darajada nazorat qilish amaliy ahamiyatga ega. Bizning natijalarimiz qalin (150 nm) pardalarda Mo^{5+} ulushi minimal (1–2 %) bo‘lib, bu deyarli ideal stexiometrik MoO_3 ga mos kelishini ko‘rsatadi.

Xulosalar. Magnetron changitish usulida kremniy taglik ustida shakllantirilgan MoO_3 yupqa pardalarining atom tarkibi va zaryad holati rentgen fotoelektron spektroskopiyasi yordamida o‘rganildi. $Mo3d_{5/2}$ cho‘qqisining bog‘lanish energiyasi 233,8 eV ekanligi aniqlandi, bu Mo^{6+} oksidlanish darajasiga mos keladi; 233,2 eV da Mo^{5+} minor komponenti qayd etildi. O1s darajasi panjara (531,3 eV) va adsorbsion (532,3 eV) kislorodga ajratildi.

O:Mo nisbati o‘rganilgan barcha qalinliklarda 2,6 ± 0,1 bo‘lib qolishi, Mo^{5+} ulushining esa 6–8 % dan 1–2 % gacha kamayishi aniqlandi. Ar^+ ionlari bilan tozalashdan keyin O:Mo nisbati 2,9 ± 0,1 gacha oshdi.

Vakuum mini-kamerasini qo‘llash adsorbsion uglerod konsentratsiyasini sezilarli kamaytirdi. Olingan natijalar magnetron changitish usuli organik elektronikaning kovak injeksiya qiluvchi kontaktlari sifatida foydalanishga yaroqli stexiometrik MoO_3 pardalarini shakllantirishni ta’minlashini ko‘rsatadi. Kelajakdagi tadqiqotlar changitish sharoitlarini optimallashtirish orqali yupqa pardalarda ham stexiometriyani yaxshilashga qaratiladi.

ADABIYOTLAR:

1. R. T. White, E. S. Thibau, Z. H. Lu, “Universal energy-level alignment of molecules at metal oxide interfaces,” Sci. Rep., vol. 6, p. 21109, 2016, doi: 10.1038/srep21109.

2. M. T. Greiner, Z. H. Lu, “Thin-film metal oxides in organic semiconductor devices: their electronic structures, work functions and interfaces,” NPG Asia Mater., vol. 5, p. e55, 2013, doi: 10.1038/am.2013.29.

3. C. V. Ramana, V. V. Atuchin, V. G. Kesler, et al., “Electronic structure and chemical bonding in molybdenum-oxide films,” Appl. Surf. Sci., vol. 253, no. 12, pp. 5368–5374, 2007, doi: 10.1016/j.apsusc.2006.12.012.

4. J. Meyer, S. Hamwi, M. Kröger, et al., “Transition metal oxides for organic electronics,” Adv. Mater., vol. 24, no. 40, pp. 5408–5427, 2012, doi: 10.1002/adma.201201630.

5. M. Kröger, S. Hamwi, J. Meyer, et al., “Role of the deep-lying electronic states of MoO3 in the enhancement of hole injection,” Appl. Phys. Lett., vol. 95, p. 123301, 2009, doi: 10.1063/1.3231928.

6. A. L. F. Cauduro, R. dos Reis, G. Chen, et al., “Crystalline molybdenum oxide thin-films for application as interfacial layers in optoelectronic devices,” ACS Appl. Mater. Interfaces, vol. 9, no. 8, pp. 7717–7724, 2017, doi: 10.1021/acsami.6b14228.

7. I. G. Hill, A. Kahn, J. Cornil, et al., “Charge-separation energy in films of conjugated organic molecules,” Chem. Phys. Lett., vol. 317, pp. 444–450, 2000, doi: 10.1016/S0009-2614(99)01384-6.

8. Z. Bin, H. Guo, Z. Liu, F. Li, et al., “Hole transporting materials for OLEDs,” ACS Appl. Mater. Interfaces, vol. 10, no. 5, pp. 4882–4886, 2018, doi: 10.1021/acsami.7b18261.

9. A. S. Komolov, E. F. Lazneva, N. B. Gerasimova, et al., “Conduction band electronic states of ultrathin layers of thiophene/phenylene co-oligomers,” J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom., vol. 235, pp. 40–45, 2019, doi: 10.1016/j.elspec.2019.07.001.

10. U. B. Sharopov, K. Samiev, A. To‘raev, et al., “Surface defect formation studied by total current spectroscopy,” Vacuum, vol. 227, p. 113395, 2024, doi: 10.1016/j.vacuum.2024.113395.

11. R. Tokarz-Sobieraj, K. Hermann, M. Witko, et al., “Properties of oxygen sites at the MoO3(010) surface,” Surf. Sci., vol. 489, pp. 107–125, 2001, doi: 10.1016/S0039-6028(01)01169-4.

12. N. Sharma, R. Kumar, J. Jayabalan, “Optical and structural properties of magnetron-sputtered MoO3 thin films,” Curr. Appl. Phys., vol. 21, pp. 58–65, 2021, doi: 10.1016/j.cap.2020.10.004.

13. S. Tokito, K. Noda, Y. Taga, “Metal oxides as a hole-injecting layer for an organic electroluminescent device,” J. Phys. D: Appl. Phys., vol. 29, pp. 2750–2753, 1996, doi: 10.1088/0022-3727/29/11/004.

14. D. O. Scanlon, G. W. Watson, D. J. Payne, et al., “Theoretical and experimental study of the electronic structures of MoO3 and MoO2,” J. Phys. Chem. C, vol. 114, no. 10, pp. 4636–4645, 2010, doi: 10.1021/jp9093172.

15. U. B. Sharopov, B. G. Atabaev, R. Djabbarganov, “Defect formation on the surface of ZnO using low-energy electrons,” J. Surf. Investig., vol. 14, no. 1, pp. 101–104, 2020, doi: 10.1134/S1027451020010164.

16. K. Jacobi, G. Zwicker, A. Gutmann, “Work function, electron affinity and band bending of zinc oxide surfaces,” Surf. Sci., vol. 141, pp. 109–125, 1984, doi: 10.1016/0039-6028(84)90199-7.

17. A. S. Komolov, P. J. Møller, E. F. Lazneva, “A total current spectroscopy study of metal oxide surfaces,” J. Phys.: Condens. Matter, vol. 11, p. 9089, 1999.

18. H. Lee, S. W. Cho, K. Han, et al., “The origin of the hole injection improvements at indium tin oxide/MoO3 interfaces,” Appl. Phys. Lett., vol. 93, p. 043308, 2008, doi: 10.1063/1.2965120.