QO‘QON DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI ILMIY XABARLARI
(2026-yil 10-son)

TABIIY FANLAR

NATURAL SCIENCES

https://doi.org/10.70728/a.series.tab.v08.i10.088

UDK 677.4:677.017.57:546.57

METALOORGANIK MATERIALLAR ASOSIDAGI ELEKTR O‘TKAZUVCHAN TOLALAR VA IPLAR: OLINISH KIMYOSI, ELEKTROFIZIK XOSSALARI VA ANTISTATIK IPLARDA QO‘LLASH ISTIQBOLLARI

Qodirov Olimjon Rahimjon o‘g‘li**, Sharipov Furqat Shavkat o‘g‘li, Sadikov Muhammad Rashid o‘g‘li, Saloxiddinov Jahongir Ziyoviddin o‘g‘li, Egamberdiyev Soxibjon Abdulqosimovich.

Namangan davlat texnika universiteti, Namangan, O‘zbekiston

**E-mail: olimjonqodirov18@gmail.com*

Annotatsiya. Maqolada antistatik to‘qimachilik materiallari uchun elektr o‘tkazuvchan komponent sifatida qo‘llaniladigan metaloorganik materiallar – organik polimer matritsa va metall yoki metall birikmasidan tashkil topgan tolalar, iplar va qoplamalar – kimyoviy olinish usullari, o‘tkazuvchanlik mexanizmlari va foydalanishdagi barqarorligi nuqtai nazaridan tizimli tahlil qilingan. Metaloorganik materiallarning to‘rt sinfi ajratilgan: elektrsiz kimyoviy metallangan organik iplar, sirt qatlamida yarimo‘tkazgich metall sulfidlari hosil qilingan tolalar, metaloorganik prekursorlarni past haroratda parchalash orqali olinadigan metall qoplamalar va π–d konyugatsiyali metall-organik karkas birikmalari. Kumushni poliamid sirtiga kimyoviy cho‘ktirishning sensibilizatsiya–faollashtirish–qaytarish bosqichlari, mis(I) ionlarining poliakrilonitril nitril guruhlari bilan koordinatsiyasi orqali digenit (Cu_9S_5) hosil bo‘lishi, diamminkumush(I) kompleksini termik parchalash va $Ni_3(HITP)_2$ tipidagi karkaslarda zaryad tashish mexanizmi kimyoviy tenglamalar va adabiyot ma’lumotlari asosida ko‘rib chiqilgan. Materiallarning solishtirma hajmiy qarshiligi 10^{-6} dan 10^{0} Om·sm gacha bo‘lgan oraliqda taqqoslangan, kumush qatlamining sulfidlanishi va yuvishda degradatsiyasi muhokama qilingan. Paxta bilan halqali yigirish mashinasida birlashtiriladigan kombinatsiyalangan antistatik iplar uchun komponentni tanlashning mezonlari taklif etilgan va kumush qoplangan poliamid kompleks iplari eng istiqbolli komponent sifatida asoslangan.

Kalit so‘zlar: metaloorganik materiallar, elektrsiz metallash, kumush qoplangan poliamid, digenit, metall-organik karkas birikmalari, solishtirma qarshilik, antistatik ip, sulfidlanish.

Аннотация. В статье систематически проанализированы металлоорганические материалы – волокна, нити и покрытия из органической полимерной матрицы и металла или его соединения, применяемые в качестве электропроводящего компонента

антистатических текстильных материалов, – с позиций химии получения, механизмов проводимости и эксплуатационной стабильности. Выделены четыре класса: химически (безэлектролизно) металлизированные органические нити, волокна с полупроводниковыми сульфидами металлов в поверхностном слое, металлические покрытия, получаемые низкотемпературным разложением металлоорганических прекурсоров, и металлоорганические каркасные структуры с π–d сопряжением. На основе химических уравнений и литературных данных рассмотрены стадии сенсибилизации, активации и восстановления при химическом серебрении полиамида, образование дигенита (Cu_9S_5) через координацию ионов меди(I) нитрильными группами полиакрилонитрила, разложение комплекса диамминсеребра(I) и механизм переноса заряда в каркасах типа $Ni_3(HITP)_2$. Удельное объемное сопротивление материалов сопоставлено в диапазоне от 10^{-6} до 10^{0} Ом·см, обсуждены сульфидирование серебряного слоя и деградация при стирке. Предложены критерии выбора компонента для комбинированных антистатических нитей, формируемых с хлопком на кольцепрядильной машине, и обоснованы посеребренные полиамидные комплексные нити как наиболее перспективный компонент.

Ключевые слова: металлоорганические материалы, химическая металлизация, посеребренный полиамид, дигенит, металлоорганические каркасы, удельное сопротивление, антистатическая нить, сульфидирование.

Abstract. The paper systematically analyses metal-organic materials, namely fibres, yarns and coatings consisting of an organic polymer matrix and a metal or metal compound, used as the conductive component of antistatic textiles, in terms of preparation chemistry, conduction mechanisms and in-service stability. Four classes are distinguished: electrolessly metallised organic yarns, fibres with semiconducting metal sulphides in the surface layer, metal coatings obtained by low-temperature decomposition of metal-organic precursors, and π–d conjugated metal-organic frameworks. Using chemical equations and published data, the sensitisation, activation and reduction steps of electroless silvering of polyamide, the formation of digenite (Cu_9S_5) via coordination of copper(I) ions by nitrile groups of polyacrylonitrile, the decomposition of the diamminesilver(I) complex and charge transport in $Ni_3(HITP)_2$-type frameworks are examined. Volume resistivities are compared over the range 10^{-6} to 10^{0} Ohm·cm, and sulphidation of silver layers and degradation during laundering are discussed. Criteria are proposed for selecting the component of combined antistatic yarns spun with cotton on a ring frame, and silver-plated polyamide multifilaments are substantiated as the most promising component.

Keywords: metal-organic materials, electroless metallisation, silver-plated polyamide, digenite, metal-organic frameworks, resistivity, antistatic yarn, sulphidation.

Kirish. Kimyoviy tolalar va ular ishtirokidagi aralash matolar kiyib yurish va qayta ishlash jarayonida triboelektrik zaryadlanadi. Neft va gaz qazib olish va qayta ishlash, kimyo va yoqilg‘i quyish shoxobchalari kabi portlash-yong‘in xavfli obyektlarda kiyimda yoki inson tanasida to‘plangan zaryadning razryadi yonuvchi bug‘-havo aralashmasini alangalantirishi mumkin [1–3]. Shu sababli bunday ishlab chiqarishlar uchun maxsus kiyim

EN 1149-5 standarti bo‘yicha antistatik xossalarga ega bo‘lishi kerak [4]. Matoning sirt qarshiligini talab etilgan darajaga tushirishning eng ishonchli usuli – uning tuzilmasiga statik zaryadni o‘tkazuvchi yoki induksiya orqali neytrallovchi elektr o‘tkazuvchan iplarni kiritish [5, 6].

O‘zbekiston Respublikasida to‘qimachilik sanoatini jadal rivojlantirish va yuqori qo‘shilgan qiymatli mahsulot ishlab chiqarish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biri sifatida belgilangan [7]. Mahalliy xomashyo – paxta tolasi asosida texnik va maxsus maqsadli matolar, jumladan antistatik matolar assortimentini yaratish ushbu yo‘nalishning muhim qismidir. Paxta gidrofil bo‘lgani uchun normal namlikda sintetik tolalarga nisbatan bir necha tartib kichik solishtirma qarshilikka ega, biroq past namlikda uning o‘tkazuvchanligi keskin kamayadi [8]. Shu sababli paxtali antistatik matolar ham namlikka bog‘liq bo‘lmagan o‘tkazuvchi komponentni talab qiladi.

An’anaviy o‘tkazuvchi komponentlar – metall simlar va uglerod saqlovchi polimer iplar – qarama-qarshi kamchiliklarga ega. Metall simlar yuqori o‘tkazuvchanlikni ta’minlaydi, ammo bikr, ko‘p martalik egilishda sinadi va uzilishdagi cho‘zilishi kichik. Uglerod saqlovchi kompozit iplar to‘qimachilik xossalari bo‘yicha mosroq, ammo o‘tkazuvchanligi perkolyatsion tarmoq bilan cheklangan [9]. Bu ikki guruh o‘rtasidagi o‘rinni metaloorganik materiallar egallaydi: ularda polimer matritsa tolaning egiluvchanligi va qayta ishlanuvchanligini, metall yoki metall birikmasi esa o‘tkazuvchanlikni ta’minlaydi [10–12].

Mavjud sharhlar asosan elektron to‘qimachilik va elektromagnit ekranlash muammolariga qaratilgan [10, 11]; antistatik kombinatsiyalangan iplar uchun metaloorganik komponentlarning olinish kimyosi, o‘tkazuvchanlik mexanizmi va texnologik qayta ishlanuvchanligini birgalikda baholovchi tahlil yetarli emas.

Maqolaning maqsadi – metaloorganik materiallar asosidagi elektr o‘tkazuvchan tolalar va iplarni kimyoviy olinish usuli va o‘tkazuvchanlik mexanizmi bo‘yicha tasniflash, ularning elektrofizik ko‘rsatkichlari va barqarorligini qiyosiy baholash hamda paxta asosidagi kombinatsiyalangan antistatik iplar uchun komponentni tanlashning mezonlarini asoslash. **Ilmiy yangilik** sifatida metaloorganik komponentlarning kimyoviy tuzilishi, o‘tkazuvchi fazaning tolada joylashuvi va halqali yigirishda kombinatsiyalangan ip shakllanishi talablarini bog‘lovchi tanlash mezonlari tizimi taklif etiladi.

Materiallar va usullar

Tahlil obyekti sifatida antistatik va elektr o‘tkazuvchan to‘qimachilik materiallarida qo‘llaniladigan metall saqlovchi organik tolalar, iplar va qoplamalar olindi. Manbalar bazasini ilmiy maqolalar (Journal of the American Chemical Society, Science, RSC Advances, Sensors va boshqalar), patentlar, xalqaro standartlar va ishlab chiqaruvchilarning texnik ma’lumotlari tashkil etdi [4, 10–24]. Raqamli ko‘rsatkichlar faqat birlamchi manbalarda keltirilgan qiymatlar bo‘yicha olindi; turli o‘lchov birliklarida berilgan qiymatlar (Om/sm, Om·sm, S/sm) solishtirma hajmiy qarshilikka keltirildi.

Materiallar quyidagi belgilar bo‘yicha tasniflandi: o‘tkazuvchi fazaning kimyoviy tabiati (sof metall, metall sulfidi, metall-organik koordinatsion birikma), uning tolada joylashuvi (sirt qoplamasi, sirtqi diffuziya qatlami, polimer massasidagi to‘ldiruvchi), olish

kimyosi (elektrsiz qaytarish, ion almashinish va sulfidlash, prekursorni termik parchalash, eritmadan o‘z-o‘zidan yig‘ilish) va o‘tkazuvchanlik mexanizmi (metall, yarimo‘tkazgich, perkolyatsion). Materiallarning statik zaryadni olib ketish samaradorligini baholash uchun zaryadning relaksatsiya vaqtidan foydalanildi:

$$\tau = \varepsilon_0\, \varepsilon_r\, \rho_v, \qquad (1)$$

bu yerda τ – relaksatsiya vaqti, s; $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}$ F/m – elektr doimiysi; ε_r – materialning nisbiy dielektrik singdiruvchanligi; ρ_v – solishtirma hajmiy qarshilik, Om·m [3]. (1) ifodaga ko‘ra $\varepsilon_r \approx 3$ bo‘lgan polimer uchun $\rho_v = 10^{12}$ Om·m da $\tau \approx 27$ s, $\rho_v = 10^{8}$ Om·m da esa $\tau \approx 2{,}7$ ms ni tashkil etadi; ya’ni qarshilikni to‘rt tartibga kamaytirish zaryadning tarqalish vaqtini xuddi shunchaga qisqartiradi.

Kombinatsiyalangan ip uchun tanlash mezonlarini shakllantirishda halqali yigirish mashinasida kompleks ipni paxta mychkasi bilan birlashtirish shartlari [5, 25], kombinatsiyalangan ipda komponentlar o‘rtasida yuklanishning taqsimlanishi [26] va EN 1149-5 talablari [4] hisobga olindi.

Natijalar

1. Elektr o‘tkazuvchan tolalarning tasnifi va metaloorganik materiallarning o‘rni. Kimyoviy tolalar elektr xossalari bo‘yicha dielektriklar (solishtirma o‘tkazuvchanligi 10^{-8} $Om^{-1}\cdot m^{-1}$ dan kichik), yarimo‘tkazgichlar (10^{-8}–10^{2} $Om^{-1}\cdot m^{-1}$) va o‘tkazgichlarga (10^{2} $Om^{-1}\cdot m^{-1}$ dan yuqori) bo‘linadi [5]. O‘tkazuvchanligi bir jinsli material tuzilishi bilan belgilanadigan gomogen tolalarga metall va uglerod tolalari kiradi. Geterogen tolalarda o‘tkazuvchanlik polimer massasiga o‘tkazuvchi to‘ldiruvchi kiritish yoki tola sirtiga o‘tkazuvchi qatlam hosil qilish orqali beriladi. Perkolyatsion kompozitlarda o‘tkazuvchanlik to‘ldiruvchi hajmiy ulushi φ perkolyatsiya chegarasi φ_c dan oshganda keskin ortadi va $\sigma \propto (\varphi - \varphi_c)^t$ qonuniga bo‘ysunadi, bunda uch o‘lchamli tizimlar uchun $t \approx 2$ [9]. Metaloorganik materiallar geterogen tolalarning metall yoki metall birikmasi saqlovchi qismini tashkil etib, ularda o‘tkazuvchi faza ko‘pincha sirtda uzluksiz qatlam hosil qiladi va perkolyatsiya cheklovidan xoli bo‘ladi.

2. Elektrsiz kimyoviy metallangan organik iplar. Ushbu guruhning sanoatda eng keng tarqalgan vakili – kumush qoplangan poliamid kompleks iplari. Statex (Germaniya) firmasi Shieldex® savdo belgisi ostida poliamid 6 va poliamid 6.6 asosidagi chiziqli zichligi 22–235 dtex bo‘lgan kumush qoplangan kompleks va monoiplarni ishlab chiqaradi; ularning chiziqli qarshiligi ip turiga ko‘ra 1–300 Om/sm ni tashkil etadi [13]. 117×2 dtex poliamid asosidagi Madeira HC 40 tikuv ipining chiziqli zichligi metallashdan keyin 290 dtex, qarshiligi 300 Om/m dan kam, uzilish kuchi taxminan 1400 sN, uzilishdagi cho‘zilishi taxminan 21 % [14].

Poliamid sirtini elektrsiz kumushlash ko‘p bosqichli kimyoviy jarayondir [15]. Birinchi bosqichda xlorid kislota bilan kislotalangan qalay(II) xlorid eritmasi qo‘llaniladi; kislota $SnCl_2$ gidrolizi va Sn^{2+} oksidlanishini bostiradi hamda poliamidni qisman gidrolizlab, sirtda amino- va karboksil guruhlarini, mikrog‘adir-budurlikni hosil qiladi. Sn^{2+} ionlari karbonil va amin guruhlari bilan ion-koordinatsion bog‘lanib, sirtda adsorbsiyalanadi (sensibilizatsiya). Ikkinchi bosqichda kumush-ammiak kompleksi sirtdagi Sn^{2+} ionlari bilan qaytariladi va kumush kurtaklari hosil bo‘ladi:

$$Sn^{2+} + 2[Ag(NH_3)_2]^+ \rightarrow Sn^{4+} + 2Ag^0 + 4NH_3 \quad (2)$$

Uchinchi bosqichda kurtaklar ishqoriy muhitda formaldegid bilan qaytariladigan kumush hisobiga yaxlit qatlamgacha o‘stiriladi:

$$2[Ag(NH_3)_2]^+ + HCHO + 3OH^- \rightarrow 2Ag^0 + HCOO^- + 4NH_3 + 2H_2O \quad (3)$$

Kompleks hosil qiluvchi (EDTA-Na_2) kumushni eritmada ushlab turadi va hajmiy cho‘kish hamda zarrachalar agregatsiyasini cheklaydi. P.V.T. Weerasinghe va hammualliflar ma’lumotiga ko‘ra, qaytaruvchisiz olingan qatlam uzluksiz bo‘lmagani uchun o‘tkazmaydi; formaldegid qo‘llanilganda $AgNO_3$ konsentratsiyasini 2,5 % dan 20 % gacha oshirish chiziqli qarshilikni 71,9 dan 2,93 Om/sm gacha kamaytirgan, rentgen fotoelektron spektroskopiyasi esa qatlamda Ag_2O tarkibidagi Ag^+ mavjudligini ko‘rsatgan [15]. Muqobil yo‘l – dofaminning ishqoriy muhitda oksidlanish-polimerlanishi bilan sirtda polidofamin qatlam hosil qilish; uning katexol va amin guruhlari Ag^+ ni joyida qaytaradi va metall qatlamning adgeziyasini oshiradi, bu esa turli tabiatdagi sirtlarni elektrsiz metallash imkonini beradi [16].

3. Sirt qatlamida metall sulfidlari hosil qilingan tolalar. Bu sinfda o‘tkazuvchanlik yarimo‘tkazgich mis sulfidlari, birinchi navbatda digenit (Cu_9S_5) bilan ta’minlanadi. Nihon Sanmo Dyeing kompaniyasi patentida [17] poliakrilonitril tolalariga ishlov berishning quyidagi kimyosi tavsiflangan: mis(II) tuzi ($CuSO_4$) eritmadagi qaytaruvchi (natriy tiosulfat, natriy gidrosulfit, gidroksilamin sulfat yoki metall mis) ta’sirida mis(I) ga qaytariladi; Cu^+ ionlari poliakrilonitrilning nitril guruhlari bilan koordinatsion bog‘ hosil qilib, tolaning sirtqi qatlamiga diffuziyalanadi; oltingugurt manbai (tiosulfat, ditionit, SO_2 yoki H_2S) bilan reaksiyada esa tola ichida dispers mis sulfidi hosil bo‘ladi. Rentgen difraksiyasi bilan uning digenit (Cu_9S_5) ekanligi aniqlangan. Akril tolaga 75 °C da 60 min ishlov berilganda mis sulfidi miqdori 14,2 %, solishtirma qarshilik $3{,}6\cdot10^{-2}$ Om·sm ni tashkil etgan va 10 marta yuvishdan keyin $4{,}3\cdot10^{-2}$ Om·sm gacha deyarli o‘zgarmagan [17]. Digenit mis vakansiyalari hisobiga yuqori konsentratsiyali kovaklarga ega p-turdagi yarimo‘tkazgich bo‘lib, bu uning yuqori o‘tkazuvchanligini tushuntiradi. P.M. Liang usulida esa tayyor mis sulfidi qizdirilgan xlorid kislota eritmasidan tolaga adsorbsiyalanadi: akril tolada 12,1 % mis sulfidi bilan 26–80 Om qarshilik olingan (namuna uzunligi manbada ko‘rsatilmagan) [18]. Nihon Sanmo usulida olingan tolalar zaytun-yashil rangga ega bo‘lib, kation bo‘yovchilar bilan bo‘yalishi mumkin [17]; ularni shtapel ko‘rinishida aralashmaga kiritish mumkinligi muhim texnologik afzallikdir.

4. Metaloorganik prekursorlardan olinadigan metall qoplamalar. Bu yo‘nalishda tola yoki mato sirtiga metall komplekslari yoki metall karboksilatlari surtilib, past haroratda parchalanadi. S.B. Walker va J.A. Lewis tomonidan taklif etilgan zarrachasiz «reaktiv» kumush siyohi kumush asetatni ammiakli eritmada eritib, chumoli kislota qo‘shish orqali tayyorlanadi; natijada diamminkumush(I) kompleksi va joyida ammoniy formiat hosil bo‘ladi [19]. Qizdirishda formiat kumushni qaytaradi, ammiak esa bug‘lanib chiqadi:

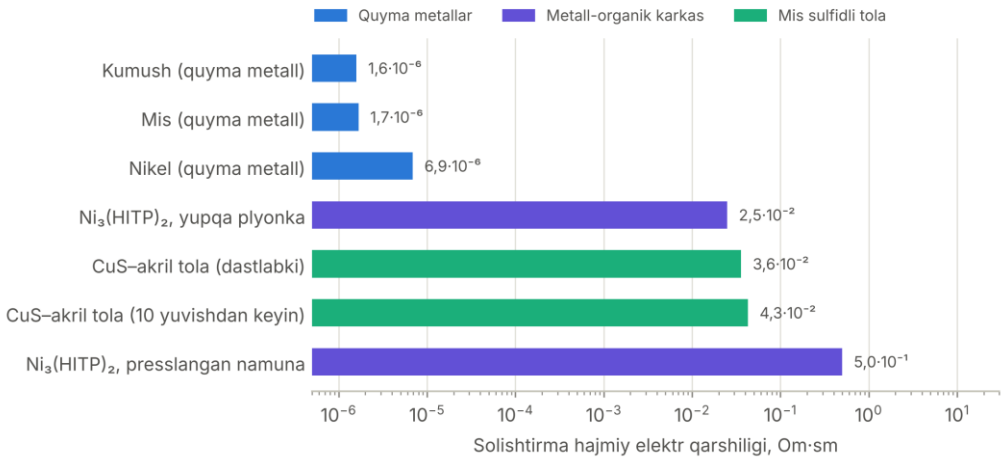
$$2[Ag(NH_3)_2]^+ + HCOO^- \rightarrow 2Ag^0 + CO_2\uparrow + 3NH_3\uparrow + NH_4^+ \quad (4)$$

Bosilgan qatlamlar xona haroratida 10^4 S/sm dan yuqori, 90 °C da 15 min qizdirilgandan keyin esa quyma kumushnikiga teng ($6{,}25\cdot10^5$ S/sm) o‘tkazuvchanlikka

erishadi [19]. Ishlov berish haroratining 100 °C dan pastligi poliamid, poliefir va paxtani termik destruksiyaga uchratmasdan metallash imkonini beradi.

5. Metall-organik karkas birikmalari. Metall ionlari va ko‘p dentatli organik ligandlardan tashkil topgan g‘ovak kristall birikmalar (MOF) an’anaviy ravishda dielektrik hisoblanadi, biroq π–d konyugatsiyali ikki o‘lchamli karkaslar yuqori o‘tkazuvchanlikka ega [20]. Ni^{2+} ionlari va 2,3,6,7,10,11-geksaaminotrifenilenning (HATP) ammiakli suvli eritmada havo kislorodi ishtirokidagi reaksiyasidan olinadigan $Ni_3(HITP)_2$ (HITP – oksidlangan geksaiminotrifenilen ligandi) grafensimon qatlamli tuzilishga ega bo‘lib, uning o‘tkazuvchanligi presslangan namunada 2 S/sm, yupqa plyonkada esa 40 S/sm ni tashkil etadi [21]. M.K. Smith va K.A. Mirica elektr o‘tkazuvchan MOF kristallarini eritmadan bevosita paxta va poliefir mato tolalari sirtida o‘z-o‘zidan yig‘ilish usulida o‘stirib, gazlarni sezuvchi va filtrlovchi elektr o‘tkazuvchan to‘qimachilik materiallarini olgan [22].

6. Elektrofizik ko‘rsatkichlar va barqarorlikni taqqoslash. Ko‘rib chiqilgan materiallarning solishtirma hajmiy qarshiligi 1-rasmda solishtirilgan; metall qatlam qarshiligi uchun ma’lumotnoma qiymatlari [23] olindi.



1-rasm. Metaloorganik materiallar o‘tkazuvchi fazasining solishtirma hajmiy qarshiligi (log shkala) [17, 21, 23]

Metallangan iplar uchun asosiy cheklov – metall qatlamning kimyoviy va mexanik barqarorligi. Kumush atmosferadagi vodorod sulfid va karbonil sulfid ta’sirida kumush sulfidi (Ag_2S) hosil qilib xiralashadi [24]:

$$4Ag + 2H_2S + O_2 \rightarrow 2Ag_2S + 2H_2O \qquad (5)$$

Ag_2S yarimo‘tkazgich bo‘lib, elementar iplar orasidagi kontakt qarshiligini oshiradi. Yuvishda esa kimyoviy (yuvish vositalarining oksidlovchi komponentlari) va mexanik (ishqalanish, egilish) ta’sirlar qo‘shiladi. Kumush qoplangan poliamid iplar bo‘yicha tadqiqotlarda yuvish o‘tkazuvchanlikni yomonlashtirsa-da, uni to‘liq yo‘qotmasligi [27], 30 yuvish siklidan keyin esa kumush qoplangan poliamid tikuv iplari mikrosimli gibrid iplarga nisbatan yaxshiroq natija ko‘rsatgani qayd etilgan [28]. Mis sulfidli tolalarda o‘tkazuvchi faza tola ichida dispers joylashgani uchun 10 yuvishda qarshilik atigi 19 % ga ortgan [17]. Materiallar sinflarining umumlashgan tavsifi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval. Metaloorganik o‘tkazuvchi materiallar sinflarining kimyoviy va texnologik tavsifi

Sinf	**Olish kimyosi**	**O‘tkazuvchi faza va mexanizm**	**Afzalliklari**	**Cheklovlari**
Elektrsiz metallangan iplar	SnCl2 sensibilizatsiyasi, [Ag(NH3)2]+ ni HCHO bilan qaytarish	Uzluksiz Ag qatlam, metall o‘tkazuvchanlik	Eng past qarshilik, sanoatda 22–235 dtex	Ag2S hosil bo‘lishi, ishqalanishda yeyilish, narx
Metall sulfidli tolalar	Cu2+ → Cu+, nitril guruhiga koordinatsiya, tiosulfat bilan sulfidlash	Dispers Cu9S5, p-turdagi yarimo‘tkazgich	Yuvishga chidamli, shtapel shakli	Kislotali/qaytaruvchi muhit, rang cheklovi
Prekursorli qoplamalar	Diamminkumush(I) formiatini ≤ 90 °C da parchalash	Quyma kumushga teng qatlam	Past harorat, bosma usuli	Asosan bosma va qoplash, tolaga adgeziya
Metall-organik karkaslar	Ni2+ + HATP, havoda oksidlanish va eritmadan o‘z-o‘zidan yig‘ilish	π–d konyugatsiya, qatlamli 2D karkas	Funksionallik (sensor, sorbsiya)	Laboratoriya bosqichi, chidamlilik o‘rganilmagan

7. Kombinatsiyalangan antistatik ip uchun komponentni tanlash mezonlari. Paxta tolasi bilan halqali yigirish mashinasida birlashtiriladigan kombinatsiyalangan ipda elektr o‘tkazuvchan kompleks ip cho‘zish asbobining chiqaruvchi juftligiga beriladi va tolali mychka bilan birga buraladi [5, 25]. Adabiyot ma’lumotlari va kombinatsiyalangan ip mexanikasi asosida komponentga qo‘yiladigan mezonlar 2-jadvalda shakllantirildi.

2-jadval. Paxtali kombinatsiyalangan antistatik ip uchun elektr o‘tkazuvchan komponentni tanlash mezonlari

Mezon	**Miqdoriy shart**	**Asos**
Ko‘rinishi	Kompleks ip (uzluksiz), shtapel emas	Halqali yigirishda chiqaruvchi juftlikka berish [5, 25]
Massa ulushi	Xk ≤ 30 % (24 teks ip uchun Tk ≈ 4–7 teks)	Tolali qoplamaning kompleks ipni to‘liq o‘rash sharti [25]
Uzilishdagi cho‘zilish	εk > εpaxta (≈ 7 %)	Kompleks ip paxta komponentidan oldin uzilmasligi [26]
Chiziqli qarshilik	Mato sirt qarshiligini ≤ 2,5·109 Om ga keltirishga yetarli	EN 1149-5 [4]
Barqarorlik	Yuvish va ishqalanishda o‘tkazuvchanlikni saqlash	[17, 27, 28]
Mavjudlik	Sanoat miqyosida kerakli chiziqli zichlikda yetkazib	[13]

Mezon	Miqdoriy shart	Asos
	berilishi	

Ushbu mezonlar bo‘yicha kumush qoplangan poliamid kompleks iplari kombinatsiyalangan antistatik ip uchun eng mos komponent hisoblanadi: ular kompleks ko‘rinishda 22 dtex dan boshlab ishlab chiqariladi, uzilishdagi cho‘zilishi paxtanikidan katta (taxminan 21 %), qarshiligi esa barcha ko‘rib chiqilgan sinflar ichida eng past. Mis sulfidli shtapel tolalar aralash yigirilgan antistatik ip uchun muqobil yo‘nalish bo‘lishi mumkin.

Muhokama

Tahlil metaloorganik materiallarning asosiy afzalligi – polimer tolaning to‘qimachilik xossalarini metall yoki metall birikmasining o‘tkazuvchanligi bilan uyg‘unlashtirish – o‘tkazuvchi fazaning kimyoviy tabiati va joylashuvi bilan belgilanishini ko‘rsatdi. Sirtdagi uzluksiz kumush qatlam metall o‘tkazuvchanlikni beradi va zaryadni samarali olib ketadi, lekin aynan sirtda joylashgani uchun kimyoviy (sulfidlanish) va mexanik (ishqalanish) ta’sirlarga eng zaif. Tola ichida dispers joylashgan digenit esa o‘tkazuvchanligi bo‘yicha metalldan to‘rt tartib past, biroq yuvishga barqarorroq [17]. Bu qarama-qarshilik antistatik maxsus kiyim uchun komponent tanlashda hal qiluvchi omil hisoblanadi.

Kimyoviy metallashda sirtni tayyorlash bosqichi metall qatlam adgeziyasini belgilaydi. Kislotali sensibilizatsiyada poliamidning qisman gidrolizi hosil qiladigan amin va karboksil guruhlari Sn^{2+} va keyinchalik kumush kurtaklari uchun «langar» vazifasini bajaradi [15]; polidofamin qatlam esa bu vazifani substrat tabiatidan qat’i nazar bajaradi [16]. Shu sababli metallangan komponentning yigirish jarayonida yeyilishga chidamliligi nafaqat qatlam qalinligiga, balki tola sirtini kimyoviy modifikatsiyalash usuliga ham bog‘liq; bu ip tanlashda ishlab chiqaruvchidan metallash texnologiyasi to‘g‘risidagi ma’lumotni talab qilishni asoslaydi.

Kumushning sulfidlanishi (5) ko‘p hollarda xiralashish bilan namoyon bo‘ladi va qarshilikni elementar iplar orasidagi kontaktlar hisobiga oshiradi. Amaliy jihatdan bu kirish o‘ramlarini oltingugurt birikmalaridan himoyalangan qadoqda saqlash va metallangan komponentli iplar uchun nazorat sinovlarini tabiiy eskirishdan keyin ham o‘tkazishni talab qiladi.

Kombinatsiyalangan ip texnologiyasi nuqtai nazaridan antistatik samaradorlik uchun elektr o‘tkazuvchan komponentni ip sirtiga chiqarish talab etiladi, ammo sirtga chiqqan metallangan komponent keyingi qayta ishlash va foydalanishda ko‘proq ishqalanadi. Shu sababli metaloorganik komponent uchun yigirish rejimlari komponentning sirtga chiqish darajasi va uning tolali qoplama bilan mahkamlanishi o‘rtasidagi muvozanatni ta’minlashi kerak. Bunday rejimlarni uglerod o‘zakli bazaviy komponent bilan aniqlab, so‘ngra metallangan iplarga o‘tkazish o‘tkazuvchanlik va ishqalanishga sezgirlikdagi farqlarni alohida tekshirishni talab etadi.

Metall-organik karkas birikmalari va metaloorganik siyohlar hozircha asosan funksional qoplamalar va bosma elektronika uchun o‘rganilmoqda [19, 22]. Ularni antistatik paxta ipliariga to‘g‘ridan-to‘g‘ri qoplash – kombinatsiyalangan ipga muqobil istiqbolli yo‘nalish, biroq bu yuvish va ishqalanishga chidamlilik bo‘yicha tizimli tadqiqotlarni talab qiladi.

Tadqiqot cheklovlari: tahlil adabiyot va ishlab chiqaruvchi ma’lumotlariga asoslangan; turli manbalardagi ko‘rsatkichlar turli sinov sharoitlarida olingani sababli 1-rasmdagi qiymatlar tartib darajasidagi taqqoslash uchun mo‘ljallangan.

Xulosa

1. Metaloorganik o‘tkazuvchi materiallar kimyoviy olinish usuli va o‘tkazuvchanlik mexanizmi bo‘yicha to‘rt sinfga ajratildi: elektrsiz metallangan iplar (metall o‘tkazuvchanlik), metall sulfidli tolalar (p-turdagi yarimo‘tkazgich Cu_9S_5), metaloorganik prekursorli qoplamalar va π–d konyugatsiyali metall-organik karkaslar.

2. Har bir sinf uchun olish kimyosi kimyoviy tenglamalar bilan tavsiflandi: Sn^{2+} sensibilizatsiyasi va diamminkumush(I) kompleksining formaldegid bilan qaytarilishi, Cu^{+} ning nitril guruhlariga koordinatsiyasi va sulfidlanishi, diamminkumush(I) formiatining ≤ 90 °C da parchalanishi.

3. O‘tkazuvchi fazaning solishtirma qarshiligi $1{,}6\cdot10^{-6}$ Om·sm (kumush) dan 0,5 Om·sm gacha ($Ni_3(HITP)_2$, presslangan namuna) oraliqda o‘zgaradi; digenitli tolalar 10 yuvishdan keyin qarshiligini $3{,}6\cdot10^{-2}$ dan $4{,}3\cdot10^{-2}$ Om·sm gacha saqlaydi.

4. Kumush qatlamning asosiy degradatsiya mexanizmlari – Ag_2S hosil bo‘lishi va yuvishdagi mexanik yeyilish – metallangan komponentli iplarni saqlash va nazorat qilish shartlarini belgilaydi.

5. Paxtali kombinatsiyalangan antistatik ip uchun komponentni tanlashning oltita mezoni (shundan uchtasi miqdoriy) taklif etildi; ular bo‘yicha kumush qoplangan poliamid kompleks iplari eng istiqbolli komponent sifatida asoslandi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. IEC TS 60079-32-1:2013. Explosive atmospheres – Part 32-1: Electrostatic hazards, guidance. – Geneva: IEC, 2013.

2. Hearn G.L. Electrostatic ignition hazards from flexible intermediate bulk containers (FIBCs) with materials of minimum ignition energies down to 0.12 mJ // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2001. – Vol. 37, № 3. – P. 730–734.

3. Lüttgens G., Wilson N. Electrostatic Hazards. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997.

4. EN 1149-5:2018. Protective clothing – Electrostatic properties – Part 5: Material performance and design requirements. – Brussels: CEN, 2018.

5. Замостоцкий Е.Г., Коган А.Г. Комбинированные электропроводящие нити. – Витебск: УО «ВГТУ», 2012. – 169 с.

6. NEGA-STAT® – a new standard in static dissipative yarns [Электронный ресурс]. – URL: https://nega-stat.com (дата обращения: 29.12.2020).

7. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 14-dekabrdagi «To‘qimachilik va tikuv-trikotaj sanoatini jadal rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida»gi PF-5285-son Farmoni. – https://lex.uz.

8. Morton W.E., Hearle J.W.S. Physical Properties of Textile Fibres. – 4th ed. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2008.

9. Stauffer D., Aharony A. Introduction to Percolation Theory. – 2nd ed. – London: Taylor & Francis, 1994.

10. Stoppa M., Chiolerio A. Wearable electronics and smart textiles: a critical review // Sensors. – 2014. – Vol. 14, № 7. – P. 11957–11992.

11. Castano L.M., Flatau A.B. Smart fabric sensors and e-textile technologies: a review // Smart Materials and Structures. – 2014. – Vol. 23, № 5. – Art. 053001.

12. Hu L., Pasta M., La Mantia F., Cui L., Jeong S., Deshazer H.D., Choi J.W., Han S.M., Cui Y. Stretchable, porous, and conductive energy textiles // Nano Letters. – 2010. – Vol. 10, № 2. – P. 708–714.

13. Shieldex® filament yarn [Электронный ресурс] / Swicofil AG. – URL: https://www.swicofil.com/commerce/products/shieldex/482/shieldexfilament (дата обращения: 12.10.2026).

14. Data Sheet HC 40 [Электронный ресурс] / Madeira Garnfabrik. – URL: https://www.madeira.com/fileadmin/user_upload/Downloads/Data_Sheets/Data_Sheet_HC_40__EN.pdf (дата обращения: 12.10.2026).

15. Weerasinghe P.V.T., Wijesena R.N., Tissera N.D., Priyadarshana G., Wanasekara N.D., Dissanayake D.G.K., de Silva K.M.N. Electroless plating of premetalized polyamide fibers for stretchable conductive devices // RSC Advances. – 2023. – Vol. 13. – DOI: 10.1039/d3ra01566a.

16. Lee H., Dellatore S.M., Miller W.M., Messersmith P.B. Mussel-inspired surface chemistry for multifunctional coatings // Science. – 2007. – Vol. 318, № 5849. – P. 426–430.

17. Tomibe S., Gomibuchi R., Takahashi K. Method of making electrically conducting fibers: пат. 4336028 США / Nihon Sanmo Dyeing Co., Ltd. – Опубл. 22.06.1982.

18. Liang P.M. Method of producing electrically conductive fibers: пат. 4661376 США. – Опубл. 28.04.1987.

19. Walker S.B., Lewis J.A. Reactive silver inks for patterning high-conductivity features at mild temperatures // Journal of the American Chemical Society. – 2012. – Vol. 134. – P. 1419–1421.

20. Sun L., Campbell M.G., Dincă M. Electrically conductive porous metal–organic frameworks // Angewandte Chemie International Edition. – 2016. – Vol. 55, № 11. – P. 3566–3579.

21. Sheberla D., Sun L., Blood-Forsythe M.A., Er S., Wade C.R., Brozek C.K., Aspuru-Guzik A., Dincă M. High electrical conductivity in Ni_3(2,3,6,7,10,11-hexaiminotriphenylene)$_2$, a semiconducting metal–organic graphene analogue // Journal of the American Chemical Society. – 2014. – Vol. 136, № 25. – P. 8859–8862.

22. Smith M.K., Mirica K.A. Self-organized frameworks on textiles (SOFT): conductive fabrics for simultaneous sensing, capture, and filtration of gases // Journal of the American Chemical Society. – 2017. – Vol. 139, № 46. – P. 16759–16767.

23. Haynes W.M. (ed.). CRC Handbook of Chemistry and Physics. – 97th ed. – Boca Raton: CRC Press, 2016.

24. Graedel T.E. Corrosion mechanisms for silver exposed to the atmosphere // Journal of the Electrochemical Society. – 1992. – Vol. 139, № 7. – P. 1963–1970.

25. Коган А.Г. Производство комбинированной пряжи и нити. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 143 с.

26. Hearle J.W.S., Grosberg P., Backer S. Structural Mechanics of Fibers, Yarns, and Fabrics. – New York: Wiley-Interscience, 1969.

27. Ismar E., Zaman S., Bahadir S.K., Kalaoglu F., Koncar V. Seam strength and washability of silver coated polyamide yarns // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 460. – Art. 012053.

28. Rostás K., Navrátil J., Soukup R., Moravcová D. The influence of washing cycles on the conductive threads used in e-textiles // 2022 45th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE). – IEEE, 2022. – P. 1–4.