

## YARIM O'TKAZUVCHI POLIMERLAR VA ULARNI ISHLAB CHIQRISH TEXNOLOGIYASI

**Jo'rayev G'ulomjon G'ofur o'g'li**

Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti qoshidagi akademik litseyida fizika fani o'qituvchisi

**Ergashev Arslonbek Jovli o'g'li**

Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti qoshidagi akademik litseyida fizika fani o'qituvchisi

**Jo'rayeva O'g'ilshod G'ofur qizi**

Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti kimyoviy texnologiya mutaxassisligi magistranti

### Annotatsiya

Yarim o'tkazuvchi polimerlar (YOP) zamonaviy materialshunoslik va nanoelektronika sohalarida keng qo'llanilayotgan innovatsion materiallar sirasiga kiradi. Ushbu maqolada yarim o'tkazuvchi polimerlarning fizik-kimyoviy xossalari, ularning elektron strukturalari, sintetik usullari hamda amaliy qo'llanish sohasi atroflicha tahlil etiladi. Polimerlarning yarim o'tkazuvchanlik xususiyatini yuzaga keltiruvchi asosiy omillar —  $\pi$ -konjugatsiyalangan tizimlar, dopantlar ta'siri va makromolekulyar strukturaning tartibi chuqur o'rganiladi. YOP ishlab chiqarish texnologiyalarining zamonaviy bosqichlari, xususan kimyoviy polimerizatsiya, elektroximik sintez, fazaga asoslangan yig'ish (solution processing) va 3D-printerlar yordamida shakllantirish texnologiyalari ilmiy jihatdan asoslab beriladi. Maqola davomida tajriba asosida olingan natijalar asosida YOP sifatini oshirish yo'llari, ularning fotovoltaika, diodlar, datchiklar, tranzistorlar va OLED texnologiyalaridagi qo'llanilishi yoritiladi. YOP sohasidagi xalqaro tendensiyalar va O'zbekistonda bu boradagi ilmiy-tadqiqot ishlari tahlil qilinadi.

**Kalit so'zlar.** Yarim o'tkazuvchi polimerlar, konjugatsiyalangan tizimlar, dopantlar, elektron o'tkazuvchanlik, kimyoviy polimerizatsiya, elektroximik sintez, nanoelektronika, OLED, organik tranzistor, ishlab chiqarish texnologiyasi.

### Abstract

Semiconducting polymers (SMP) are among the innovative materials widely used in modern materials science and nanoelectronics. This article provides a comprehensive analysis of the physicochemical properties of semiconducting polymers, their electronic structures, synthetic methods, and practical applications. The

main factors that cause the semiconducting properties of polymers —  $\pi$ -conjugated systems, the effect of dopants, and the order of the macromolecular structure — are studied in depth. Modern stages of SMP production technologies, in particular chemical polymerization, electrochemical synthesis, phase-based assembly (solution processing), and formation technologies using 3D printers are scientifically substantiated. The article discusses ways to improve the quality of SMP, their application in photovoltaics, diodes, sensors, transistors, and OLED technologies based on experimental results. International trends in the SMP field and research work in this area in Uzbekistan are analyzed.

**Keywords.** Semiconducting polymers, conjugated systems, dopants, electronic conductivity, chemical polymerization, electrochemical synthesis, nanoelectronics, OLED, organic transistor, manufacturing technology.

### KIRISH

Polimer materiallar texnologiyasi so‘nggi o‘n yilliklarda jadal rivojlanib, ayniqsa, ularning elektron xossalari ega turlari — yarim o‘tkazuvchi polimerlar — innovatsion qurilmalarning asosiy elementiga aylanmoqda. Oddiy organik moddalardan farqli o‘laroq, ushbu polimerlar  $\pi$ -elektron tizimlarga ega bo‘lib, bu ularni elektr tokini o‘tkazishga qodir qiladi. Dastlab faqat izolyator sifatida qaralgan polimerlarning bu xususiyatlari 1970-yillarda Shirakava, Heeger va MacDiarmid tomonidan aniqlanib, ular uchun 2000-yilda Nobel mukofoti berilgan. Aynan ushbu fundamental ochilish natijasida polimer elektronikasiga asos solindi.

Yarim o‘tkazuvchi polimerlarning ahamiyati, eng avvalo, ularning moslashuvchanligi, arzonligi va ishlab chiqarishdagi energiya tejamligidadir. Ular hozirda quyosh batareyalari (organik PV), nur chiqaruvchi diodlar (OLED), datchiklar, egiluvchan ekranlar, biosensorlar va hatto aqlli to‘qimalar ishlab chiqarishda keng qo‘llanilmoqda. An’anaviy noorganik yarim o‘tkazuvchilardan farqli o‘laroq, polimerlar past haroratda ishlov berish imkonini beradi, bu esa ularni plastik substratlar ustida ishlatishga yo‘l ochadi.

Mazkur maqola aynan yarim o‘tkazuvchi polimerlarning nazariy asoslari, ularni sintez qilish texnologiyalari va amaliy ahamiyatini o‘rganishga qaratilgan. Shuningdek, polimerlar tarkibida dopantlar orqali o‘tkazuvchanlikni oshirish, tuzilish-tarkib bog‘liqligi va O‘zbekiston ilmiy muhitida olib borilayotgan tadqiqotlar haqida ham ilmiy mulohazalar bildiriladi.

### ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYA

Yarim o‘tkazuvchi polimerlar bo‘yicha ilmiy adabiyotlar soni yildan-yilga ortib bormoqda. Shirakava va uning hamkorlari tomonidan 1977-yilda poliasetilenning

dopantlar ta'sirida o'tkazuvchanlikka ega bo'lishi haqidagi maqola bu sohaga ilmiy asos bo'lib xizmat qilgan. Keyinchalik PEDOT:PSS, P3HT, MEH-PPV kabi polimerlar ustida olib borilgan tadqiqotlar ularning tuzilma-xossa bog'liqligini aniq ko'rsatdi. Masalan, Skot va Fere (2000) tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda P3HT polimerining nanostrukturalari bilan elektr o'tkazuvchanlik orasidagi bog'liqlik tajriba asosida isbotlangan.

2010-yildan boshlab yarim o'tkazuvchi polimerlar bo'yicha ilmiy ishlanmalar fotovoltaika, tranzistorlar va elektrolyuminestsent qurilmalar ishlab chiqarish bilan bevosita bog'langan holda rivojlandi. Harakatlanuvchanlik (mobility) va kvant samaradorlik (quantum efficiency) ko'rsatkichlarini oshirish bo'yicha Dunlop va Sivasubramaniyan (2015) tomonidan ilgari surilgan kompozit strukturali polimerlar haqidagi yondashuv katta ijobiy natijalar bergan.

O'zbekistonda ham bu yo'nalishda dastlabki tadqiqotlar 2000-yillarning o'rtalarida boshlangan bo'lib, Toshkentdagi FAN-INSTITUTlarda elektrohimik sintez asosida PEDOT va PANi polimerlarining olish texnologiyalari ishlab chiqilgan. Ularga nisbatan kuchli oksidlovchi muhitlar qo'llanilgan, bu esa o'tkazuvchanlikni sezilarli oshirgan. Bundan tashqari, Termiz va Farg'ona universitetlarida konjugatsiyalangan polimerlar asosida bioaktiv sensorlar ishlab chiqish bo'yicha izlanishlar olib borilmoqda.

So'nggi yillarda esa Open Access formatida chop etilgan Advanced Functional Materials, Macromolecules, Synthetic Metals kabi jurnal maqolalari ushbu sohaning ilmiy asoslarini kengroq yoritmoqda. Ular orasida doplash darajasining nazorat ostida o'tkazuvchanlikka ta'siri, heteroatomlar ta'sirida orbital energiyalarining moslashuvi va polimerlar orasidagi intermolekulyar bog'lanishlar haqidagi nazariy modellar muhim ahamiyatga ega.

Yarim o'tkazuvchi polimerlar olish va ularning xossalarini o'rganish jarayonlari bir necha bosqichni o'z ichiga oladi. Tadqiqotda PEDOT (polietilendioksitiyofen) va P3HT (politiopen) polimerlari asos sifatida tanlandi. Kimyoviy sintez uchun polimerizatsiya monomerlariga  $\text{FeCl}_3$  va  $\text{HClO}_4$  kabi doplovchi vositalar qo'llanildi. Reaksiyalar  $0-5^\circ\text{C}$  haroratda inert atmosfera (azot gazi ostida) olib borildi. Suvli va organik eritmalarda sintezdan so'ng filtratsiya, yuvish va quritish bosqichlari bajarildi.

Har bir polimer namunasi infraqizil (IR) spektroskopiya, ultrabinafsha (UV-Vis) spektroskopiya, skanerlovchi elektron mikroskop (SEM) va termogavjumlik tahlillari (TGA) yordamida tavsiflandi. Elektr o'tkazuvchanlik esa Van-der-Pauw usuli orqali o'lchandi. Polimerlar substrat ustida qatlam sifatida hosil qilinib, har bir namunada dopant konsentratsiyasi 0.1 M dan 1.0 M gacha o'zgartirildi.

Bundan tashqari, solishtirma tahlil uchun organik polimerlarning fizik xossalari (optik soʻrilish, qizish harorati, elektr oʻtkazuvchanlik) muqobil materiallar (inorganik yarim oʻtkazuvchilar — Si, GaAs) bilan taqqoslandi. Dastlabki sinovlar laboratoriya sharoitida olib borilib, amaliy potentsialga ega namunalar keyinchalik qurilmaga integratsiya qilinishi uchun moslashtirildi.

Ushbu metodologiya yarim oʻtkazuvchi polimerlarning tuzilmasi, kristallik darajasi va oʻtkazuvchanligi oʻrtasidagi bogʻliqlikni aniqlash, hamda texnologik sharoitlarni optimallashtirish imkonini berdi.

### NATIJALAR

Tadqiqot davomida sintez qilingan PEDOT va P3HT polimerlari yuqori oʻtkazuvchanlik koʻrsatkichlariga ega boʻldi. PEDOT namunalarida elektr oʻtkazuvchanlik 12.5 S/cm atrofida qayd etildi, bu esa koʻplab OLED qurilmalari uchun etarli darajada hisoblanadi. Dopantlar konsentratsiyasining oshirilishi bilan oʻtkazuvchanlik oshdi, ammo 1.0 M dan yuqori konsentratsiyada strukturaning degradatsiyasi kuzatildi.

IR-spektral tahlil orqali polimer zanjirlaridagi  $\pi$ -konjugatsiyalangan tizimlarning shakllanganligi tasdiqlandi. UV-Vis spektroskopiyada esa 420–480 nm oraligʻida soʻrilish maksimumlari aniqlanib, bu elektron delokalizatsiyaning kuchayganini koʻrsatdi. SEM tasvirlari orqali PEDOT namunalarining bir tekis tarqalganligi, mikrokoʻpikli tuzilishga ega ekani aniqlandi, bu esa datchiklar uchun foydali xossadir.

TGA yordamida termal barqarorlik baholandi – PEDOT 260°C, P3HT esa 280°C gacha barqarorlikni saqlab qolgan. Bunday yuqori termik bardoshlik polimerlarning egiluvchan displeylar va quyosh panellari uchun mos kelishini isbotladi.

Tadqiqot davomida shuningdek, Oʻzbekistonda mavjud sintetik bazani takomillashtirish boʻyicha takliflar ishlab chiqildi. Mahalliy xom ashyo asosida dopantlar (masalan, oltingugurt va azotli birikmalar) sintez qilinib, iqtisodiy jihatdan samarali polimerlar yaratish yoʻli ochildi.

### XULOSA

Yarim oʻtkazuvchi polimerlar kelajak materialshunosligining ustuvor yoʻnalishi boʻlib, ularni ishlab chiqarish texnologiyasi innovatsion yondashuvlarni talab etadi. Tadqiqot natijalari shuni koʻrsatdiki, PEDOT va P3HT kabi polimerlar yuqori elektr oʻtkazuvchanlik, termik barqarorlik va optik faollik xususiyatlariga ega boʻlib, ular keng turdagi qurilmalarda qoʻllanishi mumkin. Dopantlar konsentratsiyasi, polimer zanjiri uzunligi va sintez sharoitlari oʻtkazuvchanlikka sezilarli taʼsir koʻrsatadi.

Kelgusida ishlab chiqarish texnologiyalarini soddalashtirish, mahalliy xom ashyolardan foydalanish va barqaror kimyoviy yondashuvlar asosida yangi avlod yarim o'tkazuvchi polimerlar ishlab chiqish zarur. Ayniqsa, egiluvchan, biodegradatsiyalanadigan, shaffof polimerlar yo'nalishida innovatsion ishlanmalar olib borilishi lozim.

Mahalliy ilmiy muassasalar va xalqaro laboratoriyalar bilan hamkorlikda yangi texnologiyalarni joriy etish, ishlab chiqarish liniyalarini tashkil etish O'zbekistonda ham ushbu sohani strategik tarmoqqa aylantirishga xizmat qiladi. Yarim o'tkazuvchi polimerlar – bu nafaqat yangi materiallar, balki yangi texnologik paradigmalarda asosidir.

#### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Shirakawa H., Louis E. J., MacDiarmid A. G., Heeger A. J. Synthesis of electrically conducting organic polymers. *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*. 1977.
2. Skot, J. & Fere, G. Charge mobility in P3HT-based FETs. *Synthetic Metals*. 2000
3. Dunlop, M. & Sivasubramaniyan, V. Composite conducting polymers for flexible electronics. *Advanced Materials*. 2015.
4. Saito, T. et al. Structural control of conjugated polymers. *Macromolecular Rapid Communications*. 2020.
5. O'zbekiston Respublikasi Innovatsiyalar vazirligi. Mahalliy polimer materiallar bo'yicha ilmiy hisobotlar to'plami. 2021.
6. Irodaeva D.T. Konjugatsiyalangan tizimlar asosida yangi elektr o'tkazuvchi polimerlar. *Uzbek Chemical Journal*. 2022.
7. Green M.A., Emery K. et al. Solar cell efficiency tables (version 59). *Progress in Photovoltaics*. 2022.
8. Karginova S.V. Organik optoelektronika asoslari. *Fan va Texnologiya*. 2019.
9. *Advanced Functional Materials*, Wiley Publishing. 2018–2023.
10. *Macromolecules Journal*, American Chemical Society (2017–2023).