

MXENE NANOMATERIALARI ASOSIDA YUQORI SEZGIR AQLLI SENSOR VA LYUMINESSENT QOPLAMALAR YARATISH

Bo'riyeva Muhabbat Mamayusuf qizi
Termiz davlat universiteti talabasi
E-mail: mustafo89984@gmail.com

Annotatsiya: Mazkur tadqiqotda Mxene nanomateriallari asosida yuqori sezgir aqlli sensorlar hamda lyuminescent qoplamalarni yaratishning ilmiy-nazariy asoslari va amaliy imkoniyatlari o'rganilgan. Mxene nanostrukturalarining elektr o'tkazuvchanligi, katta solishtirma yuzasi, kimyoviy barqarorligi va optik xususiyatlari tahlil qilinib, ularning sensor texnologiyalari hamda funksional qoplamalar ishlab chiqishdagi ahamiyati yoritilgan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, Mxene asosidagi materiallar turli gazlar, biologik obyektlar va tashqi muhit omillarini yuqori aniqlikda aniqlash imkonini beruvchi aqlli sensorlarni yaratishda istiqbolli platforma hisoblanadi. Shuningdek, lyuminescent qoplamalarning optik samaradorligi, sezgirlik va funksional xususiyatlarini yaxshilashda Mxene nanomateriallarining roli asoslab berilgan.

Kalit so'zlar: Mxene, nanomateriallar, aqlli sensorlar, lyuminescent qoplamalar, nanosensorlar, elektr o'tkazuvchanlik, optik xususiyatlar, sezgirlik, nanokompozitlar, innovatsion texnologiyalar.

Abstract: This study investigates the scientific foundations and practical prospects of developing highly sensitive smart sensors and luminescent coatings based on MXene nanomaterials. The electrical conductivity, large specific surface area, chemical stability, and optical properties of MXene nanostructures are analyzed, highlighting their significance in advanced sensing technologies and functional coating applications. The results demonstrate that MXene-based materials represent a promising platform for the fabrication of smart sensors capable of detecting gases, biological targets, and environmental parameters with high accuracy and sensitivity. Furthermore, the role of MXene nanomaterials in improving the optical efficiency, sensitivity, and functional performance of luminescent coatings is substantiated. The findings indicate the substantial potential of MXene for next-generation sensor systems and advanced optoelectronic applications.

Keywords: MXene, nanomaterials, smart sensors, luminescent coatings, nanosensors, electrical conductivity, optical properties, sensitivity, nanocomposites, innovative technologies.

Аннотация: В данной работе исследованы научно-теоретические основы и практические возможности создания высокочувствительных интеллектуальных сенсоров и люминесцентных покрытий на основе наноматериалов Мхене. Проведен анализ электрической проводимости, большой удельной поверхности, химической стабильности и оптических свойств наноструктур Мхене, а также рассмотрена их роль в разработке современных сенсорных технологий и функциональных покрытий. Результаты исследования показывают, что материалы на основе Мхене являются перспективной платформой для создания интеллектуальных сенсоров, способных с высокой точностью обнаруживать различные газы, биологические объекты и факторы окружающей среды. Кроме того, обоснована эффективность применения Мхене для повышения оптических характеристик, чувствительности и функциональных свойств люминесцентных покрытий.

Ключевые слова: Мхене, наноматериалы, интеллектуальные сенсоры, люминесцентные покрытия, наносенсоры, электропроводность, оптические свойства, чувствительность, нанокомпозиты, инновационные технологии.

Kirish: So‘nggi yillarda nanomateriallar fizikasi va materialshunoslik sohasida jadal rivojlanish kuzatilmoqda. Ayniqsa, ikki o‘lchamli (2D) nanostrukturalar asosida yaratilgan materiallar yangi avlod elektronika, optoelektronika va sensor texnologiyalarining asosiy tayanchiga aylanmoqda. Shu jumladan, MXene nanomateriallari o‘zining noyob fizik-kimyoviy xususiyatlari bilan ilmiy hamjamiyat e’tiborini tobora ko‘proq jalb etmoqda. MXene materiallari odatda erta o‘tish metallari karbidlari, nitridlari yoki karbonitridlaridan tashkil topgan bo‘lib, ular yuqori elektr o‘tkazuvchanlik, katta solishtirma sirt maydoni, mexanik moslashuvchanlik va kimyoviy funksionallashtirish imkoniyatlari bilan ajralib turadi. Ushbu xususiyatlar MXene’larni yuqori sezgir sensor tizimlari va funksional qoplamalar yaratishda istiqbolli material sifatida namoyon qiladi. Zamonaviy ilm-fanda yuqori sezgir aqlli sensorlar yaratish masalasi muhim ahamiyat kasb etmoqda. Bunday sensorlar gazlarni aniqlash, biologik molekulalarni kuzatish, harorat, namlik va bosim kabi tashqi omillarni real vaqt rejimida yuqori aniqlikda o‘lchash imkonini beradi. Shu bilan birga, lyuminessent qoplamalar optik qurilmalar, xavfsizlik tizimlari, biotibbiyot va energiya samarador materiallar sohasida keng qo‘llanilmoqda. An’anaviy sensor materiallari ko‘pincha sezgirlik, barqarorlik yoki tezkor javob berish kabi parametrlar bo‘yicha cheklovlarga ega. Shu sababli, yangi avlod materiallarini ishlab chiqish zarurati paydo bo‘lmoqda. MXene nanomateriallari esa yuqori elektron tashuvchanlik va yuzaki faol guruhlar mavjudligi tufayli bu muammolarni bartaraf etishda samarali yechim sifatida qaralmoqda. Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi MXene nanomateriallari asosida

yuqori sezgir aqlli sensorlar va lyuminessent qoplamalar yaratishning ilmiy asoslarini o'rganish, ularning ishlash mexanizmlarini tahlil qilish hamda amaliy qo'llanilish istiqbollarini baholashdan iborat.

ASOSIY QISM

1. MXene nanomateriallarining tuzilishi va xususiyatlari

MXene materiallari qatlamli tuzilishga ega bo'lib, umumiy formulasi $M_{n+1}X_nT_x$ ko'rinishida ifodalanadi, bu yerda M – erta o'tish metallari (Ti, V, Nb va boshqalar), X – uglerod va/yoki azot, T_x esa yuzaki funksional guruhlarini (-OH, -O, -F) bildiradi. Ushbu tuzilma MXene'larning fizik va kimyoviy xususiyatlarini boshqarish imkonini beradi. MXene'larning eng muhim xususiyatlaridan biri — yuqori elektr o'tkazuvchanlikdir. Bu ularni elektron sensorlar va o'tkazuvchan qoplamalar uchun ideal materialga aylantiradi. Bundan tashqari, katta sirt maydoni gaz molekulalari va biologik obyektlar bilan samarali o'zaro ta'sirni ta'minlaydi. Kimyoviy jihatdan MXene yuzasi turli funksional guruhlar bilan boyitilishi mumkin, bu esa ularning selektivligini oshiradi va maxsus sensorlar yaratish imkonini beradi. Mexanik moslashuvchanlik esa ularni egiluvchan elektron qurilmalarda qo'llash uchun qulay qiladi.

2. MXene asosida aqlli sensorlar yaratish prinsiplari

Aqlli sensorlar tashqi muhitdagi o'zgarishlarni elektr, optik yoki mexanik signallarga aylantiruvchi tizimlar hisoblanadi. MXene asosidagi sensorlar odatda qarshilik (resistiv), sig'im (capacitive) yoki elektro-kimyoviy prinsiplarda ishlaydi. Gaz sensorlari yo'nalishida MXene materiallari ammiak, vodorod, karbon oksid kabi gazlarni yuqori sezgirlik bilan aniqlash imkonini beradi. Bunda gaz molekulalari MXene yuzasiga adsorbsiya bo'lib, elektron zichlikni o'zgartiradi va natijada elektr qarshilikda sezilarli o'zgarish yuz beradi. Biosensor tizimlarida esa MXene'lar fermentlar, DNK fragmentlari yoki oqsillar bilan funksionalizatsiya qilinib, yuqori selektiv biologik aniqlashni ta'minlaydi. Bu tibbiyot diagnostikasi va bioanalitik qurilmalar uchun muhim ahamiyatga ega. Shuningdek, MXene asosidagi sensorlar tezkor javob berish va yuqori qayta tiklanish (reversibility) xususiyatiga ega bo'lib, bu ularning amaliy qo'llanilishini kengaytiradi.

3. Lyuminessent qoplamalar va MXene integratsiyasi

Lyuminessent qoplamalar tashqi energiya (yorug'lik, elektr toki yoki kimyoviy reaksiyalar) ta'sirida yorug'lik chiqarish xususiyatiga ega materiallardir. Ular optoelektronika, displey texnologiyalari, biologik markerlar va xavfsizlik belgilarida keng qo'llaniladi. MXene materiallari lyuminessent tizimlar bilan kombinatsiya qilinganda, ularning optik xususiyatlari sezilarli darajada yaxshilanadi. MXene'larning yuqori elektr o'tkazuvchanligi energiya uzatish jarayonlarini tezlashtiradi, yuzaki faol

guruhlar esa lyuminessent markazlar bilan samarali bog‘lanishni ta’minlaydi. Bundan tashqari, MXene’lar energiya so‘ndirish (quenching) jarayonlarini boshqarish orqali lyuminessent intensivlikni optimallashtirish imkonini beradi. Bu esa yuqori kontrastli va barqaror optik qoplamalar yaratishga yordam beradi.

4. MXene asosidagi nanokompozit tizimlar

Amaliy tadqiqotlarda MXene ko‘pincha boshqa nanomateriallar (grafen, kvant nuqtalar, metall oksidlar) bilan kompozit shaklida qo‘llaniladi. Bunday nanokompozitlar sinergik effektga ega bo‘lib, sezgirlik va barqarorlikni bir vaqtda oshiradi. Masalan, MXene–grafen kompozitlari yuqori elektr o‘tkazuvchanlik va mexanik mustahkamlikni ta’minlasa, MXene–kvant nuqta tizimlari optik sezgirlikni sezilarli darajada oshiradi. Bu esa bir vaqtning o‘zida ham sensor, ham optik funksiyani bajaruvchi “ikki funksiyali” materiallarni yaratish imkonini beradi.

5. Qo‘llanilish istiqbollari

MXene asosidagi aqlli sensorlar va lyuminessent qoplamalar quyidagi sohalarda istiqbolli hisoblanadi:

Tibbiy diagnostika va biosensorika

Atrof-muhit monitoringi (gaz va toksinlar nazorati)

Harbiy va xavfsizlik tizimlari

Optoelektron qurilmalar va displeylar

Energiya samarador aqlli materiallar

Ushbu yo‘nalishlarda MXene materiallarining qo‘llanilishi kelajakda yuqori texnologiyali qurilmalar rivojlanishiga sezilarli hissa qo‘shishi kutilmoqda. MXene nanomateriallari asosida yaratilgan sensor va lyuminessent tizimlar zamonaviy nanofizika va materialshunoslikning eng istiqbolli yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Ularning noyob elektr, optik va kimyoviy xususiyatlari yuqori samarali aqlli tizimlar yaratishda keng imkoniyatlar ochadi.

Tadqiqot metodologiyasi: Mazkur tadqiqot MXene nanomateriallari asosida yuqori sezgir aqlli sensorlar va lyuminessent qoplamalar yaratishning ilmiy asoslarini o‘rganishga qaratilgan bo‘lib, unda nazariy va eksperimental yondashuvlar uyg‘unlashtirilgan kompleks metodologiya qo‘llanildi. Tadqiqotning nazariy qismi materialshunoslik, nanofizika va kvant kimyo sohalaridagi ilmiy adabiyotlar tahliliga asoslangan bo‘lib, MXene nanomateriallarining kristall tuzilishi, elektron xossalari, sirt kimyosi va optik xususiyatlari chuqur o‘rganildi. Ilmiy manbalar sifatida Scopus, Web of Science bazalarida indekslangan maqolalar, xalqaro patentlar hamda so‘nggi yillarda chop etilgan review maqolalar tahlil qilindi. Eksperimental yondashuvda MXene nanostrukturalarining sensor xususiyatlarini modellashtirish va ularning turli tashqi omillarga (gaz, namlik, harorat) javob reaksiyasini baholashga yo‘naltirilgan

konseptual modeldan foydalanildi. Ushbu modelda MXene qatlamlarining elektron zichlik o'zgarishi, adsorbsiya-desorbsiya jarayonlari hamda zaryad tashuvchilar dinamikasi asosiy parametrlar sifatida ko'rib chiqildi. Shuningdek, lyuminessent qoplamalar uchun MXene asosidagi nanokompozit tizimlarning optik javobini baholashda energiya uzatish mexanizmlari, foton yutilishi va luminesans so'nish (quenching) jarayonlari nazariy jihatdan tahlil qilindi. Bu jarayonlarda Förster rezonans energiya uzatish (FRET) modeli hamda elektron-fonon o'zaro ta'sir nazariyalari qo'llanildi. Metodologik yondashuvda qiyosiy tahlil, tizimli yondashuv, statistik baholash va modellashtirish usullari birgalikda qo'llanildi. Bu esa MXene materiallarining an'anaviy sensor materiallari bilan solishtirganda afzalliklarini aniqlash imkonini berdi.

Muammo va uning tahlili: Zamonaviy sensor texnologiyalarining rivojlanishi yuqori sezgirlik, tezkor javob, selektivlik va barqarorlik kabi talablarning keskin oshishi bilan bevosita bog'liq. Biroq mavjud an'anaviy sensor materiallari (metall oksidlar, polimerlar va yarimo'tkazgichlar) ushbu talablarni to'liq qondira olmaydi. Asosiy muammolardan biri — past sezgirlik va sekin javob berish tezligidir. Ko'plab klassik materiallar gaz yoki biologik molekulalar bilan o'zaro ta'sirda yetarlicha tez elektron almashinuvini ta'minlay olmaydi, bu esa real vaqt rejimida monitoring imkoniyatlarini cheklaydi. Ikkinchi muhim muammo — selektivlikning pastligi. Bir nechta gazlar yoki biologik molekulalar mavjud muhitda sensorlar ko'pincha noto'g'ri signal berishi yoki signalni aniq farqlay olmasligi kuzatiladi. Bu esa amaliy qo'llanishda jiddiy cheklovlar yaratadi. Uchinchi muammo — materiallarning uzoq muddatli barqarorligi va degradatsiyasi. Ko'plab nanomateriallar oksidlanish, namlik yoki harorat o'zgarishlari ta'sirida o'z xususiyatlarini yo'qotadi, bu esa sensorlarning ishlash muddatini qisqartiradi. Lyuminessent qoplamalar sohasida esa asosiy muammo — yorug'lik intensivligining pasayishi (quenching), past kvant samaradorlik va tashqi muhit ta'siriga sezgirlikning yuqoriligidir. Bu omillar optik qurilmalarning ishonchliligini kamaytiradi. MXene nanomateriallari ushbu muammolarni hal qilishda istiqbolli yechim sifatida qaralmoqda. Ularning yuqori elektr o'tkazuvchanligi elektron signallarni tez uzatishni ta'minlaydi, katta solishtirma sirt maydoni esa gaz va molekulalar bilan samarali o'zaro ta'sirni kuchaytiradi. Bundan tashqari, MXene yuzasining funksional guruhlar bilan boyitilishi selektivlikni oshirish imkonini beradi. Biroq MXene materiallarining o'ziga xos muammolari ham mavjud. Jumladan, ularning oksidlanishga moyilligi, uzoq muddatli barqarorlik masalalari hamda ishlab chiqarish jarayonining murakkabligi hali ham dolzarb ilmiy muammo bo'lib qolmoqda. Shu sababli MXene asosidagi tizimlarni optimallashtirish, ularni boshqa nanomateriallar bilan kompozit shaklda qo'llash va himoya qatlamlari yaratish

bo'yicha chuqur tadqiqotlar talab etiladi. Umumiy tahlil shuni ko'rsatadiki, MXene nanomateriallari an'anaviy sensor va optik materiallarning ko'plab cheklovlarini bartaraf etish imkoniga ega bo'lsa-da, ularning to'liq amaliyotga tatbiqi uchun hali ham kompleks ilmiy yechimlar zarur.

Tadqiqot natijalari va muhokama: Mazkur tadqiqotda MXene nanomateriallari asosida yuqori sezgir aqlli sensorlar hamda lyuminessent qoplamalar yaratish konsepsiyasi nazariy va qisman modellashirish yondashuvi asosida chuqur tahlil qilindi. Olingan natijalar MXene materiallarining sensor va optik tizimlarda qo'llanilish imkoniyatlari yuqori darajada istiqbolli ekanligini ko'rsatadi. Avvalo, MXene nanostrukturalarining yuqori elektr o'tkazuvchanligi ularning sensor javob tezligini sezilarli darajada oshirishi aniqlandi. Nazariy tahlillarga ko'ra, gaz molekulalari MXene yuzasiga adsorbsiya bo'lganda elektron zichlikning lokal o'zgarishi yuz beradi va bu holat qarshilik (R) qiymatining tezkor va sezilarli o'zgarishiga olib keladi. Bu esa real vaqt rejimida ishlovchi sensorlar yaratish imkonini beradi. Tadqiqot davomida MXene asosidagi sensorlarning sezgirlik darajasi an'anaviy metall oksidli sensorlarga nisbatan bir necha barobar yuqori bo'lishi mumkinligi aniqlandi. Bu holat MXene materiallarining katta solishtirma sirt maydoni va faol yuzaki guruhlar ($-OH$, $-F$, $-O$) bilan bog'liq bo'lib, ular gaz va biomolekulalar bilan kuchli fizik-kimyoviy o'zaro ta'sirni ta'minlaydi. Muhokama jarayonida selektivlik muammosi ham tahlil qilindi. MXene materiallari funksionalizatsiya qilinganda (masalan, polimerlar yoki metall nanozarrachalar bilan qoplanganda) ularning selektivlik darajasi sezilarli oshishi kuzatiladi. Bu esa bir vaqtning o'zida bir nechta gazlarni aniqlash imkonini beruvchi ko'p funksiyali sensor tizimlarini yaratishga asos bo'ladi. Lyuminessent qoplamalar bo'yicha o'tkazilgan tahlillar MXene nanomateriallari optik xususiyatlarni boshqarishda muhim rol o'ynashini ko'rsatdi. MXene qatlamlari energiya uzatish jarayonida "quenching" effektini yuzaga keltirishi mumkin, biroq bu jarayon to'g'ri boshqarilganda lyuminessent intensivlikni optimallashtirish imkonini beradi. Ayniqsa MXene–kvant nuqta (quantum dots) kompozitlari yuqori fotoluminessent samaradorlikni namoyon etadi. Shuningdek, MXene asosidagi nanokompozitlar barqarorlikni oshirishda ham muhim rol o'ynaydi. Tajribaviy va adabiyot ma'lumotlari shuni ko'rsatadiki, MXene grafen yoki polimer matritsalar bilan birlashtirilganda oksidlanish jarayoni sekinlashadi va materialning ishlash muddati uzayadi. Umuman olganda, olingan natijalar MXene nanomateriallari nafaqat yuqori sezgir sensorlar, balki yangi avlod optoelektron qoplamalar yaratishda ham muhim platforma ekanligini tasdiqlaydi.

XULOSA

Mazkur tadqiqot natijalariga asosan quyidagi xulosalar shakllantirildi:

1. MXene nanomateriallari yuqori elektr o'tkazuvchanlik, katta sirt maydoni va funksional guruhlar tufayli yuqori sezgir sensorlar yaratish uchun istiqbolli material hisoblanadi.
2. MXene asosidagi sensorlar gaz, namlik va biologik molekulalarni aniqlashda yuqori tezlik va aniqlikni ta'minlaydi.
3. Funksionalizatsiya jarayoni MXene sensorlarining selektivligini sezilarli darajada oshiradi.
4. Lyuminessent qoplamalarda MXene optik signalni boshqarish va intensivlikni optimallashtirish imkonini beradi.
5. MXene–nanokompozit tizimlar (grafen, kvant nuqtalar, polimerlar) material barqarorligi va funksionalligini oshiradi.
6. MXene materiallarining asosiy cheklovi oksidlanish barqarorligi bo'lib, bu muammo kompozit texnologiyalar orqali qisman bartaraf etilishi mumkin.
7. Umuman olganda, MXene nanomateriallari kelajakdagi aqlli sensor tizimlari va optoelektron qurilmalar rivojlanishida muhim rol o'ynaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Naguib, M., et al. (2011). Two-Dimensional Nanocrystals Produced by Etching MAX Phases. *Advanced Materials*.
2. Anasori, B., Lukatskaya, M. R., Gogotsi, Y. (2017). 2D metal carbides and nitrides (MXenes). *Nature Reviews Materials*.
3. Gogotsi, Y. (2020). MXenes: Transition metal carbides and nitrides. *Chemical Society Reviews*.
4. Lin, H., et al. (2017). MXene-based sensors and their applications. *ACS Nano*.
5. Shahzad, F., et al. (2016). Electromagnetic interference shielding with MXenes. *Science*.
6. Lukatskaya, M. R., et al. (2013). Cation intercalation in MXene electrodes. *Science*.
7. Jiang, Q., et al. (2021). MXene-based nanocomposites for sensing applications. *Nano Today*.
8. Hart, J. L., et al. (2019). Surface chemistry of MXenes. *Nature Communications*.
9. Wang, X., et al. (2020). MXene quantum dots and photoluminescence. *Advanced Functional Materials*.
10. Ibrahim, Y., et al. (2022). MXene-based flexible sensors: A review. *Sensors and Actuators B: Chemical*.