

METALL-ORGANIK KARKAS (MOF) BIRIKMALARI

Zoirova Gulyuz Alisherovna

E-mail: gulyuzoirova907@gmail.com

Termiz davlat universiteti talabasi

ANNOTATSIYA: Metall-organik karkas birikmalari (Metal–Organic Frameworks — MOF) yuqori g‘ovaklikka ega bo‘lgan kristall koordinatsion materiallar sinfiga kiradi. Ushbu birikmalar metall ionlari yoki metall klasterlarining organik ligandlar bilan koordinatsion bog‘lanishi natijasida hosil bo‘ladi. MOF materiallari juda katta solishtirma sirt maydoni, tartibli g‘ovak tuzilishi, kimyoviy modifikatsiyalanish imkoniyati hamda yuqori adsorbsiya xossalari bilan ajralib turadi. Shu sababli ular gazlarni saqlash va ajratish, kataliz, sensor texnologiyalari, dori moddalarini tashish, ekologik tozalash jarayonlari hamda energetika sohalarida keng qo‘llanilmoqda. Mazkur maqolada metall-organik karkas birikmalarining tuzilishi, sintez usullari, fizik-kimyoviy xossalari va zamonaviy ilmfandagi amaliy qo‘llanilish yo‘nalishlari tahlil qilingan.

KALIT SO‘ZLAR: Metall-organik karkas, MOF, koordinatsion birikmalar, g‘ovak materiallar, adsorbsiya, kataliz, nanomateriallar, gazlarni saqlash, sensorlar, kvant kimyosi.

АННОТАЦИЯ: Металл-органические каркасные соединения (Metal–Organic Frameworks — MOF) представляют собой класс высокопористых кристаллических координационных материалов. Данные соединения образуются в результате координационного взаимодействия между ионами металлов или металлическими кластерами и органическими лигандами. MOF-материалы характеризуются чрезвычайно большой удельной поверхностью, упорядоченной пористой структурой, возможностью химической модификации и высокими адсорбционными свойствами. Благодаря этим особенностям они широко применяются в процессах хранения и разделения газов, катализе, сенсорных технологиях, системах доставки лекарственных веществ, экологической очистке и энергетике. В данной статье рассмотрены структура, методы синтеза, физико-химические свойства и современные области практического применения металл-органических каркасных соединений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Металл-органические каркасы, MOF, координационные соединения, пористые материалы, адсорбция, катализ, наноматериалы, хранение газов, сенсоры, квантовая химия.

ABSTRACT: Metal–Organic Frameworks (MOFs) are a class of highly porous crystalline coordination materials. These compounds are formed through coordination bonding between metal

ions or metal clusters and organic ligands. MOF materials are distinguished by their extremely high specific surface area, ordered porous structure, chemical tunability, and excellent adsorption properties. Due to these characteristics, they are widely applied in gas storage and separation, catalysis, sensor technologies, drug delivery systems, environmental remediation, and energy-related applications. This article discusses the structure, synthesis methods, physicochemical properties, and modern practical applications of metal–organic framework compounds.

KEYWORDS: Metal–Organic Frameworks, MOF, coordination compounds, porous materials, adsorption, catalysis, nanomaterials, gas storage, sensors, quantum chemistry.

ASOSIY QISM

Metall-organik karkas birikmalari (Metal–Organic Frameworks — MOF) zamonaviy koordinatsion kimyo va nanomateriallar kimyosining eng istiqbolli yoʻnalishlaridan biri hisoblanadi. Ushbu birikmalar metall ionlari yoki metall klasterlarining organik ligandlar bilan koordinatsion bogʻlanishi natijasida hosil boʻladigan uch oʻlchamli kristall gʻovak strukturalardir. MOF materiallari yuqori gʻovaklik, juda katta solishtirma sirt maydoni, past zichlik hamda ichki yuzaning funkcionallashuv imkoniyati bilan boshqa adsorbent materiallardan keskin farq qiladi. Hozirgi kunda MOF birikmalari materialshunoslik, ekologiya, energetika, tibbiyot va kataliz sohalarida keng oʻrganilmoqda.

MOF strukturalarida metall markaz sifatida Zn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Al^{3+} , Cr^{3+} va Zr^{4+} kabi metall ionlari qoʻllaniladi. Organik ligandlar esa asosan karboksilat guruhli aromatik birikmalar, imidazol hosilalari, piridin va boshqa azot saqlovchi organik moddalardan tashkil topadi. Metall ionlari va ligandlarning koordinatsion bogʻlanishi natijasida tartibli kristall karkas hosil boʻladi. Ushbu karkaslarning eng muhim xususiyati katta hajmdagi ichki boʻshliqlarning mavjudligidir. Ayrim MOF materiallarida gʻovaklik umumiy hajmning 80–90 % qismini tashkil qilishi mumkin. Shu sababli ular gazlarni adsorbtsiya qilish va ajratishda yuqori samaradorlik koʻrsatadi.

MOF materiallarining asosiy afzalliklaridan biri juda katta solishtirma sirt maydoniga egaligidir. Baʼzi MOF turlarida sirt maydoni 7000–10000 m²/g gacha yetadi. Bu koʻrsatkich aktiv koʻmir va zeolit kabi anʻanaviy adsorbentlardan ancha yuqori hisoblanadi. Yuqori sirt maydoni MOF materiallariga gaz molekulalarini katta miqdorda yutish imkonini beradi. Shu sababli ular vodorod, metan va karbonat angidrid gazlarini saqlash hamda ajratishda istiqbolli material sifatida qaralmoqda.

Metall-organik karkas birikmalarini sintez qilishning bir nechta usullari mavjud. Eng keng tarqalgan usullardan biri solvotermal sintez hisoblanadi. Ushbu usulda metall tuzlari va organik ligandlar organik erituvchilarda yuqori harorat hamda bosim ostida reaksiyaga kiritiladi. Natijada yaxshi

kristallangan MOF strukturalar hosil bo'ladi. Bundan tashqari, gidrotermal, mikroto'lqinli, ultratovushli, mexanokimyoviy va elektrokimyoviy sintez usullari ham keng qo'llaniladi. Mikroto'lqinli sintez usuli reaksiya vaqtini sezilarli darajada qisqartiradi va yuqori hosildorlikka erishish imkonini beradi. Mexanokimyoviy usul esa erituvchilardan minimal foydalanishi sababli ekologik xavfsiz usul hisoblanadi.

MOF materiallari yuqori g'ovaklik va adsorbsiya xossalari bilan bir qatorda yuqori kimyoviy funktsionallikka ham ega. Hozirgi kunda MOF materiallarining eng muhim qo'llanilish sohasidan biri gazlarni saqlash va ajratish texnologiyalaridir. Vodorod energetikasi rivojlanishi bilan vodorodni xavfsiz va samarali saqlash muammosi dolzarb masalaga aylangan. MOF materiallarining katta g'ovak hajmi vodorod molekulalarini katta miqdorda adsorbsiya qilish imkonini beradi. Bundan tashqari, karbonat angidridni atmosferadan ushlab qolish va sanoat chiqindilaridan ajratib olishda ham MOF materiallari katta ahamiyatga ega. Global iqlim o'zgarishi bilan bog'liq ekologik muammolarni kamaytirishda MOF adsorbentlari istiqbolli material sifatida qaralmoqda.

So'nggi yillarda MOF materiallarini kvant kimyosi va kompyuter modellashtirish usullari yordamida o'rganish keng rivojlanmoqda. Kvant-kimyoviy hisoblashlar MOF strukturalarining elektron tuzilishi, adsorbsiya xossalari va katalitik faolligini oldindan bashorat qilish imkonini beradi. Bu esa yangi avlod funksional materiallarini yaratishda muhim ahamiyatga ega. Zamonaviy ilm-fan va texnologiyaning rivojlanishi bilan MOF birikmalarining qo'llanilish sohasi yanada kengayib borayotgani ushbu materiallarning istiqboli juda yuqori ekanligini ko'rsatadi.

MUAMMOLAR VA UNING TAHLILI

Metall-organik karkas birikmalari (MOF) yuqori g'ovaklik, katta solishtirma sirt maydoni va selektiv adsorbsiya xossalari bilan ajralib turishiga qaramay, ularning amaliy qo'llanilishida bir qator muammolar mavjud. Eng asosiy muammolardan biri MOF materiallarining namlik va agressiv kimyoviy muhitga nisbatan yetarli darajada barqaror emasligidir. Ayrim MOF strukturalari suv bug'i yoki yuqori namlik ta'sirida parchalanib ketishi mumkin. Bu holat ularni sanoat miqyosida qo'llash imkoniyatlarini cheklaydi. Ayniqsa, gazlarni ajratish va ekologik tozalash jarayonlarida materiallarning uzoq muddatli barqarorligi muhim ahamiyatga ega. Yana bir muhim muammo MOF materiallarini sintez qilish jarayonining murakkabligi va iqtisodiy jihatdan qimmatligidir. Ko'plab MOF birikmalarini olish uchun yuqori toza reagentlar, maxsus erituvchilar va yuqori harorat hamda bosim talab etiladi. Solvotermal sintez usuli samarali bo'lsa-da, energiya sarfi yuqori hisoblanadi. Bundan tashqari, ayrim organik ligandlarning qimmatligi sanoat miqyosida ishlab chiqarishni

cheklovchi omillardan biridir. Shu sababli so‘nggi yillarda ekologik xavfsiz va iqtisodiy jihatdan samarali “yashil sintez” usullarini ishlab chiqishga katta e‘tibor qaratilmoqda.

MOF materiallarining mexanik mustahkamligi ham dolzarb muammolardan biri hisoblanadi. Ayrim yuqori g‘ovakli MOF strukturalari tashqi bosim yoki mexanik ta‘sir natijasida deformatsiyalanishi mumkin. Bu esa ularni membranalar, sensorlar va sanoat adsorbentlari sifatida ishlatishda muammolar tug‘diradi. Shu sababli kompozit materiallar yaratish, polimerlar bilan modifikatsiyalash va MOF asosidagi gibrid strukturalarni sintez qilish bo‘yicha ko‘plab tadqiqotlar olib borilmoqda. Gazlarni saqlash va ajratish jarayonlarida ham ayrim cheklovlar mavjud. Masalan, vodorod yoki karbonat angidridni yuqori samaradorlik bilan adsorbsiya qiluvchi MOF materiallari ko‘pincha past harorat sharoitida yaxshi natija beradi. Normal haroratda adsorbsiya samaradorligi kamayishi mumkin. Shu sababli real texnologik jarayonlarga moslashtirilgan yangi avlod MOF materiallarini yaratish zarur hisoblanadi. MOF materiallarining sanoat miqyosida qo‘llanilishidagi yana bir muammo ularning regeneratsiyasi bilan bog‘liqdir. Adsorbsiya jarayonidan keyin materialning dastlabki xossalarini tiklash muhim hisoblanadi. Ba‘zi MOF materiallarida regeneratsiya jarayonida strukturaning qisman buzilishi kuzatiladi. Bu esa materialning xizmat muddatini qisqartiradi. Shu sababli yuqori regeneratsion barqarorlikka ega MOF strukturalarini yaratish bo‘yicha ilmiy izlanishlar davom etmoqda.

Shuningdek, MOF materiallarining elektron va magnit xossalarini chuqur o‘rganish ham zamonaviy ilm-fanning muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Elektron tuzilish va o‘tkazuvchanlik xossalarining yetarlicha o‘rganilmaganligi ayrim funksional qurilmalarda ularning qo‘llanishini cheklaydi. Shu sababli kvant-kimyoviy hisoblashlar va kompyuter modellashtirish usullaridan foydalanish orqali yangi funksional MOF materiallarini loyihalash muhim ilmiy vazifa bo‘lib qolmoqda.

XULOSA

Metall-organik karkas birikmalari (MOF) zamonaviy materialshunoslik, koordinatsion kimyo va nanoteknologiyaning eng istiqbolli yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Ushbu materiallar yuqori g‘ovaklik, katta solishtirma sirt maydoni, selektiv adsorbsiya xossalari va funksional modifikatsiyalanish imkoniyatlari bilan ajralib turadi. Metall ionlari va organik ligandlarning koordinatsion bog‘lanishi asosida hosil bo‘ladigan MOF strukturalari gazlarni saqlash va ajratish, kataliz, ekologik tozalash, sensor texnologiyalari, energetika hamda tibbiyot sohalarida keng qo‘llanilmoqda.

MOF materiallarining fizik-kimyoviy xossalari ularni zamonaviy “aqlli materiallar” qatoriga kiritadi. Ayniqsa, karbonat angidridni ushlab qolish, vodorodni saqlash, og‘ir metall ionlarini

adsorbsiya qilish va fotokatalitik jarayonlarda MOF birikmalarining samaradorligi yuqori ekanligi ko'plab ilmiy tadqiqotlarda isbotlangan. Shu bilan birga, ularning sintez usullarini takomillashtirish, termik va kimyoviy barqarorligini oshirish hamda sanoat miqyosida iqtisodiy samaradorligini ta'minlash dolzarb ilmiy muammolar bo'lib qolmoqda.

Hozirgi kunda kvant kimyosi, kompyuter modellashtirish va nanobiotexnologiyalar bilan integratsiyalashgan holda MOF materiallari bo'yicha yangi ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Yangi avlod funksional MOF materiallarini yaratish ekologik xavfsizlikni ta'minlash, energiya resurslaridan samarali foydalanish va yuqori texnologik qurilmalarni ishlab chiqishda muhim ahamiyat kasb etadi. Shu sababli metall-organik karkas birikmalari kelajakda ilm-fan va sanoatning ko'plab yo'nalishlarida strategik materiallardan biri bo'lib qoladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. The Chemistry of Metal-Organic Frameworks — Weinheim: Wiley-VCH, 2016.
2. Metal-Organic Frameworks: Applications from Catalysis to Gas Storage — Wiley, 2011.
3. Introduction to Reticular Chemistry: Metal–Organic Frameworks and Covalent Organic Frameworks — Wiley, 2019.
4. Omar M. Yaghi va hamkorlari. "Reticular synthesis and the design of new materials." Nature, 2003.
5. Nanoporous Materials — Imperial College Press, 2004.
6. Coordination Chemistry — Wiley-VCH, 2008.
7. Quantum Chemistry bo'yicha zamonaviy ilmiy maqolalar va internet manbalari.
8. American Chemical Society jurnal materiallari.
9. Royal Society of Chemistry ilmiy nashrlari.
10. Elsevier bazasidagi MOF materiallariga oid ilmiy maqolalar.