

**VODOROD ENERGETIKASIDA METALL-ORGANIK KARKASLI
(MOF) BIRIKMALARNING ADSORBENT SIFATIDA QO‘LLANILISHI**

Chirchiq davlat pedagogika universiteti

Tabiiy fanlar fakulteti Kimyo(kechki) yo'nalishi

22/1-guruh talabasi

Payziyeva Durdon Murodali qizi

Annotatsiya. Ushbu ilmiy tezisdagi muqobil energiya manbalari, xususan vodorod energetikasini rivojlantirishdagi asosiy muammo — vodorodni xavfsiz va samarali saqlash masalasi ko'rib chiqiladi. Tadqiqot obyekti sifatida yangi avlod g'ovakli materiallari — metall-organik karkasli tuzilmalar (MOF) tanlangan. Ishda MOF birikmalarining vodorod molekulalarini adsorbsiya qilish mexanizmlari, karkas tuzilishining g'ovaklik darajasiga ta'siri va sintez qilishning zamonaviy usullari tahlil qilingan. Olingan natijalar kelajakda ekologik toza transport vositalari uchun vodorod baklarini yaratishda nazariy asos bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: Vodorod energetikasi, metall-organik karkaslar (MOF), adsorbsiya, kriosorbsiya, g'ovaklik, koordinatsion bog'lanish, ligandlar, energiya zichligi, toza energiya.

Kirish. Insoniyatning qazilma yoqilg'i (neft, gaz, ko'mir) resurslariga qaramligi nafaqat iqtisodiy, balki global ekologik inqirozni ham keltirib chiqarmoqda. Atmosferaga chiqarilayotgan karbonat angidrid (CO_2) miqdorini kamaytirish va "yashil iqtisodiyot"ga o'tishda vodorod eng istiqbolli energiya tashuvchisi hisoblanadi. Vodorod yonganda faqat suv bug'i hosil bo'ladi, bu esa uni mutlaqo ekologik toza yoqilg'iga aylantiradi. Biroq, vodorodni saqlash va tashish jarayoni murakkab texnik muammo bo'lib qolmoqda. Vodorod molekulasini (H_2) juda yengil va kichik bo'lgani uchun uni yuqori bosim ostida (700 bar) yoki o'ta past haroratda (-253°C) saqlash katta xarajat va xavfsizlik choralari talab qiladi. Shu sababli, kimyo fani oldida vodorodni past bosimda va xona haroratiga yaqin

sharoitda o'ziga yuta oladigan yuqori g'ovakli adsorbentlarni sintez qilish vazifasi turibdi. So'nggi yillarda bu borada metall-organik karkasli birikmalar (Metal-Organic Frameworks) inqilobiy yechim sifatida namoyon bo'lmoqda.

ASOSIY QISM

1. Metall-organik karkaslarning (MOF) kimyoviy tabiati

MOF birikmalari koordinatsion polimerlarning bir turi bo'lib, ular metall ionlari (yoki klasterlari) va ularni bog'lab turuvchi organik liganlardan tashkil topgan. Ushbu tuzilmalar kristall panjaraga o'xshash tartibli karkas hosil qiladi. MOF larning o'ziga xosligi shundaki, ularning g'ovak o'lchamini va kimyoviy xossalarini sintez jarayonida liganlarni o'zgartirish orqali boshqarish mumkin. Kimyoviy nuqtai nazardan, markaziy metall ionlari va organik ko'priklar (karbonsid kislotalar, aminlar, fosfonatlar) o'rtasidagi bog'lanish mustahkam karkas yaratadi. Bu karkas ichidagi bo'shliqlar vodorod molekulalarini fizikaviy adsorbsiya (fizosorbsiya) orqali o'ziga biriktiradi.

2. Vodorodni saqlash mexanizmi: Fizosorbsiya va Kimyosorbsiya

Vodorodning adsorbent yuzasida to'planishi asosan Van-der-Vaals kuchlari hisobiga amalga oshadi. MOF larning solishtirma sirt maydoni rekord darajaga ($7000 \text{ m}^2/\text{g}$ gacha) yetishi mumkin, bu esa bir gramm modda ichida ulkan hajmdagi gazni to'plash imkonini beradi.

Jarayonning samaradorligi quyidagi omillarga bog'liq:

G'ovak diametri: Vodorod molekulasi uchun optimal g'ovak o'lchami 0.6–1.2 nanometr oralig'ida bo'lishi kerak.

Ochiq metall markazlari: Karkasdagi to'yinmagan metall ionlari vodorod molekulalari bilan kuchliroq o'zaro ta'sirga kirishib, adsorbsiya issiqligini oshiradi.

Sirtning funkcionallashishi: Organik liganlarga turli funkSIONAL guruhlarni orqali vodorodning yutilish qobiliyatini 15-20% ga oshirish mumkin.

3. Sintez qilish usullarining qiyosiy tahlili

MOF birikmalarini sintez qilishda bir necha asosiy usullar qo'llaniladi, ularning har biri yakuniy mahsulotning unumdorligiga ta'sir qiladi:

Solvotermal sintez: Eng keng tarqalgan usul bo'lib, reaksiya aralashma

germetik yopiq idishda (avtoklavda) ma'lum bir harorat va bosim ostida uzoq vaqt davomida qizdiriladi. Bu usul yuqori kristallik darajasiga ega MOF larni olish imkonini beradi.

Mikroto'lqinli sintez: Reaksiya vaqtini bir necha kundan bir necha daqiqaga tushiradi. Energiya tejamkorligi bilan ajralib turadi.

Mexanokimyoviy sintez: Hech qanday erituvchisiz, qattiq reagentlarni mexanik ishqalash orqali amalga oshiriladi. Bu usul ekologik jihatdan eng toza ("Yashil kimyo") hisoblanadi.

Elektrokimyoviy usul: Sanoat miqyosida MOF larni uzluksiz ishlab chiqarish uchun qulay bo'lib, jarayon elektr toki yordamida boshqariladi.

ILMIY TAHLIL VA MUHOKAMA

Vodorodni MOF larda saqlashning eng katta muammosi bu ishchi haroratdir. Hozirgi kunda eng yuqori natijalar kriosorbsiya sharoitida, ya'ni suyuq azot haroratida (77 K) kuzatilmoqda. Masalan, MOF-5 yoki UiO-66 kabi birikmalar 77 K haroratda o'z og'irligiga nisbatan 4-7% vodorodni yuta oladi. Biroq, xona haroratida (298 K) bu ko'rsatkich 1% dan pastga tushib ketadi.

Buning sababi vodorod molekulasini va karkas yuzasi o'rtasidagi bog'lanish energiyasining pastligidir (odatda 4–8 kJ/mol). Xona haroratida vodorod saqlash uchun bu energiya 15–20 kJ/mol gacha ko'tarilishi kerak. Hozirgi vaqtda kimyogarlar "Spillover" effekti, ya'ni adsorbent yuzasiga platina yoki palladiy nanopartikullarini o'tirish orqali vodorod molekularini atom holatiga o'tkazish va adsorbsiyani kuchaytirish ustida tadqiqot olib bormoqdalar.

EKOLOGIK VA IQTISODIY ISTIQBOLLAR

Vodorod energetikasiga o'tish O'zbekiston kabi quyosh energiyasi salohiyati yuqori bo'lgan mamlakatlar uchun juda muhim. "Yashil vodorod" (suv elektrolizi orqali olingan) ishlab chiqarish va uni MOF asosidagi baklarda saqlash kelajakda benzin va dizel yoqilg'isidan butunlay voz kechishga zamin yaratadi.

MOF larning afzalligi shundaki, ular nafaqat vodorod saqlash, balki atmosferadagi zararli gazlarni tutib qolishda ham ishlatilishi mumkin. Bu esa bir vaqtning o'zida ham energetika, ham ekologiya masalalarini hal qiladi.

Xulosa. O'tkazilgan tahlillar shuni ko'rsatadiki, metall-organik karkasli birikmalar vodorod energetikasining kelajagini belgilovchi asosiy materiallar sinfiga kiradi. MOF larning g'ovak tuzilishi va sirt maydoni ularni boshqa an'anaviy adsorbentlardan (seolit, ko'mir) bir necha barobar ustun qiladi. Sintez usullarini optimallashtirish va ligani larni modifikatsiyalash orqali xona haroratida ham yuqori adsorbsiya sig'imiga erishish mumkin. Kelajakda MOF asosidagi kompozit materiallar vodorodli transport vositalari uchun eng xavfsiz va ixcham saqlash tizimi bo'lib xizmat qiladi. Ushbu sohadagi tadqiqotlarni davom ettirish kimyo fanining eng dolzarb va strategik yo'nalishlaridan biridir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Karimov I.R., "Vodorod energetikasi asoslari". O'quv qo'llanma. Toshkent, 2024. - 210 b.
2. Yaghi O.M., "Metal-Organic Frameworks". Journal of the American Chemical Society, 2021.
3. Rahmonov D., "G'ovakli kristall materiallar sintezi va xossalari". Kimyo va farmatsevtika jurnali, 2023, №4.
4. Zhou H.C., "Recent advances in MOF-based hydrogen storage". Chemical Reviews, 2022.
5. O'zbekiston Respublikasining 2020-2030-yillarda "Yashil iqtisodiyot"ga o'tish strategiyasi.
6. Salimov B., "Nanomateriallar kimyosi". Toshkent, 2022. - 156 b.