ISNN 3030-3907

2026/3
VOLUME 7

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/3 VOLUME 7

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

НАНОТЕХНОЛОГИЯ АСОСИДА ИШЛОВЧИ ҒОВАКЛАР ЎЛЧАМИ 1–2 Å БЎЛГАН КАТАЛИЗАТОРЛАР: МЕЗАПОРАЛАР, МАТРИЦАЛАР ВА ҒОВАК ЎЛЧАМИНИ АНИҚЛАШ УСУЛЛАРИНИ ТАДҚИҚОТ ҚИЛИШ

Сафаров Б.Ж.

Бухоро муҳандислик технология университети

Аннотация. Ушбу мақолада нанотехнология соҳасидаги долзарб йўналиш — ғовак ўлчами 1–2 Ангстрем (Å) бўлган катализаторларнинг тузилиши, уларни мезапорали матрицаларга жойлаштириш имкониятлари ва ғовак ўлчамларини аниқлашнинг замонавий усуллари ёритилган. Микроғовак ва ультрамикроғовак тузилишли катализаторларнинг юқори селективлиги, уларнинг матрицалар билан композит ҳолда ишлатилиши ва структур таҳлил усуллари (адсорбция, дифракция, спектроскопия) батафсил кўриб чиқилган.

Калит сўзлар: Нанотехнология, катализ, ғовак тузилишли материаллар, ультрамикроғоваклар (1–2 Å), молекуляр элак, мезапорали матрицалар, цеолитлар, металл-органик каркаслар (MOFs), металл кластерлари, углерод нанотрубкалари, агломерация, селективлик, диффузия, газ адсорбцияси, позитрон аннигиляция спектроскопияси (PALS), ғовак ўлчамларини аниқлаш

Аннотация. В данной статье рассматривается современное направление в нанотехнологиях — структура катализаторов с размером пор 1-2 ангстрема (Å), возможности их размещения в мезопористых матрицах и современные методы определения размеров пор. Подробно рассмотрены высокая селективность микро- и ультрамикро-структурных катализаторов, их использование в композициях с матрицами и методы структурного анализа (адсорбция, дифракция, спектроскопия).

Ключевые слова: нанотехнологии, катализ, материалы с пористой структурой, ультрамикроноваки (1-2 Å), молекулярные сита, мезопористые матрицы, цеолиты, металлоорганические каркасы (MOF), кластеры металлов, углеродные нанотрубки, агломерация, селективность, диффузия, адсорбция газов, позитронно-аннигилирующая спектроскопия (PALS), определение размера пузырьков

Annotation. This article covers the current direction in nanotechnology — the structure of catalysts with a pore size of 1-2 Angstrem (Å), the possibilities of placing them in mesapore matrices, and modern methods for determining pore sizes. High selectivity of microgovac and ultramicrogovac structured catalysts, their use in composite with matrices, and structural analysis methods (adsorption, diffraction, spectroscopy) have been examined in detail.

ISSN 3030-3907

Keywords: nanotechnology, catalysis, porous structure materials, ultramicrogovacs (1-2 Å), molecular sieve, mesapore matrices, ceolites, metal-organic carcasses (MOFs), metal clusters, carbon nanotubes, agglomeration, selectivity, diffusion, gas adsorption, positron annigylation spectroscopy (PALS), bubble size determination

КИРИШ.

Нанотехнологиянинг ривожланиши билан бирга, катализ соҳасида ғовак тузилишли материалларга бўлган қизиқиш кескин ортди. Хусусан, ғовак ўлчами 1–2 Å бўлган катализаторлар молекуляр даражада юқори селективликни таъминлаш қобилияти билан ажралиб туради. Бундай кичик ғоваклар (ультрамикрогоризонталлар) фақат маълум ўлчамдаги молекулаларнинг диффузиясига имкон бериб, реакцияларни “молекуляр элак” принсипида бошқаради.

Бироқ бундай кичик ғовакларни барқарор сақлаш ва уларнинг агломерациясини олдини олиш муаммоси мавжуд. Шу сабабли, уларни мезапорали (2–50 nm) матрицалар ичига жойлаштириш ёки махсус ҳолатларда ультрамикроғовакли қопламалар яратиш долзарбдир. Мақоланинг мақсади — ультракичик ғовакли катализаторларнинг тузилиш хусусиятлари, матрицалар билан интеграцияси ва ғовак ўлчамларини аниқлашнинг асосий усулларини тизимлаштиришдан иборат [1].

ҒОВАК ТУЗИЛИШИ ВА ТАСНИФИ. Ғовакли материаллар одатида IUPAC таснифи бўйича уч катта гуруҳга ажратилади:

1.Микроғоваклилар (Micropores): Ғовак диаметри < 2 nm (< 20 Å).

2.Мезапоралилар (Mesopores): 2 nm ≤ d ≤ 50 nm.

3.Макропоралилар (Macropores): d > 50 nm.

Биз кўриб чиқаётган 1–2 Å (0.1–0.2 nm) ғоваклар микроғовакларнинг энг кичик чегарасига тўғри келади. Бу ўлчам кўплаб газ молекулалари (H_2, O_2, N_2) ва кичик органик молекулаларнинг кинетик диаметрлари билан таққосланади (1-жадвал).

1-жадвал.

Баъзи молекулаларнинг кинетик диаметрлари

Молекула	**Кинетик диаметр (Å)**
H_2	2.89
O_2	3.46

ISSN 3030-3907

Молекула	Кинетик диаметр (Å)
N_2	3.64
CO_2	3.30
CH_4	3.80

Жадвалдан кўриниб турибдики, 1–2 Å ғоваклар мавжуд бўлса, улар ҳатто кичик газ молекулаларининг ҳам ўтишига тўсиқ бўлади. Бу эса катализаторнинг “суперселектив” бўлишини таъминлайди, аммо диффузияни сезиларли даражада чеклайди.

1–2 Å ҒОВАКЛИ КАТАЛИЗАТОРЛАР: МУАММО ВА ЕЧИМЛАР . Табиий ва синтетик ультрамикроғовакли тузилишлар асосан табиатда бундай кичик ғовакларни цеолитлар (zeolites) ва айрим металл-органик каркасларда (MOFs) учратиш мумкин [2]. Масалан, SAPO-34 ёки SSZ-13 цеолитларида ғовак кириш тешиклари 3.8 Å атрофида бўлса, айрим махсус синтез қилинган цеолитлар (RHO, ZK-5) модификациялаш орқали кириш тешикларини 2.5–3.0 Å гача кичрайтириш мумкин. Бироқ 1–2 Å соҳасига тушиш учун қуйидаги ёндашувлар қўлланилади:

- Металл кластерларини жойлаштириш: Микроғовакли матрица (цеолит) ичига Pt, Pd ёки Ni каби металл нанозаррачалари киритилади. Бу заррачалар орасидаги бўшлиқлар 1–2 Å гача бўлган “уяча” (cavity) ҳосил қилади.

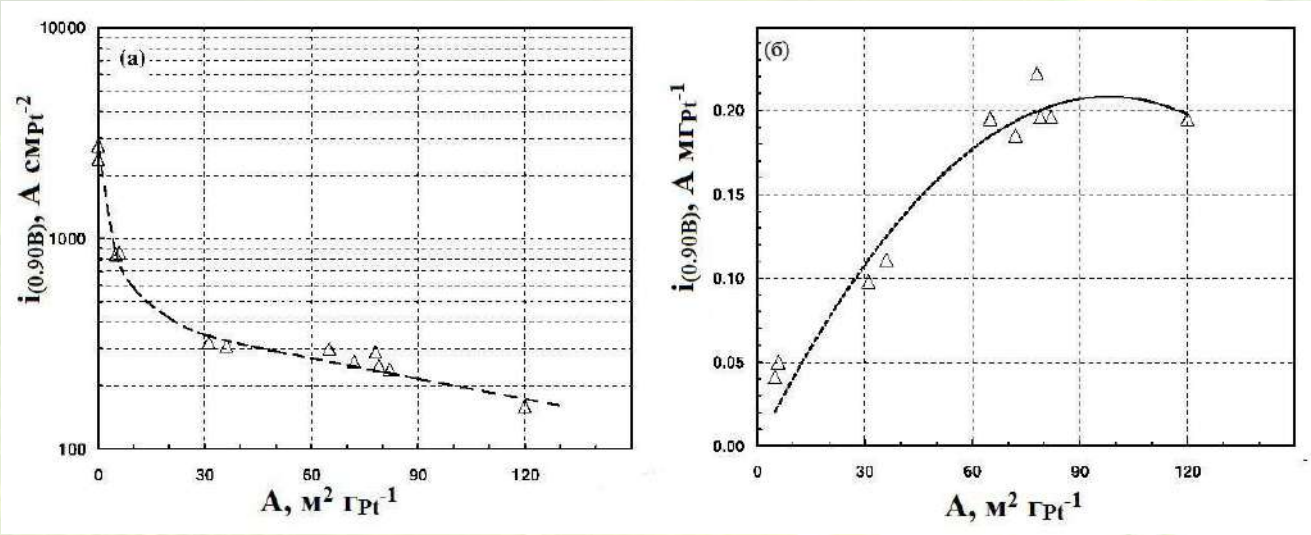
- Углерод нанотрубкаларининг тор учи: Кўп деворли углерод нанотрубкаларини (MWCNTs) махсус ишлов бериш орқали уларнинг учида 2 Å гача бўлган тешиклар ҳосил қилиш мумкин [3].

Матрицалар билан интеграция. Ғовак ўлчами 1–2 Å бўлган катализаторларнинг асосий камчилиги — уларнинг юқори реактивлиги ва агломерацияга мойиллиги. Бу муаммони бартараф этиш учун мезапорали матрицалардан фойдаланилади.

Мезапорали матрицалар (MCM-41, SBA-15, мезопорали кремнезёмлар) қуйидаги вазифаларни бажаради:

1. Механик барқарорликни ошириш: Катализатор заррачалари мезапоралар ичида физик тўсиқ орқали ажратилади.

ISSN 3030-3907



1-расм (тасвирий): Мезапорали SBA-15 матрицаси ичидаги Pt кластерларининг схематик кўриниши. Кластерлар орасидаги 1.5–2 Å бўшлиқлар актив марказлар вазифасини бажаради.

2. Масса алмашинувини яхшилаш: Мезапоралар (2–10 nm) орқали реагент молекулалари ультракичик ғовакли актив марказларга тез етиб боради.

3. Функционал гибрид тузилиш: Мезапорали матрицанинг ички юзаси органосилан ёки полимер билан модификацияланиб, актив фазанинг адгезияси кучайтирилади [4, 5].

ҒОВАК ЎЛЧАМЛАРИНИ АНИҚЛАШ УСУЛЛАРИ. Ғовак ўлчами 1–2 Å бўлган материалларни таҳлил қилиш анъанавий усуллар (конвенционал БЭТ, БЖХ) учун қийинчилик туғдиради. Чунки бу усуллар асосан мезапоралар ва катта микроғоваклар (0.8–2 nm) учун мўлжалланган. Қуйида 1–2 Å ғовакларни таҳлил қилишда қўлланиладиган асосий усуллар келтирилган.

Газ адсорбцияси (N_2, Ar, CO_2). Анъанавий азот адсорбцияси (77 K) 1–2 Å ғовакларни аниқлашда етарли эмас, чунки N_2 молекуласининг кинетик диаметри 3.64 Å бўлиб, у бундай кичик ғовакларга кира олмайди. Шу сабабли:

- CO_2 адсорбцияси (273 K): CO_2 молекуласи (3.3 Å) 1–2 Å ғовакларга кира олмаса-да, у микроғовакларнинг умумий ҳажмини баҳолашда ишлатилади. 1–2 Å соҳаси учун бу усул чекланган.

- Аргон (Ar) ва криптон (Kr) адсорбцияси: 87 K да Ar адсорбцияси микроғовакларни аниқлашда N_2 га нисбатан аниқроқ, аммо ультрамикроғоваклар (< 5 Å) учун ҳам чегара мавжуд.

Позитрон аннигиляция спектроскопияси (PALS). Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy (PALS) — бу усул ҳозирги кунда 1–10 Å

ISSN 3030-3907

оралиғидаги ғовак ўлчамларини аниқлашда энг ишончли ҳисобланади. хусуситлари:

- Позитронлар (e^+) моддага киритилганда, улар электронлар билан аннигиляцияланади.

2-жадвал.

PALS орқали ғовак ўлчамларини аниқлаш.

Ғовак радиуси (Å)	o-Ps ҳаёт даври τ (ns)
1.0	0.5 – 0.8
1.5	0.9 – 1.2
2.0	1.3 – 1.6

- Агар материалда бўшлиқ (ғовак) мавжуд бўлса, позитронлар шу бўшлиқда орто-позитроний (o-Ps) ҳосил қилиб, аннигиляция вақти узаяди.
- o-Ps нинг ҳаёт даври (τ) ғовак ўлчами билан боғлиқ. 1–2 Å учун τ қисқа бўлса-да, замонавий спектрометрлар бу фарқни ажрата олади.

Рентген нурлари дифракцияси (XRD) ва юқори ажратишли электрон микроскопия (HRTEM).- XRD: Ультракичик ғовакларнинг мавжудлигини бевосита кўрсатмайди, аммо матрицанинг тузилиши (мезопораларнинг тартиблилиги) ва актив фаза (Pt, Pd) нинг кластерланиш даражасини аниқлаш имконини беради.

- HRTEM: Сканлаш транмиссион электрон микроскопия (STEM) ёрдамида мезапорали матрица ичидаги металл кластерларининг жойлашуви ва улар орасидаги масофа (1–2 Å) бевосита ўлчаниши мумкин. Аммо бу усул локал бўлиб, бутун материал бўйича ўртача маълумот бермайди.

Молекуляр зонд усуллари.__Катализаторнинг самарали ғовак ўлчамини аниқлаш учун турли кинетик диаметрга эга бўлган молекулалар ёрдамида тест реакциялари ўтказилади. Масалан:

- n-гексан ва 3-метилпентан аралашмасининг гидрокрекинг реакцияси. Агар катализатор фақат n-гексанни парчаласа, бу унинг ғовак ўлчами 4.3 Å (n-гексан) дан кичик, аммо 5.0 Å (3-метилпентан) дан катта эмаслигини кўрсатади. 1–2 Å учун бу усулда H_2 (2.89 Å) ва Ne (2.8 Å) каби газлардан фойдаланилади.

МЕЗАПОРАЛИ МАТРИЦАЛАР ВА УЛАРНИНГ РОЛИ. Мезапорали матрицалар (MCM-41, SBA-15, KIT-6) ультракичик ғовакли катализаторларнинг асосий ташувчиси сифатида ишлатилади. Уларнинг асосий афзалликлари:

1. Юқори солиштирма юза: 500–1200 m^2/g гача.

ISSN 3030-3907

2. Тартибли ғовак тузилиши: Диффузияни моделлаштириш имконини беради.

3. Термик ва гидротермик барқарорлик: SBA-15 500–600°C гача барқарор.

Ушбу матрицалар ичига ультракичик ғовакли фазани киритишнинг икки асосий усули мавжуд:

- In-situ синтез: Матрицанинг синтези жараёнида каталитик фазанинг прекурсори қўшилади.
- Пост-синтез импрегнация: Тайёр мезопорали материал органик металл бирикмалар эритмаси билан импрегнация қилиниб, кейинчалик термолиз орқали 1–2 Å бўшлиқлар ҳосил қилинади.

АМАЛИЙ ҚЎЛЛАНИШЛАР.

1. Селектив катализ: 1–2 Å ғовакли катализаторлар метаннинг оксидланиши, сув гази сифт реакцияси (water-gas shift) ва олефинларнинг гидрогенизациясида юқори селективлик кўрсатади. Масалан, *метанолдан олефинга (MTO)* жараёнида SAPO-34 цеолитининг кириш тешикларини модификациялаш орқали C2–C3 олефинларига селективлик 85% гача оширилган.

2. Газларни ажратиш: H_2/CH_4, CO_2/N_2 аралашмаларини ажратишда 2 Å ли тешикларга эга мембраналар юқори эффективлик кўрсатмоқда.

3.Наноэлектроника: Ультракичик ғоваклар квант чегараловчи эффектларни юзага келтириб, яримўтказгичли қурилмаларда қўлланилади.

ТАЖРИБАВИЙ ТАҲЛИЛ ПРОТОКОЛИ. Қуйида 1–2 Å ғовакли катализаторни тавсифлаш бўйича тавсия этилган қадамлар келтирилган:

1.Синтез: Мезапорали матрица (SBA-15) ни синтез қилиш, уни функционаллаштириш (APTES ёки меркаптосиланлар билан).

2.Актив фазани киритиш: $[Pt(NH_3)_4](NO_3)_2$ эритмаси билан импрегнация, сушитгичда 80°C да 12 соат, сўнг H_2 атмосферасида 300–400°C да редукциялаш.

3. Таҳлил:

- PALS: o-Ps ҳаёт даврини ўлчаш, радиуси 1.2–2.0 Å эканлигини аниқлаш.
- HRTEM/STEM: Pt кластерларининг тақсимланиши ва улар орасидаги масофани визуаллаштириш.
- CO_2 адсорбцияси* (273 K): Микроғовак ҳажмини баҳолаш (DFT модели).
- XRD: Мезопораларнинг тартиблилигини (SBA-15 учун 100, 110, 200 рефлексиялари) ва Pt нанозаррачаларининг ўлчамини (Scherrer тенгламаси) аниқлаш.

ХУЛОСА. Ғовак ўлчами 1–2 Å бўлган катализаторлар нанотехнологиянинг энг кичик масштабдаги объектларидан биридир. Улар

ISSN 3030-3907

молекуляр даражада селективликни бошқариш имконини берса-да, диффузия чекловлари ва барқарорлик муаммоларини келтириб чиқаради. Мезапорали матрицалар (MCM-41, SBA-15) билан композит тузилиш яратиш ушбу муаммоларни ечишда энг самарали стратегия ҳисобланади.

Ғовак ўлчамларини аниқлашда анъанавий газ адсорбцияси (N_2, Ar) етарли эмас; шу сабабли позитрон аннигиляция спектроскопияси (PALS), юқори ажратишли электрон микроскопия (HRTEM) ва молекуляр зонд усулларини комплекс қўллаш талаб этилади.

Келгусида бу соҳадаги тадқиқотлар супрамолекуляр катализ, нанокомпозит мембраналар ва квант катализ йўналишларида ривожланиши кутилмоқда.

АДАБИЁТЛАР

1. Davis, M. E. (2002). *Ordered porous materials for emerging applications. Nature, 417(6891), 813–821.
2. Thommes, M., et al. (2015). Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution. Pure and Applied Chemistry, 87(9-10), 1051–1069.
3. Gidley, D. W., et al. (2006). Positronium annihilation in mesoporous thin films. Physical Review B, 72(20), 205406.
4. Cejka, J., et al. (2010). Introduction to Zeolite Science and Practice. Elsevier.
5. Zhao, D., et al. (1998). Triblock copolymer syntheses of mesoporous silica with periodic 50 to 300 angstrom pores*. Science, 279(5350), 548–552.

ISSN 3030-3907