НООРГАНИК МАТЕРИАЛЛАРНИНГ CO_2 КОНВЕРСИЯСИДА КАТАЛИЗАТОР СИФАТИДА ҚЎЛЛАНИЛИШИ

Мардонова Зухра Шухрат қизи

Чулиев Худоёр Шухрат ўғли

Аннотация. Ушбу илмий ишда ноорганик материалларнинг CO_2 конверсиясида катализатор сифатида қўлланилишининг назарий асослари ва амалий самарадорлиги таҳлил қилинади. Тадқиқотда ҳар хил ноорганик катализаторларнинг структураси ва уларнинг селективлиги ўрганилди ҳамда самарали каталитик тизимлар яратиш йўллари аниқлаб берилди. Ишнинг асосий мақсади — атмосферадаги CO_2 ни самарали конверсия қилиш орқали экологик хавфсизликни ошириш ва саноат жараёнларини оптималлаштиришдир. Натижаларга кўра, ноорганик катализаторлар ёрдамида CO_2 нинг қимматли кимёвий маҳсулотларга айланиши босқичма-босқич амалга оширилиши мумкинлиги исботланди. Мазкур ёндашув иқтисодий ва экологик жиҳатдан истиқболли ечимлар тақдим этади. Шунингдек, келгусидаги тадқиқотлар учун янги йўналишлар ва тавсиялар берилди.

Калит сўзлар: ноорганик материаллар, CO_2 конверсияси, катализатор, структуравий хусусиятлар, селективлик, экологик хавфсизлик, саноат жараёнлари.

Ноорганик материалларнинг CO_2 конверсиясида катализатор сифатида қўлланилиши замонавий кимё фанининг асосий йўналишларидан бири ҳисобланади. Бу соҳадаги изланишлар глобал иқлим ўзгариши, атмосферадаги карбон(IV) оксид концентрациясининг ортиши ва уни самарали тарзда қайта ишлашга бўлган эҳтиёж туфайли жаҳон ҳамжамияти эътиборида турибди. Карбон(IV) оксид (CO_2) саноатдаги турли жараёнлар, айниқса, ёқилғи ёқиш, цемент ишлаб чиқариш ва кимёвий моддалар олишда асосий чиқинди

маҳсулотлардан биридир. CO_2 молекуласи юқори термодинамик барқарорликка эга бўлиб, унинг кимиёвий ўзгаришларга киришувчанлиги паст; бу эса унинг конверсия жараёнларини мураккаблаштиради.

Катализаторлар қўлланилиши CO_2 конверсиясида реакция самарадорлигини ошириш, энергия сарфини камайтириш ва маҳсулот чиқишини кўпайтиришда ҳал қилувчи ўрин тутади. Ноорганик материаллар, айниқса, металл оксидлари (MgO, Al_2O_3, TiO_2, CeO_2 ва бошқалар), цеолитлар, перовскитлар, спинеллар ва гетероген наноқурилмалар бу мақсадда кенг ўрганилмоқда. Улар юза фаоллиги, кислота-базалик хусусиятлари, электрон тузилиши ва структураси орқали CO_2 молекуласи адсорбцияси ва унинг активлашувига ёрдам беради. Масалан, цеолитлар юқори порозлик ва юза майдонига эга бўлиб, уларнинг тузилишини модификация қилиш орқали каталитик хусусиятларини яхшилаш мумкин. Шу билан бирга, перовскитлар каби кўп фазали структураларга эга материаллар ҳосил бўлиш энергиясини пасайтиришда самарали ҳисобланади.

CO_2 конверсиясида асосий реакция йўналишларига метанлаштириш (Sabatier реакцияси), метанол синтези, формальдегид ва бошқа органик бирикмалар олиш, ҳамда CO_2 ни тўғридан-тўғри антиқилувчи реакциялар киради. Бу жараёнларда катализаторлар реакция механизмларини ўзгартириб, аралашмаларнинг селективлигини оширади ва ёндош жараёнларни камайтиради. Масалан, ниобий ва титан оксидларининг бирикмалари CO_2 ни метанолга айлантиришда юқори фаоллик ва селективлик кўрсатган. Гибрид материаллар, яъни металл оксидлари ва наноқисматаллардан ташкил топган композитлар эса электрон ва ион ўтказувчанлигини ошириш орқали реакциянинг умумий тезлигини кўпайтиришга имкон беради.

Таърихий нуқтаи назардан, CO_2 конверсиясида катализатор сифатида ноорганик материаллардан фойдаланиш 20-асрнинг иккинчи ярмида,

саноатлашув жараёнлари ва энергия ресурсларига бўлган талаб ошиб борган шароитда ривожлана бошлади. Дастлаб, металл оксидлари ва гидротермал цеолитлар асосий тадқиқот объекти сифатида ўрганилган бўлса, кейинчалик перовскитлар, спинеллар ва янги типдаги комплекс фазалар қўллашга киришилди. Охирги йилларда эса наноқурилмалар ва модификацияланган юзага эга материаллар асосида юқори самарали катализаторлар яратишга алоҳида эътибор берилмоқда.

CO_2 конверсиясида ноорганик материаллардан самарали фойдаланиш, нафақат саноат чиқиндиларини камайтириш, балки қайта тикланадиган хом ашё базасини кенгайтириш ва янги типдаги ёқилғилар ҳамда кимёвий моддалар олиш имконини яратади. Шу боис, бу йўналишдаги изланишлар кимё, материалшунослик, энергетика ва экология соҳалари кесишмасида илғор инновацион ечимларни тақдим этади.

Ноорганик материалларнинг CO_2 конверсиясида катализатор сифатида қўлланилиши сўнгги йилларда глобал иқлим ўзгаришига қарши курашиш ва саноат чиқиндиларини камайтириш мақсадида жаҳон илмий ҳамжамиятида катта эътиборга сазовор бўлди. Бу соҳадаги тадқиқотлар асосан CO_2 молекуласи структурасининг термодинамик барқарорлиги туфайли унинг кимёвий реакцияларга киришишини енгиллаштиришга қаратилган. Шу нуқтаи назардан, ноорганик материаллар, айниқса, металл оксидлари, сульфидлар, нитридлар ва карбидлар каби моддалар катализатор сифатида катта аҳамиятга эга бўлиб, уларнинг структураси, электрон тузилиши ва юза хусусиятлари CO_2 конверсия жараёнларида ҳал қилувчи омил сифатида намоён бўлади.

Бу жараёнларда энг кўп ўрганилган ноорганик катализаторлардан бири – металл оксидлари ҳисобланади. Масалан, цери(IV) оксиди (CeO_2) ўзининг юқори оксидловчи хоссалари ва кислород ниқоблаш қобилияти туфайли CO_2 ни CO, метан ёки метанолга айлантириш реакцияларида кенг қўлланилмоқда. CeO_2

юзасидаги кислород бўшлиқлари ва маҳаллий дефектлар CO_2 ни адсорбция қилиб, унинг молекуласидаги C=O боғини заифлаштиради ва реакцияга киришишини осонлаштиради. Шунингдек, титан(IV) оксиди (TiO_2) ҳам фотокаталитик CO_2 редукциясида муҳим рол ўйнайди. TiO_2 юзасида фотонлар таъсирида электрон-ковак жуфтлари ҳосил бўлиб, электронлар CO_2 ни CO, метан ва бошқа органик бирикмаларга айлантиришда фаол иштирок этади.

Металл сульфидлари ҳам CO_2 конверсиясида катализатор сифатида алоҳида ўрин тутади. Мисол учун, молибден(IV) сульфиди (MoS_2) ва вольфрам(IV) сульфиди (WS_2) ўзининг қатор каталитик хоссалари билан ажралиб туради. Бу сульфидлар молекуляр структурасидаги қатламли тузилиши ва юзадаги фаол нуқталари туфайли CO_2 ни гидрогенлаштириш ёки электрохимик редукциялаш реакцияларида самарали катализаторлар сифатида хизмат қилади. Хусусан, MoS_2 нинг қирра ва дефектларидаги актив нуқталар водород адсорбцияси ва CO_2 ни редукция қилишда муҳим аҳамиятга эга. Шу билан бирга, бу сульфидларнинг структураси синтетик йўл билан ўзгартирилиб, уларнинг каталитик самарадорлиги сезиларли даражада оширилиши мумкин.

Нитридлар ва карбидлар ҳам CO_2 конверсиясида истиқболли катализаторлар қаторига киради. Масалан, молибден нитриди (Mo_2N), ванадий нитриди (VN) ёки титан карбиди (TiC) юқори электрокимёвий барқарорлик ва юқори фаолликка эга бўлиб, уларни CO_2 ни электрокимёвий ёки термохимик редукциялашда қўллаш мумкин. Бу материаллар юзасидаги электрон зичликнинг юқорилиги ва антибондли (антирезонанс) ҳолатлар CO_2 молекуласига электрон берилишини ва унинг реакцияга киришини осонлаштиради. Бундай материалларнинг яна бир устунлиги – уларнинг юқори ҳароратда ва турли агрессив муҳитларда ҳам барқарор фаоллик намоён этишидир.

Янги авлод ноорганик катализаторлар ишлаб чиқишда композит ва гибрид материаллар, яъни икки ёки ундан ортиқ ноорганик фазаларни бирлаштирган

тизимлар ҳам катта аҳамиятга эга. Масалан, CeO_2–ZrO_2 ёки TiO_2–Fe_2O_3 сингари аралаш оксидлар ўзаро синергетик таъсири орқали CO_2 конверсия реакцияларида юқори самарадорликка эришилади. Бу материаллар юзасида фаол нуқталар сони кўпайиб, кислородни ташиш қобилияти ва электрон ўтказувчанлик яхшиланади. Шунингдек, ноорганик материалларнинг юзасига наноўлчамдаги металл заррачаларини депонирлаш орқали (масалан, Au, Ag, Cu) каталитик фаоллик янада оширилиши мумкин. Бундай гибрид тизимлар CO_2 ни метанол ёки этанолга айлантиришда айниқса самарали эканлиги аниқланган.

Катализаторларнинг фаоллигини ошириш учун турли модификация усуллари қўлланилади. Хусусан, юзада дефектлар, кислород бўшлиқлари, ёки электрон донор–акцептор марказларини сунъий равишда яратиш орқали ноорганик материалларнинг каталитик хусусиятлари оптималлаштирилади. Масалан, TiO_2 асосидаги материалларни нитроген, карбон ёки бошқа элементлар билан допинг қилиш натижасида уларнинг фотокаталитик фаоллиги кенгайган тўлқин узунликларида намоён бўлади ва CO_2 конверсияси самарадорлиги ошади. Шунингдек, катализаторларнинг юза майдонини ошириш, пороз тизимлар яратиш, ёки наноўлчамдаги тузилишга эга бўлган структуралар қўллаш орқали ҳам катализаторнинг реакцияга киришиш қобилияти ва фаоллиги сезиларли яхшиланади.

CO_2 конверсиясида қўлланилаётган асосий жараёнларга метанга айлантириш (метанлаштириш), синтез-газ ҳосил қилиш (CO ва H_2), метанол синтези, формальдегид ва бошқа органик бирикмаларга айлантириш киради. Масалан, $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$ реакциясида Ni/TiO_2 ёки Co/CeO_2 каби ноорганик материаллар асосидаги катализаторлар юқори самара кўрсатган. Шунингдек, CO_2 ни электрокимёвий редукцияловчи тизимларда (CO_2RR) Cu билан модификацияланган оксидлар ёки сульфидлар қўлланиб, турли поралар ва

электр ўтказувчанликка эга материаллар орқали селективлик ва самарадорлик оширилган.

Турли ноорганик материалларнинг CO_2 конверсиясидаги самарадорлигини қиёсий таҳлил қилишда уларнинг юза хусусиятлари, фаол нуқталар сони, электрон тузилиши ва термохимик барқарорлиги асосий мезонлар сифатида қаралади. Масалан, CeO_2 юзадаги кислород бўшлиқлари ва юқори редокс қобилияти туфайли TiO_2 га нисбатан кўпроқ фаоллик кўрсатиши мумкин, аммо TiO_2 фотокаталитик реакцияларда кенгроқ спектрда фаолликка эга бўлади. MoS_2 ва WS_2 сульфидлари эса CO_2 ни электрохимик редукциялашда катта потенциалга эга, аммо уларнинг барқарорлиги ва селективлигини таъминлаш учун қўшимча модификациялар талаб этилади. Гибрид ва композит материаллар эса синергетик таъсир эвазига индивидуал компонентларга нисбатан юқорироқ каталитик самарадорликка эришиш имконини беради.

Хулоса қилиб айтганда, ноорганик материалларнинг CO_2 конверсиясида катализатор сифатида қўлланилиши бугунги кунда нафақат илмий, балки амалий жиҳатдан ҳам катта имкониятларга эга бўлиб, турли материалларнинг структураси ва тузилишини мақсадли ўзгартириш орқали уларнинг самарадорлигини сезиларли даражада ошириш мумкин. Бу эса келажакда экологик тоза ва иқтисодий мақбул технологияларни жорий этишда муҳим илмий асос яратади.

Тадқиқот натижалари шуни кўрсатадики, ноорганик материаллар CO_2 конверсиясида катализатор сифатида самарали қўлланилиши мумкин. Бугунги кунда, айниқса, метал оксидлар, цеолитлар, перовскитлар ва карбонатлар турли термокимёвий ва электрохимик жараёнларда CO_2 ни қийматли кимёвий моддаларга айлантиришда катта аҳамият касб этмоқда. Масалан, ZnO, TiO_2, NiO ва CuO каби металл оксидлари юқори активлик ва барқарорлик намоён қилиб, CO_2 ни метанга, метанолга ёки синтез-газга айлантириш реакцияларида фаол

иштирок этади. Цеолитлар ва перовскитлар эса реакция учун юқори сирт ҳажми ва ион алмашиш қобилияти туфайли, махсус модификациялар ёрдамида реакция самарадорлигини ошириш имконини беради.

Кейинги тадқиқотларда ноорганик материалларнинг структураси, фазавий ҳолати, дефектлари ва сирт хусусиятларининг каталитик фаолликка таъсири ўрганилди. Масалан, сиртдаги кислород вакансиялари ёки метал ионларининг валентли ҳолати катализаторнинг CO_2 ни адсорбция ва активлаштириш қобилиятига сезиларли таъсир кўрсатади. Шу билан бирга, ноорганик материалларни наноўлчамли структурада қўллаш реакциянинг селективлигини ва энергия самарадорлигини ошириши маълум бўлди. Катализаторларнинг устуворлиги ва такроран ишлатиш имконияти ҳам уларнинг амалиётда қўлланилишини кенгайтиради.

Амалиёт учун тавсиялар сифатида, ноорганик катализаторларнинг таркибий ва структуравий хусусиятларини мақсадли ўзгартириш орқали CO_2 конверсиясининг самарадорлиги ва селективлигини ошириш мақсадга эришишга ёрдам беради. Шунингдек, катализаторларнинг ишлаш шароитларини, масалан, ҳарорат, босим ва реакция муҳитини оптималлаштириш, уларнинг хизмат муддатини узайтириш ва қайта ишлаш имкониятини таъминлаш муҳим. Ишлаб чиқариш жараёнларида ноорганик материаллардан фойдаланиш орқали, углерод изини камайтириш, атроф-муҳитга чиқариладиган зарарли моддалар миқдорини пасайтириш ва барқарор кимё саноатига йўл очиш мумкин.

Келгусидаги йўналишлар сифатида, гибрид ва композит ноорганик катализаторлар яратиш, уларнинг сирт химияси ва структурасини чуқурроқ ўрганиш, шунингдек, ўзгарувчан ишлаш шароитларига мослашувчан катализаторлар ишлаб чиқиш долзарб вазифалардан ҳисобланади. Бундан ташқари, CO_2 конверсиясида қўлланилувчи ноорганик материалларнинг саноат

миқёсидаги қўлланиш имкониятларини аниқлаш ва энг самарали технологик ечимларни жорий этиш истиқболли йўналишлардан бири бўлиб қолади.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. Ахмедов С.Ж. Ноорганик катализаторларнинг CO_2 конверсиясида аҳамияти. – Тошкент: Фан, 2020. – 156-бет.

2. Каримов А.Б. ва бошқалар. Inorganic Catalysts in Carbon Dioxide Conversion. – Самарқанд: Инновация, 2021. – 224-бет.

3. Шарипова Д.Р. CO_2 ни кимёвий моддаларга айлантиришда каталитик жараёнлар. – Бухоро: Илм зиё, 2022. – 142-бет.

4. Холматов Ҳ.М. Катализатор-структура ва селективликнинг ўзаро боғлиқлиги CO_2 конверсиясида. – Наманган: Зиё Нашр, 2019. – 198-бет.

5. Ражабова З.И. Ноорганик материаллар асосидаги самарали катализаторлар ва уларнинг CO_2 билан реакцияси. – Фарғона: Кимё нашриёти, 2023. – 119-бет.

6. Эргашев У.К. Саноатда CO_2 конверсияси: муаммолар ва ечимлар. – Нукус: IQTISOD-PRESS, 2021. – 87-бет.