



CU/ZNO KATALIZATORLARIDA METHANOL OLISH

*Qo'yboqarov Oybek Ergashovich**Qarshi davlat texnika universiteti dotsenti*

Annotatsiya: Bizning natijalarimiz Cu va ZnO ning interfeysdagi sinergiyasini ta'kidlaydi, bu esa format oraliq mahsulotlar orqali metanol sintezini osonlashtiradi. Hozirgi vaqtda sanoatda CO_2 ni metanolga gidrogenlash uchun ($\text{CO}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$) (1-3) ishlatiladigan etakchi katalizatorlar Cu / ZnO / Al_2O_3 dir. Cu / ZnO (4-7) dagi faol joylarning tabiatini tushunishga urinishlar ZnO ning roli haqida munozaralarga olib keldi (8). Imkoniyatlardan biri shundaki, interfeysda Cu va ZnO o'rtasida yaqin sinergiya mavjud bo'lib, u erda ZnO strukturaviy modifikator, vodorod rezervuari yoki bog'lanishni faollashtirish uchun bevosita promouter sifatida harakat qilishi mumkin (4, 9-11). Boshqa imkoniyat shundaki, yuqori faol ZnCu qotishmasi ZnO ni qisman kamaytirish yoki Cu ni metall Zn bilan bezash orqali hosil bo'ladi. Yaqinda o'tkazilgan tajribada ZnCu silikatining Cu/ZnO (7) ga qaraganda yuqori faolligi kuzatilgan bo'lsa-da, eksperimental texnikadagi cheklovlar tufayli umumiy reaksiyani katalizlovchi tizimning yuqori qatlamidagi joylar haqida kam ma'lum edi. Sirtidagi faol joylarni tasvirlash uchun Cu/ZnO(000 $\bar{1}$) (15) yoki Zndecorated Cu(211) pog'onali qirralarning (5, 16) CO_2 dan metanol sintezini mexanik tushunishni ta'minlash uchun nazariy hisob-kitoblar amalga oshirildi.

kalit so'zlar: CO_2 , Cu/ZnO/ Al_2O_3 katalizator, metan, is gazi, vodorod, sintez gaz, nekil, cobalt, katalizator, oksidlash, suv bug'i.

Kirish

Yaqinda o'tkazilgan transmissiya elektron mikroskopiyasi (TEM) tadqiqoti sanoat Cu/ZnO/ Al_2O_3 katalizatorida Cu/ZnO/ Al_2O_3 katalizatorida Cu zarralari ustida katalitik faol metaloksid interfeysini (17) hosil qilishi mumkin bo'lgan reaksiya sharoitida (4) ZnO qatlam hosil bo'lishini aniqladi. Bu erda biz rentgen fotoelektron spektroskopiyasi (XPS) o'lchovlari, zichlik funktsional nazariyasi (DFT) hisoblari va



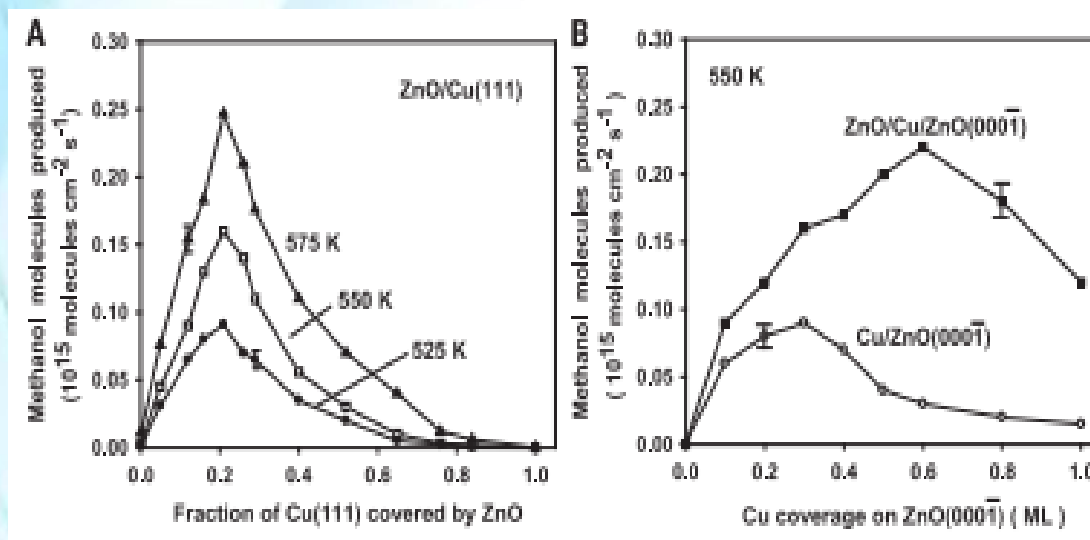
kinetik Monte-Karlo (KMC) simulyatsiyalaridan foydalangan holda CO_2 gidrogenatsiyasi paytida ZnCu va ZnO / Cu model katalizatorlarini metanolga to'g'ridan-to'g'ri taqqoslash haqida xabar beramiz. . Eksperimental ravishda Cu(111), ZnCu(111), ZnO/Cu(111), Cu/ZnO(000 $\bar{1}$) va ZnO/Cu/ZnO(000 $\bar{1}$) model tizimlari tizimli taqqoslash uchun sintez qilindi. Nazariy jihatdan, ilgari aniqlangan ZnCu qotishmasi uchun faol faza bo'lgan ZnCu (211) va ZnO / Cu (111) o'rtasida to'g'ridan-to'g'ri mexanik taqqoslash amalga oshirildi. Shunday qilib, yaxshi tavsiflangan model yuzalarida tajribalar Cu/ZnO katalizatorlari orqali metanol sintezi bo'yicha oldingi eksperiment-nazariy qo'shma tadqiqotlarga qaraganda faol joylar haqida ko'proq ma'lumot beradigan nazariy hisoblar bilan kuchli bog'lanishi mumkin. ZnCu (111) va ZnO/Cu (111) model sirtlari ZnCu qotishmasini va TEM (4-6) bilan ilgari kuzatilgan teskari ZnO/Cu motivini simulyatsiya qilish uchun sintez qilingan (18). Toza Cu(111) substrat uchun 4,5 atm H_2 va 0,5 atm CO_2 bosimi ostida 575 K da, aylanish chastotasi (TOF) 0,006 molekula sayt-1 s⁻¹ metanol sintezi uchun aniqlandi. polikristalli mis uchun 0,008 qiymatiga yaqin va qiymatidan 5 baravar kichikroq. Cu(110) uchun 0,032 molekula joyi – 1 s⁻¹ ma'lum qilingan, xuddi shunday sharoitlarda (19). Bu natija ochiqroq Cu(110) sirt Cu(111) (19) ga nisbatan faolroq degan gipotezaga mos keladi. Barcha holatlarda Cu(111) ($0,1 \times 10^{13}$ dan $1,1 \times 10^{13}$ CH_3OH molekulari sm^{-2} s⁻¹) da juda past metanol hosildorligi kuzatildi. 1A-rasmda ko'rsatilganidek, ZnO mis substratga yotqizilgandan so'ng katalitik faollik ortdi, u ~0,2 monoqatlamda (ML) maksimal darajaga yetdi va keyinchalik ZnO qoplamining ortishi bilan pasaydi, bu oksidning cho'kishida kuzatilgan xatti-harakatlarga o'xshaydi. polikristall ustida Shunday qilib, metanol ishlab chiqarishni kuchaytirish uchun ZnO va Cu joylarini ta'sir qilish yoki ZnO-Cu interfaol saytini optimallashtirish talab qilinadi. CO_2 ni gidrogenlash jarayonida teskari suv-gaz almashinuvi (RWGS) reaksiyasi orqali ko'p miqdorda CO hosil bo'ladi (19, 20). CO ni ishlab chiqarish uchun (S1-rasm) $\text{CO}_2 \rightarrow$ metanol konversiyasi bilan bir xil tendentsiyalar topildi. ZnO nanozarrachalarini (NP) Cu(111) ga joylashtirgandan so'ng, reaksiya tezligi misning eng reaktiv yuzasi Cu(110) (19) ga nisbatan 5-18 baravar tez bo'ldi. Tayyorlangan ZnO/CuOx/Cu(111) tizimlari (18) reaksiyadan keyin ZnO/Cu(111) ga aylantirildi. S2-rasmda reaksiyadan



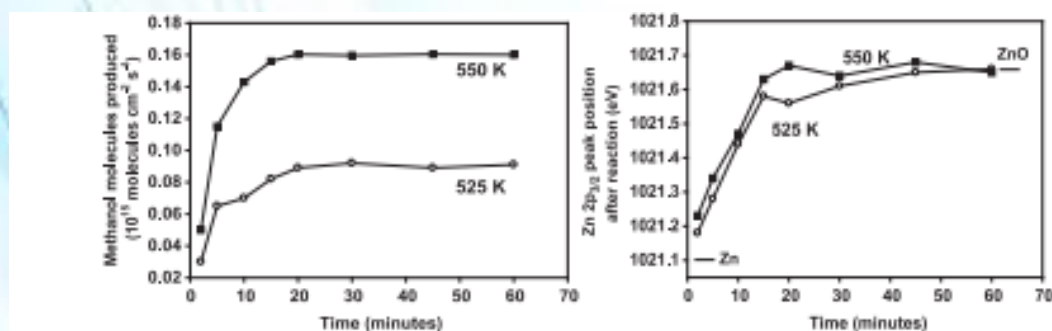
so'ng to'plangan odatiy Zn 2p_{3/2} XPS spektrlari ko'rsatilgan va o'lchangan tepalik holati 1021,6 eV ga yaqin. Zn²⁺ uchun diapazon 1021,6 dan 1021,7 eV gacha, Zn⁰ uchun esa 1021,1 eV (20, 21). Shunday qilib, H₂ ga boy bo'lgan CO₂ / H₂ reaksiyasi ostida ZnO / Cu tizimi barqaror edi va ZnO / Cu → ZnCu transformatsiyasi uchun hech qanday belgi ko'rinmadi. Biz metanol ishlab chiqarish uchun ishlatiladigan odatdagi haroratlarda ZnO / Cu (111) katalizatorlarini 20 atm H₂ ga ta'sir qildik va gazni havoga ta'sir qilmasdan evakuatsiya qilgandan so'ng, XPS o'lchovlarida ZnO ning kamayganini aniqlamadik. Bizning tadqiqotlarimiz shuni ko'rsatdiki, ZnCu (111) sirtlari reaksiya sharoitida barqaror emas, chunki Zn oxir-oqibat ZnO ga aylanadi. Bu natija polikristalli mis (20) bo'yicha Zn uchun oldingi tadqiqotga mos keladi. 2A-rasmda ko'rsatilganidek, 525 va 550 K da, Cu(111) ning 0,2 ML Zn bilan qoplangan faolligi dastlab past bo'lgan va vaqt o'tishi bilan 0,2 ML ZnO uchun 1A-rasmda ko'rsatilgan qiymatlarga to'g'ri kelguncha ortib bordi. Cu (111) bo'yicha. 2B-rasmdagi XPS o'lchovlariga ko'ra, bunday faollik o'zgarishi, ~1021,1 eV (Zn) bog'lanish energiyasidan 1021,65 eV gacha bo'lgan ma'lum bir reaksiya vaqtidan keyin o'lchangan mos keladigan Zn 2p_{3/2} tepalik pozitsiyalarining siljishi bilan birga keldi. ZnO). Zn → ZnO transformatsiyasi metanol ishlab chiqarish uchun katalitik faollikning oshishi bilan birga keldi va CO₂ ning metanolga aylanishi uchun optimal tarkib ZnO / Cu (111) edi. Shuningdek, Cu/ZnO(000 $\bar{1}$) va ZnO/Cu/ZnO(000 $\bar{1}$) katalizatorlarida CO₂ → metanol konversiyasini ham tekshirdik. Cu/ZnO(000 $\bar{1}$) katalizatorlari (22) da tasvirlangan metodologiyaga muvofiq tayyorlangan. Mis ZnO ning O-sonli (000 $\bar{1}$) yuzida o'sib, past qoplamada (<0,15 ML) ikki o'lchovli (2D) zarrachalarni va yuqori qoplamada 3D zarrachalarni hosil qiladi (23). 1B-rasmda Cu/ZnO(000 $\bar{1}$) da 550 K da metanol ishlab chiqarish natijalari ko'rsatilgan. Toza ZnO yuzasi Cu mavjud bo'lgunga qadar faol emas edi. ZnO (000 $\bar{1}$) ga to'plangan Cu ning kichik zarralari burchak yoki chekka atomlarining yuqori konsentratsiyasi tufayli eng faol bo'lgan. 1B-rasmdagi eng yaxshi Cu/ZnO(000 $\bar{1}$) katalizatori 1A-rasmdagi eng yaxshi

Tadqiqot usuli: ZnO/Cu(111) teskari katalizatoridan pastroq faollikni ko'rsatdi. ZnO NP larning mavjudligi ZnO-Cu o'zaro ta'sirini osonlashtirdi. Ushbu

turdagi o'zaro ta'sirni olish va chang katalizatorlari uchun TEM tasvirlari bilan kuzatilgan ZnO/Cu/ZnO konfiguratsiyasiga taqlid qilish uchun (4), biz Cu/ZnO(000 $\bar{1}$) yuzasiga 0,4 ML ZnO bug'ini yotqizdik.



1-rasm. CO₂ ning metanolga aylanishi. (A) Cu(111) dagi CO₂ ning metanolga aylanish tezligi rux oksidi bilan qoplangan metall sirtining ulushiga bog'liq. Reaksiya shartlari: T (harorat) = 525, 550 yoki 575 K; PH₂ (H₂ ning qisman bosimi) = 4,5 atm; PCO₂ (CO₂ ning qisman bosimi) = 0,5 atm. (B) (pastki iz) 550 K, PCO₂ = 0,5 atm, PH₂ = 4,5 atm da Cu/ZnO(000 $\bar{1}$) sirtlarida metanol ishlab chiqarish stavkalari. (Yuqori iz) Cu/ZnO(000 $\bar{1}$) yuzalarga 0,4 ML ZnO yotqizilganidan keyin o'lchangan stavkalar.



2-rasm. Zn ning ZnO ga aylanishi. (A) ZnCu(111) da CO₂ ning metanolga aylanish tezligi reaksiya vaqtiga bog'liq. Mis substrat oldindan 0,2 ML metall Zn bilan qoplangan. Reaksiya shartlari: T = 525 (doira) yoki 550 K



(kvadrat), $P_{H_2} = 4,5 \text{ atm}$, $P_{CO_2} = 0,5 \text{ atm}$. (B) Zn/Cu(111) katalizatorida CO_2 gidrogenatsiyasini amalga oshirgandan so'ng o'lchangan Zn 2p_{3/2} XPS bog'lanish energiyalari.

ZnO teskari oksid/metall katalizatorlarini hosil qilish uchun ZnO(000 $\bar{1}$) substratega ham, Cu NPlariga ham tushishi mumkin. Cu/ZnO(000 $\bar{1}$) dan ZnOCu/ZnO(000 $\bar{1}$) ga o'tganda katalitik faollikning o'sishi va maksimalning yuqori Cu darajada siljishi sodir bo'ldi (1B-rasm), bu teskari tizimlarning ahamiyatini ko'rish. va Cu/ZnO katalizatorlarida metanol sintezi uchun faol ZnO-Cu interfeysining teginish. Yuqori bosimli reaktorda eng faol ZnO/Cu/ZnO(000 $\bar{1}$) katalizatorlarini 20 atm H_2 ga 525 dan 575 K gacha bo'lgan haroratda ta'sir qilgandan so'ng, biz reaksiyadan keyingi XPS o'lchovlarida ZnO kamayishi belgilarini topmadik. ZnCu(111) va ZnO/Cu(111) model katalizatorlarida CO_2 dan metanol sintezi haqida qo'shimcha mexanik tushunchaga ega bo'lish uchun ZnCu (5) qotishmalarini tavsiflash uchun ZnCu(211) da DFT hisoblari (18) amalga oshirildi (3A-rasm). va Zn₆O₇H₇/Cu(111) (3B-rasm) ni modellash uchun ZnO-Cu interfeysi (3). Oldingi tadqiqotlardan so'ng (3, 5, 22, 24-26), bizning hisob-kitoblarimizda CO_2 ni metanolga aylantirish uchun ikkita asosiy reaksiya yo'llari ko'rib chiqildi: (i) CO oraliq mahsulotini ishlab chiqarish uchun RWGS reaksiyasi, so'ngra uning metanolga gidrogenlanishi (RWGS + CO gidro yo'li) va (ii) CO_2 ning *HCOO oraliq mahsulotiga dastlabki gidrogenlanishi, so'ngra uning gidrogenlanishi va metanolga dissotsiatsiyasi (element yo'li uchun) Oldingi hisob-kitoblarga muvofiq (5), hozirgi DFT natijalari, shuningdek, metanol sintezi uchun RWGS + CO-gidro yo'l orqali *HCOOH, *H₂COOH va *CH₃O oraliq mahsulotlar orqali ZnCu (211) da biroz afzal qilingan format yo'lini ko'rsatadi (1-rasm). 3A). Bu erda CO_2 gidrogenatsiyasi Eley-Rideal (ER) mexanizmi orqali amalga oshirilishi mumkin, chunki Zn-Cu gibrid joyida CO_2 ning noqulay bog'lanishi tufayli sof Cu katalizatorlari (27) uchun bo'lgani kabi (S3-rasm va S1 jadvali). CO RWGS + CO gidro yo'li bo'ylab asosiy mahsulot bo'lishi kutilmoqda va faqat oz miqdordagi *HCO ni format yo'li bo'ylab *CH₃OH ga vodorodlash mumkin. Bundan tashqari, joriy hisob-kitoblar * CO_2 ning *CO + *O ga to'g'ridan-to'g'ri dissotsiyasini ham o'z ichiga oladi. Zn joylarining kuchli kislorodga



yaqinligi *O hosil bo'lishini *HOCO ga gidrogenlashdan ko'ra kinetik jihatdan qulayroq qiladi. Zn-Cu gibrid joyida CO_2 bog'lanishi (rasm S3 va jadval S1). CO RWGS + CO gidro yo'li bo'ylab asosiy mahsulot bo'lishi kutilmoqda va faqat oz miqdordagi *HCO ni format yo'li bo'ylab *CH_3OH ga vodorodlash mumkin. Bundan tashqari, joriy hisob-kitoblar *CO_2 ning $^*CO + ^*O$ ga to'g'ridan-to'g'ri dissotsiyasini ham o'z ichiga oladi. Zn joylarining kuchli kislorodga yaqinligi *O hosil bo'lishini *HOCO [faollashtirish energiyasi (E_a) = 0,99 eV] ga gidrogenlashdan ko'ra kinetik jihatdan qulayroq qiladi va *HCOO (E_a = 0,77 eV) ga gidrogenlanishi bilan raqobatbardosh qiladi. *O ning Zn joylarida *OH (E_a = 1,21 eV) ga gidrogenatsiyasi ancha qiyin bo'lganligi sababli, *O turlari sirtida barqarorlashadi va CO_2 gidrogenlash reaksiyasi paytida ZnO qatlamining shakllanishiga olib keladi. ZnCu(111) uchun tajribalarda ko'rilgan (2A-rasm). ZnO/Cu(111) da CO_2 gidrogenatsiyasida ishtirok etuvchi reaksiya oraliq moddalarini barqarorlashtirish uchun Cu, Zn yoki ikkala joyning sinergiyasi talab qilinadi va ZnO-Cu interfeysi reaksiya uchun bir nechta faol joylarni ta'minlaydi (S4-rasm). CO_2 ZnO/Cu(111) da (3B-rasm) ZnCu(211) da (3A-rasm) xuddi shunday tarzda faollashtiriladi.

Natijalar va ularning muxokamasi: CO_2 ning metanolga gidrogenatsiyasi uchun ustunlik qiladi. RWGS + CO -gidro yo'li bo'ylab, CO hali ham asosiy mahsulot bo'lsa-da, desorbsiya ZnCu (211) ga qaraganda ancha qulaydir, chunki CO bilan bog'lanish zaiflashadi va *HCO ga gidrogenatsiyaga to'sqinlik qiladi (S1 va S2 jadvallari). Eksperimental sharoitda (18) bizning KMC simulyatsiyasi natijalari DFT prognozlariga mos keldi, bu CO_2 gidrogenatsiyasi ikkala tizimda format yo'lini qo'llab-quvvatlaganligini ko'rsatdi. Sof Cu katalizatorlarida *HCOO turlari metanol sintezi uchun faqat tomoshabin sifatida aniqlanadi (28). ZnCu va ZnO/Cu tizimlari uchun Zn yoki ZnO qo'shilishi to'g'ridan-to'g'ri Zn-O o'zaro ta'siri orqali *HCOOH oraliq mahsulotlarni barqarorlashtirishga yordam beradi (S3 va S4-rasmlar) va gidrogenatsiya orqali *HCOO ni faollashtirishga yordam beradi. ZnCu(211) da metanol ishlab chiqarish tezligi juda past va tez parchalanadi (4A-rasm). Birinchidan, past konvertatsiya tezligi *HCOO ning *HCOOH ga faollashtirilgan gidrogenatsiyasi bilan bog'liq (E_a = 1,19 eV). Bundan tashqari, teskari reaksiya, *H

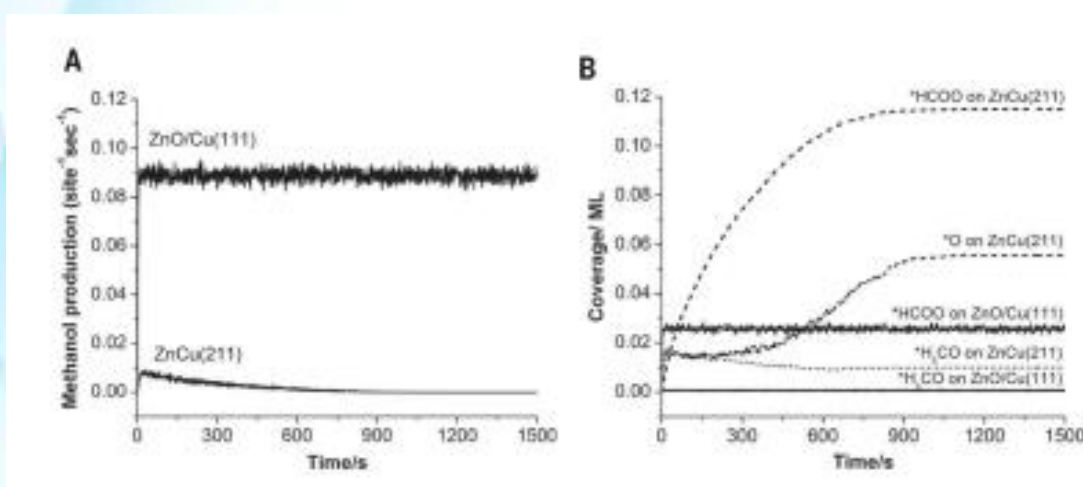


+ $^*\text{HCOO} \rightarrow ^*\text{HCOOH}$, oldinga qaraganda osonroq ($E_a = 0,50 \text{ eV}$) reaksiya. Shunday qilib, $^*\text{HCOOH}$ oraliq mahsuloti barqaror emas, lekin yana $^*\text{HCOO}$ ga parchalanadi. Natijada, kuchli bog'langan $^*\text{HCOO}$ turlari oldingi XPS tadqiqoti va DFT hisob-kitoblari (16, 20) bilan kelishilgan holda, sirt joylarini egallaydi (4B-rasm). Bundan tashqari, metanol ishlab chiqarilishi $^*\text{H}_3\text{CO}$ ning $^*\text{CH}_3\text{OH}$ ($E_a = 1,49 \text{ eV}$) ga gidrogenatsiyasi bilan ham to'sqinlik qiladi, garchi $^*\text{H}_3\text{CO}$ ning to'planishi $^*\text{HCOO}$ (4B-rasm) kabi ko'p bo'lmasa ham. $^*\text{HCOO}$ va $^*\text{H}_3\text{CO}$ ning sirt bilan kuchli bog'lanishi katalizatorni zaharlaydi va vaqt o'tishi bilan metanol ishlab chiqarish kamayadi (4A-rasm). $^*\text{O}$ turlarining to'planishi (4B-rasm) ZnCu(211) ning Zn joylarida $^*\text{CO}_2$ ning $^*\text{CO} + ^*\text{O}$ ga dissotsiatsiyasi bilan bog'liq va gidrogenatsiyaga yuqori faollik to'sig'i bilan yordam beradi. $^*\text{OH}$ ga ($E_a = 1,21 \text{ eV}$), Zn ning ZnO ga aylanishiga olib keladi. ZnO va Cu birikmasi ZnCu (211) ga qaraganda ancha yuqori tezlikda barqaror metanol ishlab chiqarishga olib keladi (1-rasm). ZnCu(211) dagi $^*\text{O}$ turlari bu holda yuzaki zaharlanish agentlari o'rniga promotorlardir. Shunga ko'ra, ZnCu(211) uchun metanol ishlab chiqarish tezligi (4A-rasm) ~ 900 soniyadan keyin $^*\text{O}$ va ZnO hosil bo'lishi sababli ZnO/Cu da kuzatilgan darajaga ko'tarilishi mumkin (4B-rasm).

ZnO/Cu(111) da metanol ishlab chiqarishning kuchayishi oson elementar bosqichlar bilan bog'liq. ZnO/Cu(111) da CO_2 ni metanolga gidrogenlash uchun $^*\text{H}_3\text{CO}$ ning gidrogenatsiyasi ZnCu(211) dagi kabi tezlikni boshqara olmaydi ($E_a = 0,56 \text{ eV}$). Darboğaz $^*\text{HCOO}$ ($E_a = 0,85 \text{ eV}$) va $^*\text{HCOOH}$ ($E_a = 0,90 \text{ eV}$) gidrogenlash reaksiyalari bilan bog'liq va mos keladigan to'siqlar ZnCu (211) ga qaraganda ancha past. ($E_a = 1,49 \text{ eV}$) ZnO/Cu(111) yuzasida faqat $^*\text{HCOO}$ turlari ham kuzatiladi va Zn dan ZnO ga o'tish natijasida bog'lanishning zaiflashishi tufayli ishlg'ol qilingan joylarning umumiy miqdori ZnCu (211) ga nisbatan past (4B-rasm) (jadval S1) Bundan tashqari, DFTda aniqlangan faol ZnO-Cu interfeysi Cu(111) da metanol ishlab chiqarish va ZnO qoplami o'rtasidagi vulqon tendentsiyasini ham tushuntiradi (1A-rasm). Bunday kuzatish, shuningdek, oldingi tadqiqotlar bilan yaxshi mos keladi, bu yuqori metanol sintezi faolligi Cu va ZnO NPlarining kombinatsiyasi bilan bog'liqligini ko'rsatadi (6, 29, 30). Shunga ko'ra, ZnCu (5, 6, 12-

14, 31) hosil bo'lishi bilan metanol ishlab chiqarishning ilgari kuzatilgan o'sishi, ehtimol, reaksiya ostidagi mis yuzasining yuqori qatlamida Zn joylari va shuning uchun ZnO ning quduq dispersiyasi bilan bog'liq. sharoitlar, natijada faol ZnO-Cu maydonlarining ko'payishi va oxir-oqibat metanol ishlab chiqarish.

3-rasm. Potensial energiya diagrammasi. RWGS + CO-gidro va format yo'llari orqali (A) ZnCu(211) va (B) ZnO/Cu(111) da $\text{CO}_2(\text{g})$ ning $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ ga gidrogenatsiyasi uchun potensial energiya diagrammasi. ts, o'tish holati. (Inset) ZnCu(211) (A) va ZnO/Cu(111) (B) da $^*\text{HCOO}$ tuzilmalari. Cu, jigarrang; Zn, ko'k; O, qizil; H, oq; C, kulrang



4-rasm. CO_2 gidrogenatsiyasi uchun KMC simulyatsiyalari. (A) 525 K da ZnCu(211) va ZnO/Cu(111) da metanol ishlab chiqarish tezligi va H_2 va CO_2 (PH_2/PCO_2) qisman bosimining nisbati 9:1. (B) Reaksiya sharoitida ZnCu(211) va ZnO/Cu(111) da sirt reaksiyasi oraliqlarini qoplash.

XULOSA

Metanni karbonat angidridi bilan katalizatorlar ishtirokida gaz fazada katalitik karbonatlash reaksiyasi o'tishining maqbul sharoitini topish uchun jarayonga turli omillar: jarayonning katalizatorlar ishtirokida katalitik o'zgarishi va tanlab ta'sir etuvchanligi, $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ nisbati, harorat, boshlang'ich moddalar hajmiy tezliklari, maqsadli mahsulotlar unumi, shuningdek katalizator faolligiga turli promotorlarning ta'siri o'rganildi.

ADABIYOTLAR

1. Kuyboqarov O., Anvarova I., Abdullayev B. RESEARCH OF THE CATALYTIC PROPERTIES OF A CATALYST SELECTED FOR THE PRODUCTION OF



HIGH-MOLECULAR WEIGHT LIQUID SYNTHETIC HYDROCARBONS FROM SYNTHESIS GAS //Universum: технические науки. – 2023. – №. 10-7 (115). – С. 28-32.

2. Kuyboqarov O., Egamnazarova F., Jumaboyev B. STUDYING THE ACTIVITY OF THE CATALYST DURING THE PRODUCTION PROCESS OF SYNTHETIC LIQUID HYDROCARBONS //Universum: технические науки. – 2023. – №. 11-7 (116). – С. 41-45.

3. Муртазаев Ф.И., Неъматов Х.И., Бойтемиров О.Э., Куйбакаров О.Э., & Каршиев М.Т. (2019). ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ СЕРЫ И НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ДЛЯ ДОРОЖНЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ. Международный академический вестник, (10), 102-105.

4. Муртазаев Ф.И., Неъматов Х.И., Бойтемиров О.Э., Куйбакаров О.Э., & Каршиев М.Т. (2019). ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИНТЕЗИРОВАННЫХ ОЛИГОМЕРОВ ДЛЯ ОБЕССЕРИВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА ОТ СЕРОВОДОРОДА. Международный академический вестник, (10), 105-107.

5. Boytemirov O., Shukurov A., Ne'matov X., & Qo'yboqarov O. (2020). Styrene-based organic substances, chemistry of polymers and their technology. Результаты научных исследований в условиях пандемии (COVID-19), 1(06), 157-160.

6. Куйбокаров О., Бозоров О., Файзуллаев Н., Хайитов Ж., & Худойбердиев И.А. (2022, June). Кобальтовые катализаторы синтеза Фишера-Тропша, нанесенные на Al₂O₃ различных полиморфных модификаций. In E Conference Zone (pp. 349-351).

7. Куйбокаров О.Э., Бозоров О.Н., Файзуллаев Н.И., & Нуруллаев А.Ф.У. (2022). КАТАЛИТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ СИНТЕЗ-ГАЗА В ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОМ КАТАЛИЗАТОРЕ. Universum: технические науки, (1-2 (94)), 93-103.

8. Куйбокаров О.Э., Бозоров О.Н., Файзуллаев Н.И., & Хайдаров О.У.У. (2021). СИНТЕЗ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ УГЛЕРОДОВ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКОГО



ГАЗА ПРИ УЧАСТИИ СО-FE-NIZRO₂/ВКЦ (ВЕРХНИЙ КРЫМСКИЙ ЦЕОЛИТ). *Universum: технические науки*, (12-4 (93)), 72-79.

9. Куйбоқаров О.Э., Шобердиев О.А., Рахматуллаев К.С., & Муродуллаева Ш. (2022). ПОЛИОКСИДНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАНА В СИНТЕЗ ГАЗ. *Central Asian Research Journal for Interdisciplinary Studies (CARJIS)*, 2(5), 679-685.

10. Rustamovich O.N., Ergashovich K.O., Khujanazarovna K.Y., Ruzimurodovich K.D., & Ibodullaevich F.N. (2021). Physical-Chemical and Texture Characteristics of Coate-Fe-Ni-ZrO₂/YuKS+ Fe₃O₄+ d-FeOON. *Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry*, 12(3).

11. О.Э.Куйбокаров.,Т.Х.Сайфуллаев Конверсия метана в карбонат на молибденовых и цирконийных катализаторах *Universum: технические науки*. Выпуск: 12(117) Декабрь 2023 год.

12. О.Э.Куйбокаров. Контроль качества препарата самарий^{153sm}-оксобифор *Universum: технические науки*. Выпуск: 3 (120) март 2024 год.

13. Qo‘yboqarov O.E. Metanni karbonatli konversiyalanishi Sanoatda raqamli texnologiyalar 2(1). (2024).

14. Oybek Kuybokarov, Muradulla Karshiyev, Ganisher Rakhimov, Research of the catalytic properties of a catalyst selected for the production of high-molecular weight liquid synthetic hydrocarbons from synthesis gas E3S Web Conf. III International Conference on Actual Problems of the Energy Complex: Mining, Production, Transmission, Processing and Environmental Protection (ICAPE2024) Volume 498, 2024.