



BO'YOQLAR BILAN IFLOSLANGAN SUV TOZALASH UCHUN JUDA KICHIK NANOPORALARGA EGA SiOC/ZNO NANOKOMPOZITDAN OLINGAN POLIMER.

Mingyosharova R.

Email: ranominyosharova1994@gmail.com

**Temirov S.
Xamidov A.**

(PhD).

Safarov A.

Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7830817>

ARTICLE INFO

Qabul qilindi: 05-april 2023 yil

Ma'qullandi: 10-april 2023 yil

Nashr qilindi: 15-april 2023 yil

KEY WORDS

Eng past MB adsorbsiyasi SiOC keramikasi va MB uchun qayd etilgan SiOC/ZnO nanokompozitining adsorbsiyasi ZnO tarkibining ortishi bilan monoton ravishda kamaydi. MB degradatsiyasi uchun SiOC matritsasiga ZnO nano kukunlarini kiritish orqali g'ovakli SiOC keramikasining fotokatalitik faolligi sezilarli darajada oshadi.

ABSTRACT

Suvni zararsizlantirish uchun polimerdan olingan mezoporozli SiOC/ZnO nanokompoziti Tijoriy vinil-funksional polisiloksanga ZnO nano kukunlarini oddiy mexanik kiritish, so'ngra 700 OC da 2 soat davomida piroliz qilish. Tayyorlangan nanokompozitsiya bilan tavsiflangan X-nurlari kukuni diffraksiyasi, skanerlash elektron mikroskopiyasi (SEM), transmissiya elektron mikroskopiyasi (TEM), azot fizisorbtsiyani o'lchash va UV-vizion spektroskopiya.

Yuqori ajoyib tekstura xususiyatlari tufayli o'ziga xos sirt maydoni, katta g'ovak hajmi va tor g'ovak hajmi taqsimoti, mezoporli materiallar so'nggi o'n yillikda qizg'in tadqiqot e'tiborini tortdi. Mezoporli materiallarda bo'shliq, bo'shliqlarining o'lchamlari, shakllari va hajmlarining taqsimlanishi adsorbsiya, kataliz (kislota katalizatorlari, suyuq fazali oksidlanish-qaytarilish katalizatorlari, selektiv katalitik qaytarilish va boshqalar), ajratish kabi turli istiqbolli ilovalar uchun ulkan imkoniyatlarni ko'rsatadi. Sezish, tibbiyot, elektronika, optika, biologik foydalanish va boshqalar [1-3]. IUPAC tasnifiga ko'ra, mezoporozlik diametri 2-50 nm oralig'ida aniqlanadi. Yanagisasha va boshqalar. [4] birinchi bo'lib alkiltrimetilamoniy-kanemit komplekslarini tayyorlash va ularni alkiltrimetilammoniy ionlaridagi alkil zanjirining uzunligi bilan g'ovak o'lchamlari ortib boradigan kremniy asosidagi mezoporli materiallarga aylantirish haqida xabar berdi. Keyinchalik Mobil tadqiqot va ishlanmalar korporatsiyasi olimlari mezoporli materiallarni topdilar, shu jumladan, olti burchakli -MCM-41 [5,6] va kub-MCM-48 [7], katta bir xil g'ovak tuzilmalari, yuqori o'ziga xos sirt maydonlari va o'ziga xos

g'ovaklarga ega. Musbat zaryadlangan to'rtlamchi ammoniy mitsellalari va noorganik anionlar o'rtasidagi elektrostatik o'zaro ta'sirni o'z ichiga olgan o'z-o'zini yig'ish jarayonidan olingan. Bu ishlar quyidagi, ko'p oilalar mezoporli materiallar, shu jumladan HMS [8], MSU [9], SBA [10], FDU [11], KIT [12], HOM [13], AMS [14] va boshqalar hozirgacha ishlab chiqilgan turli sirt faol moddalar, ko-sirt faol moddalar yordamida amalga oshirilmoqda. Biroq, Ushbu mezoporli materiallarning sintezi ko'p jihatdan sirt faol moddalar mitsellalariga va suyuq kristallarga tayanadi. Noorganik prekursorlarni yig'ish va bir vaqtning o'zida kondensatsiya qilish, keyin oraliq haroratda kalsinatsiya qilinadi. Mezoporli materiallarning kashf etilishi, o'z navbatida, adsorbsiya va kataliz sohasida yangi davrdir.

Xususan, mezoporozli kremniy oksidi boshqa mezoporli metall oksidlariga nisbatan juda yuqori o'ziga xos sirt maydoniga ega va turli adsorbatlar uchun yaxshi adsorbsiya qobiliyatiga ega bo'lishi mumkin. Biroq, sof kremniyli mezoporli materiallar kimyoviy jihatdan inert silikat ramkaga ega va shuning uchun kislotali joylar mavjud emas [15]; ular kislotali joylarni talab qiladigan adsorbatlarni parchalash uchun ishlatilmaydi. Proton berish yoki elektron juftini qabul qilish tendentsiyasiga ega bo'lgan qattiq kislotalar sifatida, uning kislotali kuchini oshirish uchun bir qator metall oksidlari (UV va ko'rinadigan yorug'likka sezgir yarimo'tkazgichlar past adsorbsiya qobiliyatiga ega) mezoporoz kremniy oksidi bilan birlashtirildi. Ya'ni sirtning adsorbsiyalangan neytral asosni konjugat kislotaga aylantirish qobiliyati amalga oshirildi. [16]. Mezoporoz kremniy matritsada adsorbsiyalangan organik bo'yoq molekularining fotodegradatsiyasi metall oksidlarining ultrabinafsha nurlanishi yoki ko'rinadigan yorug'lik bilan yoritilishi orqali amalga oshirilishi mumkin. Mezopor matritsada. Masalan, TiO_2 tarkibiga kiritilgan organik adsorbatlar va CO ning parchalanishi uchun mezoporoz silika oksidlanadi [17,18]. Yuqori ZnO yuklanishiga (38% gacha) erishish mumkin edi. U holda mezoporoz xost materiallari (MCM-41 va SBA-15) ustida qo'llab-quvvatlovchi materialning strukturaviy xususiyatlarining buzilishiga olib keladi. Bu esa ZnO/SBA-15 ning ZnO/MCM-41 ga nisbatan yuqoriroq fotokatalitik faolligi ZnO ning kristall hajmining kichikligi va SBA-15 ning g'ovakli xususiyatlari tufayli aniqlandi [19]. Fe_3O_4 qoplangan mezoporoz kremniy nanozarrachalari yaxshi dispersli xarakterga ega suvli eritma ishlab chiqildi va nanog'ovakli tarmoq keyingi davr uchun yetarli miqdordagi dori-darmonlarni olib yurishga imkon berdi. [20]. Jiang va boshqalar. [21] ko'rinadigan yorug'lik oralig'ida yuqori fotokatalitik faollikka ega sharsimon MCM-48 mezoporli molekulyar yuklangan Bi_2WO_6 nanozarrachalarini sintez qildi. SBA-15 [22] uchun volfram oksidi turlari yuklanganda kuchli Bronsted va Lyuis kislotali joylari mavjudligi siklopentenning (CPE) glutaraldegidga selektiv oksidlanishi uchun katalitik samaradorlikni oshirdi. Strunk va boshqalarning [23] fikriga ko'ra, seriya tarkibiga kiritilgan mezoporoz kremniy oksidi istiqbolli material bo'ladi, chunki seriya nanozarralari kamaytiruvchi sharoitlarda barqaror bo'ladi va kompozitsiyada katta o'zgarishlarsiz qaytarilish va qayta oksidlanish bir necha marta takrorlanishi mumkin. Qalay bug'ini kamaytirish usuli bilan tayyorlangan SnO_2 /mezoporozli kremniy dioksid xona haroratida lyuminestsent materialdir. UV nurli qurilmalarda potentsial qo'llanilishi mumkin [24]. U fotokatalitik xususiyatlarni yaxshilashga qo'shimcha ravishda, metall oksidlarining yuqori o'ziga xos sirt maydoniga qo'shilishi mezoporoz qo'llab-quvvatlashning termal va mexanik barqarorligini oshirish uchun zarurdir. Shuningdek, adabiyot so'rovi shuni ko'rsatdiki, mezoporoz fotokatalizatorlar va/yoki in situ sintezlangan fotokatalizatorlar g'ovakli tayanchda kristallik darajasining pastligi tufayli qandaydir darajada ahamiyatsiz

fotokatalitik faollikni ko'rsatdi. ZnO o'zining katta to'g'ridan-to'g'ri tarmoqli bo'shlig'i qiymati (3,37 eV) va muhim qo'zg'atuvchini bog'lash energiyasi (60 meV) [25] tufayli alohida qiziqish uyg'otadi, bu esa xona haroratida ham (25 meV) eksitonik emissiyani sezilarli darajada oshirishga imkon beradi [26]. Boshqa katalizatorlar bilan solishtirganda, ZnO bir qator qulay xususiyatlarga ega: yuqori optik o'tkazuvchanlik, kuchli xona haroratida ko'k-ultrabinafsha nurlanish, yuqori elektron harakatchanligi, piezoelektriklik, kimyoviy barqarorlik, nihoyat, arzonroq va ekologik toza [27].

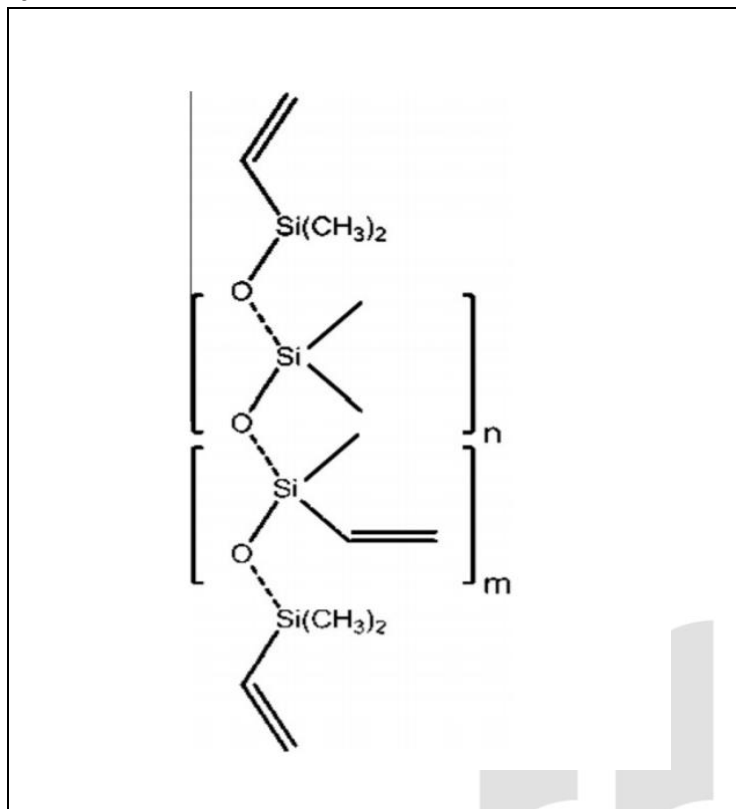
Polimerdan olingan keramikada (PDC) polimerdan keramikaga transformatsiya odatda gazsimon mahsulotlarning chiqishiga olib keladi va turli xil teshiklarni qoldiradi [28,29]. Shunday qilib, yuqori o'ziga xos sirt maydoni va mezoporozligi bo'lgan polimerdan olingan keramika mahsulotlari adsorbsiya va katalizatorlarni qo'llab-quvvatlash sohalarida qo'llanilishi uchun qiziqarli nomzod materiallardir [30]. Hozirgacha turli tizimlarda (SiC, SiCN, SiBN, SiBCN va SiOC) ko'plab mezoporli polimerlardan olingan keramika turli xil prekeramika polimerlaridan, xususan, polikarbosilan [31], allilgidridpolikarbosilan [32], poliureametilvinilsilazan [3], poliureametilvinilsilazan [3] dan ishlab chiqilgan. [34], polivinilsilazan-blok-polistiroil [35], dimetildixloresilan va metiltrikloresilan [36], tris(dimetilamino)sililamin [37], diklormetil vinilsilan [38] va karbosilazan [39]. Ushbu prekeramika polimerlaridan foydalangan holda, mezoporli polimerdan olingan keramikalarning aksariyati shablon bilan ishlab chiqarilgan - (SBA-15, KIT-6, CMK-3 va blok-kopolimerlar) va faqat yordam beradigan texnika. Shunday qilib, yuqori tartibli mezoporozni ishlab chiqarish hali ham qiyin. Ushbu maqolada biz oddiy va ko'p qirrali protsedura haqida xabar beramiz, mezoporozli SiOC/ZnO nanokompozitini tayyorlash yuqori o'ziga xos sirt maydoni va tor g'ovak hajmi taqsimoti prekeramika tarkibiga ZnO nano kukunlarini mexanik ravishda kiritish, polimer, keyin piroliz. Piroliz harorati va ZnO tarkibining mezoporoz SiOC/ZnO hosil bo'lishiga ta'siri nanokompozitlar tizimli ravishda o'rganildi. Olingan nanokompozit tomonidan MB ning adsorbsiyasi va fotodegradatsiyasi piroliz harorati va ZnO tarkibiga bog'liq holda tekshirildi.

2. Eksperimental

2.1. Tayyorgarlik

SiOC/ZnO nanokompoziti tijorat maqsadida tayyorlangan vinil-funksional polisiloksan XP RV 200 (Hanse Chemie, Germaniya) prekeramika polimeri va ZnO nano kukunlari sifatida mavjud (Sigma-Aldrich, Germaniya) o'rtacha zarracha hajmi taxminan yetkazib beruvchi tomonidan taqdim etilgan 50 nm va o'ziga xos sirt maydoni 34 m²/g to'ldiruvchi sifatida. Birinchidan, 0,4 g ZnO nano kukunlari joylashtirildi Shlenk kolbasi va keyin 1,6 g vinil-funksional polisiloksan XP RV 200 (1-rasm, yetkazib beruvchi tomonidan taqdim etilgan) joriy etildi. Aralashtirish jarayonini yengillashtirish uchun 2 ml suvsiz toluol aralashmaga tomchilab qo'shildi. Aralashtirish jarayoni 12 soat davomida xona haroratida magnit aralashtirish ostida amalga oshirildi. Barcha aralashtirish jarayoni tozalangan argon atmosferasida amalga oshirildi. Shundan so'ng, yaxshi gomogenlangan aralashma kvarts tigelga o'tkazildi va aralashmani o'z ichiga olgan kvarts keyin tigel kvarts trubasiga joylashtirildi. Namuna pirolizi Ikki bosqichda amalga oshirildi - polimerning o'zaro bog'lanish jarayonini rag'batlantirish uchun dastlab 200 °C da 2 soat davomida isitiladi va keyinchalik 2 soat davomida 700-900 °C da sintezlanadi - argonning barqaror oqimi ostida (50ml/min) isitishda dasturlashtiriladigan gorizontol pech tezligi 50 °C/soat. Piroliz namunani xona harotatiga 100°C/soat sovutish tezligi bilan

yakunlandi.



1-rasm. Vinil-funksional polisiloksan XP RV 200 ning tuzilishi yetkazib beruvchi).

2.2. Xarakterlash

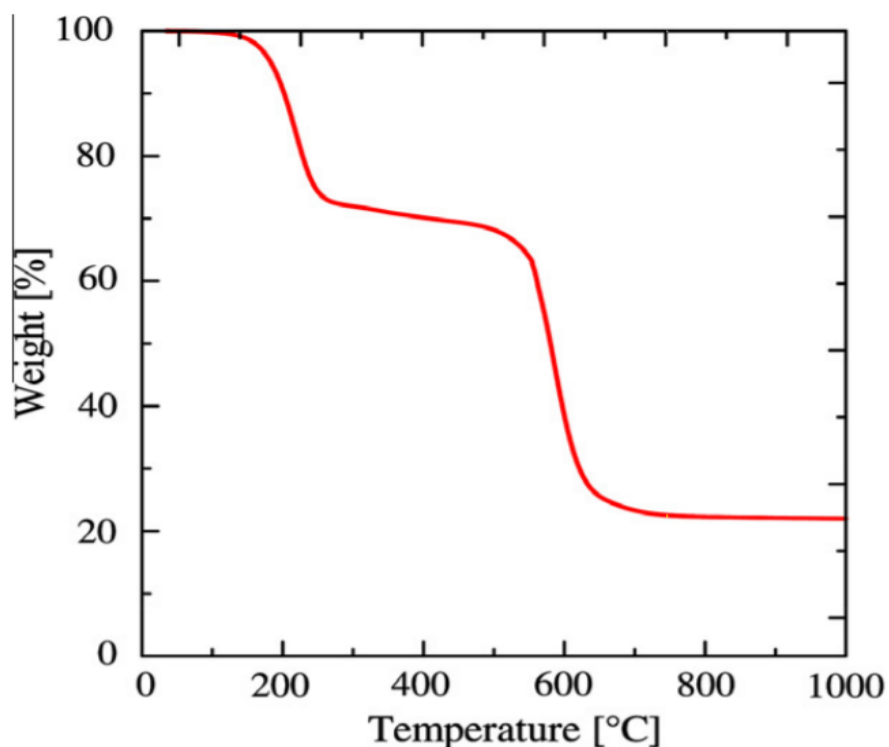
Pirolizlangan na'munalarning faza barqarorligini aniqlash uchun STADI P rentgen nurlari difraktometrida (STOE) tekis na'munali uzatish geometriyasida rentgen nurlari kukuni diffraksiyasi o'lchovlari o'tkazildi. Pirolizlangan na'munalarning fazaviy barqarorligini aniqlash uchun roentgen chang diffraksiyasi o'lchovlari tekis na'munada amalga oshirildi. STADI P rentgen difraktometrida uzatish geometriyasi (STOE & Cie GmbH, Germaniya) skanerlash tezligida $\text{Mo K}\alpha$ nurlanishi bilan 1 min^{-1} ning 2 soat oralig'ida $10\text{--}50 \text{ }^\circ\text{C}$. Pirolitik transformatsiya polimerdan keramikagacha bo'lgan o'zgarishlar termogravimetrik tahlil (TGA) bilan qizdirilganda argon oqimida (25 ml/min) ishlaydigan STA 429C Yupiter asbobi (Netzsch, Germaniya) yordamida tekshirildi. 1 K/min tezligi $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ gacha bo'lgan maksimal haroratga. Ommaviy na'munalarning morfologiyalari XL30 FEG skanerlovchi elektron mikroskop yordamida tekshirildi. $15\text{--}25 \text{ kV}$ tezlashuv kuchlanishi. SEM kuzatuvidan oldin, na'munalar zaryadlanmaslik uchun yupqa oltin qatlam bilan sepilgan. Transmissiya elektron mikroskopi (TEM) o'lchovlari chang namunalarida 200 kV tezlanish kuchlanishida ishlaydigan JEM-2100 (JEOL, Yaponiya) yordamida amalga oshirildi. Kristall tuzilishi va zarrachalar hajmi. TEM kuzatuv uchun kukunli na'munalar ultratovush yordamida etanolda tarqaldi, va oz miqdorda suspenziya ustiga tushib ketgan teshikli uglerod tarmog'I UV-vizion yutilish spektrlari $\text{Lambda } 900 \text{ UV/VIS/NIR}$ spektrometrida (Perkin-Elmer GmbH, Germaniya). Na'munalar $200\text{--}800 \text{ nm}$ to'lqin uzunligi oralig'ida qayd etilgan. Kukunli keramika tarkibidagi kislorod va azot miqdori na'muna LECO C-200 va LECO TC-436 mos ravishda analizator yordamida aniqlandi. Na'munalarning elementar tarkibi vinil-funksional polisiloksanning turli haroratlarda pirolizlanishi natijasida olingan moddalar og'irligi % bilan

berilgan: 47,67 Si, 28,85 O va 23,48 S. SiOC-700 uchun, 47,35 Si, 28,28 O va 24,37 C SiOC-800 uchun va 47,00 Si, SiOC-900 uchun 26,52 O va 26,48 C. ning g'ovakli xususiyatlari na'munalar ularning N₂ adsorbsiyasini aniqlash orqali tekshirildi va Autosorb-3B asbobi yordamida 77 K da desorbsiya izotermlari (Quantaxrom, AQSh). Na'munalar 150 °C da oldindan qizdirilgan O'lchovdan 12 soat oldin vakuum ostida. Maxsus sirt maydon (SBET) qiymatlari Brunauer, Emmett va tomonidan hisoblab chiqilgan Teller (BET) usuli [40] adsorbsiyaning chiziqli qismidan izotermlar. G'ovak hajmining taqsimoti Barrett tomonidan hisoblab chiqilgan, Joyner va Halenda (BJH) usuli [41] desorbsiya izotermasi yordamida. Umumiy g'ovak hajmlari maksimaldan hisoblab chiqilgan qisman bosimdagi azot gazining adsorbsiyasi miqdori $(P/P_0)=0,999$.

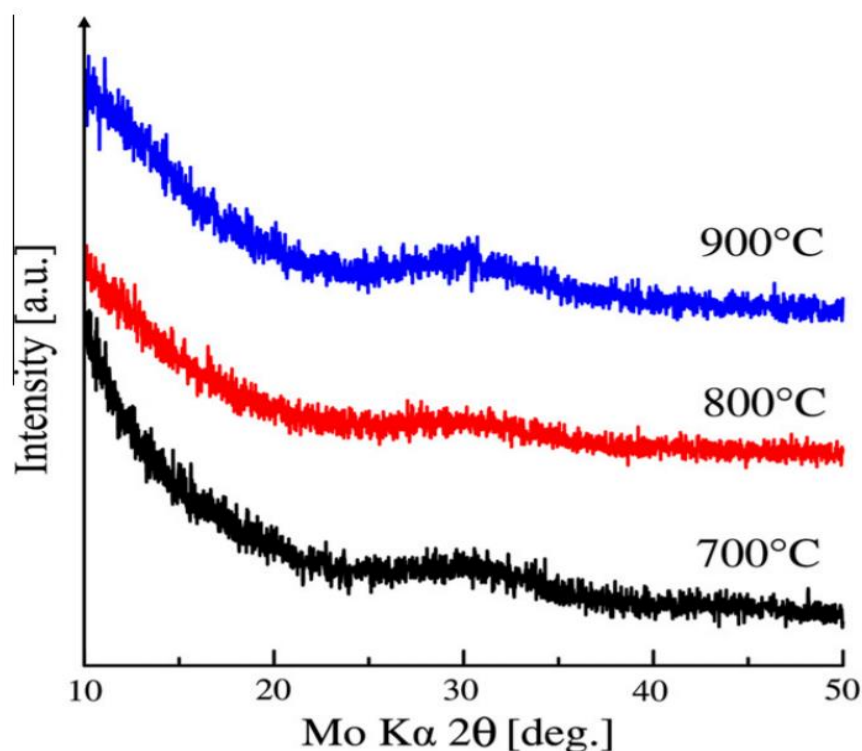
2.3. Adsorbsion va fotokatalitik tajribalar. Na'munalarning adsorbsiyasi va fotokatalitik faolligi reaksiya eritmasida MB konsentratsiyasining pasayishini o'lchash yo'li bilan baholandi. UV nurlanishini boshlashdan oldin 50 mg chang na'munasi 100 ml 0,03 mM MB eritmasiga tarqatildi va eritma adsorbsion-desorbsiya muvozanatiga erishish uchun qorong'ida 2 soat davomida magnit bilan aralashtirildi. MB ning fotodegradatsiyasi uchun laboratoriya UV-reaktor tizimi 190 nm dan yuqori UV diapazonida keng emissiya spektri bo'lgan 150 W o'rta bosimli simob bug'li chiroqdan iborat bo'lgan va aylanma suv bilan bilvosita sovutilgan. tajribalar. UV nurlanishida 5 ml hajmdagi alikvot ma'lum vaqt oralig'ida (0, 15, 30, 45, 60, 90 va 120 daqiqa) eritmadan shprints bilan na'muna olindi va qattiq zarrachalarni olib tashlash uchun nanofiltrdan o'tkazildi. $\lambda_{max}=664$ nm Lambda 900 UV/VIS/NIR spektrometri yordamida.

3. Na'tijalar va muhokama.

2-rasm. Tijoriy vinil-funksional polisiloksanning (XP RV 200) xona haroratidan 1000 °C gacha bo'lgan termal gravimetrik (TG) egri chizig'ini ko'rsatadi. Polimerning SiOC keramikasiga aylanishi 150 °C dan 700 °C gacha bo'lgan harorat hududida ikkita asosiy parchalanish bosqichida sodir bo'ladi va 700 °C da 23% keramika hosildorligini ko'rsatadi. 150 °C dan 200 °C gacha bo'lgan harorat oralig'idagi birinchi massa yo'qolishi uglevodorod vinilining chiqishi bilan bog'liq $-m/z = 28, 29$ va vodorod $-m/z = 2$. 500 °C dan 600 °C gacha bo'lgan harorat oralig'idagi ikkinchi massa yo'qolishi metanning chiqishi bilan bog'liq $-m/z = 15, 16$ va vodorod $-m/z = 2$, in situ massa spektrometri bilan o'lchangan. Keramizatsiya jarayoni taxminan 700 °C da yakunlandi, chunki bu haroratdan yuqori massa yo'qolishi aniqlanmadi. 700 °C dan 900 °C gacha bo'lgan turli haroratlarda vinil-funksional polisiloksanning pirolizi natijasida olingan SiOC keramikasi XRD naqshlari ko'rsatilgan. 3-rasm. Xuddi shunday, barcha XRD naqshlari 2θ da keng halolarga ega 20-40° diapazoni, bu amorf materiallar uchun xarakterlidir.



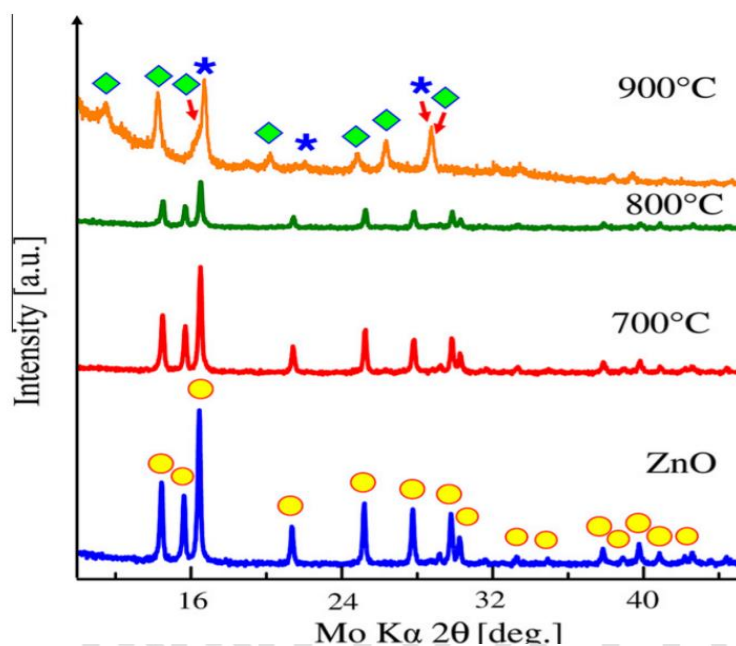
2-rasm. Vinil bilan ishlaydigan polisiloksan XP RV 200 ning TG egri chizig'i.



3-rasm. Piroliz haroratiga bog'liq bo'lgan SiOC keramikasining rentgen nurlari difraksiyasi naqshlari.

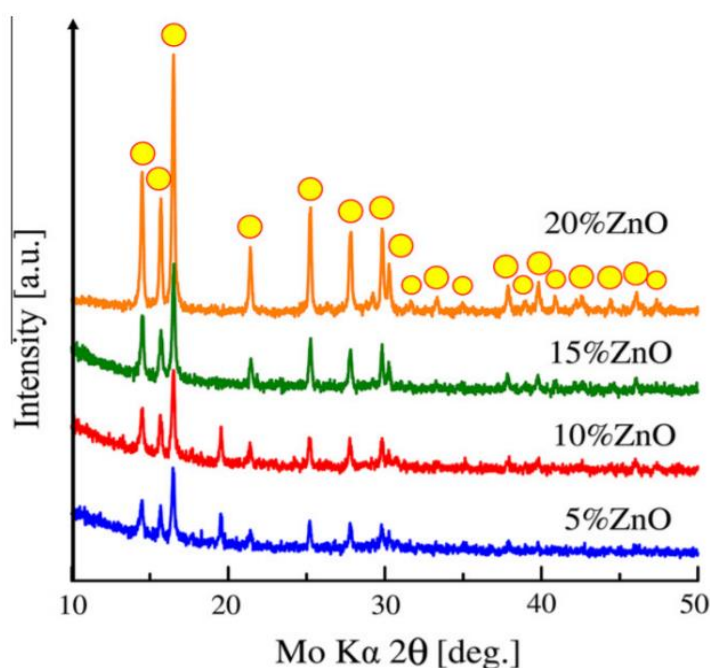
Polimerdan olingan keramikaning bunday tipik xatti-harakati mikro tuzilmada mavjud bo'lgan nanodomenlarning tabiati bilan bog'liq bo'lishi mumkinligini taklif qildi. Yangi hosil bo'lgan teshiklarning qulashi odatda yuqori haroratlarda boshlanganligi sababli, bu ishda maksimal piroliz harorati 900 °C da amalga oshirildi. 4- rasm. Piroliz haroratining funktsiyasi sifatida tijorat ZnO nano

kukunlari va tayyorlangan SiOC/20 wt.% ZnO nanokompozitining XRD naqshlarini ko'rsatadi. Shunga ko'ra, tijoriy ZnO nano kukunlari fazali sof ZnO ning kuchli aksini ko'rsatadi. 700 °C va 800 °C da sintezlangan SiOC/20 wt.% ZnO nanokompozitlarining XRD naqshlari nanokompozitlarda ustunlik qiluvchi kristall faza sifatida ZnO mavjudligini tasdiqlaydi. Ushbu ikkita nanokompozitda begona fazalarga mos keladigan boshqa XRD akslarini aniqlab bo'lmadi. Ajablanarlisi shundaki, na'munani 900 °C da piroliz qilgandan so'ng, fazali toza ZnO butunlay yo'q bo'lib ketdi, rux silikati (Zn_2SiO_4) va yangi hosil bo'lgan faza polimer bilan aralashtirilgandan so'ng polimerdan osongina ajratilgan nanozarrachalar yordamida aniqlash mumkin emas edi.



4-rasm. Tijorat ZnO nano kukunlari va SiOC/20% ZnO nanokompozitining rentgen nurlanishining piroliz haroratiga bog'liqligi. Kalit: -ZnO, - Zn_2SiO_4 , -noma'lum faza.

ZnO tarkibiga qarab 2 soat davomida 700 °C da pirolizlangan SiOC/ZnO nanokompozitining XRD naqshlari 5-rasmda ko'rsatilgan. Ko'rinib turibdiki, XRD intensivligi ZnO fazasiga to'g'ri keladigan aks ettirishlar nanokompozitlarda ZnO miqdori ortishi bilan ortadi. N_2 gaz adsorbsion-desorbsiya izotermlari turli piroliz haroratlarida va turli xil ZnO tarkiblari bilan sintez qilingan prekeramika polimeri/ZnO nano kukunlari aralashmasidan tayyorlangan na'munalarda o'lchandi. 6-rasm. Qiyosiy ravishda argonda 2 soat davomida 700 °C da olingan sof SiOC keramikasi va SiOC/20 wt.% ZnO nanokompozitining izotermlarini ifodalaydi. Ehtimol, ZnO va SiOC matritsasi o'rtasida namunaning 900 °C da pirolizlanishi paytida ba'zi reaksiyalar sodir bo'lgan bo'lishi mumkin. Termogravimetrik tahlil va rentgen nurlari diffraksiyasi natijalariga ko'ra, 0 dan 20 wt.% og'irligi gacha bo'lgan turli ZnO tarkibini o'z ichiga olgan na'munalar uchun mos piroliz harorati sifatida 700 °C qo'llanildi. Bu erda shuni ta'kidlash kerakki, ZnO yuklari 20 wt.% og'irlik dan ortiq bo'lsa, SiOC keramikasi oksidi adsorbsion-desorbsion izotermsi IUPAC [45] tomonidan tasniflangan, mikrog'ovak tuzilishga mos keladigan I turdagi tipik shakldir.

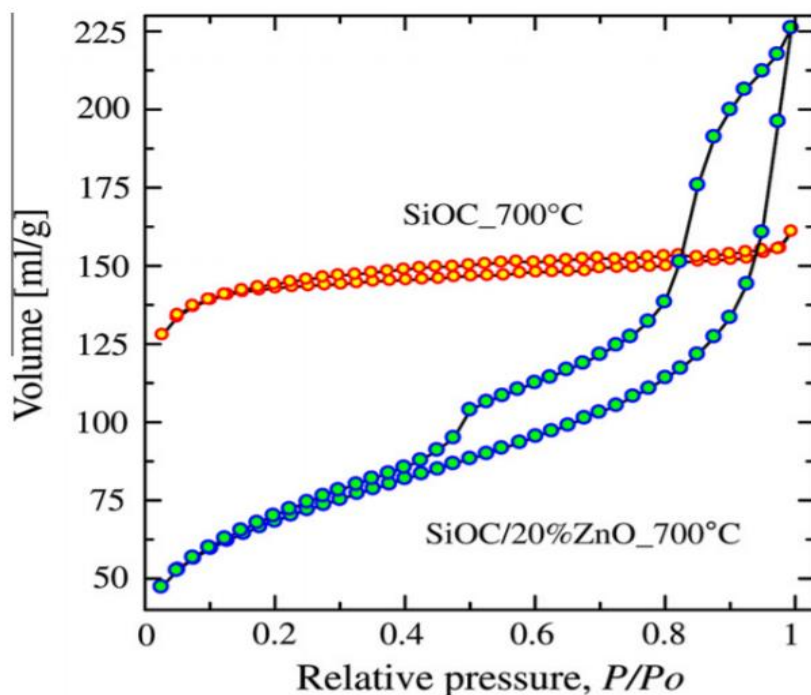


5-rasm. ZnO tarkibiga qarab 2 soat davomida 700 °C da pirolizlangan SiOC/ZnO nanokompozitining rentgen nurlanishining diffraksiy naqshlari. ZnO-●

Aksincha, SiOC/20 wt.% ZnO nanokompozitining adsorbsion-desorbsion izotermasi past adsorbsiyani ko'rsatadi. P/P_0 0-0,8 oralig'ida, lekin doimiy ravishda ortadi va keskin ko'tariladi $P/P_0 = 0,8-1,0$. Doimiy ravishda ortib borayotgan azot adsorbsiyasi tufayli turli xil ZnO tarkibiga ega SiOC/ZnO nanokompozitlari izotermalarining xarakteristikasi IUPAC tasnifi bo'yicha IV turdagi xatti-harakatlarga mos keladi.[45], bu mezoporli materiallar bilan aniq bog'liq. Bu erda osongina ta'kidlash mumkinki, sof mikrog'ovakli SiOC keramikasi polimerga ZnO nano kukunlari qo'shilishi va piroliz natijasida mezoporoz SiOC/ZnO nanokompozitiga aylantirildi. Ushbu topilma, asosan, ZnO nano kukunlari qo'shilishi bilan polimerning (polimer zanjirlari) strukturaviy qayta tashkil etilishi natijasi bilan bog'liq deb hisoblanadi. Biroq, mikropozitsiyadan mezoporozlikka o'tishning aniq mexanizmi hali to'liq tushunilmagan. SiOC keramikasi va SiOC/20 wt.% ZnO nanokompozitining g'ovak o'lchamlari taqsimoti (PSD) izotermalarning desorbsion tarmoqlari asosida hisoblangan 700 °C da 2 soat davomida argonda sintez qilingan. 7-rasm. Ta'kidlash joizki, g'ovak o'lchamlarini taqsimlash egri chiziqlari mikrog'ovak SiOC keramikasini mezoporli SiOC/20 wt.% ZnO nanokompozitsiyasiga aylanishini sezilarli darajada qo'llab-quvvatlaydi, bu g'ovak diametrida taxminan 3,9 nm bo'lgan o'tkir cho'qqi va 10-16 nm gacha bo'lgan teshik diametri oralig'ida keng cho'qqi bilan tavsiflanadi. [46].

G'ovakli xususiyatlar, ya'ni. SiOC keramikasi va SiOC/ZnO nanokompozitining S_{BET} qiymatlari, umumiy g'ovak hajmi va g'ovak turi ZnO tarkibi va piroliz haroratining funktsiyalari sifatida mos ravishda 1-jadvalda keltirilgan va chizilgan. Ko'rinib turibdiki, piroliz haroratining 700 °C dan 900 °C gacha oshishi haroratni pasaytiradi. S_{BET} SiOC keramikasi va SiOC/ZnO nanokompoziti misolida monotonik qiymatlar. S_{BET} qiymatlar SiOC keramika uchun 398 dan 60 m^2/g gacha kamayadi va SiOC/20 wt.% ZnO nanokompoziti uchun 220 dan 153 m^2/g . Umumiy g'ovak hajmi SiOC keramikasida monoton ravishda kamayadi, lekin SiOC /20 wt.% ZnO nanokompozitida ortadi. SiOC keramikasida g'ovak hajmi oshadi, SiOC/20 wt.% ZnO nanokompoziti esa deyarli izchil qiymatlarni namoyish etadi. Bu xarakterli xususiyat shuni

ko'rsatadiki, kiritilgan ZnO nano kukunlari hatto yuqori haroratlarda ham SiOC matritsasining g'ovakli tuzilishini saqlab qoladi. [47].



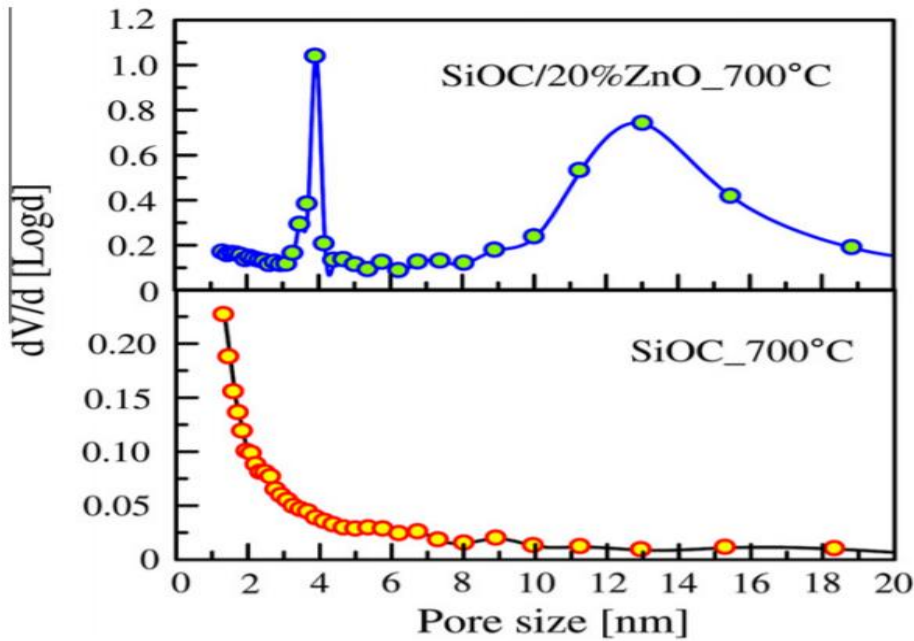
6-rasm. 700 °C da 2 soat davomida sintez qilingan SiOC keramikasi va SiOC/20% wt. ZnO nanokompozitining N₂ adsorbsion-desorbsion izotermalari.

SiOC/20 wt.% ZnO nanokompoziti yuqori piroliz haroratida bir oz ko'proq g'ovak hajmini namoyon qilsada, biz ZnO tarkibiga bog'liq tajribalar uchun piroliz harorati sifatida 700 °C ni tanladik, chunki undan yuqori. S_{BET} u haroratda tahlil qilindi. Sof SiOC keramika bilan solishtirganda, polimerga 20 wt.% ZnO nano kukunlari qo'shilishi matritsani barqarorlashtiradi va hosil bo'lgan teshiklarning asta-sekin qulashini inhibe qiladi, bu esa ko'rsatilgandek, piroliz haroratining oshishi bilan S_{BET} qiymatlarining keskin pasayishiga olib keladi. Xuddi shunday tendentsiya turli xil ZnO tarkibi bilan tayyorlangan na'munalar uchun ham kuzatildi. Shunga qaramay, turli xil tarkibga ega bo'lgan ZnO nano-changlarini kiritish (5-20 og'irlik%) S_{BET} qiymatlarini va g'ovak hajmini deyarli saqlaydi. 700 °C da na'munalarni pirolizatsiya qilgandan keyin shunga o'xshash. Shu bilan birga, ZnO miqdori ortishi bilan g'ovak hajmi sezilarli darajada oshadi.

1-jadval. Na'munalarning g'ovak xususiyatlari.

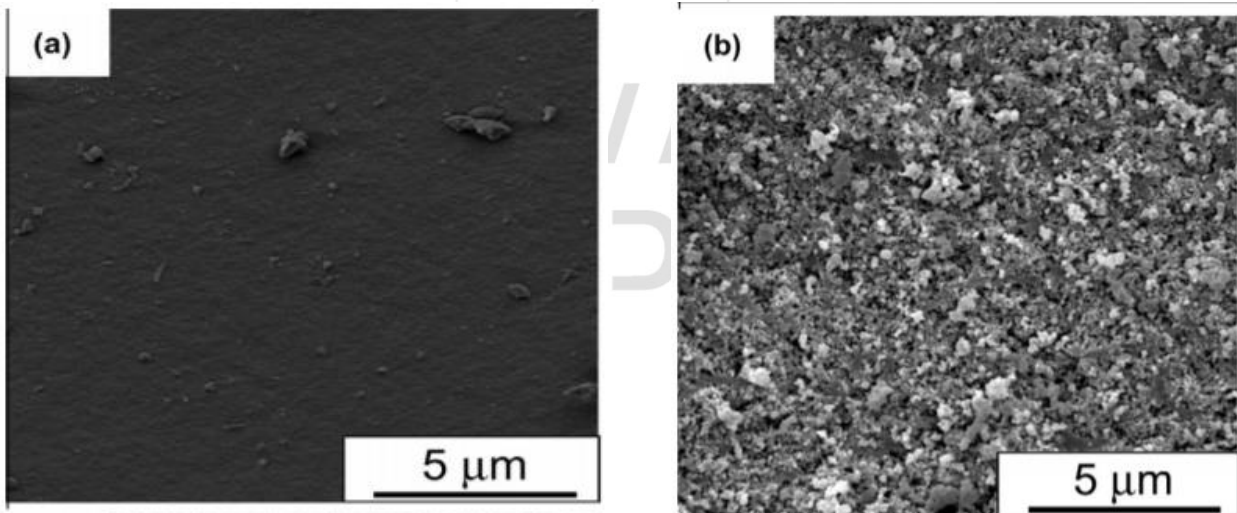
Na'muna	Piroliz harorati (°C)	ZnO nano-chang (og'.%)	S _{BET} (m ² /g)	G'ovak turi	Umumiy g'ovakk hajmi (ml/g)
SiOC keramikasi	700	-	398	Mikro	0,08
	800	-	248	Mikro	0,05
	900	-	60	Mikro	0,05
SiOC/ZnO nanokompoziti	700	20	220	Mezo	0,34
	800	20	174	Mezo	0,38
	900	20	153	Mezo	0,39
SiOC/ZnO nanokompoziti	700	5	260	Mezo	0,12
	700	10	230	Mezo	0,16
	700	15	230	Mezo	0,21
	700	20	220	Mezo	0,34

SiOC matritsasi va sirt morfologiyasidagi ZnO nanokukunlarining tarqalishini aniqlash uchun 700 °C haroratda 2 soat davomida olingan SiOC keramikasi va SiOC/20 wt.% ZnO nanokompoziti skanerlash elektron mikroskopida qiyosiy tekshirildi va natijalar tasvirlangan 8-rasm. Ko'rsatilgandek 8-rasmda, sof SiOC keramikasi amorf matritsa yuzasida tasodifiy taqsimlangan mayda qoldiqlar bilan tekis sirtga ega. Aksincha, 8-rasm shuni ko'rsatadiki, ZnO nano kukunlarini polimer bilan mexanik aralashtirish, so'ngra 700 °C da piroliz qilish ZnO nanozarralarining amorf SiOC matritsasida bir hil taqsimlanishiga olib keladi. Bundan tashqari, u 20 wt.% ZnO nano kukunlarini polimer bilan magnit aralashtirgich ostida aralashtirish yaxshi taqsimlangan SiOC/ZnO nanokompozitini olish uchun yetarli ekanligini isbotlaydi. Transmessiya elektron mikroskopiya (TEM) tadqiqotlari 700 °C da pirolizlangan na'munadagi ZnO dan boshqa kristall fazalarni tekshirish uchun zarurdir. Bundan tashqari, u kristalli fazalardan farqli ravishda amorf fazalarni aniqlash imkonini beradi. 9-rasm 2 soat davomida 700 °C da sintezlangan SiOC keramikasi va SiOC/20 wt.% ZnO nanokompozitining transmessiya elektron mikroskopiya (TEM) ko'rsatadi. Ikkala namunaning TEM ma'lumotlari ko'rsatilgan SEM natijalarini tasdiqlaydi 8-rasm. Ya'ni, TEM mikrografiya yuzasida tasodifiy taqsimlangan kichik qoldiqlari bilan monolit SiOC keramikasini namoyish etadi. SiOC keramikasi bilan solishtirganda, SiOC/20 wt.% ZnO nanokompoziti diametri taxminan 20-25 nm bo'lgan ZnO nanozarrachalarining bir hil dispersiyasi bilan tavsiflanadi.

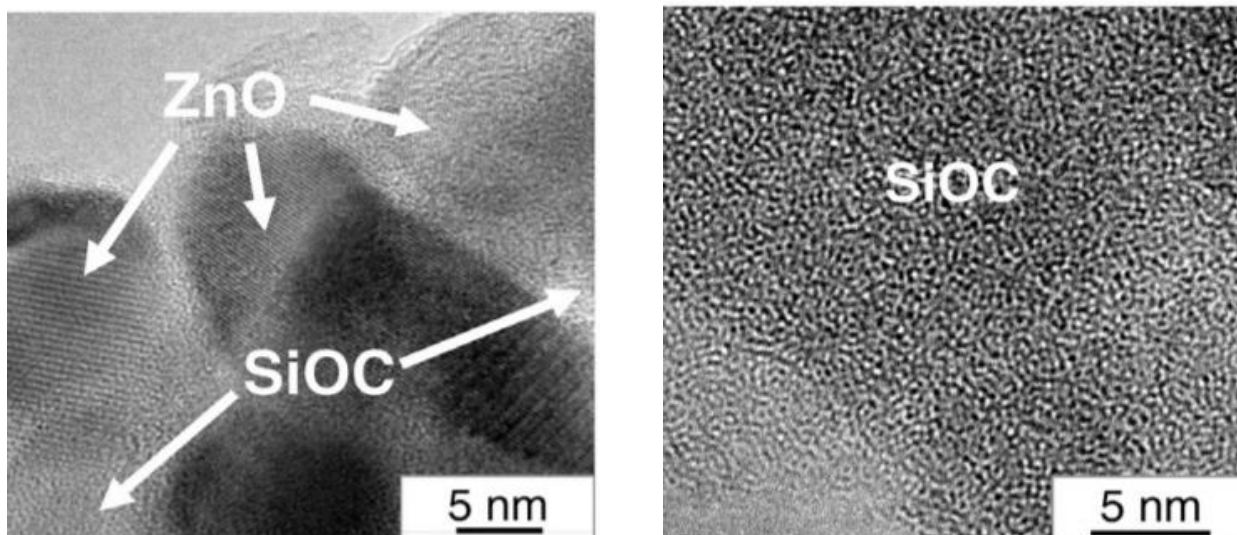


7-rasm.2 soat davomida 700 °C da sintez qilingan SiOC keramikasi va SiOC/20% ZnO nanokompozitining g'ovak hajmi taqsimoti.

Umuman olganda, materialning optik xususiyatlarini amorf va kristall holatda o'lchash orqali amorf SiOC fazasining buzilishi kristalli ZnO ning tarmoqli tuzilishiga qanday ta'sir qilganligini aniqlash mumkin. Aniq ko'rinib turibdiki, tijoriy ZnO nano kukunlari 385 nm da yutilish chegarasini ko'rsatadi, tarmoqli bo'shliq energiyasi -3,22 eV ga teng.



8-rasm. 2 soat davomida 700 °C da sintez qilingan SiOC keramikasi (a) va SiOC/20% ZnO nanokompozitining (b) SEM mikrografiyalari.



9-rasm. TEM (a va b) mikrografiyalar SiOC keramika (chapda) va SiOC/20% ZnO nanokompoziti (o'ngda) 700 °C da 2 soat davomida pirolizlanadi.

Ushbu tarmoqli bo'shlig'i, ehtimol, kattalik ta'siridan kelib chiqqan holda, ommaviy ZnO uchun 3,77 eV bo'lgan taniqli tarmoqli bo'shlig'idan bir oz kichikroq. SiOC keramikasining ultrabinafsha nurlanishining yutilish spektrlari ZnO nano kukunlaridagi eng past energiya yutilish cho'qqisiga yaqin yoki biroz pastroq energiyada maksimal bo'lgan bitta keng sayoz cho'qqini ko'rsatadi. Xuddi shunday yutilish cho'qqilarini ko'rsatadigan amorf yarimo'tkazgichlarda, o'tkir tarmoqli bo'shlig'i qirralarining yo'qligi, energiya mintaqalarida holatlarning lokalizatsiyasi va bo'shliqda nuqson darajasining keng diapazonlari mavjudligi aniqlandi.[48]. SiOC/20 wt.% ZnO nanokompozitining ultrabinafsha nurlanishini yutish spektrlari taxminan 385 nm da deyarli bir xil yutilish chegarasini namoyish etadi, ammo SiOC matritsasi mavjudligi sababli butun ko'rinadigan hududda kengaytirilgan absorbsiyaga ega. Qorong'ida 2 soat adsorbsiyadan so'ng SiOC keramika uchun 0,0058 mmol/g, < 0,0069 mmol/l SiOC/15 wt.% ZnO < 0,0072 mmol/l SiOC/10 wt.% ZnO < 0,0074 mmol/l SiOC/5 wt.% ZnO dan aniq SiOC keramikasi 700 °C da 2 soat davomida tayyorlanganligini ko'rsatadi. Eng yuqori bo'lishiga qaramay, mikrog'ovaklikning yuqori hajmi mavjudligi sababli MB uchun eng past adsorbsiya qobiliyati S_{BET} na'munalar orasidagi qiymat. MB molekulasining minimal molekulyar tasavvurlar diametri taxminan 0,8 nm bo'lib, MB molekulasining ichki yuzalarga kirishiga imkon berish uchun minimal teshik diametri 1,3 nm bo'lishi kerakligi taxmin qilingan.[49]. Shuning uchun, SiOC keramikasi bir nechta katta mikroporalari mavjudligi sababli biroz adsorbsiyani ko'rsatadi. SiOC/ZnO nanokompozitining MB adsorbsion qobiliyati SiOC keramikasidan yuqori bo'lib, asosan MB molekularini ramka devorlaridagi faol joylarga samaraliroq tashish imkonini beruvchi mezoporozlik mavjudligi va ko'payishi bilan monoton ravishda kamayadi. SiOC matritsasiidagi ZnO tarkibi.

4. Xulosalar

Ushbu tadqiqotda ifloslangan suvdan organik bo'yoqni olib tashlashda qo'llash uchun polimerdan olingan mezoporozli SiOC/ZnO nanokompoziti ZnO nano kukunlarini tijoratda mavjud bo'lgan vinil-funksional polisiloksanga oddiy mexanik kiritish asosida to'g'ridan-to'g'ri yo'l bilan muvaffaqiyatli tayyorlandi. Argon atmosferasida 2 soat davomida 700 °C da piroliz. Tayyorlangan namunalar tomonidan MB ning adsorbsiyasi va fotodegradatsiyasi mos ravishda qorong'uda va UV yorug'lik ostida tekshirildi. Ushbu tadqiqotdan quyidagi xulosalar

chiqarish mumkin:

1. Rentgen nurlari diffraksiyasi natijalari ZnO ning kiritilganligini aniqladi. SiOC matritsasiga kiritilgan 800 °C gacha kimyoviy jihatdan barqaror bo'lib qoladi. Sof polimerning polimerdan keramikaga o'zgarishi natijasida mikrog'ovaklikka ega (<2 nm) to'liq amorf SiOC fazasi hosil bo'ldi.
 2. Polimerga ZnO nano changlar kukunlari kiritilishi bilan SiOC matritsasining mikrog'ovaklikdan mezopozozlikka o'zgarishi kuzatildi.
 3. Piroiliz harorati va ZnO tarkibining oshishi S_{BET} qiymatlarining pasayishiga olib keldi. 700 °C da sintez qilingan SiOC/ZnO nanokompoziti nanokompozit namunalari orasida 4 nm g'ovak o'lchami bilan eng yuqori S_{BET} qiymatini ko'rsatdi va ZnO ning kamayishi yo'q.
 4. SEM va TEM tadqiqotlari shuni ko'rsatdiki, kiritilgan ZnO SiOC matritsasida bir hil taqsimlangan ZnO ning nanokompozitlarda kristal fazasi sifatida ustunligini tasdiqladi.
 5. Eng past MB adsorbsiyasi sof SiOC keramikasi uchun qayd etildi, chunki mikrog'ovaklikning yuqori ulushi va SiOC/ZnO nanokompozitlari tomonidan MB adsorbsiyasi ZnO tarkibining ortishi bilan monoton ravishda kamaydi.
 6. SiOC/ZnO nanokompozitidagi ZnO miqdorining oshishi S_{BET} qiymatlarining pasayishiga va MB degradatsiya tezligi konstantasining oshishiga olib keldi. MB ning degradatsiyasi uchun SiOC keramikasining fotokatalitik faolligi ZnO nano kukunlari SiOC matritsasiga qo'shilishi bilan sezilarli darajada yaxshilanadi.
- Hozirgi tizim organik bo'yoqlardan suvni vodorod peroksidga ehtiyoj sezmasdan zararsizlantirishga qodir.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. M.E. Davis, Nature 417 (2002) 813–821.
2. A. Vinu, T. Mori, K. Ariga, Sci. Technol. Adv. Mater. 7 (2006) 753–771.
3. B. Naik, N.N. Ghosh, Recent Pat. Nanotechnol. 3 (2009) 213–224.
4. T. Yanagisawa, T. Shimizu, K. Kuroda, C. Kato, Bull. Chem. Soc. Jpn. 63 (1990) 988–992.
5. C.T. Kresge, M.E. Leonowicz, W.J. Roth, J.C. Vartuli, J.S. Beck, Nature 359 (1992) 710–712.
6. J.S. Beck, J.C. Vartuli, W.J. Roth, M.E. Leonowicz, C.T. Kresge, K.D. Schmitt, et al., J. Am. Chem. Soc. 114 (1992) 10834–10843.
7. J.C. Vartuli, K.D. Schmitt, C.T. Kresge, W.J. Roth, M.E. Leonowicz, S.B. McCullen, et al., Chem. Mater. 6 (1994) 2317–2326.
8. P.T. Tanev, T.J. Pinnavaia, Science 267 (1995) 865–867.
9. S.A. Bagshaw, E. Prouzet, T.J. Pinnavaia, Science 269 (1995) 1242–1244.
10. D. Zhao, J. Feng, Q. Huo, N. Melosh, G.H. Fredrickson, B.F. Chmelka, et al., Science 279 (1998) 548–552.
11. C. Yu, Y. Yu, D. Zhao, Chem. Commun. 7 (2000) 575–576.
12. R. Ryoo, J.M. Kim, C.H. Ko, C.H. Shin, J. Phys. Chem. 100 (1996) 17718–17721.
13. S.A. El-Safty, J. Evans, J. Mater. Chem. 12 (2002) 117–123.
14. S. Che, A.E. Garcia-Bennett, T. Yokoi, K. Sakamoto, H. Kunieda, O. Terasaki, et al., Nat. Mater. 2 (2003) 801–805.
15. T. Linssen, F. Mees, K. Cassiers, P. Cool, A. Whittaker, E.F. Vansant, J. Phys. Chem. B 107 (2003) 8599–8606.
16. K. Tanabe, M. Misono, Y. Ono, H. Hattori, New Solid Acids and Bases and their Catalytic Properties, Elsevier, Amsterdam, 1989.

17. K. Okada, A. Yoshizawa, Y. Kameshima, T. Isobe, A. Nakajima, K.J.D. Mackenzie, J. Porous Mater. 18 (2011) 345–354.
18. A. Nishimura, Y. Yamano, T. Hisada, M. Hirota, E. Hu, Int. J. Photoenergy (2010), Article ID 294217.
19. G.D. Mihai, V. Meynen, M. Mertens, N. Bilba, P. Cool, E.F. Vansant, J. Mater. Sci. 45 (2010) 5786–5794.
20. P.-J. Chen, S.-H. Hu, C.-S. Hsiao, Y.-Y. Chen, D.-M. Liu, S.-Y. Chen, J. Mater. Chem. 21 (2011) 2535–2543.
21. L. Jiang, L. Wang, J. Zhang, Chem. Commun. 46 (2010) 8067–8069.
22. X.-L. Yang, R. Gao, W.-L. Dai, K. Fan, J. Phys. Chem. C 112 (2008) 3819–3826.
23. J. Strunk, W.C. Vining, A.T. Bell, J. Phys. Chem. C 115 (2011) 4114–4126.
24. Z.C. Liu, H.R. Chen, W.M. Huang, J.L. Gu, W.B. Bu, Z.L. Hua, et al., Micropor. Mesopor. Mater. 89 (2006) 270–275.
25. C. Klingshirn, Phys. Status Solidi B 71 (1975) 547–556.
26. D.M. Bagnall, Y.F. Chen, Z. Zhu, T. Yao, S. Koyama, M.Y. Shen, et al., Appl. Phys. Lett. 70 (1997) 2230–2232.
27. Z.L. Wang, J. Phys.: Condens. Matter 16 (2004) R829–R858.
28. P. Colombo, Science 322 (2008) 381–383.
29. P. Colombo, G. Mera, R. Riedel, G.D. Soraru, J. Am. Ceram. Soc. 93 (2010) 1805–1837.
30. [30] M. Wilhelm, M. Adam, M. Bäumer, G. Grathwohl, Adv. Eng. Mater. 10 (2008) 241–245. [31] Y. Shi, Y. Meng, D. Chen, S. Cheng, P. Chen, H. Yang, et al., Adv. Func. Mater. 16 (2006) 561–567.
31. J. Yan, A. Wang, D.-P. Kim, J. Phys. Chem. B 110 (2006) 5429–5433.
32. M. Kamperman, C.B.W. Garcia, P. Du, H.S. Ow, U. Wiesner, J. Am. Chem. Soc. 126 (2004) 14708–14709.
33. J. Yan, A. Wang, D.-P. Kim, Micropor. Mesopor. Mater. 100 (2007) 128–133.
34. Q.D. Nghiem, D. Kim, D.-P. Kim, Adv. Mater. 19 (2007) 2351–2354.
35. K.W. Völger, R. Hauser, E. Kroke, R. Riedel, Y.H. Ikuhara, Y. Iwamoto, J. Ceram. Soc. Jpn. 114 (2006) 567–570.
36. F. Cheng, S.M. Kelly, F. Lefebvre, B. Toury, J.S. Bradley, J. Ceram. Soc. Jpn. 114 (2006) 545–548.
37. O. Majoulet, J.G. Alauzun, L. Gottardo, C. Gervais, M.E. Schuster, S. Bernard, et al., Micropor. Mesopor. Mater. 140 (2011) 40–50.
38. P. Krawiec, C. Schrage, E. Kockrick, S. Kaskel, Chem. Mater. 20 (2008) 5421–5433.
39. S. Brunauer, P.H. Emmett, E. Teller, J. Am. Chem. Soc. 60 (1938) 309–319.
40. E.P. Barrett, L.G. Joyner, P.P. Halenda, J. Am. Chem. Soc. 73 (1951) 373–380.
41. H.-J. Kleebe, G. Gregori, F. Babonneau, Y.D. Blum, D.B. MacQueen, S. Masse, et al., Int. J. Mater. Res. 97 (2006) 699–709.
42. H.-J. Kleebe, Y.D. Blum, J. Eur. Ceram. Soc. 28 (2008) 1037–1042.
43. R. Riedel, G. Passing, H. Schönfelder, R.J. Brook, Nature 355 (1992) 714–717.
44. K.S.W. Sing, D.H. Everett, R.A.W. Haul, L. Moscou, R.A. Pierotti, J. Rouquérol, et al., Pure Appl. Chem. 57 (1985) 603–619.
45. S. Martínez-Crespiera, E. Ionescu, H.-J. Kleebe, R. Riedel, J. Eur. Ceram. Soc. 31 (2011) 913–919.

46. E. Ionescu, B. Papendorf, H.-J. Kleebe, R. Riedel, *J. Am. Ceram. Soc.* 93 (2010) 1783–1789.
47. S. Adachi, *Optical Properties of Crystalline and Amorphous Semiconductors: Materials and Fundamental Principles*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1999.
48. S.S. Barton, *Carbon* 25 (1987) 343–350.
49. H. Li, Z. Bian, J. Zhu, D. Zhang, G. Li, Y. Huo, et al., *J. Am. Chem. Soc.* 129 (2007) 8406–8407.
50. A. Houas, H. Lachheb, M. Ksibi, E. Elaloui, C. Guillard, J.-M. Herrmann, *Appl. Catal. B* 31 (2001) 145–157.
51. H. Lachheb, E. Puzenat, A. Houas, M. Ksibi, E. Elaloui, C. Guillard, et al., *Appl. Catal. B* 39 (2002) 75–90.
52. K.-i. Tanaka, G. Blyholder, *J. Phys. Chem.* 76 (1972) 1807–1814.
53. J. Yu, X. Yu, *Environ. Sci. Technol.* 42 (2008) 4902–4907.
54. C.-H. Wu, J.-M. Chern, *Ind. Eng. Chem. Res.* 45 (2006) 6450–6457.

