CO_2 konversiyasi uchun TiO_2 asosida fotokatalitik xossali moddalar olinishi va ularni xossalarini o‘rganish.

A.A.Samiyev
Samarqand Davlat Universiteti
E-mail: ahtam.samiyev7101@gmail.com
A.M.Nasimov
Samarqand Davlat Universiteti
O.N.Ruzimuradov
Toshkent shaxridagi Turin Politexnika Universiteti

Annotatsiya. Global isish va atmosferadagi karbonat angidrid (CO_2) kontsentratsiyasining ortishi ekologik muammolarni keltirib chiqarmoqda. CO_2 ni kimyoviy yo‘l bilan foydali organik birikmalarga aylantirish nafaqat ekologik, balki iqtisodiy ahamiyatga ham ega. Bu borada, quyosh nurlari ta’sirida CO_2 ni konversiyalash imkonini beradigan yarim o‘tkazgichli fotokatalizatorlar alohida e'tiborni tortmoqda. Ayniqsa, nanotrubkali TiO_2 (titan dioksid) asosida modifikatsiyalangan materiallar samaradorligi yuqori bo‘lib, ular ekologik toza, barqaror va qayta ishlanishi mumkin bo‘lgan tizimlar hisoblanadi.

Kalit so‘zlar: Fotokatalitik CO_2 ni kamaytirish, TiO_2 nanotrubkalar, elektrokimyoviy anodlash, kuchlanishi, harorat va vaqt, La, fotokatalitik.

Abstract. The increase in global warming and the concentration of carbon dioxide (CO_2) in the atmosphere is leading to serious environmental issues. Chemically converting CO_2 into useful organic compounds holds not only environmental but also economic significance. In this regard, semiconductor photocatalysts that enable the conversion of CO_2 under sunlight have attracted considerable attention. In particular, modified materials based on TiO_2 (titanium dioxide) nanotubes demonstrate high efficiency and are considered environmentally friendly, stable, and recyclable systems.

Keywords: Photocatalytic reduction of CO_2, *TiO_2 nanotubes, TiO_2 nanotubes, Voltage,* Temperature, *Time,* La (Lanthanum), Photocatalytic.

Аннотация. Глобальное потепление и увеличение концентрации углекислого газа (COER) в атмосфере создают экологические проблемы. Химическое превращение COIK в полезные органические соединения имеет не только экологическое, но и экономическое значение. В этом отношении особое внимание привлекают полупроводниковые фотокатализаторы, которые позволяют преобразовывать COADA под действием солнечного света. В частности, модифицированные материалы на основе нанотрубок Tio Lab (диоксид титана) обладают высокой эффективностью и считаются

ISSN 3030-3907

экологически чистыми, устойчивыми и пригодными для вторичной переработки системами.

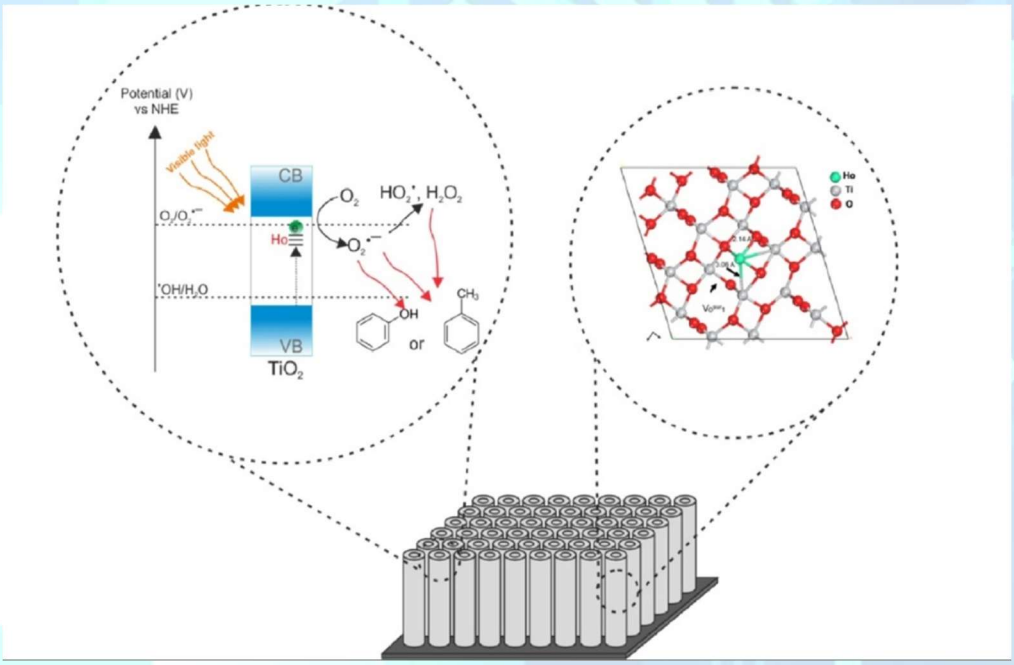
Ключевые слова: фотокаталитическое восстановление CO2, нанотрубки TiO2, электрохимическое анодирование, напряжение, температура и время, La, фотокаталитическое.

Kirish

So‘nggi o‘n yillikda iste'molning o‘sishi va qazib olinadigan yoqilg'iga to‘yib bo‘lmaydigan talab issiqxona effektini va yaqinlashib kelayotgan energiya inqirozini tezlashtirdi. Binobarin, qayta tiklanadigan va toza energiya manbalarini tadqiq qilish insoniyat jamiyatining barqaror rivojlanishi uchun zaruriy holga aylandi [1]. Quyosh energiyasi mo‘l-ko‘l va ekologik toza energiya manbaiga aylanganligi sababli, qimmatbaho quyosh yoqilg'ilarini ishlab chiqarish uchun keladigan quyosh energiyasidan foydalanish bo‘yicha harakatlar sezilarli darajada o‘sdi [2]. Ko‘p mumkin bo‘lgan yo‘llar orasida CO_2 ning uglevodorod birikmalariga fotokatalitik konversiyasi o‘zining ulkan salohiyati tufayli katta e'tiborni tortdi, chunki u bir vaqtning o‘zida atmosferadagi CO_2 kontsentratsiyasini barqarorlashtirishi va qimmatbaho va barqaror quyosh yoqilg'isini ishlab chiqarishi mumkin. Fotokatalitik CO_2 konversiyasini rag'batlantirish sohasida bir qator potentsial fotokatalizatorlar, shu jumladan TiO_2, ZnO kabi taniqli nomzodlar keng ko‘lamda o‘rganildi. Ushbu sa'y-harakatlarga qaramay, fotokatalitik CO_2 konversiyasini amaliy qo‘llash hali ham uzoq istiqbol bo‘lib qolmoqda, Uglerod(IV)-oksid (CO_2)ni yoqilg‘iga boshqa kimyoviy moddaga o‘zgartirish ya`ni konversiya qilish fotokatalitik yo‘l bilan sun’iy fotosintez jarayoni – energiya inqirozi va CO_2 chiqindilari muammosiga qarshi kurashishning istiqbolli va ilg‘or usullaridan biridir. Fotokatalitik reaksiyalar uchun eng keng tarqalgan katalizator bu titan dioksid (TiO_2) bo‘lib, u o‘zining keng tarqalganligi, kimyoviy barqarorligi, arzonligi va korroziyaga chidamliligi bilan ajralib turadi[3]. Garchi TiO_2 fotokatalizatori keng tarmoqli oralig‘iga ega bo‘lgani uchun faqat ultrabinafsha nurlanish ostida faollashishi va elektron teshik juftliklarining tezda rekombinatsiyalanishi sababli cheklovlarga ega bo‘lsa-da, u baribir turli modifikatsiyalar orqali (masalan, metall, nometall, yarim o‘tkazgichlar bilan dopinglash) ko‘rinadigan yorug‘likda faollashuvchi materiallarni ishlab chiqishda asosiy boshlang‘ich modda sifatida xizmat qiladi. Ko‘rinadigan yorug‘likka sezgir TiO_2 asosidagi katalizatorlar yordamida CO_2 konversiyasi sezilarli darajada yaxshilangan[4]. CO_2 ning fotokatalitik reduktsiyasi natijasida hosil bo‘ladigan mahsulotlar asosan katalizatorning tarmoqli oralig‘i (band gap) bog‘liq bo‘ladi. CO_2 ni qaytarish mexanizmini chuqur tushunish, maqsadli mahsulot olish uchun mos katalizator dizayn qilishda juda muhimdir. Ushbu

ISSN 3030-3907

maqolada CO_2 ni kamaytirish uchun TiO_2 asosidagi fotokatalizatorlarni ishlab chiqish va tadqiq qilish bo‘yicha olib borilgan ilmiy ishlar umumlashtirib beriladi hamda fotokatalizatorning tarmoqli oralig‘ini moslashtirish (band gap engineering), zaryad tashilishini yaxshilash va CO_2 adsorbsiyasi yo‘nalishidagi takomillashtirishlarga e’tibor qaratiladi. Bundan tashqari, CO_2 ni fotokatalitik yo‘l bilan kamaytirish uchun modifikatsiyalangan TiO_2 ni ishlab chiqishdagi muammolar va kelajakdagi istiqbollar ham muhokama qilinadi[5].



1-Rasm: CO_2 ning TiO_2 nanotrubkalari asosidagi fotokatalitik qayta ishlanishimexanizmi va modifikatsiyalangan tuzilmasi.

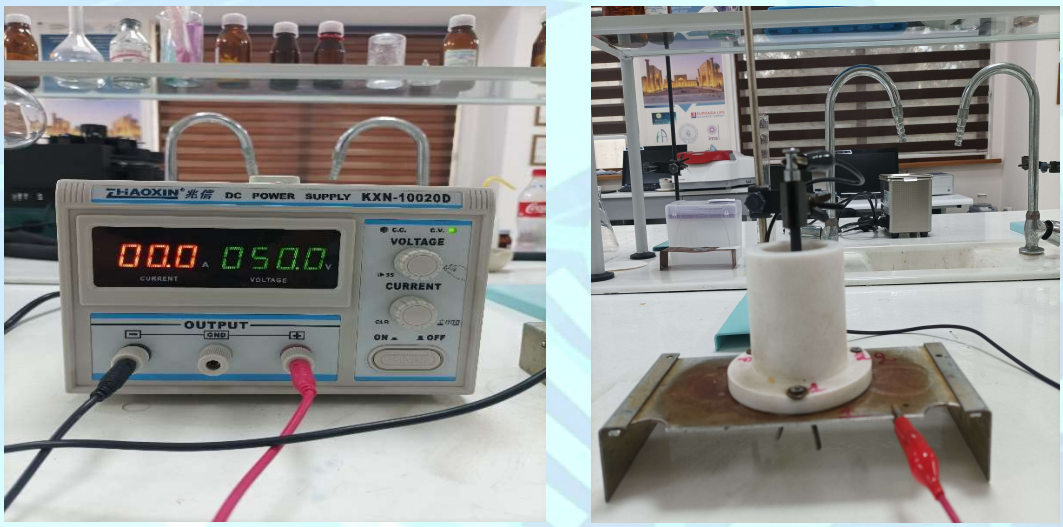
Ba’zi adabiyotlar La doping kristallangan devorlar bilan TiO_2 ning strukturasini samarali ravishda barqarorlashtirishi va uning fotoaktivligini yaxshilashi mumkinligini isbotladi. Ko‘pgina tadqiqotlar Ce, La yoki Ta kiritilgan TiO_2 nanozarrachalariga qaratilgan , ammo energiya konvertatsiya qilish samaradorligi nisbatan past va kompozit zarrachalarni reaksiya tizimidan ajratish va qayta ishlash qiyin hisoblanadi. Yaxshi mexanik yopishish kuchi, elektron o‘tkazuvchanligi va fotoelektrokimyoviy ta’sir uchun katta sirt maydoni uchun La kiritilgan TiO_2 nanotrubkasi yuqoriagi muammolarni bartaraf etish uchun yaxshiroq tizimni ta’minlaydi. Mavjud ma’lumotlarga ko‘ra, elektrokimyoviy yondashuvdan foydalangan holda La kritilgan TiO_2 nanotrubkalarini tayyorlash va uning fotokatalitik xarakteristikasini o‘rganish bo‘yicha hozirgacha hech qanday ma’lumot uchramaydi [6]. TiO_2 ning yorug‘likka sezgirligi uni fotokatalitik jarayonlarda fotokatalizator sifatida ishlatishga imkon beradi. Bu material organik ifloslantiruvchilarni, masalan, fenollarni va rang beruvchi birikmalarni parchalashda muhim rol o‘ynaydi. Shuningdek, titan dioksidi bo‘yoqlar va quyosh batareyalarida energiya konversiyasi hamda saqlashni samarali ravishda amalga

ISSN 3030-3907

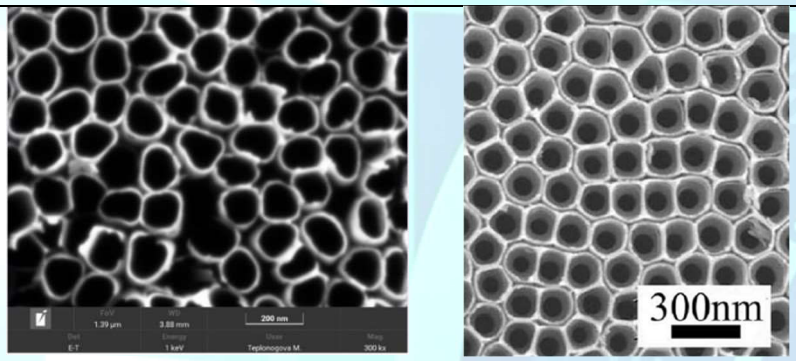
oshirishda, yorug‘lik energiyasini kimyoviy energiyaga aylantirishda keng qo‘llaniladi[7]. TiO_2 ning nanozarrachalari, yuqori sirt yuzasi va katalitik samaradorligi bilan birgalikda, turli ilmiy va sanoat tarmoqlarida keng foydalanishga imkon beradi, shu jumladan, yuqori samarali fotokatalizator sifatida suvni tozalash va atmosferadagi ifloslantiruvchilarni bartaraf etishda. Ushbu xususiyatlar titan dioksidini energetik va ekologik muammolarni hal qilishda samarali vosita sifatida ajratib turadi [8]. F- ionlari organik muhitga qaraganda suvli eritmalarda ko'proq tajovuzkor, odatda nanotrubkalarning yon devorlari suvda buzilgan holatda bo’ladi, organik eritmalarda esa ular yanada silliq o'sadi. Organik elektrolitlardagi suv miqdorining pastligi nanotrubkalarning o'sish tezligini oshiradi [9]. Demak, bundan xulosa shundaki, organik elektrolit tarkibida F^- ionlarining mavjudligi va suv miqdori muhim ahamiyatga ega. Ko’pgina adabiyotlarda etilenglikol elektrolit sifatida ishlatilgan va ishlatilmoqda. Etilenglikol (EG) elektrolit sifatida tarkibida suvning mavjud yoki mavjud emasligiga qarab turli jarayonlarda ishtirok etadi. Agar suvsiz EG 20 V kuchlanishda 2 soat yoki undan ko’p vaqt davomida elektroliz qilinsa yoki suvsiz EG qayta qayta ishlatilganda turli o’lchamli ixcham nanotrubkular hosil bo'lishini ko’rish mumkin[10].

Tajribaviy qism. Titan folga (qalinligi 100 mkm, tozaligi 99,6%, Sigma-Aldrich) qirqib olinadi. Qirqib olingan Ti folga atseton, etil spirti va distillangan suvda 10 daqiqa davomida ultratovushli hammomda tozalandi. Tozalangan folga 60 minut davomida ochiq havoda quritiladi. Shundan so‘ng Ti folgalari doimiy o‘zgarmas quvvat manbayiga 4 soat davomida 50W kuchlanishda Eelektrokimyoviy anodlashga qo‘yiladi. Bunda elektrolit tarkibi 0,5% NH_4F, 2% H_2O va etilenglikol (EG) dan iborat bo‘lgan holda, elektrokimyoviy anodlanadi. Sintez jarayoni 60 V doimiy kuchlanishda olib borildi (2-rasm). Harorat (30 ^{0}C) ba elektrolit muhiti (pH=5-6) kabi ko‘rsatgichlar nazorat qilindi. Grafit (C) qarshi elektrod sifatida ishlatildi. Hosil bo‘lgan TiO_2 nanotrubkalar rutil fazasidan anataza fazasiga aylantirilish uchun 1 soat davomida 400 ^{0}C da qizdirildi.

ISSN 3030-3907



2-rasm: Elektrokimyoviy anodlash jarayoni.



3-rasm: Hosil bo‘lgan TiO2 nanotrunkalarning SEM tasvirlari

Fotokatalitik faollikni o‘lchash. Fotokatalitik CO_2 ni kamaytirish jarayoni 200 ml quvvatga ega kvarts reaktorida amalga oshirildi. Reaktorga 50 mg katalizator kiritildi, keyin ultratovush bilan ishlov berish orqali namunaning tarqalishini osonlashtirish uchun 10 ml ultra toza suv qo‘shildi. Yig'ilgan reaktor 313 K da 6 soat davomida quritilgan. Shundan so‘ng reaktorga 0,12 g $NaHCO_3$ kukuni kiritildi. Keyin N_2 gazining uzluksiz oqimi reaktor bo‘ylab 30 daqiqa davomida aylantirildi. Keyin reaktorga H_2SO_4 (0,5 ml, 2 M) eritmasi kiritildi. Ushbu in'ektsiya $NaHCO_3$ bilan reaktsiyaga sabab bo‘ldi, natijada reaksiya tizimida CO_2 va suv bug'lari hosil bo‘ldi. Eksperimental o‘rnatishda reaksiya uchun yorug'lik manbai bo‘lib xizmat qilish uchun 420 nm kesish filtri bilan jihozlangan 300 Vt ksenon boshq chiroq ishlatilgan. Bu chiroq to‘g'ridan-to‘g'ri kvarts reaktoridan 5 sm masofada joylashgan edi. Reaktorni 1 soatlik nurlanish davriga ta'sir qilgandan so‘ng, hosil bo‘lgan 1 ml hajmdagi gazsimon mahsulot reaktordan ehtiyotkorlik bilan olib tashlandi. Yig'ilgan gaz namunasini gaz xromatografi (Shimadzu GC-2014C, Yaponiya) yordamida tahlil qilindi. CO_2 ning fotokatalitik konversiyasining aniq kvant samaradorligi (AQS) quyidagi formula yordamida hisoblangan:

$$AQE = \frac{10^9 xV\ xN_A\ xK\ xh\ xC}{IxA\ x\lambda} x100\%$$

ISSN 3030-3907

V — reaksiya tezligi, N_A — Avagadro doimiysi, k — reaksiya natijasida uzatilgan elektronlar soni, h — Plank doimiysi, c — yorug`lik tezligi, $I$ — optik quvvat zichligi, $A$ — hodisa yorug`lik maydoni, λ — tushayotgan yorug'lik to‘lqin uzunligi.

Xulosa TiO_2 nanotrubkalari elektrokimyoviy anodlash usuli orqali sintez qilindi. Ushbu jarayon davomida kuchlanish, harorat, elektrolit konsentratsiyasi va boshqa parametrlar qatiy nazorat qilindi. Sintez qilingan TiO_2 birikmalarining fizik-kimyoviy xususiyatlari, shu jumladan kristall tuzilishi, morfologiya, fotokatalitik faoliyat va energetik xususiyatlari tadqiq qilindi. TiO_2 nanotrubkalariga galvanostatik usul orqali lantan kiritildi. Buning uchun $La(NO_3)_3$ ning suvli tuzi eritmasidan foydalanilib, elektroliz jarayonida platina elektrod ishlatildi. Ushbu tadqiqotlar natijalari, yangi materiallarning fotokatalitik ilovalarini rivojlantirishda, energiya konversiyasi va atrof-muhitni tozalashda muhim asos bo‘lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Z.L. Wang, J. Wang, J.F. Zhang, K. Dai, Overall utilization of photoexcited charges for simultaneous photocatalytic redox reactions, Acta Phys. Chim. Sin. 39 (2023): 2209037.
2. M.M. Wang, D.Y. Chen, N.J. Li, Q.F. Xu, H. Li, J.H. He, J.M. Lu, Ni-Co bimetallic hydroxide nanosheet arrays anchored on graphene for adsorption-induced enhanced photocatalytic CO2 reduction, Adv. Mater. 34 (2022): 2202960.
3. C. Cheng, B.W. He, J.J. Fan, B. Cheng, S.W. Cao, J.G. Yu, An inorganic/organic Sscheme heterojunction H2-production photocatalyst and its charge transfer mechanism, Adv. Mater. 33 (2021): 2100317.
4. L.Z. Liu, Z.L. Wang, J.F. Zhang, O. Ruzimuradov, K. Dai, J.X. Low, Tunable interfacial charge transfer in a 2D-2D composite for efficient visible-light-driven CO2 conversion, Adv. Mater. 35 (2023): 2300643.
5. S.K. Yin, X.X. Zhao, E.h. Jiang, Y. Yan, P. Zhou, P.W. Huo, Boosting water decomposition by sulfur vacancies for efficient CO2 photoreduction, Energy Environ. Sci. 15 (2022) 1556–1562.
6. Y. Wang, S.B. Wang, X.W. Lou, Dispersed nickel cobalt oxyphosphide nanoparticles confined in multichannel hollow carbon fibers for photocatalytic CO2 reduction, Angew. Chem. Int. Ed. 58 (2019) 17236–17240.
7. N.D. Feng, H.W. Lin, H. Song, L.X. Yang, D.M. Tang, F. Deng, J.H. Ye, Efficient and selective photocatalytic CH4 conversion to CH3OH with O2 by controlling overoxidation on TiO2, Nat. Commun. 12 (2021) 4652.
8. A. Sabbah, I. Shown, M. Qorbani, F.-Y. Fu, T.-Y. Lin, H.-L. Wu, P.-W. Chung, C.- I. Wu, S.R.M. Santiago, J.-L. Shen, K.-H. Chen, L.-C. Chen, Boosting

ISSN 3030-3907

photocatalytic CO2 reduction in a ZnS/ZnIn2S4 heterostructure through strain-induced direct Zscheme and a mechanistic study of molecular CO2 interaction thereon, Nano Energy 93 (2022): 106809.

9. D. Lu, Y. Ren, Y. Yang, M. Cheng, K. Wang, N. Wang, M. Liu, J. Zhou, W. Chen, N. Li, Boosted photocatalytic CO2 reduction by induced electromotive force in rotating magnetic field, Nano Energy 113 (2023): 108578.

10. Boykobilov, D., Thakur, S., Samiev, A., Nasimov, A., Turaev, K., Nurmanov, S., Ruzimuradov, O Electrochemical synthesis and modification of novel TiO2 nanotubes: Chemistry and role of key synthesis parameters for photocatalytic applications in energy and environment //Inorganic Chemistry Communications. – 2024. – P. 113419.

ISSN 3030-3907