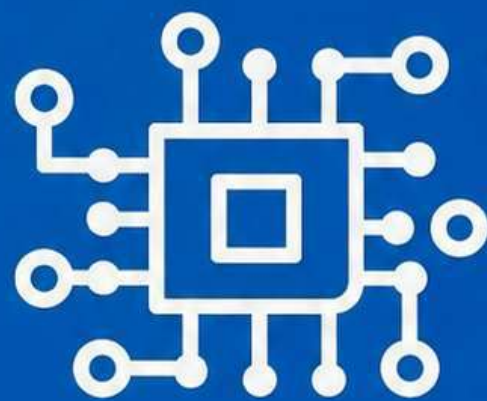




TECH SCIENCE

ISSN 3030-3702

**TEXNIKA FANLARINING
DOLZARB MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL
SCIENCES**



**№ 4-maxsus
son (4) 2026**

BOSH MUHARRIR:

ABBAZOV ILHOM ZAPIROVICH

TAHRIR HAY'ATI:

Usmankulov Alisher Kadirkulovich — Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax, O'zbekiston;

Fayziyev Xomitxon – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent, O'zbekiston;

Rashidov Yusuf Karimovich – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent, O'zbekiston;

Adizov Bobirjon Zamirovich – Texnika fanlari doktori, professor, Toshkent, O'zbekiston;

Abdunazarov Jamshid Nurmuxamatovich — Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax, O'zbekiston;

Eshonkulov Ravshan Abdurazakovich — Texnika fanlari doktori, dotsent, Qashqadaryo, O'zbekiston;

Umarov Shavkat Isomiddinovich – Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax, O'zbekiston;

Bozorov G'ayrat Rashidovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro, O'zbekiston;

Maxmudov Muxtor Jamolovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro, O'zbekiston;

Asatov Nurmuxammad Abdunazarovich – Texnika fanlari nomzodi, professor, Jizzax, O'zbekiston;

Mamayev G'ulom Ibroximovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Jizzax, O'zbekiston;

Ochilov Abduraxim Abdurasulovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Buxoro, O'zbekiston.

OAK Ro'yxati

Mazkur jurnal O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2025-yil 8-maydagi 370-son qarori bilan texnika fanlari bo'yicha ilmiy darajalar yuzasidan dissertatsiyalar asosiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM" mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika instituti.

TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA**FANLARINING DOLZARB****MASALALARI** elektron jurnali

15.09.2023-yilda 130343-sonli

guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan o'tkazilgan.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.

Elektron manzil:

scienceproblems.uz@gmail.com

Barcha huquqlar himoyalangan.

© Scienceproblems team, 2026-yil

© Mualliflar jamoasi, 2026-yil

MUNDARIJA

<i>Mamirov Uktam, Khudoyberdiyev Asror</i> FUZZY-LOGIC-BASED ASSESSMENT OF THE DURABILITY CRITERION OF A CONTINUOUS CASTING MACHINE	4-12
<i>Shanning Fu, Ya Han, Bekmurotov Dilshod</i> CONTROLLED EVALUATION OF STATE-AWARE AND VERIFIABLE RAG FOR ENGLISH-LANGUAGE TUTORING: RETRIEVAL RELIABILITY, GROUNDING, AND VERIFICATION	13-26
<i>Fayzullayev Xayriddin</i> MUHANDISLIK GRAFIKASI FANINI O'RGANISHDA "TEKISLIK LARNING KESISHISHI" MAVZUSINI O'QITISH USULI	27-32
<i>Muinov Ulug'bek, Usmonov Botir</i> KICHIK QUUVATLI SHAMOL ENERGETIK TIZIMIDA PI-ROSTLAGICH ASOSIDA KUCHLANISHNI BOSHQARISH	33-44
<i>Sayitov Shavkatjon, Sarimsakov Olimjon</i> PAXTA XOMASHYOSINI QURITISHNING KO'P PARAMETRLI AVTOMATLASHTIRILGAN MONITOTING TIZIMINI ISHLAB CHIQISH	45-50
<i>Haitov Bozar</i> BISMUT VOLFRAMAT (Bi_2WO_6 , BiWO_4) NI SINTEZ QILISH USULLARI: ZAMONAVIY YONDASHUVLAR TAHLILI	51-58
<i>Ishnazarov Oybek, Hoshimov Ural</i> KOMPRESSOR USKUNASINI AVTOMATLASHTIRILGAN ISHLASH REJIMIDAGI DINAMIK JARAYONLARNING TAHLILI	59-67
<i>Shavazov Abdulatif, Turaxanov Sherzod, Ilekero va Indira</i> BOSHQARILUVCHI ELEKTR YURITMALAR ISH REJIMLARINI OPTIMALLASHTIRISH USULLARINI TAKOMILLASHTIRISH.....	68-75
<i>Nurlibayeva Zarina</i> TIKUV MASHINASI IGNA IPINI TARANGLAGICHINING QAYISHQOQ ELEMENTLI KONSTRUKTIV PARAMETRLARINI TADBIQ ETISH	76-83
<i>Bazarov Baxtiyor, Odilov Odiljon, Bo'tayev Azizjon</i> SINTETIK GAZ YONILG'ISIDAN FOYDALANIB CHEVROLET COBALT VA CHEVROLET TRACKER YENGIL AVTOMOBILLARINING EKSPLOATATSION KO'RSATKICHLARINI OSHIRISH: MATLAB/SIMULINK ASOSIDAGI MODELLASHTIRISH TADQIQOTI	84-90
<i>Karimxodjayev Nazirjon, Ismatov Biloldin</i> ELEKTROMOBIL BATAREYALARINI ZARYADLASH JARAYONIDA YASHIRIN KRITIK HOLATLARNI AMALIY DIAGNOSTIKA QILISH METODIKASI	91-99
<i>Musurmonov Ulug'bek</i> POLIMER MODIFIKATSIYALANGAN BITUM ASOSIDA ASFALT-BETON QORISHMASINING FIZIK-MEXANIK XUSUSIYATLARINI TADQIQ ETISH.....	100-107

BISMUT VOLFRAMAT (Bi_2WO_6 , BiWO_4) NI SINTEZ QILISH USULLARI: ZAMONAVIY YONDASHUVLAR TAHLILI

Haitov Bozar Toshtemirovich.

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi

Umumiy va noorganik kimyo institute

Email: haitovbozor@gmail.com

Tel: +998 97 809 93 08

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5156-5107>

Annotatsiya. Maqolada vizual nur ta'sirida faol fotokatalizator sifatida keng qo'llaniladigan bismut volframat (Bi_2WO_6 , BiWO_4) ni sintez qilishning zamonaviy usullari — qattiq fazali, gidrotermal/solvotermal, sol-gel, cho'ktirish va eritma-kombustiya, mikroto'lqinli hamda shablon yordamidagi usullar — tizimli tahlil qilingan. So'nggi yillarda chop etilgan 15 dan ortiq ilmiy manba asosida har bir sintez usulining material morfologiyasi, kristallit o'lchami, solishtirma sirt yuzasi, taqiqlangan zona kengligi va fotokatalitik faollikka ta'siri qiyosiy baholangan. Shuningdek, legirlash va kislorod vakansiyasi muhandisligi kabi sintezdan keyingi modifikatsiya strategiyalari ham ko'rib chiqilgan. Tahlil natijalari gidrotermal/solvotermal usulning morfologiyani boshqarishdagi ustunligini, past haroratli tez usullarning esa amaliy jihatdan istiqbolli ekanligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: bismut volframat, Bi_2WO_6 , fotokatalizator, gidrotermal sintez, sol-gel usuli, morfologiya, kislorod vakansiyasi, adabiyotlar tahlili.

SYNTHESIS METHODS OF BISMUTH TUNGSTATE (Bi_2WO_6 , BiWO_4): AN ANALYSIS OF MODERN APPROACHES

Haitov Bozar Toshtemirovich

Institute of General and Inorganic Chemistry,

Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Annotation. This article provides a systematic analysis of modern synthesis methods for bismuth tungstate (Bi_2WO_6 , BiWO_4) — solid-state, hydrothermal/solvothermal, sol-gel, precipitation and solution-combustion, microwave-assisted, and template-based methods — a material widely used as a visible-light-active photocatalyst. Based on more than 15 recent scientific sources, the influence of each synthesis method on material morphology, crystallite size, specific surface area, band gap, and photocatalytic activity is comparatively evaluated. Post-synthetic modification strategies such as doping and oxygen-vacancy engineering are also discussed.

Keywords: bismuth tungstate, Bi_2WO_6 , photocatalyst, hydrothermal synthesis, sol-gel method, morphology, oxygen vacancy, literature review.

DOI: <https://doi.org/10.47390/ts-v4is/4y2026N06>

KIRISH

Bismut volframat (Bi_2WO_6 , ba'zi adabiyotlarda soddalashtirilgan holda BiWO_4 deb ham yuritiladi) — Aurivillius fazalari oilasiga mansub, umumiy formulasi $[\text{Bi}_2\text{O}_2]^{2+}[\text{A}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+1}]^{2-}$ bo'lgan qatlamli perovskitsimon oksid bo'lib, unda $n = 1$ holatida $\text{A} = \text{Bi}^{3+}$ va $\text{B} = \text{W}^{6+}$ kationlari joylashadi [1,4]. Bu material bir-biriga muqobil ravishda joylashgan $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^{2+}$ fторит-tipidagi qatlamlar va $(\text{WO}_4)^{2-}$ volframat oktaedr qatlamlaridan tashkil topgan bo'lib, ushbu qatlamlar

orasida hosil bo'ladigan ichki elektr maydon fotoqo'zg'algan zaryad tashuvchilarning ajralishini yengillashtiradi va molekulalarning sirtga adsorbsiyalanishini kuchaytiradi [1].

Bi_2WO_6 ning nisbatan tor taqiqlangan zona kengligi ($E_g \approx 2.6\text{--}2.8\text{ eV}$) uni ko'rinuvchi yorug'lik spektrida faol fotokatalizator sifatida ishlatishga imkon beradi — bu esa TiO_2 ($E_g \approx 3.2\text{ eV}$) kabi an'anaviy fotokatalizatorlardan asosiy ustunligidir, chunki quyosh spektrining atigi $\sim 4\text{--}5\%$ qismini tashkil etuvchi UB nurlanish o'rniga ko'rinuvchi nur (quyosh energiyasining $\sim 43\%$) ishlatiladi [1,5]. Shu sababli Bi_2WO_6 organik bo'yoqlar va antibiotiklarni fotodegradatsiya qilish, suvni fotokatalitik parchalash, CO_2 ni qaytarish, havoni tozalash va organik sintez reaksiyalarida keng qo'llaniladi [3,4,7].

Biroq, sof Bi_2WO_6 ning amaliy qo'llanilishi bir qator cheklolarga ega: past kvant unumi, fotogenerlangan elektron-kovak juftliklarining tez rekombinatsiyasi va nisbatan kichik solishtirma sirt maydoni [1,5,7]. Ushbu kamchiliklarni bartaraf etishning eng samarali yo'llaridan biri — material morfologiyasi, kristall tuzilishi, defekt konsentratsiyasi va sirt xossalarini boshqarish imkonini beruvchi sintez usulini to'g'ri tanlashdir [2,7]. Adabiyotlarda Bi_2WO_6 (va unga yaqin bismut asosidagi oksidlar — BiVO_4 , Bi_2O_3 , Bi bilan legirlangan WO_3) ni olish uchun qattiq fazali reaksiya, gidrotermal/solvotermal, sol-gel, cho'ktirish (pretsipitatsiya), yonish (kombustiya), mikroto'lqinli, shablon (template) yordamida sintez kabi bir qancha usullar tavsiflangan bo'lib, ularning har biri material morfologiyasi, zarracha o'lchami, solishtirma sirt maydoni va, natijada, fotokatalitik faolligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi [1,2,7,14].

Ushbu maqolaning maqsadi — Bi_2WO_6 (BiWO_4) ning asosiy sintez usullarini so'nggi yillardagi ilmiy adabiyotlar asosida tizimli tahlil qilish, ularning afzalliklari, kamchiliklari va olingan mahsulot xossalariga ta'sirini qiyosiy baholashdan iborat.

ASOSIY QISM

1. Qattiq fazali (yuqori haroratli) sintez usuli

Bi_2WO_6 ni olishning eng sodda va an'anaviy usuli — Bi_2O_3 va WO_3 (yoki ammoniy volframat) kukunlarini stexiometrik nisbatda aralashtirib, yuqori haroratda (odatda $800\text{--}900\text{ }^\circ\text{C}$) kalsinatsiya qilishdan iborat [1,2,14]. Vhangutte va h.k. [14] Bi_2O_3 va $(\text{NH}_4)_6\text{W}_{12}\text{O}_{39}\cdot x\text{H}_2\text{O}$ dan foydalanib, aralashmani $850\text{ }^\circ\text{C}$ da 8 soat davomida pishirib Bi_2WO_6 (BW-1 namunasi) hosil qilishgan. XRD tahlili natijasida namunaning yassi (flakes) morfologiyaga ega ekanligi, zarrachalarning yiriqligi ($\sim 700\times 305\text{ nm}$) va BET solishtirma yuzasining juda kichik ($0.005\text{ m}^2/\text{g}$) ekanligi aniqlangan. Natijada, ushbu usulda olingan Bi_2WO_6 ning fotokatalitik faolligi past bo'lib, 240 daqiqada metil to'q sariq (MO) ning atigi 20% i parchalangan [14]. Tang va h.k. tomonidan Bi_2O_3 va WO_3 dan $900\text{ }^\circ\text{C}$ da 12 soat kuydirib olingan Bi_2WO_6 kukuni ham xuddi shunday agregatlanish va past solishtirma yuza muammosiga duch kelgan [2]. Umuman, qattiq fazali usulning afzalligi — soddaligi, arzonligi va yuqori mahsuldorligi, ammo kamchiliklari — yuqori energiya sarfi, katta zarracha o'lchami, kichik solishtirma sirt maydoni va past fotokatalitik faollikdir [1,2].

2. Gidrotermal va solvotermal sintez

Gidrotermal usul — Bi_2WO_6 sintezida eng ko'p qo'llaniladigan va morfologiyani nozik boshqarish imkonini beruvchi usuldir [1,2,7]. Odatda $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ va $\text{Na}_2\text{WO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ eritmaları aralashtiriladi, pH muhiti sozlanadi va aralashma teflon qoplamali avtoklavda $120\text{--}200\text{ }^\circ\text{C}$ oralig'ida bir necha soatdan 20–24 soatgacha qizdiriladi [1,2].

Lv va h.k. [10] L-lizinni tuzilishni yo'naltiruvchi agent sifatida qo'llab, boshlang'ich eritma pH qiymatini (1, 6 va 11) o'zgartirish orqali Bi_2WO_6 ning uchta xil morfologiyasini —

gul-shaklidagi (flower-like), yumaloq (clew-like) va plastinka-shaklidagi (plate-like) mikrosferalarni — 160 °C da 20 soat davomida gidrotermal sintez qilishga erishishgan. Natijalar shuni ko'rsatdiki, gul-shaklidagi Bi_2WO_6 (BWO-1, pH = 1) eng kichik kristallit o'lchami (11.4 nm), eng katta BET solishtirma yuzasi (37.9 m²/g) va eng tor taqiqlangan zona (2.94 eV) ga ega bo'lib, natijada Rodamin B (RhB) ni fotodegradatsiya qilishda eng yuqori faollikni namoyon etgan — 180 daqiqada deyarli to'liq parchalanish kuzatilgan, plastinka-shaklidagi namuna (BWO-11) esa sezilarli darajada kam faol bo'lgan [10]. Muallif tomonidan taklif etilgan hosil bo'lish mexanizmi — o'z-o'zini agregatlanish, Ostvald pishishi (Ostwald ripening) va yo'nalgan o'z-o'zini yig'ish (self-assembly) bosqichlaridan iborat.

Xiong va h.k. [12] $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ va Na_2WO_4 dan foydalanib 180 °C da 12 soat davomida gidrotermal usulda sof Bi_2WO_6 (gul-shaklidagi mikrosferalar, o'rtacha o'lcham ~4.5 mkm) sintez qilishgan, so'ngra uni tiokarbamid ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{S}$) eritmasida qo'shimcha gidrotermal ishlov berish (180 °C, 6 soat) orqali kislorod vakansiyalari (OV) bilan boyitilgan OV- Bi_2WO_6 materialiga aylantirishgan. S^{2-} ionlarining O^{2-} o'rniga qisman almashinishi natijasida hosil bo'lgan kislorod vakansiyalari taqiqlangan zona energiyasini kamaytirgan (2.80 dan 1.64 eV gacha, sulfid manbai konsentratsiyasiga qarab) va zaryad tashuvchilarning ajralish samaradorligini oshirgan, natijada optimal OV(0.9)- Bi_2WO_6 namunasi metil to'q sariq (MO) ni 97.6% va Cr(VI) ni 88.2% samaradorlik bilan (sof Bi_2WO_6 ga nisbatan mos ravishda ~10 va ~2.3 marta yuqori tezlik konstantasi bilan) fotokatalitik ravishda yo'q qilgan [12].

Bi bilan legirlangan volfram trioksid (Bi-WO_3) sintezida ham gidrotermal usul qo'llanilgan: Ahmad va h.k. [8] natriy volframat va bismut nitratni nitrat kislotali muhitda aralashtirib, 180 °C da 4 soat davomida gidrotermal ishlov berish orqali nanoplastinka morfologiyasiga ega Bi-WO_3 hosil qilishgan. XRD natijalari monoklin fazani tasdiqlagan, Bi legirlash taqiqlangan zonani (2.6 dan 2.69 eV gacha) biroz kengaytirgan va o'tkazuvchanlik zonasi chetini vodorod ishlab chiqarish reaksiyasi uchun qulayroq holatga siljitgan. Natijada, Bi-WO_3 (30 mg) + 4% Pt kokatalizatori ishtirokida vodorod ishlab chiqarish tezligi 637.8 $\mu\text{mol/g/soatgacha}$ yetgan, bu sof WO_3 ga nisbatan sezilarli yuqori ko'rsatkichdir [8].

BiVO_4 (bismut vanadat, Bi_2WO_6 ning yaqin analogi) misolida ham gidrotermal usulning morfologiyani boshqarishdagi ahamiyati namoyon bo'lgan: Guo va h.k. [11] $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, NH_4VO_3 va natriy dodetsilsulfat (SDS) dan foydalanib 180 °C da 16 soat davomida gul-shaklidagi BiVO_4 mikrosferalarini (o'lchami ~500 nm) olishgan, ular yuqori g'ovak tuzilishi tufayli aseton gaz sensori sifatida yuqori sezuvchanlik (javob qiymati 11.62, 30 ppm asetonga) ko'rsatgan.

Solvotermal usul gidrotermal usulga o'xshash, biroq erituvchi sifatida suv o'rniga organik erituvchilar (etilenglikol, glitserin va h.k.) qo'llaniladi, bu esa zarracha o'sish kinetikasini yanada nozik boshqarish imkonini beradi [1,7]. Umumiy sharh maqolalarida [1,7] ko'rsatilishicha, solvotermal usul yordamida Bi_2WO_6 ning bir o'lchamli (nanosim, nanotüp), ikki o'lchamli (nanoplastinka, nanolist) va uch o'lchamli (ierarxik gul, mikrosfera) tuzilmalarini maqsadli tarzda hosil qilish mumkin, bunda erituvchi tabiati, harorat va reaksiya davomiyligi asosiy boshqaruvchi omillar hisoblanadi.

3. Sol-gel usuli

Sol-gel usuli past haroratda amalga oshirilishi, tarkib va gomogenlikni yaxshi boshqarish hamda legirlovchi elementlarni oson kiritish imkonini berishi bilan ajralib turadi [1,2]. Ushbu usulda odatda bismut va volfram (yoki boshqa metall) tuzlari organik kompleks hosil qiluvchi

moddalar (limon kislotasi, etilenglikol, PEG va h.k.) ishtirokida eritmaga aylantiriladi, so'ngra gellanadi va kalsinatsiya qilinadi [2,13].

Li va h.k. [13] Bi_2O_3 asosida Rh bilan legirlangan fotokatalizatorni sol-gel usulida sintez qilishgan: $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, PEG-1000 va limon kislotasi aralashtirilib, hosil bo'lgan gel 773 K da kalsinatsiya qilingan. Natijalar shuni ko'rsatdiki, Rh konsentratsiyasi (1–3 mol%) oshishi bilan BET solishtirma yuzasi ortgan (R2B namunasida maksimal $3.2 \text{ m}^2/\text{g}$), kristallit o'lchami kamaygan (82 dan 72 nm gacha) va $\text{Bi } 4f_{7/2}$ hamda O1s bog'lanish energiyalari pastroq qiymatlarga siljigan, bu elektron zichligining ortishidan dalolat beradi. 2% Rh bilan legirlangan namuna (R2B) eng yuqori fotokatalitik faollikni (60 daqiqada MO ning 33.3% parchalanishi, sof Bi_2O_3 ga nisbatan 19.7% yuqori) namoyon etgan, bu yuqori sirt yuzasi, past bog'lanish energiyasi va yuqori zaryad ajralish tezligi (SPS spektrlari orqali tasdiqlangan) bilan izohlangan [13].

Adabiyotlar sharhida [1,7] shuningdek, oqsil (albumin, tuxum oqi) biotemplat sifatida ishlatilgan sol-gel usuli orqali $\sim 100 \text{ nm}$ qalinlikdagi g'ovak Bi_2WO_6 nanoplastinkalari olingani, hamda sol-gel-gidrotermal kombinatsiyalangan usul (mixed sol-gel hydrothermal route) yordamida nanoplastinkalardan yig'ilgan ierarxik Bi_2WO_6 mikrosferalari sintez qilingani qayd etilgan.

4. Cho'ktirish (pretsipitatsiya) va eritma-kombustiya usuli

Cho'ktirish usuli — bismut va volfram tuzlari eritmasidan erimaydigan Bi_2WO_6 cho'kmasini hosil qilish (odatda NaOH yoki ammiak yordamida pH ni sozlash orqali) asosiga qurilgan, nisbatan sodda, tez va arzon usul [2,4]. Shobika va Roopan [4] o'z sharhlarida S. Obregón Alfaro va h.k. tomonidan bismut nitrat va natriy volframatni xona haroratida aralashtirib, pH ni ammiak bilan 5 ga sozlab, 70°C li suv hammomida qizdirish orqali Bi_2WO_6 cho'kmasi olingani va turli kalsinatsiya haroratlari (600–800 $^\circ\text{C}$) optimallashtirilgani, 600 $^\circ\text{C}$ da eng yuqori solishtirma sirt yuzasi qayd etilgani keltirilgan [4].

Vhangutte va h.k. [14] qo'llagan „eritma-kombustiya“ (solution combustion) usuli ham mohiyatan tez cho'ktirishga yaqin: bismut nitrat, ammoniy volframat va karbamid (urea) ning suvli eritmasi oldindan qizdirilgan (350 $^\circ\text{C}$) pechga joylashtirilib, bir necha daqiqada o'z-o'zidan yonish (self-propagating combustion) reaksiyasi natijasida sariq rangli Bi_2WO_6 kukuni (BW-2) hosil qilingan. Ushbu usul bilan olingan namuna qattiq fazali usulga (BW-1) nisbatan ancha kichik zarracha o'lchamiga ($100 \times 30 \text{ nm}$), yuqori BET yuzasiga ($1.5 \text{ m}^2/\text{g}$, BW-1 uchun $0.005 \text{ m}^2/\text{g}$ ga nisbatan) va past fotoluminessensiya intensivligiga (kamroq elektron-kovak rekombinatsiyasi) ega bo'lgan. Natijada BW-2 240 daqiqada MO ning 74% ini, 120 daqiqada RhB ning 97% ini parchalagan hamda Cr(VI) ni 180 daqiqada to'liq (100%) qaytargan — bu ko'rsatkichlar BW-1 dan bir necha barobar yuqori (masalan, RhB uchun tezlik konstantasi $12 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ ga qarshi $0.39 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$) [14]. Mualliflar shuningdek o'z natijalarini adabiyotdagi gidrotermal usulda olingan boshqa Bi_2WO_6 namunalari bilan solishtirib, eritma-kombustiya usuli bilan olingan namunaning RhB va Cr(VI) uchun tezlik konstantalari ko'plab gidrotermal natijalardan yuqori ekanligini ko'rsatishgan [14].

5. Mikroto'lqinli (microwave-assisted) sintez

Mikroto'lqinli usul reaksiya vaqtini keskin qisqartirish (odatda bir necha daqiqagacha), tez va bir tekis qizdirish hamda yuqori kristallik/faza tozaligini ta'minlash imkonini beradi [1,2]. Sharh maqolalarida [1,2,7] qayd etilishicha, mikroto'lqinli usul yordamida gul-shaklidagi Bi_2WO_6 mikrostrukturalari atigi 5–10 daqiqada olingan (masalan, geksametilentetramin (HMT) yoki etanolamin tuzilishni yo'naltiruvchi agent sifatida ishlatilgan holatlarda), bu esa

an'anaviy gidrotermal usulning bir necha soatlab davom etadigan jarayoniga nisbatan sezilarli tezroq. Biroq, ushbu usulning kamchiligi — sanoat miqyosida kengaytirish qiyinligi va reaksiya parametrlarini yuqori haroratli „issiqlik nuqtalar“ (hotspots) hosil bo'lishining oldini olish uchun ehtiyotkorlik bilan optimallashtirish zarurati [1].

6. Shablon (template), molten-salt va boshqa usullar

Chen va h.k. [2] o'z sharhlarida Bi_2WO_6 ning turli morfologiyalarini (ierarxik g'ovak tuzilmalar, nanotolalar) olish uchun qattiq (SiO_2 , polimer sharchalar) yoki yumshoq (surfaktant, emulsiya) shablonlardan foydalanilgan holatlarni ham keltirishgan. Shablon usuli zarracha o'lchami, shakli va tuzilishini aniq nazorat qilish, agregatlanishning oldini olish imkonini beradi, biroq shablonni keyinchalik olib tashlash qo'shimcha bosqich talab qiladi. Shuningdek, elektrotov'quv (electrospinning) va molten-salt (masalan, $\text{KNO}_3/\text{NaNO}_3$ muhitida) usullari ham adabiyotlarda tasvirlangan — so'nggisi toza va bir tekis kukun berishi, ammo kichik solishtirma sirt yuzasi bilan cheklanishi qayd etilgan [2].

7. Legirlash, defekt muhandisligi va postsintetik modifikatsiya

Sof Bi_2WO_6 ning fotokatalitik faolligini oshirishning muhim yo'nalishi — sintezdan keyingi yoki sintez jarayonida amalga oshiriladigan modifikatsiya, jumladan metall/nometall legirlash, kislorod vakansiyasi hosil qilish va geterotuzilma (heterojunction) yaratishdir [1,4,5,12].

Xiong va h.k. [12] ishida ko'rsatilganidek, gidrotermal yo'l bilan olingan sof Bi_2WO_6 ni keyinchalik tiokarbamid eritmasida gidrotermal sulfidlash orqali kislorod vakansiyalari bilan boyitish mumkin, bu esa taqiqlangan zonani torroq qilish va zaryad ajralishini kuchaytirish orqali fotokatalitik faollikni ancha oshiradi. Xuddi shunday, Wu va h.k. [16] Bi_2WO_6 ni ozon (O_3) bilan ishlov berish (etching) orqali modifikatsiya qilishgan — bu usul ham material sirtida kislorod vakansiyalarini hosil qilib, benzidin degradatsiyasini sof Bi_2WO_6 ga nisbatan ~2.1 marta oshirgan (O_3 - Bi_2WO_6 -3-4 namunasi, 3.0 L/min ozon oqimi, 4 soat ishlov, 180 daqiqada ~76% degradatsiya).

He va h.k. [5] hamda Rab va h.k. [3] o'zlarining keng qamrovli sharhlarida bismut asosidagi fotokatalizatorlar (jumladan Bi_2WO_6) uchun tarkibni sozlash (stoxiometriyani o'zgartirish, qattiq eritmalar), ultra-yupqa nanolistlar hosil qilish, ierarxik/kovak tuzilmalar, an'anaviy va to'g'ridan-to'g'ri Z-sxema geterotuzilmalari hamda o'tkazuvchi/yarimo'tkazgich materiallar bilan sirt modifikatsiyasi kabi strategiyalarni tizimlashtirgan. Bunday modifikatsiyalar, xususan boshqa yarimo'tkazgichlar (masalan, TiO_2 , WO_3 , g- C_3N_4) bilan geterotuzilma yaratish, elektron-kovak rekombinatsiyasini kamaytirish orqali fotokatalitik faollikni sezilarli darajada oshiradi [5,6].

Bunga misol sifatida, Ma va h.k. [6] ishida $\text{WO}_3/\text{Bi}_2\text{WO}_6$ binar nanolistlari mezoporali TiO_2 nanozarrachalari bilan birlashtirilib, uch komponentli $\text{TiO}_2/\text{WO}_3/\text{Bi}_2\text{WO}_6$ geterotuzilmasi gidrotermal usulda olingan. Optimal Ti:W nisbati (1:2) da ushbu uchlik kompozit metilen ko'k (MB) ning ko'rinishi yorug'lik ostidagi fotodegradatsiyasida sof TiO_2 dan 9.5 marta va sof $\text{WO}_3/\text{Bi}_2\text{WO}_6$ dan 2.8 marta yuqori faollik ko'rsatgan, bu ko'p bosqichli (multi-heterojunction) zaryad ajralishi va mezoporali/nanolist mikrotuzilma tufayli faol adsorbsiya markazlari sonining ortishi bilan izohlangan [6].

Shuningdek, Shobika va Roopan [4] o'zlarining sharhida Bi_2WO_6 nanomateriallarining faqat fotokataliz emas, balki organik sintez reaksiyalarida (masalan, dihidropiridin, poligidroksolin, benzoksazol hosilalarini olishda) geterogen katalizator sifatida ham

muvaqqiyatli qo'llanilishini, bunda gidrotermal usulda olingan Bi_2WO_6 nanozarrachalarining yuqori qayta ishlatilish (5 martagacha) va katalitik barqarorlik ko'rsatishini ta'kidlashgan.

8. Sintez usullarining qiyosiy tahlili

Yuqorida ko'rib chiqilgan adabiyotlar asosida Bi_2WO_6 (BiWO_4) sintez usullarining asosiy afzallik va kamchiliklari 1-jadvalda umumlashtirilgan.

1-jadval.

Bi_2WO_6 sintez usullarining qiyosiy tavsifi

Usul	Tipik shart-sharoitlar	Afzalliklari	Kamchiliklari
Qattiq fazali sintez	800–900 °C, bir necha soat kalsinatsiya	Sodda, arzon, yuqori mahsuldorlik	Katta zarracha, kichik sirt maydoni, yuqori energiya sarfi, past faollik
Gidrotermal/solvotermal	120–200 °C, avtoklav, 4–24 soat	Morfologiyani nozik boshqarish, yuqori kristallik va sirt maydoni	Maxsus asbob-uskuna, uzoq reaksiya vaqti
Sol-gel	Xona harorati — 400–800 °C kalsinatsiya	Tarkib/gomogenlikni boshqarish, legirlash qulay	Ko'p bosqichli, uzoq gel hosil bo'lish vaqti
Cho'ktirish / eritma-kombustiya	70–350 °C, tez (daqiqalar–soatlar)	Tez, sodda, arzon, kichik zarracha	Kam nazorat qilinadigan agregatlanish xavfi
Mikroto'lqinli	5–15 daqiqa, 100–450 W	Juda tez, bir tekis qizdirish, yuqori faza tozaligi	Sanoat miqyosida qiyin, qimmat uskuna
Shablon/molten-salt/elektroto'quv	Har xil, shablonga bog'liq	Aniq shakl va o'lcham nazorati	Qo'shimcha bosqich (shablonni olib tashlash), kichik sirt maydoni (molten-salt)

XULOSA

O'tkazilgan adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, Bi_2WO_6 ning fotokatalitik faolligi nafaqat uning kimyoviy tarkibiga, balki tanlangan sintez usuli va uning aniq sharoitlariga (harorat, pH, erituvchi, tuzilishni yo'naltiruvchi agentlar, kalsinatsiya rejimi) ham kuchli bog'liq. Gidrotermal/solvotermal usul, ayniqsa tuzilishni yo'naltiruvchi qo'shimchalar (L-lizin, SDS, HMT va h.k.) bilan birgalikda, morfologiyani eng nozik boshqarish, yuqori solishtirma sirt yuzasi va yuqori fotokatalitik faollikka erishish imkonini berishi sababli hozirgi kunda eng ko'p qo'llanilayotgan usul hisoblanadi [1,2,7,10]. Shu bilan birga, past haroratli va tez usullar — xususan eritma-kombustiya va mikroto'lqinli sintez — reaksiya vaqtining qisqaligi va energiya sarfining pastligi tufayli sanoat miqyosida qo'llash nuqtai nazaridan istiqbolli hisoblanadi [2,14].

Tahlil shuni ham ko'rsatadiki, sintez usulini tanlashning o'zi Bi_2WO_6 ning barcha kamchiliklarini (tor spektral javob, tez elektron-kovak rekombinatsiyasi) to'liq bartaraf eta olmaydi — shu sababli sintezdan keyingi modifikatsiya usullari, jumladan metall/nometall legirlash, kislorod vakansiyasi muhandisligi va boshqa yarimo'tkazgichlar bilan geterotuzilma yaratish, samarali qo'shimcha strategiya sifatida keng qo'llanilmoqda [3,5,6,12,16]. Kelgusi tadqiqotlar uchun istiqbolli yo'nalishlar sifatida sintez sharoitlari (harorat, pH, tuzilishni yo'naltiruvchi agent turi) bilan material xossalari o'rtasidagi bog'liqlikni miqdoriy modellashtirish, shuningdek eritma-kombustiya va mikroto'lqinli usullarni sanoat miqyosida qo'llash imkoniyatlarini kengaytirish tavsifiya etiladi.

Adabiyotlar/Литература/References:

1. Elaoui A., El Ouardi M., BaQais A., Arab M., Saadi M., Ait Ahsaine H. Bismuth tungstate Bi_2WO_6 : a review on structural, photophysical and photocatalytic properties // RSC Advances. — 2023. — Vol. 13. — P. 17476–17494.
2. Chen L., Guan B., Guo J., Chen Y., Ma Z., Chen J. et al. Review on the preparation and performance improvement methods of bismuth photocatalyst materials // Catalysis Science & Technology. — 2023. — Vol. 13. — P. 5478–5529.
3. Rab S.O., Altalbawy F.M.A., Baldaniya L., Kumar A., Rekha M.M., Kundlas M. et al. A comprehensive review of bismuth-based photocatalysts and antibiotic pollution degradation: Recent trends and challenges // Inorganic Chemistry Communications. — 2025. — Vol. 174. — Art. 114067.
4. Shobika M., Roopan S.M. An overview of bismuth tungstate-based catalysts in various organic transformations // Transition Metal Chemistry. — 2023. — Vol. 48. — P. 195–213.
5. He R., Xu D., Cheng B., Yu J., Ho W. Review on nanoscale Bi-based photocatalysts // Nanoscale Horizons. — 2018. — Vol. 3. — P. 464–504.
6. Ma C.Y., Wang R.T., Zhao G.H., Zhang Q.Y. Synthesis and characterization of enhanced visible light-driven mesoporous $\text{TiO}_2\text{-WO}_3/\text{Bi}_2\text{WO}_6$ nanosheet photocatalyst // Journal of Nanoparticle Research. — 2022. — Vol. 24. — Art. 256.
7. Yi H., Qin L., Huang D., Zeng G., Lai C., Liu X. et al. Nano-structured bismuth tungstate with controlled morphology: fabrication, modification, environmental application and mechanism insight // Chemical Engineering Journal. — 2019. — Vol. 358. — P. 480–498.
8. Ahmad K., Tanue Nde D., Khan R.A. Hydrothermal synthesis of bismuth-doped tungsten trioxide (Bi-WO_3) for photocatalytic hydrogen production application // Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis. — 2024. — Vol. 137. — P. 3487–3498.
9. Lv H., Liu Y., Guang J., Ding Z., Wang J. Shape-selective synthesis of Bi_2WO_6 hierarchical structures and their morphology-dependent photocatalytic activities // RSC Advances. — 2016. — DOI: 10.1039/C6RA14493D.
10. Guo W., Shuai Y., Xu M., Wu S., Peng R., Wang X. Facile synthesis of flower-shaped BiVO_4 microspheres for acetone sensor // Materials Letters. — 2022. — Vol. 324. — Art. 132722.
11. Xiong J., Zeng H.-Y., Yang Z.-L., Peng J.-F., Wu B., Liu S.-G. Engineering oxygen vacancies in Bi_2WO_6 by introducing heteroatoms for enhancing photo-oxidation/reduction activities // Ceramics International. — 2023. — Vol. 49. — P. 35927–35938.
12. Li J.Z., Zhong J.B., Huang S.T., Zeng J., He X.Y. Fabrication of Rh-doped Bi_2O_3 with enhanced photocatalytic performance by sol-gel method // Journal of Advanced Oxidation Technologies. — 2013. — Vol. 16, No. 1. — P. 168–172.
13. Vhangutte P.P., Kamble A.J., Shinde D.S., Bhange P.D., Madhale R.M., Patil V.L., Bhange D.S. Influence of synthesis methods on physical and photocatalytic properties of Bi_2WO_6 for

- decomposition of organic dyes and Cr(VI) reduction // Bulletin of Materials Science. — 2023. — Vol. 46. — Art. 56.
14. Alaoui C., Karmaoui M., Elaziouti A., Touati W., kaddi Allah I., Benhamed A., Bekka A. Solvothermal synthesis and characterization of monoclinic WO_3 nanoplatelets: investigation of their photocatalytic performance // Research on Chemical Intermediates. — 2023. — Vol. 49. — P. 1213–1233.
 15. Wu W., Ge J., Xiao B., Wei Z., Zhang W., Zheng X. Enhanced photocatalytic degradation performance of Bi_2WO_6 via O_3 modification // Desalination and Water Treatment. — 2023. — Vol. 286. — P. 197–204.

TECHSCIENCE.UZ

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

№ S/4 (4)-2026

TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL SCIENCES

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB MASALALARI**
elektron jurnali 15.09.2023-yilda 130346-
sonli guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan
o'tkazilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM"
mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika insituti.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.

Elektron manzil:

scienceproblems.uz@gmail.com