

## ТІО<sub>2</sub> НАНОӨЗЕКШЕЛЕРІНЕ ӘРТҮРЛІ КОНЦЕНТРАЦИЯДАҒЫ КҮМІС НАНОБӨЛШЕКТЕРІНІҢ ФОТОКАТАЛИТИКАЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІНЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Бердикалова А.К.<sup>1</sup>, Ермек Н.Б.<sup>1</sup>, Каюмова А.С.<sup>2</sup>, Сериков Т.М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, студент,  
Қарағанды қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, докторант,  
Қарағанды қ., Қазақстан

<sup>3</sup>Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, PhD, қауымд.  
профессор, Қарағанды қ., Қазақстан

*Бұл жұмыста титан қостотығының нанөзекшелеріне күміс нанобөлшектерінің концентрациясының олардың фотокаталитикалық белсенділігіне әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Титан қостотығы нанөзекшелері гидротермалды синтез әдісімен алынды. Титан қостотығының нанөзекшелерінің бетіне күміс нанобөлшектері 0,5; 0,75; 1; 2 ммоль концентрацияда химиялық тұндыру әдісі арқылы енгізілді. Беттік морфологиясы зерттеулері күміс нанобөлшектерінің титан қостотығының нанөзекшелерінің бетіне біркелкі таралғанын көрсетті. Үлгілердің фотокаталитикалық белсенділігі фототоктығыздығы бойынша бағаланды.*

**Кілт сөздер:** TiO<sub>2</sub>, Ag, нанөзекше, химиялық тұндыру, фотокаталитикалық белсенділік.

**Кіріспе.** Қоршаған ортаның ластануы қазіргі заманғы жаһандық мәселелердің бірі болып табылады. Өнеркәсіптік өндірістің қарқынды дамуы және урбанизацияның өсуі нәтижесінде атмосфераға, су ресурстарына және топыраққа зиянды ластанушы заттар көптеп бөлінуде. Әсіресе, органикалық ластанушылардың, ауыр металдардың және тұрақты химиялық қосылыстардың жиналуы экожүйелерге және адам денсаулығына кері әсерін тигізеді. Осындай экологиялық мәселелерді шешудің тиімді әдістерінің бірі – фотокатализ процестерін қолдану.

Фотокатализ – күн сәулесі немесе жасанды жарық әсерінен жартылай өткізгіш материалдарда химиялық реакциялардың жүруін қамтамасыз ететін перспективалы технология. Бұл әдіс суды, ауаны және өндірістік ағынды суларды органикалық және бейорганикалық ластанушылардан тазартуда кеңінен зерттелуде, фотокатализатор ретінде жартылай өткізгіштер кеңінен пайдаланылуда. Жартылай өткізгіш материалдар ішінде титан қостотығы (TiO<sub>2</sub>) ерекше назар аудартады,

өйткені ол жоғары химиялық тұрақтылыққа, экологиялық қауіпсіздікке және арзан өндірілу мүмкіндігіне ие [1]. Алайда, таза  $TiO_2$  тек ультракүлгін сәулелену әсерінде ғана белсенді болғандықтан, оның фотокаталитикалық тиімділігін арттыру үшін әртүрлі модификациялар жүргізіледі [2,3].

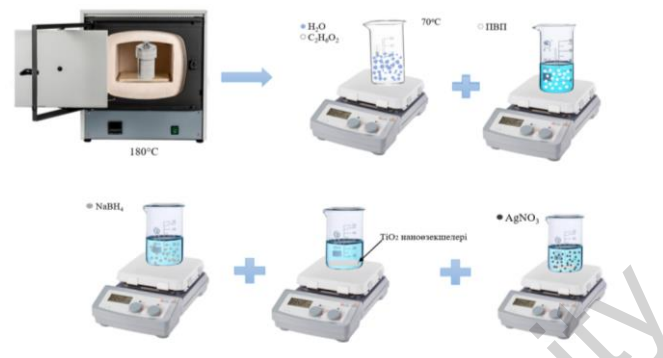
$TiO_2$  нанокұрылымдарының бетіне металдық нанобөлшектерді қоспалау олардың фотокаталитикалық қасиеттерін жақсартудың тиімді әдістерінің бірі болып табылады. Әсіресе, күміс (Ag) нанобөлшектерін енгізу үлкен қызығушылық тудыруда, себебі күмістің плазмондық қасиеттері оның көрінетін жарық аймағындағы сіңіру қабілетін арттырады. Сонымен қатар, Ag нанобөлшектері фотогенерацияланған электрондар мен кемтіктердің рекомбинациясын тежеп, олардың өмір сүру уақытын ұзартады [4]. Бұл өз кезегінде фотокаталитикалық белсенділіктің артуына алып келеді.

### **Материалдар мен әдістер**

$TiO_2$  нанобөлшектері гидротермалды әдіспен алынды. Тазартылған FTO шынылары 7,5 мл деионизделген су ( $H_2O$ ), 7,5 мл тұз қышқылы (HCl) және 0,25 мл титан тетра-н-бутоксидінен ( $C_{16}H_{36}O_4Ti$ ) бар ерітіндіге салынып, автоклава орналастырылды. Алынған қоспа  $180^\circ C$  температурада муфельді пеште 6 сағат ұсталды. Процестен кейін үлгілер деионизделген сумен шайылды. Титан қостотығының нанобөлшектерінің кристалдануы муфельді пеште  $500^\circ C$  температурада 2 сағат бойы термиялық өңдеу арқылы жүргізілді.

Күміс нанобөлшектері химиялық тұндыру әдісімен алынды (1-сурет). Алдымен, 0,2 г поливинилпирролидон (ПВП, молекулалық массасы 40 000) 40 мл  $H_2O$  және  $C_2H_6O_2$  (көлемдік қатынасы 1:1) қоспасына қосылды. Ерітінді қоспасы біркелкі таралуы үшін магнитті араластырғышта араластырылды. Ерітінділер қоспасына қарқынды араластыру кезінде 2 ммоль  $NaBH_4$  енгізілді. Кейін оған әртүрлі концентрациядағы 0,5; 0,75; 1; 2 ммоль күміс нитраты ( $AgNO_3$ ) қосылды. Нәтижесінде, титан қостотығының нанобөлшектері мен күміс нанобөлшектері қосылған нанокөмір (TNR/Ag) алынды.

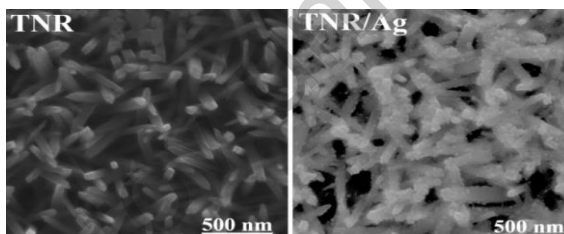
Үлгілердің беттік морфологиясы Mira 3MLU (Tescan) сканерлеуші электронды микроскоптың көмегімен зерттелді. Әртүрлі концентрациялы TNR/Ag қабықшаларының фотокаталитикалық белсенділігі Corrtest CS350 потенциостат/гальваностат көмегімен үш электродты электрохимиялық ұяшықта фототок тығыздығын өлшеу арқылы бағаланды. TNR/Ag жұмыс электроды, қарсы электроды ретінде Pt фольгасы және салыстырмалы электрод ретінде  $Ag/AgCl$  пайдаланылды. Өлшемдер 0,1 M NaOH электролитінде жүргізілді.



Сурет 1. Күміс нанобөлшектерін химиялық тұндыру процесі

### Нәтижелер және талдау

2-суретте TNR және TNR/Ag наноөзекшелерінің беткі морфологиясының суреттері көрсетілген.

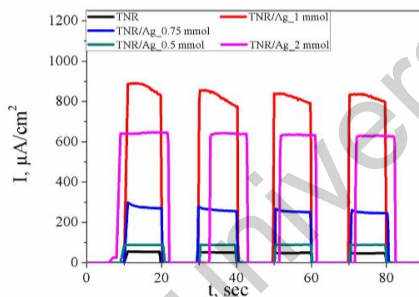


Сурет 2. TNR және TNR/Ag үлгілерінің СЭМ суреттері

Гидротермалды синтез нәтижесінде  $\text{TiO}_2$  наноөзекшелері (TNR) FTO шынысының бетінде қалыптасқанын байқауға болады.  $\text{TiO}_2$  наноөзекшелерінің бетіне Ag нанобөлшектерінің тұндырылғаннан кейінгі суреті көрсетілген. Нитраттың химиялық тотықсыздануы нәтижесінде TNR бетінде күміс нанобөлшектері пайда болып, үлгінің барлық бетіне біркелкі таралғаны байқалады. Сонымен қатар, күміс нанобөлшектері  $\text{TiO}_2$  наноөзекшелерінің қабырғаларын жаба отырып, олардың бетінің кедір-бұдырлығын арттырады.

Үлгілердің фотокаталикалық белсенділігі фототок тығыздығының өзгеруі бойынша бағаланды. Фототок тығыздығы 10 секунд сайын ашып-жабу арқылы жарық сәулесін түсіріп, жалпы 90 секунд өлшеу жүргізілді. Жарық болмаған жағдайда фототок

тығыздығы нөлге тең, ал қабықша бетіне жарық сәулесі түскен кезде барлық үлгілерде фототок тығыздығы бірден артқанын байқаймыз. 3-суретте көрсетілгендей, жарық әсерінен ең жоғары фототок мәні 890 мкА/см<sup>2</sup> құрайтын TNR/Ag\_1 ммоль үлгісінде байқалды. Бұл барлық зерттелген үлгілердің ішіндегі ең жоғары көрсеткіш. TNR/Ag\_0.5 ммоль, TNR/Ag\_0.75 ммоль және TNR/Ag\_2 ммоль үлгілерінің фототок тығыздығы сәйкесінше 98 мкА/см<sup>2</sup>, 290 мкА/см<sup>2</sup>, 637 мкА/см<sup>2</sup> құрайды. Алынған нәтижелерге сәйкес, TNR бетінде түзілген Ag нанобөлшектерінің саны артқан сайын фототок тығыздығы алдымен көбейіп, кейін 2ммоль концентрацияда төмендейді.



Сурет 3. TNR және TNR/Ag нанокөмпозиттерінің фототок тығыздығы

### Қорытынды

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, TiO<sub>2</sub> нанозекшелерінің бетіне Ag нанобөлшектерін әртүрлі концентрацияда (0,5; 0,75; 1; 2 ммоль) тұндыру олардың фотокаталикалық белсенділігіне айтарлықтай әсер етеді. TNR/Ag\_1 ммоль үлгісі 890 мкА/см<sup>2</sup> фототок тығыздығын көрсете отырып, барлық үлгілердің ішіндегі ең жоғары фотокаталикалық белсенділікке ие болды. Алайда, Ag концентрациясы 2 ммоль-ге дейін артқанда фототок тығыздығы төмендеп, 637 мкА/см<sup>2</sup> мәнін көрсетті. Бұл Ag нанобөлшектерінің артық мөлшері TiO<sub>2</sub> бетінде жиналып, жарықтың сіңуін шектеуін көрсетеді. Алынған мәліметтер TiO<sub>2</sub> негізіндегі нанокұрылымдарды жетілдіру арқылы жоғары тиімді фотокатализаторлар жасауға негіз бола алады.

### Пайдаланылған әдебиеттер

1. Nadeem B., Irshad K., Wail F. Nanomaterials: A review of synthesis, properties, recent progress, and challenges // Materials Advances - 2021 - Vol.2.-P. 1821-1871.

2. Nada F. M., Saleem A.H., Shawki K.M. Hydrothermally growth of TiO<sub>2</sub> nanorods, characterization and annealing temperature effect //Kuwait journal of science - 2021- Vol.48 -P.3-6.

3. Sanjay P., Deepa K., Madhavan J., Senthil S. Fabrication of DSSC with Nanostructured TiO<sub>2</sub> Photoanode and Natural Dye Sensitizer extracted from fruits of Phyllanthus reticulatus // Science and Technology - 2019 - Vol.4. - P.437-443.

4. Chakhtouna H., Benzeid H., Zari N. Recent progress on Ag/TiO<sub>2</sub> photocatalysts: photocatalytic and bactericidal behaviors // Enviromental scince and pollution research - 2021 - Vol.33. - P.44638–44666.

### **LaFeO<sub>3</sub> ПЕРОВСКИТИНІҢ ЭЛЕКТРТАСЫМАЛДАУ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ**

**Ф.Р. Амет<sup>1</sup>, Б.М. Сәулебек<sup>1</sup>, П.А. Жанбирбаева<sup>2</sup>, Т.М. Сериков<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, студент,  
Қарағанды қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, докторант ,  
Қарағанды қ., Қазақстан

<sup>3</sup>Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, PhD, қауымд.  
профессор, Қарағанды қ., Қазақстан

*LaFeO<sub>3</sub> перовскиті гидротермалды әдіс арқылы синтезделіп, әртүрлі уақытта термиялық өңдеуге ұшырады (2, 4 және 6 сағат). LaFeO<sub>3</sub> перовскитінің электртасымалдау қасиеттерін зерттеуде импеданс спектроскопиясы қолданылды. Импеданс спектроскопиясы Corrtest CS350M EIS Potentiostat құрылғысы арқылы жүргізілді. Зерттеу барысында әртүрлі термиялық өңдеу уақыттары үшін материалдың импеданс спектрлері алынған және оларды талдау арқылы материалдың өткізгіштік қасиеттеріндегі өзгерістер анықталды. LaFeO<sub>3</sub>\_6h үлгісінің импеданс доғасы басқа үлгілерге қарағанда ең кіші болды, бұл өткізгіштік қасиеттерінің жақсарғанын көрсетті. Бұл нәтижелер термиялық өңдеу уақытын ұзарту арқылы материалдың электртасымалдау қасиеттерін жақсартуға болатынын растайды. Яғни, термиялық өңдеу уақытын ұзартқан сайын оның өткізгіштігі артады.*

**Кілт сөздер:** перовскит, LaFeO<sub>3</sub>, гидротермалды әдіс, FTO, импеданс.