

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR OBTAINING A THIN TiO₂ FILM WITH THE PHOTOELECTRIC PROPERTIES BY THE ELECTROCHEMICAL METHOD

*A. Bayeshov, A. Kadirbayeva, A. Zharmenov, M. Turlybekova**

National Center on Complex Processing of Mineral Raw Material, Almaty, Kazakhstan

**E-mail: m.t.89@mail.ru*

Abstract. *Introduction.* One of the most important sources of renewable energy worldwide is the use of solar energy, which is developing rapidly, and solar power plants are becoming part of the energy infrastructure of many countries. In this regard, titanium dioxide, which has photovoltaic properties, and is used in the conversion of solar energy into electrical energy, is widely used. *Purpose* is to develop a method for attaching nanostructured titanium dioxide, stable in aqueous solutions, to the surface of a metal titanium plate. *Objects.* The mechanism of titanium dioxide formation on the titanium surface has been studied by removing the potentiodynamic polarization curves of the anode-cathode cycle, and conducting electrolysis under the potentiostatic conditions. It is established that during anodic polarization, its oxides are formed on the surface of the titanium electrode in the solutions of sodium hydroxide (alkaline medium) and potassium sulfate (neutral medium). *Results.* The curves of the anode-cathode polarization of a titanium electrode in a solution of potassium sulfate with the concentration of 100 g/l have shown that an anode current appears in the region of the potentials +0.2 V. *Conclusion.* It has been shown that during anodic polarization of titanium in the solutions of sodium hydroxide and potassium sulfate, an oxide film forms on its surface. It is determined that the formation of a titanium dioxide film occurs at a very low rate under the conditions of transpassivation.

Keywords: solar energy, titanium dioxide, coating, electrode, electrolysis, polarization

Bayeshov Abduali

Doctor of Chemical Science, Professor, Academician of the NAS RK, E-mail: bayeshov@mail.ru

Kadirbayeva Altinai

PhD, Senior researcher, E-mail: altinay_aidyn2789@mail.ru

Zharmenov Abdurassul

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the NAS RK, E-mail: nc@cmrp.kz

Turlybekova Makpal

Master, research associate, E-mail: m.t.89@mail.ru

ФОТОЭЛЕКТРИК ҚАСИЕТКЕ ИЕ TiO₂ ЖУҚА ПЛЕНКАСЫН ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ӘДІСПЕН АЛУДЫҢ ӘДІСІН ЖАСАУ

*A. Баешов, А.С. Кадирбаева, А.А. Жарменов, М.Н.Турлыбекова**

«Қазақстан Республикасының минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу жөніндегі ұлттық орталығы», Алматы, Қазақстан

**E-mail: m.t.89@mail.ru*

Citation: Bayeshov A., Kadirbayeva A.S., Turlybekova M.N., Zharmenov A.A. Development of a method for obtaining a thin tio₂ film with photoelectric properties by electrochemical method. *Chem. J. Kaz.*, 2023, 2(82), 27-36. (In Kaz.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2023-2.2710-1185.11>

Түйіндемe. *Кіріспе.* Бүкіл әлемде қалпына келетін энергия көздерінің маңыздысы - күн сәулесі энергиясын пайдалану жоғары қарқынмен дамуда, күн электр станциялары көптеген елдердің энергетикалық инфрақұрылымының бір бөлігіне айналуға. Осы орайда күн сәулесі энергиясын электр энергиясына айналдыру кезінде пайдаланылатын фотоэлектрлік қасиетке ие титан диоксиді кейінгі кезде кеңінен қолданыс тауып келеді. *Жұмыс мақсаты* – сулы ерітінділерде төзімді болып келетін наноқұрылымды титан диоксидін металдық титан пластинкасының бетіне қондырып алудың әдісін жасау. *Әдістер.* Титан бетінде титан диоксидінің түзілуінің механизмі анод-катодты циклді потенциодинамикалық поляризациялық қисықтарын түсіру және потенциостатикалық жағдайдағы электролиз жүргізу арқылы зерттелінді. Титан электроды бетінде анодты поляризациялау кезінде оның оксидтерінің түзілетіндігі натрий гидроксиді және калий сульфаты ерітінділерінде анықталды. *Нәтижелер және талқылау.* Титан электродының концентрациясы 100 г/л калий сульфатының ерітіндісінде түсірілген анодты-катодты поляризациялық қисықтары +0.2 В потенциалдар аймағында бастап анод тоғы пайда байқалатындығын көрсетті. Потенциалдың анодтық бағытта одан әрі жылжуымен полярограммада анодтық ток шамасының аздап жоғарылауымен бірге титанның бетінде күрең түсті оксидті қабаттың пайда болатындығы байқалды. «Плюс» 0.5 В бастап 2.0 В-қа дейінгі потенциал мәнінде анод тоғының өсуі тежеледі, бұл құбылыс титанның транспассивация жағдайында тотығатындығын көрсетеді, яғни, осы потенциалдар аралығында титан өз оксидін түзе отырып тотығады. Зерттеу нәтижелері, сулы ерітінділердегі титан электродының анодтық поляризациясы кезінде әртүрлі электрохимиялық параметрлердің (электродтар арасындағы кернеу, ерітіндінің құрамы, электролит температурасы) әсерінен титан электродының бетінде титан диоксидінің әртүрлі формалары түзілетіндігін көрсетті. *Тұжырым.* Натрий гидроксиді мен калий сульфатының ерітінділерінде титанның анодтық поляризациясы кезінде оның бетінде оксид пленканың түзілетіндігін көрсетті. Натрий гидроксиді мен калий сульфатының ерітінділерінде титанның анодтық поляризациясы кезінде оның бетінде оксид пленканың түзілетіндігін көрсетілді. Титан диоксиді пленкасының түзілу транспассивация жағдайында өте төмен жылдамдықпен жүретіндігі анықталды.

Кілт сөздер: күн энергиясы, титан диоксиді, жабын, электрод, электролиз, поляризация

<i>Баешов Абдуали</i>	<i>Химия ғылымдары докторы, профессор, лаборатория жетекшісі</i>
<i>Кадирбаева Алтынай Сарсеновна</i>	<i>PhD, аға ғылыми қызметкер</i>
<i>Жарменов Абдурасул Алдашев</i>	<i>Техника ғылымдары докторы, профессор, Бас директор</i>
<i>Турлыбекова Макпал Нышанғалиевна</i>	<i>Магистр, ғылыми қызметкер</i>

1. Кіріспе

Соңғы он жылдықта бүкіл әлемде күн энергетикасын пайдалану жоғары қарқынмен дамуда, күн электр станциялары көптеген елдердің энергетикалық инфрақұрылымының бір бөлігіне айналуға. Күн сәулесі энергиясы технологиясының дамуы экономикаға айтарлықтай әсер ететіні күмән келтірмейді. Алдағы он жылдықта "күн" ресурстары бар елдер мен өңірлердің күн электр энергетикасының қарқынды дамуы орын алады деп күтуге болады [1, 2].

Күн сәулесі энергиясын электр энергиясына айналдыру кезінде пайдаланылатын фотоэлектрлік қасиетке ие титан диоксиді кейінгі кезде кеңінен қолданыс табуы мүмкін. Сондай-ақ, ол химиялық тұрақты, әрі арзан тұратын болғандықтан химиялық өндірісте фотокатализатор ретінде пайдаланылып келеді [3]. Осыған орай, металл бетінде наноқұрылымды

титан диоксидін алудың жаңа электрохимиялық әдістерін жасау практикалық және теориялық маңызға ие.

Айта кету керек, титанның бетінде Ti_xO_y құрамындағы жұқа оксид пленкасы барлық уақытта болады және бұл табиғи пленканың қалыңдығы 20-40 нм-ден аспайды [4]. Бірақ титан бетінде болатын бұл оксидтік пленка фотокаталитикалық және басқа да қасиеттерге ие емес [5-9]. Осыған байланысты, біз титанның анодты поляризациялау кезінде оның бетінде титан диоксидінің түзілуіне әртүрлі параметрлердің әсерін зерттедік. Алдын-ала жүргізілген зерттеулеріміз, титан металының бетінде, сулы ортада анодтық поляризациялау кезінде белгілі бір құрамдағы титан фотокаталитикалық қасиеттерге ие металл диоксиді қабықшасының алуға түзілетіндігін көрсетті.

Бұл жұмыстың негізгі мақсаты – сулы ерітінділерде төзімді болып келетін нанокұрылымды титан диоксидінің металдық титан пластинкасының бетіне қондырып алудың әдісін жасау.

Зерттеу нәтижелері, сулы ерітінділердегі титан электродының анодтық поляризациясы кезінде әртүрлі электрохимиялық параметрдің (яғни, электродтар арасындағы кернеуге, ерітіндінің құрамына, электролит температурасына және т.б.) әсерінен титан электродының бетінде титан диоксидінің әртүрлі формалары түзілетіндігін көрсетті. Поляризация жағдайына байланысты титан бетінде әртүрлі құрылымы бар және түрлі түсті титан диоксиді пайда болатындығы анықталды.

2. Зерттеу әдістері

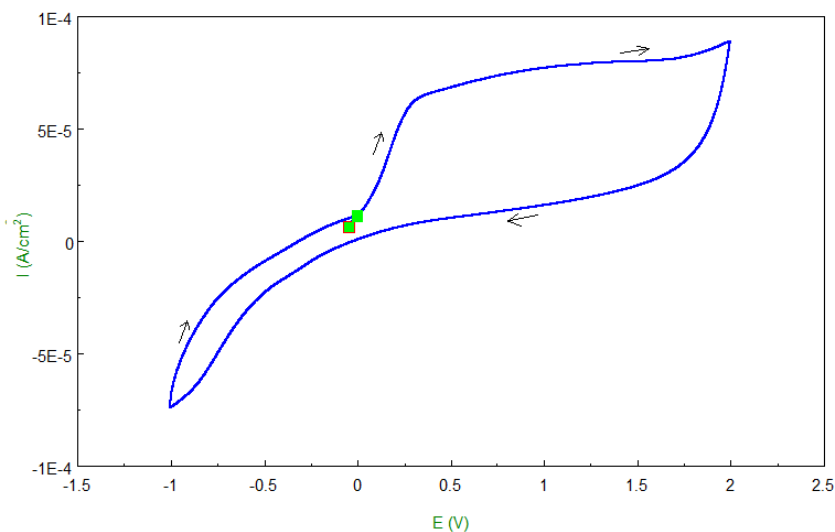
Титан бетінде титан диоксидінің түзілуінің механизмі анод-катодты циклді потенциодинамикалық поляризациялық қисықтарын түсіру және потенциостатикалық жағдайдағы электролиз жүргізу арқылы зерттелінді. Потенциодинамикалық поляризациялық қисықтарын түсіру үшін CorrTest Electrochemical Workstation (моделі CS120, Қытай) потенциостаты қолданылды.

Титан электроды бетінде анодты поляризациялау кезінде оның оксидтерінің түзілетіндігі натрий гидроксиді (сілтілі орта) және калий сульфаты (бейтарап орта) ерітінділерінде зерттелінді. Тәжірибелер көлемі 100 мл шыны электролизерде жүргізілді, катод ретінде титан пластинасы қолданылды. Электролиз стационарлық жағдайда, яғни электролиттің араластыруынсыз, бөлме температурасында жүргізілді. Электродтарды тұрақты токпен поляризациялау үшін GPS-1830D маркалы ток түзеткіші (өндіруші Matrix, Қытай) қолданылды. Аталған зерттеу әдістері алдыңғы жұмыстарымызда келтірілген [5].

Тәжірибелер нәтижесінде алынған титан диоксидінің беттік құрылымын анықтау мақсатында JSM-6610 LV маркалы заманауи "сканерлейтін электронды микроскопия" (өндіруші Jeol компаниясы, Жапония) қондырғысында микрофотографиялар түсірілді.

3. Зерттеу нәтижелері мен талқылануы

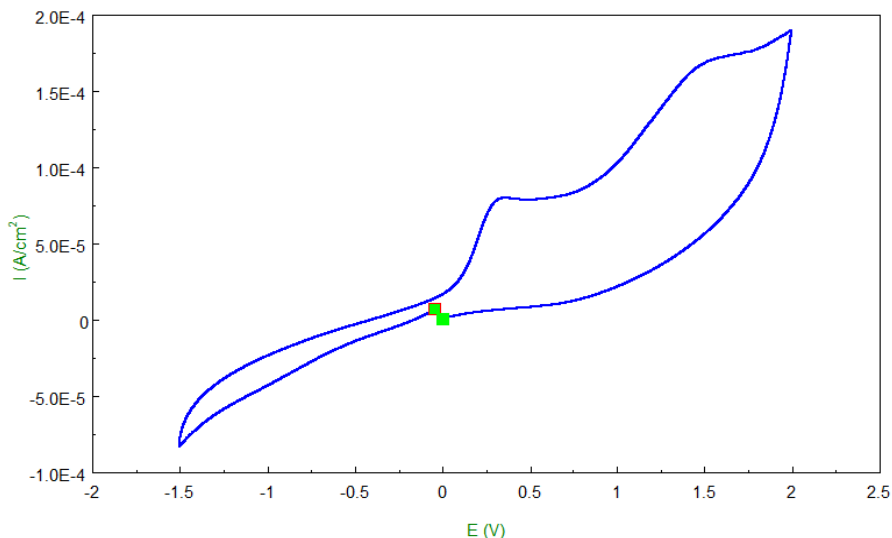
Құрылғының жоғары сезімталдығымен алынған анодты-катодты поляризация қисықтары 100 г/л калий сульфатының ерітіндісінде плюс 0.2 В потенциалдар аймағында бастап анод тогы пайда байқалатындығын көрсетті (сурет.1.). Потенциалдың анодтық бағытта одан әрі жылжуымен полярограммада алғашқыда анодтық ток шамасының аздап жоғарылауы байқалады. Осы сәтте титанның бетінде күрең түсті оксидті қабықшаның пайда болатындығын көруге болады. Плюс 0.5 В потенциалынан бастап 2.0 В-қа дейін анод тогының өсуі тежеледі, бұл құбылысы титанның транспассивация жағдайында тотығатындығын көрсетеді. Демек, осы потенциалдар аралығында титан өз оксидін түзеп отырып тотығады. Одан әрі анодтық потенциалының "плюс" 2.0 В дейін жоғарылауы кезінде электродының бетінде оттегінің газының бөлінуіне байқалмайды. Титанның потенциалы кері катодты бағытта ығысқан кезде полярограммада "минус" 1.0 В-қа жақын потенциалдар кезінде сутегі иондарының тотықсыздану тогы байқалады.



Сурет 1 – Калий сульфаты ерітіндісіндегі титан электродының анодты-катодты циклдік потенциодинамикалық поляризациялық қисықтары: K_2SO_4 – 100 г/л, $V = 100$ мВ/с, $t=25^\circ C$

Натрий гидроксиді ерітіндісіндегі титан электродының анод-катодты циклдік поляризациялық қисықтары түсірілді (2-сурет). Поляризациялық қисықтары аналогиялық сипатқа ие, бірақ полярограммадағы анодтық транспассивация тогының мөлшері жоғарырақ болады. Титанның потенциалы анодтық бағытта "плюс" 2.0 В-қа жылжитқанда, 0.25 В потенциалдар аймағында нейтральді ортада байқалмайған анодтық максимум пайда болады, бұны титанның анодтық тотығуы кезінде титан диоксидін басқа модификациясының түзілуімен байланысты деп

жорамалдауға болады. Ал титанның потенциалы кері катодты бағытта ығысқан кезде полярограммада "минус" 1.5 В кезінде сутегі иондарының тотықсыздану тогы байқалады.



Сурет 2 – Натрий гидроксиді ерітіндісіндегі титан электродының анодты-катодты циклді потенциалды динамикалық поляризациялық қисықтары: NaOH – 80 г/л, V = 100 мВ/с, t=25°C

Осылайша, анодтық-катодты циклдік поляризация қисықтарын талдау негізінде, анодтық поляризация кезінде титан бетінде қара түсті оксид пленкасының түзілетіндігін және металл өте төмен жылдамдықпен тотығатынын байқауға болады. Бұл жағдайда титан анодты жартылай периодында болғанда төмендегі реакциялар арқылы тотығуы мүмкін [10]:



Титан оксидінің металл бетінде түзілуінің механизмін анықтау үшін электролиз потенциостатикалық жағдайда жүргізілді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, белгілі бір ток тығыздығында титан электродын анодты поляризациялау мүмкін емес, өйткені металдың беті бірден жартылай өткізгіш қасиеті бар оксид қабатымен қапталып қалады, осыған байланысты транспассивация құбылысы орын алады, нәтижесінде тізбектен өтетін ток мөлшері де төмендейді. Осыған байланысты, электродтар арасындағы кернеудің титанның еруіне және оның бетіндегі оксидті пленканың түзілу тогына әсерін жан-жақты зерттелді.

Натрий гидроксидінің әртүрлі концентрациясындағы титан оксидінің түзілу тогының мәніне электродтар арасындағы кернеудің әсері зерттелді (1 және 2 кестелер). Зерттеу нәтижелері электродтар арасындағы кернеудің өсуі және сілті концентрациясының жоғарылауы, титан диоксидінің түзілу тогының өсетіндігін көрсетеді. Сілті концентрациясы 80 г/л, ал кернеу 4 В болғанда анодты токтың мәні 3.3 мА, 12 В –та 36.6, ал 24 В болғанда 58.0 мА-ге тең (1-кесте).

Электродтар арасындағы кернеуді 12 В етіп орнатқанда, электролит концентрациясы 40, 80 және 120 г/л болғанда, титан диоксидінің түзілу анодты ток мәндері сәйкесінше – 21.0 мА, 36.6 мА және 84.3 мА-ға тең болды.

Кесте 1 – Натрий гидроксидінің әртүрлі концентрациясындағы титан оксидінің түзілу тогының мәндеріне электродтар арасындағы кернеудің әсері (ток мөлшері кернеу берілгеннен кейін 3 минуттан соң өлшенді): $t=25^{\circ}\text{C}$, $\tau=1\text{сағ}$

		Анодты ток мәні, мА						
$U, \text{В}$		0	4	8	12	16	20	24
$\text{NaOH}, \text{г/л}$								
40		0	1.3	17.1	21.0	43.0	45.6	53.1
80		0	3.3	25.0	36.6	46.8	47.2	58.0
120		0	4.7	37.2	84.3	95.9	60.0	60.2

Электролиз ұзақтығының жоғарылауымен титан оксидінің түзілу анодты тогының мәні төмендейді. Бұл титан бетінде жоғары кедергісі бар жартылай өткізгіштік қасиетке ие оксидтік қабаттың өсуімен болуымен байланысты.

Айта кету керек, электродтар арасында әртүрлі кернеу орныққанда, алғашқы сәтте өте үлкен тотығу тогы орын алады, содан соң 3 минут уақыт өткен соң титан диоксидінің түзілу анодты тогының мәні күрт төмендейді (2-кесте). Бұл құбылыс диэлектриктік қасиетіне ие кедергісі жоғары Ti_xO_y қосылысының түзілуімен байланысты.

Егер 2-кестеге назар аударатын болсақ, алғашқы сәтте ($\tau=0$) кернеу 4.0, 12.0, 20.0 В болғанда анодты токтардың мәні сәйкесінше 21.0; 194.6; 225.3 мА, ал электролиз уақыты 24 минут өткеннен кейін сәйкесінше 0.2; 10.4; 11.2 мА – ге тең. Кернеу 28.0 В болған кезде анодты токтың күрт өсуі байқалады.

Калий сульфатының ерітіндісінде ұқсас тәуелділіктер байқалады (3 және 4 кестелер). Калий сульфатының әртүрлі концентрациясындағы титан оксидінің түзілу тогының мәніне электродтар арасындағы кернеудің әсері және электродтар арасындағы әртүрлі кернеулер кезіндегі анодтық ток мәніне электролиз ұзақтығының әсері қарастырылды. Анодты ток шамасы

кернеу берілгеннен кейін 3 минуттан соң өлшеніп отырылды. Екі ортаны салыстыра келе, натрий гироксидідегі анодты ток мәнімен шамалас екендігін көруге болады.

Кесте 2 – Натрий гидроксиді ерітіндісіндегі электродтар арасындағы әртүрлі кернеулер орныққан кезіндегі анодтық ток шамасына электролиз ұзақтығының әсері: NaOH – 40 г/л, $t=25^{\circ}\text{C}$

Анодты ток мәні, mA									
τ , мин. U, B	0	3	6	9	12	15	18	21	24
4.0	21.0	1.3	0.7	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2
12.0	194.6	21.0	18.7	16.1	15.5	14.2	13.0	10.5	10.3
20.0	225.3	45.6	20.1	16.2	14.8	14.5	13.1	11.9	11.2
28.0	295.0	78.8	61.2	64.2	58.4	57.2	55.4	50.1	45.3

Кейінгі зерттеулерімізде титан диоксидінің түзілу заңдылықтары калий сульфаты ерітіндісінде зерттелді: нейтралды ортада, сілтілі ортамен салыстырғанда титан диоксидінің түзілу тоғының мөлшерінің төмен болатындығы анықталды. Зерттеу нәтижелері 3 және 4 кестелерде келтірілген.

Кесте 3 – Калий сульфатының әртүрлі концентрациясындағы титан оксидінің түзілу тоғының мәніне электродтар арасындағы кернеудің әсері (ток шамасы кернеу берілгеннен кейін 3 минуттан соң өлшенді) $t=25^{\circ}\text{C}$, $\tau_{ж}=1\text{сағ}$

Анодты ток мәні, mA								
U, B K ₂ SO ₄ , г/л	0	4	8	12	16	20	24	28
60	0	0.13	0.21	0.36	0.49	23.0	34.0	39.1
80	0	0.15	0.29	0.61	0.61	37.0	46.1	59.3
100	0	0.41	2.88	13.2	26.2	31.2	35.4	51.3

Кесте 4 – Калий сульфаты ерітіндісіндегі электродтар арасындағы әртүрлі кернеулер кезіндегі анодтық ток шамасына электролиз ұзақтығының әсері K₂SO₄ – 100 г/л, $t=25^{\circ}\text{C}$

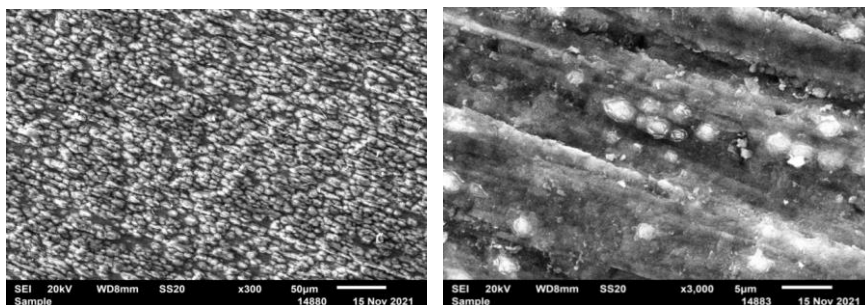
Анодты ток мәні, mA									
τ , мин. U, B	0	3	6	9	12	15	18	21	24
4,0	21.0	0.41	0.29	0.24	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16
12,0	87.2	13.2	12.3	13.6	13.5	13.5	13.4	13.3	12.9
20,0	146.2	31.2	24.2	23.1	20.3	17.2	16.8	14.7	13.2
28,0	171.2	51.3	49.3	48.2	40.2	37.5	35.3	31.0	24.2

Физика-химиялық талдау нәтижелері барлық жағдайларда титан бетінде TiO₂ құрамындағы титан оксиді түзілетіндігін анықтады (5-кесте). Оксид құрамындағы титанның мөлшері 60.37% алатындығын көруге болады.

Кесте 5 – Натрий гидроксиді ерітіндісінде электрод бетінде пайда болған оксид пленкасының элементтік құрамы: NaOH – 80 г/л, U=20 В, $\tau=1$ час., $t=25^{\circ}\text{C}$

Спектр	O	Ti	Si	Al	Fe	Zn	Итого
спектр 1	37.09	62.42	0.09	0.07	0.26	0.09	100
спектр 2	39.55	59.79	0.10	0.05	0.37	0.14	100
спектр 3	40.28	58.90	0.09	0.09	0.37	0.28	100
Среднее	38.97	60.37	0.09	0.07	0.33	0.17	100

Әрі қарай JSM-6610 LV маркалы заманауи "сканерлейтін электронды микроскопия" қондырғысында микрофотографиялар түсірілді. Микрофотографияда (3-сурет) натрий гидроксидінің (120 г/л) ерітіндісінде алынған титан диоксидінің пленкасының моноклиндік модификациялы TiO_2 құрылымы бар және титан диоксидінің анатазды фазадағы күйі байқалады. 3000 есе үлкейтілген 3-суретте TiO_2 пленкасының беті тегіс және біркелкі екендігі көрінеді.



Сурет 3 – Титан электродының бетінде түзілген титан диоксидінің (TiO_2) пленкасының микрофотографиялары.

4. Қорытынды

Зерттеу нәтижелері негізінде, натрий гидроксиді мен калий сульфатының ерітінділерінде титанның анодтық поляризациясы кезінде оның бетінде оксид пленканың түзілетіндігін көрсетті. Оксидтік пленканың қалыптасу жылдамдығына – ерітіндінің құрамы, электродтар арасындағы кернеу, ерітіндінің концентрациясы және электролиз ұзақтығының айтарлықтай әсер ететіндігі анықталды. Титан оксиді пленкасының түзілу транспассивация жағдайында өте төмен жылдамдықпен жүретіндігі анықталды. Түсірілген микрофотографиялар, титан бетінде біркелкі титан диоксиді (TiO_2) қабатының түзілетіндігі көрсетілді.

Қаржыландыру: Бұл жұмыс ҚР ИИДМ индустриялық даму комитеті қаржыландыратын BR09458955 "Сирек және сирек жер элементтері негізінде жоғары пайдалану қасиеттері бар жаңа композициялық материалдар жасау" ғылыми-техникалық бағдарламасы шеңберінде орындалды.

Алғыс: Д.В.Сокольский атындағы ИТКЭ мекемесінің Физикалық зерттеу әдістері лабораториясының басшысы А.Р. Бродский мырзаға көрсетілген көмек үшін алғыс білдіреміз.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар бұл мақалада өзара мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ТОНКОЙ ПЛЕНКИ TiO_2 , ОБЛАДАЮЩЕЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

*А. Баешов, А.С. Кадирбаева, А.А. Жарменов, М.Н. Турлыбекова**

*«Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан»,
Алматы, Казахстан*

**E-mail: m.t.89@mail.ru*

Резюме. *Введение.* Одним из важнейших источников возобновляемой энергии в мире является использование солнечной энергии, которая развивается высокими темпами, а солнечные электростанции становятся частью энергетической инфраструктуры многих стран. В связи с этим широко применяется диоксид титана, обладающий фотоэлектрическими свойствами и используемый при преобразовании солнечной энергии в электрическую. *Цель работы.* Разработка способа прикрепления наноструктурированного диоксида титана, устойчивого в водных растворах, к поверхности металлической титановой пластины. *Методология.* Механизм образования диоксида титана на поверхности титана изучали путем снятия потенциодинамических поляризационных кривых и проведения электролиза в потенциостатических условиях. Установлено, что при анодной поляризации на поверхности титанового электрода образуются его оксиды в растворах гидроксида натрия и сульфата калия. *Результаты и обсуждение.* Кривые анодно-катодной поляризации титанового электрода в растворе сульфата калия с концентрацией 100 г/л, показали, что в области потенциалов + 0.2 В появляется анодный ток. При дальнейшем смещении потенциала в анодном направлении было замечено, что в полярограмме наряду с незначительным увеличением величины анодного тока на поверхности титана образуется оксидный слой пурпурного цвета. При значении потенциала от + 0.5 В до 2.0 В рост анодного тока тормозится, это явление свидетельствует о том, что титан окисляется в условиях транспассивации, т. е. между этими потенциалами титан окисляется с образованием оксида. Результаты исследования показали, что при анодной поляризации титанового электрода в водных растворах под влиянием различных электрохимических параметров (напряжения между электродами, состава раствора, температуры электролита) *Заключение.* Было показано, что при анодной поляризации титана в растворах гидроксида натрия и сульфата калия на его поверхности образуется оксидная пленка. Было обнаружено, что образование пленки диоксида титана происходит с очень низкой скоростью в условиях транспассивации.

Ключевые слова: солнечная энергия, диоксид титана, покрытие, электрод, электролиз, поляризация

<i>Баешов Абдуали</i>	<i>Доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией</i>
<i>Кадирбаева Алтынай Сарсеновна</i>	<i>PhD, старший научный сотрудник</i>
<i>Жарменов Абдурасул Алдашевич</i>	<i>Доктор технических наук, профессор, Генеральный директор</i>
<i>Турлыбекова Макпал Нышангалиевна</i>	<i>Магистр, научный сотрудник</i>

Әдебиеттер тізімі

1. Бессель В.В., Кучеров В.Г., Мингалеева Р.Д. Изучение солнечных фотоэлектрических элементов. Москва, РГУ нефти и газа, **2016**, с.90.
http://www.gubkin.ru/faculty/pipeline_network_design/chairs_and_departments/thermodynamics_and_thermal_engine/files/Bessel_photovoltaiic_cells.pdf

2. Wang X., Fang Y., He L., Wang Q., Wu T. Influence of compact TiO_2 layer on the photovoltaic characteristics of the organometal halide perovskite-based solar cells. *Mat. Sci. Sem. Pro.*, **2014**, 27, 569–576. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2014.07.039>

3. Hyun Suk Jung, Nam-Gyu Park. Perovskite Solar Cells. *Mat. Dev. Small*, **2015**, 11(1), 10–25. DOI: <https://doi.org/10.1002/sml.201402767>

4. Лучинский Г.П. Химия титана, Москва, Химия, **1971**, с.480. <https://libcats.org/dl/1213375/67060d>
5. Башов А.Б., Кадирбаева А.С., Башова А.К. Потенциодинамикалық поляризация кысыктарын колдана отырып, натрий сульфаты ерітіндісіндегі мыс электродының электрохимиялық қасиеттерін зерттеу. *Хим. Жур. Каз*, **2015**, 3, 18-23.
6. Minemoto T., Murata M. Device modeling of perovskite solar cells based on structural similarity with thin film inorganic semiconductor solar cells. *J. Appl. Phys.*, **2014**, 116(5), 054505. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4891982>
7. Zhou Y., Gray-Weale A. A numerical model for charge transport and energy conversion of perovskite solar cells. *Phys. Chem.*, **2016**, 18(6), 4476–4486. DOI: <https://doi.org/10.1039/c5cp05371d>
8. Duffie J.A., Beckman W.A. *Sol. Eng. Ther. Proc.*, 4th edn. John Wiley & Sons, Inc., New York. **2013**, 928 p.
- 9.9. Малоков С.П., Саенко А.В., Бондарчук Д.А. Исследование влияния толщины пленки TiO₂ на фотоэлектрические характеристики перовскитовых солнечных элементов. *Инж. Вест. Дона.*, 2016, 4. DOI: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3866>
- 10.10. Малоков С.П., Саенко А.В., Палий А.В., Бондарчук Д.А., Бесполудин В.В. Исследование распределения температуры в пленке TiO₂ при импульсном лазерном нагреве. *Инж. Вест. Дона.*, **2017**, 3, с. 8. DOI: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4306>

References

1. Bessel' V.V., Kucherov V.G., Mingaleyeva R.D. Izuchenie solnechnyh fotoelektricheskikh jelementov [Study of solar photovoltaic cells]. Moscow, RSU of Oil and Gas РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина **2016**, 90 p. (In Russ.). http://www.gubkin.ru/faculty/pipeline_network_design/chairs_and_departments/thermodynamics_and_thermal_engine/files/Bessel_photovoltaic_cells.pdf
2. Wang X., Fang Y., He L., Wang Q., Wu T. Influence of compact TiO₂ layer on the photovoltaic characteristics of the organometal halide perovskite-based solar cells. *Mat. Sci. Sem. Pro.*, **2014**, 27, 569–576. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2014.07.039>
3. Hyun Suk Jung, Nam-Gyu Park. Perovskite Solar Cells. *Mat. Dev. Small*, **2015**, 11(1), 10-25. DOI: <https://doi.org/10.1002/sml.201402767>
4. Luchinskij G.P. Himiya titana [Chemistry of titanium], Moscow, Chemistry, **1971**, 480 p. (In Russ.). <https://libcats.org/dl/1213375/67060d>
5. Baeshov A.B., Kadirbaeva A.S., Baeshova A.K. Investigation of the electrochemical properties of a copper electrode in a sodium sulfate solution using potentiodynamic polarization curves. *Chem. J. Kaz.*, **2015**, 3, 18-23. (In Kazakh.)
6. Minemoto T., Murata M. Device modeling of perovskite solar cells based on structural similarity with thin film inorganic semiconductor solar cells. *J. Appl. Phys.*, **2014**, 116(5), 054505. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4891982>
7. Zhou Y., Gray-Weale A. A numerical model for charge transport and energy conversion of perovskite solar cells. *Phys. Chem.*, **2016**, 18(6), 4476–4486. DOI: <https://doi.org/10.1039/c5cp05371d>
8. Duffie J.A., Beckman W.A. *Sol. Eng. Ther. Proc.*, 4th edn. John Wiley & Sons, Inc., New York. **2013**, 928 p.
9. Maljukov S.P., Saenko A.V., Bondarchuk D.A. Investigation of the effect of TiO₂ film thickness on the photovoltaic characteristics of perovskite solar cells. *Eng. Bul. Don.*, **2016**, 4. [In Russ.]. DOI: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3866>
10. Maljukov S.P., Sayenko A.V., Paliy A.V., Bondarchuk D.A., Bespoludin V.V. Investigation of temperature distribution in TiO₂ film under pulsed laser heating. *Eng. Bull. Don*, **2017**, 3, p. 8. (In Russ.). DOI: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4306>