

на 2017–2020 годы // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 3. С. 1–14. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20163/1-14.pdf>.

5. Беспроводная технология малой мощности LoRa и модули NiceRF SX1276. – URL: <https://dxdt.ru/2016/07/01/7996/> (дата обращения: 01.09.2020). 6. Д. Л. Кумаритова, Р. В. Киричек. ОБЗОР И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ LPWAN СЕТЕЙ // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 4.

6. Талаев А.Д., Бородин В.В. Стандарты LPWAN для группового взаимодействия мобильных узлов // Труды МАИ. – 2018. – № 99.

7.С.М. Мухамадиев, Е.В. Рогожников, Э.М. Дмитриев. Исследование помехоустойчивости системы связи с линейной частотной модуляцией // Материалы докладов XVI Международная научно-практическая конференция «ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ» 18–20 ноября 2020 г. В-Спектр. Томск – 2020.

8. <https://store.rakwireless.com/products/wisduo-lpwan-module-rak3172?variant=40014759297222>.

9. <https://www.st.com/resource/en/datasheet/dm00037051.pdf>.

10. <https://www.altium.com/ru/altium-designer>.

11. <https://abracon.com/Resonators/abm3.pdf>.

Қабдылхалық М.Б., Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, физика – техникалық факультет, ФПК-406 тобы, студент

Командир Б.В., Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, физика – техникалық факультет, РТК-211 тобы, студент

(Ғылыми жетекші – РФ және Э кафедрасының аға оқытушысы Г.И. Омарбекова)

IN₂O₃ ҚАБЫҚШАЛАРЫН КҮЙДІРУ ТЕМПЕРАТУРАСЫНЫҢ ПОЛИМЕРЛІ КҮН ЭЛЕМЕНТІНІҢ ФОТОЭЛЕКТРЛІК СИПАТТАМАЛАРЫНА ӘСЕРІ

Күн энергиясын электр энергиясына түрлендіру-бұл болашақта таза энергияны алу үшін үлкен сұранысты қамтамасыз ететін тәсілдердің бірі. Қазіргі уақытта әртүрлі фотоэлектрлік түрлендіргіштер арасында органикалық күн элементтері әртүрлі халықаралық ғылыми топтар арасында үлкен қызығушылық тудырады [1]. Органикалық күн ұяшықтарының (OSC) тиімділік деңгейі жаңа материалдарды іздеудің, бар материалдарды жетілдірудің және белсенді қабат морфологиясын оңтайландырудың арқасында 14% - дан асады [2]. OSC фотобелсенді қабаты-бұл электрондонорлы және акцепторлы материалдар белсенді қабатта араласып, экситондар бөлінетін интерфазалық аймақты құрайтын көлемді гетеропереход. Көлемді гетеропереход электронды тасымалдау қабаты (ETL) мен кемтік тасымалдау қабаты (HTL) арасында екі шекарада да рекомбинацияны азайту және зарядты шығару тиімділігін арттыру үшін орналастырылады. ETL қабаты инверттелген құрылымда OSC жұмысында маңызды рөл атқарады. ETL қабаты электрондардың шығарылуын күшейтіп, зарядтың рекомбинациясын азайтып қана қоймай, сонымен қатар фотобелсенді қабаттың морфологиясына да әсер етуі мүмкін.

Металлдар оксиді негізіндегі ETL қабаттары спектрдің көрінетін аймағында жоғары мөлдірлігі, сонымен қатар легирлеу немесе химиялық модификациялау жолымен энергия деңгейлері мен электрлік қасиеттерін өзгерту мүмкіндігі арқасында үлкен қызығушылық тудырды [3]. OSC-де қолданылатын белгілі металл оксидтері ретінде ZnO және TiO₂ айтуға болады. Алайда, ZnO және TiO₂ негізіндегі ETL қабаты заряд тасымалдаушыларының салыстырмалы түрде төмен қозғалғыштығына ие. Оларға, тыйым салынған аймақтың ені (3,7-3,85 эВ), оптикалық мөлдірлігі және электрондардың қозғалғыштығы салыстырмалы түрде жоғары (14-226 см²*В⁻¹*с⁻¹) болатын In₂O₃ балама болып табылады [1].

In₂O₃ қабықшаларын вакуумдағы жылу булану, иондық сәулелерді шашырату, импульсті лазерлік тұндыру және бу фазасынан химиялық тұндыру әдістері арқылы алуға болады. In₂O₃ қабықшаларының құрылымдық, оптикалық және электрлік қасиеттеріне әсер ететін факторлар қабықшаны алу технологиясымен анықталады. Олардың арасында вакуумдық термиялық

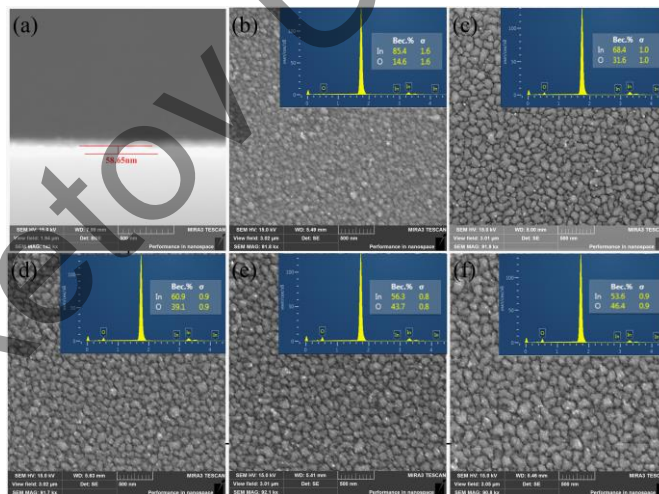
тұндыру әдісін бөліп көрсетуге болады, өйткені бұл жағдайда төседе жақсы адгезиясы бар химиялық тазалығы жоғары қабықшалар алуға болады.

FTO негізіндегі фотосезгіш ұяшықтарға арналған төсемелерді дайындау [4] әдістемеге сәйкес жүзеге асырылды. FTO-да In ұнтағын (Sigma-Aldrich, powder, 99.99% trace metals basis) CY-1700x-spc-2 (Zhengzhou CY Scientific Instruments Co., Ltd) қондырғысында вакуумдық термиялық тұндыру әдісімен буландыру және бір сағат ішінде 200 – 500°C температураларында күйдіру арқылы In_2O_3 қабықшалары алынды.

Органикалық күн ұяшықтарын алу үшін In_2O_3 қабықшасының бетіне spin-coating (2000 айн/мин) әдісімен P3HT:ICMA (тазалығы 97% Sigma Aldrich) фотоактивті қабаты 1:0.8 концентрациясында алынды. Осыдан кейін фотобелсенді қабат қабықшасы ауа атмосферасында 140°C температурада 10 минут ішінде күйдірілді, содан кейін CY-1700x-spc-2 (Zhengzhou CY Scientific Instruments Co., Ltd) қондырғысында термиялық тұндыру әдісімен MoO_3 (d~30 nm) және ток өткізгіш электроды (Ag, d~120 nm) бетіне жағылды.

Индий оксиді қабықшаларын алу үшін вакуумда тұндырылған In қабықшалары ауа атмосферасында 200-500°C температурада күйдірілді. Күйдіру температурасы In_2O_3 қабықшасының кристалдылығына әсер ететіні белгілі. Бұл жағдайда T=200°C температурада қабықша аморфты құрылымға ие. T=300°C күйдіру температурасына жеткенде поликристалды фазаға өту байқалады.

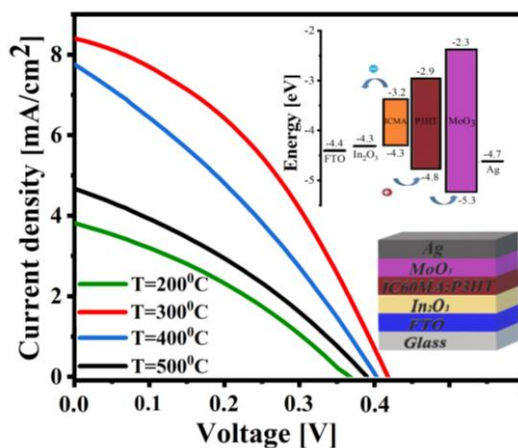
1-суретте қабықшалардың көлденең сынығы және зерттелетін қабықшалардың бетінің SEM суреттері көрсетілген. In_2O_3 қабатының қалыңдығын анықтау қабықшаның көлденең сынығының SEM суреттері арқылы жүзеге асырылды. Вакуумдық термиялық тұндыру әдісімен алынған In_2O_3 қабықшаларының орташа қалыңдығы 1~58,65 nm құрайды. Біздің жағдайда, SEM суреттерінен қабықшаларды күйдіру температурасы оның беткі морфологиясына әсер ететіні байқалады. Күйдірілмеген қабықшаның беті түйіршіктерінің орташа мөлшері d~120 nm болатын құрылымға ие. T=200°C температурада термиялық күйдіру кезінде, күйдірусіз қабықшамен салыстырғанда, түйіршіктердің мөлшерінің ұлғаюы байқалады. Қабықшалардың келесі күйдіру температурасының 300–500°C дейін одан әрі жоғарылауы түйіршіктердің өлшемдерінің үлкеюіне алып келеді.



1-сурет. In_2O_3 қабықшалардың көлденең сынығы (a), In_2O_3 қабықша беттерінің b) күйдірілмеген c) T=200°C d) T=300°C e) T=400°C f) T=500°C морфологиясы және EDX талдаулары

In_2O_3 қабықшаларын күйдіру температурасының полимерлі күн ұяшығындағы электронды тасымалдауына әсерін анықтау үшін In_2O_3 /P3HT:ICMA/ MoO_3 /Ag ұяшығы жиналды. P3HT:ICMA фотобелсенді қабатын фотоқоздыру кезінде электронды-кемтіктік жұп пайда болады, содан кейін In_2O_3 /P3HT:ICMA және P3HT:ICMA/ MoO_x аралықтарында еркін заряд тасымалдаушыларға бөлінеді (2-сурет). Электрондар In_2O_3 ETL қабатына, ал кемтіктер MoO_x HTML қабатына инжекцияланады. OSCs вольтамперлік сипаттамалары 2-суретте көрсетілген. ВАС негізінде есептелген OSCs фотовольтаикалық параметрлері 1-кестеде көрсетілген. 2-суреттен және 1-кестеден көріп отырғанымыздай, ВАС параметрлері In_2O_3 қабықшасын күйдіру

температурасынан тәуелді. $T=200^{\circ}\text{C}$ күйдіру температурасында ұяшықтың ПӘК 0,45% құрады. Күйдіру температурасы $T=300^{\circ}\text{C}$ -қа дейін жоғарылаған кезде ток, кернеу және ұяшық тиімділігінің жоғарылауы байқалады. In_2O_3 қабықшаларының күйдіру температурасының одан әрі жоғарылауы ВАХ параметрлерінің мәндерінің төмендеуіне алып келеді.



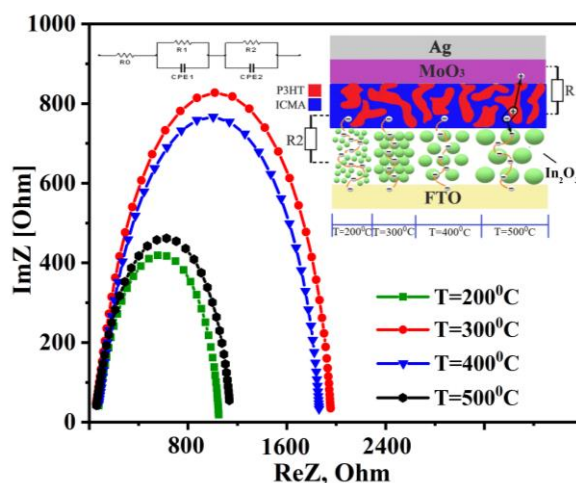
2-сурет. In_2O_3 күйдіру температурасының $\text{In}_2\text{O}_3/\text{P3HT}:\text{ICMA}/\text{MoO}_3/\text{Ag}$ құрылымды OSCs вольтамперлік сипаттамаларына әсері

ВАС байқалған өзгерістері OSCs- те индий оксидінің құрылымдық өзгерістерінің күйдіру температурасы артқан сайын заряд тасушылардың тасымалдануына әсер етуімен байланысты. Индий оксиді құрылымының OSCs - тегі заряд тасымалдаушылардың тасымалдау динамикасына әсерін егжей-тегжейлі зерттеу үшін OSCs импеданс спектрлері өлшенді.

1-кесте. Күн ұяшықтарының ВАС параметрлері

Күйдіру температурасы, °C	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	U_{max} (V)	J_{max} (mA/cm ²)	FF	PCE %
200	0.37	3.81	0.21	2.19	0.32	0.45
300	0.42	8.66	0.26	5.41	0.38	1.38
400	0.41	7.76	0.22	4.34	0.31	0.95
500	0.39	4.68	0.22	2.69	0.32	0.58

OSCs-тің өлшенген импеданс спектрлері (нүктелері) 3-суретте көрсетілген. Импеданс спектрлері 3-суретте көрсетілген эквивалентті электр тізбегімен сипатталады, мұндағы R_0 -сыртқы электродтардың эквивалентті кедергісі ($R_{FTO} + R_{In_2O_3} + MoOX + Ag$), R_1C_1 фотоактивті қабат/ $MoOX$ аралығын сипаттайды және R_2C_2 фотоактивті қабат/ In_2O_3 аралығын сипаттайды. R_1 және R_2 -сәйкесінше кемтіктер мен электрондардың рекомбинациясын сипаттайтын фаза аралық кедергісі.



3-сурет. In_2O_3 қабықшаларын күйдіру температурасының OSC импеданс спектріне әсері

Бұл жұмыста индий оксидін термиялық күйдіру әдісімен индий оксидінің қабықшалары (In_2O_3) алынды. Термиялық күйдірудің In_2O_3 қабықшаларының морфологиясына, құрылымына және сонымен қатар OSCs-тің фотовольтаикалық сипаттамаларына әсері зерттелді. Қабықшаларды күйдіру 200 – 500°C температура диапазонында жүргізілді. Алынған In_2O_3 қабықшаларының негізінде FTO/ In_2O_3 /P3HT:ICMA/MoO_x/Ag құрылымы бар инверттелген органикалық күн ұяшықтары (OSC) жасалды. 200°C-та күйдірілген In_2O_3 негізіндегі OSCs 0.45% өте төмен тиімділікті (PCE) көрсетті. Күйдіру температурасының 300°C дейін жоғарылауы PCE (1.38%) айтарлықтай жақсаруына алып келеді. Алайда, күйдіру температурасының одан әрі жоғарылауы In_2O_3 негізіндегі OSCs-тің фотовольтаикалық көрсеткіштерінің нашарлауына алып келді.

Әдебиеттер:

1. W. Huang, B. Zhu, Sh.Y. Chang, Sh. Zhu, P.Cheng, Y.T. Hsieh, L. Meng, R. Wang, Ch. Wang, Ch. Zhu, Ch. R. McNeill, M. Wang, Y. Yang, Nano Lett., 2018, DOI: 10.1021/acs.nanolett.8b02452
2. Che, X.; Li, Y.; Qu, Y.; Forrest, S. R. Nat. Energy 2018, 3, 422-427.
3. Yang, G.; Tao, H.; Qin, P.; Ke, W.; Fang, G. J. Mater. Chem. A 2016, 4, 3970-3990.
4. Nano ZnO thin films synthesis by sol-gel spin coating method as a transparent layer for solar cell applications/Ahmed Abdel-Galil Farrag1, Mohamed R. Balboul1/J Sol-Gel Sci Technol (2017) 82:269–279 DOI 10.1007/s10971-016-4277-8

Мешкова А.С., Карагандинский университет имени академика Е.А.Букетова, химический факультет, гр. МХе-52, магистрант

Кудрявцева Е.В., Карагандинский университет имени академика Е.А.Букетова, химический факультет, гр. МХе-62, магистрант

(Научный руководитель — к.х.н., профессор Курманова А.Ф.)

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТОЛИТИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ В ДИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТАХ

Результаты ЭПР-спектроскопических исследований позволяют предсказать способность карбоновых кислот к образованию димерных ассоциатов в неполярных растворителях [1]. Авторы показали, что протонный обмен между семихинонным радикалом и муравьиной кислотой в толуоле осуществляется преимущественно с димерной формой кислоты [2]. Кроме того, было установлено, что протолитические свойства дикарбоновых кислот взаимосвязаны с длиной алифатической цепи и увеличение углеродного скелета кислоты приводит к понижению энергетического барьера. Предполагается, что межмолекулярному протонному обмену способствует образование сложного переходного интермедиата реакции обусловленного