

3. Green M. A. Proc. IEEE 4th World Conf. on Photovoltaic Energy Conversion. Hawaii, USA, 2006. P. 15.
4. Девицкий О. В. Исследование влияния состава на выходные характеристики фотопреобразователей Al_xGa_{1-x}As-In_xGa_{1-x}As-GaAs // Сборник материалов X Ежегодной научной конференции студентов и аспирантов базовых кафедр Южного научного центра РАН: тезисы докладов (г. Ростов-на-Дону, 14–29 апреля 2014 г.). Ростов-н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2014. 410 с.
5. Девицкий О. В., Сысоев И. А. Моделирование солнечного элемента на основе гетероструктур Al_xGa_{1-x}As – In_xGa_{1-x}As – GaAs // Вестник Северо-Кавказского федерального университета: научный журнал. Ставрополь: Изд-во СКФУ. 2015. № 3 (48).
6. Geisz J. F., Friedman D. J., Kurtz S. R. Proc 29th IEEE PVSC (New Orleans, LA, 2002) p. 864.
7. Dae-Seon Kim, Yonkil Jeong, Hojung Jeong, Jae-Hyung Jang, Triple-junction InGaP/GaAs/Ge solar cells integrated with polymethyl methacrylate subwavelength structure, Applied Surface Science. 2014. Volume 320. 30 November. P. 901–907.

УДК 544.774.4 + 535.3

**Кравцов Александр Александрович, Блинов Андрей Владимирович,
Крандиевский Святослав Олегович, Момот Елена Владимировна**

ДОПИРОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК TiO₂ НАНОЧАСТИЦАМИ МЕДИ

Были синтезированы тонкие пленки диоксида титана, допированные наночастицами меди. Полученные пленки просушивали при комнатной температуре и при температуре кальцинации TiO₂, исследовали методами эллипсометрии, спектрофотометрии и ИК-спектроскопии. Было выяснено, что концентрация наночастиц меди в исходной реакционной массе для получения пленок влияет на толщину получаемых пленок и на их показатель преломления. Внесение наночастиц меди в пленки диоксида титана приводит к появлению полосы поглощения на 650–750 нм.

Ключевые слова: тонкие пленки TiO₂, фотосенсибилизация, наночастицы Cu, золь-гель метод, нанесение на вращающуюся подложку, эллипсометрия, спектры пропускания, ИК-спектроскопия.

**Aleksander Kravtsov, Andrej Blinov, Syjatoslav Krandievskij, Elena Momot
SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF THIN TiO₂ FILMS,
DOPED WITH COPPER NANOPARTICLES**

Thin films of titanium dioxide, doped with copper nanoparticles, were synthesized by the method of deposition on the rotating substrate. The obtained films were dried at room temperature and at temperature of TiO₂ calcination and studied by ellipsometry, spectrophotometry and infrared spectroscopy. The concentration of copper sol in the solution for producing films affects the thickness of the resulting coating films and their refractive index. Adding copper nanoparticles in the titanium dioxide films leads to the appearance of absorption bands at 650 – 750 nm.

Key words: thin TiO₂ films, photosensitivity, Cu nanoparticles, sol-gel method, coating the rotating substrate, ellipsometry, transmission spectra, IR spectroscopy.

На сегодняшний день разработка и исследование свойств новых материалов является весьма актуальной задачей, поскольку во многих областях науки и техники востребованы современные материалы с высокими эксплуатационными характеристиками и новыми свойствами. Одним из наиболее перспективных направлений современного материаловедения является разработка и исследование нанокompозитных материалов. К ним относятся в частности пленки диоксида титана, допированные наночастицами [1–6]. Известно, что диоксид титана прозрачен в видимой области и поглощает в УФ-области спектра [7]. Внесение в пленки TiO₂ наночастиц металлов и полупроводников позволяет модифицировать спектральные характеристики пленок. Такие пленки могут быть использованы в электрооптике и солнечной энергетике.

Синтез. Для синтеза тонких пленок диоксида титана был использован золь-гель метод. В качестве прекурсора использовали тетраизопропилат титана. Исходный раствор для создания пленок готовили путем разбавления тетраизопропилата титана в изопропиловом спирте. Концентрация тетраизопропилата титана составляла порядка 0,1 моль/л. Далее в раствор добавлялся золь меди, синтезированный в среде бутанола-1 по методике [8]. В золе присутствовали две фракции частиц меди со средними гидродинамическими радиусами 12 и 380 нм. Наличие в реакционной смеси воды недопустимо, поскольку это может привести к быстрому гидролизу тетраизопропилата титана и невозможности получения пленки TiO_2 . Для изучения влияния концентрации наночастиц меди в исходном растворе на оптические свойства пленок была синтезирована серия образцов с различным содержанием золя Cu: 1, 2, 5, 7 и 10 мл золя на 20 мл раствора титансодержащего прекурсора. Концентрация меди в растворе, таким образом, составляла от 0,005 до 0,05 моль/л. Также был синтезирован эталонный образец не содержащий меди.

Пленки наносили на вращающиеся кремниевые (100) и стеклянные пластины при скорости вращения $\sim 8\,000$ об/мин. Количество раствора, нанесенного на подложки, было одинаковым во всех экспериментах. После нанесения пленок образцы просушивались при комнатной температуре и при $400\,^\circ\text{C}$.

Для определения толщины полученных пленок использовали метод эллипсометрии. На рис. 1а и 1б представлены результаты эллипсометрии.

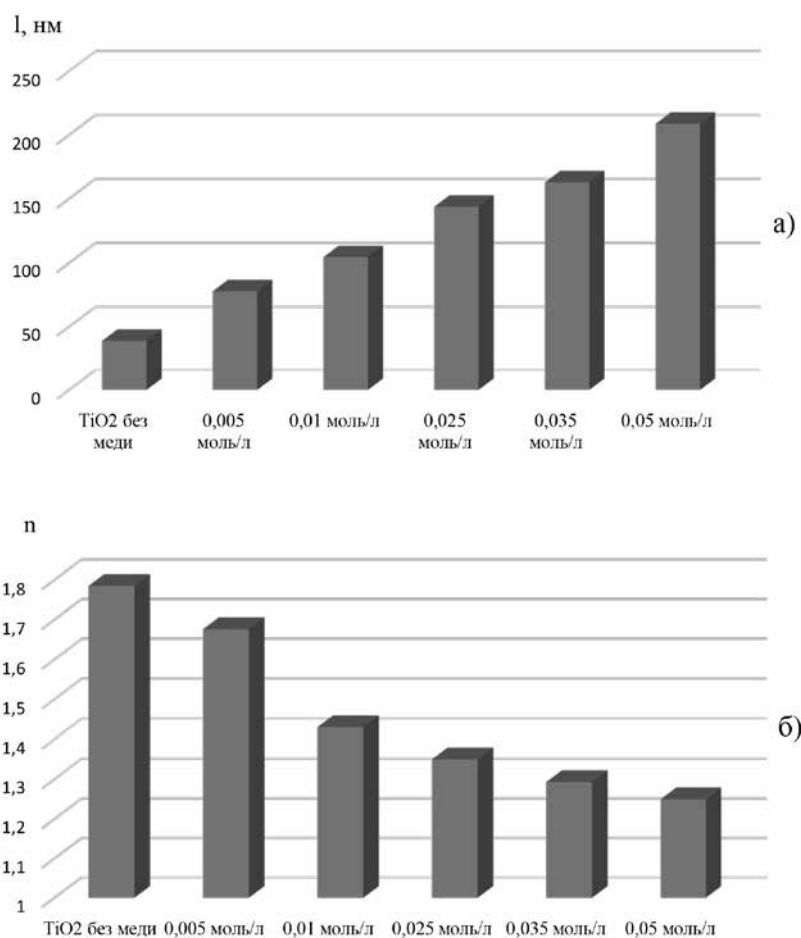


Рис. 1. Результаты эллипсометрии пленок TiO_2 -Cu: измерение толщины (а), и показателя преломления (б)

Как видно из рис. 1а, толщина полученных пленок возрастает в пределах от 39 нм (для чистого TiO_2) до 208 нм, с увеличением концентрации меди в исходном растворе. Процесс роста пленок TiO_2 связан с кристаллизацией оксида титана из тетраизопрпилата титана на поверхности подложки. В связи с этим толщина пленки будет зависеть от таких факторов, как шероховатость подложки, концентрация тетраизопрпилата титана в растворе, количество нанесенного раствора и скорость вращения подложки. Важным фактором при внесении наночастиц меди в раствор является их концентрация, поскольку они становятся дополнительными центрами кристаллизации и роста TiO_2 , что подтверждается зависимостью, представленной на рис. 1а.

Показатель преломления пленок варьировался в пределах от 1,785 до 1,25. Зависимость, представленная на рис. 1б, свидетельствует о том, что с увеличением концентрации наночастиц меди в пленках TiO_2 , значительно уменьшается показатель преломления, а следовательно, уменьшается и оптическая плотность пленок. В соответствии с литературными данными, благодаря плазмонному резонансу, металлодиэлектрические композитные среды, представляющие собой диэлектрик с хаотично распределёнными по всему объёму металлическими наночастицами, могут проявлять интерференционные просветляющие свойства в видимой области спектра [9], что возможно и приводит к уменьшению показателя преломления пленок с увеличением концентрации наночастиц меди.

Для исследования оптических свойств пленок были сняты спектры пропускания образцов до и после прокаливания (рис. 2–4). На рис. 2 представлены спектры пропускания пленок диоксида титана без добавления меди. С прокаливанием характеристический спектр пропускания TiO_2 не претерпел изменений.

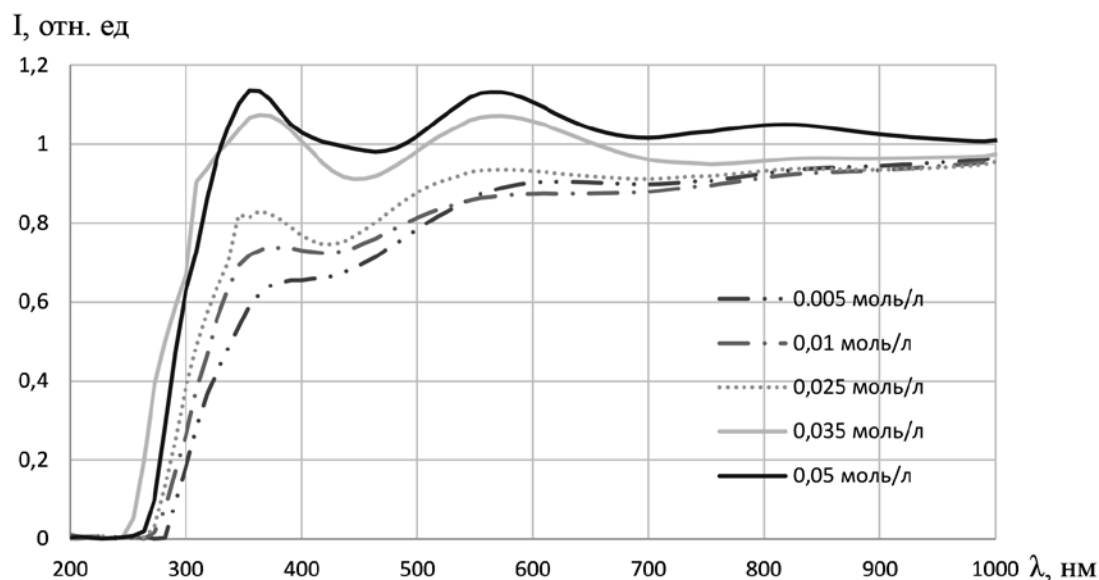


Рис. 2. Спектры пропускания пленок TiO_2 , просушенных при комнатной температуре и при 400 °С

На спектрах пропускания пленок $\text{TiO}_2\text{-Cu}$, представленных на рис. 3 и 4, присутствует выраженная полоса поглощения на 420–450 нм и менее выраженная на 650–750 нм. Интенсивность поглощения прямо пропорциональна содержанию меди в пленках и их толщине (рис. 3). Появление полосы поглощения на 420–450 нм может быть связано с интерференционным поглощением пленок диоксида титана [10]. Полоса на 650–750 нм соответствует поглощению наночастиц меди с окисленной поверхностью, что согласуется с исследованиями золя меди, использовавшегося для синтеза

и с литературными данными [8, 11]. При прокаливании образцов при температуре 400 °С наблюдается снижение интенсивности указанных полос поглощения, что может быть обусловлено агрегацией и спеканием наночастиц (рис. 4).

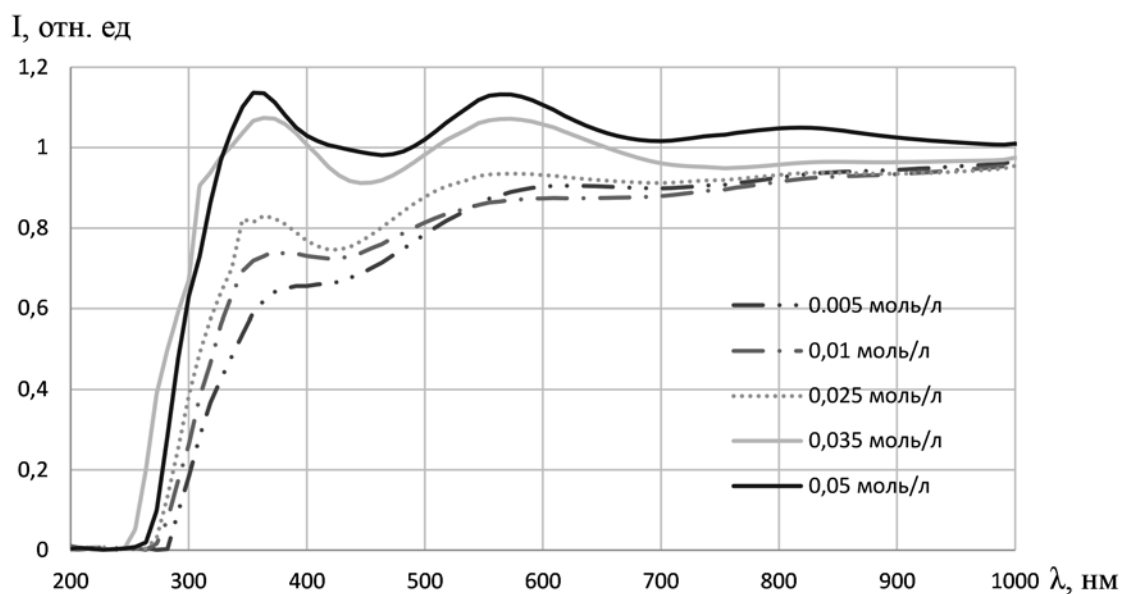


Рис. 3. Спектры пропускания пленок $\text{TiO}_2\text{-Cu}$, просушенных при комнатной температуре

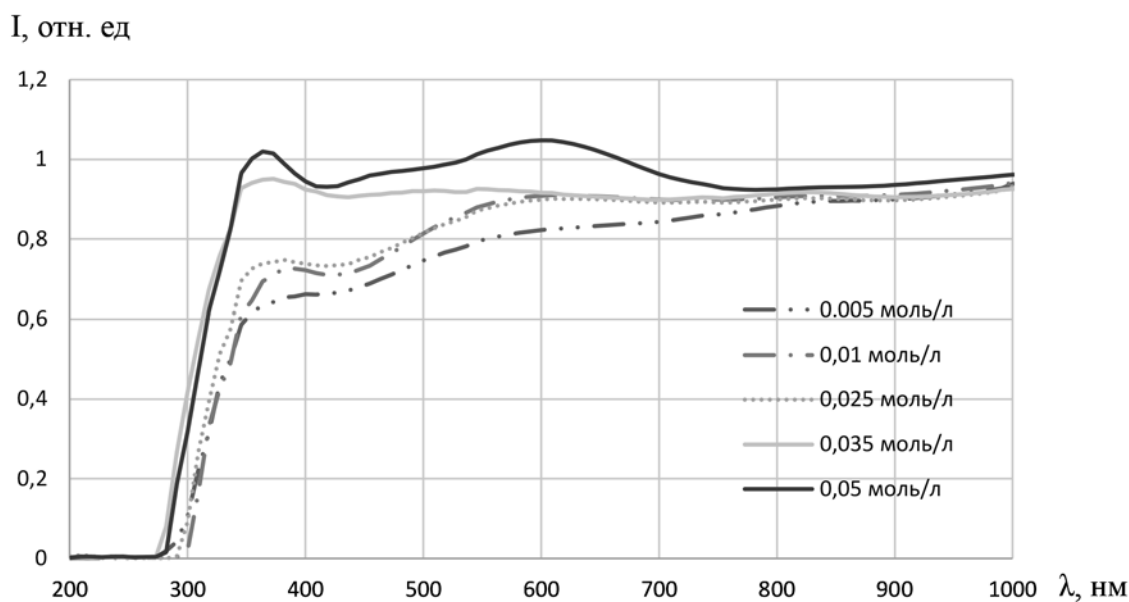


Рис. 4. Спектры пропускания пленок $\text{TiO}_2\text{-Cu}$, просушенных при 400 °С

Для более точной характеристики структуры пленок использовали метод ИК-спектроскопии. На рис. 5 и 6 представлены ИК-спектры пленок $\text{TiO}_2\text{-Cu}$, просушенных при комнатной температуре и при 400 °С соответственно. Расшифровка полос колебаний представлена в таблице [12].

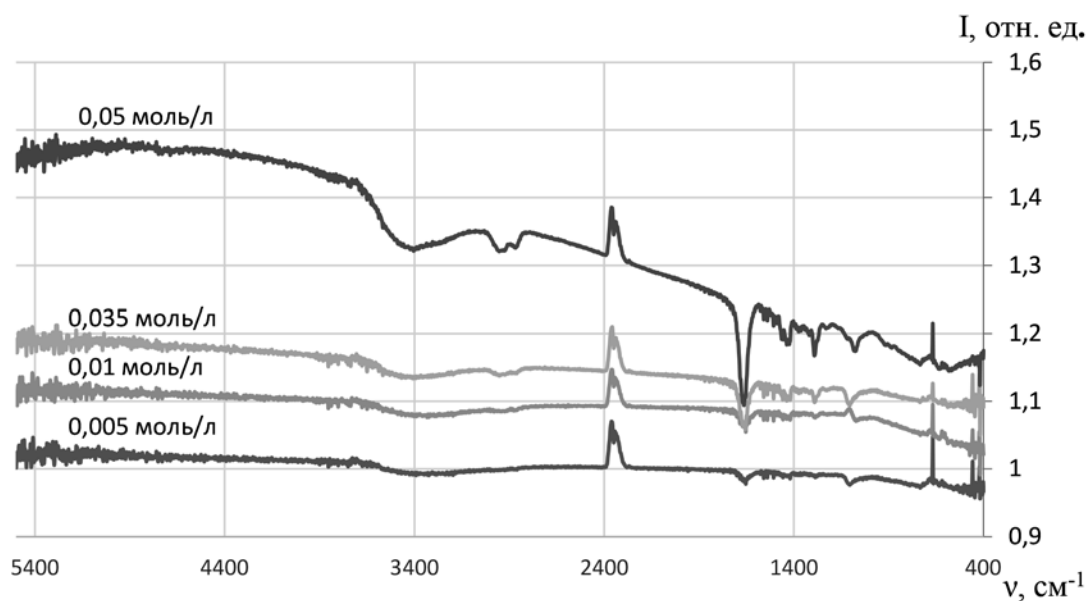


Рис. 5. ИК-спектры пленок $\text{TiO}_2\text{-Cu}$, просушенных при комнатной температуре

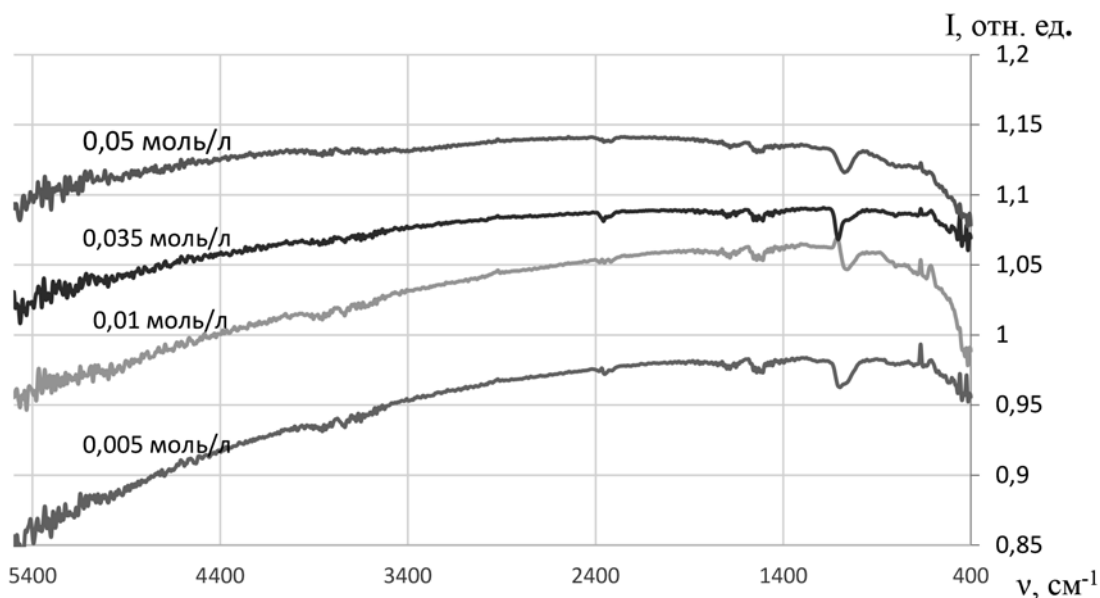


Рис. 6. ИК-спектры пленок $\text{TiO}_2\text{-Cu}$, просушенных при 400 °C

Как видно из рис. 5, на представленных ИК-спектрах пленок $\text{TiO}_2\text{-Cu}$ до прокаливания присутствуют характеристические колебания Me-(OH) ,

Me-(CO) , интенсивность которых возрастает с увеличением концентрации меди. Эти полосы могут быть обусловлены связью наночастиц Cu с поливинил- N -пирролидоном, выступающим в качестве стабилизатора. Также присутствует полоса колебаний Ti-OH . Наличие в спектрах характеристических колебаний связей (-C-H) и (-O-H) свидетельствует о присутствии в порах пленок не испарившегося спирта.

Таблица

Расшифровка ИК-спектров пленок $\text{TiO}_2\text{-Cu}$

Полоса колебаний ν , см^{-1}	Характеристические колебания
697–554	ν (Ti-O)
911–554	ν (Ti-O)
1110	ν Me-(CO), ν (CO)-(SiO)
1290	ν Me-(CO), δ (Ti-OH)
1420	ν Me-(CO), δ (Ti-O(H)-Ti)
1660	δ Me-(HOH)
2970	ν (-CH)
3100–3900	ν (-OH)

После прокаливания появляются полосы колебаний Ti-O, что связано с переходом гидроксида титана в оксид (рис. 6). Также в спектрах по-прежнему присутствуют колебания Me-(CO) и появляются колебания

(CO)-(SiO). Полосы (-CH) и (-OH) колебаний полностью отсутствуют в спектрах образцов после прокаливания, что обусловлено полной десорбцией спирта при температуре 400 °С.

Проведенные исследования подтверждают, что разработанная методика синтеза позволяет получить тонкие пленки TiO_2 , допированные наночастицами меди. Концентрация наночастиц Cu в растворе для получения пленок влияет на толщину получаемых пленок и на их показатель преломления. Внесение наночастиц меди в пленки диоксида титана приводит к появлению полосы поглощения на 650–750 нм. Прокаливание пленок при 400 °С приводит к уменьшению интенсивности данной полосы поглощения, что обусловлено агрегацией и спеканием наночастиц меди. Результаты ИК-спектроскопии свидетельствуют о полном удалении связанной воды и адсорбированного спирта из пленок при температуре 400 °С, а также разложению гидроксидных форм титана до TiO_2 .

Исследования выполнены на базе научно-исследовательского оборудования ЦКП СКФУ.

Литература

1. Growth of TiO_2/Cu films by HiPIMS for accelerated bacterial loss of viability / S. Rtimi et al. // Surface & Coatings Technology. 2013. № 232. P. 804–813.
2. Cu-Doped TiO_2 nanopowders synthesized by sonochemical-assisted process / N. Wongpisutpaisan et al. // Sains Malaysiana. 2013. № 42 (2). P. 175–181.
3. Preparation, Characterization, and Activity of Cu/ TiO_2 Catalysts / F. Boccuzzi et al. // Journal of Catalysis. 1997. № 165. P. 129–139.
4. Synthesis of Cu- TiO_2 Nanocomposite and Investigation of the Effectiveness of PEG, Pectin, and CMC as Additives / B. Khodadadi et al. // Journal of Applied Chemical Research. 2012. № 20 (1). P. 36–44.
5. Sangchay W., Rattanakun T. Photocatalytic, Antibacterial and Self-Cleaning Properties of TiO_2 and Ag Doped TiO_2 Thin Films Using Sol-Gel Method // The 4th Rajamangala University of Technology International Conference. 2013. 12 p.
6. Sangchay W., Sikong L., Kooptarnond K. Photocatalytic and Self-Cleaning properties of $\text{TiO}_2\text{-Cu}$ thin films on glass substrate // Applied Mechanics and Materials. 2012. P. 409–413.
7. Синтез и исследование оптических свойств тонких пленок TiO_2 , допированных наночастицами меди / А. А. Кравцов, А. В. Блинов, С. О. Крандиевский, Д. Г. Селеменова, Д. О. Набережный // Материалы III ежегодной научно-практической конференции «Университетская наука – региону», посвященной 85-летию Северо-Кавказского федерального университета. Ставрополь: Из-во СКФУ, 2015. С. 84–87.
8. Проблема синтеза наночастиц меди в спиртовых средах / А. А. Кравцов И. А. Сысоев, А. В. Блинов, Д. Г. Селеменова, А. С. Надеина // Актуальные проблемы науки на современном этапе развития: материалы международной. науч.-практ. конф. Стерлитамак: РИО АМИ. 2015. С. 112–114.

9. Моисеев С. Г., Виноградов С. В. Просветление поверхности диэлектрика наночастицами серебра // Компьютерная оптика. 2010. № 4. С. 538–544.
10. Синтез нанокристаллических пленок диоксида титана в цилиндрическом газовом разряде магнетронного типа и их оптическая характеристика / А. А. Гончаров, А. Н. Евсюков, Е. Г. Костин и др. // Журнал технической физики. 2010. № 8. С. 127–135.
11. Сайкова С. В., Воробьев С. А., Михлин Ю. Л. Влияние реакционных условий на процесс образования наночастиц меди при восстановлении ионов меди (II) водными растворами боргидрида натрия // Journal of Siberian Federal University. Chemistry 1. 2012. № 5. С. 61–72.
12. Накамото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений / пер. с англ. М.: Мир, 1991. 563 с.

УДК 616.314-089.28 (083.3)

**Лола Донат Владимирович, Майборода Юрий Николаевич,
Назаров Антон Сергеевич**

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЗУБНЫХ РЯДОВ В ПОЛНЫХ СЪЕМНЫХ ПРОТЕЗАХ

В статье рассматриваются особенности конструирования зубных рядов в полных съемных протезах при помощи методов математического моделирования на фоне равномерной атрофии альвеолярных отростков беззубых челюстей. На основе математической модели определены основные критерии и параметры, необходимые для успешного решения задачи мониторинга индивидуальной особенности расстановки зубов в каждом конкретном случае. Рассматриваются три различных варианта линий, приближающих дуги верхней и нижней челюстей, и углы наклона зубов по отношению к межальвеолярным линиям.

Ключевые слова: математическая модель, беззубые челюсти, альвеолярные отростки.

Donat Lola, Yuri Majboroda, Anton Nazarov CONSTRUCTING MATHEMATICAL CONCEPTS DENTITION IN COMPLETE DENTURES

In this paper, based on the principles of mathematical modeling, the features of the construction of dentition in full dentures on a background of uniform atrophy of the alveolar processes of edentulous jaws. The basic criteria and parameters necessary for the successful solution of the problem of monitoring the individual features of arrangement of teeth in each case on the basis of the mathematical model. Considered different variants of lines and angles of inclination.

Key words: mathematical model, toothless jaws, alveolar bone.

В последние годы опубликовано большое число работ в отечественных и зарубежных изданиях, посвященных проблемам лечения пациентов с полным отсутствием зубов [1, 2, 3, 10, 11, 13, 20, 22].

Несмотря на разнообразные усовершенствования методов лечения, применение новых материалов для изготовления протезных конструкций [3, 9, 12], больные в 20–26 % случаев не пользуются полными съемными протезами, 37 % пациентов вынуждены приспосабливаться к некачественным протезам и в 52 % случаев больные отмечают балансировку протезов при жевании [6, 14, 19].

За все время эволюции протезирования лиц с полным отсутствием зубов было предложено много концепций и теорий конструирования искусственных зубных рядов в полных съемных протезах. Многие из них не получили дальнейшего развития, другие, несмотря на определенные недостатки, применяются в настоящее время [2].