

Lugovoy Evgeny Vladimirovich

E-mail: euglugovoy@yandex.ru.

Phone: +79604695926; +78634371940.

The Department of Micro- and Nanoelectronics; Postgraduate Student.

Serba Pavel Victorovich

Phone: +78634371611.

E-mail: serba@tsure.ru.

The Department of Micro- and Nanoelectronics; Professor; Dr. of Phis.-Math. Sc.; Professor.

УДК 621.383+539.21

С.П. Малюков, А.В. Саенко

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ПОГЛОЩЕНИЯ КРАСИТЕЛЯ ЭОЗИНА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ НА ОСНОВЕ TiO_2

Исследован спектр поглощения органического красителя эозина с помощью спектрофотометра для применения в качестве сенситизатора в фотоэлектрохимических солнечных элементах на основе TiO_2 . Определён диапазон эффективного поглощения солнечного излучения данным красителем. В системе Matlab проведено моделирование структуры сенситизированной эозином плёнки TiO_2 , соответствующей эффективному поглощению интенсивности солнечного излучения, на основе полученных коэффициентов поглощения эозина.

Краситель эозин; поглощение солнечного излучения; наноструктурная пленка TiO_2 .

S.P. Malyukov, A.V. Saenko

RESEARCH THE ABSORPTION SPECTRUM OF EOSIN DYE FOR APPLICATION IN SOLAR CELLS BASED ON TiO_2

The absorption spectra of organic eosin dye with the help of spectrophotometer for use as a sensitizer in photoelectrochemical solar cells based on TiO_2 is investigated. The range of effective absorption of solar radiation the given dye is defined. In the system of Matlab to simulate the structure of the eosin sensitized TiO_2 film, consistent with the effective absorption of solar radiation intensity, on the basis of the absorption coefficients of eosin.

Eosin dye; solar radiation absorption; nanostructured TiO_2 film.

В последнее время большие усилия направлены на разработку и исследование фотоэлектрохимических сенситизированных красителем солнечных элементов (СКСЭ), которые способны непосредственно преобразовывать солнечное излучение в электричество и представляют собой техническую и экономическую альтернативу традиционным солнечным элементам на основе р-п-перехода. Основу СКСЭ составляет поглощающий солнечное излучение фотоэлектрод из нанопористого диоксида титана (TiO_2), покрытого монослоем органического красителя. Преимуществами использования TiO_2 являются его высокая химическая стабильность в растворе электролита, низкая стоимость и отсутствие токсичности. Однако TiO_2 может эффективно поглощать только ультрафиолетовую область, которая составляет менее 4 % солнечного спектра. Для расширения светочувствительности TiO_2 используется адсорбция на его поверхности молекул красителя, способных поглощать видимую область спектра (спектральная сенситизация), что способствует значительному улучшению фотоэлектрических характеристик солнечного элемента [1–3].

Данная работа посвящена исследованию спектра поглощения органического красителя эозина (эозин-натрий водорастворимый, молярная масса 691,6 г/моль) для применения в качестве сенсibilизатора плёнки TiO_2 в СКСЭ и определению с помощью моделирования структуры плёнки TiO_2 , соответствующей эффективно-му поглощению солнечного излучения в области поглощения красителя эозина.

Спектр поглощения эозина исследовался с помощью спектрофотометра СФ-26 в диапазоне длин волн 360–640 нм при нормальном падении света на образец от лампы накаливания. Спектрофотометр непосредственно использовался для измерения коэффициентов пропускания (Т) кюветы с раствором эозина в этиловом спирте (исследуемый образец) [4–7].

На основе полученных значений коэффициентов пропускания красителя эозина, определялись его десятичные молярные коэффициенты поглощения ϵ ($\text{л}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$) на каждой длине волны согласно закону Бугера–Ламберта–Бера:

$$\epsilon = -\frac{\lg(T)}{CL}, \quad (1)$$

где C – концентрация эозина в растворе, моль/л; L – толщина слоя раствора (кюветы), которая составляла 1 см [5, 6].

Спектральная характеристика поглощения эозина строилась в виде зависимости рассчитанных десятичных молярных коэффициентов поглощения ϵ от длины волны λ (рис. 1). Построение графика осуществлялось в системе Mathcad с использованием функции кубической сплайн-интерполяции.

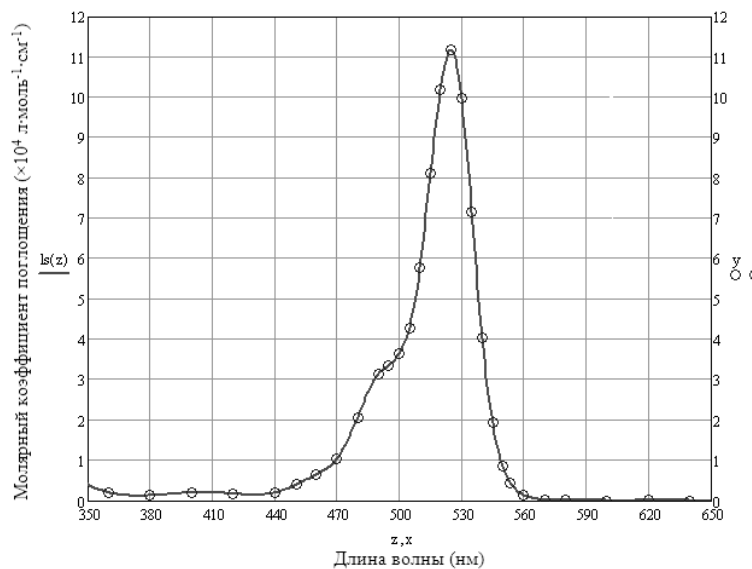


Рис. 1. Спектр поглощения красителя эозина

Основным условием эффективного поглощения солнечного излучения видимой области спектра сенсibilизированной красителем плёнкой TiO_2 для применения в качестве фотоэлектрода в СКСЭ является поглощение примерно всей интенсивности падающего светового излучения монослоем красителя в его области поглощения, в данном случае для эозина в области 450–555 нм.

На основе представленных расчётов в [8], нами было получено выражение для моделирования зависимости коэффициентов поглощения (А) сенсibilизированной эозином плёнки TiO_2 от её диаметра частиц (d) и толщины (L):

$$A = \left(1 - 10^{-\frac{3 \cdot 10^{20} L(\text{мкм}) \varepsilon (\text{л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1})}{N_A (\text{моль}^{-1}) S_{\text{мол}} (\text{нм}) d (\text{нм})}} \right) \times 100 \%, \quad (2)$$

где $S_{\text{мол}}$ – площадь, занимаемая молекулами красителя (1 нм^2); N_A – постоянная Авогадро.

Для повышения эффективности поглощения солнечного излучения при построении зависимости коэффициента поглощения от диаметра частиц и толщины плёнки TiO_2 (рис. 2) использовалось наименьшее значение десятичного молярного коэффициента поглощения эозина в области 450–555 нм, которое составило $0,34 \cdot 10^4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.

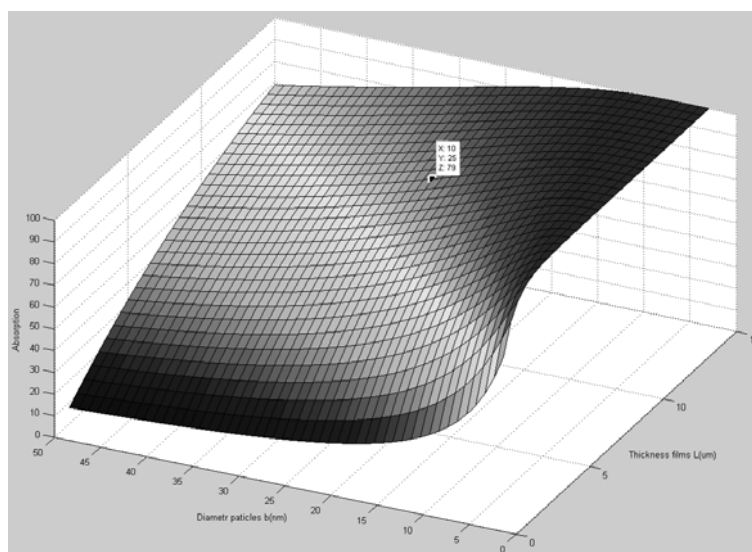


Рис. 2. Зависимость коэффициента поглощения от диаметра частиц и толщины sensibilizированной эозином плёнки TiO_2

На рис. 3 представлена зависимость коэффициента поглощения sensibilizированной эозином плёнки TiO_2 от диаметра частиц при оптимальной её толщине 10 мкм. Толщина плёнки TiO_2 не должна превышать диффузионной длины электронов в ней, которая составляет порядка 10–15 мкм [1–2].

Исходя из полученного спектра поглощения на рис. 1, можно предположить, что энергия возбуждения красителя эозина составляет порядка 2,2 эВ ($E = hc/\lambda$, где $\lambda = 525 \text{ нм}$), т.е. энергия перехода молекулы из основного в возбуждённое состояние с большей энергией. Таким образом, данный краситель может эффективно поглощать видимый свет в диапазоне длин волн 450–555 нм с характерным поглощательным пиком на 525 нм ($11,2 \cdot 10^4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$) и использоваться для sensibilizации нанопористой плёнки TiO_2 .

В результате моделирования структуры sensibilizированной плёнки TiO_2 (рис. 2 и 3) выявлено, что эффективно поглощать солнечное излучение будет sensibilizированная плёнка, состоящая из частиц TiO_2 нанометрового размера в диапазоне от 5 до 25 нм при толщине плёнки 5–15 мкм. Данная структура плёнки TiO_2 соответствует коэффициенту поглощения солнечного излучения порядка 80 % и более при минимальном эффективном значении десятичного молярного коэффициента поглощения эозина. Оптимальной может быть названа sensibilizированная эозином плёнка TiO_2 толщиной порядка 10 мкм, состоящая из частиц диаметром до 25 нм.

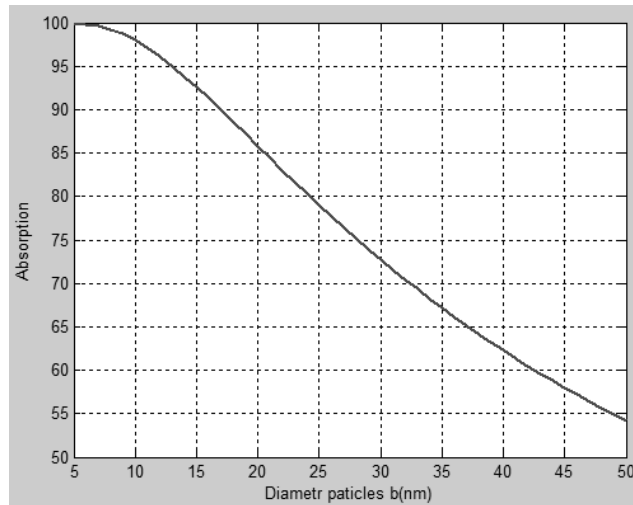


Рис. 3. Зависимость коэффициента поглощения от диаметра частиц сенсibilизированной эозином плёнки TiO_2 при её толщине 10 мкм

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Antonio Luque, Steven Hegedus. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. – England. – 2003. – P. 1115.
2. Michael Grätzel. Review Dye-sensitized solar cells // Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews. – 2003. – P. 145-153.
3. Евдокимов А.А., Мишина Е.Д., Вальднер В.О. Получение и исследование наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям. – М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2010. – 146 с.
4. Теренин А.Н. Фотоника молекул красителей и родственных органических соединений. – Ленинград: Наука, 1967. – 616 с.
5. Никоноров Н.В., Пржевуцкий А.К., Асеев В.А. Оптическое материаловедение. Ч. 1: Оптические свойства и дефекты кристаллов и стекол. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2005. – 73 с.
6. Melissa Penny. Mathematical Modelling of Dye-Sensitised Solar Cells. A thesis for the degree of Doctor of Philosophy, 2006. – P. 241.
7. Саенко А.В. Солнечные элементы на основе диоксида титана, сенсibilизированного органическим красителем эозином. Неделя науки – 2009 // Материалы научных работ. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2009. – С. 78.
8. Малуков С.П., Саенко А.В. Моделирование поглощения солнечного излучения плёнкой TiO_2 в сенсibilизированном красителем солнечном элементе // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 12 (113). – С. 148-153.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м., профессор А.И. Жорник.

Малуков Сергей Павлович

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: malyukov@fep.tsure.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371603.

Кафедра конструирования электронных средств; заведующий кафедрой; д.т.н.; профессор; член-корреспондент РАЕН.

Саенко Александр Викторович

E-mail: aleks@fep.tti.sfedu.ru.

Кафедра конструирования электронных средств; аспирант.

Malyukov Serguei Pavlovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: malyukov@fep.tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371603.

The Department of Electronic Apparatuses Design; the Department Head; Dr. of Eng. Sc., Professor; Corresponding Member RANS.

Saenko Alexandr Victorovich

E-mail: aleks@fep.tti.sfedu.ru.

The Department of Electronic Apparatuses Design; Postgraduate Student.

УДК 621.35

**А.М. Светличный, О.Б. Спиридонов, Л.Г. Линец, А.С. Коломийцев,
В.А. Смирнов, Е.Ю. Волков**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СЛОЕВ ПОРИСТОГО КАРБИДА
КРЕМНИЯ**

Рассматриваются вопросы технологии создания пористых слоев карбида кремния (SiC) для газочувствительных сенсоров. Цель работы – исследование технологических режимов получения пористого карбида кремния, с учетом влияния исходных характеристик материала на структуру получаемых пористых слоев карбида кремния. В работе дается обоснование выбранным режимам: плотности тока и времени анодирования. В результате исследования пористых слоев обнаружено отслаивание пористого слоя в образцах анодированных при плотности тока 20 и 40 мА/см². Формирование пористых слоев SiC целесообразно проводить при плотности тока 10 мА/см². При $j = 40$ мА/см² обнаружено существование двух пористых слоев.

Карбид кремния; пористость; электрохимическое травление; сканирующая электронная микроскопия (СЭМ).

**A.M. Svetlichnyi, O.B. Spiridonov, L.G. Linets, A.S. Kolomiytsev, V.A. Smirnov,
E.Y. Volkov**

**STRUCTURAL INVESTIGATION OF LAYERS OF POROUS SILICON
CARBIDE**

The problems of the technology of porous layers of silicon carbide (SiC) for the gas-sensitive sensors. The aim of the work is the investigation of technological conditions of porous silicon carbide fabrication paying attention on the influence of based material characteristics on the structure of obtained layers of porous silicon carbide. Chosen conditions like current density and time of anodization are explained. Peeling of porous layers which were created at a current density of 20 and 40 mA/cm² is detected. The formation of porous SiC layers is reasonable to carry out at a current density of 10 mA/cm². The existence of two porous layers is detected at the density of 40 mA/cm².

Silicon carbide; porosity; electrochemical etching; scanning electron microscopy (SEM).

Эффективность работы датчика газа зависит от его адсорбционной способности, в первую очередь определяемой рабочей площадью поверхности чувствительного элемента (ЧЭ). Существенного увеличения рабочей площади, не прибегая к увеличению размеров самого сенсора, можно добиться с помощью использования пористой структуры материала. Поэтому исследование зависимости струк-