

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ ОКСИД ТИТАНА – КРЕМНИЙ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ СОЛНЕЧНЫМ СВЕТОМ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Курапцова А.А.

Данилюк А.Л. – к.ф.-м.н., доцент

В данной работе приводятся результаты моделирования влияния солнечного света на скорость генерации носителей заряда и вольт-амперную характеристику гетероструктуры диоксид титана/кремний. Моделирование проводилось с использованием программы PC1D 5.9. Исследовалось влияние длины волны солнечного излучения на выходной фототок гетероструктуры n-TiO₂/p-Si.

Диоксид титана (TiO₂) достаточно широко используется в разных устройствах фотовольтаики: в процессах фотокатализа, при фотолизе воды, очистке воздуха и воды от загрязнений, в том числе от тяжелых металлов и органических соединений. Целью данной работы является исследование электрических свойств гетероперехода оксид титана/кремний (n-TiO₂/p-Si.) в условиях солнечного излучения.

Моделирование электрических параметров гетероструктуры n-TiO₂/p-Si проводилось с помощью программы PC1D 5.9 [1] на основе диффузионно-дрейфовой одномерной модели. В этой модели решается система одномерных уравнений с использованием дискретной сетки. Система представлена уравнением Пуассона и двумя уравнениями переноса заряда в случае электронов и дырок [2]:

$$\begin{cases} \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0}{q} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = p(x) + n(x) + N_d - N_a; \\ -\frac{1}{q} \frac{\partial j_n(x)}{\partial x} = G_n(x) - R_n(x); \\ -\frac{1}{q} \frac{\partial j_p(x)}{\partial x} = G_p(x) - R_p(x), \end{cases}$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость, ε_0 – электрическая постоянная, q – заряд электрона, $p(x)$ и $n(x)$ – концентрация дырок и электронов в слоях, φ – электростатический потенциал, N_D и N_A – концентрации доноров и акцепторов в слоях, j_n и j_p – плотности электронного и дырочного токов, $G_n(x)$ и $G_p(x)$ – скорости генерации электронов и дырок, $R_n(x)$ и $R_p(x)$ – скорости рекомбинации электронов и дырок.

Использованные параметры для оксида титана и кремния соответственно: толщина 1 мкм и 5 мкм; подвижность электронов 4 см²/(В·с) и 1417 см²/(В·с); подвижность дырок 0,1 см²/(В·с) и 470 см²/(В·с); относительная диэлектрическая постоянная 40 и 11,9; ширина запрещенной зоны 3,2 эВ и 1,12 эВ; сродство к электрону 4,3 эВ и 4,01 эВ; степень легирования $N_d=10^{15}$ см⁻³ и $N_a=10^{17}$ см⁻³; время жизни электронов и дырок 25 мкс в оксиде титана и 500 мкс в кремнии. Площадь гетероперехода $S=10$ см², температура 300 К. Коэффициент поглощения и коэффициент отражения солнечного света TiO₂ варьируются в зависимости от длины волны [3, 4].

Полученные зависимости скорости генерации носителей заряда от расстояния от фронтальной поверхности (рис. 1а) и вольт-амперные характеристики (рис. 1б) в структуре оксид титана / кремний (n-TiO₂/p-Si) для различных длин волн солнечного излучения структуры (мощность излучения 0,06 Вт/см²).

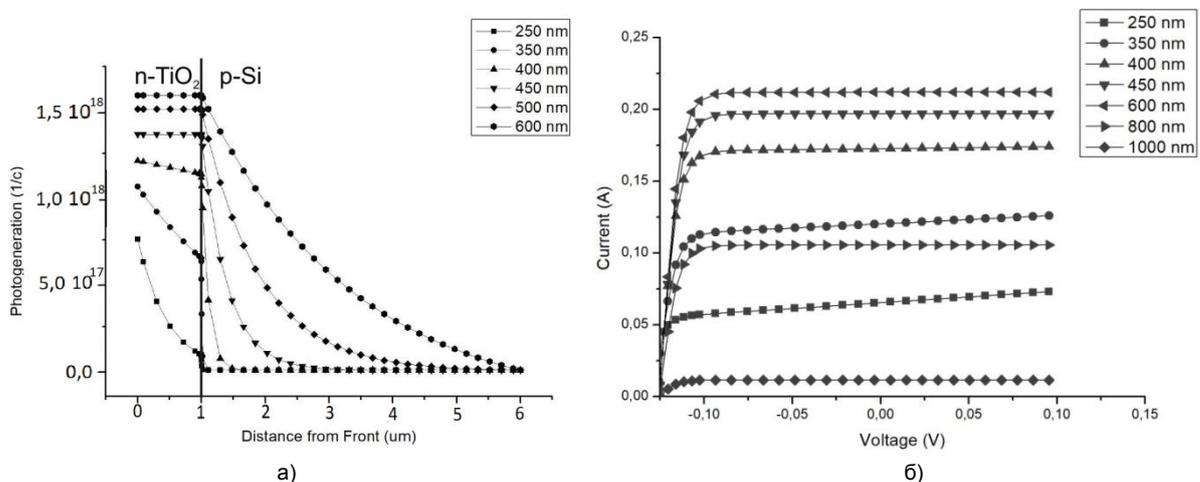


Рис. 1 – а) зависимость скорости генерации от расстояния от фронтальной поверхности;

б) вольт-амперные характеристики структуры n-TiO₂/p-Si

Из полученных ВАХ можно видеть, что они при определенном внешнем смещении характеризуются насыщением тока при определенном внешнем смещении, величина которого ограничивается концентрацией генерированных солнечным излучением неравновесных носителей заряда. Полученная нелинейная зависимость тока насыщения обуславливается закономерностями генерации неравновесных носителей заряда солнечным излучением с различной длиной волны в оксиде титана и кремнии. На рисунке 2 наглядно представлено сравнение полученной зависимости тока короткого замыкания от длины волны для спектра ам1.5g [5] (спектр у поверхности земли при точке зенита Солнца в 48,2 градуса относительно вертикали, выбран и закреплен в международных стандартах для сравнения мощности различных солнечных батарей, устройств фотовольтаики и т.д.).

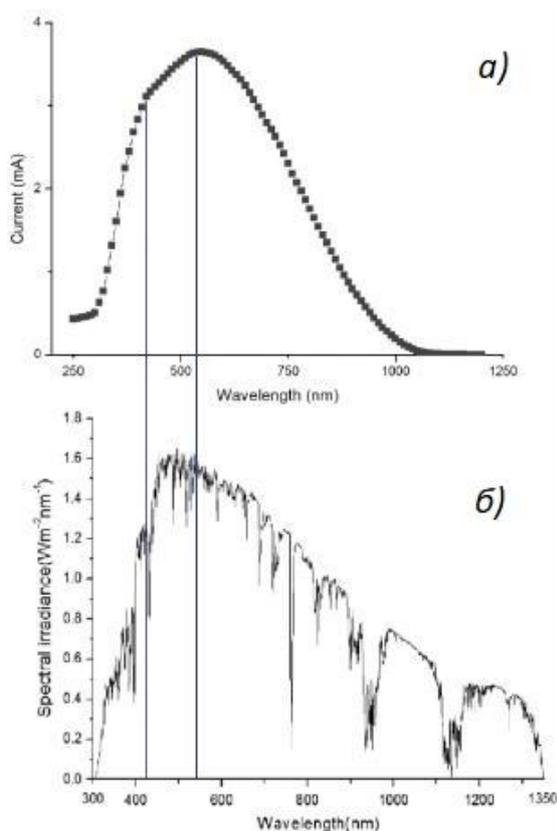


Рис. 2 – а) зависимость фототока ($I_{кз}$) в структуре n-TiO₂/p-Si от длины волны излучения; б) спектр ам1.5g

Ширине запрещенной зоны оксида титана (анатаз) 3,2 эВ соответствует энергия кванта с длиной волны 388 нм, что попадает в ультрафиолетовую часть спектра. Для расширения диапазона фотопоглощения, оксид титана легируют различными катионными и анионными примесями, что приводит к образованию полос поглощения в видимой области спектра. На длине волны ~420 нм наблюдается небольшой излом, что может быть связано с тем, что при возрастании длины волны солнечного света кремний начинает вносить больший вклад в генерируемый в структуре фототок.

Таким образом, проведенное моделирование электрических характеристик гетероструктуры показало, что ВАХ в условиях освещения солнечным светом характеризуется насыщением тока, величина которого нелинейным образом зависит от длины волны солнечного света. Сравнение зависимости тока короткого замыкания структуры от длины волны излучения со спектром солнечного излучения показало, что его максимум в гетероструктуре приблизительно соответствует максимуму мощности солнечного излучения.

Полученные результаты необходимы для исследования электронных процессов, протекающих на поверхности оксида титана, которые обуславливают его фотокаталитические свойства.

Список использованных источников:

- [1] PC1D Version 5: 32-bit Solar Cell Modelling on Personal Computers, 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anaheim, Sep-Oct 1997, pp.207- 210.
- [2] Luque A., Hegedus S. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering / A. Luque, S.Hegedus– New York: John Wiley & Sons Ltd, 2003. - 1117 p.

- [3] Иевлев В.М. Спектры поглощения тонких пленок TiO_2 , синтезированных реактивным высокочастотным магнетронным распылением титана / В.М. Иевлев, С.Б. Куцев, А.Н. Латышев, Л.Ю. Леонова, О.В. Овчинников, М.С. Смирнов, Е.В. Попова, А.В. Костюченко, С.А. Солдатенко // Физика и техника полупроводников. - 2014, том 48, вып. 7 – С. 875-884.
- [4] Берсирова О.Л. Тонкие пленки оксидов титана и олова и полупроводниковые структуры на их основе, полученные пиролитической пульверизацией: изготовление, характеристика и коррозионные свойства /О.Л. Берсирова, Л.И. Брук, А.И. Дикусар, М.И. Караман, С.П. Сидельникова, А.В. Симашкевич, Д.А. Шербан, Ю.С. Японцева // Электронная обработка материалов. – 2007.
- [5] Corkish, R. Applied Photovoltaics / Richard Corkish, Martin A Green, Muriel E Watt, Stuart R Wenham – NY: Routledge. – 2013, pp. 250-253.