

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КПД СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА PEDOT:PSS/Si

Слипченко Н.И., Герасименко Н.В., Донченко А.Л.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, каф. МЭПУ, тел. (057) 702-13-43,

E-mail: cntm@ukr.net

In this paper exploring new types of solar cells based on organic compound PEDOT:PSS, deposited on a crystalline silicon substrate was suggested. Such solar cells have great potential to reduce the costs associated with labor-intensive and technologically complex processes of manufacturing silicon solar cells. An analytical assessment of the efficiency of the solar cell PEDOT:PSS / Si was made using the simulation. That almost identical with the results obtained experimentally, which confirms its validity.

Введение

Солнечные элементы (СЭ) на основе кристаллического кремния n-типа требуют изготовления дырочного проводящего слоя, для формирования электронно-дырочного разделительного перехода. Современный уровень развития переходов реализуется при помощи технологически развитых методов, таких как высокотемпературная диффузия бора или плазмо-химическое осаждение аморфного кремния (a-Si:H), легированного бором [1]. Технологически гораздо менее требовательный подход нанесения органического слоя p-типа, такого как поли(3,4-этилендиокситиофена):поли(стиролсульфонат) (PEDOT:PSS), на подложку кристаллического кремния n-типа [2]. PEDOT:PSS представляет собой прозрачный дырочно-проводящий полимер с регулируемыми электрическими параметрами: электронное сродство $\Delta E_c = 3.3$ эВ, ширина запрещенной зоны $\Delta E_g = 1.6$ эВ, электрическая проводимость $\sigma = 10^3$ См/см, типичная толщина плёнки $h = 0,01$ мкм, $\mu_p = 1000$ см²/(В*с), время жизни неосновных носителей $\tau_n = 10^{-14}$ с, оценка концентрации основных носителей $p_p = 6.2 \cdot 10^{18}$ 1/см³ и работа выхода в диапазоне между 4,8 и 5,2 эВ [3]. PEDOT:PSS может быть легко нанесен путем центрифугирования, распылением, окунанием и любыми другими способами, которые пригодны для нанесения водного раствора при низких температурах вплоть до 100 °С в условиях атмосферного давления. Сочетание элементов органической электроники с фотоэлектрическими технологиями на основе кремния имеет огромный потенциал для существенных затрат процесса изготовления и повышение эффективности по сравнению с сегодняшними промышленными Si солнечными батареями.

В данной работе рассмотрен гибридный солнечный элемент PEDOT:PSS/Si, который имеет энергетическую диаграмму, представленную на рисунке 1 [3].

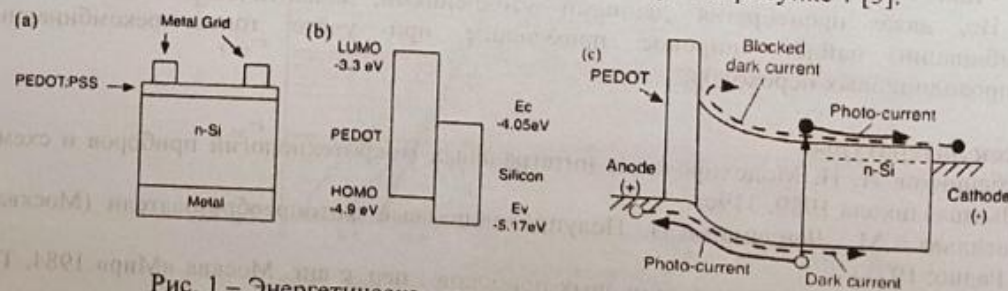


Рис. 1 – Энергетическая диаграмма структуры СЭ PEDOT:PSS/Si

Особенностью полупроводниковой структуры PEDOT:PSS/Si является низкотемпературная технология изготовления, что даёт возможность снизить толщину подложки кристаллического кремния. Вдобавок, выбранная полупроводниковая структура может использоваться для изучения свойств органического полупроводника.

В силу большой ширины запрещённой зоны и низкого времени жизни, фототок органического полупроводника практически отсутствует, поэтому органический полупроводник в данной структуре СЭ выполняет роль омического собирающего контакта. Моделирование выполнено исходя из типичной плотности тока короткого замыкания $I_{SC} = 27.8 \text{ mA/cm}^2$.

Основная часть

Проанализировав скачки энергетических зон на металлургической границе гетероперехода, будем иметь для опорного варианта: $\Delta E_c = -1.31 \text{ эВ}$, $\Delta E_v = -0.83 \text{ эВ}$ – это означает, что определяющими ВАХ будут дырки из донорного кремния.

В работе проведено моделирование полностью по аналитическим оценкам при следующих моделях [4]:

1. Предполагается, что донорный кремний легирован слабее PEDOT:PSS.
2. Во времени жизни в кремнии определяющим фактором является концентрация безызлучательных рекомбинационных центров ловушек, с энергиями близкими к середине запрещённой зоны.
3. Ток короткого замыкания, полученный из опытных данных, является параметром модели, причём в оценочной модели ток короткого замыкания составляет 95% от тока генерации в кремнии.
4. Функция генерации построена от тока короткого замыкания с равномерной генерацией в объёме полупроводника.
5. Ток СЭ рассчитывается из диффузионного приближения квазинейтральной области, при бесконечно малой скорости рекомбинации на тыльном контакте.

В результате моделирования были получены следующие зависимости параметров СЭ:



Рис. 2 — Зависимость КПД СЭ от уровня легирования кремния



Рис. 3 — Зависимость напряжений и тока от уровня легирования кремния



Рис. 4 — Зависимость КПД СЭ от концентрации ловушек кремния



Рис. 5 — Зависимость напряжений и тока от концентрации ловушек

Оценка КПД СЭ выполнена при следующих основных параметрах: толщина слоя кристаллического кремния $d=150$ мкм, уровень легирования кремния донорами $N_d=10^{15}$ см⁻³, концентрация ловушек безызлучательной рекомбинации в кремнии $L=10^{12}$ см⁻³, энергия уровней ловушек, отсчитанная от дна зоны проводимости кремния $E_l=-0.56$ эВ, коэффициент безызлучательной рекомбинации $\gamma_r=3.3 \cdot 10^{-7}$ см³/с [3,4].

Выводы

Таким образом, была проведена оценка основных параметров СЭ, которые из опытных данных имеют значения: плотность тока короткого замыкания $I_{sc}=27.8$ mA/cm², напряжение холостого хода $V_{oc}=0.57$ В, оптимальное КПД структуры $\eta=11.7$ %, коэффициент заполнения $FF=0.73$. Из сопоставления опытных данных с результатами моделирования видно, что погрешность по основным параметрам не превышает 5%.

Список литературы:

1. T. Kinoshita, D. Fujishima, A. Yano, A. Ogane, S. Tohoda, K. Matsuyama, Y. Nakamura, N. Tokuoka, H. Kanno, H. Sakata, M. Taguchi and E. Maruyama, The approaches for high efficiency HITM solar cell with very thin (o 100 μm) silicon wafer over 23%, In: Proceedings of the 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 2011, pp. 871-874.
2. L. He, C. Jiang, H. Wang, D. Lai, Rusli, High efficiency planar Si/organic heterojunction hybrid solar cells, Appl. Phys. Lett. 100 (2012) 073503.
3. K.A. Nagamatsu, S. Avasthi, J. Jhaveri, J.C. Sturm A 12% Efficient Silicon/PEDOT:PSS Heterojunction Solar Cell Fabricated at < 100 °C, IEEE JOURNAL OF PHOTOVOLTAICS, VOL. 4, NO. 1, JANUARY 2014, pp. 260-264
4. Зи, С. М. Физика полупроводниковых приборов : пер. с англ. Москва «Мир» 1984. Т1 455с., Т2 455с.