

6-19-2019

THE RANGE OF EFFECTIVE LIGHT ABSORPTION AND ELECTROPHYSIC PROPERTIES OF A SOLAR ELEMENT "NANOSCALE p-n JUNCTIONS»

T. A. Jalalov

Tashkent University of Information Technologies, Tashkent, 100200, Amir Temur str., 108 (Uzbekistan).

E. Z. Imamov

Tashkent University of Information Technologies, Tashkent, 100200, Amir Temur str., 108 (Uzbekistan).

R. A. Muminov

Physical-Technical Institute NGO "PHYSICS-SUN", ASUz, Tashkent, 100084, str. Chingiz Aytmatov 2B (Uzbekistan).

Kh. N. Karimov

Tashkent University of Information Technologies, Tashkent, 100200, Amir Temur str., 108 (Uzbekistan).

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/adu>

Recommended Citation

Jalalov, T. A.; Imamov, E. Z.; Muminov, R. A.; and Kh. N. Karimov (2019) "THE RANGE OF EFFECTIVE LIGHT ABSORPTION AND ELECTROPHYSIC PROPERTIES OF A SOLAR ELEMENT "NANOSCALE p-n JUNCTIONS»," *Scientific Bulletin. Physical and Mathematical Research*: Vol. 1 : Iss. 1 , Article 4. Available at: <https://uzjournals.edu.uz/adu/vol1/iss1/4>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific Bulletin. Physical and Mathematical Research by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

СПЕКТР ЭФФЕКТИВНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА С «НАНОРАЗМЕРНЫМИ p-n ПЕРЕХОДАМИ»

Т. А. Джалалов, Э. З. Имамов, Р. А. Муминов, Х. Н. Каримов.

Мақолада қуёш элементларининг самадорлигини ошириш йўллари кўриб чиқилган. Қуёш элементлари самадорлигининг анча юқори кўрсаткичини таъминлай оладиган температуравий ва рекомбинацион параметрлар ўртасидаги оптимал муносабат аниқланган. Шу билан бирга наногетеротузилмани қуёш элементининг электрофизик параметрлари кўриб чиқилган. Контактнинг параметрлари ҳисобланган ҳамда кремнийли таглик устида ўстирилган ушбу наногетеротузилмани яратиш учун энг қулай яримўтказгич таклиф этилган. Қўрғошин халкогенидининг юқори даражали электр сиғимига эгалиги туфайли нанокластер ва кремнийли таглик ўртасида ишончли боғланишини таъминлаб бера олиши кўрсатилган.

Калит сўзлар: кремний, қуёш элементи, ток ташувчилар, ёруғликнинг ютилиш спектри, самарадорлик, рекомбинация, вольтампер характеристикаси (ВАХ), наногетеротузилма, контакт ҳодисаси.

Рассмотрены пути повышения эффективности солнечных элементов. Определено оптимальное соотношение между температурным и рекомбинационным параметрами солнечного элемента, обеспечивающее достаточно высокий показатель его эффективности. С этой целью рассмотрены электрофизические параметры солнечного элемента с наногетероструктурами. Оценены параметры контакта, а также предложен наиболее подходящий полупроводниковый материал, способствующий росту наногетероструктур на кремниевой подложке. Именно применение халкогенидов свинца в силу их высокой электроемкости обеспечивает надежное сцепление нанокластера с кремниевой подложкой.

Ключевые слова: кремний, солнечный элемент, носители тока, спектр поглощения света, эффективность, рекомбинация, вольтамперная характеристика (ВАХ), наногетероструктура, контактное явление.

Введение

Создание эффективных солнечных элементов длительного функционирования в открытом пространстве с непрерывно изменяющимся тепловым режимом, является актуальной научной и технологической задачей современности. Именно такая задача рассмотрена в данной работе. В ней уделено внимание определению факторов, влияющих на вольтамперную характеристику «наноразмерного p-n перехода»; определение величины фототока в зависимости от количества квантов в спектре поглощения света, а также расчет коэффициента эффективности солнечного элемента с «наноразмерными p-n переходами».

Производство гелиоэнергетических устройств требует разработки новых подходов к повышению их эффективности. При создании эффективных солнечных элементов длительного функционирования в открытом пространстве стоит рассмотреть возможность использования некристаллических дешевых материалов с сильно дефектной структурой, например, технический кремний. Именно такая задача рассмотрена в данной работе. В ней уделено внимание расчету электрофизических свойств «наноразмерного p-n перехода»

Спектр эффективного поглощения света

Преобразование солнечного излучения в электричество осуществляется последовательно реализуемыми четырьмя микропроцессами: поглощение фотона, рождение электронно-дырочной пары, разделение пары на составляющие заряды и трансферт зарядов на соответствующие электроды.

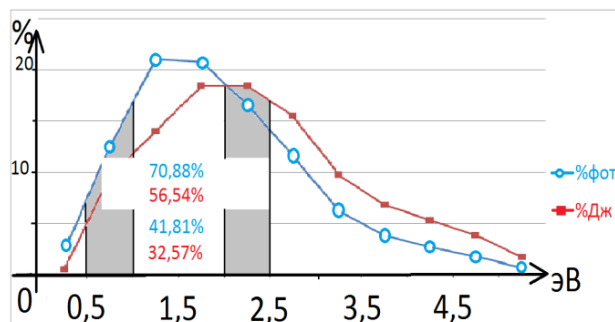


Рис.1 dE/E - линия с квадратиками и dN/N - линия с кружочками

Количество подобных циклов, последовательно реализуемых микропроцессов, определяется с помощью соотношений [1-Л.Д.Л.1976, с.584]:

$$\begin{aligned} E/V &= (\pi^2/15) \cdot (k \cdot T)^4 \cdot (\hbar \cdot c)^3 & \text{и} & \quad dE/V = \hbar \cdot \omega^3 d\omega / \pi^2 \cdot c^3 \cdot (e^{\hbar\omega/kT} - 1) \\ N/V &= (2 \cdot \xi(3) / \pi^2) \cdot (k \cdot T / \hbar \cdot c)^3 & \text{и} & \quad dN/V = \omega^2 d\omega / \pi^2 \cdot c^3 \cdot (e^{\hbar\omega/kT} - 1) \end{aligned}$$

двумя спектральными зависимостями, представленными на рис. 1:

$$\begin{aligned} dE/E - \text{спектр распределения} & \quad dN/N - \text{спектр излучения по количеству} \\ \text{излучению по энергиям: } dE/E = & \quad \text{квантов: } dN/N = \\ = (15/\pi^4) \cdot x^3 \cdot dx / (e^x - 1) = & \quad = (1/(2 \cdot \xi(3))) \cdot x^2 \cdot dx / (e^x - 1) = \\ = 0,159 \cdot x^3 \cdot dx / (e^x - 1) & \quad = 0,416 \cdot x^2 \cdot dx / (e^x - 1) \end{aligned} \quad (1)$$

Оба распределения получены из формул М.Планка для плотности энергии и плотности количества квантов теплового излучения источника при температуре T : где $x = \hbar \cdot \omega / (k \cdot T)$, $\xi(3) = 1,202$ - дзета функция Римана с аргументом 3.

Из рисунка 1 видно, что максимумы обоих распределений сдвинуты друг относительно друга, и поэтому от 1,08 до ≈ 2 эВ, то есть в оптимальной для кремния области эффективного поглощения света (поглощение рассмотрено в условиях AM0 – околоземный космос, экватор, солнце в зените). Видно, что распределение излучения по энергии dE/E в оптимальной области, а вместе с ним и теоретический предел коэффициента полезного действия солнечного элемента составляет 32,57%, а по количеству квантов dN/N - 41,81% всего спектра. Получается, что эффективность солнечных элементов зависит не от всего спектра, падающего и поглощенного солнечного излучения, а только от некоторой узкой его полосы, которая и называется спектром эффективного поглощения света. Можно сказать, что спектр эффективного поглощения света – это диапазон энергии солнечного излучения (энергии фотонов), вызывающий генерацию электричества. В этом спектре поглощается солнечное излучение, рождается электронно-дырочная пара, пара разделяется на электрон и дырку в контактом поле, заряды переносятся на соответствующие электроды.

Распределение dE/E показывает энергетическую границу процесса рождения электронно-дырочной пары ($\hbar\omega$ должна быть больше ΔE_g , где $\Delta E_g = 1,08$ эВ – ширина запрещенной зоны Si). А распределение dN/N – определяет количество рожденных электронно-дырочных пар в оптимальной для кремния области эффективного поглощения света.

Величина фототока пропорциональна g_s – темпу генерации электронно-дырочных пар в количестве квантов (то есть dN/N – 41,81% количества квантов в спектре). Значит, можно утверждать, что коэффициент полезного действия солнечного элемента с наноразмерными контактными структурами определяется именно этой цифрой.

Оптические свойства «наноразмерного р-п перехода»

Основной характеристикой любых солнечных элементов является его вольтамперная характеристика (ВАХ). Естественно, поэтому важно определить эту характеристику контактных структур в принципиально новом солнечном элементе с «наноразмерными р-п переходами».

Общий вид уравнения вольтамперной характеристики одинаков для любых контактных структур, в том числе и для солнечного элемента с отдельными «наноразмерными р-п переходами». Отличие

только в особенностях входящих в уравнение величин, а также в разновидностях солнечного элемента.

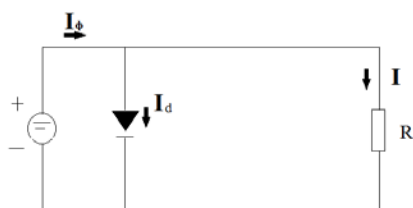


Рис.2-а Эквивалентная схема идеального СЭ

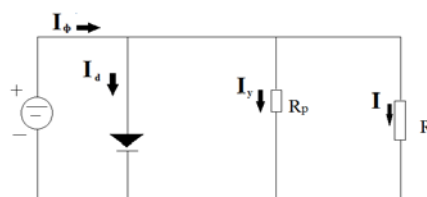


Рис.2-б Эквивалентная схема реального СЭ

Эквивалентная схема состоит [2 D.C.J.2013.p.513] из генератора тока и параллельно с ним соединенного идеального диода.

Для идеального солнечного элемента (рис.2-а) уравнение вольтамперной характеристики имеет вид:

$$I_{\phi} = I + I_d = I - I_s \cdot (e^{\alpha U} - 1), \quad (2)$$

где I – ток через сопротивление нагрузки R , $I_{\phi} = e g_s \beta S$ – вырабатываемый в токовом генераторе световой ток, S – освещаемая площадь, g_s – темп генерации электронно-дырочных пар (или интенсивность света в количестве квантов $N: N/(m^2 \cdot c^{-1})$), β – доля нерекомбинированных пар, $I_d = I_s \cdot (e^{\alpha U} - 1)$ и I_{ϕ} – токи, соответственно, диффузионный и противоположный ему – световой, I_s - ток насыщения, $\alpha = e/k \cdot T$, $U = \alpha^{-1} \ln(1 + I_{\phi}/I_s)$ – фотоэдс. Световой ток равен току короткого замыкания ($I_{\phi} = I_{кз}$), если $U=0$.

В эквивалентной схеме (рис.2-б) вольтамперная характеристика реального солнечного элемента содержит дополнительное, прямо пропорциональное к величине фотоэдс (U), слагаемое I_y :

$$I_{\phi} = I + I_y + I_d = I + I_y - I_s \cdot (e^{\alpha U} - 1). \quad (3)$$

Здесь $I_y = I_s \cdot \zeta \cdot U$ – ток утечки, ζ – коэффициент, характеризующий потери на сопротивлении контактной области солнечного элемента $R_{рп}$ (включающей сопротивление нановключения и области пространственного заряда в подложке), а также потери из-за тепловых и рекомбинационных процессов.

Сопротивление контактной области $R_{рп}$ проявляется в зависимости тока короткого замыкания от освещенности $I_{\phi} = I_{кз}$ при $U=0$. Прямо пропорциональная зависимость тока короткого замыкания от освещенности: $I_{кз} = I_{\phi}(g_s)$ наблюдается в широкой области изменений g_s . Однако, при очень больших освещенностях увеличение $I_{кз}$ становится слабее, поскольку при коротком замыкании внешних контактов на самом солнечном элементе напряжение не равно нулю, а равно $I \cdot R_{рп}$, причем потенциал на поверхности подложки (в р-области) окажется положительным относительно п-области и появляется диффузионный ток противоположный световому току и уменьшающий ток короткого замыкания.

С увеличением освещенности (увеличением I_{ϕ}) эдс увеличивается, однако не пропорционально I_{ϕ} , а по логарифмическому закону до тех пор, пока высота потенциального барьера не сравняется с $k \cdot T$.

Граничными условиями для (2) или (3) - уравнения вольтамперной характеристики являются значения $U = 0$ и $U = U_{x,x}$, где $U_{x,x}$ – напряжение холостого хода. При $U = 0$ ток короткого замыкания определяется полностью фототоком:

$$I_{кз} = A \cdot I_s = I_{\phi},$$

а при $U = U_{x,x}$ ток равен нулю и

$$e^{\alpha U_{x,x}} = A + 1 - \zeta \cdot U_{x,x}.$$

Для удобства анализа вольтамперной характеристики приведем основное уравнение вольтамперной характеристики к безразмерной форме с помощью введения безразмерных параметров:

$$a = \alpha \cdot U_{x,x} \quad b = \zeta \cdot U_{x,x} \quad y = I/I_s \quad B = A + 1 \quad I_{кз}/I_s = I_{\phi}/I_s = A \quad (4)$$

В этих обозначениях уравнение ВАХ имеет вид:

$$I/I_s = y = B - b \cdot U/U_{x,x} - e^{aU/U_{x,x}}, \quad (5)$$

где $e^a = B - b$.

Определим смысл параметров a и b . Согласно определению:

$$a = \alpha \cdot U_{x,x} = e \cdot U_{x,x} / (k \cdot T) = \Delta\mu / (k \cdot T) = (A_N - A_{Si}) / (k \cdot T), \quad (6)$$

где $\Delta\mu = (A_N - A_{Si})$ равна разности уровней Ферми контактирующих материалов и определяется их работами выходов (A_N и A_{Si}). Видно, что параметр a характеризует температурную зависимость ВАХ в процессе преобразования солнечного света.

Параметр $b = \zeta \cdot U_{x,x}$ пропорционален току утечки (определяющейся сопротивлением контактных областей R_{pn}) и темпу рекомбинационных процессов в контактных областях солнечного элемента. Для идеального фотоэлемента можно положить $b=0$.

Коэффициент эффективности солнечного элемента с наноразмерными «р-п переходами»

Вырабатываемая солнечным элементом выходная мощность равна:

$$N = U \cdot I = U \cdot I_s \cdot (A + 1 - \zeta \cdot U - e^{aU}) \quad (7)$$

С помощью безразмерных параметров (a , b , $y = I/I_s$, $P = N/I_s$) имеем:

$$P = N/I_s = U \cdot y = U \cdot (B - b \cdot U/U_{x,x} - e^{aU/U_{x,x}}) \quad (8)$$

Из условия: $dP/dU = 0$ найдем в безразмерных величинах максимум выходной мощности P_p :

$$P_p = y_p \cdot U_p = (b + aB - abz)az^2 / (\alpha(1 + az)). \quad (9)$$

Здесь y_p – безразмерный ток в максимуме, U_p – напряжение в максимуме $z = U_p/U_{x,x}$ ($0 < z < 1$), величина которого следует из $dP/dU = 0$ (условие экстремума) и определяется трансцендентным соотношением:

$$e^{az} = (B - 2bz) / (1 + az). \quad (10)$$

Отношение идеальной выходной мощности ($P_0 = I_{кз} U_{x,x}$) к максимуму вырабатываемой солнечным элементом выходной мощности P_p определяет реальный коэффициент эффективности солнечного элемента η :

$$\eta = P_p/P_0 = I_p \cdot U_p / I_{кз} U_{x,x} = z \cdot I_p / I_{кз} \quad (11)$$

Его через безразмерные параметры можно представить в виде:

$$\eta = (K - L \cdot z) \cdot z^2 / (1 + a \cdot z) \quad (12)$$

где $K = a + (b+a)/A$, $L = a \cdot b/A$, $P_0 = U_{x,x} \cdot A$.

Из выражения (11) для коэффициента эффективности солнечного элемента с «наноразмерными р-п переходами» (η) отчетливо видна роль различных факторов: тока утечки, сопротивлений подложки и вклада рекомбинационных процессов (b), температурных воздействий (a) и других потерь.

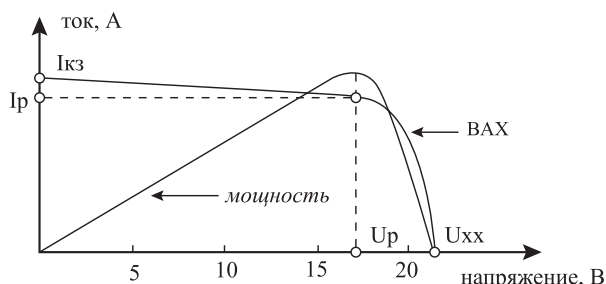


Рис.3 ВАХ согласно (5) и зависимость N – мощности (7) от величины фотоздс с учетом (11)

Для кремниевых солнечных батарей с традиционным р–п переходом η находится в диапазоне $0,75 \div 0,85$, а для солнечных батарей на основе GaAs – в диапазоне $0,79 \div 0,87$. Коэффициент эффективности солнечного элемента с «наноразмерными р–п переходами» может быть в диапазоне $0,40 \div 0,98$ в зависимости от отношений тока короткого замыкания к температурному фактору а.

Электрофизические свойства «наноразмерного р–п перехода»

Отдельный «наноразмерный р–п переход» - это принципиально новая контактная структура, которая состоит из локальной (почти точечной) отрицательной р-области и длинной положительной п-области ($d = b \cdot N$, $b = N_D^{-1/3}$) [3.Е.540, 4.р.110]. Отрицательная р-область имеет размер порядка R – среднего поперечного размера нановключения ($5 \div 35$ нм). А положительная п-область длинная и её длина кратна $b = N_D^{-1/3}$ - среднему расстоянию между остаточными примесями, то есть $d = b \cdot N$. Площадь покрытия поверхности подложки «наноразмерными р–п переходами» не превышает $5 \div 8\%$.

Ниже приведены результаты расчета электрофизических параметров «наноразмерного р–п перехода»: $\mathbf{E}_k(\mathbf{r})$ –вектора напряженности и $\phi_k(x)$ -потенциала электростатического поля.

Определим вектор напряженности электростатического поля. Отрицательный заряд р-области «наноразмерного р–п перехода»

$$Q = q \cdot N_D^{2/3} = e^- \cdot N \cdot N_D^{2/3},$$

где $N_D^{2/3}$ – поверхностная концентрация остаточных примесей, сконцентрированных на нановключениях, которые равномерно распределены по всей освещаемой поверхности подложки.

Равномерное распределение отрицательных зарядов с поверхностной плотностью σ_n на поверхности подложки и на других, расположенных за ним N параллельных плоскостях, концентрирующие положительные заряды (σ^+) оголенных донорных остаточных примесей, необходимо для рассмотрения их в модели равномерно заряженных бесконечных плоскостей и для расчета потока вектора напряженности электростатического поля $\mathbf{E}_k(\mathbf{r})$ сквозь произвольную замкнутую поверхность, который проводится по теореме Гаусса-Остроградского.

В точке с координатой x вдоль оси «наноразмерного р–п перехода» суммарный вектор напряженности электростатического поля $\mathbf{E}_k(\mathbf{x})$ от каждой N параллельных равномерно заряженных бесконечных плоскостей (k – нумерует N плоскости и изменяется в пределах $0 \leq k \leq N$) находится на основе принципа суперпозиции полей (рис. 4а,).

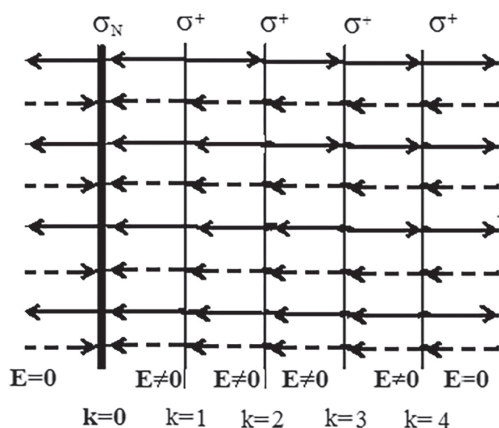


Рис. 4 а. Схема формирования $\mathbf{E}_k(x)$ в каждом k -том межплоскостном пространстве.

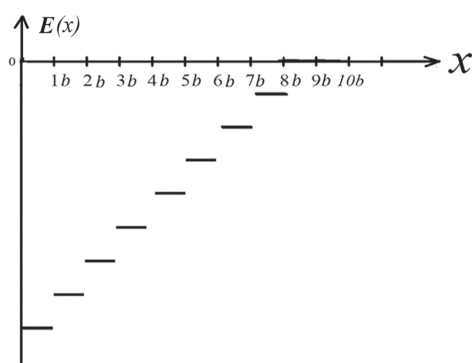


Рис.4 б. Расчётная (8 плоскостей для примера) координатная величина $\mathbf{E}_k(x)$

пунктирные силовые линии относятся к отрицательной плоскости σ_n

При этом электростатическое поле от каждой плоскости – однородно, а силовые линии поля – коллинеарны друг другу. Поэтому элементарный расчет в одномерной модели результирующего поля $\mathbf{E}_k(\mathbf{x})$ в k -том межплоскостном пространстве приводит к соотношению (рис.4б):

$$E_k(x) = - (\gamma/b) \cdot (N - [x_k]). \quad (1)$$

Здесь $\gamma = 4 \cdot \pi \cdot k \cdot e^+ / (\epsilon_{si} \cdot b)$; $[x_k]$ – в единицах b целая часть x -координаты. В конце области пространственного заряда (после N параллельных плоскостей) результирующее поле равно нулю: $E_k(x=d=N \cdot b) = 0$.

Численная оценка модуля вектора напряженности на поверхности подложки $|\mathbf{E}_0| = \gamma \cdot N/b$, например, для одного шарообразного нановключения ($C = 4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_N \cdot R$) из PbSe ($\epsilon_N = 250$, $R = 10$ нм, $\Delta\mu = A_N - A_{Si} = 0,1$ эВ) при $N = 15$ дает величину порядка $2,25 \cdot 10^4$ В/м. Это значение напряженности поля не столь велико, но, в пределах своего действия, может разогнать электрон до энергии 0,15 эВ

Определим теперь потенциал электростатического поля. Согласно уравнению электромагнитного поля

$$\mathbf{E}_k(\mathbf{r}) = - \text{grad}\varphi_k(x)$$

вычисляется также и координатная зависимость $\varphi_k(x)$ – контактной разности потенциалов в точке x вдоль оси «наноразмерного p-n перехода». В одномерной модели она равна:

$$\varphi_k(x) = - \int \mathbf{E}_k(x)dx; \quad \varphi_k(x=0) = \varphi_0 = \gamma \cdot N \cdot (N+1)/2. \quad (2)$$

Соотношения (1 и 2) получены при следующих граничных условиях:

$$\begin{array}{lll} \mathbf{E}_N(x=x_N=d) = 0 & \varphi_k(x_k) = \varphi_k(x=x_N=d) = 0 & \text{при } x = x_N = d \\ \mathbf{E}_0(x=0) = \mathbf{E}_0 = -\gamma \cdot N/b & \varphi_k(x_k) = \varphi_k(x=0) = \varphi_0 & \text{при } x = 0 \end{array}$$

Здесь $\mathbf{E}_0 = \mathbf{E}_0(x=0)$ и $\varphi_0 = \varphi_k(x=0)$ значения на освещаемой поверхности подложки, соответственно, вектора напряженности электростатического поля и контактной разности потенциалов.

В конце области пространственного заряда (после N параллельных плоскостей) вектор напряженности электростатического поля $\mathbf{E}_N(x=x_N=d=N \cdot b)$ и контактная разность потенциалов $\varphi_k(x=x_N=d=N \cdot b)$ равны нулю.

Найдем количество заряда на одном нановключении. Вектор напряженности электростатического поля и его потенциал, и число заряженных плоскостей, и емкость нанокластера, и длина области пространственного заряда ($d = b \cdot N$) содержат параметр N . Численно его значение соответствует количеству заряда, перешедшего в нановключение в термодинамическом процессе выравнивания уровней Ферми ($\Delta\mu$) контактирующих материалов, то есть N показывает сколько электронов может принять одно нановключение в процессе термодинамического выравнивания уровней Ферми. Его величину можно оценить, исходя из определений емкости контактной области $C = q/\varphi_0$, сконцентрированного на ней заряда $q = e \cdot N$, соответственно, разности уровней Ферми ($\Delta\mu$) и $(A_N - A_{Si})$ – разности работ выходов (A_N и A_{Si}) контактирующих материалов $\Delta\mu = q \cdot \varphi_0 = A_N - A_{Si}$.

В результате величина N определяется из соотношения:

$$N = (C \cdot \Delta\mu / e^2)^{1/2} = (C \cdot (A_N - A_{Si}) / e^2)^{1/2} \quad (12)$$

Оценка величины N при тех же параметрах, что и для $|\mathbf{E}_0|$, дает величину порядка $13 \div 15$.

Найдем теперь дрейфовую скорость электрона в электростатическом поле «наноразмерного p-n перехода». В процессе генерации светом фотоносителей в солнечном элементе с «наноразмерными p-n переходами» они сразу же оказываются в контактном электростатическом поле. Под действием этого поля фотоносители начинают дрейфовать к соответствующим электродам со скоростью:

$$v = \mu \cdot E = e \cdot \tau \cdot E / m^* = 2 \cdot e^2 \cdot \tau / (C \cdot b \cdot m^*) \cdot (N - [x_k]) / (N + 1), \quad (4)$$

где μ и m^* – подвижность и эффективные массы фотоносителей в зонах, τ – время релаксации импульса.

Оценка времени релаксации электрона по импульсу τ_p в контактном поле «наноразмерного p-n перехода» при тех же параметрах, что и для $|\mathbf{E}_0|$, дает величину $\tau_p \approx 6 \cdot 10^{-10}$ с. При этом для величины дрейфовой скорости получим значение порядка $v \approx 10^5$ м/с, что вполне соответствует дрейфовым скоростям электронов в традиционных p-n структурах.

Изложенные в данной статье результаты были частично опубликованы в ранних публикациях авторов [5-14].

Литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. – Москва: Наука, 1989. – 584 с.
2. *Imatov E.Z., Dzhalalov T.A., Muminov R.A.* Electrophysical Properties of the Nano-object-semiconductor new contact structure // Technical physics. – 2015. – Vol. 60. – №5. – P. 740 – 745.
3. *Имамов Э.З., Джалалов Т.А., Муминов Р.А.* Электрофизические свойства новой контактной структуры нанобъект–полупроводник // Журнал технической физики. – 2015, том 85, № 5. – С.110 – 115.

4. Джалалов Т.А., Имамов Э.З., Муминов Р.А., Рахимов Р.Х. Расширение спектра эффективного поглощения солнечных элементов с нановключениями // Computational nanotechnology. – 2018. – №1. – С. 157 – 167.
5. Djalalov T.A., Imamov E.Z., Muminov R.A., Rakhimov R.Kh. Expansioin of effective absorb spectrum tion Unique opportunity to create cheap but effective silicon solar cells // Computational nanotechnology. – 2018. – №1. – P. 155 – 157.
6. Jalalov T.A., Imamov E.Z., Muminov R.A., Sabirov H., Atoev Sh.Sh. *Solar elements based on noncrystalline silicon with nanostructured impacts* // Computational nanotechnology. – 2018. – №3. – P. 85 – 90.
7. Джалалов Т.А., Имамов Э.З., Муминов Р.А. Наноструктурный кремниевый солнечный элемент. Монография. – Тошкент: Fan va texnologiya, 2018. – 106 с.
8. Imamov E.Z., Djalalov T.A., Karimov Kh.N. Infrared (IR) and ultraviolet (UV) displacement of effective absorption spectrum of solar cells. Proceedings of international conference. Fundamental and applied problems of physics. Section II: Physics of semiconductors and solids, their applied aspects. Proceedings of international conference. Academy of Sciences of Uzbekistan Scientific association "PHYSICS-SUN". Ташкент, 2017. – P. 46 – 48.
9. Juraev F.I., Imamov E.Z., Muminov R.A. Optimization of the sizes and shapes of nano inclusions in the sensitive region of silicon photoconverters. Fundamental and applied problems of physics. Section II: Physics of semiconductors and solids, their applied aspects. Proceedings of international conference. Academy of Sciences of Uzbekistan Scientific association "PHYSICS-SUN". Ташкент, 2017. – P. 59 – 63.
10. Джалалов Т.А., Имамов Э.З., Муминов Р.А., Каримов Х.Н. Расширение спектра эффективного поглощения света // Илмий хабарнома – Научный вестник. – 2017. – №3. – С. 18 – 23.
11. Imamov E.Z. and Djalalov T.A. Infrared (IR) and Ultraviolet (UV) Displacement of Solar Cells Effective Absorption Spectrum // Open Photoen -2017. – P. 231 – 233.
12. Джалалов Т.А., Имамов Э.З., Муминов Р.А., Рахимов Р.Х. Анализ роли нанобъектов в удешевлении кремниевых солнечных элементов. // Computational nanotechnology. – 2017. – №3. – С. 14 – 18.
13. Imamov E.Z., Djalalov T.A., Muminov R.A., Rakhimov R.Kh. Unique opportunity to create cheap but effective silicon solar cells // Computational nanotechnology. – 2017. – №1. – С. 61 – 65.
14. Имамов Э.З., Джалалов Т.А., Муминов Р.А., Рахимов Р.Х. Уникальная возможность создания дешевого, но эффективного солнечного элемента // Computational nanotechnology. – 2017. – №1. – С. 56 – 61.

THE RANGE OF EFFECTIVE LIGHT ABSORPTION AND ELECTROPHYSIC PROPERTIES OF A SOLAR ELEMENT "NANOSCALE p-n JUNCTIONS»

T. A. Jalalov^a, E. Z. Imamov^b, R. A. Muminov^c, Kh. N. Karimov^d

Ilmij xabarnoma. Fizika-matematika tadqiqotlari – Scientific Bulletin. Physical and Mathematical Research. 2019. 1(42). 27–34.

^{a,b,d}Tashkent University of Information Technologies, Tashkent, 100200, Amir Temur str., 108 (Uzbekistan). E-mail: info@tuit.uz

^cPhysical-Technical Institute NGO "PHYSICS-SUN", ASUZ, Tashkent, 100084, str. Chingiz Aytmatov 2B (Uzbekistan). E-mail: ftikans@uzsci.net

Key words: silicon, solar cell, current carriers, light absorption spectrum, efficiency, recombination, volt-ampere characteristic (VAC), nanoheterostructure, contact phenomena.

The creation of effective solar cells for long-term operation in open area with continuously changing thermal regime is an urgent scientific and technological task of our time. This task is considered in this paper.

- the factors affecting the current-voltage characteristic of the "nanoscale p-n junction" are determined»;
- calculated value of the photocurrent depending on the number of quanta in the light absorption spectrum (photocurrent in one "nanoscale p-p junction" is determined by the absorption of 41.81% of the incident solar radiation, that is, the absorption of almost half of the incident light intensity in the number of quanta),
- the efficiency coefficient of the solar cell with "nanoscale p-n junction" is calculated»;
- the interconnection of the electro physical properties of "nanoscale p-n junction" with the parameters of the current-voltage characteristics of the solar element are determined in the work.

Production of solar energy devices requires the development of new approaches and innovative solutions to improve their efficiency. In order to reduce the cost of materials used in the creation of effective solar elements long-term operation in the open area, the expediency of using low-cost non-crystalline materials with a highly defective structure. For example, the possibility of using as a substrate material of solar elements of non-crystalline, disordered, highly defective and cheap silicon, capable of long-term operation in an open space with a continuously changing thermal regime.

As the most appropriate material nanoinclusion this paper proposes the use of chalcogenides lead with a high value of electro capacitance (PbS, PbSe and PbTe), the permittivity of which fifteen to twenty times greater than a corresponding amount of silicon.

The main attention is paid to the calculation of the electro physical properties of the "nanoscale p-n junction". Calculation of the electro physical properties of "nanoscale p-n junctions" and their current-voltage characteristics have been considered in the paper.

In particular, we discovered electro physical properties "nanoscale p-n junction" on the basis of the solution of the Poisson equation and the Ostragradsky-Gauss theorem. Expressions for the potential and strength of the electrostatic field are obtained, the amount of concentrated charge on one nano-inclusion is determined, as well as the drift velocity of the electron in the electrostatic field of the "nanoscale p-n junction".

References

1. Landau, L.D., Lifshitz E.M. (1989) *Teoreticheskaya fizika* [Theoretical physics] Moscow: Nauka.
2. Imamov, E.Z., Jalalov, T.A., Muminov, R.A. (2015) Electrophysical Properties of the Nano-object-semiconductor non contact structure. *Technical physics*. Vol. 60. Issue 5. pp. 740-745.
3. Imamov, E.Z., Jalalov, T.A., Muminov, R.A. (2015) Elektrofizicheskiye svoystva novoy kontaktnoy struktury nanoob'yekt-poluprovodnik [Electrophysical properties of the new contact structure examples-semiconductor]. *Technical physics*. Vol. 85. Issue 5 pp. 110-115.
4. Jalalov, T.A., Imamov, E.Z., Muminov, R.A., Rakhimov, R.H. (2018) Rasshireniye spektra effektivnogo pogloshcheniya solnechnykh elementov s nanovklyucheniymi [Expanding the spectrum of efficient absorption of solar cells with nano-inclusions]. *Computational nanotechnology*. Issue 1. pp. 157-167.
5. Jalalov, T.A., Imamov, E.Z., Muminov, R.A., Rakhimov R.H. (2018) [Expansion of effective absorption spectrum as a Unique the possibility of creating cheap but efficient silicon solar cells]. *Computational nanotechnology*. Issue 1. pp. 155-157.
6. Jalalov, T.A., Imamov, E.Z., Sabirov, R.H., Atoev, Sh.Sh. (2018) [Solar cells based on nanostructured silicon noncrystalline with consequences]. *Computational nanotechnology*. Issue 3. pp. 85-90.
7. Jalalov, T.A., Imamov, E.Z., Muminov R.A. (2018) *Nanostrukturniy kremniyeviy solnechniy element* [Nanostructured silicon solar cell]. Tashkent: Fan va texnologiya.
8. Imamov, E.Z., Jalalov, T.A., Karimov, Kh.N. (2017) Infrared (IR) and ultraviolet (UV) displacement of the effective absorption of the spectrum of solar cells]. *Proceedings of the international conference "Fundamental and applied problems of physics". Section II: Physics of semiconductors and solids, their applied aspects*. Academy of Sciences of Uzbekistan Scientific association "PHYSICS-SUN". Tashkent. pp. 46-48.
9. Juraev, F.I., Imamov, E.Z., Muminov, R.A. [Optimization of the size and shape of the nano-inclusions in the sensitive region of silicon]. *Proceedings of the international conference "Fundamental and applied problems of physics" section II: Physics of semiconductors and solids, their applied aspects*. Academy of Sciences of Uzbekistan Scientific association "PHYSICS-SUN". Tashkent. pp. 59-63.
10. Jalalov, T.A., Imamov, E.Z., Muminov, R.A., Karimov, Kh.N. (2017) Rasshireniye spektra effektivnogo pogloshcheniya sveta [Expanding the spectrum of effective light absorption]. *Ilimiy xabaroma – Nauchniy vestnik*. Issue 3. pp. 18-23.
11. Imamov, E.Z., Jalalov T.A. (2017) Infrared (IR) and ultraviolet (UV) displacement of solar cells of the effective absorption of the spectrum. *Open Photoen*. pp. 231-233.
12. Jalalov, T.A., Imamov, E.Z., Muminov, R.A., Rakhimov, R.H. (2017) Analiz roli nanoobyektov v udeshevlenii kremniyevykh solnechnykh elementov [The Analysis of the role of nanostructures in reducing the cost of silicon solar cells]. *Computational nanotechnology*. Issue 3. pp. 14-18.
13. Imamov, E.Z., Jalalov, T.A., Muminov, R.A., Rakhimov, R.H. (2017) Unique opportunity to create cheap but effective silicon solar cells. *Computational nanotechnology*. Issue 1. pp. 61-65.
14. Imamov, E.Z., Jalalov, T.A., Muminov, R.A., Rakhimov, R.H. (2017) Unikalnaya vozmozhnost' sozdaniya deshevogo, no effektivnogo solnechnogo elementa [Unique opportunity to create a cheap but effective solar element]. *Computational technologies*. Issue 1. pp. 56-61.

Муаллифлар ҳақида маълумот

Джалалов Темур Асфандиярович – PhD, Тошкент ахборот технологиялари университети физика кафедраси катта ўқитувчиси. E-mail: tdjalalov@gmail.com

Имамов Эркин Зуннунович физика-математика фанлари доктори, Тошкент ахборот технологиялари университети физика кафедраси профессори, профессор . E-mail: erkinimamov@mail.ru

Муминов Рамизулла Абдуллаевич – академик, физика-математика фанлари доктори, ИИБ "Физика-Қуёш" ЎзР ФА ФТИ лаборатория мудири. E-mail: detector@uzsc.net

Каримов Хасан Нарзуллаевич –Тошкент ахборот технологиялари университети физика кафедраси ассистенти. E-mail: kh.karimovtatu@mail.ru

2018 йил 3 декабрда қабул қилинган