

**ТЕМПЕРАТУРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА КОЭФФИЦИЕНТ  
НЕИДЕАЛЬНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА**

**М.А.Алиназарова**

*Алиназарова Махфузা Алишеровна, доктор философии (PhD) по физико-математическим наукам, старший преподаватель кафедры методики точных и естественных наук центра повышения квалификации преподавателей Наманганской области, город Наманган*

**Аннотация**

*Рассмотрена влияние температуры на значения коэффициента неидеальности ВАХ освещенного СЭ. Получены полуэмпирические выражения для определения температурной зависимости коэффициента не идеальности ВАХ освещенного полупроводникового СЭ. Показано, что значение коэффициента не идеальности фото ВАХ СЭ имеет разное значение для разных точек фото ВАХ а также что его значение почти не зависит от температуры в интервале 160 K < T < 500 K.*

**Ключевые слова:** солнечный элемент, коэффициент не идеальности фото ВАХ, эффективные фото ток, эффективные напряжение, влияние температуры, значения фотогальванических характеристик.

**Abstract**

*Influence of temperature on values of fill factor of I-V characteristic illuminated solar cell investigated. Semi-empirical expressions for definition of temperature dependence of fill factor of I-V characteristic illuminated solar cell investigated semiconductor solar cell are received. It is shown that its value does not depend almost on temperature in the range of 160 K < T < 500 K.*

**Keywords:** The Silicon Solar Cell, fill factor of I-V, an effective photocurrent of short circuit, effective voltage of open circuit, influence of temperature.

Известно, что плотность фототока в цепи освещенного солнечного элемента (СЭ) определяется выражением:

$$j_\phi = j_0 \left( \exp\left(\frac{qU}{nkT}\right) - 1 \right) - j_{k3}, \quad (3)$$

где  $j_0$ - плотность тока насыщения СЭ,  $U$ -напряжение и  $j_{k3}$ - плотность тока короткого замыкания. Из этой формулы для коэффициента не идеальности ВАХ освещенного СЭ можно получить выражение:

$$n = \frac{qU}{kT} \frac{1}{\ln(\frac{j_\phi + j_{\kappa} + j_0}{j_0})} \quad (4)$$

Однако, используя это выражение, температурную зависимость коэффициента не идеальности ВАХ освещенного СЭ можно определить только экспериментальным путем, так как, нет выражения определяющее температурную зависимость напряжения и плотности фототока.

В работах [1, 2] исследованы корреляция между напряжением холостого хода ( $U_{xx}$ ), плотностью тока короткого замыкания ( $I_{\kappa}$ ), эффективного напряжения ( $U_{\phi}$ ) и эффективной плотностью тока ( $j_{\phi}$ ) от температуры в интервале  $200K < T < 500K$  и был сделан вывод о том, что коэффициент не идеальности ВАХ не зависят от температуры. В точке, где определяется плотность тока короткого замыкания, значение этого коэффициента близка к 1 ( $n \approx 1$ ). А в точке, при котором определяется эффективные значения фотогальванических характеристик больше 2 ( $n > 2$ ). Из этого следует, что значение коэффициента не идеальности ВАХ освещенного СЭ различаются на различных точках ВАХ. Действительно, коэффициент не идеальности ВАХ освещенного СЭ определяется выбранной точкой кривой фототока [3], поэтому он не может иметь одинаковое значение на различных точках ВАХ. Так, как в точке определения напряжение холостого хода, фототок равен нулю и при этом значение коэффициента не идеальности ВАХ близко к 1 [4].

Принимая во внимание вышесказанное, настоящая работа посвящена исследованию температурной зависимости коэффициента не идеальности ВАХ СЭ.

В работе [2] для плотности тока насыщения, напряжению холостого хода и плотности тока короткого замыкания при  $T_0 = 300 K$ , получены следующие выражения,

$$j_0 = j_{00} \exp \left[ \frac{q\varphi}{k} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right], \quad (5)$$

$$U_{xx} = (U_{0xx} - \varphi) \frac{T}{T_0} + \varphi, \quad (6)$$

$$j_{\kappa} = j_{00} \exp \left[ \frac{q\varphi}{k} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right] \times \left[ \exp \left[ \frac{q\varphi}{n_1 k T_0} \left( \frac{U_{0xx}}{\varphi} - 1 + \frac{T_0}{T} \right) \right] - 1 \right], \quad (7)$$

где  $-U_{0xx}$  - и  $j_{00}$  - напряжение холостого хода и плотность тока насыщения, при температуре  $T_0 = 300 K$ ,  $n_1$  - коэффициент не идеальности ВАХ в точке где определяется плотность тока короткого замыкания (точка 1),  $\varphi$  высота потенциального барьера СЭ. Как известно, потенциальный барьер СЭ тоже зависит от температуры в явном виде:

$$\varphi = \varphi_0 - \gamma T, \quad (8)$$

где  $\varphi_0$  - высота потенциального барьера СЭ при температуре абсолютного нуля,  $\gamma$  - температурный коэффициент потенциального барьера, а его

значение для основных полупроводников лежит в диапазоне  $\gamma = 5 \times 10^{-3} \div 5 \times 10^{-5}$  В / К.

Когда фототок равен нулю, выходное напряжение СЭ является напряжением холостого хода, поэтому из (3) можно получить следующую формулу:

$$n_1 = \frac{qU_{xx}}{kT} \frac{1}{\ln\left(\frac{j_{\kappa} + j_0}{j_0}\right)}. \quad (9)$$

Подставляя (5) - (8), (10) и (11) в соответствующие формулы (9) и (12), получим выражение, для температурной зависимости коэффициента не идеальности ВАХ освещенного СЭ.

В работе [4] для эффективных значений напряжения и плотности тока СЭ получены следующие выражения:

$$U_{\phi} = \frac{n_2 kT}{q} \ln \frac{j_{\kappa}}{j_0} \frac{n_2 kT}{q U_{xx}}, \quad (10)$$

$$j_{\phi} = j_{\kappa} \left( \frac{n_2 kT}{q U_{xx}} - 1 - \frac{j_0}{j_{\kappa}} \right), \quad (11)$$

где  $n_2$ - значение коэффициента не идеальности ВАХ в точке определения эффективных значений фотогальванических характеристик СЭ (точка 2).

Когда напряжение равно эффективному значению, плотность фототока также будет равна ее эффективному значению. Поэтому для коэффициента не идеальности ВАХ из формулы (3) можно получить:

$$n_2 = \frac{q U_{\phi}}{kT} \frac{1}{\ln\left(\frac{j_{\phi} + j_{\kappa} + j_0}{j_0}\right)}. \quad (12)$$

Результаты расчета температурной зависимости коэффициента не идеальности ВАХ в точке определения тока короткого замыкания по выражению (9) для СЭ, изготовленных на основе свидетельствуют о ее ничтожности. Другими словами, коэффициент не идеальности ВАХ освещенного СЭ не зависит от температуры в интервале  $160 K < T < 500 K$ . При этом выполнены расчеты для значений параметров:  $j_{00} = 3,468 \times 10^{-10}$  А/см<sup>2</sup>,  $\varphi_0 = 1,12$  В и  $\gamma = 2 \times 10^{-4}$  В/К и значение для коэффициента составляет  $n_1 = 1,0018$ .

В таблице приведены результаты расчетов для СЭ на основе полупроводников для температурной зависимости коэффициента не идеальности ВАХ в точке определения эффективного значения фотогальванических характеристик.

Как следует из таблицы, коэффициент не идеальности ВАХ слабо зависит от температуры в диапазоне  $160 K < T < 500 K$ ; диапазон изменений коэффициента при этом составляет  $2,1 < n_2 < 2,3$ . Считаем, что эти изменения происходят из за более существенного изменения фототока в точке определения эффективных значений фотогальванических характеристик. Эти расчеты выполнялись для значений  $j_{00} = 3,468 \times 10^{-10}$

$A/cm^2$ ,  $\varphi_0 = 1,12$  В и  $\gamma = 2 \times 10^{-4}$  В/К. Максимальное значение коэффициента составляло  $n_2 = 2,5$ .

Таблица

**Температурная зависимость коэффициента не идеальности ВАХ кремниевых СЭ, вычисленная для эффективной точки**

<b>T , K</b>	<b>163</b>	<b>183</b>	<b>203</b>	<b>223</b>	<b>243</b>	<b>263</b>	<b>283</b>	<b>303</b>	<b>323</b>
<b>N</b>	2.217 7	2.218 9	2.220 0	2.221 2	2.222 3	2.223 4	2.224 5	2.225 6	2.226 7
<b>T , K</b>	<b>343</b>	<b>363</b>	<b>383</b>	<b>403</b>	<b>423</b>	<b>443</b>	<b>463</b>	<b>483</b>	<b>503</b>
<b>N</b>	2.227 8	2.228 8	2.229 9	2.230 9	2.232 0	2.233 0	2.234 0	2.235 1	2.236 1

Значение фототока в кремниевых структурах в  $10^5 \div 10^6$  раз превышает значение темнового тока. Поэтому влияние температуры на темп рекомбинации носителей заряда в области объемного заряда *p-n*-перехода и, следовательно, на коэффициент не идеальности ВАХ для освещенного СЭ является несущественным. Не большое изменение значений  $n$  в эффективной точке ВАХ освещенного СЭ с температурой в основном связано с изменением последовательного и шунтирующего сопротивления кремниевой структуры с поверхностными омическими контактами. Следовательно, с физической точки зрения, можно считать более целесообразным использование уравнения (12) в экспериментальных задачах физики полупроводниковых приборов.

Таким образом, в настоящей работе исследовано влияние температуры на значения коэффициента не идеальности ВАХ освещенного СЭ. Получены полуэмпирические выражения для определения температурной зависимости коэффициента не идеальности ВАХ освещенного полупроводникового СЭ. Показано, что его значение почти не зависит от температуры в интервале  $160 K < T < 500 K$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Aliev R., Ikramov R.G., Alinazarova M.A., Ismanova O.T. // Applied Solar Energy, 2009, Vol.45, No.3, pp. 148-150.
- [2] Алиев Р., Алиназарова М.А., Икрамов Р.Г., Исманова О.Т. // Гелиотехника, 2011, №2, С. 38-41.
- [3] С.Зи. Физика полупроводниковых приборов 2-часть. Москва: «Мир». 1984. -456 с.
- [4] Алиев Р., Икрамов Р.Г., Исманова О.Т., Алиназарова М.А. // Гелиотехника, 2011, №1, С. 61-64.