

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ КРЕМНИЕВЫХ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ К УГЛУ ПАДЕНИЯ СВЕТА НА ИХ ПРИЕМНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

М.В. Кириченко, В.Р. Копач, Р.В. Зайцев, С.А. Бондаренко

Национальный технический университет «ХПИ»

21, ул. Фрунзе, г. Харьков, 61002, Украина

e-mail: kirichenko_mv@mail.ru

Плотность тока короткого замыкания $J_{КЗ}$ и напряжение холостого хода $U_{ХХ}$ фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) увеличиваются с ростом интенсивности света, проникающего в их полупроводниковую базу. Это обуславливает целесообразность использования концентрированного солнечного излучения (КСИ) для повышения КПД (η) таких приборов, поскольку $\eta \sim J_{КЗ} U_{ХХ}$, а $U_{ХХ} \sim \ln(J_{КЗ}/J_0)$, где J_0 – плотность диодного тока насыщения. Вместе с тем, значительная часть КСИ поступает на приемную поверхность ФЭП под углом α к ее нормали, из-за чего $J_{КЗ}$, $U_{ХХ}$ и КПД должны зависеть от α , поскольку освещенность E приемной поверхности ФЭП изменяется с α по закону $E = E_0 \cos \alpha$, где $E_0 = E$ при $\alpha = 0$. Поэтому применительно к созданию высокоэффективных ФЭП для работы в условиях КСИ актуальной задачей является минимизация угловой зависимости выходных параметров ФЭП. С другой стороны, в отличие от полупроводниковых датчиков излучения, требующих постороннего источника электрической энергии, ФЭП могут быть серьезной альтернативой последним в системах определения направления распространения излучения. При этом угловая зависимость $J_{КЗ}$ и $U_{ХХ}$ должна быть как можно более ощутимой. В связи с изложенным нами было исследовано влияние особенностей конструкции и электронных параметров монокристаллических Si-ФЭП на зависимость $J_{КЗ}$ и $U_{ХХ}$ от α . Применительно к обоим задачам наибольший интерес представляет зависимость $U_{ХХ}(\alpha)$ в силу простоты измерения этого параметра.

Установлено, что эта зависимость для монокристаллических Si-ФЭП стандартной конструкции с p-n переходом, параллельным приемной поверхности, описывается соотношением $U_{ХХ} \approx U_{ХХ\max} \{1 + \ln \cos \alpha / [2,3(\xi_2 - \xi_1)]\}$, где $U_{ХХ\max} = U_{ХХ}$ при $\alpha = 0$, а ξ_1 и ξ_2 – положительные числа при $\xi_1 < \xi_2$, что соответствует реальному соотношению величин $J_{КЗ\max} = 10^{-\xi_1}$ А/см² и $J_0 = 10^{-\xi_2}$ А/см². Так как ξ_1 уменьшается, а ξ_2 увеличивается с увеличением времени жизни τ неосновных носителей заряда в базовом кристалле, то для Si-ФЭП указанной конструкции повышение τ должно способствовать снижению угловой зависимости $U_{ХХ}$, а следовательно и КПД. Это относится к способу решения первой из указанных выше задач. Очевидно, что для повышения угловой зависимости $U_{ХХ}$ значение τ необходимо уменьшать. Это является ключевым подходом для решения второй задачи. Показано, что в случае многопереходных (МП) Si-ФЭП с множеством (>10) последовательно соединенных вертикальных диодных ячеек (p-n переходы которых перпендикулярны приемной поверхности) $U_{ХХ}^* \approx U_{ХХ\max}^* \{1 + \ln [f(R, \alpha) \cdot \cos \alpha] / [2,3(\xi_2 - \xi_1)]\}$, где $0 < f(R, \alpha) < 1$ и снижается с уменьшением коэффициента отражения R от границ металл/Si внутри МП Si-ФЭП. Поэтому на угловую зависимость $U_{ХХ}^*$ ($U_{ХХ}^* \gg U_{ХХ}$, что является преимуществом МП Si-ФЭП) наряду с τ существенно влияет величина R , которую для решения первой задачи необходимо увеличивать, а для решения второй задачи – уменьшать. Приводятся экспериментальные угловые зависимости $J_{КЗ}$ и $U_{ХХ}$. Обсуждаются способы варьирования параметрами τ и R с целью управления этими зависимостями.