

Фотоэлектрические и радиационные характеристики кремниевых солнечных элементов при повышенных освещенностях и температурах

© М.Я. Бакиров

Сектор радиационных исследований Академии наук Азербайджана, 370073 Баку, Азербайджан

(Получена 3 октября 1995 г. Принята к печати 1 июля 1996 г.)

Экспериментально установлено, что при использовании концентрированного солнечного излучения увеличивается мощность элемента и уменьшается скорость радиационной деградации параметров. В неохлаждаемых элементах температура возрастает выше 100°C, а КПД падает.

В последнее время большое внимание уделяется использованию солнечной энергии, в частности прямому ее преобразованию в электрическую энергию. Для этой цели широко используются кремниевые солнечные элементы. Они являются главным источником электроэнергии в космических аппаратах. Однако широкое использование их на Земле сдерживается значительной стоимостью элементов. Снижение стоимости кремниевых солнечных элементов в основном ведется за счет уменьшения стоимости монокристаллического кремния и создания дешевых пленочных элементов на основе аморфного кремния. Не менее перспективным для этой цели является использование концентрированного солнечного излучения.

Использование концентрированного солнечного излучения в фотоэлектрических установках связано главным образом со стремлением улучшить энергетические показатели установок за счет увеличения удельной мощности. Однако, как показывают наши исследования, при этом уменьшается и скорость радиационной деградации параметров элементов. При использовании концентрированного солнечного излучения в элементах выделяется большое количество тепловой энергии и, если не предусмотрено охлаждение, то рабочая температура элементов возрастает. Значительное повышение температуры влияет на концентрацию носителей заряда, а также на процесс поглощения света, в результате чего изменяются выходные параметры солнечных элементов. В элементах, работающих в условиях концентрированного солнечного излучения, при которых рабочая температура достигает 100°C и выше, часть дефектов, вводимых радиацией, вследствие термической активации оказывается не устойчивой. Поэтому концентрация дефектов, определяющая степень деградации параметров элемента, будет зависеть не только от плотности интегрального потока частиц, но и от температуры, которая определяется коэффициентом концентрации солнечного излучения. Это возбудило интерес к изучению влияния температуры и освещенности на фотоэлектрические и радиационные характеристики кремниевых солнечных элементов.

Цель работы — установить закономерности изменения основных параметров при высокой температуре и определить влияние освещенности и температуры на

температуру радиационной деградации параметров кремниевых солнечных элементов. Исследовались элементы с $p-n$ -переходом, изготовленные диффузией фосфора в p -Si с удельным сопротивлением $5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$. При прямом солнечном свете ($W = 100 \text{ мВт/см}^2$) эти элементы генерируют фототок около 25 мА/см^2 и фотонапряжение 0.5 В . Их КПД $\sim 10\%$.

Измерялись значения температуры элемента под действием концентрированного солнечного излучения. Установлено, что с увеличением мощности солнечного света, падающего на элемент, от 0.1 до 2.5 Вт/см^2 температура элемента монотонно повышается от 30 до 220°C .

Исследование зависимости основных параметров солнечного элемента от температуры показало, что с повышением температуры выше комнатной фототок короткого замыкания (I_s) несколько увеличивается, а напряжение холостого хода (U_x), максимальная мощность на оптимальной нагрузке (P_m), коэффициент заполнения

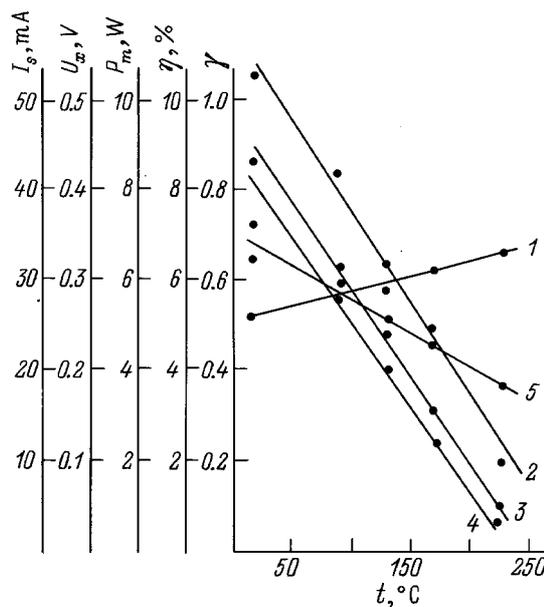


Рис. 1. Температурные зависимости основных параметров кремниевых солнечных элементов в области высоких температур: 1 — I_s , 2 — U_x , 3 — P_m , 4 — η , и 5 — γ . ($W = 0.1 \text{ Вт/см}^2$).

вольт-амперной характеристики (γ) и КПД (η) уменьшается (рис. 1). Характер этих зависимостей качественно согласуется с результатами [1,2]. Рост фототока при повышении температуры объясняется изменением поглощения света. При повышении температуры элемента происходит смещение края поглощения, связанное с сужением ширины запрещенной зоны кристалла, и увеличивается число пар, генерируемых в объеме. С другой стороны, с повышением температуры изменяется коэффициент поглощения света. В результате фототок увеличивается с повышением температуры. В наших образцах температурный коэффициент фототока составлял $40 \text{ мкА}/^\circ\text{С}$. Уменьшение напряжения холостого хода при повышении температуры связано с изменением собственной концентрации носителей заряда и ширины запрещенной зоны кристалла. В общем случае напряжение холостого хода определяется соотношением $U_x \sim \ln \frac{I_s}{I_0}$, согласно которому U_x должно повышаться при увеличении I_s . Но резкое повышение темнового тока (I_0), протекающего через $p-n$ -переход, приводит к уменьшению U_x . При вариации температуры экспоненциально изменяется собственная концентрация (n_i), что приводит к росту $I_0/I_0 \sim n_i$. Кроме того, сужение ширины запрещенной зоны при повышении температуры вызывает увеличение темнового тока и тем самым сводит к минимуму положительный эффект увеличения коэффициента поглощения света в длинноволновой области спектра. В результате этого с повышением температуры U_x понижается и $\Delta U_x/\Delta T = -2.3 \text{ мВ}/^\circ\text{С}$. При повышении температуры коэффициент заполнения вольт-амперной характеристики падает, что объясняется возрастанием темнового тока. Основной причиной уменьшения выходной мощности и падения КПД при повышении температуры является снижение фотонапряжения и коэффициента заполнения вольт-амперной харак-

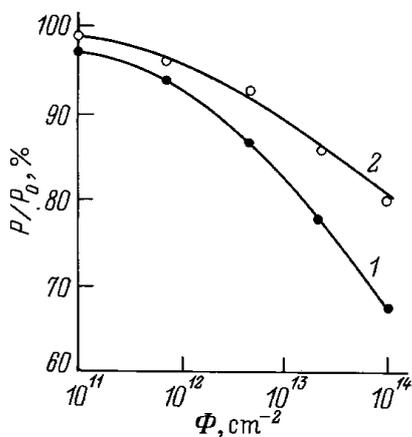


Рис. 2. Дозовая зависимость мощности в кремниевых солнечных элементах, облученных при различных режимах: 1 — в темноте, $t = 25^\circ\text{С}$, 2 — при освещении ($W = 1 \text{ Вт}/\text{см}^2$, $t = 80^\circ\text{С}$).

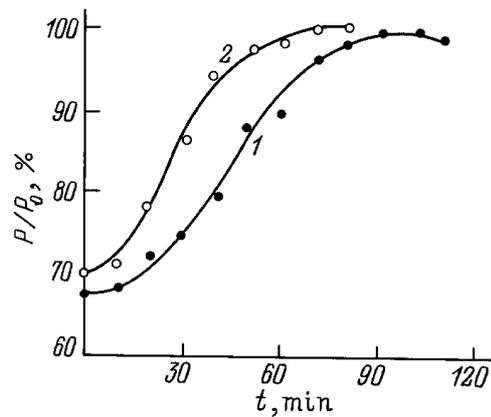


Рис. 3. Изменение мощности при изотермическом отжиге облученных кремниевых солнечных элементов: 1 — в темноте, $t = 150^\circ\text{С}$, 2 — при освещении ($W = 1.7 \text{ Вт}/\text{см}^2$, $t = 150^\circ\text{С}$).

теристики. В наших образцах $\Delta P/\Delta T = -0.4 \text{ мВт}/^\circ\text{С}$ и $\Delta\eta/\Delta T = -0.4\%/^\circ\text{С}$.

Изучалось влияние высокой освещенности и температуры на скорости деградации и восстановления мощности элементов. Облучение образцов производилось ускоренными электронами с энергией 5 МэВ в двух режимах: при комнатной температуре в темноте и под концентрированным светом с мощностью 1 Вт. При этом образец нагревался до температуры 80°С . Результаты измерений показали, что во всем диапазоне изменения плотности интегральных потоков электронов в освещенных и нагретых образцах степень деградации мощности значительно меньше, чем в образцах, облученных при комнатной температуре в темноте (рис. 2), что наблюдалось в фотопреобразователях на основе гетероструктур GaAs-GaAlAs, облученных электронами и протонами [3].

Для определения влияния освещенности на скорость восстановления мощности облученных образцов при отжиге был проведен изотермический нагрев в темноте и при фокусированном солнечном свете. Образцы были облучены в темноте одинаковой дозой (10^{14} см^{-2}). В обоих случаях температура поддерживалась на уровне 150°С . Было установлено, что при изотермическом отжиге в условиях освещения восстановление мощности происходит гораздо быстрее (рис. 3), что свидетельствует о влиянии света на процесс отжига радиационных дефектов. Действие освещения на процессы деградации и восстановления параметров солнечных элементов объясняется инжекционным отжигом [4]. Таким образом, использование концентрированного солнечного света в фотоэнергетических установках позволяет улучшить энергетические показатели солнечных батарей не только за счет увеличения удельной мощности, но и за счет уменьшения темпа радиационной деградации параметров.

Список литературы

- [1] С.Н. Борисов, С.М. Городецкий, Г.М. Григорьева, К.Н. Звягина, А.М. Касымахунова. Гелиотехника, № 4, 3 (1983).
- [2] А. Ференбрух, Р. Бьюб. *Солнечные элементы. Теория и эксперименты*. Пер. с англ. под ред. М.М. Колгуна (М., Энергоиздат, 1987).
- [3] Г.М. Григорьева, В.А. Грилихес, К.Н. Звягина, М.Б. Каган, Т.Л. Любашевская, О.И. Честа. Гелиотехника, № 1, 8 (1989).
- [4] D.V. Lang, L.C. Kimerling. Phys. Rev. Lett., **33**, 489 (1979).

Редактор В.В. Чалдышев

Photoelectric and radiation characteristics of silicon solar elements under elevated illuminations and temperatures

M.Ya. Bakirov

Sector of Radiation Research,
Azerbaijani Academy of Sciences,
370073 Baku, Azerbaijan

Abstract It was found experimentally that the concentrated solar radiation increases the power of element and decreases the rate of radiation degradation of parameters. In elements that were not cooled, the temperature increased above 100°C and the efficiency decreased.