

УДК 621.383

Ж.М. СУПРУН

Si-ФОТОСТРУКТУРЫ КАК МОБИЛЬНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЙ ИСТОЧНИК ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ

Актуальность исследования.

Общепризнанно [1] - [5], что основным фактором развития цивилизации является использование источников энергии. В основном мы используем традиционные энергоресурсы, такие как - нефть, уголь, природный газ. Однако, в последнее время [6] большое внимание уделяется так называемым возобновляемым источникам энергии, таким как энергия ветра, солнца, прилива и т.д. Всплеск интереса к фотоэнергетике во всем мире в последние годы и активная государственная поддержка ее развития во многих странах дают основание считать, что солнечная энергетика - реальный конкурент традиционным источникам электроэнергии в самом недалеком будущем. С одной стороны, научно-технический прогресс обусловил снижение стоимости оборудования фотоэлектрических систем до уровня их экономической жизнеспособности. С другой, активные действия мировой общественности в защиту окружающей среды делают солнечную энергетiku, обладающую целым набором "дружелюбных" по отношению к потребителю и окружающей среде качеств, весьма привлекательным источником электроэнергии. Приведенные выше соображения являются достаточно веским аргументом: проблему преобразования солнечной энергии необходимо решать сегодня, чтобы использовать эту энергию завтра.

Главным направлением работ в области преобразования солнечной энергии в настоящее время является фотоэлектрическое преобразование(ФЭП) солнечной энергии. Если в использовании солнечной энергии в промышленных масштабах еще много проблем, то в повседневный быт многих миллионов людей гелиосистемы вошли прочно и навсегда. Использование солнечных батарей в качестве источника электропитания малоэнергоёмких приборов: калькуляторов, часов – наиболее распространенное направление фотоэнергетики. Фотоэлектрические станции (ФЭС) могут быть осуществлены заряд аккумуляторных батарей, что обеспечивает стабильное энергосбережение потребителей в любое время суток и вне зависимости от погодного изменения интенсивности солнечного излучения. Создание мобильных солнечных переносных батарей определило создание мобильных солнечных станций. Все переносные приборы, устройства и установки, питание которых осуществляется от аккумуляторов различного типа и различной емкости, приобретают новые потребительские качества – вместо использования стационарных зарядных устройств или комплектов сменных аккумуляторов появляется возможность использования мобильных зарядных устройств в так называемых полевых условиях. Сегодня затруднительно даже обозначить все сферы использования мобильных ФЭС – они могут использоваться как зарядное устройство портативных переносных компьютеров типа "ноутбук", переносной радио- и телевизионной аппаратуры, переносных системах освещения и даже подзарядки аккумуляторов транспортных средств.

Применяя солнечные элементы (СЭ) на космических аппаратах предъявляются ряд требований, связанных с общим весом и объемом системы, точностью позиционирования батареи относительно положения Солнца, временем жизни и скоростью деградации батарей. Актуальным также является решение проблемы достижения высокой эффективности и низкой стоимости СЭ. Снижение стоимости исходного кремния, разработка высокопроизводительных методов изготовления пластин из слитков и прогрессивных технологий изготовления солнечных элементов позволили в несколько раз снизить стоимость наземных солнечных батарей на их основе. Основными направлениями работ по дальнейшему снижению стоимости "солнечной" электроэнергии являются: получение элементов на ос-

нове дешевого, в том числе ленточного, поликристаллического кремния; разработка дешевых тонкопленочных элементов на основе аморфного кремния и других полупроводниковых материалов; осуществление преобразования концентрированного солнечного излучения с помощью высокоэффективных элементов на основе кремния и относительно нового полупроводникового материала алюминий-галлий-мышьяк. Эти требования инициировали разработки многопереходных батарей на основе InGaP/GaAs (КПД 22%), InGaP/GaAs/Ge (КПД 24%), InGaAlP/GaAs/InGaAsN/Ge с теоретической эффективностью преобразования до 42% [1]. Очевидно, что рост эффективности преобразования ведет к снижению габаритов солнечных батарей, а следовательно, и общего веса космического аппарата (рис. 1). В результате стоимость космических аппаратов снижается (табл. 1).

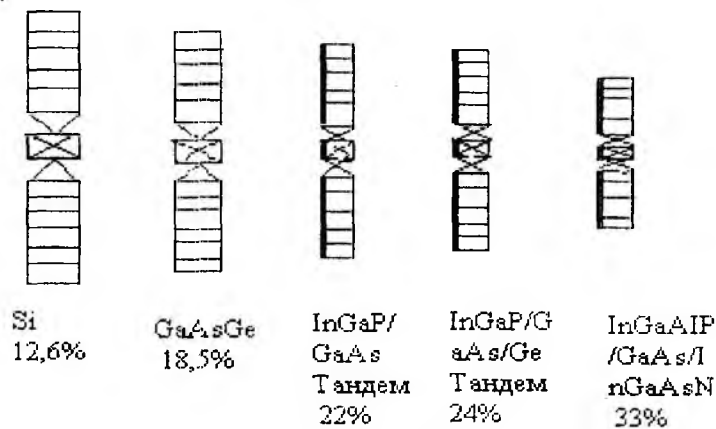


Рис. 1 Панелей солнечных батарей для космических аппаратов и их КПД

Таблица 1

Параметры	GaInP/GaAs/Ge	GaAs/Ge	Si
Удельная мощность, Вт/кг	22	19	14
Требуемая мощность, Вт	10000	10000	10000
Расчетная масса солнечной батареи, кг	455	526	714
Экономия средств запуска по сравнению с батареями на кристаллическом Si, долл.	5126128	3720896	0

Из сказанного выше следует вывод о перспективности фотоэлектрической солнечной энергетики. Растущий интерес к изделиям фотовольтаики для космонавтики, телекоммуникаций и портативных источников питания является ключевым фактором развития отрасли в целом. Основные усилия исследователей сосредоточены на повышении стабилизированной эффективности фотоэлектрического преобразования, снижении стоимости материалов и производства, повышении надежности приборов, внедрении новых тонкопленочных технологий вместе с развитием моно- и поликристаллических технологий, пока доминирующих на рынке. Продолжаются разработки по стандартизации качества и производительности изделий фотовольтаики, включая стандарты ISO9001 и ISO14001.

Цель исследования.

Работа посвящена проектированию и анализу основных достижимых параметров СЭ на основе Si-фотопреобразовательных структур: выходной мощности P_{max} , фототока I_f , и эксплуатационных параметров: напряжения холостого хода $U_{х.х.}$, ток короткого замыкания $I_{к.з.}$, КПД для максимальной мощности η , коэффициент заполнения вольтамперной харак-

теристики (ВАХ) FF на основе моделирования с применением современного компьютерного пакета Mathematica.

Новизна исследования. Новизна работы заключается в исследовании и оценке Si-фотоструктур с помощью моделирования их диодных параметров с целью достижения наибольшего КПД. Рассмотрен процесс работы СЭ учитывая их температурный режим.

Практические результаты. Качество Si-фотопреобразователей характеризуется удельной выходной мощностью фотогальванического преобразования и КПД определяется в соответствии [2]-[4].

Коэффициент преобразования солнечных элементов определяется:

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{\text{И}}} = \frac{I_{\max} \cdot U_{\max}}{P_{\text{И}}}, \quad (1)$$

где P_{\max} - максимальная выходная мощность снимаемая с 1 м^2 согласно [5] равна:

$$P_{\text{м}} = I_{\max} \cdot U_{\max} = \text{FF} \cdot I_{\text{ф}} \cdot U_{\text{ХХ}}, \quad (2)$$

где I_{\max}, U_{\max} - значения тока и напряжения, при которых реализуется максимальная выходная мощность P_{\max} ;

$P_{\text{И}}$ - мощность падающего излучения;

$I_{\text{ф}}$ - фототок;

FF - коэффициент заполнения ВАХ;

$U_{\text{ХХ}}$ - напряжение холостого хода, которое имеет вид:

$$U_{\text{ХХ}} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{\text{ф}}}{I_{\text{Н}}} + 1\right) \approx \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{\text{ф}}}{I_{\text{Н}}}\right) \quad (3)$$

где k - постоянная Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;

T - температура;

q - заряд электрона, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл;

$I_{\text{Н}}$ - ток насыщения.

Следовательно, при заданном токе $I_{\text{ф}}$ напряжение холостого хода логарифмически во возрастает при уменьшении тока насыщения $I_{\text{Н}}$.

Коэффициент заполнения ВАХ FF показывает степень приближения ВАХ к прямоугольной и определяется из выражения:

$$\text{FF} = \frac{I_{\max} U_{\max}}{I_{\text{ф}} U_{\text{ХХ}}} \quad (4)$$

Для преобразователей энергии светового потока в электрическую высокий КПД зависит от крутизны прямой ветви ВАХ которая описывается выражением:

$$I = I_{\text{Н}} \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right] - I_{\text{ф}} \quad (5)$$

Моделирование проводилось с учетом реальных условий работы при 25°C в условиях энергетической светимости фронтальной поверхности $P_{\text{И}} = 1360 \text{ Вт/м}^2$ (что соответствует одной солнечной постоянной в режиме облучения АМ0). Проводимое исследование нагрузочных световых ВАХ Si-фотоэлектрических преобразователей, выполнялось для режима импульсного облучения с помощью измерительной установки, с учетом материалов, предложенных в работе [5].

Результаты моделирования световых ВАХ СЭ представлены на рис.2.

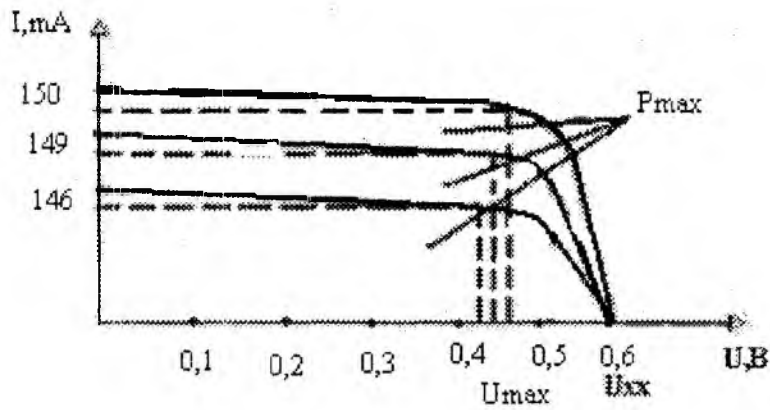


Рис.2. Световая ВАХ солнечного элемента.

Из представленных данных можно видеть, что исследуемые ФЭП на основе кристаллов кремния с площадью фронтальной поверхности $3,6\text{ м}^2$ в условиях АМ0 характеризуются напряжением холостого хода $U_{\text{хх}}=0,602\text{--}0,611\text{ В}$, удельной выходной электрической мощностью $P_{\text{max}}=178\text{--}183\text{ Вт/м}^2$, током насыщения $I_n = 143\text{--}149\text{ мА}$, фототоком $I_\phi = 150\text{ мА}$ и эффективностью преобразования $\eta=13\%$.

Вводя в модель элементы нагрузки, можно построить график зависимости выходной мощности от напряжения, изображенный на рис.3.

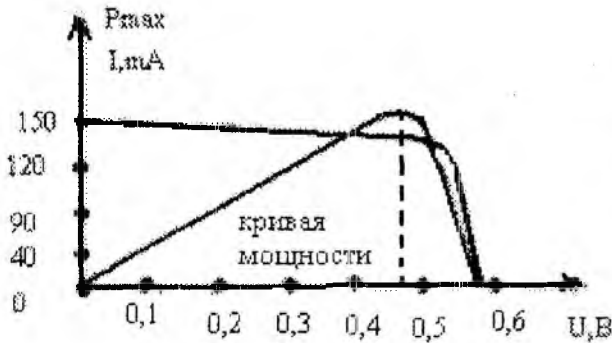


Рис.3 Зависимость величины мощности от величины напряжения

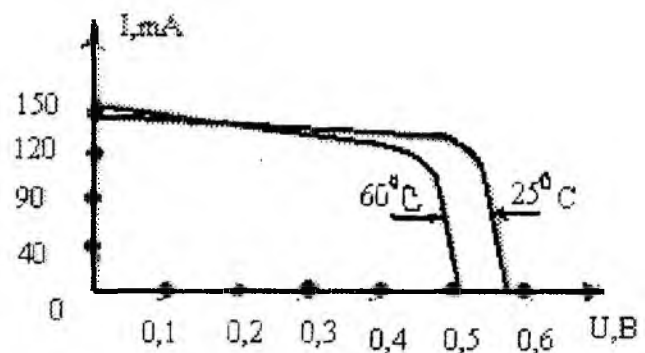


Рис.4 Семейство кривых ВАХ для различных температур

Пиковая мощность соответствует напряжению около $0,47\text{ В}$. Таким образом, чтобы правильно оценить качество солнечного элемента, а также ради сравнения элементов между собой в одинаковых условиях, необходимо нагрузить его так, чтобы выходное напряжение равнялось $0,47\text{ В}$.

Важным моментом работы солнечных элементов является их температурный режим. При нагреве элемента на один градус свыше 25°С он теряет в напряжении $0,002\text{ В}$, т.е. $0,4\%/градус$. На рис.4 приведено семейство кривых ВАХ для температур 25°С и 60°С .

В яркий солнечный день элементы нагреваются до $60\text{--}70^\circ\text{С}$ теряя $0,07\text{--}0,09\text{ В}$ каждый. Это и является основной причиной снижения КПД солнечных элементов, приводя к падению напряжения, генерируемого элементом.

Выводы. Как было показано выше, моделирование и обработка ВАХ – наиболее информативные методы для определения достижимых электрических параметров кремниевых ФЭП. Были исследованы и проанализированы диодные параметры Si- фотопреобразовательных структур, достигнут КПД=13%. При измерениях и оценке СЭ необходимо

учитывать их температурный режим, т.к. он оказывает влияние на коэффициент преобразования энергии. Сравнительная оценка экспериментальных и расчетных значений параметров ФЭП подтверждает справедливость предложенных математических моделей.

Список литературы: 1. *Kroll W.J., Thompson A.G., Armour E., Stal R.A., Brennan T., Hou H.* MOCVD Technology for Advanced Space Solar Cell Production. Proc. of the 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion. 2. *Васильев А.М., Ландсман А.П.* Полупроводниковые фотопреобразователи. М. Изд-во "Советское радио", 1971, 248с. 3. *Фаренбух А., Бьюб Р.* Солнечные элементы: Теория и эксперимент. /Пер. с англ. Под ред. ММ. Колтуна. М.: Энергоатомиздат, 1987. 280с., ил. 4. *Колтун М.М.* Солнечные элементы. М.: Наука, 1987. 192с., ил. 5. *Антонова В.А., Листратенко А.М., Слипченко Н.И.* Высокоэффективные солнечные элементы на основе жидкорастворной технологии //Радиотехника. 2000. Вып. 115. С.90-94.

Поступила в редколлегию 10.09.03