

УДК 621.383.51

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА НА ОСНОВЕ CuInSe_2

Есман А.К., Зыков Г.Л., Потачиц В.А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

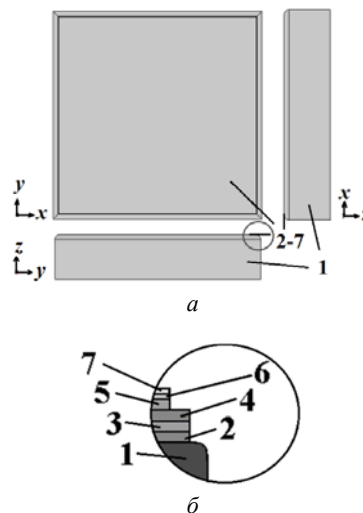
По количеству световой энергии, поступающей на поверхность, Беларусь находится на одном уровне с Германией, Японией, Канадой, где солнечная энергетика развивается очень активно. В настоящее время более 90 % всей потребляемой человеком энергии приходится на долю органического топлива. Понятно, что рано или поздно этот ресурс окончится. Следовательно, использование возобновляемых источников энергии не теряет своей актуальности [1].

Практически безграничными ресурсами обладает солнечная энергия. Несмотря на высокие достижения солнечных батарей на кристаллических модулях, по мнению специалистов, занимающихся в этой области, будущее все-таки за тонкопленочной технологией. Главное достоинство, способное обеспечить ей лидирующие позиции, это более низкая себестоимость [2].

Целью данной работы является поиск новых путей, позволяющих повысить КПД тонкопленочных полупроводниковых солнечных элементов на основе CuInSe_2 .

Предлагаемый нами солнечный элемент на основе CuInSe_2 [3] содержит два электродных слоя 2 и 4, разделенных термоэлектрическим слоем на основе CuInSe_2 3, фотоэлектрический преобразователь, состоящий из слоев CuInSe_2 5 и CdS 6, а также прозрачный электрод 7, электрически соединенные и последовательно расположенные на полированной лицевой поверхности подложки 1, изготовленной из нержавеющей стали. Прозрачный электрод 7, выполненный из ZnO , пропускает входное солнечное излучение, видимая часть которого поглощается в слоях 5, 6 фотоэлектрического преобразователя, генерирующего электрические заряды, а инфракрасная часть – нагревает его. Одна часть зарядов, сгенерированных в слое 5, разделяется электрическим полем $p-n$ перехода фотоэлектрического преобразователя, создавая между прозрачным электродом 7 и вторым электродным слоем 4 фото-ЭДС. В то время как оставшаяся часть фотогенерированных зарядов рекомбинирует и тем самым способствует нагреванию фотоэлектрического преобразователя. Поэтому, между первым 2 и вторым 4 электродными слоями образуется градиент температур, вызывающий появление термо-ЭДС между верхней и нижней сторонами термоэлектрического слоя 3. В результате этого между первым электродным слоем 2, электрически соединенным с нижней стороной термоэлектрического слоя 3, и прозрачным электродом 7 возникает выходное напряжение солнечного элемента, состоящее из фото- и термо-ЭДС. Так как эффек-

тивность работы солнечного элемента зависит от температуры, то необходимо стабилизировать температуру фотоэлектрического преобразователя, поддерживая его коэффициент полезного действия на постоянном уровне.



1 – подложка, 2 – первый электродный слой, 3 – термоэлектрический слой, 4 – второй электродный слой, 5, 6 – фотоэлектрический преобразователь, 7 – прозрачный электрод

Рисунок 1 – Структура солнечного элемента на основе CuInSe_2 в плоскостях xy , xz , yz и увеличенный его фрагмент в плоскости yz

Моделирование проводилось с помощью программной платформы COMSOL Multiphysics, используемой для решения большинства научных и инженерных задач, основанных на системе дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных элементов. Для количественной оценки повышения вырабатываемой электроэнергии предложенным тонкопленочным солнечным элементом на основе CuInSe_2 использовался модуль «Heat Transfer Module» данной программной среды. Этот модуль является специализированным инструментом для моделирования тепловых процессов в элементах электронной техники и энергетике, включая солнечные элементы, работающие в реальных условиях эксплуатации.

Тонкопленочный солнечный элемент в процессе моделирования разбивался на конечные элементы в форме тетраэдров. При расчете плотность сетки для каждого слоя солнечного элемента настраивалась с учетом его геометрической конфигурации.

В разработанной численной трехмерной модели тонкопленочного солнечного элемента рассматривались различные условия его эксплуатации: при наличии и отсутствии теплоизоляции

ции торцов подложки, а так же при наличии и отсутствии стабилизации температуры тыльной стороны подложки. Расчеты выполнялись для географических координат г. Минска с учетом суточного и сезонного изменения, как температуры окружающей среды, так и мощности солнечного излучения спектра AM1,5, максимальное значение которой составляло 500 кВт/м^2 [4] при использовании концентраторов [5].

При моделировании использовались данные о средних минимальной и максимальной месячной температуре воздуха в г. Минске с сайта <http://belmeteo.net>. Температура подложки задавалась как с учетом изменения температуры окружающей среды, так и со стабилизацией на уровнях $+1 \text{ }^\circ\text{C}$ и $+10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Как показали расчеты, в условиях суточного и сезонного изменения температуры и плотности мощности солнечного излучения происходит неравномерный нагрев как поверхности тонкопленочного солнечного элемента, так и его слоев. В указанных выше условиях поверхность предложенного тонкопленочного солнечного элемента на основе CuInSe_2 без охлаждения и при отсутствии теплоизоляции торцов подложки может нагреваться до $700 \text{ }^\circ\text{C}$, что приводит к необратимым повреждениям. Теплоизолировав торцы подложки и стабилизировав температуру тыльной стороны подложки на уровне $10 \text{ }^\circ\text{C}$, температура поверхности тонкопленочного солнечного элемента CuInSe_2 не превысила значений порядка $14,2 \text{ }^\circ\text{C}$. Градиент температуры достигает своего максимального значения $\sim 17 \times 10^4 \text{ К/м}$ (в июне-июле) на данной границе раздела сначала с юго-восточной стороны около 12 часов 30 минут, а затем – с юго-западной стороны спустя 1,5 часа. С северо-востока и северо-запада градиенты температуры на данной границе раздела равны и составляют соответственно $\sim 15 \times 10^4 \text{ К/м}$. Как показали расчеты градиент температуры термоэлектрического слоя в течение года изменяется в пределах от $\sim 17 \times 10^4 \text{ К/м}$ (в июне-июле) до $\sim 5 \times 10^4 \text{ К/м}$ (в декабре). При этом амплитуда выходного напряжения, генерируемого термоэлектрическим слоем тонкопленочного солнечного элемента CuInSe_2 изменяется в пределах от 2,1 мВ (в декабре) до 5,23 мВ (в июне и июле) (рисунок 2).

УДК 620-6

УСТРОЙСТВО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ СЖАТИЯ СЛЕПОЧНОГО МАТЕРИАЛА, ПРИМЕНЯЕМОГО В СТОМАТОЛОГИИ

Киселев М.Г., Монич С.Г., Лобан Ю.А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Многие материалы, используемые в стоматологии, поставляются как два или более компонентов, которые смешиваются вместе и подвергаются химической реакции, и от этого некото-

Таким образом, выбором рабочей точки на вольт-амперной характеристике предложенного солнечного элемента, за счет использования термоэлектрического слоя, можно получить увеличение его выходной мощности до 5 %. Более того, при стабилизации температуры подложки и наличии концентратора солнечного излучения можно достичь еще более существенного увеличения выходной мощности рассматриваемого солнечного элемента. Следует отметить, что инерционность остывания тонкопленочного солнечного элемента в определенной мере стабилизирует выходное напряжение при переменной облачности.

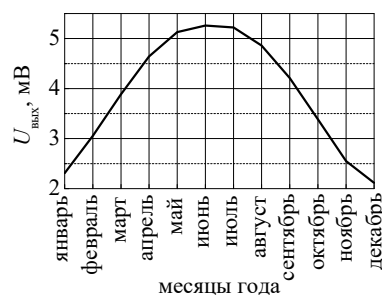


Рисунок 2 – Амплитуда выходного напряжения, генерируемого термоэлектрическим слоем солнечного элемента на основе CuInSe_2 в течение года

Литература

1. Khanna, S. Optimization of solar photovoltaic system integrated with phase change material / S. Khanna, K.S. Reddy, T.K. Mallick // Solar Energy. – 2018. – Vol. 163. – P. 591–599.
2. Single-graded CIGS with narrow bandgap for tandem solar cells / T. Feurer [et al.] // Science and Technology of Advanced Materials. – 2018. – Vol. 19, no. 1. – P. 263–270.
3. Пат. РБ № 20481 / А.К. Есман [и др.] // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці, 2016. – № 5. – С. 120.
4. Алферов, Ж.И. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики / Ж.И. Алферов, В.М. Андреев, В.Д. Румянцев // Физика и техника полупроводников, 2004. – Т. 38, вып. 8. – С. 937–948.
5. A review of solar photovoltaic concentrators / M. Khamooshi [et al.] // International Journal of Photoenergy. – 2014. – V. 2014. – P. 958521-1–17.

рые механические и физические свойства могут резко меняться. Например, многие слепочные материалы, которые начинают смешивать. В таком случае материал может представлять собой