

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ CIS/CIGS

Гиясова Ф.А.¹, Каршиева Н.Х.², Пулатова Д.²

1. НПО «Физика-Солнце» Физико-технический институт АН РУз, e-mail: feruzagfa@mail.ru.

2. Ташкентский государственный технический университет e-mail: feruzagfa@mail.ru.

За последние тридцать лет прирост производства солнечных элементов (СЭ) в мире составил в среднем примерно 25 % в год, при этом стоимость фотоэлектричества в период с 1990 по 2002 гг. снизилась в 15 раз, а объем реализации увеличился более чем в 10 раз с 48 МВт/год до 540 МВт/год [1,2]. В 2012г. в мире было введено в действие фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) разных типов общей мощностью около 35 ГВт. Распределение установленных в 2010г. ФЭП по технологиям приведено на рисунке 1а. (производство ФЭП, накапливаемых на складах, существенно выше, в отрасли наблюдается кризис перепроизводства). К 2020г. ожидается значительный рост установленных ФЭП всех типов (рисунок 1б) [3].

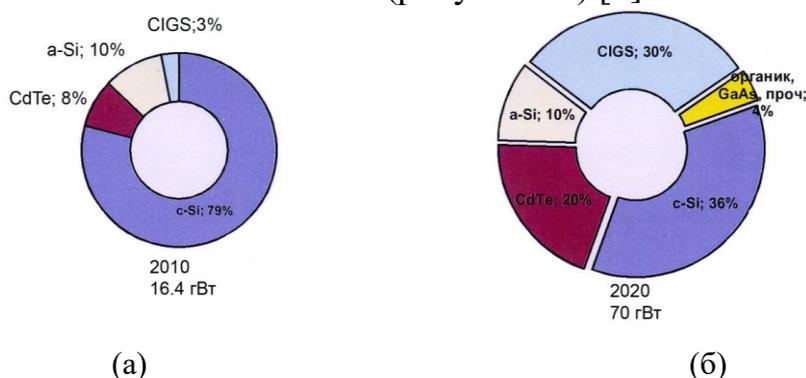


Рис.1. Структура солнечного рынка в 2010 г. (а) и прогноз на 2020г. (б)

При этом особый интерес вызывают тонкопленочные солнечные элементы (ТСЭ) на основе полупроводниковых материалов $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$ (CIGS). Это связано с шириной запрещенной зоны, равной 1,04 – 1,68 эВ, что соответствует максимуму солнечного излучения (1,3–1,45эВ), высоким коэффициентом поглощения ($\alpha > 5 \cdot 10^{-4} \text{см}^{-1}$) в спектральной области, расположенной дальше края поглощения, а также высокой радиационной стойкостью [4-6].

При этом эффективность СЭ на основе данных соединений достигает порядка 20%. Высокая способность к поглощению солнечного излучения у пленок CuInSe_2 (CIS) позволяет создавать фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) (рисунок 2) с КПД до 11 - 13 %. В 2012г. компания Solar Frontier совместно с исследовательской компанией NEDO,

сообщили о достижении КПД 19,7 % для CIS ФЭП. Добавка галлия – Cu(In,Ga)Se_2 (такой материал называют CIGS) увеличивает ширину запрещенной зоны, что приводит к росту напряжения холостого хода и, следовательно, повышению КПД. Это повысило эффективность лучших образцов данных ФЭП до уровня Si-ФЭП. В 2012г. компания Manz AG (Германия) сообщила о достигнутых исследовательскими компаниями Baden-Württemberg Center for Solar Energy и Hydrogen Research (ZSW) КПД 20.3 %, что является рекордом для лабораторных ФЭП на CIGS. Лидером в 2012г. по выпуску CIGS ФЭП является, по-видимому, MiaSole (принадлежит Naenergy) с КПД 15,5 %, достигнутым на гибкой CIGS-панели площадью 1.68 м².

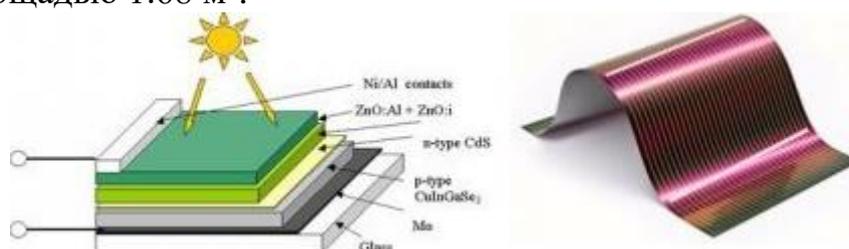


Рис.2. Структура и внешний вид солнечного элемента на основе CIGS

Рядом исследователей ожидался ежегодный прирост рынка ФЭП на основе CIGS более 40 % в год до 2015г., однако, это лимитируется существующей сырьевой базой, в первую очередь по индию [7]. В этой области по производству ФЭП на CIS/CIGS работают примерно 20 компаний (в основном немецкие и из США) [8]. Некоторые производители ФЭП на CIS/CIGS приведены в таблице 1.

Таблица 1

| Компания | Мощность (МВт _{пик}) |
|--------------------------------|--------------------------------|
| Solar Frontier, Япония | 577 |
| Nanosolar, США | 10 |
| MiaSole, США | 60 |
| Avancis, Франция | 25 |
| Global Solar Energy, США | 19 |
| Solibro | 95 |
| OrderSun, Германия | 30 |
| SoloPower, США | 20 |
| Sulfurcell Solartech, Германия | 14 |
| Wurth Solar, Германия | 30 |

Преимущества ФЭП на CIS/CIGS:

- высокий стабильный КПД (производственная эффективность модуля порядка 11-13%);
- технологии металлизации напылением/MOCVD хорошо зарекомендовали себя в мире полупроводников.

Недостатки:

- чрезвычайная трудность контроля и воспроизведения процессов (низкий выход). Необходимо тщательное проектирование полос и зазоров, которое трудно воспроизвести;

- высокотемпературный процесс осаждения. Четырехкомпонентные полупроводники: частично селенизированный композитный сплав вступает при температуре примерно в 500-550⁰С в реакцию в текучей атмосфере, содержащей H, S и Ar, в течение примерно 30 минут. В ходе реакции образуется тонкопленочный слой CIS толщиной порядка 1.5-2 мм;

- движение цен. Цена одного килограмма индия составляла в 2003 году порядка 100 долл., в 2005г. она возросла до 1000 долл/кг, в 2012г. -750 долл/кг, в 2016г. -700 долл/кг. Проблема стабильности цен на сырьевые материалы;

- селениды: должны приниматься во внимание аспекты охраны окружающей среды и стоимость вторичной переработки.

Таким образом, строгие технологические и экологические требования, а также не стабильность цен на металл ограничивают шансы ФЭП на CIS/CIGS выиграть конкурентную борьбу у других СЭ.

Использованная литература

1. Kaelin, M. Low cost processing of CIGS thin film solar cells / M. Kaelin [et al] // Solar Energy. 2004. Vol. 77. № 6. P. 749.

2. Moriarty P., Honnery D.//Chem. Rev. 2010. V.110. P.6443–6445; Int. J. Hydrogen Energy. 2009. V. 32. P. 1616.

3. V. Petrova-Koch, R. Hezel//High-Efficient Low-Cost Photovoltaics. Recent Develop-ments. A. Goetzberger (ed.). 2009. Springer 2.

4. Kazmerski, L.L. Photovoltaics: A review of cell and module technologies / L.L. Kazmerski // Renewable and sustainable energy reviews. 1997. Vol. 1. № 1, 2. P. 71.

5. Contreras, V.A. Progress toward 20% efficiency in Cu(In,Ga)Se2 polycrystalline thin film solar cells / V.A. Contreras [et al] // Progress in Photovoltaics: Research and Applications. 1999. Vol. 7. № 4. P. 311.

6. Herberholz, J.R. Prospects of wide-gap chalcopyrites for thin film photovoltaic modules / J.R. Herberholz [et al] // Solar Energy Materials and Solar Cells. 1997. Vol. 49. № 1-4. P. 227.].

7. “Solar PV markets and Industry Today and Tomorrow, Global Vision”//EuDP Research, 2011// <http://eupd-research.com/.reports>

8. Thin Film 2012-2016: Technologies, Markets, and Strategies for Survival//Отчет <http://www.greentechmedia.com/>)