

Шевченко А.А.<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, Болодон В.Н.<sup>1</sup>, к.б.н., доцент, Павловский В.Н.<sup>2</sup>, к.ф.-м.н., Ломоносов В.А.<sup>3</sup>, к.х.н., Кашаед Е.А.<sup>4</sup>  
<sup>1</sup> УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь <sup>2</sup> ГНУ Институт физики им. Б.И. Степанова, <sup>3</sup> Белорусский государственный университет, <sup>4</sup> Институт порошковой металлургии, г. Минск

### **Рециклинг распыляемых мишеней CIGS(CuInGaSe<sub>2</sub>) для тонкопленочных фотопреобразователей: структура и фотолюминесцентные свойства**

**Ключевые слова:** фотопреобразователи, Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub>(CIGS), микро-структура, спектры фотолюминесценции

**Аннотация.** Исследованы микроструктура и фотолюминесцентные свойства распыляемых мишеней Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub>(CIGS) для тонкопленочных фотопреобразователей, полученных рециклингом. Показана перспективность указанной технологии.

Внимание исследователей многих стран давно привлечено к разработке преобразователей солнечной энергии, практическое применение которой не связано с загрязнением окружающей среды и, как следствие, изменением теплового баланса планеты. Возрастающий интерес к фотоэнергетике обусловлен реальной возможностью создания стабильных в эксплуатации, дешевых и высокоэффективных тонкопленочных солнечных модулей [1-3].

В настоящее время максимальные значения коэффициента фотоэлектрического преобразования достигаются в многослойных тонкопленочных фотопреобразователях на основе GaInP/GaAs(30,3%) и тонкопленочном GaAs/CIS (25,8%). Из однослойных фотопреобразователей, более простых в изготовлении, оптимальным КПД отличаются фотопреобразователи на основе CIGS. Коэффициент поглощения света этих полупроводников в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах составляет  $3 \cdot 10^5$  -  $6 \cdot 10^5$  см<sup>-1</sup> (наиболее высокое значение из всех известных полупроводников). В настоящее время солнечные элементы (СЭ) на основе CIGS поглощающего слоя имеют к.п.д. свыше 20 % для площади (0.5 см<sup>2</sup>) и 11,5 % для модулей большой площади (30x30 см<sup>2</sup>).

Ключевой проблемой создания СЭ на основе CIGS полупровод-

ников является разработка технологии получения поглощающего слоя с воспроизводимыми физическими характеристиками. Промышленные вакуумные технологии не обеспечивают получения слоя сложного соединения  $\text{Cu-III-VI}_2$  с требуемыми физическими характеристиками в едином технологическом цикле, что обусловлено существенными различиями давления паров халькогена и металлических компонент. Эта проблема может быть решена посредством использования распыляемой мишени с необходимыми характеристиками.

В связи с этим целью данной работы является разработка технологии получения мишеней для тонкопленочных фотопреобразователей путем рециклинга и исследование их микроструктуры и фотолюминесцентных свойств. Порошок CIGS был получен из отработанных мишеней данного состава, изготовленных методом направленной кристаллизации. Проведенный элементный анализ показал отсутствие загрязняющих примесей в измельченном порошке. Усредненный состав порошка по данным микрорентгеноспектрального анализа: ( $\text{Cu} \sim 22 \text{ мас. \%}$ ,  $\text{In} \sim 21,5 \text{ мас. \%}$ ,  $\text{Ga} \sim 5 \text{ мас. \%}$ ,  $\text{Se} \sim 26 \text{ мас. \%}$ , остальное –  $\text{O}_2$ ) соответствовал составу исходной отработанной мишени CIGS. После формования полученных порошков проводили обработку экспериментальных образцов в печи сопротивления в среде аргона в течение 1 ч в интервале температур  $300\text{--}600^\circ\text{C}$ . Влияние температуры отжига на микроструктуру и фотолюминесценцию образцов представлено на рисунках 1 и 2. Возбуждение фотолюминесценции осуществляли излучением HeNe лазера мощностью 25 мВт, сфокусированным в пятно на образце диаметром 0.5мм. Обнаружена явная тенденция коротковолнового сдвига спектра фотолюминесценции при увеличении температуры отжига.

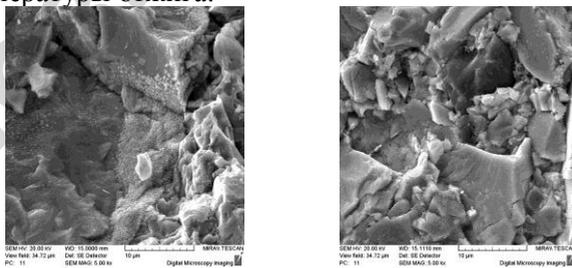


Рис.1- Излом экспериментальных образцов CIGS, полученных рециклингом после отжига при  $T=300^\circ\text{C}$  и  $600^\circ\text{C}$  в аргоне.

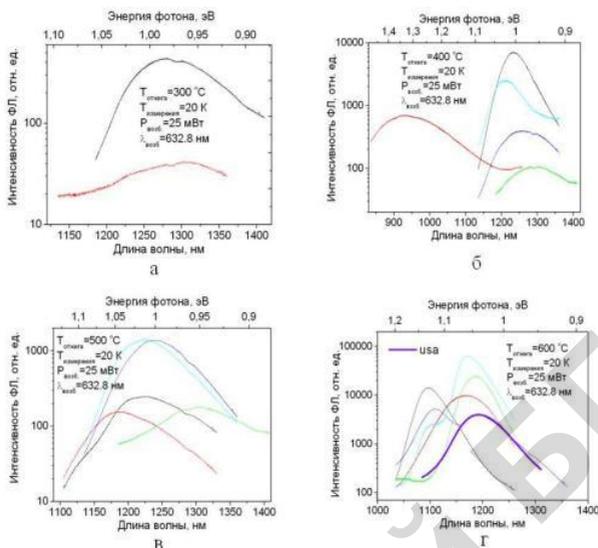


Рис.2- Спектры фотолюминесценции отожженных в аргоне при различных температурах экспериментальных образцов CIGS: а) 300 °С; б) 400 °С; в) 500 °С; г) 600 °С

Максимальная интенсивность фотолюминесценции наблюдалась у образца, отожженного при 600°С. Она сравнима и даже больше, чем у эталонного слоя CIGS на стекле, полученного в США.

Проведенные эксперименты показывают перспективность технологии рециклинга для получения распыляемых мишеней при изготовлении тонкопленочных фотопреобразователей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Попель, О.С. Автономные энергоустановки на возобновляемых источниках энергии [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.abok.ru>
2. Сайт о солнечной энергии [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.solar-energy-x.pp.ua>
3. Ляшков, В.И. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии В.И. Ляшков, С.Н. Кузьмин // Учебное пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2013. – 96 с.- Библиогр.: с. 95-96.