

$\text{Cu}_2\text{CdSiSe}_4$  ( $a = 7.983 \text{ \AA}$ ,  $b = 6.848 \text{ \AA}$ ,  $c = 6.546 \text{ \AA}$ ) хорошо согласуются с литературными данными [3, 4].

Список использованных источников

- 1 Properties of  $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$  solar cells with new record efficiencies up to 21.7% / P. Jackson [et al.] // *Physica Status Solidi (RRL)*. – 2015. – V. 9. N 1. – P. 28-31.
- 2 Device Characteristics of CZTSSe Thin-Film Solar Cells with 12.6% Efficiency / W. Wang [et al.] // *Advanced Energy Materials*. – 2014. – V. 4. N 7. – P. 36-45.
- 3 Thermal analysis and synthesis from the melts of Cu-based quaternary compounds  $\text{Cu-III-IV-VI}_4$  and  $\text{Cu}_2\text{-II-IV-VI}_4$  (II=Zn, Cd; III=Ga, In; IV=Ge, Sn; VI=Se) / H. Matsushita [et al.] // *Journal of Crystal Growth*. – 2000. — V. 208. N 1-4. — P. 416-422.
- 4 Zur Sytematik tetraedrischer Verbindungen vom Typ  $\text{Cu}_2\text{MeII MeIV Me}_4\text{VI}$  (Stannite und Wurtzstannite) / W. Schäfer, R. Nitsche // *Z. Kristal.* – 1977. – V. 145. – P. 356-370.

**Долгий В.К., к.ф.-м.н., доцент**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь*

**Мисевич А.В., канд. физ.-мат. наук, доцент;**

*Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»*

**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК  
БЕЗМЕТАЛЬНОГО ФТАЛОЦИАНИНА**

Огромное количество органических полупроводников является перспективным электронным материалом при разработке таких элементов органической электроники, как светоизлучающие диоды, солнечные батареи, полевые транзисторы и газовые сенсоры [1]. Фталоцианины – это класс органических полупроводников, особенностью которых является высокая термическая и химическая стойкость, способность к обратимой сорбции различных субстанций (газов, органических молекул). Для практических применений фталоцианины приготавливают преимущественно в виде тонких пленок, электрофизические свойства которых определяются примесями, сорбированными из окружающей среды, например молекулярным кислородом. Потому целью данной работы является установление механизма влияния адсорбированного кислорода на проводимость тонких плёнок безметалльного фталоцианина.

Плѐнки безметалльного фталоцианина толщиной 200 нм были получены методом термического распыления в вакууме порошкообразной мишени с последующим осаждением продуктов распыления на поликорковые подложки со встречно – штыревой системой электродов, находящиеся при комнатной температуре. При одних и тех же условиях была подготовлена серия состоящая из 10 образцов.

Температурная зависимость проводимости на воздухе и в вакууме  $10^{-2}$  Па измерялась электрометром В7Э-42 методом циклической термодесорбции [2], который заключается в уменьшении концентрации адсорбированного кислорода. Удельная проводимость  $\sigma$  фталоцианинов зависит от температуры  $T$  как

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{\varepsilon_a}{kT}\right),$$

где  $\sigma_0$  – предэкспоненциальный множитель,  $\varepsilon_a$  – энергия активации проводимости,  $k$  – постоянная Больцмана.

Измеренный набор температурных зависимостей при постепенном увеличении температуры плѐнок от  $40^0$  С до  $75^0$  С позволил определить набор значений предэкспоненциального множителя  $\sigma_0$  и энергии активации  $\varepsilon_a$  проводимости, для различных концентраций адсорбированного кислорода.

На рис. представлена связь предэкспоненциального множителя с энергией активации проводимости для одного образца серии измеренной на воздухе и в вакууме.

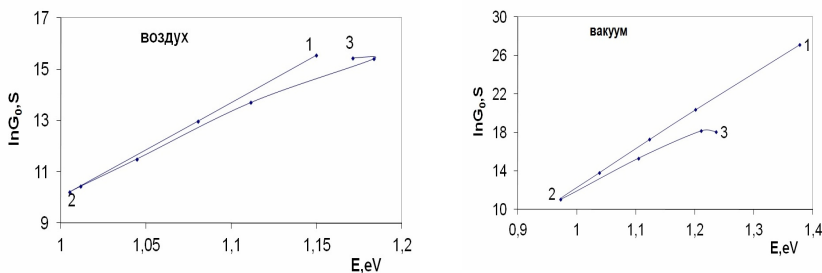


Рис. Связь предэкспоненциального множителя с энергией активации проводимости измеренной на воздухе и в вакууме.

На зависимости в воздухе можно выделить два участка: участок 1-2, на котором происходит одновременное уменьшение энергии активации проводимости и предэкспоненциального множителя, и участок 2-3 – одно-

временное увеличение предэкспоненциального множителя и энергии активации проводимости. При этом точка 1 соответствует минимальной температуре 40<sup>0</sup> С, а точка 3 соответствует температуре 75<sup>0</sup> С. Испарение образца при температуре 75<sup>0</sup> С не наблюдалось. На зависимости в вакууме также наблюдается наличие двух участков: участок 1-2 на котором с уменьшением энергии активации проводимости уменьшается предэкспоненциальный множитель, и участок 2-3, на котором происходит увеличение предэкспоненциального множителя с увеличением энергии активации проводимости. При этом точка 1 соответствует минимальной температуре 40<sup>0</sup> С, а точка 3 соответствует температуре 75<sup>0</sup> С.

Интерпретация полученных результатов может быть осуществлена на основе модели двухуровневого прыжкового электропереноса [2], в рамках которой проводимость исследуемых пленок рассматривается как сумма проводимостей по параллельным каналам, обусловленным собственной системой электронных энергетических уровней безметаллового фталоцианина и примесной системой уровней адсорбированного кислорода.

В соответствии с моделью двухуровневого прыжкового электропереноса проводимость осуществляется по двум параллельным каналам – собственным и примесным электронным состояниям с радиусами локализации соответственно  $a_1$  и  $a_2$ . В этом случае удельная проводимость

$$\sigma = (\sigma_0)_1 \exp\left(-\frac{\alpha}{a_1 n_1^{1/3}} - \frac{\varepsilon_{a1}}{kT}\right) + (\sigma_0)_2 \exp\left(-\frac{\alpha}{a_2 n_2^{1/3}} - \frac{\varepsilon_{a2}}{kT}\right),$$

где  $(\sigma_0)_1$  и  $(\sigma_0)_2$  множители, зависящие от радиуса локализации;  $\alpha = 1,73$  – перколяционная константа;  $n_1$  и  $n_2$  – концентрации центров локализации, соответствующие собственным и примесным состояниям;  $\varepsilon_{a1}$  и  $\varepsilon_{a2}$  – энергии активации собственной и примесной проводимости соответственно.

Таким образом, установлен механизм влияния адсорбированного кислорода на проводимость пленок безметаллового фталоцианина, который показывает, что электроперенос может происходить как по собственным центрам локализации материала, так и по примесным центрам локализации адсорбированного кислорода.

#### Список использованных источников

1. Photosensitive heterostructures made of sulfonamide zinc phthalocyanine and organic semiconductor / P. Lutsyk, Ya. Vertsimakha, S. Nespurek, I. Pomaz // *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. – 2011. – Т. 535. – С. 18–29.
2. Влияние адсорбированного кислорода на проводимость плёнок фталоцианина свинца / А.Е. Почтенный, А.В. Мисевич // *Письма в ЖТФ*. – 2002. – Т. 29, Вып. 1. – С. 56–61