

ряда задействованных в механизме двойного обмена. Можно предположить, что замена ионов Mn^{3+} на ионы Fe^{3+} полностью нарушила перенос носителей заряда в цепочке $Mn^{3+}-O^{2-}-Mn^{4+}$, поскольку ионы Fe^{3+} в механизме двойного обмена не участвуют.

Список литературы

- Schiffer P., Ramirez A.P., Bao W., Cheong S.-W. Phys. Rev. Lett. 75, 3336 (1995).
- Chahara K., Ohno T., Kasai M., Kozono Y. Appl. Phys. Lett. 63, 1990 (1993).
- Zener C. Phys. Rev. 82, 403 (1951).
- Goodenough J.B. Phys. Rev. 100, 564 (1955).
- Ramirez A.P., Phys. J.: Condens. Matter 9, 8171 (1997).
- Laiho R., Lahderanta E., Saiminen J., Lisunov K.G., Zakhvalinskii V.S. Phys. Rev. B 63, 094405 (2001).
- Laiho R., Lisunov K.G., Lahderanta E., Petrenko P., Salminen J., Stamov V.N., Zakhvalinskii V.S. J. Phys.: Condens. Matter 12, 5751 (2000).
- Chen C.H., Cheong S.-W. Phys. Rev. Lett. 76, 4042 (1996).
- Roy M., Mitchell J.F., Ramirez A.P., Schiffer P. J. Phys.: Condens. Matter 11, 4843 (1999).
- Moritomo Y. Phys. Rev. B 60, 10 374 (1999).
- Hennion M., Moussa F., Biotteau G., Rodriguez-Carvajal J., Pinsard L., Revcolleschi A. Phys. Rev. Lett. 81, 1957 (1998).
- Millis A.J., Littlewood P.B., Shraiman B.I. Phys. Rev. Lett. 74, 5144 (1995).
- Hwang H.Y., Cheong S.-W., Radaelli P.G., Marezio M., Batlogg B. Phys. Rev. Lett. 75, 914 (1995).
- Righi L., Gorria P., Insausti M., Gutierrez J., Barandiaran J.M. Appl. Phys. 81, 5767 (1997).
- Ahn K.H., Wu X.W., Liu K., Chien C.L. Phys. Rev. B 54, 15 299 (1996).
- Chen X., Wang Z., Li R., Shen B., Zhan W., Sun J., Chen J., Yan Ch. J. Appl. Phys. 87, 5594 (2000).
- Laiho R., Lisunov K.G., Lahderanta E., Salminen J., Shakhov M.A., Stamov V.N., Petrenko P.A., Zakhvalinskii V.S. J. Phys. Chem. Solids 64, 1573 (2003).
- Laiho R., Lisunov K.G., Lahderanta E., Petrenko P.A., Salminen J., Shakhov M.A., Safontchik M.O., Stamov V.N., Shubnikov M.L., Zakhvalinskii V.S. J. Phys.: Condens. Matter 14, 8043 (2002).

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ Cu_2SnS_3

Захвалинский В.С., Фам Тхи Тхао, Нгуен Тхи Тхам Хонг,
Хмара А.Н.

Белгородский государственный национальный
исследовательский университет, Белгород,
e-mail: thaopham.bel@gmail.com

В настоящее время, энергичной проблемой является глобальная проблема. Поэтому задача, которая стоит перед людьми, это поиск новых экологически

чистых источников энергий в качестве традиционных топлив. Среди наиболее перспективных источников экологически чистой энергии важное место занимают фотоэлектрические полупроводниковые преобразователи (ФЭПП) солнечной энергии. Достоинством этих устройств является безотходность технологии преобразования энергии и относительно простая конструкция, что позволяет использовать их в самых различных климатических условиях, включая работу на космических аппаратах. К недостаткам ФЭПП, следует отнести низкие значения коэффициента полезного действия и высокую стоимость получаемой энергии.

Выходом из сложившейся ситуации является применение новых полупроводниковых материалов в качестве поглощающего слоя. В ряде исследований [1, 2] было установлено, что Cu_2SnS_3 является хорошим кандидатом на использование в качестве p -полупроводникового поглощающего свет слоя.

В настоящей работе описана технология получения и приведены результаты исследования температурных зависимостей электропроводности поликристаллических образцов Cu_2SnS_3 .

Эксперимент

Синтез Cu_2SnS_3 был осуществлён методом пиролитического разложения стехиометрической смеси солей $CuCl_2 \cdot H_2O$ (0,0855 г), $SuCl_2 \cdot H_2O$ (2,26 г), $SC(NH_2)_2$ (2,28 г) путём растворения их в 50%-м этиловом спирте при интенсивном перемешивании до однородного раствора. Полученный раствор подвергался сушке при температуре $75^\circ C$ в течение двух суток. Для гомогенизации, сухой порошок был измельчён в ступке. Затем полученный порошок отжигали в вакуумной печи при $400^\circ C$ в течение получаса.

Был проведен рентгенофазовый анализ образца на диффрактометре Rigaku IV на порошке, съёмка $\theta - 2\theta$, в диапазоне углов $10-100$ град., шаг $0,04$ град., скорость 2 град./мин., фильтр Ni (K_β), $Cu K_\alpha$ $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$, без монохроматора, в геометрии Брен-Брентано. Полученная порошковая диффрактограмма приведена на рис. 1.

Электропроводность была исследована на пресованных поликристаллических образцах в форме прямоугольного параллелепипеда $2,66 \times 8 \times 1,3$ мм. Измерения были проведены четырёхзондовым методом, в диапазоне температур от 10 до 320 К.

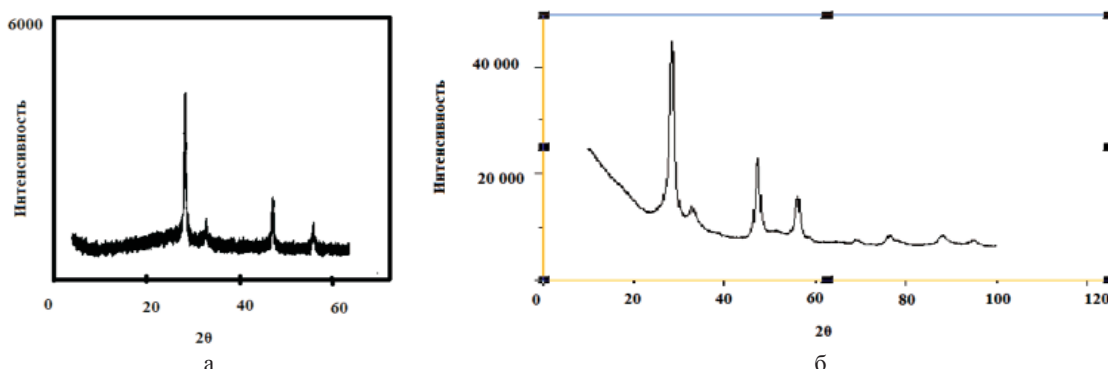


Рис. 1. Спектр порошковой дифракции образца Cu_2SnS_3 :
а – рентгеновский спектр Cu_2SnS_3 в работе [3]; в – рентгеновский спектр синтезированного материала Cu_2SnS_3

Результаты эксперимента и обсуждение

При сравнении графиков представленных на рис. 1 мы видим, что положение основных пиков зависимости полученной в работе [3] (см. рис. 1(а))

и полученной нами (см. рис. 1(в)) полностью совпадают. Этот факт подтверждает факт синтеза Cu_2SnS_3 методом пиролитического разложения стехиометрической смеси хлоридов компонентов и тиомочевины.

Результаты исследования зависимости удельного сопротивления от температуры образца поликристаллического Cu_2SnS_3 представлены в рис. 2.

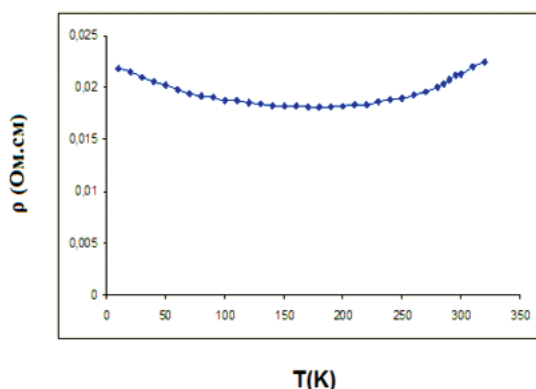


Рис. 2. Зависимость удельного сопротивления образца Cu_2SnS_3 от температуры в диапазоне 10–320 К

Как видно из рис. 2 в исследованном диапазоне температур можно выделить 2 участка удельной электропроводности. На первом участке в интервале от 10 до 170 К с увеличением температуры удельное сопротивление уменьшается. Такое поведение характерно для примесных полупроводников и связано с активацией примеси. На втором участке, удельное сопротивление увеличивается с повышением температуры, обычно в полупроводниках этот участок соответствует процессу истощения примеси.

Электропроводность в сильно легированных, неупорядоченных и аморфных полупроводниках часто связана с различными механизмами прыжковой проводимости.

Анализ низко температурного участка, электропроводности полупроводника Cu_2SnS_3 был сделан в предположении преобладания механизма прыжковой проводимости, то есть механизма проводимости, при котором перенос заряда осуществляется путём квантовых туннельных переходов («прыжков») носителей заряда между различными локализованными состояниями [4].

Зависимость удельного сопротивления полупроводника в области прыжковой проводимости описывается формулой:

$$\rho(T) = A_p T^m \exp \left[\left(\frac{T_{0p}}{T} \right)^{1/p} \right], \quad (1)$$

где $A_p T_m$ постоянный предэкспоненциальный множитель, p и m выбирается в зависимости от типа «прыжков» электрона. Величины $p = 1, 2, 4$ определяют соответственно прыжковую проводимость через ближайших соседей, прыжковую проводимость с переменной длиной прыжка по Шкловскому-Эфросу, прыжковую проводимость с переменной длиной прыжка по Моту [5, 6].

Для того чтобы определить механизм прыжковой проводимости образца Cu_2SnS_3 мы линеаризовали зависимость $\rho(T)$ методом выбора соответственных пар p и m . В результате линеаризации, был построен график $\ln \rho(T^{-m})$ от $T^{-1/p}$ [6], и было установлено, что проводимость при низких температур подчиняется механизму прыжковой проводимости с переменной длиной прыжка по Моту, что соответствует $p = 4$ и $m = 1/4$.

Были получены, некоторые характеристические величины, которые представлены в таблице

Параметры механизма прыжковой проводимости в интервале температур от 10 до 170 К

$A_4 (\Omega \text{cmK}^{-1/4})$	T_v (К)	T_m (К)	T_{04} (К)	W_0 (meV)
$1,516 \cdot 10^{-3}$	170	40	348,608	17,56

Примечания: где T_v – наибольшая температура, при которой ещё справедлив механизм прыжковой проводимости по Моту;

T_m – наименьшая температура, при которой ещё справедлив механизм прыжковой проводимости по Моту;

T_{04} – характеристическая температура прыжковой проводимости с переменной длиной прыжка по Моту;

W_0 – параметр, определяющий проводимость установлен по формуле:

$$W_0 = k(T_v^3 T_{04})^{1/4}, \quad (2)$$

где k – постоянная Больцмана.

Заключение

В настоящей работе мы сообщаем о результатах синтеза Cu_2SnS_3 методом пиролизического разложения стехиометрической смеси хлоридов компонентов и тиомочевны при температуре 400°C. Успешный синтез подтверждён исследованиями фазовой структуры образца хорошо совпадающими с литературными данными. В результате исследования температурной зависимости удельного сопротивления образца Cu_2SnS_3 от температуры в диапазоне 10 до 320 К было установлено что, при низких температурах, проводимость определяется механизмом прыжковой проводимости с переменной длиной прыжка по Моту (в области температур от 10 до 170 К).

Часть результатов приведенных в настоящей работе была получена в рамках выполнения Государственного задания 2.3309.2011.

Список литературы

1. Bouaziz M., Amlouk M., Belgacem S. Structural and optical properties of Cu_2SnS_3 sprayed thin films // Thin Solid Films. – 2009. – № 517. – С. 2530.
2. Захвалинский В.С., Пилюк Е.А. Методические указания к лабораторной работе «Исследование температурной зависимости электропроводности полупроводников» по физическим основам электроники и физике твёрдого тела для специальностей «Физика» и «Медицинская физика». – М., 2012. – 19 с.
3. Janos Madarasz, Petra Bombicz, Masayuki Okuya, Shoji Kaneko. Thermal decomposition of thiourea complexes of Cu(I), Zn(II), and Sn(II) chlorides as precursors for the spray pyrolysis deposition of sulphide thin films // Solid State Ionics. – 2001. – № 141. – С. 445.
4. Прохоров А.М. Физическая энциклопедия. В 5-ти т. – М.: Советская энциклопедия. – Режим доступа: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/2175/прыжковая.
5. Transport properties of $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ / M. Guc, K.G. Lisunov, A. Nateprov, S. Levchenko, V. Tezlevan, and E. Arushanov // Institute of Applied Physics, Academy of Sciences of Moldova, Academiei str. 5, Chisinau, MD-2028 Republic of Moldova. – 2011. – С. 143.
6. Variable – range hopping conductivity in $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Mn}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_3$: evidence of a complex gap in density of states near the Fermi level / R. Laiho, K.G. Lisunov, E.L. ahderanta, P.A. Petrenko, J. Salminen, M.A. Shakhov, M.O. Safontchik, V.S. Stomov, M.V. Shubnikov, V.S. Zakhvalinskii // Journal of physics: condensed matter. – 2002. – С. 8043.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС ПО АСТРОФИЗИКЕ

Лысенко В.Е., Иванов А.Л.

Кубанский государственный университет, Краснодар,
e-mail: kostinanl@mail.ru

Целью учебно-методического инфокоммуникационного комплекса по астрофизике является обеспечение учебного процесса общеобразовательных учреждений