

УДК 620.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЫ Al-Pb-Se

А.Г. Краснова, В.Д. Кочаков

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова
РФ 428023, Чувашская республика, Чебоксары, Московский пр., 15
тел.: +7 (8352) 58-30-36; e-mail: aliska816@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.19.017

Заключение совета рецензентов: 09.10.15 Заключение совета экспертов: 16.10.15 Принято к публикации: 23.10.15

Создан новый материал с позисторной характеристикой на основе полупроводниковой системы Al-Pb-Se. В перспективе научно-технические результаты могут быть использованы как датчики температурной сигнализации, защиты от перегрузок по току, напряжению и температуре, для термостабилизации нагревательных устройств.

Ключевые слова: тонкие пленки, селенид свинца, позисторы, положительный температурный коэффициент сопротивления.

INVESTIGATION OF ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF THIN-FILM SYSTEM Al-Pb-Se

A.G. Krasnova, V.D. Kochakov

Chuvash State University named after I.N. Ulyanov
15 Moskovsky ave., Chuvash Republic, Cheboksary, 428023 Russian Federation
ph.: +7 (8352) 58-30-36, e-mail: aliska816@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.19.017

Referred 9 October 2015 Received in revised form 16 October 2015 Accepted 23 October 2015

The paper presents the new material with PTC (Positive Temperature Coefficient) characteristics which was created on the basis of semiconductor Al-Pb-Se. In the future, scientific and technical results can be used as sensors temperature alarm, protection against over-current, voltage and temperature for thermal stabilization of heating devices.

Keywords: thin films, lead selenide, PTC thermistors, positive temperature coefficient of resistance.



*Краснова
Алиса Геннадьевна
Alisa G. Krasnova*

Сведения об авторе: ассистент кафедры прикладной физики и нанотехнологий, Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова.

Образование: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова.

Область научных интересов: нанотехнологии, металлоуглеродные пленочные системы на основе углерода в состоянии Sp¹, термисторы.

Публикации: более 20.

Information about the author: assistant of Department of Applied Physics and Nanotechnology, Chuvash State University named after I.N. Ulyanova.

Education: Chuvash State University named after I.N. Ulyanova.

Research area: nanotechnology, metal-carbon film systems based on carbon in a state of Sp¹, thermistors.

Publications: more than 20.



Кочаков Валерий Данилович
Valery D. Kochakov

Сведения об авторе: канд. техн. наук, профессор кафедры прикладной физики и нанотехнологий ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», член-корреспондент Академии электротехнических наук ЧР.

Образование: ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова».

Область научных интересов: нанотехнологии, металлоуглеродные пленочные системы на основе углерода в состоянии Sp¹, фотовольтаика.

Публикации: более 90.

Information about the author: PhD (engineering), professor of Department of Applied Physics and Nanotechnology, a member of the Academy of Electrical Sciences of (the Chuvash Republic).

Education: Chuvash State University named after I.N. Ulyanov.

Research area: nanotechnology, metal-carbon film systems based on carbon in a state of Sp¹, photovoltaics.

Publications: more than 90.

Введение

Пленочные материалы имеют особое значение в развитии микроэлектроники, основанной на высоких технологиях. Одной из главных особенностей данного направления является стремление создавать и использовать новые материалы, обладающие, помимо уникальных сочетаний механических, физических и других свойств, способностями активно реагировать на изменение внешних условий. В этой связи формирование пленочных систем, чувствительных к температуре, является важным направлением.

В работе использовался метод получения тонкопленочных систем в режиме твердофазного синтеза. Три последних десятилетия твердофазные реакции интенсивно исследуются в тонких пленках, которые составляют основу современной электроники. Большинство твердофазных реакций в тонких металлических пленках проходят в температурном интервале 400–800 К и делятся на два класса. К первому классу относятся реакции, в ходе которых формируются новые фазы. Ко второму – реакции, в продуктах которых не образуется новых фаз, а наблюдается перемешивание слоев при температурах ниже температур эвтектики. Для примера можно указать на данные, приведенные в работе [1]. Температуры контактного плавления пар тонких пленок с толщинами 125, 100 и 75 нм ниже температуры эвтектики: ТКП(Pb–Bi) = 118, 110 и 97 °C; ТКП(Pb–Sn) = 172, 169 и 165 °C; ТКП(Mg–Sn) = 202, 199 и 195 °C; ТКП(Sn–Zn) = 192, 189 и 187 °C; ТКП(In–Zn) = 136, 134 и 131 °C соответственно.

Методика эксперимента

В работе [2] были приведены результаты электрофизического исследования пленочного элемента на основе селенида свинца, обладающего эффектом положительного температурного коэффициента сопротивления (ТКС). С целью улучшения характеристик данного пленочного элемента были проведены эксперименты на основе выбранной схемы напыления системы Al-Pb-Se (рис. 1), полученные в вакууме термическим осаждением на стеклянные подложки с последующим отжигом в атмосфере азота при 250 °C в течение 45 минут.

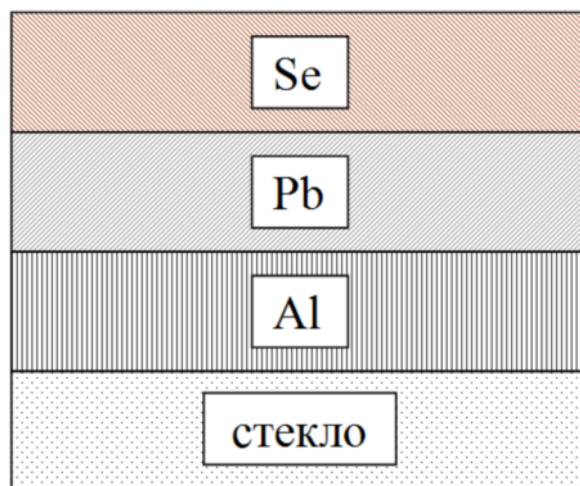


Рис. 1. Схема напыления тонкопленочной системы Al-Pb-Se
Fig. 1. The scheme of sputtering of Al-Pb-Se-thin film system

Результаты и их обсуждение

В настоящей работе исследовались температурные зависимости сопротивления резисторных структур

на основе тонкопленочной системы Al-Pb-Se (рис. 2а). Для сравнения на рисунке 2б приведена зависимость сопротивления от температуры для позистора B59901-D90-A40 (производитель: Epcos) [3].

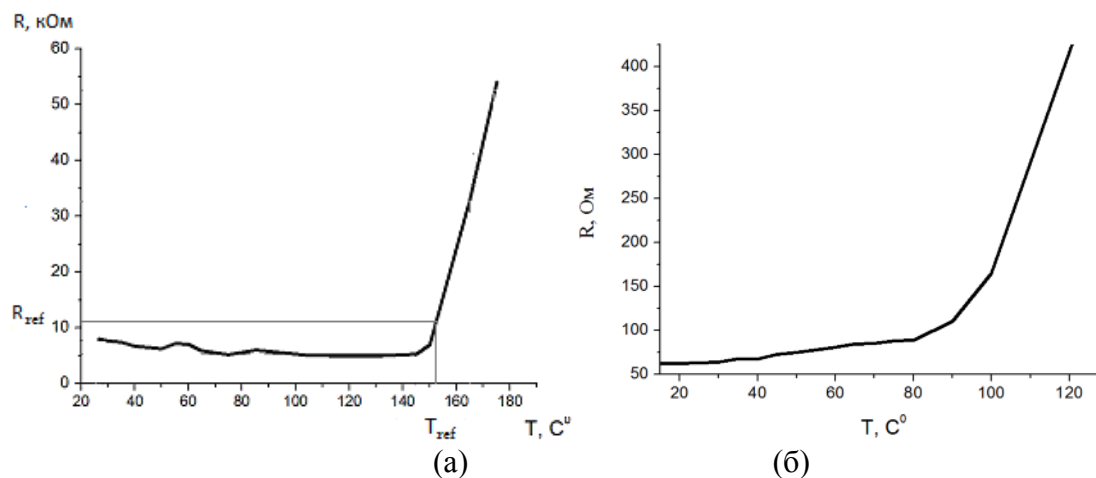


Рис. 2. Зависимость сопротивления (а) тонкопленочной системы Al-Pb-Se и (б) позистора B59901-D90-A40 от температуры

Fig. 2. The dependence of the resistance (a) of thin films system Al-Pb-Se and (b) the PTC B59901-D90-A40 on temperature

Результаты экспериментальных исследований показали, что тонкопленочная система Al-Pb-Se имеет положительный ТКС, т.е. является материалом для позистора. Температура переключения (T_{ref}), соответствующая началу области резкого увеличения сопротивления, 152 °C.

Сопротивление позисторного материала зависит не только от температуры образца, но и от приложенного напряжения. Как известно [4], вольтамперные характеристики (ВАХ) позисторов имеют характерный N-образный вид (рис. 3).

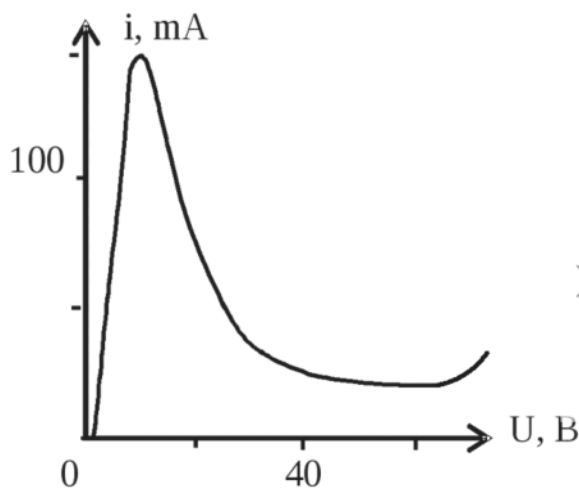


Рис. 3. Статическая ВАХ позистора
Fig. 3. Static current-voltage characteristic of PTC thermistor

С повышением напряжения сила тока сначала растет почти пропорционально напряжению, переходит через максимум и затем падает по гиперболическому

закону. Свойства позистора в этой области зависимости $I(U)$ противоположны свойствам терморезисторов с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления. При некотором напряжении U_{max} кривая ВАХ поворачивает вверх и назад. В этот момент температура проходит значение, соответствующее максимальному сопротивлению. Выше этого напряжения равновесных тепловых состояний не существует, и позистор разогревается вплоть до саморазрушения [5].

ВАХ исследуемой полупроводниковой системы Al-Pb-Se показана на рисунке 4. На начальном участке кривой при увеличении напряжения растет сила тока. На втором участке кривой, сила тока снижается приблизительно по гиперболическому закону.

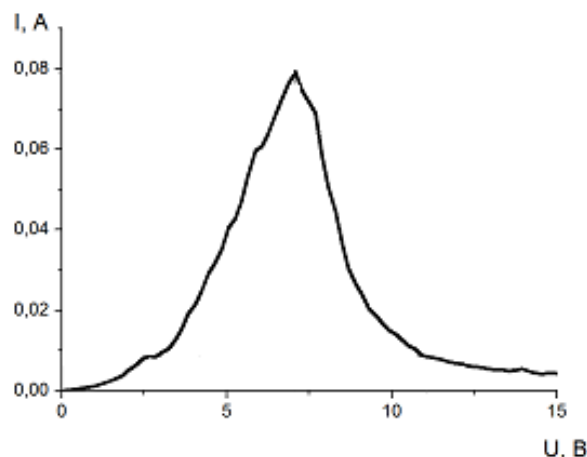


Рис. 4. ВАХ тонкопленочной системы Al-Pb-Se
Fig. 4. Current-voltage characteristic of Pb-Se thin films system

На рис. 5 приведены результаты вольтамперной характеристики обычного позистора B59901-D90-A40 (производитель: Epcos).

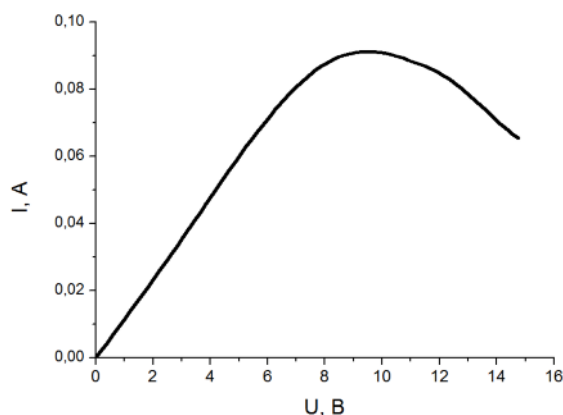


Рис. 5. Вольтамперная характеристика позистора B59901-D90-A40

Fig. 5. Current-voltage characteristic of PTC thermistor B59901-D90-A40

Электрические характеристики терморезисторов с положительным ТКС определяются крутизной участка на температурной характеристике сопротивления. Этот участок вместе с вольтамперной характеристикой определяет весь тот комплекс свойств, который необходим для применения данного типа терморезистора [6].

Заключение

Таким образом, получен материал на основе PbSe с улучшенными позисторными характеристиками путём добавления в исследуемую систему пленки алюминия. Основными материалами, обладающими положительным ТКС, длительное время оставались материалы на основе титаната бария, синтезированные редкоземельными элементами. Главными недостатками данных прототипов являются большой расход материалов и высокое энергопотребление при синтезе. Данные научно-технические результаты могут быть использованы для разработки датчиков температурной сигнализации, электронных защит от перегрева.

Работа выполнена в рамках программы УМНИК, договор №338ГУ1/2013.

Список литературы

1. Коротков П.К., Мусуков Р.А., Орквасов Т.А., Созаев В.А. Размерный эффект температуры фазовых превращений в контакте тонких металлических пленок // Журнал технической физики. 2008. Т. 78, Вып. 3. С. 99–100.
2. Краснова А.Г., Зимнухов М.А. Синтез и исследование полупроводниковой системы Pb-Se // Наноструктурированные материалы и преобразовательные устройства для солнечной энергетики: сб. тр. III Всерос. науч. конф. Чебоксары, 2015. С. 27–28.
3. Техническая документация. PTC термисторы EPCOS. <http://www.chipdip.ru/product/b59901-d90-a40>.
4. Реута И.Б. Полупроводники на основе титана бария. М.: Энергоиздат, 1982.
5. Кузнецова Т.К. Влияние фазового состава и микроструктуры на полупроводниковые и позисторные свойства материалов на основе феррониобата свинца: диссертация кандидата физико-математических наук, 1999: 61 00-1/274-7.
6. Мэклин Э.Д. Терморезисторы. М.: Мир, 1983. С. 150.

References

1. Korotkov P.K., Musukov R.A., Orkvasov T.A., Sozaev V.A. Razmernyj effekt temperatury fazovykh prevrashenij v kontakte tonkih metallicheskih plenok. *Zhurnal tehničeskoj fiziki*, 2008, vol. 78, iss. 3, pp. 99–100 (in Russ.).
2. Krasnova A.G., Zimnuhov M.A. Sintez i issledovanie poluprovodnikovoj sistemy Pb-Se. *Nanostrukturirovannye materialy i preobrazvatel'nye ustrojstva dlja solnečnoj ènergetiki: collection of works of III Scientific Conference*, Cheboksary, 2015, pp. 27–28 (in Russ.).
3. Technical documentation. PTC thermistors EPCOS. <http://www.chipdip.ru/product/b59901-d90-a40> (in Russ.).
4. Reuta I.B. Poluprovodniki na osnove titana bariâ. Moscow: Ènergoizdat Publ., 1982 (in Russ.).
5. Kuznetsova T. K. Vliânîe fazovogo sostava i mikrostruktury na poluprovodnikovye i pozistornye svojstva materialov na osnove ferroniobata svinca: dissertaciâ ... kan-didata fiziko-matematičeskih nauk : 01.04.07 Rostov-na-Donu, 1999 209 s.: 61 00-1/274-7 (in Russ.).
6. Meklin E.D. Termorezistory. Moscow: Mir Publ., 1983 (in Russ.).

Транслитерация по ISO 9:1995