

To prevent the compound leaking into this clearance, that can be closed, for an instance, by rubber-type compound.

For this purpose textolite membrane can be substituted for rubber one, which will allow free shell's deformations when it is forced by the load of compound. Finally, the flexibility of the shell can be increased in the area l_2 , where it contacts with compound and that will be demonstrated in the second part of the paper.

References

1. Ройзман В.П., Возняк А.Г., Горошко А.В. Проблема міцності і герметичності компаундованих виробів РЕА, збірник тез і доповідей, Угорщина, 2016, 37–39 с.
2. Марков В.Ф., Мухамедзянов Х.Н., Маскаева Л.Н. Материалы современной электроники. – издательство Уральского университета, 2014. – 270 с.

3. Иванова Н.Ю., Комарова И.Э., Бондаренко И.Б. Электрорадиоэлементы. Часть 2. Электрические конденсаторы. – Санкт-Петербург, 2015. – 34 с.

4. Ройзман В.П. Термопрочность компаундированных пассивных электронных элементов / В.П. Ройзман, И.И. Ковтун, С.А. Петрашук // Современные информационные и электронные технологии : тр. Третьей междунар. научно-практ. конф. (СИЭТ-2002). – Одеса: Одесский политехн. университет, ОАО «Нептун», 2002. – 145 с.

5. Биргер И.А. Расчет на прочность деталей машин : справочник / И.А. Биргер, Б.Ф. Шор, Г.Б. Йосилевич. – М.: Машиностроение, 1993. – 502 с.

6. Амосов А.А. Техническая теория тонких упругих оболочек. – М.: Издательство ассоциации строительных узлов, 2009 – 303 с.

7. Владимиров В.С., Жаринов В.В. Уравнения математической физики. – Москва: Физматлит, 2004. – С. 318-333.

УДК 621.315

ПОДВИЖНОСТЬ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТОНКИХ ПЛЕНКАХ PbSnTe

Иванов В.А.¹, Красовский В.В.¹, Гременок В.Ф.²

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

²ГО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению», Минск, Республика Беларусь

Полупроводниковые соединения $A^{IV}B^{VI}PbTe$ и $SnTe$ являются материалами с хорошими термоэлектрическими свойствами а также интересны как потенциальные материалы для длинноволновых инфракрасных детекторов [1-3]. Ширина запрещенной зоны этих материалов изменяется от $E_g = 0,18$ eV для $SnTe$ до $E_g = 0,32$ eV для $PbTe$ [4]. Эти соединения кристаллизуются в кубической решетке типа NaCl и являются во многих отношениях аналогами. По сходству структур соединений $SnTe$ и $PbTe$ и близости величин постоянных кристаллических решеток можно предположить наличие между этими соединениями непрерывного ряда твердых растворов. $PbTe$ кристаллизуется в составе, близком к стехиометрическому, и необходимая концентрация носителей тока получается добавлением соответствующих примесей (например, галогенов для получения n - $PbTe$ и щелочных металлов для получения p - $PbTe$). Вакансии в подрешетке свинца являются акцепторами, а в подрешетке теллура – донорами. В специально нелегированных образцах электрические свойства в первую очередь определяются концентрацией избыточных атомов теллура и свинца. $SnTe$ всегда кристаллизуется с большой концентрацией вакансий в металлической подрешетке. Вакансии металла в кристаллической решетке образуют в запрещенной

зоне этого полупроводникового соединения акцепторные энергетические уровни и данное полупроводниковое соединения имеет p -тип проводимости. Изменение состава системы $PbTe$ - $SnTe$ приводит к изменению всех свойств. Поэтому исследование свойств такого полупроводникового соединения, полученного в виде тонких пленок представляет большой интерес как для термоэлектрического так и для фотоэлектрического применения.

Для получения пленок $PbSnTe$ выбран метод термического вакуумного нанесения типа «горячей стенки». При этом методе перенос паров испаряемого материала мишени проходит в цилиндрическом канале, температура стенок которого не ниже температуры испарителя. В качестве подложек были использованы стекла марки Corning 7059. В качестве исходного материала для напыления использовались порошки поликристаллических слитков, предварительно синтезированных методом сплавления в вакууммированных кварцевых ампулах. В данной работе приведены результаты исследований температурных зависимостей подвижности носителей заряда в тонких пленках $PbSnTe$ разных составов.

Температурные зависимости подвижности носителей заряда регистрировались в температурном интервале 100-400К, при этом

подвижность носителей заряда определялась методом Холла в магнитном поле 1,72 тесла.

Кристаллическая структура полученных поликристаллических пленок была исследована рентгеновской дифрактометрией (XRD), используя Siemens D-5000 дифрактометр с CuK_α источником. Идентификация фаз проводилась сравнением экспериментально установленных межплоскостных расстояний d с данными таблиц JCPDS. Элементный состав пленок был исследован с помощью сканирующего электронного микроскопа Stereoscan F-360 с EDX спектрометром 10000 с точностью около 2 %. На рисунке 1 приведены микрофотографии скола пленок двух составов.

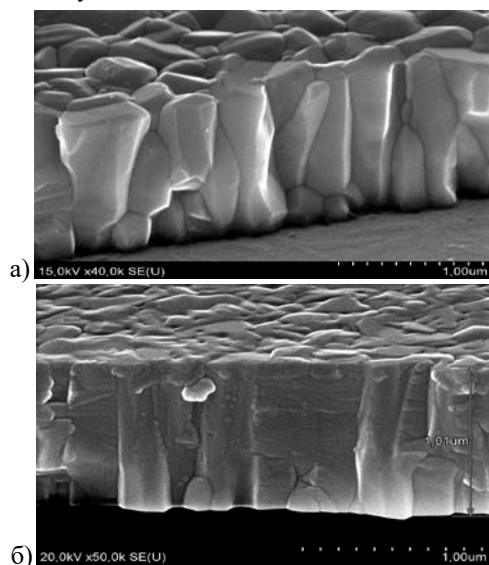


Рисунок 1 – Микрофотографии скола плёнок PbSnTe с концентрацией атомов свинца: а) – 9,78 ат. % и б) – 32,91 ат. %

Результаты рентгеноструктурного анализа показали, что все полученные пленки толщиной 1.0 – 3.0 мкм были поликристаллическими, однофазными и содержали только фазу кубической структуры (структура типа NaCl), при отсутствии каких-либо посторонних кристаллических фаз. Микроструктура полученных пленок имеет вид плотноупакованных столбчатых кристаллитов с направлением роста перпендикулярно подложке. Все пленки имели избыток атомов теллура.

Наиболее эффективными центрами рассеяния электронов и дырок в полупроводнике являются тепловые колебания атомов решетки и заряженные ионы примесей. Роль примесей могут играть дефекты кристаллической решетки. При рассеянии на акустических колебаниях атомов подвижность $\mu = A(kT)^{-3/2}$, где A – коэффициент не зависящий от температуры и энергии. При рассеянии носителей заряда на заряженных ионах примеси подвижность $\mu = B(kT)^{3/2}$, где B – также коэффициент не зависящий от температуры и энергии. Переход от примесного рассеяния носителей заряда к решеточному происходит при тем более высоких

температурах, чем больше концентрация заряженных центров в полупроводнике. Если учитывать только рассеяние на ионах примеси и тепловых колебаниях решетки, то можно прийти к выводу, что подвижность с ростом температуры растет пропорционально $T^{3/2}$, проходит через максимум и затем уменьшается пропорционально $T^{-3/2}$. Если в полупроводнике действуют оба механизма рассеяния, тогда

$$1/\mu = AT^{-3/2} + BT^{3/2}, \quad (1)$$

где A и B – не зависящие от температуры величины [5].

Исследования эффекта Холла позволили определить величины подвижностей носителей заряда в пленках.

На рисунке 2 показаны температурные зависимости подвижностей носителей заряда для пленок двух составов.

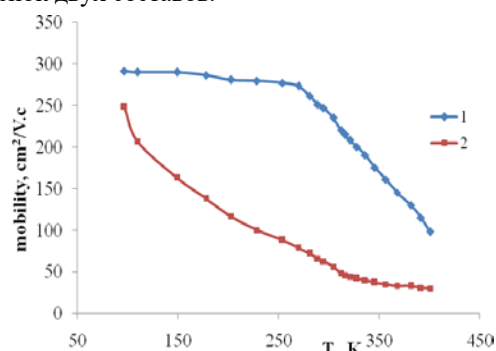


Рисунок 2 – Температурные зависимости подвижности носителей заряда плёнок PbSnTe с концентрацией атомов свинца: 1 – 9,78 ат. %, 2 – 32,91 ат. %

На пленках 1 и 2 температурная зависимость подвижности проявляется иначе. Если для пленок с небольшой концентрацией атомов свинца с ростом температуры подвижность уменьшается слабо, то для относительно больших концентраций свинца подвижность уменьшается более интенсивно во всем температурном интервале. Отличие температурной зависимости подвижности пленки 2 можно объяснить более высокой концентрацией вакансий атомов металла из-за относительно большой концентрации атомов теллура. Для пленок 1 и 2 согласно (1) во всем температурном интервале одновременно действуют два механизма рассеяния носителей заряда с небольшим преобладанием механизма рассеяния на колебаниях решетки.

В результате проведенных исследований установлено, что пленки PbSnTe являются невырожденными полупроводниками p -типа проводимости. Увеличение концентрации атомов свинца приводит к уменьшению электропроводности. С ростом концентрации атомов теллура подвижность носителей заряда увеличивается, при этом происходит преобладание механизма рассеяния носителей заряда на тепловых колебаниях решетки с ростом температуры пленок.

Полученные результаты указывают на перспективность развития работ по применению тонких пленок PbSnTe для создания различных тонкопленочных преобразователей. Перспективность предложенного метода синтеза пленок $Pb_xSn_{1-x}Te$ обусловлена возможностью применения на всех стадиях технологического процесса промышленных методов, обеспечивающих получение однородных слоев большой площади.

Литература

1. Равич, Ю.И. Методы исследования полупроводников в применении к халькогенидам

свинца PbTe, PbSe, PbS / Ю.И. Равич, Б.А. Ефимова, И.А. Смирнов. – М.: Наука, 1968. – 383 с.

2. Соминский, М.С. Полупроводники / М.С. Соминский. – Л.: Наука, 1967. – 440 с.

3. Иоффе, А.Ф. Полупроводниковые термоэлементы / А.Ф. Иоффе. – Изд. АН СССР, 1957. – 257 с.

4. Nicolic, P.M. Optical energy gaps of PbTe-SnTe / P.M. Nicolic // Brit. J. Appl. Phys. –1987. – Vol. 18. – p. 897–903.

5. Киреев, П.С. Физика полупроводников / П.С. Киреев. – М.: Высшая школа, 1969. – 592 с.

УДК 53.091

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ МАРТЕНСИТНЫХ ПЕРЕХОДОВ В TiNi СПЛАВЕ

Рубаник В.В.¹, Рубаник В.В. мл.¹, Лесота А.В.²

¹ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси», Витебск, Республика Беларусь

²УО «Витебский государственный технологический университет», Витебск, Республика Беларусь

Материалы с эффектом памяти формы (ЭПФ) активно исследуются и применяются в различных областях медицины и техники. Эти материалы способны восстанавливать значительные неупругие деформации при изменении температуры, проявлять сверхэластичность в изотермических условиях, преобразовывать тепловую энергию в механическую работу и т. д. Их уникальные свойства находят обширное применение в инженерной практике – при проектировании исполнительных механизмов и силового оборудования, в медицине – для создания имплантов и инструментария, способного изменять форму рабочей части [1–3].

Важными характеристиками сплавов с ЭПФ являются температуры мартенситных переходов, при которых происходит формовосстановление элементов с памятью формы. На характеристические температуры влияет как соотношение основных компонентов (титана и никеля), так и механические напряжения, возникающие при деформации этих сплавов в результате фазового, деформационного наклепа и пр. [4]. Известно [5], что механические свойства материалов с термоупругими мартенситными превращениями существенным образом зависят от температуры деформирования, точнее, её расположения относительно характеристических температур обратимых фазовых переходов. Таким образом, исследование влияния пластической деформации на характеристические температуры фазовых переходов никелида титана является важным этапом на пути внедрения этого материала в промышленность.

Использовали проволоочные образцы никелида титана с составом близким к эквиатому длиной 150 мм и диаметром 0,6 мм, предварительно отожжённые при температуре 600 °С в течение 30

минут с закалкой на воздухе. Деформирование одноосным растяжением проводили на испытательной машине ИП 5158-5 до 40 % при комнатной температуре (23±1 °С). Наводимая величина деформации в образцах составляла 5, 10, 15, 20, 30 и 40 %. Вид деформационной кривой представлен на рисунке 1. В исходном состоянии образцы находились в мартенситном состоянии и характеристические температуры, определенные методом дифференциальной сканирующей калориметрии на приборе DSC822° METTLER TOLEDO, составляли: $M_n = 39$ °С, $M_k = 27$ °С, $A_n = 60$ °С, $A_k = 78$ °С при скорости нагрева и охлаждения 5 °С/мин. Реализация в материале обратного фазового перехода после отжига идет одностадийно по схеме B2 → B19', а прямого – по схеме B19' → B2.

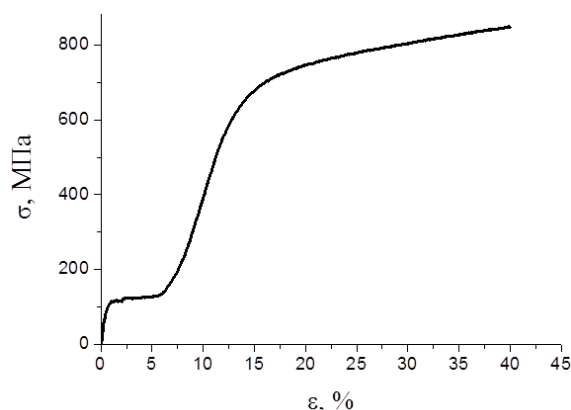


Рисунок 1 – Деформационная кривая TiNi сплава

На деформационной кривой при напряжениях 100–110 МПа регистрируется фазовый предел текучести, что вызвано переориентацией мартенситных пластин в материале при деформации порядка 5 %. Дальнейшая