

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЁНОК TbSb<sub>2</sub> И ИХ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

**З. У. Джабуа**

*Департамент физики Грузинского технического университета,  
Тбилиси, Грузия*

Поступила в редакцию 18.02.2016

Разработана технология приготовления тонких кристаллических плёнок TbSb<sub>2</sub> методом вакуумно-термического испарения из двух независимых источников Tb и Sb. В температурной области 100–300 К измерены температурные зависимости удельного электросопротивления, постоянной Холла и термо-ЭДС. Показано, что носителями заряда являются электроны и плёнки TbSb<sub>2</sub> по своим электрическим свойствам являются металлами.

**Ключевые слова:** плёнка, подложка, напыление, электросопротивление, постоянная Холла, термо-ЭДС, подвижность.

## ТЕХНОЛОГІЯ ПРИГОТУВАННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК TbSb<sub>2</sub> ТА ЇХ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

**З. У. Джабуа**

Розроблено технологію приготування тонких кристалічних плівок TbSb<sub>2</sub> методом вакуумно-термічного випаровування з двох незалежних джерел Tb і Sb. У температурному інтервалі 100–300 К виміряні температурні залежності питомого електроопору, постійної Холла і термо-ЕРС. Показано, що носіями заряду є електрони і плівки TbSb<sub>2</sub> за своїми електричними властивостями є металами.

**Ключові слова:** плівка, підкладка, напылення, електроопір, постійна Холла, термо-ЕРС, рухливість.

## TECHNOLOGY OF PREPARING THIN FILMS TbSb<sub>2</sub> AND THE PHYSICAL PROPERTIES

**Z. U. Dzhabua**

A processes has been developed for growth of thin crystalline films by thermal evaporation using Tb and Sb separate sources. Temperature dependences of specific resistance, Holl constants and thermo emf are measured in temperature area 100–300 K. It is shown that carriers of a charge are electrons and films of TbSb<sub>2</sub> on the electric properties are metals.

**Keywords:** film, substrates, sputtering, resistance, Holl constants, thermo emf, mobility.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Диантимониды редкоземельных элементов (РЗЭ) являются интересными материалами как с научной точки зрения, так и для практического применения. Например, в тонких плёнках диантимонидов Yb, Sm, Dy ион сурьмы проявляет переменную валентность, в зависимости от технологических режимов приготовления можно получать плёнки с различной валентностью иона сурьмы от 2,2 до 2,6, что в свою очередь существенно влияет на электрофизические и оптические свойства пленок [1–5]. Однако не все диантимониды РЗЭ исследованы достаточно полно. К таким малоизученным материалам относится TbS<sub>2</sub>. В представленной работе разработана

технология приготовления тонких кристаллических плёнок TbS<sub>2</sub> на различных кристаллических подложках и измерены их электрофизические параметры (удельное электросопротивление, постоянная Холла, термо-ЭДС).

### 2. ЭКСПЕРИМЕНТ

Однофазные плёнки TbS<sub>2</sub> приготовлены методом вакуумно-термического испарения из двух независимых источников Tb и Sb на подложках, изготовленных из силлала, лейкосапфира и монокристаллического кремния. Исходными компонентами служили металлический Tb марки ТбМ-1 с суммарным содержанием примесей Tm, Er,

но меньше чем 0,1 %, а также  $Fe \leq 0,01$  %,  $Ca \leq 0,01$  %,  $Cu \leq 0,03$  %,  $Ta \leq 0,02$  %,  $Mo \leq 0,02$  % и Sb марки Су 0000. При напылении плёнок соотношение между атомами компонентов должно быть равно 1:2, для достижения такого соотношения нужно строго контролировать и поддерживать в процессе напыления температуры испарителей. Испарение Tb проводили электронно-лучевым нагревом при температуре  $1800 \pm 20$  К, а испарение Sb — джоулевым нагревателем при температуре  $980 \pm 10$  К. Для получения плёнок стехиометрического состава большое значение имеют углы наклона испарителей Tb и Sb по отношению к нормали подложки. Эти углы должны быть минимальными. Исходя из конструкционной особенности нашей установки, они были одинаковыми и составляли  $\sim 40^\circ$ . Расстояния от испарителей Tb и Sb до подложки равнялись соответственно 40 и 45 мм.

Фазовый анализ плёнок проводили рентгеновским методом. Рентгенограммы снимались на установке ДРОН-4 при  $CuK_\alpha$  излучении с никелевым фильтром в режиме непрерывной записи со скоростью 0,5–1 град/мин. Идентификацию полученных рентгенограмм проводили путём их сравнения с штрихдиаграммами, построенными на основе рентгенодифрактограмм объемных кристаллов  $TbS_2$ . Электронограммы снимали на установке типа УЭМВ-100К «на отражение» при ускоряющем напряжении (75–100)  $\times 10^3$  В. Поверхность приготовленных плёнок снимали во вторичных рентгеновских лучах (установка Camebax-Microbeam). Состав плёнок определяли рентгеновским микрозондовым анализом на той же установке с использованием ЭВМ PDP-11/73. Методом Оже спектрометрии на установке LAS — 200 фирмы «Riber» определяли состав плёнок по толщине.

В области температур 100–300 К изменены температурные зависимости удельного электросопротивления, постоянной Холла и термо-ЭДС. Все измерения проводили на одной и той же серии однофазных плёнок с толщиной 1,8 мкм, приготовленных на ситалловой подложке. Удельное электросопротивление измеряли компенсационным методом, постоянную

Холла — при постоянном магнитном поле напряженностью  $16 \cdot 10^5$  А/м, а термо-ЭДС — абсолютным методом с поправкой ЭДС меди. Точность измерения удельного электросопротивления и термо-ЭДС была не хуже 3–4 %, а постоянной Холла — 8–10 %.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для исследования влияния температуры подложки и самого материала подложки на кристалличность и фазовый состав пленки проведены многочисленные эксперименты в области температур подложки от  $750 \pm 5$  К до  $1250 \pm 5$  К. Исследования показали, что материал подложки не оказывает существенного влияния на фазовый состав и кристалличность приготовленных пленок. При температурах подложки ниже 900 К плёнки в виде отдельной фазы содержали включения металлического Tb. При температурах выше 960 К плёнки были двухфазными: состояли из TbSb и  $Tb_4Sb_3$ . Только в интервале температур подложки 900–960 К плёнки были однофазными и имели состав, соответствующий  $TbSb_2$ . В дальнейшем все исследования проводили на плёнках, напыленных в этом интервале температур подложки.

Согласно анализу рентгенодифрактограмм и электронограмм можно сказать, что плёнки имели ромбическую решётку (структурный тип  $SmSb_2$ ). Параметры решётки, вычисленные по рентгенодифрактограмме (рис. 1), составляют 6,14 Å, 5,94 Å и 17,68 Å, что хорошо согласуется с литературными данными для объемных кристаллов  $TbS_2$  [6].

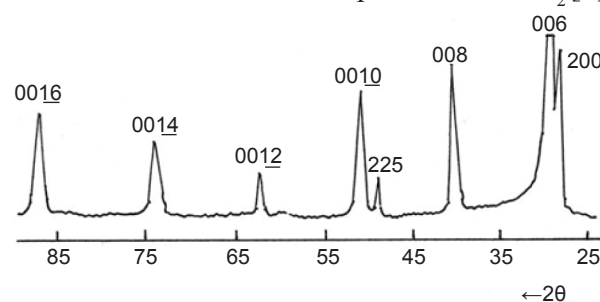


Рис. 1. Рентгенодифрактограмма плёнки  $TbSb_2$  (подложка ситалл, толщина плёнки — 0,8 мкм)

Согласно рентгеновского микроанализа пленки содержат  $33,4 \pm 0,1$  ат. % Tb и  $66,6 \pm 0,1$  ат. % Sb и по снимкам поверхности пленки, снятых во вторичных рентгеновских лучах Tb и Sb распределены достаточно

равномерно (рис. 2). Оже-спектральный анализ показал, что состав пленок по толщине в пределах ошибки эксперимента ( $\pm 3$  ат. %) не меняется.

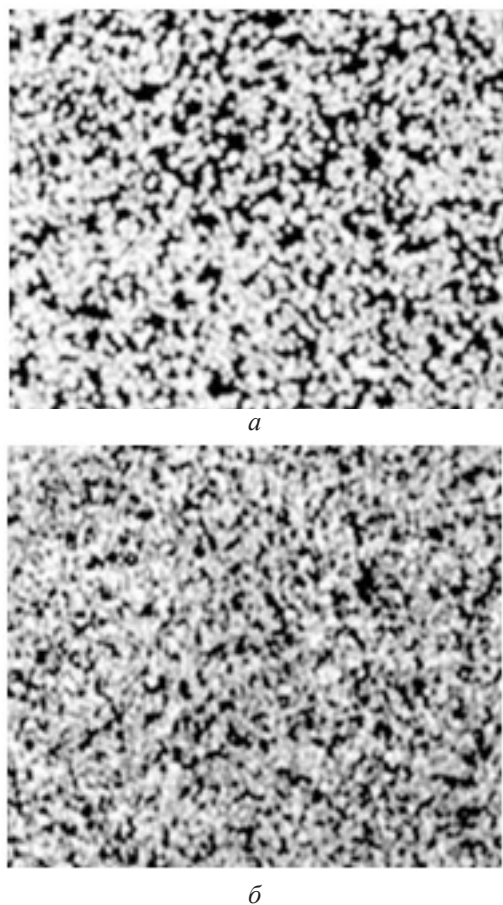


Рис. 2. Изображение распределения Tb (а) и Sb (б) на поверхности плёнки TbSb<sub>2</sub> в рентгеновских лучах

На рис. 3–5 представлены результаты измерений температурных зависимостей удельного электросопротивления, постоянной Холла и термо-ЭДС в температурном интервале 100–300 К. Как видно из рис. 3 с увеличением температуры удельное электросопротивление медленно и линейно увеличивается. Характер температурной зависимости и величина удельного электросопротивления свидетельствуют о металлическом характере плёнок. Из линейной температурной зависимости удельного электросопротивления можно предположить, что основным механизмом рассеяния носителей заряда является рассеяние на колебаниях решётки. Постоянная Холла в области температур 100–180 К незначительно увеличивается, а потом до 300 К остаётся постоянной (рис. 4). Постоянная Холла во всём температурном интервале

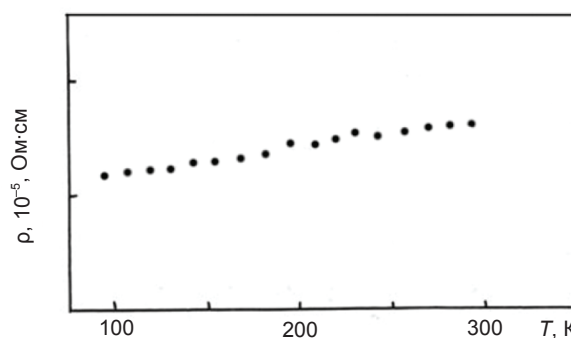


Рис. 3. Зависимость удельного электросопротивления от температуры

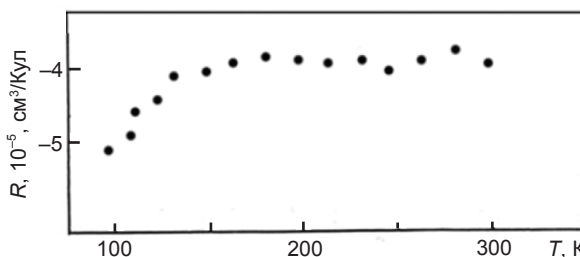


Рис. 4. Зависимость постоянной Холла от температуры

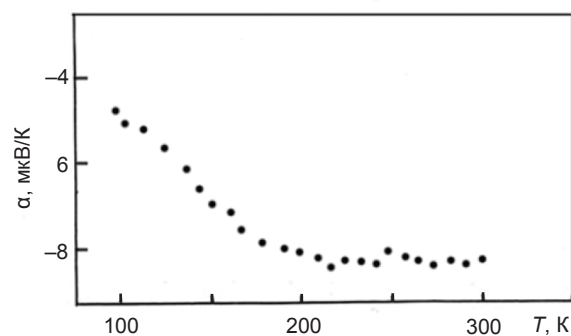


Рис. 5. Зависимость термо-ЭДС от температуры

имеет отрицательный знак, который не меняется. Несмотря на этот факт применение однозонной модели не корректно, поскольку измеренные значения постоянной Холла для исследованных нами плёнок ниже рассчитанных значений с допущением того, что один ион тербия даёт один свободный носитель заряда. Из температурной зависимости коэффициента термо-ЭДС (рис. 5) видно, что с увеличением температуры коэффициент термо-ЭДС незначительно увеличивается. Термо-ЭДС как и постоянная Холла являются отрицательными, что свидетельствует об электронах — носителях заряда в плёнках TbSb<sub>2</sub>. На основе измерения удельного электросопротивления и постоянной Холла вычислена температурная зависимость подвижности электронов проводимости (рис. 6). Как видно из

рисунка подвижность во всём температурном интервале с увеличением температуры уменьшается. Характер температурных зависимостей электрофизических параметров и их величины указывают на металлическую природу плёнок TbSb<sub>2</sub>.

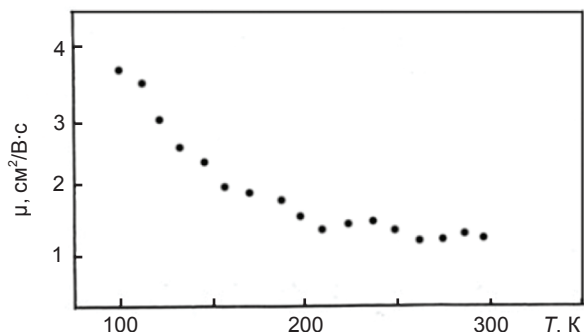


Рис. 6. Зависимость подвижности электронов от температуры

#### 4. ВЫВОДЫ

Разработана технология приготовления тонких кристаллических плёнок TbSb<sub>2</sub> методом вакуумно-термического испарения из двух независимых источников компонентов на различных подложках (монокристаллический кремний, ситалл и лейкосапфир). Установлены оптимальные температурные и геометрические параметры приготовления плёнок.

В области температур 100–300 К измерены температурные зависимости удельного электросопротивления, постоянной Холла и термо-ЭДС. Результаты измерения постоянной Холла и термо-ЭДС свидетельствуют о том, что носителями заряда в плёнках TbSb<sub>2</sub> являются электроны. Измеренные электрофизические параметры говорят о том, что по своей природе диантимонид иттербия близок к металлам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глурджидзе Л. Н., Джабуа З. У., Дадiani Т. О., Плавинский Т. Л., Гигинеишвили А. В., Санадзе В. В., Финкельштейн Л. Д., Ефремова Н. Н. Промежуточная валентность иттербия в пленках YbSb<sub>2</sub> // ФТТ. — 1988. — Т. 30, № 4. — С. 1171–1173.
2. Jabua Z. U., Gigineishvili A. V. Influence of Samarium ion valence on The Optical Properties of Samarium Diantimonide Thin Films // 25th Rare Earth Research Conference.

Tuscaloosa, Alabama, USA, 2008. — 167 p.

3. Jabua Z. U., Tabatadze I. G., Gigineishvili A. V. — 2011. — Vol. 47, No. 3. — P. 218–222.
4. Trapaidze I., Jabua Z., Kupreishvili I., Gigineishvili A., Iluridze G., Minashvili T., Davitadze K. The absorption spectra of PrSb<sub>2</sub> thin films of golden colour // 76 Annual Conference of The DPG (Deutschen Physikalischen Gesellschaft) and DPG-fruhjahrstagung 2012 (Spring Meeting) of the Condensed Matter Section (SKM). — Berlin, 2012. — 224 p.
5. Jabua Z. U., Kupreishvili I. L., Gigineishvili A. V. Optical properties of PrSb<sub>2</sub> thin films of dark blue colouring // Phys. Syrf. Engeen. — 2013. — Vol. 11, No. 1. — P. 22–25.
6. Eatough N. L., Hall Y. T. High pressure synthesis of rare earth diantimonides // Inorg. Chem. — 1969. — Vol. 8. — P. 1439–1445.

#### LITERATURA

1. Glurdzhidze L. N., Dzhabua Z. U., Dadiani T. O., Plavinskij T. L., Gigineishvili A. V., Sanadze V. V., Finkel'shtejn L. D., Efreмова N. N. Промежуточная валентность иттербия в пленках YbSb<sub>2</sub> // ФТТ. — 1988. — Vol. 30, No. 4. — P. 1171–1173.
2. Jabua Z. U., Gigineishvili A. V. Influence of Samarium ion valence on The Optical Properties of Samarium Diantimonide Thin Films // 25th Rare Earth Research Conference. Tuscaloosa, Alabama, USA, 2008. — 167 p.
3. Jabua Z. U., Tabatadze I. G., Gigineishvili A. V. — 2011. — Vol. 47, No. 3. — P. 218–222.
4. Trapaidze I., Jabua Z., Kupreishvili I., Gigineishvili A., Iluridze G., Minashvili T., Davitadze K. The absorption spectra of PrSb<sub>2</sub> thin films of golden colour // 76 Annual Conference of The DPG (Deutschen Physikalischen Gesellschaft) and DPG-fruhjahrstagung 2012 (Spring Meeting) of the Condensed Matter Section (SKM). — Berlin, 2012. — 224 p.
5. Jabua Z. U., Kupreishvili I. L., Gigineishvili A. V. Optical properties of PrSb<sub>2</sub> thin films of dark blue colouring // Phys. Syrf. Engeen. — 2013. — Vol. 11, No. 1. — P. 22–25.
6. Eatough N. L., Hall Y. T. High pressure synthesis of rare earth diantimonides // Inorg. Chem. — 1969. — Vol. 8. — P. 1439–1445.