

## ПРИГОТОВЛЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК TmS И ИХ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

М. Г. Тетелошвили, З. У. Джабуа, А. В. Гигинеишвили

*Грузинский технический университет, департамент инженерной физики,  
Тбилиси, Грузия*

Поступила в редакцию 03.05.2017

Разработана технология приготовления тонких кристаллических пленок TmS методом дискретного вакуумно-термического испарения предварительно синтезированного материала. При комнатной температуре измерены зависимости удельного электросопротивления и постоянной Холла от размеров характеризующих частиц приготовленных пленок. Показано, что электрические параметры пленок TmS сильно зависят от размеров характеризующих частиц.

**Ключевые слова:** пленка, напыление, удельное электросопротивление, постоянная Холла, характеризующая частица.

## ПРИГОТУВАННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК TmS ТА ЇХ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

М. Г. Тетелошвілі, З. У. Джабуа, А. В. Гігінеішвілі

Розроблено технологію приготування тонких кристалічних плівок TmS методом дискретного вакуумно-термічного випаровування попередньо синтезованого матеріалу. При кімнатній температурі виміряні залежності питомого електроопору та постійної Холла від розмірів характеризуючих частинок приготованих плівок. Показано, що електричні параметри плівок TmS сильно залежать від розмірів характеризуючих частинок.

**Ключові слова:** плівка, нанесення, питомий електроопір, постійна Холла, характеризуючі частинки.

## PREPARING OF TmS THIN FILMS AND THE ELECTROPHYSICAL PROPERTIES M. G. Teteloshvili, Z. U. Dzhabua, A. V. Gigineishvili

The technology of preparation of thin crystal films of TmS by method discrete vacuum-thermal evaporation of previously synthesized material is developed. At the room temperature dependences of specific resistance and Hall's constant on the sizes of the characterizing particles of the prepared films are measured. It is shown that electric parameters of films of TmS strongly depend on the sizes of the characterizing particles.

**Keywords:** a film, a dusting, specific resistance, Hall's constant, the characterizing particle.

Моносольфиды редкоземельных элементов (РЗЭ) являются перспективными материалами для микроэлектроники. На их основе разработаны тензодатчики, термогенераторы, устройства для записи и хранения информации и т. д. [1–5] Но не все моносольфиды РЗЭ, особенно в виде тонких пленок, исследованы достаточно полно. К таким малоисследованным материалам относится моносольфид тулия.

Целью представленной работы являлась разработка технологии приготовления пленок моносольфида тулия и исследование их электрофизических свойств.

Пленки TmS были приготовлены методом дискретного вакуумно-термического

испарения предварительно синтезированного материала на различных подложках: монокристаллический кремний, ситалл, сапфир, кварц. Подложки имели форму прямоугольного параллелепипеда размерами  $15 \times 8 \times 0,5$  мм. При напылении пленок вакуум в рабочей камере составлял  $\sim 10^{-5}$  Па, температура испарителя равнялась  $\sim 2750$  К, температура подложки варьировалась в области  $720\text{--}1200 \pm 5$  К. Расстояние от испарителя до подложки составляло 70 мм. Скорость напыления составляла  $\sim 68\text{--}75$  Å/с. Толщина пленок варьировалась в диапазоне 0,3–0,8 мкм. Многочисленные эксперименты показали, что оптимальным размером зерен напыляемого материала является 80–90 мкм.

Как показал рентгенодифракционный анализ при температурах подложки 720–910 К образуются однофазные поликристаллические пленки, только в отдельных случаях на рентгенодифрактограммах наблюдались дополнительные максимумы, соответствующие малым количествам  $Tm_2S_3$  и они, по-видимому, носили случайный характер. В диапазоне температур 935–1120 К пленки являлись однофазными, а при более высоких температурах однофазность нарушается — в пленках наблюдается вторая фаза  $Tm_5S_7$ . Таким образом, можно заключить, что оптимальной температурой подложки является 935–1120 К. Приготовленные пленки имели темно-желтый цвет.

Рентгеновский микронзондовый анализ показал, что пленки содержат 50,2 % Tm и 49,8 % S. Согласно снимкам поверхности пленок снятых во вторичных рентгеновских лучах, компоненты распределены равномерно.

Анализ рентгенодифрактограмм и соответствующих электронограмм показал, что приготовленные пленки имеют кубическую решетку типа NaCl с параметром решетки  $a = 5,39 \pm 0,05 \text{ \AA}$ , что хорошо согласуется с параметром решетки объемного кристалла TmS ( $a = 5,417 \text{ \AA}$ ) [6].

Статистическая обработка снимков снятых электронным сканирующим микроскопом с поверхности пленок TmS приготовленных при температуре подложки 980 К, показала, что размер характеризующих частиц изменяется в пределах 18–57 нм, при этом ~70 % частиц имеют диаметр 32 нм.

Исследования показали, что параметр решетки пленок зависит от размера характеризующих частиц, в частности, с увеличением этого размера увеличивается параметр решетки, что, по-видимому, связано с влиянием сил поверхностных напряжений до и после конденсации пленки на подложке: частицам малых размеров соответствует большее давление, которое формируется внутри частиц под влиянием поверхностных сил. Эксперименты показали, что характерные размеры частиц зависят от температуры подложки в случае постоянных других технологических параметров (температура испарителя, состав испаряемого

вещества и размер зерен порошка, расстояние от испарителя до подложки). В частности, при снижении температуры подложки снижаются размеры характеризующих частиц. Например, при температуре подложки 930 К размеры характеризующих частиц равны ~18 нм, а при температуре подложки 1115 К — ~48 нм.

При комнатной температуре проведено измерение зависимости удельного электросопротивления и постоянной Холла от размеров характеризующих частиц. Все измерения проводили на одних и тех же однофазных пленках. Удельное электрическое сопротивление измеряли компенсационным методом, постоянную Холла — при постоянном магнитном поле напряженностью  $16 \times 10^5 \text{ А/м}$ . Точность измерения удельного сопротивления была не хуже 3–4 %, а постоянной Холла — 8–10 %. На рис. 1 показана зависимость удельного сопротивления от размера характеризующих частиц. Как видно, при увеличении размера характеризующих частиц удельное сопротивление возрастает. Нами также измерено температурного коэффициента сопротивления от размера зерна, который показал, что увеличения размера зерен температурный коэффициент сопротивления возрастает от  $\sim 2 \cdot 10^{-4}$  до  $50 \cdot 10^{-4} \text{ К}$  (рис. 2). Что касается постоянной Холла, с увеличением размеров характеризующих частиц она уменьшается, как это видно из рис. 3. Постоянная Холла имеет отрицательный знак, что свидетельствует о том, что носителями заряда являются электроны. На основе экспериментальных данных рассчитана концентрация электронов при однозонном приближении (рис. 3). Как видно из рисунка с увеличением размеров

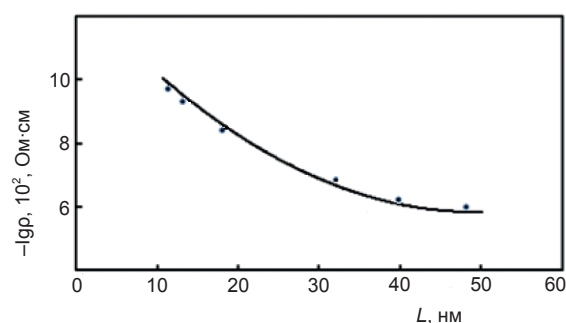


Рис. 1. Зависимость удельного сопротивления от размеров характеризующих частиц в пленках TmS

зерен концентрация электронов уменьшается, что, в свою очередь, повышает температурный коэффициент сопротивления.

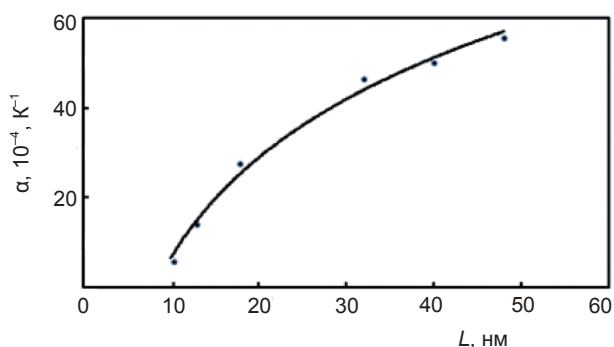


Рис. 2. Зависимость температурного коэффициента сопротивления от размеров характеризующих частиц в пленках TmS

Таким образом, измерения показывают, что электрофизические параметры тонких пленок моносulfида туллия сильно зависят от размеров зерен.

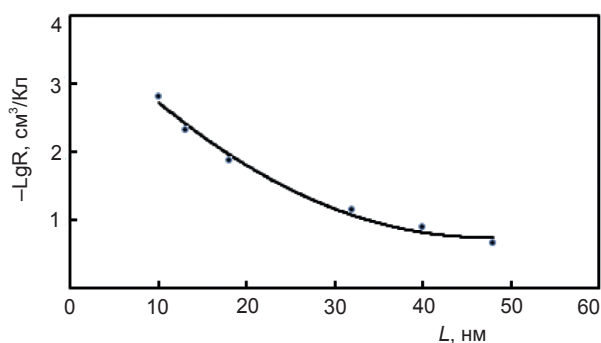


Рис. 3. Зависимость постоянной Холла от размеров характеризующих частиц в пленках TmS

Однозначное объяснение характера зависимости электрофизических параметров от размеров характеризующих частиц в пленках TmS пока невозможно и требует проведения дополнительных экспериментов.

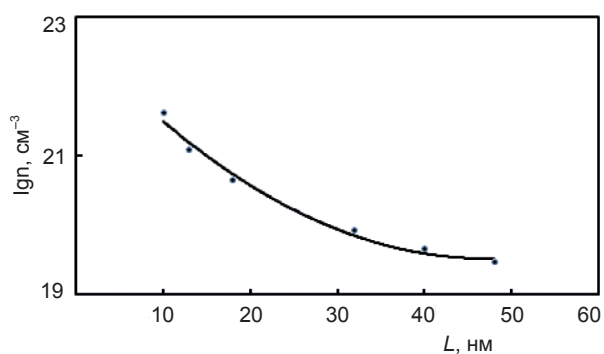


Рис. 4. Зависимость концентрации электронов от размеров характеризующих частиц в пленках TmS

## ЛИТЕРАТУРА

1. Miodushevsky P. V. Potential application of  $SmS_x$  material in microelectronics // ICEP Proceedings. — 2001. — P. 336–339.
2. Parashar V., Pandey Shiv K., Pandey Avinash C. Low-temperature synthesis of quantum size gadolinium monosulfide (GdS) nanoparticles and their pathogen capture efficiency. — Chem. Com. — 2010. — Vol. 46. — P. 3143–3145.
3. Высоких А. С., Миодушевский П. В., Андреев П. О. Получение изделий из SmS для электроники // Вестник Тюменского государственного университета. Химия. — 2011. — № 5. — С. 179–185.
4. Jabua Z. U., Kupreishvili I. L., Giginishvili A. V. Preparation and electrical and optical properties of TbS films // Inorganic Materials. — 2014. — Vol. 50, No. 4. — P. 330–333.
5. Semei V., Cahay M., Thien Binh Vu. Patchwork field emission properties of lanthanum monosulfide thin films // J. Vac. Sci. Technol. — 2006. — Vol. 24, No. 5. — P. 2412–2416.
6. Ярембаш Е. И., Елисеев А. А. Халкогениды редкоземельных элементов. — М.: «Наука», 1975. — 258 с.

## REFERENCES

1. Miodushevsky P. V. Potential application of  $SmS_x$  material in microelectronics // ICEP Proceedings. — 2001. — P. 336–339.
2. Parashar V., Pandey Shiv K., Pandey Avinash C. Low-temperature synthesis of quantum size gadolinium monosulfide (GdS) nanoparticles and their pathogen capture efficiency. — Chem. Com. — 2010. — Vol. 46. — P. 3143–3145.
3. Vysokih A. S., Miodushevskij P. V., Andreev P. O. Poluchenie izdelij iz SmS dlya elektroniki // Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Himiya. — 2011. — No. 5. — P. 179–185.
4. Jabua Z. U., Kupreishvili I. L., Giginishvili A. V. Preparation and electrical and optical properties of TbS films // Inorganic Materials. — 2014. — Vol. 50, No. 4. — P. 330–333.
5. Semei V., Cahay M., Thien Binh Vu. Patchwork field emission properties of lanthanum monosulfide thin films // J. Vac. Sci. Technol. — 2006. — Vol. 24, No. 5. — P. 2412–2416.
6. Yarembash E. I., Eliseev A. A. Halkogenidy redkozemel'nyh elementov. — M.: «Nauka», 1975. — 258 p.