

PACS: 62.20.-x; 73.61.Le; 73.40.Rw; 77.22.Ch; 77.55.+f

МИКРОТВЕРДОСТЬ ПЛЕНОК МОНОАНТИМОНИДА ТЕРБИЯ

Н. Туркадзе¹, З. Джабуа¹, А. Гигинеишвили¹

¹Грузинский технический университет. Департамент физики,
ул. Коставы, 77, Тбилиси, 0160, Грузия

E-mail: Z.Jabua@hotmail.com

Поступила в редакцию 29.06.2018

Исследована микротвердость тонких кристаллических пленок моноантимонида тербия, приготовленных на различных подложках: плавленный кварц, монокристаллический кремний, ситалл, сапфир. Пленки приготовлены методом дискретного вакуумно-термического испарения, предварительно синтезированного объемного материала. Проведено исследование микротвердости приготовленных пленок на ультрамикротвердомере DUH-211S с индентором Виккерса. Показана, что микротвердость пленок зависит как от глубины индентирования так и от материала подложки.

Ключевые слова: дискретное вакуумно-термическое испарение, микротвердость, моноантимонид тербия, пленка, подложка

MICROHARDNES OF TERBIUM MONOANTIMONIDE FILMS

Nino Turkadze¹, Zaur Jabua¹, Akaki Gigineishvili¹

¹Georgian Technical University. Department of Physics, 77 Kostavy Str., Tbilisi, 0160, Georgia

The microhardness of the thin crystal films of monoantimonide of terbium prepared on various substrates is investigated: fused silica, monocrystal silicon, polycrystalline glass. sapphire. Films are prepared by method of discrete vacuum-thermal evaporation of the beforehand synthesized volume material. The research of a microhardness of the prepared films on an ultra microhardness gage of DUH-211S is conducted by Vickers's indenter. It is shown that the microhardness of films depends both on depth of a dimpling and on substrate material.

Keywords: discrete vacuum thermal evaporation, microhardness, terbium monoantimonide, film, substrate

МІКРОТВЕРДІСТЬ ПЛІВОК МОНОАНТИМОНІДУ ТЕРБІЮ

Н. Туркадзе¹, З. Джабуа¹, А. Гігінеішвілі¹

¹Грузинський технічний університет. Департамент фізики,
вул. Костави, 77, Тбілісі, 0160, Грузія

Досліджено мікротвердість тонких кристалічних плівок моноантимоніду тербію, приготовлених на різних підкладках: плавлений кварц, монокристалічний кремній, ситалл, сапфір. Плівки приготовлені методом дискретного вакуумно-термічного випаровування, попередньо синтезованого об'ємного матеріалу. Проведено дослідження мікротвердості приготовлених плівок на ультрамікротвердомірі DUH-211S з індентором Віккерса. Доведено, що мікротвердість плівок залежить як від глибини індентування так і від матеріалу підкладки.

Ключові слова: дискретне вакуумно-термічне випаровування, мікротвердість, моноантимонід тербію, плівка, підкладка

ORCID IDs

Nino Turkadze: <https://orcid.org/0000-0002-3120-8484>

Zaur Jabua: <https://orcid.org/0000-0002-3656-6319>

Akaki Gigineishvili: <https://orcid.org/0000-0002-3461-4516>

1. ВВЕДЕНИЕ

Соединения редкоземельных элементов (РЗЭ) давно привлекают внимание исследователей как с практической, так и теоретической точки зрения [1 – 7], они являются

удобными объектами для исследования фундаментальных явлений физики твердого тела, но не все соединения РЗЭ исследованы достаточно полно, особенно это относится к тонким пленкам. К таким малоисследован-

ным материалам относится TbSb. Известно, что определяющими материалами современной техники и науки являются тонкие пленки, приготовленные конденсацией в вакууме. Их интересным и малоизученным свойством является микротвердость, прочность и т.д. Также нужно отметить, что приближение реальных механических свойств пленок к теоретически расчетным является актуальной проблемой современной физики твердого тела.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТА

В представленной работе исследована микротвердость пленок TbSb, приготовленных методом дискретного вакуумо-термического испарения предварительно синтезированного объемного материала. Подложками для пленок служили плавленый кварц, монокристаллический кремний, ситалл и сапфир в виде пластин с формой прямоугольного параллелепипеда с размерами 15 x 8 x 1 мм. Пленки имели толщину 1,2 мкм. Состав пленок соответствовал стехиометрии – $49,9 \pm 0,1$ ат % Tb и $50,1 \pm 0,1$ ат % Sb. Согласно рентгенографическим и электронографическим исследованиям пленки имели кубическую структуру типа NaCl с параметром решетки $a = 6,15 \pm 0,06$ Å. Согласно Оже-спектральным исследованиям состав пленок по толщине в пределах ошибки эксперимента ($\pm 0,03$ ат %) оставался постоянным, а в соответствии со снимками поверхности пленок во вторичных рентгеновских лучах компоненты распределены равномерно.

В данной работе микротвердость пленок TbSb была измерена на установке марки DUN-211S в режиме нагрузки-разгрузки с использованием индентора Виккерса в диапазоне нагрузки 1 – 1500 мН. Время задержки при максимальной нагрузке составляло 10 сек. А в конце разгрузки – 5 сек. Толщина всех исследованных пленок, напыленных на подложках из кварца, кремния, ситалла и сапфира была одинаковой и составляла 1,2 мкм. Максимальная глубина погружения индентора равнялась 1 мкм, и таким образом она не превышала толщину пленок. Точность измерения была порядка ~ 3 %.

На рис. 1. представлена зависимость микротвердости пленок TbSb, напыленных на различные подложки от глубины погружения индентора. Из рисунка видно, что с увеличением глубины индентирования микротвердость увеличивается. Это увеличение особенно заметно для пленок, напыленных на сапфировой подложке, затем следуют пленки, приготовленные на кремниевой и ситалловой подложках и наконец на кварцевой подложке.

В табл. 1. Приведены данные микротвердости материалов подложки и пленок TbSb.

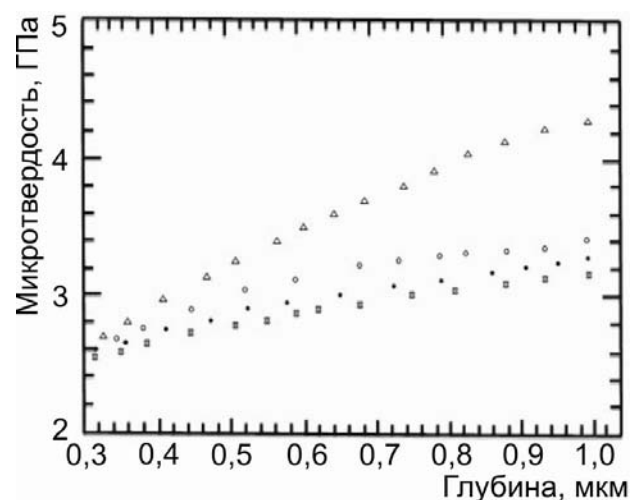


Рис. 1. Зависимость микротвердости пленок TbSb от глубины погружения индентора в подложки из: Δ - сапфира, ° - кремния, • - ситалла, □ - кварца

Из табл. 1 следует, что наименьшую твердость имеет TbSb, а значения микротвердости по увеличению расположены следующем порядке: кварц, кремний, ситалл и сапфир, т. е. твердость TbSb по сравнению с материалами подложки меньше. Таким образом, имеется система «мягкая» пленка «твердая» подложка. Как показали результаты данного измерения в такой системе имеем: чем больше разность твердостей материала пленки и материала подложки тем больше проявляется влияние подложки на твердость пленки. Аналогичные зависимости были замечены для пленок меди на кремниевой подложке [8], для пленок алюминия на стеклянной и кремниевой подложках [9], для пленок серебра на кремниевой подложке [10]. Все данные работ [8 - 10], касаются систем «мягкая» пленка «твердая» подложка.

Таблица 1.
Значения твердости некоторых материалов.

Материал	Значение твердости, 10^9 Па	
Кварц	8,8	[11]
Кремний	11	[12]
Ситалл	8,6	[13]
Сапфир	22,24	[14]
TbSb	2,57	[14]

3. ВЫВОДЫ

Таким образом, показано, что в системе «мягкая» пленка «твердая» подложка, какой является исследованная нами система «TbSb – подложки (кварц, кремний, ситалл, сапфир)» микротвердость пленки увеличивается с увеличением глубины индентирования, и эта зависимость тем ярче проявляется чем больше разность между твердостью подложки и материалом пленки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gasgnier M. Rare Earth Compounds (Oxides, Sulfides, Silicides, Boron, ...) as Thin Films and Crystals // *Phys. Status Solidi A*. – 1989. – Vol. 114, No. 11. – P. 11-71.
2. Кудреватых Н. В., Валегов А. С. Магнетизм редкоземельных металлов и их интерметаллических соединений. – Екатеринбург. Издательство Уральского университета. – 2015. – 196 с.
3. Verna A. S. Electronic and optical properties of rare-earth chalcogenides and pnictides // *African physical review*. – 2009. – Vol. 3. – P. 11-29.
4. Джабуа З. У. Синтез и электрические свойства пленок TbSb // *Неорг. мат.* – 2017. – Том. 53, № 7. – С. 1-3.
5. Nakane H., Yamazaki T., Yosizawa S., Numazava T. Specific heat and magnetic properties of GdSb // *Cryocoolers 12*. – 2002. – Part 12. – P. 467-471.
6. Singh S., Singh R. K., Gour A. High pressure phase transition and stability of CeSb, LaSb and LuSb with NaCl-type structure // *International Journal of Modern Physics B (INMPB)*. – 2010. – Vol. 24, issue 18. – P. 3543-3550.
7. Шугуров А. Р., Панин А. В., Оскомов К. В. Особенности определения механических ха-

- рактеристик тонких пленок методом наноиндентирования // *Физика твердого тела*. – 2008. – Том. 50, вып. 6. – С. 1007-1012.
8. Shaohua Chen, Lei liu, Tzuchiang Wang. Investigation of the mechanical properties of thin films by nanoindentation, considering the effects of thickness and different coating-substrate combinations // *Surface and Coatings Tecnology*. – 2005. – Vol. 191. – P. 25-32.
 9. Панин А. В., Шугуров А. Р., Оскомов К. В. Исследование механических свойств тонких пленок Ag на кремниевой подложке методом наноиндентирования // *Физика твердого тела*. – 2005. – Том. 47, вып. 11. – С. 1973-1977.
 10. Лебедева С. И. Микротвердость минералов. – М. – 1977. – 117 с.
 11. Глазов В. М., Вигдорович В. Н. Микротвердость металлов. – М., Металлургиздат. – 1962. – 224 с.
 12. Богородицкий Н. П., Пасынков В. В., Тареев Б. М. Электротехнические материалы: Учебник для вузов. 7-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние. – 1985. – 304 с.
 13. Синани А. Б., Дынкин Н. К., Литвинов Л. А., Коневский П. В., Андреев Е. П. Твердость сапфира в различных кристаллографических направлениях // *Известия Российской академии наук*. – 2009. – Том. 73, № 10. – С. 1463-1465.
 14. Абдусалямова М. Н. Антимониды и висмутиды редкоземельных элементов. Диссертации на соискание ученой степени доктора химических наук. – Свердловск 1987. – 319 с.

REFERENCES

1. Gasgnier M. Rare Earth Compounds (Oxides, Sulfides, Silicides, Boron, ...) as Thin Films and Crystals // *Phys. Status Solidi A*. – 1989. – Vol. 114, No. 11. – P. 11-71.
2. Kudrevatykh N. V., Valegov A. S. Magnetizm redkozemelnyih metallov i ih intermetallicheskih soedineniy. – Ekaterinburg. Izdatelstvo Ural'skogo universiteta. – 2015. – 196 s.
3. Verna A. S. Electronic and optical properties of rare-earth chalcogenides and pnictides // *African physical review*. – 2009. – Vol. 3. – P. 11-29.
4. Jabua Z. U. Sintez i elektricheskie svoystva plenok TbSb // *Neorg. mat.* – 2017. – Tom. 53, № 7. – S. 1-3.
5. Nakane H., Yamazaki T., Yosizawa S., Numazava T. Specific heat and magnetic properties of GdSb // *Cryocoolers 12*. – 2002. – Part 12. – P. 467-471.

6. Singh S., Singh R. K., Gour A. High pressure phase transition and stability of CeSb, LaSb and LuSb with NaCl-type structure // *International Journal of Modern Physics B (INMPB)*. – 2010. – Vol. 24, issue 18. – P. 3543-3550.
7. Shugurov A. R., Panin A. V., Oskomov K. V. Osobnosti opredeleniya mehanicheskikh harakteristik tonkih plenok metodom nanoindentirovaniya // *Fizika tverdogo tela*. – 2008. – Tom. 50, vyp. 6. – S. 1007-1012.
8. Shaohua Chen, Lei liu, Tzuchiang Wang. Investigation of the mechanical properties of thin films by nanoindentation, considering the effects of thickness and different coating-substrate combinations // *Surface and Coatings Technology*. – 2005. – Vol. 191. – P. 25-32.
9. Panin A. V., Shugurov A. R., Oskomov K. V. Issledovanie mehanicheskikh svoystv tonkih plenok Ag na kremnievoy podlojke metodom nanoindentirovaniya // *Fizika tverdogo tela*. – 2005. – Tom. 47, vyp. 11. – S. 1973-1977.
10. Lebedeva S. I. Mikrotverdost mineralov. – M. – 1977. – 117 s.
11. Glazov V. M., Vigdorovich V. N. Mikrotverdost metallov. – M., Metallurgizdat. – 1962. – 224 s.
12. Bogoroditskiy N. P., Pasyukov V. V., Tareev B. M. Elektrotehnicheskie materialy: Uchebnik dlya vuzov. 7-e izd., pererab. i dop. – L.: Energoatomizdat. Leningr. otd-nie. – 1985. – 304 s.
13. Sinani A. B., Dynkin N. K., Litvinov L. A., Konevskiy P. V., Andreev E. P. Tverdost sapfira v razlichnykh kristallograficheskikh napravleniyah // *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk*. – 2009. – Tom. 73, № 10. – S. 1463-1465.
14. Abdusalyamova M. N. Antimonidy i vismutidy redkozemelnykh elementov. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni doktora himicheskikh nauk. – Sverdlovsk 1987. – 319 s.