

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЁНОК TbSb₂

З. У. Джабуа

*Департамент физики Грузинского технического университета,
Тбилиси, Грузия*

Поступила в редакцию 19.02.2016

Разработана технология приготовления тонких кристаллических плёнок TbSb₂ методом вакуумно-термического испарения из двух независимых источников Tb и Sb. При комнатной температуре, в области энергии фотонов 0,08–5 эВ, измерены спектры отражения и поглощения. Вычислены спектральные зависимости действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости, функции потерь, показателей преломления и поглощения. Проанализировано поведение спектральных зависимостей оптических параметров.

Ключевые слова: плёнка, подложка, отражение, поглощение, функция потерь, диэлектрическая проницаемость.

ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТОНКИХ ПЛІВОК TbSb₂

З. У. Джабуа

Розроблено технологію приготування тонких кристалічних плівок TbSb₂ методом вакуумно-термічного випаровування з двох незалежних джерел Tb і Sb. При кімнатній температурі, на ділянці енергії фотонів 0,08–5 еВ, виміряні спектри відображення і поглинання. Обчислені спектральні залежності дійсної та уявної частини діелектричної проникності, функції втрат, показників заломлення і поглинання. Проаналізовано поведінку спектральних залежностей оптичних параметрів.

Ключові слова: плівка, підкладка, відображення, поглинання, функції втрат, діелектрична проникність.

THE OPTICAL PROPERTIES OF THIN FILMS TbSb₂

Z. U. Dzhabua

A processes has been developed for growth of thin crystalline films TbSb₂ by thermal evaporation using Tb and Sb separate sources. The room-temperature optical spectra (reflectivity, absorption, loss-function, real and imiginary parts of dielectrical permitivity, index of refraction and absorption) have been studied at photon energy 0.08–5 eV. The behavior and energy position of features in the spectra have been analyzed.

Keywords: film, substrates, refraction, absorption, loss-function, dielectrical permitivity.

1. ВВЕДЕНИЕ

Диантимониды редкоземельных элементов (РЗЭ) являются интересными материалами с научной точки зрения и для практического применения. Например, в тонких плёнках диантимонидов Yb, Sm, Dy ион РЗЭ проявляет переменную валентность, в зависимости от технологических режимов приготовления можно получать плёнки с различной валентностью иона РЗЭ 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 Tb и Sb. В представленной работе разработана технология приготовления

тонких кристаллических плёнок TbSb₂ на различных кристаллических подложках и проведено исследование оптических свойств приготовленных плёнок при комнатной температуре в области энергии фотонов 0,08–5,5 эВ.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ

Однофазные плёнки TbSb₂ приготовлены методом вакуумно-термического испарения из двух независимых источников Tb и Sb на подложках, изготовленных из ситалла, лейкосапфира и монокристаллического кремния. Исходными компонентами служили Tb и Sb с содержанием основного компонента соответственно 99,9 % и 99,9999 %. Температура подложки при приготовлении

плёнок составляла 900–960 К. Углы наклона испарителей Tb и Sb по отношению нормали подложки были одинаковыми и составляли $\sim 40^\circ$. Расстояния от испарителей Tb и Sb до подложки равнялись соответственно 40 и 45 мм. Толщина приготовленных плёнок варьировалась в пределах 1,1–2,2 мкм, скорость напыления была равна $\sim 75 \text{ \AA}/\text{с}$.

Рентгеновский микроанализ показал, что плёнки содержали 33,4 ат. % Tb и 66,4 ат. % Sb. Фазовый анализ плёнок проводили рентгеновским методом. Рентгенограммы снимали на CuK_α 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 TbSb_2 . Эксперименты показали, что материал подложки не оказывает влияния на кристалличность и фазовый состав плёнок. Пребывание плёнок на открытом воздухе в течение 6–7 дней вызывает изменение цвета плёнок и появление на рентгенодифрактограммах дополнительных максимумов, не принадлежащих TbSb_2 , что свидетельствует о нестабильности плёнок на воздухе. Из плёнок TbSb_2 были сняты изображения поверхности во вторичных рентгеновских лучах, которые показали, что элементы распределены довольно равномерно.

В научной литературе отсутствуют данные об оптических свойствах плёнок TbSb_2 . В данной работе при комнатной температуре в области энергии фотонов 0,08–5 эВ получены спектры отражения и поглощения плёнок. В результате обработки спектров методом Крамерса-Кронига вычислены спектральные зависимости основных оптических параметров, таких как действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости, функция потерь, коэффициенты отражения и поглощения.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ рентгенографических исследований показал, что приготовленные нами плёнки TbSb_2 являются однофазными, имеют ромбическую сингонию (структурный тип

SmSb_2) с параметрами решётки 6,14 \AA , 5,94 \AA и 17,68 \AA , что хорошо согласуется с литературными данными для объемных кристаллов TbSb_2 [6].

Типичный спектр отражения (R) и поглощения (α) плёнки TbSb_2 приведен на рис. 1. В спектре отражения при энергиях $\hbar\omega \leq 0,38 \text{ эВ}$ проявляется хорошо сформированный плазменный край, которому в глубокой инфракрасной области сопутствует высокая отражательная способность ($R \approx 0,75$). Минимум отражения расположен при энергии 0,39 эВ, а полоса отражения, которая обычно связана с межзонными переходами, расположена в относительно длинноволновом диапазоне максимумов при энергии 0,81 эВ. Определенные структуры также проявляются при энергиях 1,6 эВ и 2,9 эВ. Нужно отметить также резкое уменьшение отражения в видимой области спектра (как это видно на отдельном фрагменте), хотя для обычных межзонных переходов истощение осциляторных сил происходит только в вакуумном ультрафиолетовом диапазоне.

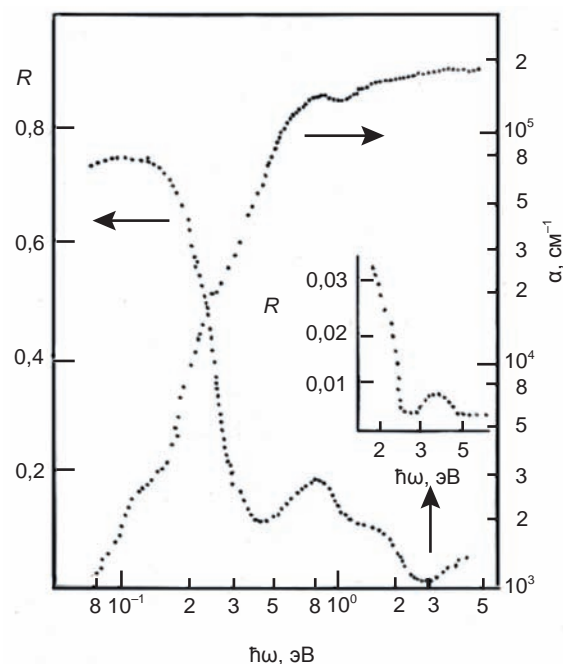


Рис. 1. Спектральные зависимости отражения (R) и поглощения (α) плёнок

В плёнках TbSb_2 край поглощения покрывает довольно широкую спектральную область — монотонное уменьшение коэффициента поглощения происходит от 0,5 эВ до 0,08 эВ. Нужно подчеркнуть,

что данный край поглощения ни энергетическим положением, ни характером частотной зависимости не может быть связан только с электронными переходами из валентной зоны в зону проводимости. В пользу этого соображения говорит спектр мнимой части диэлектрической проницаемости (рис. 2), максимум которой проявляется уже при энергиях 0,21 эВ и 0,30 эВ. В «золотой» фазе SmS максимум мнимой части диэлектрической проницаемости приписывается к энергетическим переходам $f-d$, которые существуют в энергетической щели в зоне проводимости [7].

Структуры в спектре отражения (рис. 4) при энергиях 1,6 эВ и 3,5 эВ обусловлены переходами электронов из валентной зоны в зону проводимости. Интервал между этими максимумами довольно хорошо согласуется с энергией расщепления конечной энергии электрона на t_{2g} и l_g состояния под воздействием кристаллического поля, хотя к такой интерпретации нужно относиться осторожно, поскольку как было сказано выше коэффициент отражения очень мал.

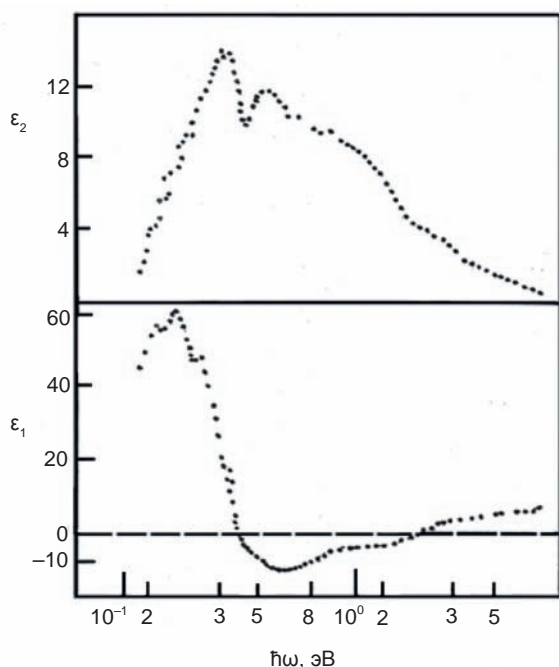


Рис. 2. Спектральные зависимости действительной (ϵ_1) и мнимой (ϵ_2) части диэлектрической проницаемости плёнок

Из рис. 2 видно, что кривая спектральной зависимости действительной части

диэлектрической проницаемости дважды принимает нулевое значение, с положительным наклоном при 1,71 эВ и с отрицательным наклоном при 0,25 эВ. Первое нулевое пересечение связано с плазменными колебаниями носителей заряда, а второе, которое по энергии совпадает с максимумом ϵ_2 , вероятно, связано с $f-d$ переходами, как это имеет место в SmS [7, 8]. Существенные величины ϵ_1 в инфракрасной области спектра еще раз подтверждают мнение о том, что в зонном спектре пленок TbSb₂ должна существовать узкая энергетическая щель.

Из анализа спектральных зависимостей показателей преломления и поглощения (рис. 4) и функции потерь (рис. 3) можно заключить, что в поглощении существенную роль играет единственный механизм при энергии максимума показателя поглощения 0,4 эВ. Это подтверждает пологий характер хода показателя поглощения и резкое уменьшение показателя преломления в данной области энергии. Хорошо сформированный основной максимум функции потерь по своему энергетическому положению хорошо согласуется с энергией нулевого значения ϵ_1 — 1,71 эВ, что еще раз подтверждает основополагающую роль плазменных колебаний свободных носителей заряда в дисперсии оптических параметров при данной энергии.

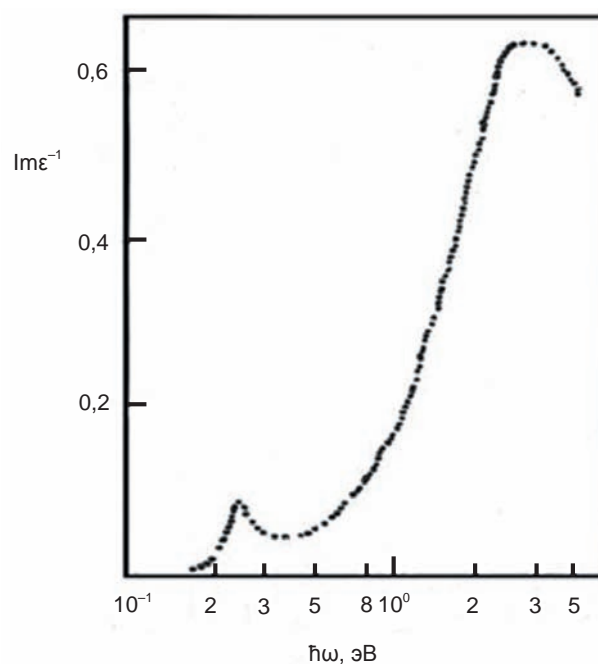


Рис. 3. Спектр функции потерь

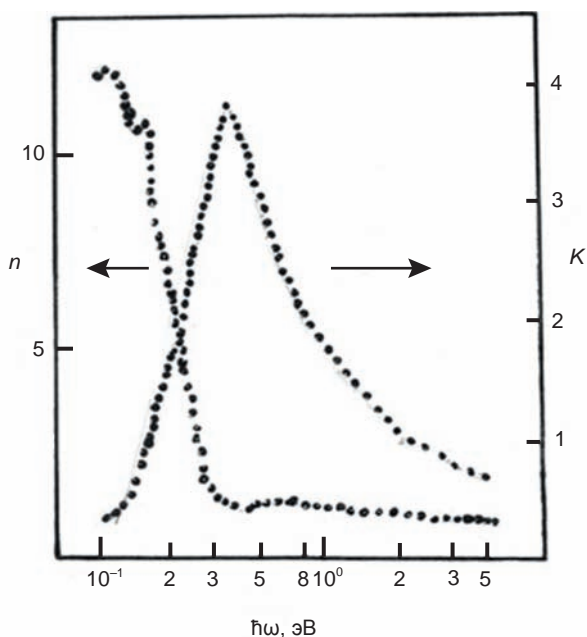


Рис. 4. Спектры показателей отражения (n) и поглощения (k)

4. ВЫВОДЫ

Разработана технология приготовления тонких кристаллических плёнок $TbSb_2$ методом вакуумно-термического испарения из двух независимых источников компонентов.

При комнатной температуре в области энергии фотонов 0,08–5 эВ измерены спектры отражения и поглощения. Рассчитаны спектры действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости, функции потерь, коэффициенты отражения и переходы электронов из валентной зоны в зону проводимости. Показано, что в поглощении основную роль играет один определённый механизм, с максимумом показателя поглощения в близости 0,4 эВ, и плазменные колебания свободных носителей заряда играют определяющую роль в дисперсии оптических параметров плёнок $TbSb_2$. Высокие значения действительной части диэлектрической проницаемости в инфракрасной области спектра свидетельствует о существовании узкой энергетической щели в зонном спектре плёнок $TbSb_2$.

Автор выражает глубокую благодарность С. Цеве за помощь в проведении оптических экспериментов и обсуждении результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глурджидзе Л. Н., Дадяни Т. О., Плавинский Т. Л., Гигинеишвили А. В.,

Санадзе В. В., Финкельштейн Л. Д., Ефремова Н. Н. Промежуточная валентность иттербия в плёнках $YbSb_2$ // 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 $PrSb_2$ 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 $PrSb_2$ thin films of dark blue colouring // Phys. Surf. Engen. — 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.
7. Travaglini G., Wachter P. Low-energy electronic structure of intermediate-valence «golden» SmS // Phys. Rev. — 1984. — Vol. 30, No. 10. — P. 5877–5881.
8. Фарберович О. В. Зонная структура и фазовый переход полупроводник-металл в соединении SmS // ФТТ. — 1979. — Т. 21. — С. 3434–3439.

LITERATURA

1. Glurdzhidze L. N., Dadiani T. O., Plavinskij T. L., Gigineishvili A. V., Sanadze V. V., Finkel'shtejn L. D., Efremova N. N. Promezhutochnaya valentnost' itterbiya v plepkah $YbSb_2$ //FTT. — 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_2 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., Giginishvili A. V. Optical properties of PrSb_2 thin films of dark blue colouring // Phys. Syrf. Engen. — 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.
 7. Travaglini G., Wachter P. Low-energy electronic structure of intermediate-valence «golden» SmS // Phys. Rev. — 1984. — Vol. 30, No. 10. — P. 5877–5881.
 8. Farberovich O. V. Zonnaya struktura i fazovyy perehod poluprovodnik-metall v soedinenii SmS // FTT. — 1979. — Vol. 21. — P. 3434–3439.