

Спектры пленок SmS в дальней и средней ИК областях

© Ю.В. Улашкевич, В.В. Каминский, С.М. Соловьев, Н.В. Шаренкова

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

E-mail: vladimir.kaminski@mail.ioffe.ru

Поступила в Редакцию 20 мая 2019 г.

В окончательной редакции 28 мая 2019 г.

Принята к публикации 28 мая 2019 г.

Основные особенности зонной структуры, выявленные на объемных образцах, сохраняются в тонких поликристаллических пленках SmS: дно зоны проводимости образовано состояниями *s*-типа, на расстоянии 0.04–0.065 эВ от дна зоны проводимости в запрещенной зоне имеются примесные донорные уровни.

Ключевые слова: поликристаллические пленки сульфида самария, дальняя и средняя ИК области, зонная структура.

DOI: 10.21883/FTP.2019.11.48452.9163

1. Введение

Халькогениды самария используются в тензодатчиках, являются перспективными материалами для термопреобразователей и газоанализаторов [1–3]. Замена объемных материалов на тонкопленочные приводит к изменению их характеристик. Хотя исследования явления переноса в тонкопленочных материалах на основе SmS ведутся давно, спектральных измерений этих материалов крайне мало. Нам известна лишь одна давняя работа [4], связанная с исследованиями пленок SmS, однако она проведена в средней и высокочастотной ИК областях. В настоящей работе исследованы спектры поглощения в дальней и средней ИК областях пленок SmS, нанесенных на прозрачные в данных областях подложки.

2. Образы

Поликристаллические пленки SmS толщиной 0.2–0.8 мкм были получены по известной методике [5] на тонких пластинках сапфира (0.3 мм) или кремния (0.5 мм). В первом случае существует область непрозрачности материала подложки (330–1250 см⁻¹), во втором — спектральные измерения можно проводить во всем исследуемом диапазоне, поскольку Si был достаточно чистым от посторонних примесей, чтобы не вносить искажения в проводимые измерения.

3. Экспериментальная часть

Спектры пропускания пленок и подложек в дальней ИК области (FIR) измерены при комнатной температуре с помощью ИК спектрометра IFS-113v фирмы Boker с разрешением 2 см⁻¹. Спектры пропускания этих же пленок и подложек в средней ИК области (MIR) измерены при комнатной температуре с помощью ИК спектрометра 1720X фирмы Perkin-Elmer с разрешением 4 см⁻¹. Для образцов проводилось несколько измерений, спектры усреднялись и „сшивались“ на общем

краю диапазонов FIR и MIR. Коэффициент поглощения пленок SmS рассчитывался как натуральный логарифм пропускания образцов с учетом их толщины и фазового состава за вычетом поглощения их подложек.

Рентгеноструктурный анализ (РСА) образцов был проведен дифрактометрическим методом (θ – 2θ -сканирование) на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2 в K_α -излучении медного анода. Величина области когерентного рассеяния рентгеновского излучения (ОКР) определялась методом аппроксимации из величин истинного уширения пиков с индексами Миллера 200 и 111 по формуле Селякова–Шеррера [6]. Параметр кристаллической решетки, *a*, получен усреднением вычисленных значений в интервале углов 2θ от 90 до 160°С.

Все структурные характеристики исследованных образцов приведены в таблице. Образцы 1 и 2 были

Параметры исследованных образцов

№ образца	Фазовый состав, %	ОКР, Å	<i>a</i> , Å	<i>d</i> , мкм
1	SmS 60	110	5.93	0.5
	Sm ₂ O ₂ S (следы)			
	Sm ₂ O ₃ 40			
2	SmS 80	70	5.926	0.20
	Sm ₂ O ₂ S 15			
	„X*“ 5			
3	SmS 78	130	5.94	0.74
	Sm ₃ S ₄ 6			
	Sm ₂ O ₂ S 10			
	Sm ₂ O ₃ 6			
4	SmS 50	127	5.948	0.79
	SmS met 10			
	Sm ₂ O ₂ S 15			
	Sm ₃ S ₄ 8			
	Sm ₂ O ₃ 10			
	Sm ₂ S ₃ 7			

Примечание. * не идентифицированная примесь.

приготовлены на кремниевых пластинках, 3 и 4 — на сапфире.

Частотная зависимость коэффициента поглощения пленок SmS в области прозрачности сапфира получена усреднением по четырем исследованным образцам, в области непрозрачности — по двум образцам на кремниевых подложках. Вычисленная таким образом зависимость представлена на рис. 1. Можно видеть, что в длинноволновой области спектра наблюдается интенсивная полоса поглощения с частотой максимума при 179 см^{-1} , т. е. практически при том же значении, что и в спектрах отражения кристаллов и поликристаллических образцов [7,8]. Следовательно, эту полосу следует также отнести к фоновому колебанию кристаллической решетки пленки.

В высокочастотной области спектра наблюдается монотонное возрастание коэффициента поглощения. Значения коэффициента поглощения при высоких частотах близки к величинам, полученным в более раннем исследовании [4], однако несколько превышают их. Это не является удивительным, поскольку в настоящей работе был исследован фазовый состав пленок. Обращает на себя внимание отсутствие пиков поглощения в области 1850 см^{-1} — области $4f$ -уровней ионов самария ($\sim 0.23\text{ эВ}$). Это связано с тем, что $f-s$ -переходы запрещены правилами отбора [9], а дно зоны проводимости в SmS, согласно [10], образовано s -состояниями.

Наиболее интересным представляется поглощение в средней области спектра. Эта часть спектра наряду с областью FIR представлена на рис. 2. Поглощение в области $0.04\text{--}0.065\text{ эВ}$ обусловлено наличием примесных донорных уровней, определенных ранее из электрических измерений на объемных образцах ($0.045 \pm 0.015\text{ эВ}$) [11]. Эти уровни обязаны своим происхождением ионам Sm^{2+} , находящимся не в регулярных узлах кристаллической решетки, а на границах ОКР.

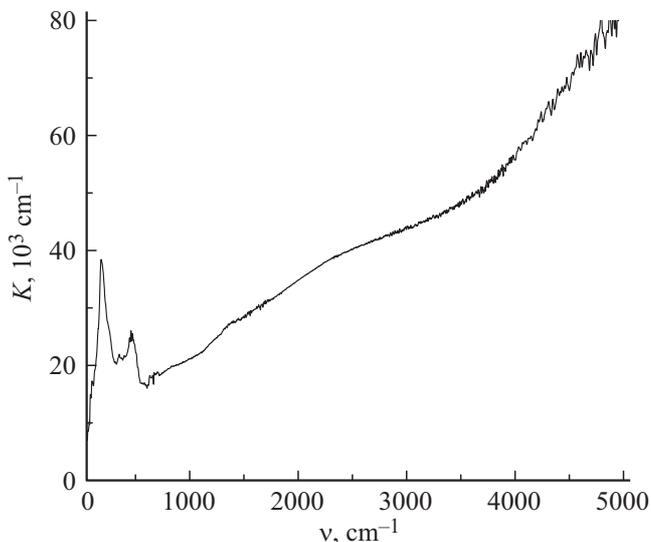


Рис. 1. Усредненная частотная зависимость коэффициента поглощения пленок SmS

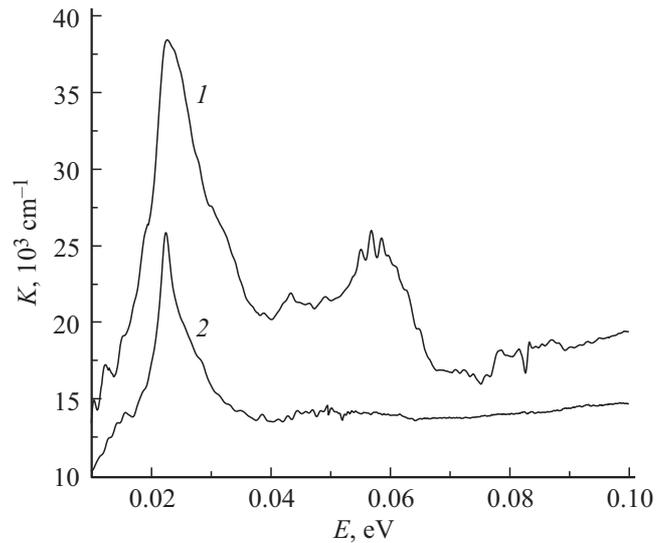


Рис. 2. 1 — спектр поглощения пленок SmS; 2 — спектр поглощения, вычисленный с помощью преобразования Крамерса–Кронига из спектра отражения поликристалла SmS [12].

Наличие двух пиков можно объяснить тем, что в SmS дефектные ионы самария, ответственные за донорные уровни, могут располагаться в двух позициях: в междоузлиях и в вакансиях подрешетки серы [12]. Таким образом, в тонких поликристаллических пленках SmS имеется та же система примесных донорных уровней, что и в объемных образцах.

Интересно отметить, что преобразование Крамерса–Кронига, примененное к измеренным ранее спектрам отражения поликристаллов SmS [13], также дает незначительное увеличение поглощения в той же области, что и пленки SmS (см. рис. 2). Меньшую величину этого поглощения в поликристаллах можно объяснить тем, что величина ОКР в них в несколько раз больше, чем в пленках, и соответственно концентрация донорных уровней меньше.

4. Заключение

Полученные данные по исследованию пленок подтверждают, что основные особенности зонной структуры, выявленные на объемных образцах, сохраняются и в тонких поликристаллических пленках SmS: дно зоны проводимости образовано состояниями s -типа, на расстоянии $0.04\text{--}0.065\text{ эВ}$ от дна зоны проводимости в запрещенной зоне имеются примесные донорные уровни.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

- [1] В.В. Каминский, А.А. Молодых, С.М. Соловьев, А.А. Виноградов, Н.М. Володин. Патент РФ на изобретение № 2564698. Дата выдачи 09.09.2015. Бюл. № 28.
- [2] В.М. Егоров, В.В. Каминский, М.М. Казанин, С.М. Соловьев, А.В. Голубков. Письма ЖТФ, **41**, 50 (2015).
- [3] С.А. Казаков, В.В. Каминский, С.М. Соловьев, Н.В. Шаренкова. Научное приборостроение, **25**, 116 (2015).
- [4] Л.Н. Глурджидзе, А.В. Гигинеишвили, Т.Л. Бжалава, З.У. Джабуа, Т.А. Пагава, В.В. Самадзе, В.С. Оскотский. ФТТ, **20**, 2727 (1978).
- [5] Л.Н. Васильев, В.В. Каминский, Ю.М. Курапов, М.В. Романова, Н.В. Шаренкова. ФТТ, **38**, 779 (1996).
- [6] Ю.Д. Ягодкин, С.В. Добаткин. Завод. лаб. Диагностика матер., **73** (1), 38 (2007).
- [7] V. Zelezny, J. Petzelt, V.V. Kaminski, M.V. Romanova, A.V. Golubkov. Sol. St. Commun., **72**, 43 (1989).
- [8] Ю.В. Улашкевич, В.В. Каминский, М.М. Казанин. ФТТ, **54**, 2066 (2012).
- [9] В.С. Оскотский, И.А. Смирнов. В сб.: *Редкоземельные полупроводники* (Л., Наука, 1977) с. 205.
- [10] А.В. Голубков, Е.В. Гончарова, В.П. Жузе, Г.М. Логинов, В.М. Сергеева, И.А. Смирнов. *Физические свойства халькогенидов редкоземельных элементов* (Л., Наука, 1973).
- [11] А.В. Голубков, Е.В. Гончарова, В.А. Капустин, М.В. Романова, И.А. Смирнов. ФТТ, **22**, 3561, (1980).
- [12] В.В. Каминский, А.В. Голубков, Л.Н. Васильев. ФТТ, **44**, 1501 (2002)
- [13] Ю.В. Улашкевич, В.В. Каминский, М.В. Романова, Н.В. Шаренкова. ФТП, **52**, 184 (2018).

Редактор Г.А. Оганесян

The far- and middle Infrared Spectra of SmS-film

Y.V. Ulashkevich, V.V. Kaminski, S.M. Soloviev,
N.V. Sharenkova

loffe Institute,
194021 St. Petersburg, Russia

Abstract The main features of the band structure found on bulk samples also remain in thin polycrystalline SmS films: the bottom of the conduction band is formed by *s*-type states, in the band gap there are impurity donor levels at a distance of 0.04–0.065 eV from the bottom of the conduction band.