

Микроструктура и оптические свойства пленок In_2S_3 , полученных термическим испарением

© О.В. Гончарова[†], В.Ф. Гременок*

Институт физики им. Б.И. Степанова Национальной академии наук Белоруссии,
220072 Минск, Белоруссия

* Государственное научно-производственное объединение „Научно-практический центр по материаловедению Национальной академии наук Белоруссии“,
220072 Минск, Белоруссия

(Получена 17 марта 2008 г. Принята к печати 31 марта 2008 г.)

Представлены результаты исследования влияния микроструктуры на оптические свойства пленок In_2S_3 , получаемых методом термического вакуумного напыления, в зависимости от их толщины. Приведены и обсуждаются данные атомно-силовой микроскопии слоев, изготовленных в идентичных технологических режимах, но обладающих различными значениями спектрального положения края поглощения. Изменение оптической ширины запрещенной зоны от 2.0 до 3.6 эВ с толщиной пленок In_2S_3 , уменьшающейся от 450–800 до 30–50 нм, было обнаружено и объяснено изменением концентрации гранул с определенным размером и микроструктурой.

PACS: 78.66.Jg, 78.67.Bf, 81.07.Wx, 81.40.Tv, 61.43.Bn

1. Введение

В тонкопленочных солнечных элементах (СЭ) на основе многокомпонентных полупроводниковых материалов $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{x-1}\text{Se}_2$ важную роль играет формирование буферного слоя между поглотителем p -типа и низкоомным окном n -типа [1–3]. Оптимально выбранные толщина и кристаллическая структура буферного слоя способствуют максимальному пропусканию света и эффективному разделению носителей между поглощающим слоем и лицевым электродом. Материалом буферного слоя обычно служат пленки с проводимостью n -типа, изготовленные на основе широкозонных полупроводниковых соединений, например сульфида кадмия, осаждаемого из солевых растворов. Применение химически осажденных слоев CdS 40–100 нм в СЭ на основе соединений $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{x-1}\text{Se}_2$ привело к рекордной для тонкопленочных фотопреобразователей эффективности $\sim 20\%$ [2]. Работы в области получения и исследования пленок CdS показали, что, помимо сложности утилизации Cd -содержащих соединений, химически осаждаемые высокоомные слои толщиной не более 45 нм и пропусканием $\sim 85\%$ характеризуются длинноволновым краем поглощения (510 нм) и высоким содержанием дефектов [3,4].

Бескадмиевые пленки широкозонных материалов, получаемые методами низкотемпературного осаждения в вакууме, более перспективны для компонентов фотоэлектрических устройств [5,6]. Вместе с тем и в данном случае положение края поглощения, величина удельного сопротивления и коэффициенты пропускания определяются как физико-химическими свойствами исходных материалов, так и толщиной пленочных слоев, технологией их получения, дефектностью структуры (нестехиометричностью состава, наличием центров окраски, наноча-

стиц избыточных элементов, окислением). Разработка технологий бескадмиевых пленочных слоев с воспроизводимыми толщиной, структурой, электрооптическими характеристиками актуальна для создания компонентов оптоэлектронных устройств нового поколения.

Структурно-фазовые, электрические и оптические свойства слоев, получаемых вновь разработанным методом термического испарения мишеней сульфида индия (In_2S_3), изучались в работе [7]. Тем не менее не достигнуто соотношение толщины, микроструктурных параметров с оптическими свойствами слоев, что характерно для пленок сульфида индия, изготовленных и другими способами [8], и затрудняет их применение.

Данная работа является продолжением исследований [9,10], в которых был предложен оригинальный критерий прогнозирования спектральных свойств тонкопленочных слоев на основе соотношения структурно-фазовых и оптических параметров экспериментальных образцов разной толщины, полученных в одинаковых технологических условиях. Цель данной работы — исследование микроструктуры разнотолщинных пленок In_2S_3 , имеющих существенно различное положение краевого поглощения, для прогнозирования физических свойств слоев заданной толщины на основе установленных корреляций.

2. Пленочные образцы и методика эксперимента

Пленочные образцы были получены в процессе термического испарения в вакууме поликристаллического In_2S_3 на стеклянные подложки — полированные пластины кварца марки КУ площадью 25×25 мм и толщиной 1.5 мм и металлическую фольгу при температурах 220–240°С. Перед напылением подложки обрабатывали

[†] E-mail: olgagoncharova08@gmail.com

в хромовом травителе в течение 10–12 ч. Затем их отмывали в деионизованной воде не менее 15 мин. После чего их сушили на центрифуге с инфракрасным нагревом. Осаждение тонких пленок осуществляли на установке вакуумного напыления ВУП-2М при давлении остаточных газов в вакуумной камере не выше $5 \cdot 10^{-4}$ Па [7]. Расстояние между испарителем и подложкой составляло 20 см. Испаритель и навески сульфида индия разогревались до 725°C , после чего открывалась заслонка и производилось непрерывное осаждение слоев In_2S_3 . Скорость осаждения составляла $\sim 5 \text{ \AA}/\text{с}$, время осаждения варьировалось в зависимости от требуемой толщины пленки.

Спектры пропускания и отражения экспериментальных образцов измеряли в диапазоне длин волн 190–3000 нм с разрешением 1.0 нм на спектрофотометре Cary-500 Scan (Varian, США). Эти данные использовались для анализа оптических свойств и характеристик краевого поглощения полученных пленок.

Кристаллическую структуру и фазовый состав слоев In_2S_3 устанавливали методом рентгеновской дифракции в области углов рассеяния $2\theta = 15\text{--}100^\circ$. Дифрактограммы записывали на автоматически управляемом рентгеновском дифрактометре Siemens D-5000 в $\text{CuK}\alpha$ -излучении ($\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$) с никелевым фильтром. Анализ элементного состава у поверхности и по толщине пленочных образцов выполнялся с помощью сканирующей электронной оже-спектроскопии на установке РНИ-660 (Perkin Elmer Physical Electronics, США) при использовании в качестве испарителя ионного микрозонда IMS-4F (Cameca). Локальность и чувствительность зондирования пучком ионов аргона составили 100 нм и 0.1 ат% соответственно.

Для исследования топологии поверхности слоев сульфида индия применялась атомно-силовая микроскопия (АСМ), позволяющая получать данные о микрорельефе в нанометровом диапазоне разнотолщинных пленочных образцов [10]. Измерения проводились на растровом силовом микроскопе NT-206 фирмы Microtestmachines Co. При анализе полученных результатов использовались программы, обеспечивающие возможность измерения и обработки данных, проведение фильтрации и сглаживания, а также статистический анализ получаемых картин. Изображения поверхности, полученные в различных участках образцов каждой из серий, имели идентичный характер, что свидетельствовало о хорошей воспроизводимости и повторяемости результатов.

3. Результаты эксперимента

Исследования микроструктуры и оптических свойств проводились на пленках In_2S_3 различной заданной толщины (h), полученных в идентичных условиях осаждения и использованных нами ранее для прогнозирования их структурных свойств [9]. Как видно из рис. 1, значения энергии краевого поглощения E_g выбранных пле-

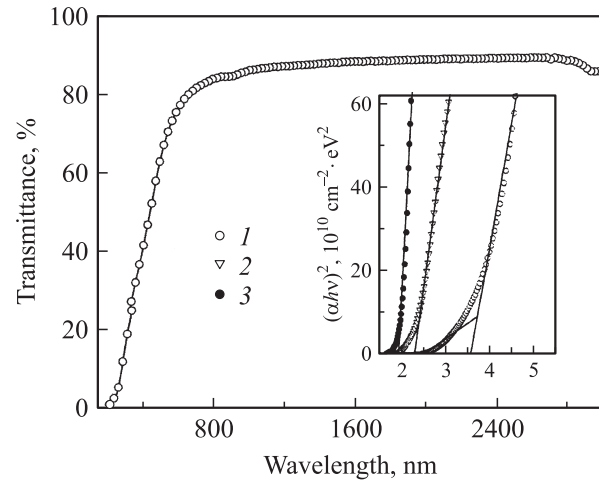


Рис. 1. Оптические спектры слоев In_2S_3 , сформированных термическим осаждением. Толщина слоев, h нм: 1 — 30, 2 — 170, 3 — 800. На вставке — оценка характеристик края поглощения E_g .

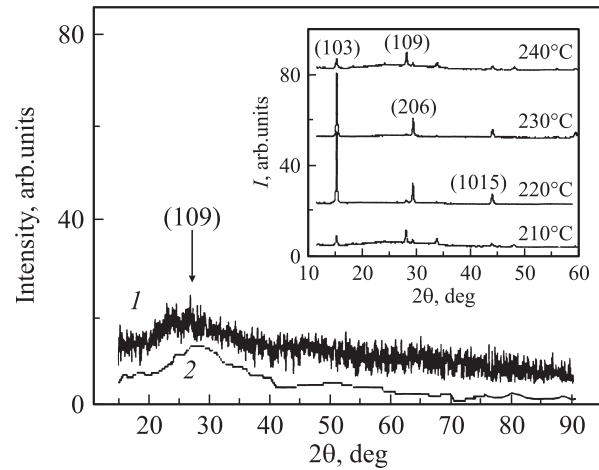


Рис. 2. Дифрактограммы слоев In_2S_3 толщиной 250–300 нм, сформированных термическим осаждением по методике [8] (1) и методике работы [9] (2). На вставке — дифрактограммы, приведенные в работе [12], для пленок In_2S_3 , выращенных при использовании двух источников.

ночных образцов толщиной 800, 170 и 30 нм изменяются в пределах от 1.96 до 3.6 эВ.

На рис. 2 показаны дифрактограммы слоев In_2S_3 заданной толщины, выращенных по вновь разработанной методике термического напыления [8] и методами, описанными в работах [9,11]. Дифрактограммы, измеренные на образцах из разных участков, показали, что слои рентгеновски аморфны, независимо от их толщины. Это может указывать как на аморфный состав, так и на малый размер кристаллитов, отсутствие преимущественного роста и организации пленкообразующих гранул. Результаты, приведенные на рис. 2 для пленок с $h = 250\text{--}300$ нм, коррелируют с дифрактограммой

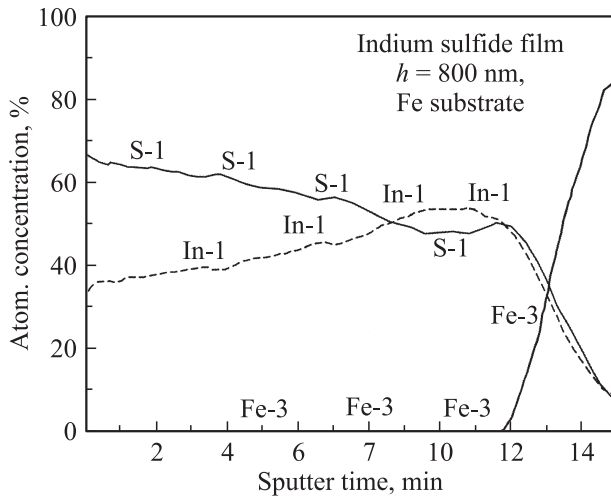


Рис. 3. Элементный состав у поверхности и по толщине пленочного образца сульфида индия толщиной 800 нм.

пленок сульфида индия аналогичной толщины, полученных методом термического осаждения и описанных в работе [8]. На вставке приведены результаты анализа фазового состава пленок In_2S_3 толщиной 250 нм, выращенных путем соиспарения составляющих элементов из различных источников и при температурах источника серы, варьируемых от 210 до 240°C [12]. Из результатов, приведенных на вставке, следует высокая чувствительность фазового состава слоев In_2S_3 к их элементному составу.

Результаты оже-спектроскопии пленочных образцов показали, что основными элементами всех образцов являются индий и сера. Содержание указанных элементов в приповерхностных областях исследуемых слоев соответствует формульному содержанию исходных мишеней In_2S_3 , т.е. соотношение компонентов $[\text{In}]:[\text{S}] = 2:3$. В то же время тонкие покрытия и области, прилегающие к подложке образцов толщиной 800 нм (рис. 3), показали соотношение компонентов $[\text{In}]:[\text{S}]$, приблизительно равное 1, указывающее на недостаток серы. Это могло произойти из-за присутствия в тонких слоях избыточного количества индия, которое, как ожидается, может быть представлено межузельными ионами индия, наночастицами индия на поверхности пленкообразующих кристаллитов [12,13], а также может присутствовать в форме компонентов In_2O_3 [13] и $\text{In}(\text{OH})_x$ [14].

Результаты исследования микроструктуры пленочных образцов заданной толщины и значений E_g позволили впервые установить наличие корреляций между концентрацией и размером d пленкообразующих гранул (рис. 4–6) и положением краевого поглощения материала In_2S_3 (рис. 1).

На рис. 4–6 приведены типичные снимки топографии поверхности образцов заданной толщины и величины энергий краевого поглощения. Видно, что для пленок с толщиной $h > 400$ –450 нм наблюдается высокая концен-

трация гранул большого размера $d_1 \approx 300$ нм (рис. 4). Положение края поглощения пленок такой толщины, зависящее в основном от фазового состава больших гранул (по причине их большей концентрации), составляет примерно 2.0 эВ (рис. 1) и соответствует результатам, полученным для монокристаллов In_2S_3 [15].

Уменьшение толщины осаждаемых пленок до значений 120–300 нм приводит к постепенному возрастанию E_g до 2.2 эВ ($h \approx 300$ нм) и 2.35 эВ ($h \approx 170$ нм) (см. рис. 1). Этот факт, по-видимому, связан с увеличением концентрации гранул среднего размера $d_2 \approx 30$ –60 нм и одновременно с уменьшением концентрации больших гранул (рис. 5). Здесь же отметим, что гранулы большого и среднего размера формируются в окружении частиц малого размера $d_3 = 1$ –10 нм.

Мы также обнаружили, что образцы с толщиной $h \gtrsim 90$ нм, обладающие существенным коротковолновым сдвигом края поглощения (рис. 1) и охарактеризованные

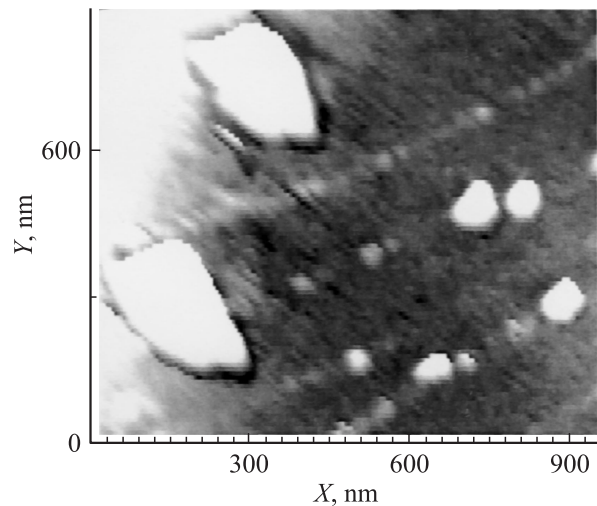


Рис. 4. Участок поверхности нанокристаллического слоя In_2S_3 толщиной 800 нм, спектр поглощения и компонентный состав которого показаны на рис. 1 и 3.

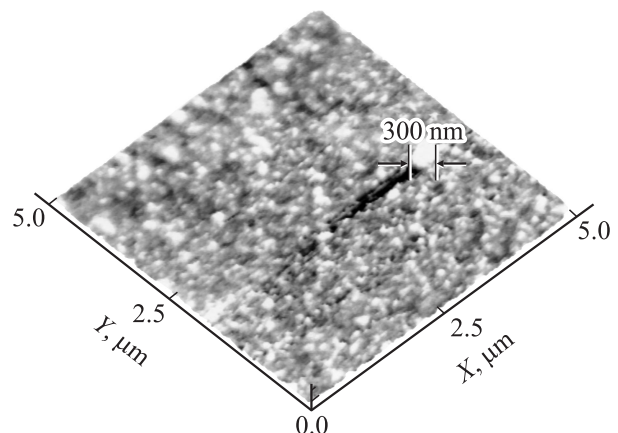


Рис. 5. АСМ-изображение нанокристаллического слоя In_2S_3 толщиной 170 нм.

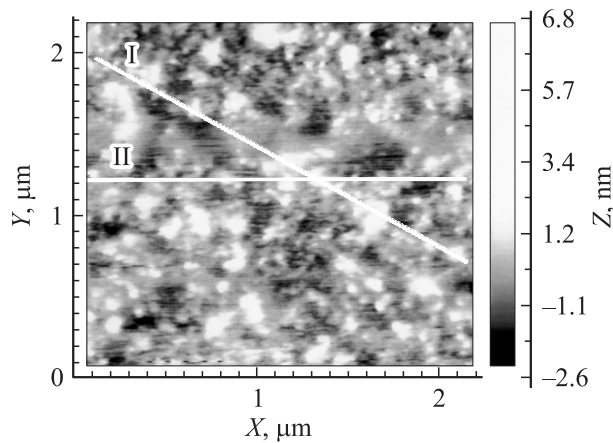


Рис. 6. АСМ-изображение нанокристаллического слоя In_2S_3 толщиной 30 нм, спектры пропускания и поглощения которого показаны на рис. 1.

на рис. 6, состоят главным образом из частиц малого размера d_3 . Полученные в данном случае высокие значения $E_g \approx 3.6$ эВ можно объяснить наличием напряжений [16], кислородной примесностью [17], квантово-размерным эффектом [18,19], эффектом окисления [20], имеющими место в гранулах столь малых размеров. Наногранулы, их приповерхностные слои и (или) компоненты на поверхности наногранул могут также иметь состав, отличный от In_2S_3 . С уменьшением размера наногранул возрастает соотношение их площади поверхности к объему, и как результат дефекты, обусловленные переходными приповерхностными слоями, могут доминировать в формировании их оптических и приводящих свойств [21–23].

Полученный комплекс результатов указывает на зависимость микроструктуры и химического состава полученных пленок In_2S_3 от их геометрической толщины. Тонкие пленки и приподложечные слои более толстых покрытий содержат высокую концентрацию наногранул размером $d_3 = 1–10$ нм, имеют нестехиометричный состав и, по-видимому, могут содержать избыток индия и фазовую компоненту In_2O_3 ($E_g \approx 3.6$ эВ) [24]. Наличие, концентрация, химическое состояние и область локализации избытка индия в наногранулах могут быть обусловлены временем осаждения, а также вероятностью адсорбции избыточного индия и ионов других элементов (кислорода, гидроксидов) на поверхности наногранул разного размера [25,26]. Увеличение времени непрерывного испарения и набора толщины результирующих пленок сопровождается, наряду с ростом 1–10-нанометровых гранул, агрегацией более крупных гранул In_2S_3 стехиометрического состава. Здесь же отметим, что существенное увеличение времени напыления и толщины приводит к формированию неоднородных слоев, состав которых изменяется с толщиной и, начиная с толщин более 300 нм, включает более крупные наногранулы In_2S_3 размером $d_1 \approx 300$ нм.

4. Обсуждение результатов

Обычно кристаллический InS имеет ширину запрещенной зоны приблизительно 1.9 эВ [27], тогда как для In_2S_3 характерны прямые зона-зональные переходы в области энергий 2.0–2.3 эВ [12,15]. Исследованные в данной работе пленочные образцы, изготовленные в одинаковых условиях термического испарения мишеней In_2S_3 , показали сдвиг края поглощения от 1.96 до 3.6 эВ с уменьшением толщины пленок от 800 до 30 нм соответственно. Представленные экспериментальные данные, полученные методами оптической спектроскопии и АСМ-измерениями (АСМ — атомно-силовая микроскопия), моделируются с позиции формирования гранул различного размера и состава. В этом отношении главные результаты данной работы, полученные для образцов пленок сульфида индия толщиной 800, 170 и 30 нм, в итоге могут быть сформулированы следующим образом.

Во-первых, обнаружено, что более высокая концентрация гранул большего размера d_1 характерна для пленок толщиной $h > 400$ нм (рис. 4). Положение края полосы поглощения пленок определяется главным образом материалом больших гранул и составляет $E_g = 1.96$ эВ. Как следует из вставки на рис. 1, экспериментальные точки указывают на преобладание прямых переходов. Эти результаты коррелируют с данными, полученными ранее для объемных кристаллов In_2S_3 [15]. Мы поэтому полагаем, что крупные наногранулы размером d_1 имеют состав In_2S_3 , что подтверждается и результатами оптической спектроскопии образцов (рис. 3).

Во-вторых, уменьшение толщины пленок In_2S_3 до 250–300 нм сопровождается существенным сокращением содержания больших гранул и увеличением содержания гранул среднего размера. Для пленок указанного диапазона толщин отмечено наличие двух компонентов краевого поглощения, коррелирующее с увеличением вклада гранул среднего размера. Оцененные нами значения E_g для образцов пленок толщиной $h \approx 300$ нм составили приблизительно 2.2 эВ. Этот результат соответствует значениям E_g , полученным для более тонких пленок (см. вставку на рис. 1), но значительно превышает значения, измеренные для кристаллов [15]. Для объяснения указанного несоответствия авторы ряда работ предположили наличие квантово-размерных эффектов и модификации структуры гранул. Было высказано также предположение о существенной зависимости значений E_g пленок In_2S_3 от качества синтезируемых структур; т.е. если структуры имеют хорошее качество (меньше структурных дефектов), E_g соответствует области 2.2–2.4 эВ. Другое объяснение может быть найдено в кислородной примесности материала: это изменило бы зонную структуру и привело к увеличению ширины запрещенной зоны. Сообщалось, в частности, что E_g возрастает с увеличением содержания кислорода для соединения $\text{In}_2\text{S}_{3-3x}\text{O}_{3x}$ [17].

В-третьих, рис. 5 показывает, что образцы пленок толщиной $h \approx 120–200$ нм с $E_g \approx 2.3–2.35$ эВ (см. вставку

на рис. 1) имеют более высокую концентрацию гранул размером 30–60 нм, что исключает рассмотрение квантово-размерных эффектов для наночастиц столь большого размера. Возможно, что пленки, получаемые по вновь разработанной технологии, все же содержат некоторое количество кислорода. Однако в данном случае большие гранулы In_2S_3 имеют более длинноволновое спектральное положение отсечки E_g , чем средние гранулы In_2S_3 с $E_g \approx 2.3\text{--}2.35$ эВ (см. вставку на рис. 1). Эти результаты могут указывать на тот факт, что гранулы размером 300 нм имеют больше структурных дефектов, в то время как гранулы 30–60 нм имеют относительно немного структурных дефектов. Следует отметить, что кристаллы $\alpha\text{-In}_2\text{S}_3$ кубической структуры имеют больше дефектов, чем $\beta\text{-In}_2\text{S}_3$ тетрагональной структуры. Преобразование $\alpha\text{-In}_2\text{S}_3$ в $\beta\text{-In}_2\text{S}_3$ возможно при температурах не менее 420°C , а переход к более идеальной слоистой структуре $\gamma\text{-In}_2\text{S}_3$ — при температурах свыше 740°C [28].

И наконец, экспериментально установлено, что более тонкие пленки, напыленные на подложки кварца и охарактеризованные на рис. 6, преимущественно состоят из наногранул размером $d_3 = 1\text{--}10$ нм. (Гладкость поверхности пленок была дополнительно изучена методом анализа АСМ-профилей в выбранных областях, отмеченных на рис. 6 как области I и II). Оцененные значения энергии краевого поглощения составили $E_g = 3.6$ эВ (см. вставку на рис. 1).

Таким образом, пленки сульфида индия толщиной $h = 90\text{--}30$ нм, характеризующиеся относительно гладкими поверхностями, низкими оптическими потерями и большой шириной области прозрачности (рис. 1, 6), могут быть получены при использовании простого и дешевого метода термического испарения. Увеличение ширины запрещенной зоны до 3.6 эВ может быть приписано возникновению различий в элементном составе гранул и (или) изменениям их структуры. В частности, ранее было показано, что наногранулы In_2S_3 размером 20 и 3.6–14 нм характеризуются значениями $E_g = 3.35$ [18] и 3.54 эВ [19] соответственно. Также сообщалось, что кристаллы окиси индия (In_2O_3), обладающие прямыми зона-зонными переходами для энергий $E_g = 3.7$ эВ [23], в случае уменьшения размера до наногранул $d = 45$ и 57 нм, получаемых в процессе термического окисления гранул In_2O_3 , имеют E_g порядка 3.68 и 3.44 эВ соответственно [20]. В случае пленок In_2S_3 толщиной $h = 30\text{--}90$ нм следует ожидать более существенного увеличения энергии краевого поглощения из-за преобладания наногранул размером 1–10 нм. Таким образом, фактическая причина изменения E_g до значений 3.6 эВ остается пока неясной. В то же самое время более низкие, чем ожидалось для наногранул размером в диапазоне 1–10 нм, значения E_g могут быть объяснены наличием избытка индия, обнаруженного в пленках 30–90 нм и тонких слоях, расположенных вблизи подложек, для случая пленок большей толщины. Избыток индия может быть представлен межзерельными включениями, а также

кластерами и металлическими наночастицами [12,14,23]. Для идентификации химического состояния избытка индия и структуры гранул 1–10 нм (In_2S_3 или смесь In_2S_3 и In_2O_3) планируются дополнительные спектроскопические исследования.

5. Заключение

Поиск новых компонентов фотовольтаических элементов делает актуальной разработку тонкопленочных широкозонных материалов, а также пленок, „очувствляемых“ металлическими частицами и квантовыми точками (наногранулами и нанокристаллами), с прогнозируемыми электрооптическими свойствами. В работе представлен простой и универсальный метод низкотемпературного осаждения пленочных слоев сульфида индия с контролируемым положением краевого поглощения E_g .

Исследованы корреляции оптических свойств и морфологии напыленных пленок In_2S_3 различной толщины. Обнаруженное возрастание E_g от 2.0 до 3.6 эВ с уменьшением толщины пленок от 450–800 до 30–50 нм объяснено изменением концентрации гранул с определенными размерами d и структурой. Пленки толщиной 450–800 и 120–200 нм имеют более высокую концентрацию гранул In_2S_3 размером $d_1 \approx 300$ нм ($E_g \approx 2.0$ эВ) и $d_2 = 30\text{--}60$ нм ($E_g \approx 2.4$ эВ) соответственно. В то же время пленки толщиной 30–90 нм формируются преимущественно из наногранул диаметром $d_3 = 1\text{--}10$ нм ($E_g \approx 3.6$ эВ). Показано, что существенное увеличение толщины при непрерывном осаждении приводит к формированию неоднородных слоев, состав которых изменяется с толщиной. Воспроизведение микроструктурных и оптических свойств покрытий возможно за счет формирования многослойных структур из нанослоев воспроизводимой заданной толщины. В частности, гладкая морфология поверхности, высокие коэффициенты пропускания и требуемые электрооптические свойства сохраняются в многослойных структурах, результирующая толщина которых достигается путем периодического воспроизведения нанослоев толщиной 10–150 нм [23].

Работа выполнена при поддержке проекта МНТЦ В-1029 и задания № 21 ГКПНИ „Энергобезопасность“.

Список литературы

- [1] D. Hariskos, S. Spiering, M. Powalla. *Thin Sol. Films*, **480–481**, 99 (2005).
- [2] M.A. Contreras, K. Ramanathan, J. AbuShanma, F. Hasoon, D.L. Young, B. Egaas, R. Noufi. *Progr. Photovolt.: Res. Appl.*, **13**, 209 (2005).
- [3] А.М. Поликанин, О.В. Гончарова, С.А. Сергиеня, В.Ф. Гременок, В.Б. Залесский. *ЖПС*, **71**, 683 (2004).
- [4] А.П. Войтович, О.В. Гончарова, В.С. Калинов. *ЖПС*, **72**, 287 (2005).

- [5] A. Strohm, L. Eisenmann, R.K. Gebhardt, A. Harding, T. Schlfizer, D. Abou-Ras, H.W. Schock. *Thin Sol. Films*, **480–481**, 162 (2005).
- [6] H. Li, R. Zhu, X. Li, Z. Wang, B. Yang. *Sol. St. Commun.*, **144**, 445 (2007).
- [7] О.В. Гончарова, В.Ф. Гременок, В.М. Кравченко, А.В. Кравченко, О.В. Ермаков, В.Б. Залесский. *Тез. докл. 5-й Межд. конф. по аморфным и поликристаллическим полупроводникам* (Россия, СПб., 2006). p. 271.
- [8] M.M. El-Nahass, B.A. Khalifa, H.S. Soliman, M.A.M. Seyam. *Thin Sol. Films*, **515**, 1796 (2006).
- [9] O. Goncharova, V. Gremenok. *Moldavian J. Phys. Sci.*, **5**, 342 (2006).
- [10] О.В. Гончарова, В.Ф. Гременок, С.А. Чижик. *Сб. докл. 7-го Межд. сем. по методологич. аспектам сканирующей зондовой микроскопии* (Минск, Белоруссия, 2006) p. 102.
- [11] C. Guillen, T. Gaillen, T. Garcia, J. Herrero, M.T. Gutierrez, F. Briones. *Thin Sol. Films*, **451–452**, 112 (2004).
- [12] M. Calixto-Rodriguez, A. Tiburcio-Silver, A. Ortiz, A. Sanchez-Juarez. *Thin Sol. Films*, **480–481**, 133 (2005).
- [13] P. Sangpour, O. Akhavan, A.Z. Moshfegh, M. Roozbehi. *Appl. Surf. Sci.*, **254**, 286 (2007).
- [14] L. Chen, W. Lan, R. Lin, H. Shen, H. Chen. *Appl. Surf. Sci.*, **252**, 8438 (2006).
- [15] T. Asikainen, N. Ritala, N. Leskela. *Appl. Surf. Sci.*, **82–83**, 122 (1994).
- [16] C. Guillen. *Phys. Status. Solidi A*, **204**, 3333 (2007).
- [17] N. Barreau, J.C. Bernede, S. Marsillac, A. Mokrani. *J. Cryst. Growth*, **235**, 439 (2002).
- [18] P. Gao, Y. Xie, Sh. Chen, M. Zhou. *Nanotechnology*, **17**, 320 (2006).
- [19] S. Gorai, S. Chaudhuri. *Mater. Sci. Eng.*, **B126**, 97 (2006).
- [20] M. Oztas, M. Bedir, Z. Ozturk, D. Korkmaz, S. Sur. *Chin. Phys. Lett.*, **23**, 1610 (2006).
- [21] О.В. Гончарова, Ф.В. Карпушко, Г.В. Синицын. *ЖТФ*, **53**, 1858 (1983).
- [22] О.В. Гончарова, Ф.В. Карпушко, Г.В. Синицын. *ФТП*, **20**, 1750 (1986).
- [23] O. Goncharova, V. Gremenok. *Advace Programme CLEO/Europe-IQEC 2007* (Munich, Germany, 2007) p. 73.
- [24] R. Garkova, G. Völksch, C. Rüssel. *J. Non-Cryst. Sol.*, **352**, 5265 (2006).
- [25] Y. Maruyama, M. Futamata. *Chem. Phys. Lett.*, **448**, 93 (2007).
- [26] A.R. Botello-Mendez, M.T. Martinez-Martinez, F. Lopez-Urias, M. Terrones, H. Terrones. *Chem. Phys. Lett.*, **448**, 258 (2007).
- [27] N.M. Gasanly, A. Aydinli. *Sol. St. Commun.*, **101**, 797 (1997).
- [28] Y. Amira, K. Bouabid, A. Ihlal, A. Outzourhit, E.L. Ameziane, G. Nouet. *Proc. 21st Eur. Photovoltaic Solar Energy Conf.* (Dresden, Germany, 2006) p. 1881.

Редактор Т.А. Полянская

Microstructure and optical properties of In_2S_3 films prepared by thermal deposition

O.V. Goncharova, V.F. Gremenok*

Stepanov Institute Physics,
National Academy of Sciences of Belorussia,
220072 Minsk, Belorussia

* State Scientific and Production Association
„Scientific–Practical Materials Research Centre
of the National Academy of Sciences of Belarus“
220072 Minsk, Belorussia

Abstract Results of investigation of the microstructure influences on the optical properties of In_2S_3 films, grown by thermal vacuum deposition method, depending on their thickness are presented. The atomic force microscopy data for layers of different thickness, prepared at identical technological conditions, but having various values of position of band edge absorption, are resulted and discussed. The optical energy band gap shift from 2.0 up to 3.6 eV upon the In_2S_3 film thickness decreasing from 800–450 to 50–30 nm has been detected and explained by changing of the concentration of granules with defined size and microstructure.