

УДК 621.315.592

Влияние условий пиролиза аэрозоля водных растворов тиомочевинных комплексов на СВЧ фотопроводимость пленок сульфида кадмия

© Н.Л. Сермакашева[¶], Ю.М. Шульга, Ю.В. Метелева, Г.Ф. НовиковИнститут проблем химической физики Российской академии наук,
142432 Черноголовка, Россия

(Получена 21 июля 2005 г. Принята к печати 14 сентября 2005 г.)

Микрометровые пленки CdS исследованы методами СВЧ фотопроводимости (резонаторный метод в 3 см диапазоне), рентгенофазового анализа и диффузного отражения. Пленки были получены методом пиролиза аэрозоля из тиомочевинных координационных соединений при температуре подложки 250–550°C и содержали примесь хлора. Для освещения использовали импульсный азотный лазер (337 нм) длительностью импульса 10 нс. Обнаружена зависимость параметров отклика СВЧ фотопроводимости, энергии запрещенной зоны и микродеформации кристаллической решетки от температуры синтеза пленок.

PACS: 73.61.Ga, 73.50.Pz, 73.50.Gr, 78.70.Gq

1. Введение

Поликристаллические пленки CdS представляют собой один из перспективных материалов для оптоэлектронных устройств, солнечных элементов и лазерных диодов [1]. Разработано много способов их получения, и среди них одним из удобных и дешевых способов является метод пиролиза аэрозолей. Предварительные результаты изучения фотоотклика СВЧ поглощения таких пленок [2] позволили высказать предположение, что при увеличении температуры получения пленок в диапазоне $T = 250–550^\circ\text{C}$ увеличивается вклад в фотоотклик свободных электронов, так что при $T > 400^\circ\text{C}$ резко возрастает составляющая фотоотклика — СВЧ фотопроводимость. Однако объяснение этого факта в [2] не было дано. В связи с этим в данной работе проведены дополнительные эксперименты по СВЧ фотопроводимости, получены данные по рентгенофазовому анализу, изучены спектры диффузного отражения.

2. Экспериментальная часть

Пленки CdS получали методом распыления водного раствора хлоридного тиомочевинного координационного соединения кадмия на ситалловую подложку. Температура подложки варьировалась в диапазоне $T = 250–550^\circ\text{C}$ [2,3].

Химический анализ пленки, полученной при $T = 350^\circ\text{C}$, показал, что в пленке содержится (по массе): Cd — 76.5%, S — 20.6%, Cl — 3.3%. Брутто-состав пленки можно записать как $\text{CdS}_{0.947}\text{Cl}_{0.137}$. Углерода и водорода в пленке обнаружено не было. Из данных химического анализа следует, что пленка, полученная при 350°C , обогащена примесью хлора. Это подтверждает ранее сделанные выводы [4,5], что при низких

температурах в пленках присутствует большое число акцепторов электронов.

Рентгеновские дифрактограммы записывали с помощью дифрактометра ДРОН АДП-1 (CuK_α -излучение, Ni-фильтр). Толщина пленки (d) оценивалась по ослаблению интенсивности дифракционных пиков подложки. Для оценки были использованы известные массовые коэффициенты ослабления излучения для элементов [6]. При этом полагали, что коэффициент ослабления излучения материалом пленки такой же, как и чистым CdS.

Спектры диффузного отражения измеряли с помощью спектрометра PC1000 с фотометрической линейкой, оснащенного интегрирующей сферой. Отражение измеряли относительно подложки (ситалл), коэффициент отражения которой принимали равным 100%.

Методика СВЧ фотопроводимости основана на регистрации изменения мощности отраженной электромагнитной волны (3 см диапазон) от резонатора с образцом, вызываемого воздействием на образец импульса света, и детально описана в [7–9]. Использовался прямоугольный отражательный резонатор типа TE_{101} объемом $V \approx 5.1 \text{ см}^3$. Образец в кварцевой ампуле помещался в пучность электрического поля. Для освещения использовался импульсный лазер ЛГИ-505 (длина волны $\lambda = 337 \text{ нм}$, длительность импульса 8–10 нс). Добротность нагруженного резонатора $Q_L \approx 10^3$. Площадь образца, подвергнутого лазерному облучению, $\sim 0.06 \text{ см}^2$. Временное разрешение установки 50 нс.

Принимая во внимание, что происходит изменение комплексной диэлектрической проницаемости образца $\varepsilon^* = \varepsilon' - i\varepsilon''$, СВЧ фотоотклик можно представить как совокупность двух составляющих, $\Delta P = \Delta P_f + \Delta P_Q$, обусловленных изменением добротности резонатора (ΔP_Q , СВЧ фотопроводимость) и изменением резонансной частоты (ΔP_f , фотодиэлектрический эффект). Для разделения этих компонент (ΔP_Q и ΔP_f) и определения сдвига резонансной частоты Δf_0 анализировали частот-

[¶] E-mail: natser@icp.ac.ru

ную зависимость фотоотклика $\Delta P(f)$ вблизи резонансной частоты f_0 [7,9,10]:

$$-\frac{\Delta f_0}{f_0} \propto \delta \varepsilon' + \frac{(\delta \varepsilon'')^2}{\varepsilon' + 2}, \quad (1)$$

где $\delta \varepsilon'$ и $\delta \varepsilon''$ — изменения действительной и мнимой частей ε^* . Методика разделения компонент детально описана в работах [7,10].

3. Экспериментальные результаты

3.1. СВЧ фотопроводимость

Как и в [4,5], в поликристаллических пленках CdS на резонансной частоте наблюдался фотоотклик, на спаде которого в разной степени были выражены две компоненты — быстрая и медленная. Характеристические времена спада (τ_1) и амплитуды (A_1) быстрой компоненты пленок, полученных при разных T , сильно различались. По виду зависимости характеристических параметров от температуры синтеза полученные пленки можно было разделить на две группы. Для пленок, полученных при низких температурах, $T \leq 400^\circ\text{C}$, τ_1 резко уменьшалось с ростом T ; амплитуда быстрой компоненты A_1 при этом росла незначительно. В области $T > 400^\circ\text{C}$ τ_1 почти не менялось, в то время как A_1 резко росла. Естественно было предположить при наблюдаемой зависимости $\tau_1(T)$, что быстрая компонента фотоотклика не может во всем диапазоне T отражать кинетику гибели свободного (ни разу не испытавшего захват в ловушку) электрона. Вероятно, вклад в нее при низких T дают электроны, испытавшие повторный захват в ловушки. Однако, хотя такое предположение и согласуется с результатами [2,4,5], для доказательства необходим отдельный анализ кинетики ΔP_Q и ΔP_f .

Анализ частотных зависимостей фотоотклика подтвердил предположение о росте вклада в СВЧ фотоотклик при $T > 400^\circ\text{C}$ свободных электронов. Основной вклад в СВЧ поглощение при высоких температурах связан с изменением добротности резонатора. Из рис. 1 видно, что при временах $t < 200$ нс скорость спада сдвига резонансной частоты резонатора примерно в 2 раза больше скорости спада изменения добротности (см. соотношение (1)).

Этот факт свидетельствует о том [10], что на временах $0 < t < 200$ нс основной вклад в фотопроводимость дают электроны, ни разу не побывавшие в ловушках с момента фотовозбуждения, и величина $t = 200$ нс соответствует их времени жизни до захвата в ловушку. При $t > 200$ нс кривые 1 и 2 в полулогарифмических координатах практически параллельны, что в соответствии с соотношением (1) свидетельствует об установлении к этому времени равновесия между носителями тока в зоне проводимости и в мелких ловушках.

Если принять предложенную выше интерпретацию, то рост СВЧ фотопроводимости пленок в области

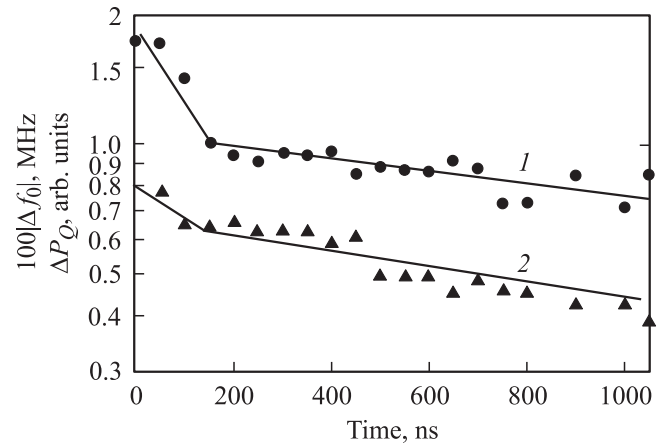


Рис. 1. Кинетика спада $|\Delta f_0|$ (1) и P_Q (2) для пленки CdS из хлоридного тиомочевинного комплекса, полученной при $T = 500^\circ\text{C}$. Поток фотонов $5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ за импульс.

$T = 450\text{--}550^\circ\text{C}$ следует связывать, как и в [2,4,5], с ростом дрейфовой подвижности электронов μ , так как в этой области температур синтеза время жизни свободных электронов τ практически постоянно.

3.2. Рентгенофазовый анализ

Из данных рентгенофазового анализа (РФА) следует, что пленки имеют гексагональную структуру (вюрцит).

Размеры кристаллитов по направлению, перпендикулярному плоскости [103], оцененные по формуле $D_{103} = \lambda/\beta \cos \theta$ ($\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$ — длина волны рентгеновского излучения, β — ширина на половине высоты дифракционного пика), плавно растут с ростом T (таблица). Дифракционный пик [103] был выбран для этой цели, поскольку он находится на слабо изменяющемся фоне и не перекрывается с другими пиками.

Межплоскостные расстояния практически не зависят от T . Однако по своей абсолютной величине они оказались заметно меньше таковых для чистого CdS. Уменьшение параметров элементарной ячейки a , c может быть обусловлено либо частичной заменой атомов серы на

Параметры поликристаллических пленок CdS, полученных методом пиролиза аэрозоля

$T^\circ\text{C}$	$D_{av}, \text{ \AA}$	$a, \text{ \AA}$	$c, \text{ \AA}$	$D_{103}, \text{ \AA}$	$d, \text{ мкм}$	c/a	$E_g, \text{ эВ}$
250	1412	4.113	6.678	269	23	1.62363	2.40–2.41
300	970	4.105	6.666	255	17	1.62387	2.405–2.418
350	997	4.113	6.678	299	21	1.62363	2.428–2.43
400	896	4.113	6.678	343	16	1.62363	2.430
450	717	4.113	6.678	371	11	1.62363	2.45
500		4.121	6.690	386	6	1.62339	2.47
550	792	4.105	6.666	391	3	1.62387	2.45

Примечание. Для чистого CdS: $a = 4.1409 \text{ \AA}$, $c = 6.7198 \text{ \AA}$, $c/a = 1.6228$ [11]; $a = 4.136 \text{ \AA}$, $c = 6.713 \text{ \AA}$, $c/a = 1.6231$ [12].

атомы хлора или другого элемента с меньшим атомным радиусом, либо сжатием решетки CdS под действием поверхностной окисной пленки, разделяющей кристаллиты. По-видимому, все-таки наблюдаемое уменьшение межплоскостных расстояний обусловлено вакансиями в подрешетке кадмия. Во-первых, размер кристаллитов слишком большой, чтобы на них заметно повлияло сжатие из-за поверхностной пленки или давления Лапласа. Во-вторых, согласно данным химического анализа, в состав пленки входит достаточно большое количество атомов хлора. Избыток хлора можно легко разместить в подрешетке серы, если допустить присутствие дефектов в подрешетке кадмия.

Измеряя соотношения интенсивностей дифракционных пиков пленки и подложки, можно оценить толщину пленки d [6]. Из таблицы видно, что с увеличением температуры подложки толщина пленки уменьшается почти в 8 раз.

Анализ данных таблицы показывает, что пленки, полученные при 500°C , имеют параметры структуры, наиболее близкие к известным для чистого CdS.

3.3. Спектры отражения света

На рис. 2 приведены спектры диффузного отражения исследуемых образцов в диапазоне энергий фотонов $h\nu = 1.9\text{--}2.7$ эВ охватывающем край поглощения. Видно, что в зависимости от температуры синтеза увеличивается коэффициент отражения R практически при всех длинах волн.

Принимая во внимание, что коэффициент поглощения в CdS с коротковолновой стороны этого диапазона (в области межзонных переходов) достаточно большой ($\sim 2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$) и отсюда — малое отражение, а с длинноволновой стороны, напротив, коэффициент отражения велик, можно считать, что весь падающий на образец световой поток либо поглотится в пленке CdS, либо отразится, т.е. долей прошедшего света и поглощением в подложке можно пренебречь. Тогда коэффициент поглощения можно выразить через коэффициент отражения как [13] $\alpha \propto \ln[(R_{\text{max}} - R_{\text{min}})/(R - R_{\text{min}})]$, где R_{min} , R_{max} — минимальное (коротковолновое) и максимальное (длинноволновое) значения коэффициента отражения.

Значения ширины запрещенной зоны E_g могут быть определены из спектров поглощения экстраполяцией прямолинейного участка в координатах $(\alpha h\nu)^2$ — $h\nu$ на ось абсцисс [13,14], или в нашем случае из спектров коэффициента отражения в координатах $\{h\nu \ln[(R_{\text{max}} - R_{\text{min}})/(R - R_{\text{min}})]\}^2$ — $h\nu$ [15]. Определенные из экспериментальных спектров значения E_g приведены в таблице. Видно, что E_g в зависимости от температуры подложки монотонно увеличивается от 2.405 до 2.47 эВ.

Принимая во внимание, что для порошков CdS энергия запрещенной зоны значительно ниже, чем для монокристалла, и составляет $E_g = 2.349$ эВ [15] (для мо-

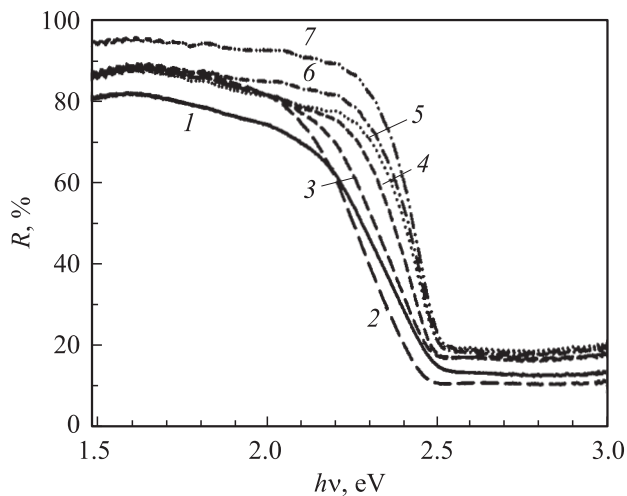


Рис. 2. Спектры отражения образцов CdS с примесью хлора, полученных при разных температурах подложки $T, ^\circ\text{C}$: 1 — 250, 2 — 300, 3 — 350, 4 — 400, 5 — 450, 6 — 500, 7 — 550.

нокристалла $E_g = 2.42$ эВ), можно считать, что при высоких температурах наблюдается хорошее соответствие энергии запрещенной зоны (2.47 эВ при $T = 500^\circ\text{C}$) справочным данным (E_g для вюрцитной модификации 2.52 эВ [12]).

Таким образом, спектральные данные подтверждают вывод, сделанный ранее из РФА и СВЧ фотопроводимости: пленки, полученные при $T = 500^\circ\text{C}$, действительно наиболее чистые. Кроме того, такое существенное различие в E_g пленок, полученных при разных температурах синтеза, указывает на резкое различие их структурных свойств.

4. Обсуждение

С использованием данных таблицы построены зависимости размера зерна (D_{103}) и ширины запрещенной зоны E_g от температуры получения пленок (рис. 3). Средний размер зерна (D_{av}) был найден с учетом наличия микродеформации, и он с ростом температуры получения пленок уменьшался. С тенденцией роста энергии запрещенной зоны и деформации при увеличении температуры коррелирует размер зерна D_{103} .

Изменение ширины запрещенной зоны может быть обусловлено различными факторами, например размером зерна, деформацией кристаллической решетки, изменением структурных параметров, собственными и примесными дефектами, концентрацией дефектов и т.д. Чтобы выяснить, какой из этих факторов оказывает решающее влияние на СВЧ поведение пленок, рассмотрим приведенные на рис. 3 зависимости энергии запрещенной зоны и размера зерна D_{103} от температуры подложки, обе функции изменяются практически одинаково. Кроме того, такая же зависимость от температуры подложки наблюдается и для амплитуды СВЧ

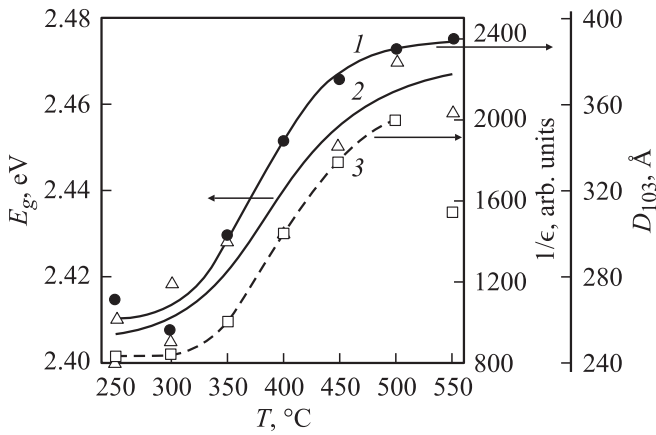


Рис. 3. Зависимость размера зерна D_{103} (1), ширины запрещенной зоны E_g (2), обратной микродеформации $1/\epsilon$ (3) пленок CdS от температуры подложки.

фотоотклика. Это наводит на мысль, что на оптические параметры, размер зерна и параметры СВЧ фотопроводимости оказывает влияние один и тот же фактор. Зависимости параметров СВЧ фотоотклика от размера зерна не выявлено.

Квантово-размерный эффект

Наблюдаемое изменение E_g трудно связать с квантово-размерным эффектом. Действительно, такие эффекты наблюдались в CdS в области существенно меньших размеров кристаллитов (35 \AA [16], $50\text{--}100 \text{ \AA}$ [17]), радиус экситона Бора в CdS составляет 24 \AA [18]. Принимая во внимание, что дефектная структура и соотношение дефектов в пленках сильно меняются в зависимости от температуры синтеза, скорее всего, именно дефектная структура ответственна за такие изменения E_g .

Уменьшение вклада сфалеритной модификации

Энергия запрещенной зоны при низких температурах синтеза соответствует сфалеритной модификации пленок CdS [12], при высоких — вюрцитной. Поэтому разумно учесть, что полученные данные могут быть объяснены и присутствием в пленках наряду с вюрцитной структурой также небольших вкраплений сфалеритной модификации, которые с ростом температуры синтеза исчезают, либо происходит фазовый переход сфалерит—вюрцит. Однако данные РФА показывают, что пленка кристаллизуется в основном в гексагональную (вюрцитоподобную) решетку. Зависимости изменения вклада сфалеритной модификации от температуры синтеза не прослеживаются, что опровергает данную версию.

Зависимость от параметров решетки

Для чистого CdS параметры решетки таковы: $a = 4.1409 \text{ \AA}$, $c = 6.7198 \text{ \AA}$, $c/a = 1.6228$ [11].

Отношение постоянных решетки (c/a) приблизительно равно 1.623 для всех пленок, что соответствует значению для порошков [19], но меньше идеального значения (1.633) для плотно упакованной гексагональ-

ной структуры [19]. В соответствии с [15] для чистого CdS $c/a = 1.6228$. Тогда, исходя из данных РФА, приведенных в таблице, можно предположить, что в пленке, полученной при $T = 500^\circ\text{C}$, ($c/a = 1.62339$) наблюдается наименьшая микродеформация решетки.

С целью проверить это предположение была рассчитана микродеформация, возникающая в пленках в процессе синтеза, согласно [20], — по полной ширине на полувысоте пиков дифрактограммы с использованием выражения

$$\beta \cos \theta = \frac{K\lambda}{D_{av}} + 4\epsilon \sin \theta, \quad (2)$$

где θ — угол Брэгга, β — ширина на половине высоты дифракционного пика, $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$ (длина волны излучения $\text{CuK}\alpha$), D_{av} — средний диаметр зерна, K — коэффициент формы ($K \approx 1$), ϵ — остаточная (после синтеза) деформация пленок.

Зависимость $\beta \cos \theta$ от $\sin \theta$ представляет собой прямую линию. Деформация ϵ может быть рассчитана по наклону этой прямой, средний размер зерна (D_{av}) по отсекаемому отрезку на оси ординат. На рис. 3 для наглядности приведена величина, обратная микродеформации.

Уменьшение остаточной микродеформации с ростом температуры синтеза свидетельствует об уменьшении концентрации дефектов решетки в пленках, полученных при высоких температурах. Исходя из вышеизложенного можно подтвердить вывод, сделанный из РФА, что пленки, полученные методом пиролиза из водного раствора тиомочевинных соединений с хлоридом кадмия, являются упруго деформированными, причем степень деформации наименьшая при высоких температурах. Таким образом, рост энергии запрещенной зоны обусловлен уменьшением деформации, вызванной уменьшением концентрации дефектов в пленках. Некоторое снижение E_g и $1/\epsilon$ при $T = 550^\circ\text{C}$ объясняется, по видимому, изменением качества пленок при высоких температурах.

Мы полагаем, что наблюдаемое увеличение E_g и изменение параметров СВЧ фотопроводимости (рост амплитуды фотоотклика) с увеличением температуры синтеза обусловлено уменьшением деформации кристаллической решетки, что в свою очередь обусловлено уменьшением содержания хлора в пленке при высоких температурах (например, по данным химического анализа в пленке, полученной при $T = 350^\circ\text{C}$, содержание хлора достаточно высокое — 3.3%). Данный вывод подтверждается измерениями рекомбинационной люминесценции проведенными на этих же образцах в [2], где показано, что при $T > 400^\circ\text{C}$ концентрация дефектов Cl_2 уменьшается и вместо них появляются дефекты O_2 .

Объяснить рост амплитуды фотоотклика с температурой синтеза можно увеличением подвижности либо в объеме зерна, либо на межзеренных границах. Суммарный ток через поликристалл определяется как проводимостью зерен, так и механизмом перехода носителей из

одного зерна в другое, т.е. проводимостью межзеренных границ. Как правило, проводимость кристаллов значительно выше, чем межзеренных границ. Поэтому рост амплитуды фотоотклика с температурой синтеза следует отнести к росту подвижности в области межзеренных границ, обусловленному понижением высоты потенциальных барьеров на границах зерен.

Для понимания природы барьеров можно обратиться к так называемой „ловушечной модели“ [21–24]. В основе ее лежит предположение, что электрические свойства поликристаллических образцов определяются захватом носителей на оборванные связи атомов, локализованных на межзеренных границах. Захват носителей может приводить к двум эффектам: к снижению концентрации свободных носителей, участвующих в проводимости, и к существенному уменьшению их подвижности из-за рассеяния на возникающих на границах потенциальных барьерах. Эффективное значение подвижности в этом случае определяется выражением [24]

$$\mu = \frac{Le}{\sqrt{2\pi m^* k T_m}} \exp\left(-\frac{E_b}{k T_m}\right),$$

где $E_b = eV_b$ — высота энергетического барьера, e — заряд электрона, m^* — эффективная масса, L — средний линейный размер кристаллита, T_m — температура образца, k — постоянная Больцмана. Потенциал V_b линейно зависит от концентрации примеси N в зерне и определяется, например, выражением $V_b = eL^2 N / 8\epsilon$ [24], где ϵ — статическая диэлектрическая проницаемость.

Наблюдавшееся нами увеличение дрейфовой подвижности электрона с увеличением температуры синтеза ($T > 400^\circ\text{C}$) при сохранении $\tau_1 \approx \text{const}$, казалось бы, принципиально противоречит обсуждаемой ловушечной модели, поскольку время жизни $\tau = (k_s N_{tr})^{-1}$, где N_{tr} — концентрация центров захвата электрона (tr), k_s — константа скорости реакции захвата электрона



Заметим, однако, что в силу высокой подвижности электронов, характерной для CdS, реакция (3) может протекать как в объеме кристаллита, так и на его поверхности. Поэтому характеристическое время жизни свободного электрона может быть представлено как

$$1/\tau = 1/\tau_V + 1/\tau_S, \quad (4)$$

где τ_V — время до захвата в объеме кристаллита, а τ_S характеризует время жизни носителя до захвата межзеренной границей. По-видимому, вклад второго слагаемого в правой части (4) мал. Поэтому в наших экспериментах характеристическое время спада быстрой компоненты СВЧ фотоотклика для пленок, полученных при $T > 400^\circ\text{C}$, практически не менялось при изменении T . Однако именно второй член в правой части (4) — захват на поверхности кристаллитов — может заметно

влиять на высоту межзеренных барьеров и тем самым существенно изменять дрейфовую подвижность электронов.

Авторы выражают свою глубокую признательность М.Г. Каплунову за измерения спектров диффузного отражения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 03-03-32202-а и 03-03-96404-р2003цчр).

Список литературы

- [1] J. Lee, T. Tsakalagos. *Nanostruct. Mater.*, **8** (4), 381 (1997).
- [2] Ю.В. Метелева, А.В. Наумов, Н.Л. Сермакашева, В.Н. Семенов, Г.Ф. Новиков. *Хим. физика*, **20** (9), 39 (2001).
- [3] В.Н. Семенов, А.В. Наумов. *Вестн. ВГУ. Сер. химия, биология*, **2**, 50 (2000).
- [4] Ю.В. Метелева, Н.Л. Сермакашева, В.Н. Семенов, Г.Ф. Новиков. *Хим. физика*, **20** (7), 30 (2001).
- [5] А.В. Наумов, Ю.В. Метелева, Н.Л. Сермакашева, В.Н. Семенов, Г.Ф. Новиков. *ЖПС*, **69** (1), 104 (2002).
- [6] Я.С. Уманский, Ю.А. Скаков, А.Н. Иванов, Л.Н. Расторгуев. *Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия* (М., Металлургия, 1982).
- [7] Н.Л. Сермакашева, Г.Ф. Новиков, Ю.М. Шульга, В.Н. Семенов. *ФТП*, **38** (4), 395 (2004). [N.L. Sermakasheva, G.F. Novikov, Yu.M. Shul'ga, V.N. Semenov. *Semiconductors*, **38** (4), 380 (2004).]
- [8] Г.Ф. Новиков, С.Г. Неманов, М.В. Алфимов. *Опт. и спектр.*, **75** (6), 1244 (1993).
- [9] R.J. Deri, J.P. Spoonhower. *Photogr. Sci. Eng.*, **28** (3), 92 (1984).
- [10] R.J. Deri, J.P. Spoonhower. *Phys. Rev. B*, **25** (4), 2821 (1982).
- [11] N. Razik. *J. Mater. Sci. Lett.*, **6**, 1443 (1987).
- [12] *Физические величины*. Справочник, под ред. И.С. Григорьева, Е.С. Мейлихова (М., Энергоатомиздат, 1991).
- [13] V. Kumar, T.P. Sharma. *J. Phys. Chem. Sol.*, **59** (8), 1321 (1998).
- [14] Ю.И. Уханов. *Оптические свойства полупроводников* (М., Наука, 1977).
- [15] J.P. Enriquez, X. Mathew. *Sol. Energy Mater. & Solar Cells*, **76**, 313 (2003).
- [16] R. Reisfeld. *J. Alloys Comp.*, **341**, 56 (2002).
- [17] В.Б. Зайцев, А.В. Зотеев, В.В. Клечковская, Т.В. Панова, Г.С. Плотников, Е.В. Ракова, Н.Д. Стёпина. *Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. Матер. докл. VII Всерос. конф. „Структура и динамика молекулярных систем“* (2001).
- [18] Jin Z. Zhang. *Acc. Chem. Res.*, **30** (16), 423 (1997).
- [19] A.E. Rakhshani, A.S. Al-Azab. *J. Phys.: Condens. Matter*, **12**, 8745 (2000).
- [20] E. Lifshin. *X-ray Characterization of Materials* (Wiley-VCH, N.Y., 1999) p. 37.
- [21] I.Y.W. Seto. *J. Electrochem. Soc.*, **122**, 701 (1975).
- [22] G. Bassarani, B. Ricco. *J. Appl. Phys.*, **49**, 11 (1978).
- [23] I.Y.W. Seto. *J. Appl. Phys.*, **46**, 5247 (1975).
- [24] С.А. Колосов, Ю.В. Клевков, А.Ф. Плотников. *ФТП*, **38** (4), 473 (2004).

Редактор Л.В. Шаронова

Microwave photoconductivity of cadmium sulphide films prepared in different conditions by pyrolysis of aerosol of aqueous solutions of thiocarbamide complexes

N.L. Sermakasheva, Yu.M. Shul'ga, Yu.V. Meteleva, G.F. Novikov

Institute of Problems of Chemical Physics,
Russian Academy of Sciences,
142432 Chernogolovka, Russia

Abstract The parameters of the microwave absorption photo-response caused by short pulse of nitrogen laser (337 nm, 10 ns) in micrometer-thick CdS films are studied by cavity method in the 3-cm frequency range. The films were prepared by the pulverization method from thiocarbamide coordination compounds at a substrate heated to 250–550°C. The dependence on the film synthesis temperature for the microwave-photoconductivity response parameters, the band gap energy, and the microdeformation of the crystal lattice was found.