

Формирование межфазной границы в резко неравновесных условиях

© А.П. Беляев, В.П. Рубец, В.В. Антипов

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
196013 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 29 мая 2007 г. Принята к печати 6 июня 2007 г.)

Сообщается о результатах сравнительных исследований межфазной границы CdTe—CdS в сэндвич-структурах Au/CdTe/CdS, синтезированных на подложке из искусственной слюды фторфлогопит в резко неравновесных условиях (температура подложки $T_s = 125$ К) и в квазиравновесных условиях (при $T_s > 720$ К). Представлены рентгенограммы и вольт-фарадная характеристика. Показано, что резко неравновесные условия позволяют синтезировать структуры с кристаллическим совершенством и межфазной границей не хуже, чем у структур, синтезированных в равновесных условиях.

PACS: 68.35.Fx, 68.37.-d, 68.55.Nq

Сегодня идет активный поиск новых эффективных технологий получения тонко-пленочных материалов, перспективных для создания высокоэффективных полупроводниковых приборов [1]. К числу таких перспективных технологий можно отнести синтез в резко неравновесных условиях, позволяющий получать совершенные по кристаллической структуре пленки при низких температурах [2,3].

Данная работа посвящена исследованиям межфазных границ, формирующихся при синтезе их паровой фазы в резко неравновесных условиях, которые, как известно, во многом определяют свойства гомо- и гетеропереходов.

Для экспериментов использовались сэндвич-структуры, изготовленные в резко неравновесных условиях [2], и структуры, полученные в условиях, близких к равновесным [4]. В качестве подложки использовались листочки из искусственной слюды фторфлогопит. На фторфлогопит наносился слой золота. Температура подложки T_s выбиралась таким образом, чтобы обеспечить рост ориентированной пленки. Электронограмму от этого слоя, нанесенного при температуре подложки $T_s = 125$ К, демонстрирует рис. 1, *a*. На слой Au при температуре T_s наносился слой теллурида кадмия. В резко неравновесных условиях при $T_s = 125$ К, а в равновесных, в зависимости от образца, — при $T_s = 870$ – 970 К. На рис. 1, *b, c* представлены электронограммы от слоя CdTe, полученного при $T_s = 125$ и 873 К соответственно. На слой теллурида кадмия наносился слой сульфида кадмия. Технологические режимы его получения в резко неравновесных и равновесных условиях соответственно составляли: $T_s = 166$ и 823 К. О кристаллической структуре слоя CdS свидетельствуют электронограммы на рис. 1, *d* и *e*.

Все технологические режимы выбирались таким образом, чтобы обеспечить получение ориентированных слоев. Синтез структур осуществляли в едином технологическом цикле при синтезе из паровой фазы.

Совершенство межфазных границ оценивалось на основе рентгенофазового анализа и по вольт-фарадным

характеристикам. Рентгенофазовый анализ проводился на дифрактометре ДРОН-2. Расшифровка рентгенограмм осуществлялась по картотеке ASTM. Вольт-фарадные характеристики измерялись с помощью измерителя импеданса BM-507.

Основные результаты исследований представлены на рис. 2–4.

На рис. 2 показаны характерные рентгенограммы от пленочных структур, полученных в условиях, близких к равновесным ($T_{sAu} = 125$ К, $T_{sCdTe} = 873$ К, $T_{sCdS} = 870, 920, 970$ и 720 К), а на рис. 3 рентгенограмма от сэндвич-структуры, выращенной в резко неравновесных условиях ($T_{sAu} = 125$ К, $T_{sCdTe} = 125$ К, $T_{sCdS} = 166$ К). Рис. 4 демонстрирует типичную вольт-фарадную характеристику структуры, выращенной в резко неравновесных условиях.

Из рис. 2 можно отчетливо видеть наличие рефлексов от твердых растворов, что свидетельствует о наличии в сэндвич-структуре переходного слоя — слоя твердого раствора. Причиной возникновения переходного слоя, очевидно, является взаимодиффузия, которая, как известно, экспоненциально связана с температурой. Рентгенограммы вполне коррелируют с этим. Размер пиков от твердых растворов с повышением температуры синтеза быстро возрастал. При синтезе в резко неравновесных условиях перенос массы в процессе формирования осуществляется за счет солитонов, инициируемых дислокациями несоответствия кристаллических решеток формирующегося слоя и подложки [2]. Он осуществляется только в плоскости подложки и не способствует перемешиванию материалов подложки и слоя. Температура же подложки имеет столь низкую величину, что взаимодиффузия оказывается полностью подавленной и поэтому переходного слоя, содержащего твердый раствор, не возникает, что подтверждает рис. 3. На нем отсутствуют пики, которые можно было бы отнести к твердым растворам.

Дополнительным свидетельством в пользу резкой межфазной границы между CdTe и CdS, сформированной в резко неравновесных условиях, является

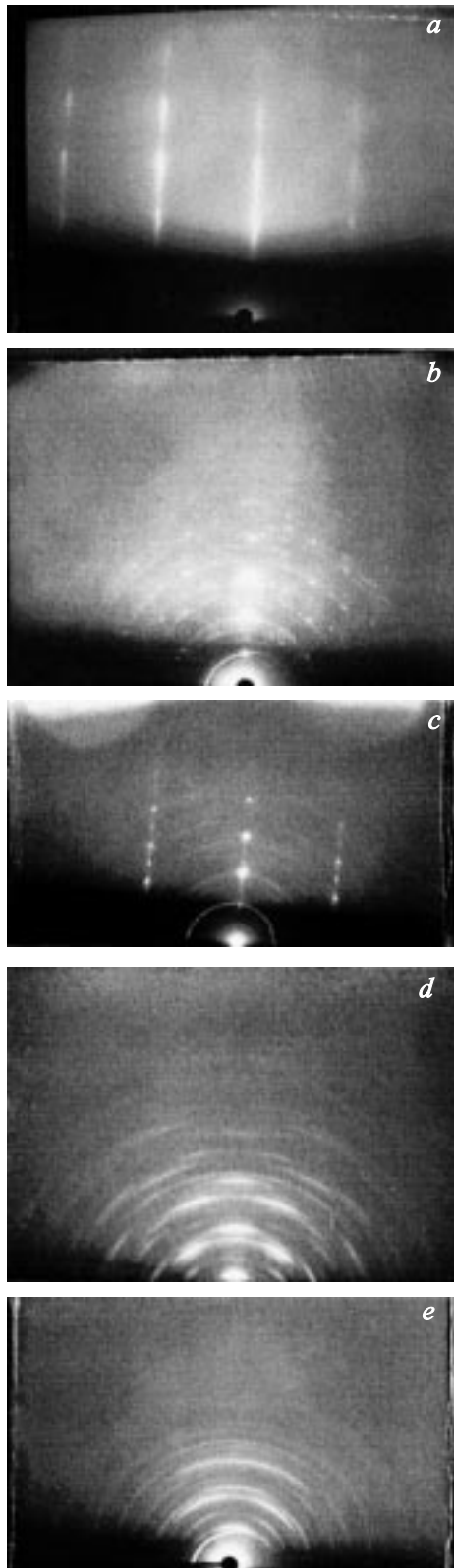


Рис. 1. Электронограммы слоев Au (a), CdTe (b,c) и CdS (d,e), синтезированных при температуре подложки T_s , К: a, b — 125, c — 873, d — 166, e — 823.

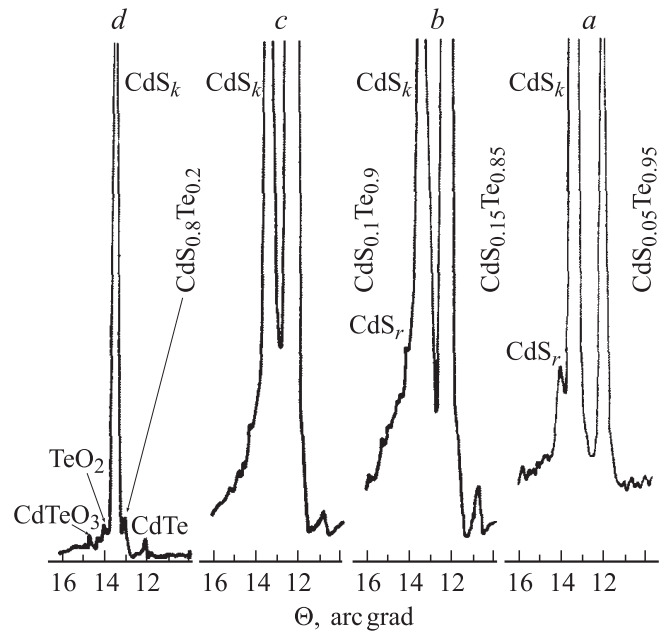


Рис. 2. Типичные рентгенограммы от сэндвич-структур Au/CdTe/CdS со слоем CdS, синтезированным при температурах подложки T_s , К: a — 870, b — 920, c — 970, d — 720.

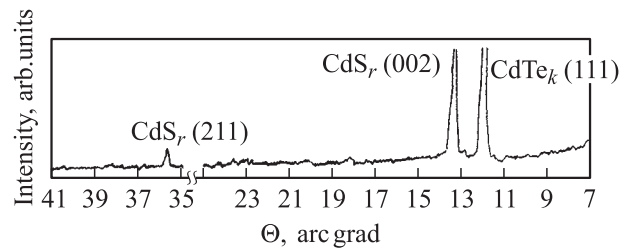


Рис. 3. Рентгенограмма от сэндвич-структуры Au/CdTe/CdS со слоем CdS, синтезированным при температурах подложки $T_s = 166$ К.

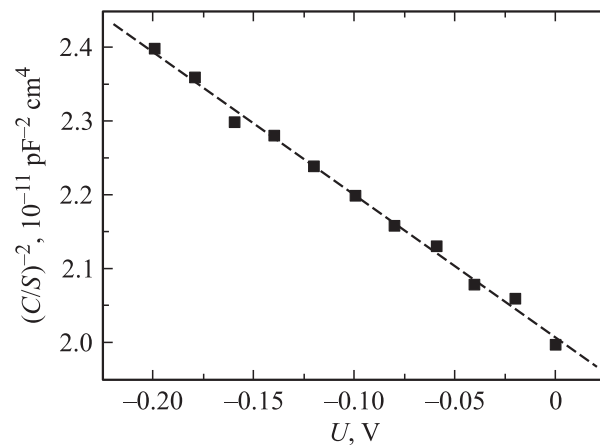


Рис. 4. Вольт-фарадная характеристика структуры Au/CdTe/CdS со слоем CdS, синтезированным при температурах подложки $T_s = 166$ К.

спрямление вольт-фарадной характеристики в координатах $(1/C)^2 - U$, демонстрируемое рис. 4.

Таким образом, представленные результаты позволяют констатировать, что резко неравновесные условия позволяют не только синтезировать слои с кристаллическим совершенством не хуже, чем в равновесных условиях, но и позволяют получать структуры с более резкой межфазной границей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 07-03-00366).

Список литературы

- [1] И.В. Бондарь, А.А. Вайполин, В.Ю. Рудь, Ю.В. Рудь, Е.И. Тербуков. ФТП, **41**, 160 (2007).
- [2] А.П. Беляев, В.П. Рубец. ФТП, **35**, 294 (2001).
- [3] А.П. Беляев, В.П. Рубец, В.В. Антипов. ФТП, **40**, 790 (2006).
- [4] А.П. Беляев, В.П. Рубец, И.П. Калинин. ФТТ, **39**, 382 (1997).

Редактор Т.А. Полянская

Phase boundary formation under the strongly non-equilibrium conditions

A.P. Belyaev, V.P. Rubets, V.V. Antipov

St. Petersburg State Technological Institute
(Technical University),
196013 St. Petersburg, Russia