

Электрофизические и морфологические свойства пленок CdTe, синтезированных методом молекулярного наслаивания

© В.А. Майоров[†], А.М. Яфясов, В.Б. Божевольнов, В.Ф. Раданцев*

Санкт-Петербургский государственный университет (физический факультет),
198504 Санкт-Петербург, Россия

* Уральский государственный университет,
620083 Екатеринбург, Россия

(Получена 25 августа 2009 г. Принята к печати 15 сентября 2009 г.)

Пленки теллурида кадмия синтезированы методом молекулярного наслаивания на подложках из графита, слюды и кремния. Получены однородные фоточувствительные слои площадью 65 см^2 , толщиной от 0.5 до 5 мкм с концентрацией дырок $6.3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ (300 К).

1. Введение

Пленки CdTe представляют значительный интерес для создания детекторов ИК-излучения, преобразователей солнечной энергии, детекторов γ - и рентгеновского излучения [1], а также в качестве буферных полупроводящих слоев при формировании гетероструктур. В последние годы интерес к пленкам CdTe вызван возможностью создания на их основе квантовых точек для спиновых и квантовых информационных систем с характерным временем релаксации спина около 100 пс [2–4].

2. Методика синтеза пленок и техника эксперимента

Исследуемые слои CdTe получены методом молекулярного наслаивания [5] с использованием диметилкадмия и диизопропил-теллура в качестве прекурсоров. Образование на поверхности пленки избыточного теллура, происходящее из-за низкой термической стабильности диизопропил-теллура, предотвращалось использованием $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$. В качестве газа-носителя был использован водород при давлении $3.9 \pm 0.2 \text{ кПа}$.

В качестве подложек применены кремний n -типа проводимости, полированный графит и слюда. Все подложки представляли собой диски диаметром 100 мм и толщиной 0.2–0.3 мм. В процессе синтеза температура подложки поддерживалась в интервале 270–300 °С. При проведении 5 циклов наслаивания в секунду скорость роста составляет 3.2 нм/с. Таким образом, пленка CdTe толщиной 3 мкм формировалась за 15 мин проведения синтеза. Общее время синтеза пленки толщиной 3 мкм составляло около 3 ч. Указанные выше условия синтеза позволяют исключить образование микрокристаллитов.

Морфологические свойства синтезированных пленок контролировались с помощью поляризационного микроскопа ПОЛАРМ, интерференционного микроскопа

МИИ-4 и комплекса „Strata Focus Ion Beam-205“. Структурные свойства пленок изучались на дифрактометре ДРОН 3.0 с помощью каталога [12].

Исследование электрофизических свойств пленок CdTe осуществлялось методом вольт-фарядных характеристик (ВФХ) в системе полупроводник–электролит [9–11]. ВФХ измерялись на токовом импульсном сигнале с длительностью тестирующего импульса порядка 1 мкс, при потенциодинамическом задании электродного потенциала, который измерялся относительно платинового электрода. В качестве электролита использовался 1 М раствор хлористого кадмия, приготовленный на основе бидистиллята.

3. Экспериментальные результаты и их обсуждение

На рис. 1 показан снимок поверхности теллурида кадмия, на котором видно, что поверхность пленки состоит из нескольких концентрических зон.

Светлый сектор в левом верхнем углу снимка и светлые кольца связаны с конструктивными особенностями реактора и представляют так называемую „мертвую зону реактора“. Темная область (I), расположенная между мертвой зоной и первым кольцом, представляет собой сильно неоднородный по толщине слой CdTe. Области II и III, расположенные между первым и вторым кольцом, и область IV представляют собой однородные по толщине слои CdTe.

На рис. 2 представлены микроснимки зондового ионного травления системы „пленка CdTe–подложка“ для соответствующих областей (I–IV), представленных на рис. 1.

Толщина пленки теллурида кадмия для области I составила примерно 1.2 мкм. На поверхности пленки присутствуют кристаллические образования, появившиеся вследствие осаждения избыточного элементарного теллура. Для области II толщина пленки составила 1.1 мкм, а ее строение практически бездефектное. В областях III и IV пленка теллурида кадмия практически идеальна и имеет толщину порядка 1 мкм.

[†] E-mail: Vadim.Mayorov@gmail.com

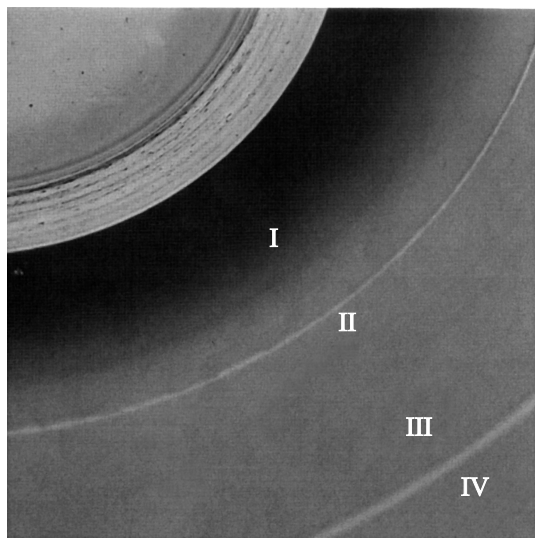


Рис. 1. Общий вид четверти пластины. I, II, III и IV — радиальные зоны, расположенные от центра пластины (левый верхний угол снимка) к периферии.

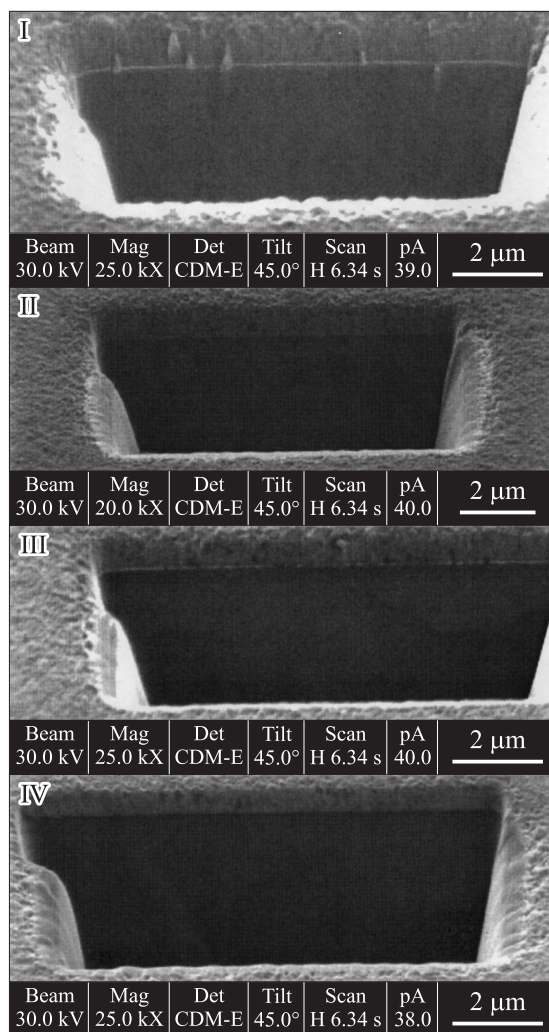


Рис. 2. Микрофотографии пленки CdTe на поверхности Si (снимки сделаны в областях, соответствующих зонам рис. 1).

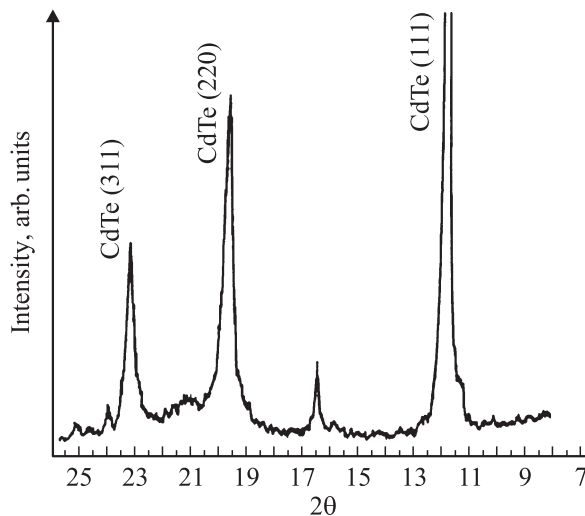


Рис. 3. Рентгенограмма пленки теллурида кадмия на поверхности кремния.

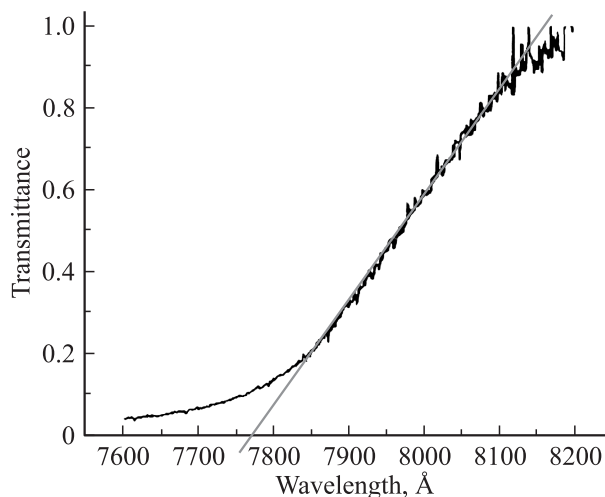


Рис. 4. Спектр инфракрасного пропускания пленки теллурида кадмия.

На приведенных снимках видно, что слои обладают хорошей морфологией, и их толщина незначительно уменьшается к внешнему периметру пластины, что свидетельствует о равнодоступности подложки для прекурсоров. Пористость синтезированных слоев, наблюдаемая на снимках, по нашему мнению, вызвана травлением образца ионным пучком в ходе снятия микрофотографии.

На рис. 3 приведена рентгенограмма пленки CdTe на кремнии. Рентгенограммы были отождествлены по карточке 15-770 каталога [12] как кубический теллурид кадмия с $a = 6.481 \text{ \AA}$. Анализ дифрактограммы свидетельствует о высокой степени упорядоченности синтезированных пленок.

Результаты исследования спектра пропускания пленки CdTe на слюде приведены на рис. 4.

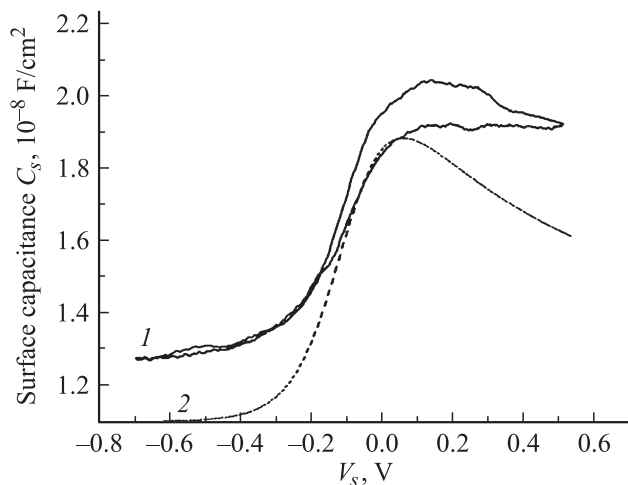


Рис. 5. Экспериментальная (1) и теоретическая (2) ВФХ.

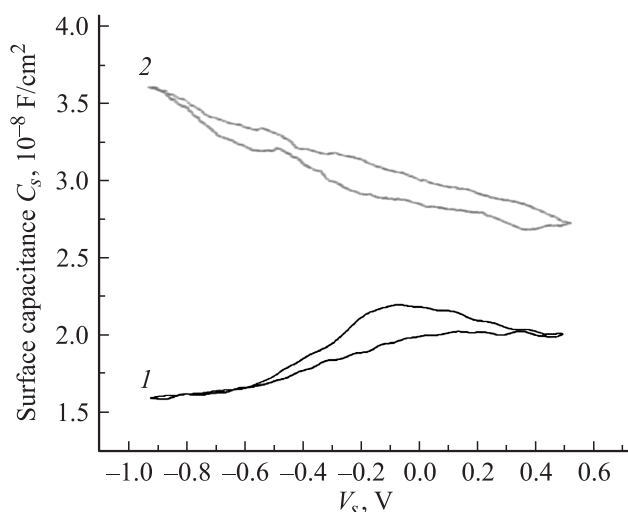


Рис. 6. Вольт-фарадные характеристики системы электролит-пленка теллурида кадмия-кремний при освещении белым светом (верхняя кривая) и в темноте.

Анализ спектра позволяет однозначно идентифицировать длину волны, соответствующую краю фундаментального поглощения в синтезированной пленке. Полученное значение длины волны соответствует ширине запрещенной зоны: $E_G = 1.57$ эВ. Этот результат находится в соответствии с литературными данными ($E_G = 1.4$ – 1.66 эВ [6–9]) для монокристаллического теллурида кадмия.

Для анализа экспериментальных ВФХ был выполнен расчет ВФХ системы Si-подложка-CdTe-пленка в приближении последовательно соединенных емкостей областей пространственного заряда (ОПЗ):

$$1/C = 1/C_{\text{CdTe}} + 1/C_{\text{Si}},$$

где C_{CdTe} и C_{Si} — емкости ОПЗ теллурида кадмия и кремния.

На рис. 5 приведены экспериментальные ВФХ, совмещенные с расчетными в точке потенциала плоских зон. Из рисунка видно, что экспериментальная и расчетная зависимости совпадают с точностью до множителя (~ 1.066), что соответствует точности (~ 5 – 8%) оценки площади контакта CdTe-пленка-Si-подложка. Анализ ВФХ дает величину концентрации и тип проводимости каждой из контактирующих фаз, при этом тип и концентрация носителей заряда для Si-подложки совпали с их паспортным значением, а для CdTe-пленки концентрации дырок соответствует $6.3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

Рис. 6 иллюстрирует фоточувствительность синтезированного материала. Измерения проводились при освещении поверхности CdTe-пленки через раствор электролита с помощью люминесцентной лампы. При этом в соответствии с теорией области пространственного заряда на поверхности полупроводников наибольший рост емкости наблюдается при генерации неосновных носителей заряда, а именно электронов в CdTe-пленке и дырок в Si-подложке.

4. Заключение

1. Подобраны условия синтеза однородных фоточувствительных пленок CdTe площадью 65 см^2 при скорости синтеза 3 нм/с с концентрацией дырок $6.3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и шириной запрещенной зоны 1.57 эВ при 300 К .

2. Исследованы электрофизические свойства межфазовой границы p-CdTe (пленка)-электролит. Показано отсутствие быстрых поверхностных состояний и оксидов на поверхности пленки CdTe.

3. Синтезированная пленка соответствует стехиометрическому CdTe. Синтезированы пленки толщиной начиная от 0.5 до 5 мкм .

В заключение авторы благодарны В.Е. Дрозду за неоценимую помощь в освоении методики молекулярного наслаивания и А. Романову за помощь при изготовлении микрофотографий поверхности пленок CdTe.

Работа выполнена в рамках НИР 8.12.07 с привлечением средств проекта МНТЦ 3963.

Список литературы

- [1] S.H. Demtsu, J.R. Sites. *Thin Sol. Films*, **510**, 320 (2006).
- [2] Chunliang Li, Norio Murase. *Chem. Lett.*, **34** (1), 92 (2005).
- [3] Н.А. Бабаев, В.С. Багаев. *Письма ЖЭТФ*, **37** (11), 524 (1983).
- [4] N.H. Karam, R.G. Wolfson, I.B. Bhat, H. Ehsani, S.K. Ghandi. *Thin Sol. Films*, **225**, 261 (1993).
- [5] В.Б. Алексовский. Автореф. докт. дис. (Л., Технологический ин-т, 1952).
- [6] *Handbook series on semiconductor parameters*, ed. by M. Levinshtein, S. Rumyantsev, M. Shur (World Scientific, Singapore–N. Y.–London–Hong Kong, 1996) v. 1.

- [7] *Handbook series on semiconductor parameters*, ed. by M. Levinshtein, S. Rumyantsev, M. Shur (World Scientific, Singapore–N. Y.–London–Hong Kong, 1996) v. 4.
- [8] *Физические величины: Справочник*, под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова (М., Энергоиздат, 1992).
- [9] *Физика соединений A^{II}B^{VI}*, под ред. А.Н. Георгобини, М.К. Шейнкмана (М., Наука, 1986).
- [10] Ю.Я. Гуревич, Ю.В. Плесков. *Фотоэлектрохимия полупроводников* (М., Наука, 1983).
- [11] П.П. Коноров, А.М. Яфясов. *Физика поверхности полупроводниковых электродов* (СПб., Изд-во СПбГУ, 2003).
- [12] *Powder Diffraction File* — Release 2006 (ICCD). PDF N 15–770.

Редактор Л.В. Беляков

Electrophysical and morphological properties of thin CdTe films obtained by Atomic Layer Deposition technique

V.A. Mayorov, A.M. Yafaysov, V.B. Bogevolnov,
V.F. Radanstev*

Saint Petersburg State University, Physical Faculty,
198504 St. Petersburg, Russia

* Ural State University,
620083 Ekaterinburg, Russia

Abstract Composition of CdTe layers on Si and mica was conducted using flowtype reactor which allows production of large square samples. Atomic layer deposition method was used to process samples. This allows to reproduce the set of given physical qualities from sample to sample. Certain modifications were introduced to prevent formation of elemental Te and Cd domains in the sample. Physical properties of samples was studied and discussed.