

Б-94

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



668/2-78

6/II-78

P14 - 11031

Ю.Бух, Д.Валентович

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА ПЛЕНОК  
 $\text{CdTe}$ , ПОЛУЧЕННЫХ КАТОДНЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

**1977**

P14 - 11031

Ю.Бух, Д.Валентович\*

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА ПЛЕНОК  
CdTe, ПОЛУЧЕННЫХ КАТОДНЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

Направлено в "*Thin Solid Films*"



---

\* Электротехнический институт САН, Братислава,  
ЧССР.

Бух Ю., Валентович Д.

P14 - 11031

Химический состав и структура пленок CdTe, полученных катодным напылением

Приводятся результаты химического анализа пленок CdTe, полученных катодным напылением. Анализ осуществлялся методом упругого рассеяния  $^3\text{He}$ . Показано существенное влияние вакуумных условий. В пленках обнаружено присутствие до 2,0 ат.% рабочего газа аргона и 2,5 ат.% кислорода. Соотношение атомных концентраций основных элементов Cd и Te в пленках строго постоянно. Пленки кристаллизуются в двух кристаллографических модификациях (с кубической и гексагональной решетками) и являются текстурными.

Напыляемые пленки CdTe состоят из отдельных столбиковидных кристаллитов с диаметром 0,1–0,3 мкм, перпендикулярных к плоскости подложки.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Buch J., Valentovič D.

P14 - 11031

Chemical Composition and Structure of Cathode Sputtered CdTe Films

The chemical composition analysis of the cathode sputtered CdTe thin films by elastic scattering of 3.0 MeV  $^3\text{He}$  particles is presented.

The vacuum conditions during the deposition have the essential influence on the composition of the sputtered CdTe thin films as it is shown by the presence of operating gas argon up to 2 atomic per cent and the oxygen contamination within the films up to 2.5 atomic per cent. The atomic concentration in the basic Cd and Te components in the films is strictly constant and the same as in the target from which the films were deposited.

The films consist of fibrous oriented perpendicular to the substrate crystallites, crystallizing in cubic and hexagonal structure either. The diameter of crystallites 0.1–0.3  $\mu\text{m}$  is constant throughout the film thickness.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

В настоящее время во многих лабораториях уделяется большое внимание получению и изучению электрофизических и структурных свойств пленок CdTe. Это связано с наблюдением фотовольтаических явлений в пленочных структурах металл-CdTe-металл<sup>1-3</sup>, электретных явлений<sup>4,5</sup>, эффектов постоянной поляризации<sup>6</sup>, эффектов переключения<sup>7,8</sup> и т.д.

В нашем случае пленки CdTe, используемые для наблюдения многих из упомянутых эффектов, получались катодным распылением монокристаллической мишени в кварцевом вакуумном реакторе. Установка откачивалась до начального вакуума  $5 \cdot 10^{-6}$  Тор. Напыление пленок CdTe осуществлялось в спектрально чистом аргоне при давлении  $1 \div 5 / 10^{-2}$  Тор. Напряжение распыления было постоянным ( $U_p = 4,0$  кВ) при плотности тока на мишени  $j_p = 1,0$  мА/см<sup>2</sup>. Расстояние от мишени до держателя подложек составляло 3,0 см. Пленки напылялись на подложки из корундовой керамики, NaCl и монокристаллического кремния.

Анализ химического состава напыляемых пленок CdTe проводился методом упругого рассеяния  $^3\text{He}$  с первичной энергией частиц  $E_0 = 3,0$  МэВ<sup>9</sup>.

Рассеянные частицы регистрировались с помощью кремниевого поверхностно-барьерного детектора, расположенного под углом  $\theta = 135^\circ$  и многоканального амплитудного анализатора типа DIDAC на 2000 каналах. Энергетическое разрешение спектрометрического канала было лучше чем 15 кэВ. Энергетическая ширина канала составляла 1,55 кэВ. Характеристические спект-

ры упруго рассеянных частиц  $^3\text{He}$  от двух пленок CdTe на кремниевых подложках видны на рис. 1.

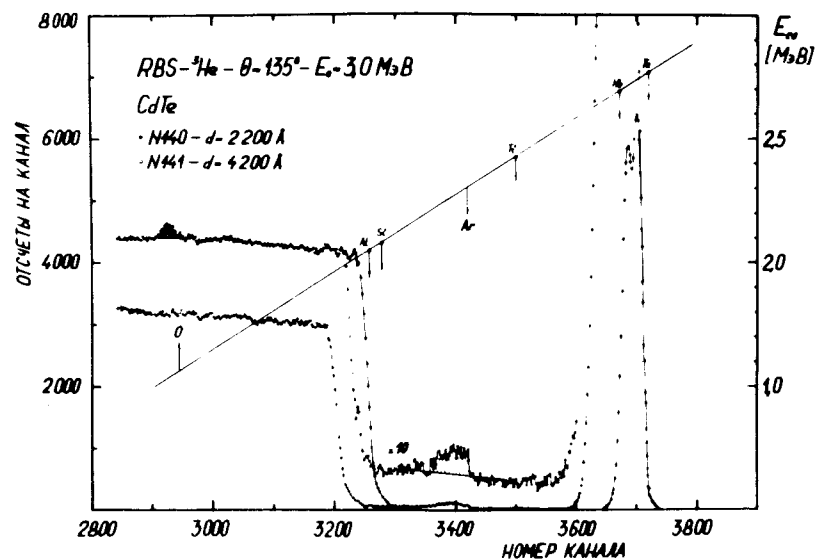


Рис. 1. Энергетические спектры упруго рассеянных частиц  $^3\text{He}$  от напыленных пленок CdTe на кремниевых подложках. На рисунке приведена и экспериментальная прямая для определения примесных элементов. Часть спектра от пленки №141 увеличена (10х). Площади, соответствующие примесным элементам кислорода и аргона, заштрихованы.

Наличие главного пика в спектре у канала 3720 свидетельствует о рассеянии частиц пучка от поверхности пленок на атомах Te в соответствии с кинематическим фактором рассеяния  $K_{sc} / \text{табл. 1}^{10} /$ . Для пленок CdTe толщиной до 3000 Å наблюдается четко выраженный и второй пик, свидетельствующий о рассеянии от атомов Cd /образец №140/. Путем обработки спектров на ЭВМ были определены с большой точностью площади для отдельных элементов A, пропорциональные атомным концентрациям соответствующих элементов:

$$\frac{N_{\text{Cd}}}{N_{\text{Te}}} = \frac{A_{\text{Cd}}}{A_{\text{Te}}} \frac{\sigma_{\text{Te}}}{\sigma_{\text{Cd}}} = \frac{115468}{135559} \cdot \frac{2,135 \cdot 10^{-24}}{1,8183 \cdot 10^{-24}} = 1,00015,$$

где  $\sigma$  - дифференциальное сечение упругого рассеяния.

Из проведенного анализа можно заключить, что при катодном напылении пленок CdTe строго соблюдается и повторяется атомный состав компонент, имеющийся на распыляемой мишени.

Таблица 1

Значения энергии рассеяния  $E_{sc} / \text{МэВ} /$  и дифференциального сечения упругого рассеяния  $\sigma$  для некоторых элементов периодической таблицы для частиц  $^3\text{He}$ .  $/\theta = 135^\circ; E_0 = 3,0 \text{ МэВ} /$ .

Элемент	$z_2$ - ат. номер	$M_2$ - ат. масса	$\sigma$	$E_{sc}$
C	6	12,01	2,588E-26	1,249
N	7	14,00	3,614E-26	1,421
O	8	15,99	4,798E-26	1,564
Na	11	22,98	9,326E-26	1,912
Al	13	26,98	1,311E-25	2,046
Si	14	28,08	1,523E-25	2,077
Cl	17	35,45	2,260E-25	2,243
Ar	18	39,95	2,540E-25	2,318
Ti	22	47,90	3,804E-25	2,419
Nb	41	92,90	1,326E-24	2,685
Cd	48	112,40	1,819E-24	2,738
Te	52	127,60	2,135E-24	2,768

Для более толстых пленок CdTe /свыше 3000 Å/ вследствие линейных энергетических потерь пучка спектры получаются более широкими и их разложение по отдельным элементам затруднено /образец №141/.

По спектрам можно также судить о влиянии на состав пленок CdTe вакуумных условий во время их напыления.

На рис. 1 приведена экспериментальная прямая, по которой можно точно определить количество присутствующих в пленках CdTe примесных элементов. Эта прямая построена по точкам, полученным для чистых элементов Al, Si, Ti, Nb и Te и определяющим начало пиков рассеяния, т.е. номер канала или соответствующую энергию рассеяния  $E_{sc}$ . Во всех случаях наблюдалось присутствие в исследуемых пленках атомов рабочего газа аргона (до 2,0 атомных процентов). В отдельных пленках наблюдалось также присутствие атомов кислорода (2,5 атомных процентов), а в некоторых - атомов хлора. В табл. 2 приведены рассчитанные значения атомных концентраций элементов в пленках CdTe №140 и №141.

Таблица 2

Содержание примесей в напыляемых пленках CdTe, определенных из энергетических спектров на рис. 1.

№ образца	элемент ат. %		
	O	Cl	Ar
№140	0,989	0,602	1,651
№141	0,290	0,0	1,386

Присутствие в напыляемых пленках CdTe аргона закономерно, но большой разброс значений содержания кислорода в них явно зависят от различий вакуумных условий перед и во время напыления пленок, т.е. начального вакуума, отжига вакуумного реактора, очистки и чистоты рабочего газа аргона и т.д.

Уменьшение содержания аргона и кислорода в пленках CdTe может быть достигнуто применением плазменческого распыления, которое позволяет получать пленки при рабочем вакууме на два порядка лучше ( $p \approx 5 \cdot 10^{-4}$  Тор/).

Присутствие в отдельных случаях атомов хлора в пленках, вероятно, связано с условиями приготовления и чистки подложек.

В связи с наличием в напыляемых пленках CdTe такого количества примесей, особенно кислорода и хлора, возникает необходимость в дальнейшем исследовать их электрохимическую природу, которая может во многих аспектах уточнить и объяснить наблюдаемые фотоэлектрические явления.

На рис. 2 приведена характеристическая рентгенодифрактограмма от напыляемых пленок CdTe. Видно,

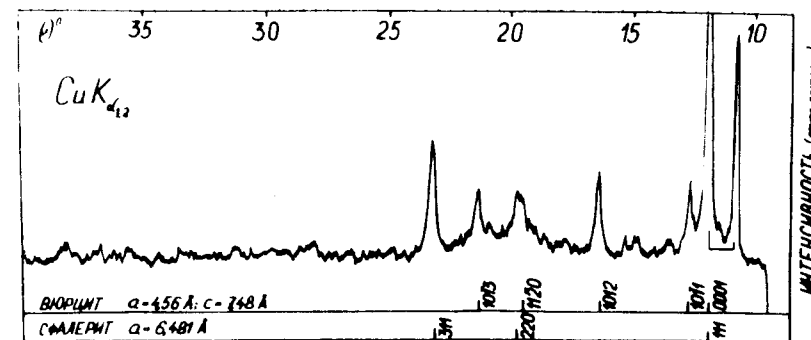


Рис. 2. Характеристическая рентгенодифрактограмма напыляемых пленок CdTe на керамической подложке.

что пленка CdTe поликристаллическая и кристаллизуется в двух кристаллографических модификациях. Можно идентифицировать фазу с кубической решеткой /тип сфалерит/ и фазу с гексагональной решеткой /тип вюрцит/. Из рисунка видно, что пленки текстурны. Текстура выражена в направлении [111] для сфалеритической фазы или в направлении [0001] для фазы вюрцита. Оба эти направления перпендикулярны плоскости подложки. В некоторых случаях наблюдались рефлексы, которые не соответствовали ни одной из этих фаз, ни наличию чистого Cd или Te. Вероятно, они свидетельствуют о присутствии субрешеток.

Исследования поверхности и грани излома на сканирующем электронном микроскопе показали, что напыляемые пленки CdTe состоят из отдельных столбиковидных кристаллитов, ориентированных перпендикулярно поверхности подложки. Их диаметр составляет 0,1-0,3 мкм и примерно постоянен по всей высоте кристаллита.

Авторы выражают признательность Г.М.Осетинскому за постоянную помощь в работе, а также коллективу сотрудников ЛНФ, обеспечившему хорошую работу ускорителя ЭГ-5.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Семилетов С. ФТТ, 1962, 4, с.1241.
2. Matsuno J., Inoue M. *Jap. J. Appl. Phys.*, 1967, 6, p.297.
3. Дульднер В. и др. ФТП, 1971, 5, с.1675.
4. Кнеппо I., Červenák J. *Solid State Electronics*, 1972, 15, p.587.
5. Červenák J. *Czech. J. Phys.*, 1974, B24, p.925.
6. Červenák J., Kneppo I., Luby Š. *Acta Phys. Slov.*, 1974, 24, p.71.
7. Kremťaský J. e.a. *phys. stat. sol.*, 1975, 6, p.515.
8. Denton G., Friedman G., Schetzina J. *J. Appl. Phys.*, 1975, 46, p.3044.
9. Бух Ю. и др. ОИЯИ, P14-10021, Дубна, 1976.
10. Бух Ю. и др. ОИЯИ, P14-10446, Дубна, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 октября 1977 года.