

УДК 621.383

Слои MnCdHgTe , полученные методом ВЧ-распыления в плазме ртути

В. Й. Кавыч, М. И. Лозинская, Л. Г. Мансуров

Львовский национальный университет им. Ивана Франко, г. Львов, Украина

Показана возможность получения монокристаллических слоев MnCdHgTe ($E_g = 0,14-0,17$ эВ) на подложки CdTe с ориентацией $(\overline{110})$ реактивным осаждением в ВЧ-ртутном тлеющем разряде. Эпитаксиальный рост слоев MnCdHgTe имеет место при $T_n = 220-250$ °С. После двухстадийной обработки в парах ртути слои MnCdHgTe характеризуются аномально высокими значениями подвижности дырок (до $1500 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$).

Твердые растворы $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ являются одними из основных материалов, используемых для изготовления фотоприемников ИК-излучения. Однако их широкому применению препятствует нестабильность основных физических параметров системы $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$. В работе [1] показано, что в этой системе кадмий дестабилизирует химически нестойкую связь $\text{Hg}-\text{Te}$ вследствие значительных отличий атомных радиусов Cd и Hg . Стабильность связи $\text{Hg}-\text{Te}$ улучшается с введением марганца, поскольку атомный радиус Mn ближе к атомному радиусу Hg [2–5]. Поэтому следует ожидать, что в системе четырехкомпонентных твердых растворов $\text{Mn}_x\text{Cd}_y\text{Hg}_{1-x-y}\text{Te}$ (МКРТ), в которых Cd частично замещен на Mn , можно получить как монокристаллы, так и эпитаксиальные слои с более совершенной структурой и меньшей плотностью дефектов в сравнении с системой $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$. Актуальным остается вопрос получения тонких эпитаксиальных слоев МКРТ с однородным распределением компонент по поверхности и толщине слоя.

Известны следующие способы эпитаксиального роста слоев МКРТ: газофазная эпитаксия в изотермических условиях при контролируемом давлении на подложки MnCdTe [6, 7], а также жидкофазная эпитаксия из расплавов $\text{Mn}-\text{Hg}-\text{Te}$ на подложки CdTe [8, 9] при достаточно высоких температурах эпитаксии 560–690 и 610–690 °С, соответственно.

В данной работе приведены результаты экспериментов, связанных с получением эпитаксиальных слоев МКРТ методом ВЧ-распыления в ртутном тлеющем разряде в квазизамкнутом объеме. Исследованы закономерности их конденсации на подложки CdTe и влияние технологических условий роста на структурные и электрофизические свойства слоев МКРТ.

Эксперимент

Монокристаллические слои выращивали методом ВЧ-распыления в плазме ртути [10–12]. Тлеющий разряд возбуждался в автономном квазизамкнутом объеме. Давление паров ртути в камере изменялось от 10^{-1} до 10^2 мм рт. ст. Совместное испарение CdTe , Te и монокристаллических пластин $\text{Mn}_{0,12}\text{Hg}_{0,88}\text{Te}$ позволяло получать слои четырехкомпонентного твердого раствора МКРТ. Для получения слоев с большим содержанием марганца к источнику мишени дополнительно добавлялись монокристаллы Mn . В качестве подложек использовали монокристаллические, ориентированные в направлении $[\overline{110}]$, пластины теллурида кадмия. Конденсацию паров компонентов проводили при температурах подложки (T_n) от 50 до 270 °С и скоростях роста 4–6 мкм/ч. Толщина эпитаксиальных слоев МКРТ составляла 4–6 мкм.

Структуру слоев МКРТ исследовали методами дифракции быстрых электронов на отражение. Электрофизические параметры измеряли по стандартным методикам в магнитном поле $B = 0,1$ Тл на постоянном токе в температурном диапазоне 80–300 К. Полевые зависимости снимались в магнитных полях 0,2–2 Тл при температуре 77 К.

Экспериментальные результаты и обсуждение

Электронографические исследования полученных слоев МКРТ показали, что рост структурно совершенных эпитаксиальных слоев имеет место при $220 < T_n < 250$ °С (рис. 1). Результаты рентгеновского микронзондового анализа показали одинаковый состав эпитаксиальных слоев по площади поверхности размером $2,5 \times 2,5$ см.



Рис. 1. Электронограмма на отражение для образца $Mn_{0,036}Cd_{0,134}Hg_{0,83}Te$ ($T_n = 235$ °C)

Значения ширины запрещенной зоны исследованных эпитаксиальных слоев, определенные из спектров пропускания при комнатной температуре, приведены в таблице, там же приведены значения E_g , рассчитанные согласно [13] и [14], соответственно:

$$E_g = 1,46 - 1,62(1 - x - y) + 1,33x; \quad (1)$$

$$E_g = -0,302 + 5,125 \cdot 10^{-4}T - (y + 2,287x) \cdot 10^{-3}T + 1,93(y + 2,197x) - 1,62(y^2 + 2,728x^2) + 0,272(12,235y^3 - x^3).$$

Электрофизические параметры измерялись в исходных и отожженных в парах ртути образцах МКРТ. Использовались два разных режима обработок исследуемых образцов в парах ртути: двухстадийный отжиг, состоящий из начальной кратковременной (до 1 ч) при температуре 400 °C

и длительной (до 24 ч) изотермической при 210 °C обработок; одностадийная изотермическая обработка при температуре 210 °C на протяжении 24 ч.

Характерные температурные и полевые зависимости постоянной Холла (R_H) и холловской подвижности ($R_H\sigma$) представлены на рис. 2–4 для образца $Mn_{0,036}Cd_{0,134}Hg_{0,83}Te$. Температурный ход зависимостей $R_H(1/T)$ (см. рис. 2, кривая 1) и $R_H\sigma(1/T)$ (см. рис. 3, кривая 1) исходного образца указывает на то, что слои — электрически неоднородные. Одностадийная обработка в парах ртути существенно не влияет на ход температурных зависимостей $R_H(1/T)$ (см. рис. 2, кривая 3) и $R_H\sigma(1/T)$ (см. рис. 3, кривая 3). Двухстадийная обработка образцов в парах ртути указывает на p -тип проводимости в полученных слоях МКРТ с высокой концентрацией и высокой подвижностью дырок (см. рис. 2, 3, кривая 2). Наличие дырочной проводимости обусловлено тем, что источники-мишени $MnHgTe$ владели p -типом проводимости с концентрацией дырок на уровне 10^{17} см^{-3} . Аномально высокие значения холловской подвижности при высокой концентрации носителей не понятны. Возможно это обусловлено наличием тяжелых и легких дырок. Отрицательные значения постоянной Холла исходных образцов обусловлены условиями выращивания, которые являются аналогичными к наблюдаемым нами при получении слоев $CdHgTe$ ВЧ-распылением в ртутном разряде, для которых являются характерными высокие значения концентрации электронов (до 10^{18} см^{-3}) [10].

ШИРИНА ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ

№ п/п	x	y	E_g , эВ, $T = 300$ К		E_g , эВ, расчет (2)	
			эксперимент	расчет (1)	$T = 300$ К	$T = 77$ К
1	0,025	0,145	0,148	0,149	0,150	0,081
2	0,030	0,140	0,151	0,155	0,160	0,092
3	0,036	0,134	0,163	0,163	0,171	0,105
4	0,052	0,120	0,167	0,188	0,202	0,142

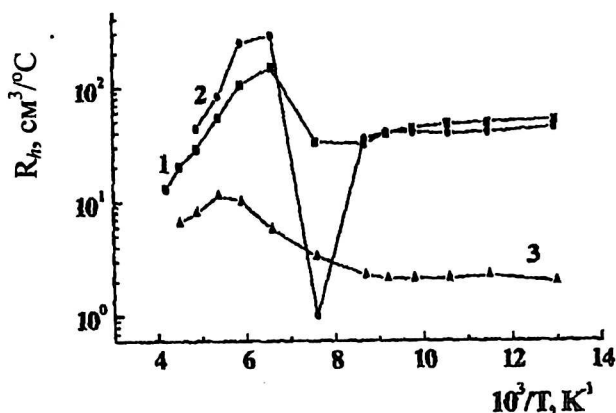


Рис. 2. Температурные зависимости постоянной Холла для образца $Mn_{0,036}Cd_{0,134}Hg_{0,83}Te$: 1 — после роста; 2 — после двухстадийного отжига; 3 — после одностадийного отжига

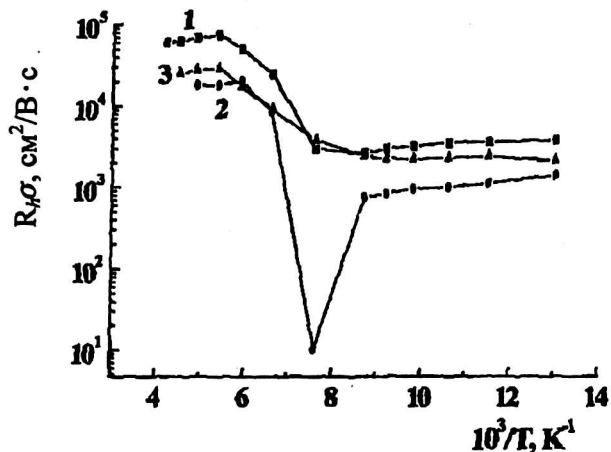


Рис. 3. Температурные зависимости холловской подвижности для образца $Mn_{0,036}Cd_{0,134}Hg_{0,83}Te$:
1 — после роста; 2 — после двухстадийного отжига;
3 — после одностадийного отжига

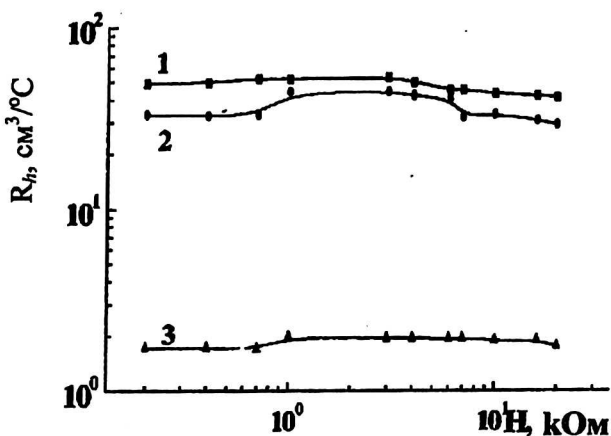


Рис. 4. Полевые зависимости постоянной Холла для образца $Mn_{0,036}Cd_{0,134}Hg_{0,83}Te$:
1 — после роста; 2 — после двухстадийного отжига;
3 — после одностадийного отжига

Аномалии на температурных зависимостях $R_H(1/T)$ в твердых растворах $CdHgTe$ p - и n -типа проводимости хорошо известны [15]. Для интерпретации подобных аномалий в МКРТ можно использовать модель смешанной проводимости с участием носителей заряда нескольких сортов [16]. Возможным является влияние поверхности и объемных включений. Для исключения влияния поверхности нами проводилось химическое травление образцов. Характер зависимостей

$R_H(1/T)$ в исходных и отожженных в парах ртути образцах, измеренных до и после травления, не менялся. Зависимости $R_H(1/T)$ и $R_H\sigma(1/T)$ можно также интерпретировать в рамках модели двухслойной структуры $n-p$ -типа.

Заключение

Показана возможность получения эпитаксиальных слоев МКРТ ($E_g = 0,14-0,17$ эВ) в ртутном тлеющем разряде при температуре эпитаксии 220–250 °С. После двухстадийной обработки в парах ртути полученные слои МКРТ имеют аномально высокие значения подвижности дырок (до 1500 $cm^2/V\cdot s$), что можно объяснить существенным вкладом электронов в значение холловской подвижности.

Литература

1. Sher A., Chen A. B., Spicer W. E., Shin C. K.// J. Vac. Sci. Technol. 1985. № A3. P. 105.
2. Wall A., Caprile C., Franciosi A. et al.// Ibid. 1986. № A4. P. 812.
3. Ляпилин И. И., Цидильковский И. М.// Успехи физ. наук. 1985. № 146. С. 35.
4. Фурдына Я., Косут Я. Полумангнитные полупроводники. — М.: Мир, 1992.
5. Rogalski A.// Infrared Phys. 1991. № 31. P. 117.
6. Debska U., Dietl M., Grabeski G. et al.// Phys. Stat. Sol. (a). 1981. № 64. P. 707.
7. Becla P., Aggarwal R. L., Yuen S. Y. et al.// J. Vac. Sci. Technol. 1985. № A3. P. 119.
8. Миронов К. Е., Унтила П. Г., Зеленцова О. В. Материалы VII Всес. симпоз. "Полупроводники с узкой запрещенной зоной и полуметаллы". — Львов, 1986. С. 148.
9. Баженов Н. Л., Иванов-Омский В. И., Миронов К. Е. и др.// ФТП, 1988. № 22. С. 1258.
10. Мансуров Л. Г., Симкив Б. О., Данилюк Ю. В. Материалы VI Всес. симпоз. "Полупроводники с узкой запрещенной зоной и полуметаллы" — Львов, 1983. С. 38.
11. Mansurov L. G., Savitsky V. G.// J. Crystal Growth. 1996. № 161. P. 201.
12. Mansurov L., Kavych V., Lozynska M., et al.// SPIE. 2001. № 4355. P. 278.
13. Manhas S., Knulbe K. C., Beckett D. J. S. et al.// Phys. Stat. Sol. (b). 1987. № 143. P. 267.
14. Боднарж О. А., Марков А. В., Остапов С. Э. и др.// ФТП. 2000. № 34. С. 430.
15. Ivanov-Omski V. I., Berchenko N. N., Elizarov A. I.// Phys. Stat. Sol. 1987. № 103. P. 11.
16. Гавалешко Н. Н., Тетеркин В. В., Сизов Ф. Ф., Паранчич С. Ю.// ФТП. 1993. № 27. С. 459.

Epitaxial MnCdHgTe layers obtained by RF sputtering in mercury plasma

V. J. Kavych, M. I. Lozynska, L. G. Mansurov
Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

We have demonstrated the feasibility of growing the MCMT single crystal layers ($E_g = 0,14-0,17$ eV) on CdTe $(\bar{1}\bar{1}0)$ substrates by reactive deposition in RF mercury glow discharge. The specific values of the T_s at the range from 220 to 250 °C lead to epitaxial growth of the MCMT layers. After two-stage treatment in Hg overpressure the MCMT layers have the anomalous high values of the hole mobility (up to 1500 cm/V·s).