

06;07;11;12

ОПТИЧЕСКИЕ И МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК ПОЛУМАГНИТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ CdMnTe, ПОЛУЧЕННЫХ ЛАЗЕРНЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

© П.И.Никитин, А.И.Савчук, С.В.Медынский,
А.М.Горбанзаде, С.И.Никитин, В.И.Конов

В последнее время значительно возрос интерес к пленочным образцам полупроводников, содержащим магнитную компоненту (полумагнитным полупроводникам). Это связано как с фундаментальными проблемами изучения отличительных свойств тонких слоев и квантовых структур по сравнению с объемными образцами, так и с перспективой использования пленок полумагнитных полупроводников в прикладных целях [1]. Для получения пленок наиболее изученного твердого раствора CdMnTe ранее уже использовались методы металлоорганического химического осаждения, молекулярно-лучевой эпитаксии [2] и лазерного напыления [3]. Метод лазерного напыления пленок CdMnTe применялся и в настоящей работе. Здесь мы представляем результаты исследования оптических и магнитооптических характеристик тонких пленок состава Cd(0.57)Mn(0.43)Te. Выбор состава определялся исходя из проведенной ранее компонентной оптимизации кристаллических образцов для их использования в качестве магнитоактивных элементов датчиков магнитного поля [4].

В качестве исходных мишеней использовались либо синтезированные поликристаллические образцы твердого раствора CdMnTe, либо монокристаллы, выращенные методом Бриджмена. Подложками являлись кристаллический сапфир или стекло, а их температура поддерживалась в интервале 20–300°C. Камера для напыления откачивалась до 10^{-4} Тор. Источником лазерного излучения являлся эксимерный КгF-лазер, работающий в импульсно-периодическом режиме. Пиковая мощность используемого излучения находилась в пределах 10^8 – 10^9 Вт/см². В зависимости от числа лазерных импульсов толщина пленок варьировалась в пределах от 10 до 500 нм.

Исследования спектров поглощения, магнитопоглощения и эффекта Фарадея проводились на многофункциональной установке на основе дифракционного монохроматора

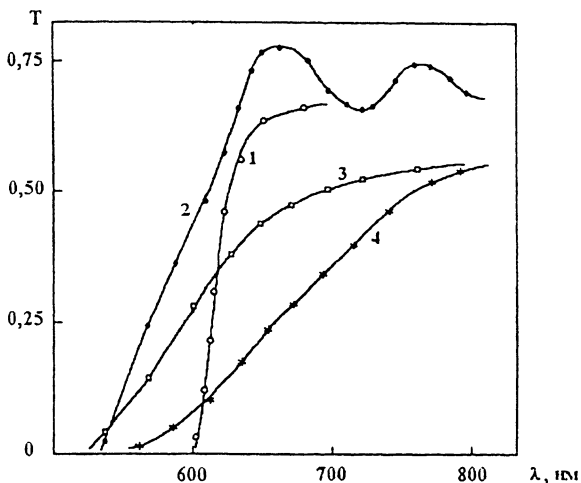


Рис. 1. Спектры пропускания монокристаллического (1) и пленочных (2-4) образцов полумагнитного полупроводника $\text{Cd}_{0.57}\text{Mn}_{0.43}\text{Te}$ при комнатной температуре: 2 — на сапфировой подложке, нагретой до 300°C ; 3 — на холодной сапфировой подложке; 4 — на стеклянной подложке.

МДР-23, электромагнита СП-58Б и гелиевого криостата Р-118.

Спектральная зависимость коэффициента пропускания T в области края фундаментального поглощения для трех образцов пленок $\text{Cd}(0.57)\text{Mn}(0.43)\text{Te}$ на сапфировой и стеклянной подложках приведена на рис. 1. Здесь же для сравнения представлены данные для тонкого монокристаллического образца того же состава. Форма приведенных кривых является типичной для прямозонных полупроводниковых материалов и обусловлена оптическими переходами при энергиях фотонов $\hbar\omega$, близких к межзонному зазору E_g . В то же время наклон края поглощения для различных образцов существенно отличается. Естественно, наиболее резкий край поглощения получен для монокристаллического образца, а ближе всего к этой кривой оказалась зависимость для пленки, напыленной на подогретую до 300°C сапфировую подложку. О хорошем кристаллическом качестве этого образца свидетельствует также появление интерференционных картин в области прозрачности пленки. Проведенные оценки величины E_g для указанной пленки с использованием линейной интерполяции в координатах $(k - \hbar\omega)^2$ и $\hbar\omega$, где k — коэффициент поглощения, дали значение $E_g = 2.15$ эВ. Последнее удовлетворительно согласуется с данными работы [2] по пленкам, выращенным методом молекулярно-лучевой эпитаксии.

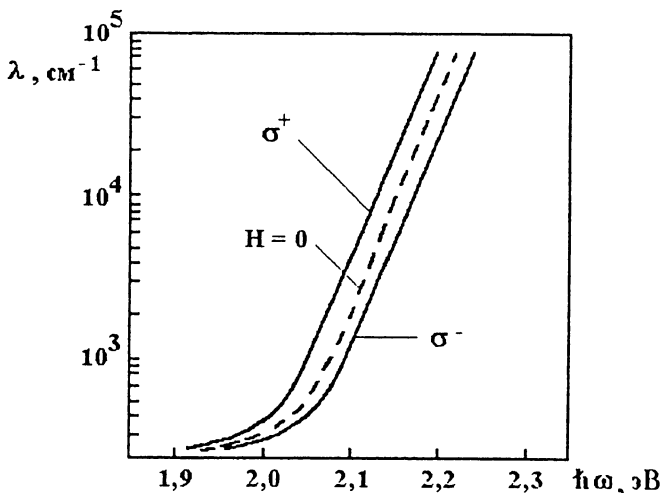


Рис. 2. Спектральная зависимость оптического поглощения пленки $\text{Cd}_{0.57}\text{Mn}_{0.43}\text{Te}$ на сапфире в магнитном поле $H = 30 \text{ кЭ}$ при $T = 5 \text{ К}$ для σ^- , σ^+ -поляризаций света.

Важная характеристика пленок была получена из измерений смещения края поглощения во внешнем магнитном поле. Как известно, для объемных монокристаллов CdMnTe в этом случае имеет место сильное спиновое расщепление экситонной структуры или простого бесструктурного края, обусловленное обменным взаимодействием между зонами (s, p)-электронами и d -электронами, локализованными на магнитных ионах [1]. При $T = 5 \text{ К}$ спектре пленки экситонная структура оказалась сильно размытой, что типично для монокристаллов с большим содержанием Mn. Однако эффект спинового расщепления можно было бы наблюдать по смещению края поглощения в зависимости от величины внешнего магнитного поля. На рис. 2 показаны смещения края поглощения в магнитном поле $H = 30 \text{ кЭ}$ при температуре $T = 5 \text{ К}$, измеренные для поляризованного по кругу излучения. В соответствии с существующей моделью основное экситонное состояние для CdMnTe расщепляется на четыре компоненты (по две в σ^- - и σ^+ -поляризациях) [1]. В наших экспериментах наблюдались только более сильные компоненты расщепления для каждой из этих поляризаций. Они соответствуют $(3/2, 1/2)$ и $(-3/2, -1/2)$ переходам. Следует отметить небольшую асимметрию в величинах сдвига края поглощения для поляризаций σ^- и σ^+ (для последней этот сдвиг больше) по отношению к его положению в отсутствие магнитного поля. В работе [5] такая асимметрия была объяснена следствием эффекта смешивания между состояниями, разрешенными в σ^- - и σ^+ -поляризациях.

V , град/(Эсм)

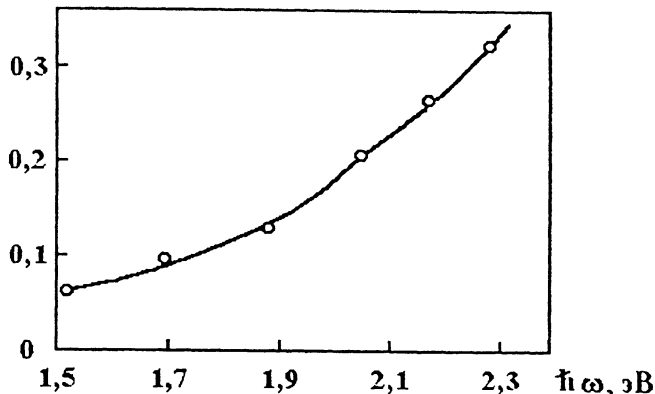


Рис. 3. Спектральная зависимость константы Верде для пленки $\text{Cd}_{0.57}\text{Mn}_{0.43}\text{Te}$ на сапфировой подложке при $T = 5\text{K}$.

Величина расщепления ΔE составляла 0.035эВ , что согласуется с соответствующими данными для монокристаллов CdMnTe . Для определения констант s -, p - d -обменного взаимодействия на основе этих результатов необходимы еще сведения о намагниченности той же самой пленки. Поскольку непосредственные измерения намагниченности в тонких пленках полумагнитного полупроводника затруднены, мы для этой цели использовали результаты исследования фарадеевского вращения.

Эффект фарадеевского вращения в пленке легко отделялся от суммарного вращения в системе тонкая пленка — толстая подложка ввиду разных температурных зависимостей соответствующих намагниченностей. Спектральная зависимость константы Верде для пленки, представленная на рис. 3, хорошо коррелирует с данными о гигантском эффекте Фарадея в объемных кристаллах CdMnTe [1]. Максимальное зарегистрированное значение константы Верде составляло $0.3\text{град}/(\text{Э} \cdot \text{см})$. Эта величина сильно зависела от кристаллического качества исследуемых пленок. Для пленок на стеклянной подложке она была вдвое меньше. Используя эффект Фарадея как меру намагниченности полумагнитного полупроводника и аналитические соотношения [1], связывающие угол вращения Θ_F , зеемановское расщепление ΔE и разность констант s -, p - d -обменного взаимодействия $N_0(\alpha - \beta)$, последняя оценена как $N_0(\alpha - \beta) = (1.25 - 0.2)\text{эВ}$.

Таким образом, методом лазерного напыления получены пленки полумагнитного полупроводника $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ при $x = 0.43$, которые по своим оптическим и магнитным харак-

теристикам приближаются к слоям, выращенным методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Результаты комплексного исследования зеemanовского расщепления края поглощения во внешнем магнитном поле и фарадеевского вращения позволили оценить разность констант s -, p - d -обменного взаимодействия $N_0(\alpha - \beta)$ для пленок CdMnTe, а также демонстрируют перспективность пленок для магнитооптических устройств и сенсоров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 95-02-04766) и INTAS (grant N 94-902).

Список литературы

- [1] Никитин П.И., Саечук А.И. // УФН. 1990. Т. 160. № 11. С. 167-196.
- [2] Koyanagi T., Matsubara K., Takaoka H., Takagi T. // J. Appl. Phys. 1987. V. 61. N 8. P. 3020-3024.
- [3] Dubowski J.J. // Acta Phys. Pol. 1991. V. A80. N 2. P. 221-244.
- [4] Nikitin P.I., Grigorenko A.N., Savchuk A.I., Lyakhovich A.N., Medynski S.V. // Jpn. J. Appl. Phys. 1993. V. 32. Suppl. 32-3. P. 375-377.
- [5] Eguen The Khol, Ginter J., Twardowski A. // Phys. Stat. Sol. (b). 1983. V. 117. N 1. P. 67-74.

Институт общей физики
РАН
Москва

Поступило в Редакцию
12 февраля 1996 г.