

риала в качестве газового датчика. Контролируемость стехиометричности при синтезе пленочной структуры и малая дефектность кристаллической упаковки снижают эффект химической активности рабочего тела. В широком диапазоне парциальных давлений водорода слой ZnSe характеризуется относительным изменением сопротивления (5—50%) с малой инерционностью, быстрым восстановлением и хорошей воспроизводимостью результатов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Н. В. Бондарь, А. В. Коваленко, В. В. Тищенко, А. Ю. Мекекечко. Изв. АН СССР. Неорг. матер., 27, 2520 (1991).
- [2] И. А. Мясников, В. Я. Сухарев, Л. Ю. Куприянов и др. Полупроводниковые сенсоры в физико-химических исследованиях. М. (1991).
- [3] В. Ф. Харламов. Химическая эмиссия электронов и фотонов с поверхности кристаллофосфоров. Автореф. докт. дис. Томск (1990).
- [4] В. П. Гранкин, Ю. И. Тюрин. В кн.: Материаловедение халькогенидных полупроводников, 2, 162. Черновцы (1991).
- [5] Ф. Ф. Волькенштейн. Электронные процессы на поверхности полупроводников при хемосорбции. М. (1987).

Редактор Т. А. Полянская

ФТП, том 27, вып. 6, 1993

### ПОЛУЧЕНИЕ $p-n$ -ПЕРЕХОДОВ НА CdTe (In) ЛАЗЕРНЫМ ОТЖИГОМ

Д. И. Цюцюра, П. С. Шкумбатюк

Дрогобычский государственный педагогический институт им. И. Франко, Дрогобыч, Украина  
(Получено 11 декабря 1992 г. Принято к печати 26 января 1993 г.)

Управление электрическими свойствами широкозонных полупроводников не всегда возможно из-за наблюдающегося в них явления компенсации электрической активности легирующей примеси дефектами. В работах [1, 2], посвященных исследованию электрофизических свойств CdTe, легированного Li, Cl, указан механизм компенсации, связывающий электрическую активность легирующего элемента и дефекта. Возможность перераспределения степени компенсации в этой паре (легирующая примесь—дефект) путем термообработки приводит к существенным изменениям электрофизических свойств этих материалов. Если учесть, что в данном механизме явление компенсации есть нейтрализация электрической активности легирующей примеси дефектами, то лазерный разогрев этих материалов имеет преимущество над термическим из-за дополнительного поглощения излучения дефектами. Оценка взаимодействия излучения может быть сделана по [3]:

$$V_T = \frac{q_T}{\lambda} \sqrt{a/\pi t_U}$$

с учетом того, что при постоянной длине волны  $\lambda$  плотность поглощения тепловой энергии  $q_T$  должна зависеть от концентрации свободных носителей и дефектов.

В настоящей работе показана возможность получения  $p-n$ -переходов за счет изменения электрической активности пары легирующая примесь—дефект лазерным отжигом. В качестве материала использован CdTe, легированный In до концентрации  $10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Термический разогрев осуществлялся облучением образ-

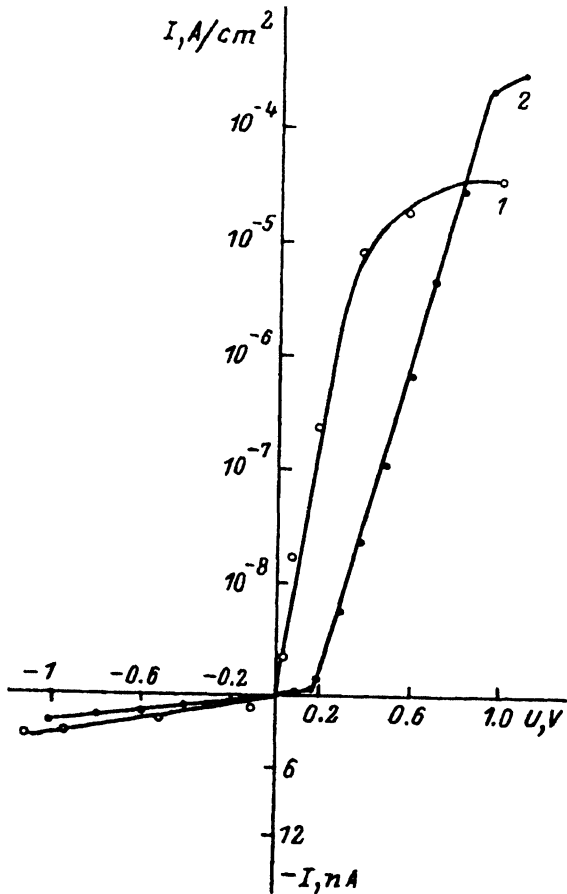


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики  $p-n$ -переходов при 300 К для двух образцов (1, 2).

цов в нормальных условиях  $\text{CO}_2$ -лазером мощностью  $80 \text{ Вт/см}^2$  с длиной волны  $10.6 \text{ мкм}$ . Для получения  $p-n$ -переходов раздельное образование областей с  $n$ - и  $p$ -типом проводимости осуществлялось градиентом температур между облученной и необлученной частями образца.

По результатам измерения электрических свойств облученного образца выявлено значительное увеличение проводимости как в облученной, так и в необлученной частях, что составило 2–4 порядка от проводимости исходного материала. По термоэлектрическим измерениям необлученная часть соответствовала  $n$ -типу проводимости, а облученная —  $p$ -типу. На рис. 1 показаны вольт-амперные характеристики (ВАХ) двух образцов при 300 К после формирования  $p-n$ -структур таким способом.

Образцы обладали диодными характеристиками с коэффициентом выпрямления  $10^4$ – $10^6$ . Электрические свойства этих  $p-n$ -переходов при небольших прямых смещениях можно описать выражением [4] для первого образца (рис. 1, кривая 1).

$$J = J_{20} \exp(eV/2KT),$$

для второго образца — выражением [5] (рис. 1, кривая 2)

$$J \sim U^m.$$

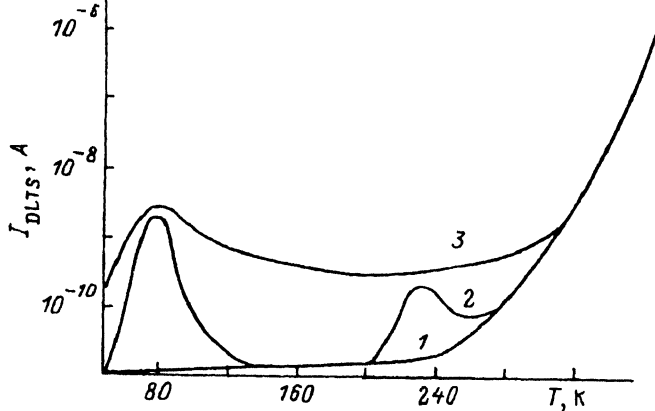


Рис. 2. Спектральная зависимость термостимулированной проводимости при различных температурах термической обработки лазерным облучением. 1 — исходный; T, °C: 2 — 100, 3 — 300.

Структуры обладали значительной фотовольтаической чувствительностью с максимальным значением в области поглощения CdTe; параметры ВАХ составляли в условиях освещения лампой ТН = 0.3 с мощностью  $P = 0.2$  мВт/см<sup>2</sup>  $U_{\text{идл}} = 0.3$  В (напряжение холостого хода),  $J_{\text{ск}} = 5 \cdot 10^{-7}$  А (ток короткого замыкания) при площади  $p-n$ -перехода  $0.09$  см<sup>2</sup>. Для выявления механизма изменения электрических свойств облученных образцов, а также механизма образования  $p-n$ -перехода использовался метод термостимулированной проводимости (ТСП). При исследовании исходного образца, в котором не выявлено по спектрам ТСП примесных уровней (рис. 2, кривая 1), после лазерного отжига с температурой разогрева образца  $\leq 100$  °C образовались два акцепторных уровня — 0.056 и 0.6 эВ, что отвечает двухзарядной вакансии Cd и, возможно, водородоподобному акцептору в CdTe. С увеличением температуры разогрева концентрация их значительно возрастает. При разогреве образца до температуры 300—600 °C происходит распад этих уровней. При этом увеличением пика ТСП, отвечающее уровню 0.056 эВ, наблюдается при более низких температурах.

Анализируя изменение электрических свойств облученных образцов, можно предположить, что до отжига у исходного CdTe (In) примесь индия, замещающая вакансии Cd, компенсирует их электрические свойства. При облучении в результате разогрева возможен переход In в междоузлия, при этом происходят обновление электрических свойств вакансий Cd, а также образование комплекса  $V_{\text{Cd}}-In_{\text{Cd}}$  при соответственном размещении In относительно вакансий Cd. Что касается образования  $p-n$ -перехода, то формирование  $n$ -области происходит за счет дополнительного механизма, поскольку образование акцепторных уровней приводит к увеличению только дырочной проводимости. Предполагается, что  $n$ -область формируется за счет заполнения вакансий Cd при диффузии Cd из  $p$ -области в результате градиента температур между облученной и необлученной областями. При этом происходят активация примеси In и изменение электрических свойств комплекса примесь—вакансия Cd.

Таким образом, в рассматриваемом подходе перераспределение компенсирующих действий примеси лазерным отжигом дает обнадеживающие результаты для формирования  $p-n$ -переходов в CdTe (In).

- [1] Н. В. Аргинская, О. А. Матвеев. ФТП, 21, 542 (1987).  
 [2] Н. В. Аргинская, О. А. Матвеев, А. В. Никитин, В. А. Сладкова. ФТП, 21, 676 (1987).  
 [3] Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов. Справочник. М. (1985).  
 [4] Г. Е. Пикус. Основы теории полупроводниковых приборов. М. (1965).  
 [5] М. Ламперт, П. Марк. Инжекционные токи в твердых телах. М. (1973).

Редактор Т. А. Полянская

ФТП, том 27, вып. 6, 1993

## МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Pb_{1-x}Mn_xTe$

Г. В. Лашкарев, А. В. Бродовой, А. Л. Мирец, В. П. Зломанов,  
 О. И. Малеванная

Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича Академии наук Украины,  
 252680, Киев, Украина

(Получено 29 декабря 1992 г. Принято к печати 26 января 1993 г.)

Легирование полупроводников переходными металлами представляет научный и практический интерес в связи с возможностью получения магниточувствительного, в том числе магнитоупорядоченного состояния кристалла для управления свойствами полупроводников при помощи магнитного поля.

В качестве объекта исследования выбран узкощелевой полупроводник  $PbTe$ , зонный спектр которого достаточно хорошо изучен [1]. Поэтому оказалось возможным сравнение свойств полупроводника с магнитной примесью и без нее. В настоящей работе исследованы образцы  $Pb_{1-x}Mn_xTe$  ( $0.024 \leq x < 0.18$ ).

Монокристаллы твердого раствора  $Pb_{1-x}Mn_xTe$  выращивали направленной кристаллизацией расплава в вакуумированных кварцевых ампулах. Исходную шихту готовили из  $Pb$ ,  $Te$  и  $MnTe$ . Содержание марганца в кристаллах определяли с помощью атомно-адсорбционного анализа и по концентрационной зависимости параметра элементарной ячейки. Состав исследуемых образцов и результаты гальваномагнитных измерений приведены в таблице. Их однородность специально проверялась путем измерений магнитной восприимчивости (МВ) на образцах, вырезанных из различных участков шайбы  $\varnothing 10$  мм; результаты совпадали в пределах погрешности эксперимента.

Наиболее полные данные о характере обменных взаимодействий могут быть получены путем исследований в области низких температур. Поэтому измерения магнитной восприимчивости проводились в диапазоне  $4.2 \div 400$  К относительным методом Фарадея с помощью электронных микровесов с автоматической компенсацией по методике, описанной в [2].

На рисунке приведены температурные зависимости МВ серии образцов  $Pb_{1-x}Mn_xTe$  с различным содержанием  $Mn$ . Видно, что МВ содержит парамагнитный вклад, возрастающий при понижении температуры и увеличении количества  $Mn$  в твердом растворе.

Анализ экспериментальных данных по МВ проводился в предположении — аддитивности отдельных вкладов:

$$\chi = \chi_A + \chi_{Mn},$$