

# Электрофизические свойства монокристаллов $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ , подвергнутых гидростатическому давлению

© И.С. Вирт, В.Д. Прозоровский, Д.И. Цюцюра

Дрогобычский государственный педагогический университет им. И. Франко, 293720 Дрогобыч, Украина

(Получена 25 мая 1999 г. Принята к печати 9 июня 1999 г.)

Экспериментально исследованы с помощью бесконтактной методики электрофизические свойства монокристаллов  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ , подвергнутых гидростатическому воздействию. Показано, что существует эффект необратимого изменения состояния собственных дефектов кристаллической решетки. В обработанных образцах уменьшается концентрация дырок (акцепторов) и увеличивается подвижность электронов.

Влияние гидростатического давления на состояние дефектной структуры, в частности на физические свойства твердых растворов  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ , почти не исследовано. Тем не менее необратимые изменения в структуре дефектов в полупроводниках под действием гидростатического давления имеют место [1]. Например, в работе [2] показано, что под действием гидростатического сжатия расположение дислокаций приобретает упорядоченное состояние. Как известно [3,4], твердые растворы  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ , обладая высокой пластичностью, характеризуются значительной плотностью ростовых дислокаций, различного типа точечными дефектами, а также неоднородностью по составу.

Данная работа посвящена исследованию влияния остаточного гидростатического сжатия на электрофизические свойства узкозонных полупроводников  $\text{HgCdTe}$ .

Гидростатическое сжатие образцов  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  ( $x = 0.17 \div 0.20$ ) проводилось в автономной камере при комнатной температуре. Образцы имели форму плоскопараллельных дисков толщиной  $1.2 \div 0.8$  мм и диаметром  $5 \div 6$  мм. Передающей средой в камере служила масляно-керосиновая смесь. Сжатие осуществлялось циклами (1–3 цикла) в области давлений  $P = 0 \div 2$  ГПа со скоростью нарастания давления  $1.5 \div 2.0$  ГПа/с. При данном давлении образцы выдерживались на протяжении времени  $10 \div 60$  мин.

Измерения электрических величин производились бесконтактным методом геликонной интерферометрии. Связь образцов с резонатором осуществлялась через диафрагму с экспериментально подобранным отверстием связи. Зависимости  $dR/dH = f(T)$ , где  $R$  — коэффициент отражения,  $H$  — статическое магнитное поле, определяли в интервале температур  $T = 1.6 \div 150$  К на радиоспектрометре, работающем на частотах 36.04 и 26.10 ГГц с циркулярной поляризацией микроволнового поля резонатора.

Методика определения эффективной массы свободных носителей заряда и кинетических коэффициентов из осцилляций производной коэффициента отражения по магнитному полю  $dR/dH = f(H)$ , обусловленных интерференцией геликонных волн в образце, описана в [5]. Согласно этой методике, производится подгонка расчетной кривой  $dR/dH = f(H)$  к экспериментальным

точкам варьированием искоемых параметров, т.е. производится минимизация функционала

$$\Phi = \sum_k (H_{k1} - H_{k2}).$$

Здесь  $H_{k1}$  и  $H_{k2}$  — соответственно экспериментальные и расчетные значения магнитных полей, при которых  $dR/dH$  принимает экстремальное значение. Концентрации носителей заряда и их подвижности определяли из соотношений [6]  $n \sim N_n^2/\omega_{rn}$ ,  $p \sim N_p^2/\omega_{rp}$ ;  $\mu_n = 2Q_n/H_{k1}$ ,  $\mu_p = 2Q_p/H_{k1}$ . Здесь  $N_n$  и  $N_p$  — порядки резонанса для электронов и дырок,  $\omega_{rn}$  и  $\omega_{rp}$  — соответствующие значения резонансных частот,  $Q_n$  и  $Q_p$  — электронная и дырочная составляющие добротности геликонного резонатора.

Достоверность найденных параметров подтверждается удовлетворительным совпадением кривых на частоте 26.10 ГГц, для которых в расчетных выражениях были использованы параметры, вычисленные из кривой  $dR/dH = f(H)$  на частоте 36.04 ГГц.

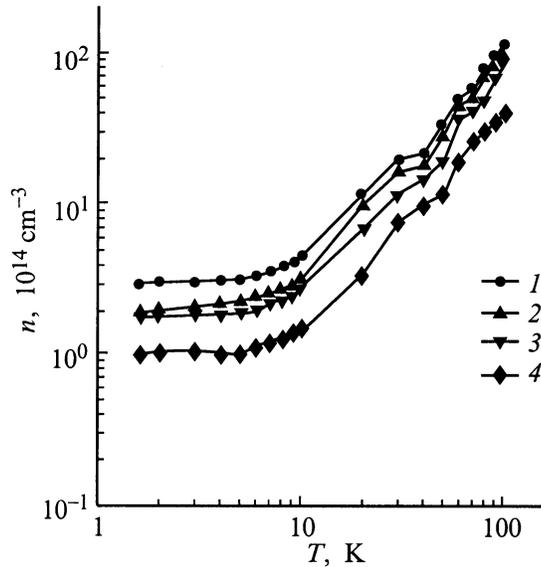
После проведения циклического воздействия, перед электрофизическими измерениями, образцы подвергались полирующему травлению в травителе  $\text{Br}_2 + \text{HBr}$ . Использовались также образцы — спутники, поверхность которых подвергалась селективному травлению на предмет исследования воздействия гидростатического сжатия на дислокационную структуру (сетку).

## Экспериментальные результаты и их обсуждение

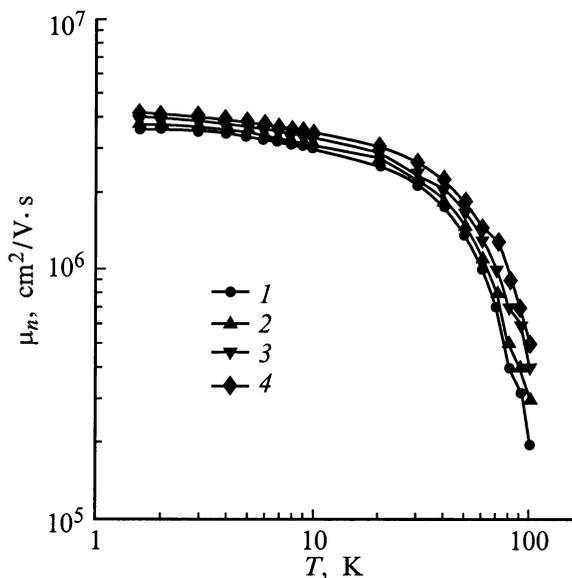
Методом селективного травления установлено, что после сжатия в части монокристаллических образцов с низкой плотностью дислокаций размещение дислокаций приобретает упорядоченную структуру, выстраиваясь в "стенки". Это осуществляется уже при давлении  $0.3 \div 0.4$  ГПа. Менее перестраиваемой, даже при высоких давлениях, остается дислокационная сетка в кристаллах, в которых, по визуальным наблюдениям, дислокации закреплены дефектами неточечного характера.

На рис. 1 приведены типичные необратимые изменения концентрации электронов в зависимости от температуры для образца  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  ( $x = 0.17$ ), подвергнутого

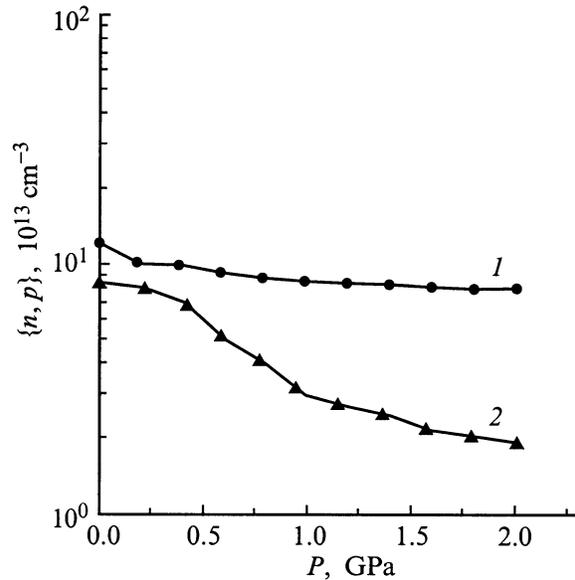
сжатию при различном давлении. Как видно из рисунка, концентрация электронов с ростом давления во всем температурном диапазоне уменьшается. Предельное изменение концентрации в данном образце достигается при давлении 0.6 ГПа. Такой эффект необратимого изменения концентрации электронов достигается в большинстве исследованных узкозонных образцов  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ . При этом уменьшение концентрации электронов зависит как от величины давления, так и от времени воздействия (ср. кривые 3, 4 на рис. 1). С изменением концентрации



**Рис. 1.** Температурные зависимости концентрации электронов образца  $n\text{-Hg}_{0.83}\text{Cd}_{0.17}\text{Te}$  после действия гидростатического давления. Давление  $P$ /время действия  $t$ : 1 — 0 ГПа; 2 — 0.3 ГПа/20 мин; 3 — 0.6 ГПа/20 мин; 4 — 0.6 ГПа/40 мин.



**Рис. 2.** Температурные зависимости подвижности электронов образца  $n\text{-Hg}_{0.83}\text{Cd}_{0.17}\text{Te}$  после действия гидростатического давления различной величины. Обозначения те же, что и на рис. 1.



**Рис. 3.** Зависимости концентрации электронов (1) и дырок (2) в образце  $n\text{-Hg}_{0.80}\text{Cd}_{0.20}\text{Te}$  от гидростатического давления. Температура измерения  $T = 100$  К.

электронов изменяется и их подвижность  $\mu_n$  (рис. 2), причем более заметно в области высоких температур,  $20 \div 100$  К. Для образца состава, соответствующего  $x = 0.20$ , по данным измерений были определены отдельно концентрации электронов ( $n$ ) и дырок ( $p$ ) при температуре 100 К как в исходных образцах, так и в образцах, подвергнутых сжатию. Их зависимости от давления приведены на рис. 3. Как видно из рисунка, эффект остаточного гидростатического сжатия влияет на изменение концентрации электронов и дырок в различной степени. Более существенно происходит уменьшение концентрации дырок. В области низких температур,  $\sim 4$  К, изменение концентрации носителей в данном образце менее заметно.

На основании приведенных результатов исследования электрофизических свойств монокристаллов  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ , подвергнутых гидростатическому давлению (сжатию), можно сделать вывод о том, что гидростатическое сжатие обуславливает необратимую перестройку как точечных, так и протяженных дефектов. При этом, вероятно, данный процесс приводит к некоторому уменьшению степени дефектности кристаллической решетки. Это проявляется главным образом в увеличении подвижности электронов, а также в уменьшении концентрации электронов и дырок. Изменение концентрации дырок отражает процесс уменьшения плотности электрически активных дефектов акцепторного типа, что может быть обусловлено "захлопыванием" ртутных вакансий существующими в кристаллической решетке межузельными атомами ртути. Межузельные атомы ртути присутствуют в кристаллах  $n$ -типа проводимости после гомогенизирующего отжига, однако их электрическая активность незначительна [7].

## Заклучение

Таким образом, действие гидростатического давления (сжатия) на монокристаллы  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  приводит к необратимым изменениям дефектной структуры кристаллической решетки. Эти изменения отражаются на их электрофизических свойствах, а именно — в кристаллах происходит уменьшение концентрации электронов и (в большей степени) дырок. При этом увеличивается подвижность носителей заряда.

## Список литературы

- [1] В.И. Зайцев. *Физика пластичности гидростатически сжатых кристаллов* (Киев, 1983).
- [2] J.V. Yung. *Phil. Mag.*, **43**, 1057 (1981).
- [3] С.Г. Гасан-заде, Е.А. Сальков, Г.А. Шепельский. *ФТП*, **17**, 1913 (1983).
- [4] М.Г. Андрухив, И.С. Вирт, Д.И. Цюцюра, Д.Д. Шуптар, П.С. Шкумбатюк. *ФТП*, **23**, 1263 (1989).
- [5] В.Д. Прозоровский, И.Ю. Решидова, Ю.А. Браташевский, Б.П. Пирлов. *ФТП*, **17**, 1325 (1983).
- [6] Е.В. Кучис. *Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования* (М., 1990).
- [7] И.М. Цидильковский, Г.И. Харус, Н.Г. Шелушина. *Примесные состояния и явления переноса в бесщелевых полупроводниках* (Свердловск, 1987).

*Редактор Л.В. Шаронова*

## Electrophysical properties of $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ single crystals subjected to hydrostatic pressure

I.V. Virt, V.D. Prozorovski, D.I. Zynzyura

I. Franko Pedagogical State University,  
293720 Drogobych, Ukraine