

## МЕХАНИЗМЫ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛОВ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Zn_xCd_{1-x}Te$ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

Гарягдыев Г., Городецкий И. Я., Джумаев Б. Р., Корсунская Н. Е.,  
Раренко И. М., Шейнман М. К.

Исследовано влияние ультразвука на электрические, фотоэлектрические и люминесцентные свойства кристаллов  $Zn_xCd_{1-x}Te$ .

Показано, что действие УЗ на электрические и фотоэлектрические характеристики кристаллов  $Zn_xCd_{1-x}Te$  обусловлено двумя процессами: 1) увеличением плотности дислокаций с последующим стеканием на них подвижных акцепторов, определяющих проводимость; 2) отходом этих акцепторов от дислокаций в объем кристалла. Первый процесс доминирует в образцах с малой плотностью дислокаций ( $< 10^5 \text{ см}^{-2}$ ) и приводит к уменьшению проводимости  $\sigma_r$ , интенсивности люминесценции  $W$  и величины фототока  $I_\phi$ . Второй процесс доминирует в образцах с большой величиной  $\gamma$  ( $> 10^6 \text{ см}^{-2}$ ) и приводит к росту  $\sigma_r$ ,  $I_\phi$  и  $W$ .

Известно [1, 2], что облучение ультразвуком (УЗ) может приводить к изменению различных свойств полупроводников и приборов на их основе, что позволяет в ряде случаев улучшить их характеристики, например стабильность.

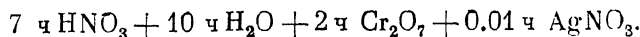
Имеется ряд работ, в которых исследовалось влияние ультразвуковой обработки (УЗО) на фотоэлектрические и люминесцентные свойства гексагональных кристаллов  $A^{IV}B^{VI}$  [3]. Наблюдавшиеся изменения объяснялись взаимодействием точечных дефектов с заряженными дислокациями. Однако сопоставление изменений характеристик кристаллов с дислокационной структурой не было проведено. Поэтому в настоящей работе выполнено исследование влияния УЗО на электрические, фотоэлектрические и люминесцентные свойства кристаллов  $Zn_xCd_{1-x}Te$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) параллельно с контролем плотности дислокаций. Отметим, что действие УЗО на кубические кристаллы  $A^{IV}B^{VI}$ , каковыми являются кристаллы  $Zn_xCd_{1-x}Te$ , вообще ранее не изучалось.

Для решения поставленной задачи на исходных и обработанных УЗ образцах были исследованы изменения темнового тока ( $I_T \sim \sigma_r$ ), фототока ( $I_\phi$ ) и фотолюминесценции ( $W$ ) образцов  $Zn_xCd_{1-x}Te$  в результате УЗО, а также процессы их релаксации после прекращения УЗО. Одновременно до и после УЗО металлографическим методом определялась плотность дислокаций ( $\gamma$ ,  $\text{см}^{-2}$ ).

### Экспериментальные результаты

Исследовались объемные специально не легированные монокристаллы  $p$ -типа, на которые наносились медные электроды. УЗ колебания возбуждались в кристаллах путем приклеивания их к пластине пьезоэлектрика, к которой прикладывалось напряжение определенной частоты, соответствующей резонансу пластины. Напряжение варьировалось в пределах  $U=10 \div 50$  В. Обработка проводилась при 300 К в течение 1 ч.

*Определение плотности дислокаций.* Для определения  $\gamma$  образцы обрабатывались селективным травителем следующего состава:



В результате травления на плоскости (110) в местах выхода дислокаций вытравливались характерные треугольные ямки. Подсчет ямок травления производился при помощи кристаллографического микроскопа ММР-2Р. На поверхности образца выбиралось 5–6 типичных участков и подсчитывалось количество

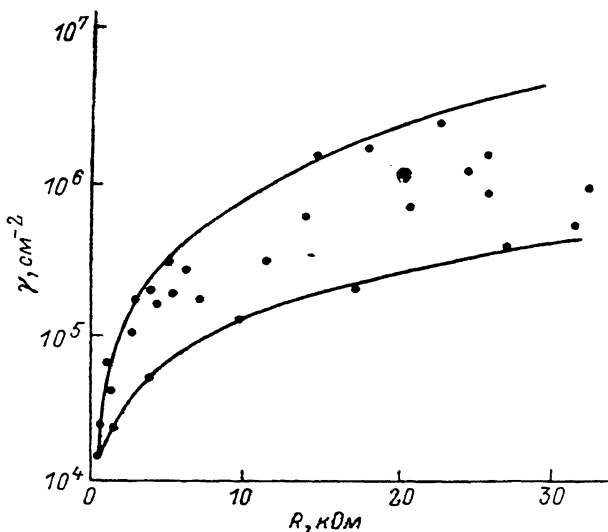


Рис. 1. Значения величин плотности дислокаций  $\gamma$  для разных значений сопротивления  $R$  различных образцов  $Zn_xCd_{1-x}Te$ .

выходов дислокаций. Затем результаты усреднялись. На рис. 1 приведены значения величины плотности дислокаций  $\gamma$  в образцах с разным  $x$  и с различными значениями равновесной проводимости  $\sigma_T$ . Как видно из рисунка, между величинами  $\gamma$  и  $\sigma_T$  независимо от состава образца существует корреляция: с ростом  $\gamma$  проводимость уменьшается.

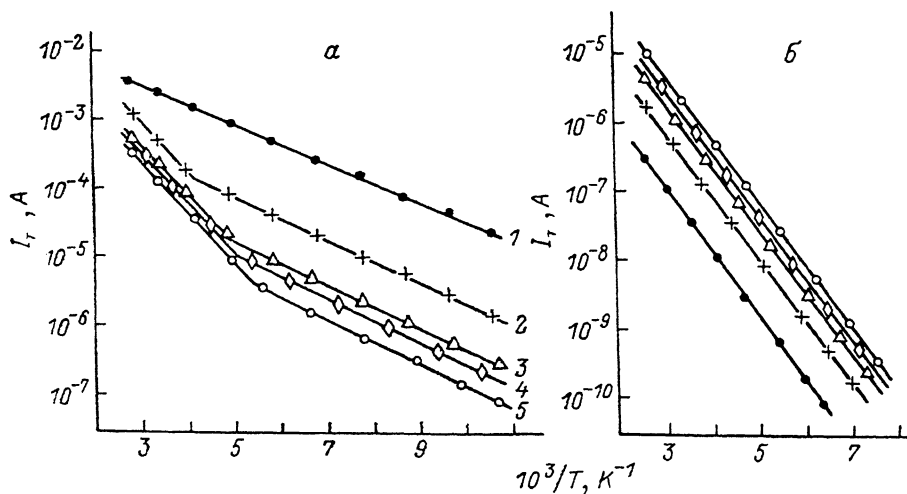


Рис. 2. Зависимость темного тока  $I_T$  от температуры для образцов  $Zn_xCd_{1-x}Te$  ( $x=0.7$ ). Плотность дислокаций  $\gamma$ ,  $см^{-2}$ : а —  $8 \cdot 10^4$ , б —  $2 \cdot 10^6$ . 1 — исходное состояние, 2–5 — после УЗО.  $U$ , В: 2 — 10, 3 — 20, 4 — 30, 5 — 55.

**Равновесная проводимость.** На рис. 2, а, б приведены типичные зависимости темного тока от  $1/T$  до и после УЗО для образцов двух групп, различающихся плотностью дислокаций и соответственно проводимостью: а) для образца с  $\gamma < 10^5$   $см^{-2}$  (группа I,  $x=0.7$ ); б)  $\gamma > 10^6$   $см^{-2}$  (группа II,  $x=0.7$ ). Кривая 1 соответствует исходному состоянию образца, а кривые 2–5 — состоянию после УЗО различной плотности мощности.

Действие УЗО с  $U=10$  В на образцы первой группы приводит к уменьшению их проводимости. Последующая обработка ( $U=10 \div 40$  В) может в разных образцах I группы либо не влиять на  $\sigma_T$ , либо вызывать ее уменьшение или рост. В образцах группы II УЗО с  $U=10 \div 40$  В вызывает увеличение  $\sigma_T$ . УЗО с  $U \geq 50$  В, как правило, приводит к уменьшению  $\sigma_T$  в образцах обеих групп.

В образцах с  $10^5 \leq \gamma \leq 10^6$  перечисленные выше эффекты проявлялись слабо.

*Изменение спектральных зависимостей фототока.*  $I_\phi(\lambda)$  в результате УЗО коррелирует с изменениями  $\sigma_T$ :  $I_\phi(\lambda)$  уменьшается во всем спектральном интервале при уменьшении  $\sigma_T$  и увеличивается при ее увеличении. Новых максимумов ФЛ при этом не возникает.

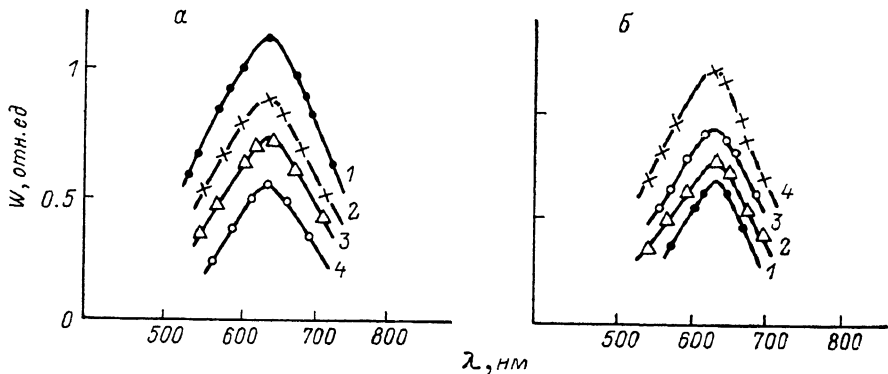


Рис. 3. Спектры примесной фотолюминесценции кристаллов ( $x=0.7$ ).

$\gamma$ ,  $\text{см}^{-2}$ : а —  $8 \cdot 10^4$ , б —  $2 \cdot 10^6$ . 1 — исходное состояние, 2—4 — спектры ФЛ после УЗО.  $U$ , В: 1 — 10, 2 — 20, 3 — 30.

*Фотолюминесценция.* На всех исследованных кристаллах  $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$  наблюдалась одна примесная полоса ФЛ (рис. 3).

УЗО существенно влияет на ее интенсивность, но не приводит к появлению новых полос.

Изменение интенсивности ФЛ, так же как и  $I_\phi(\lambda)$ , во всех случаях коррелирует с изменениями величин  $I_T$ .

Сопоставление результатов воздействия УЗО на  $I_T$ ,  $I_\phi(\lambda)$  и  $W$  позволяет утверждать, что изменение свойств монокристаллов  $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$  в результате УЗО связано с изменением концентрации  $N_a$  в объеме кристаллов дефектов, обуславливающих равновесную проводимость, и не связано с контактными явлениями. При этом изменение фототока и интенсивности люминесценции обусловлено, очевидно, изменением степени компенсации образцов и связанным с этим увеличением или уменьшением заполнения центров чувствительности неравновесными носителями [4].

## Обсуждение результатов

Наблюдавшаяся нами корреляция между плотностью дислокаций и величиной  $I_T$  позволяет предположить, что одной из причин изменений свойств кристаллов после УЗО является размножение дислокаций. Действительно, уменьшение  $I_T$  с ростом  $\gamma$  означает, по-видимому, что дислокации являются стоками для дефектов акцепторного типа, определяющими величину  $\sigma_T$ . При малой величине  $\gamma$  значительная концентрация дефектов  $N_a$  остается не захваченной дислокациями. Поэтому естественно предположить, что уменьшение  $\sigma_T$  в образцах I типа обусловлено увеличением плотности дислокаций, что, в принципе, может происходить при УЗО, и стеканием на них из объема кристалла подвижных дефектов, наличие которых подтверждается опытами по их дрейфу в электрическом поле. Это предположение подтверждается экспериментально опытами по селектив-

ному травлению. В образцах I группы после УЗО уже с  $U=10$  В наблюдается увеличение  $\gamma$ . В кристаллах II группы заметного увеличения  $\gamma$  не наблюдалось при  $U < 50$  В, так как добавка, вызванная УЗО, сравнима с исходной  $\gamma$ . Если после первой УЗО в кристаллах I группы величина  $\gamma$  остается значительно меньше  $10^6$  см $^{-2}$ , то последующая обработка снова приводит к уменьшению  $I_r$  (рис. 2). Если же она достигает  $\sim 10^6$  см $^{-2}$ , то последующая УЗО, как и в кристаллах II группы, приводит к росту  $I_r$ .

Если уменьшение проводимости при УЗО в кристаллах I группы связано с уходом подвижных акцепторов на вновь образовавшиеся дислокации, увеличение проводимости в кристаллах II группы естественно связать с обратным процессом — отходом акцепторов от дислокаций.

Отметим, что процесс отхода подвижных дефектов от дислокации в объеме кристалла должен быть заметнее при большом  $\gamma$  и малом  $\sigma_r$ .

Таким образом, результаты воздействия УЗО на кристаллы  $Zn_xCd_{1-x}Te$  с разной плотностью дислокаций хорошо объясняются конкуренцией двух процессов: 1) размножением дислокаций и стеканием на них дефектов из объема; 2) отходом дефектов во время УЗО от дислокаций в объем.<sup>1</sup>

Это подтверждается и результатами исследования старения образцов, подвергавшихся УЗО. Поскольку при увеличении  $\gamma$   $N_a$  уменьшается в результате установления равновесного распределения дефектов между дислокациями и объемом, кристаллы после УЗО не должны изменять свои свойства со временем. Как показывает эксперимент, в кристаллах I группы после УЗО старение действительно отсутствует.

Если изменение свойств кристаллов II группы в результате УЗО связано с отходом акцепторов от стоков, то возникающее после УЗО состояние кристалла должно быть неравновесным, и со временем отошедшие от дислокаций дефекты должны на них вернуться. Это должно привести к уменьшению проводимости со временем после УЗО, что и наблюдается на опыте.

#### Список литературы

- [1] Здебский А. П., Остапенко С. С., Савчук А. У., Шейнкман М. К. // Письма ЖТФ. 1984. Т. 10. В. 20. С. 1243—1247.
- [2] Островский И. В., Лысенко В. Н. // ФТТ. 1982. Т. 24. В. 4. С. 1206—1208.
- [3] Здебский А. П., Миронюк Н. В., Остапенко С. С., Ханат Л. Н., Гарягдыев Г. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 5. С. 935.
- [4] Лашкарев В. Е., Любченко А. В., Шейнкман М. К. Неравновесные процессы в фотопроводниках. Киев, 1981. 264 с.

Институт полупроводников АН УССР  
Киев

Получена 3.01.1990  
Принята к печати 31.10.1990

---

<sup>1</sup> Уменьшение  $I_r$  при  $U \geq 50$  В в кристаллах обеих групп связано, по-видимому, с дальнейшим существенным увеличением  $\gamma$ , при котором снова становится доминирующим первый процесс.