

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ШУМОВЫЕ СВОЙСТВА ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРОВАННЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ $Cd_xHg_{1-x}Te$

Андрухив М. Г., Вирт И. С., Цюцюра Д. И.,
Шуптар Д. Д., Шкумбатюк П. С.

Исследованы фотоэлектрические и шумовые свойства узкозонных полупроводниковых твердых растворов $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x=0.21-0.23$) n - и p -типа проводимости, подвергнутых одноосной деформации. Установлено, что дефекты, возникающие в процессе пластической деформации, имеют доворную природу, увеличивают концентрацию электронов в электронных образцах и компенсируют действие акцепторных уровней в дырочных образцах.

Электрофизические и фотоэлектрические свойства полупроводниковых твердых растворов $Cd_xHg_{1-x}Te$ в значительной степени определяются инородными примесями и собственными структурными дефектами (несовершенствами) кристаллической решетки, к которым, в частности, относятся дефекты типа дислокаций. Известно [1], что монокристаллы $Cd_xHg_{1-x}Te$ обладают высокой пластичностью, которая способствует генерированию дислокаций как в процессе выращивания, так и при последующих технологических обработках данного материала. Дислокационная структура может также изменяться и в различных эксплуатационных режимах при локальных или одноосных деформациях полупроводникового материала (например, при деформационном действии со стороны подложки или защитного покрытия).

Целью настоящей работы являлось исследование фотоэлектрических и шумовых свойств пластически деформированных монокристаллов $Cd_xHg_{1-x}Te$. Исследовались образцы неориентированного монокристаллического $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x=0.21-0.23$) с электронной и дырочной проводимостью [$n=(1-3) \cdot 10^{14}$, $p=(2-5) \cdot 10^{15}$ см⁻³]. Подготовка образцов осуществлялась по обычной методике, конечным этапом которой являлось химическое травление в растворе бром-метанол. Размеры образцов $1 \times 2 \times 7$ мм. Деформация осуществлялась одноосным сжатием при нагрузке 0.4 кбар при комнатной температуре в течение 50 ч. Плотность введенных дислокаций $N_D \approx 7 \cdot 10^6$ см⁻². Спектральные зависимости фототока измерялись с помощью спектрометра ИКС-21 в режиме постоянного тока при температуре 77 К. Время жизни неравновесных носителей заряда (ННЗ) τ определялось по релаксации фотопроводимости, наведенной излучением CO₂-лазера ($\lambda=10.6$ мкм). Шумовые характеристики исследовались с помощью анализатора типа С4-48. Исследовались также полевые и температурные зависимости коэффициента Холла и удельной проводимости.

Основные результаты измерений приведены на рис. 1, рис. 2 и сводятся к следующему.

В деформированных кристаллах наблюдались изменения в ходе температурной зависимости коэффициента Холла и холловской подвижности. Для образца n -типа ($x=0.21$) после деформации концентрация электронов n , если судить по данным гальваномангнитных измерений, увеличилась от $1 \cdot 10^{14}$ до $1.5 \cdot 10^{15}$ см⁻³, подвижность μ_H упала от $1.5 \cdot 10^5$ до $3 \cdot 10^3$ см²/В·с (рис. 1, а). Соответственно уменьшилось и значение поперечного магнитосопротивления $\Delta\rho_{\perp}$ (рис. 1, б).

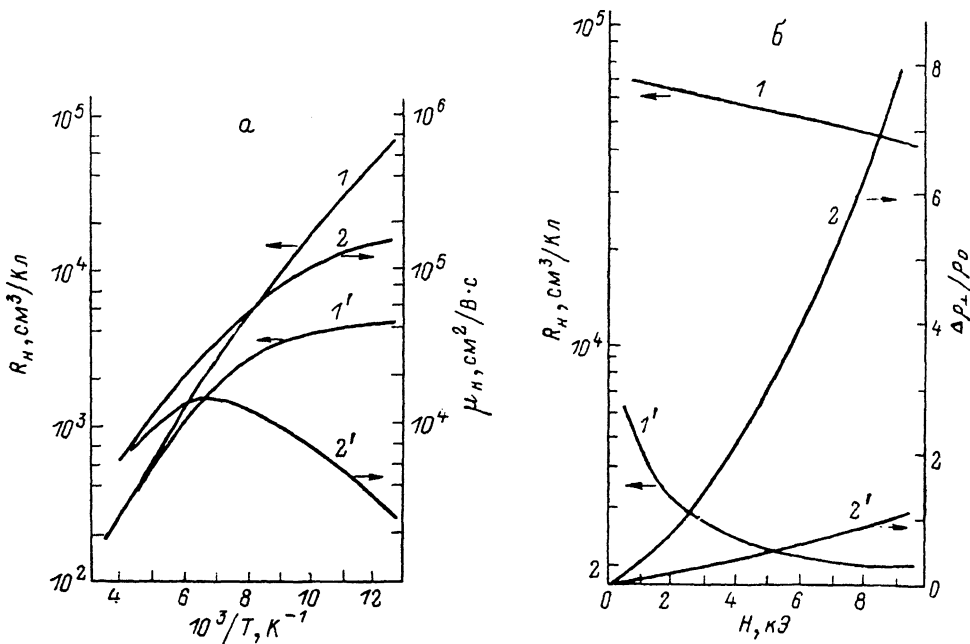


Рис. 1.

а — температурные зависимости R_H (1) и μ_H (2) образца $n\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ ($x=0.21$); 1', 2' — соответственно после пластической деформации; б — зависимость R_H (1) и $\Delta\rho_L/\rho_0$ (2) от величины напряженности магнитного поля для образца $n\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ ($x=0.21$); 1', 2' — соответственно после пластической деформации

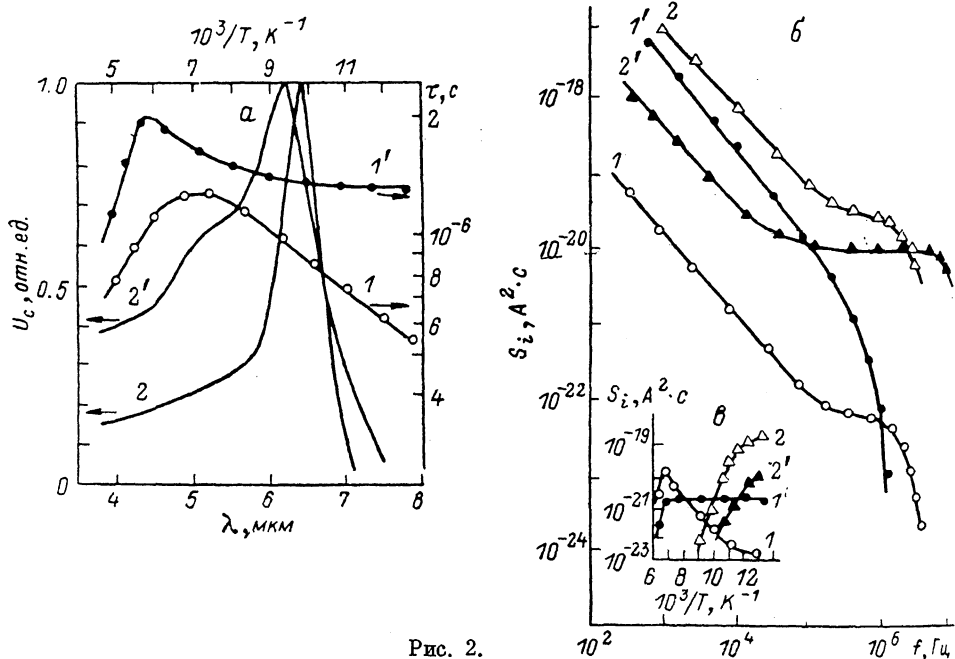


Рис. 2.

а — температурные τ (1) и спектральные зависимости фотопроводимости (2) образца $p\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ ($x=0.23$); 1', 2' — соответственно после деформации; б — спектральные зависимости интенсивности шумов; θ — температурные зависимости ГР шума образцов p - и $n\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ (x : 1 — 0.23, 2 — 0.21); 1', 2' — соответственно для деформированных образцов.

Зависимости R_H от напряженности магнитного поля для деформированного образца характерны для электронного типа проводимости с распределением носителей по подвижностям; при слабых полях наблюдается резкое уменьшение R_H , в сильных — достижение малой зависимости R_H от величины магнитного поля. Приведенные экспериментальные данные гальваномангнитных измерений свидетельствуют скорее всего о донорной природе возникающих дефектов в процессе деформации при температуре 300 К [2] (как и при низкотемпературной деформации [3]). При этом созданные дефекты и дислокации выступают как рассеивающие центры, уменьшая величины μ_n и $\Delta\rho_{\perp}$.

Согласно фотоэлектрическим измерениям, в электронных образцах ($x=0.24$) время жизни ННЗ уменьшилось от $(1.1 \div 0.9) \cdot 10^{-6}$ до $(2 \div 3) \cdot 10^{-7}$ с. В дырочных образцах ($x=0.23$) с преобладающим механизмом шокли-ридовской рекомбинации ($150 \geq T \geq 77$ К) после пластического деформирования τ_n возросло и становилось характерным для образцов с преобладающим механизмом оже-рекомбинации (рис. 1, а, кривые 1, 1').

Из спектральной зависимости шумового тока в области примесной проводимости по методике, описанной в [4], были определены энергия и концентрация рекомбинационного уровня для состава $x=0.21$. В недеформированном кристалле эти значения равны $E_a=70 \pm 3$ мэВ и $N_r \approx 6 \cdot 10^{13}$ см $^{-3}$. После деформации концентрация центров рекомбинации возросла до $2.5 \cdot 10^{14}$ см $^{-3}$. Энергия рекомбинационного уровня существенно не изменилась. В исходном образце p -типа проводимости с ростом температуры, когда уровень Ферми (E_F) движется от валентной зоны (v) в глубь запрещенной зоны (E_g) и пересекает акцепторный уровень, E_a — интенсивность генерационно-рекомбинационного шума возрастает и затем переходит через максимум (при достижении собственной проводимости $E_F \approx E_g/2$). Перекомпенсация акцепторов донорами в процессе деформации кристаллов приводит к удалению уровня E_F от v -зоны, что выражается в уменьшении S_i (ГР) с ростом температуры (рис. 2, в, кривая 1'), как и в исходных образцах n -типа (рис. 2, в, кривая 2). Соответственно частота полуспада ГР шума после деформации образцов электронного типа проводимости смещается в область низких частот и интенсивность избыточного шума (шум типа f^{-1}) уменьшается, а в образцах дырочного типа проводимости частоты среза ГР шума смещается в высокочастотную область и интенсивность шума f^{-1} возрастает. Поведение избыточного шума исходных и деформированных образцов согласуется с моделью Хооге [5] по определению величин низкочастотного шума при изменении концентрации носителей заряда. Однако в некоторых образцах n -типа после деформации наблюдалось увеличение низкочастотного шума, что свидетельствует о неоднозначности изменения шума f^{-1} с концентрацией носителей. Это может быть связано с вкладом шумовой компоненты дислокационной системы.

В процессе пластической деформации возникают также и крупномасштабные флуктуации ширины запрещенной зоны (E_g), которые проявляются в размытии длинноволнового края спектральной характеристики фотопроводимости (ФП) (рис. 1, а, кривые 2, 2'), поскольку на этом участке $U_{\phi} \approx \exp\left(\frac{E_g - h\nu}{W}\right)$, где W — величина флуктуаций E_g .

Таким образом, в процессе пластической деформации материала $Cd_xHg_{1-x}Te$ (при температуре 300 К) возникают дефекты и дислокации в основном донорного типа, которые увеличивают концентрацию электронов в зоне проводимости в электронных образцах и уменьшают степень компенсации $N_a - N_d$ (за счет компенсации акцепторного уровня E_a) в дырочных образцах.

В заключение авторы выражают благодарность Г. А. Шепельскому за интерес к работе и полезные обсуждения.

Список литературы

- [1] Schaake H. F., Tregilgas J. H., Lewis A. J., Evert D. M. // J. Vac. Sci. Techn. 1983. V. A1. N 3. P. 1625—1630.
- [2] Hirth J. P., Ehranreich H. // J. Vac. Sci. Techn. 1985. V. A3. N 2. P. 367—372.

- [3] Гасан-заде С. Г., Сальков Е. А., Шепельский Г. А. // ФТП. 1983. Т. 17. В. 11. С. 1913–1917.
- [4] Andrukhiv M. G., Ivanov-Omskii V. I., Ogorodnikov V. K. // Infr. Phys. 1980. V. 20 P. 373–377.
- [5] Букингем М. Шумы в электронных приборах и системах. М., 1986. 399 с.

Дрогобычский
педагогический
институт
им. Ив. Франко

Получена 28.09.1988
Принята к печати 17.03.1988
