

В общем случае экспериментальные результаты по твердофазному лазерному легированию кристаллов $Cd_xHg_{1-x}Te$ примесями индия и цинка свидетельствуют о получении поверхностных слоев с повышенной концентрацией доноров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кияк С. Г., Крзчун В., Маненков А. А., Михайлова Г. Н., Михэилеску И. Н., Прохоров А. М., Урсу И. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 3. С. 421—424.
- [2] Горин Е. А. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 2. С. 323—324.
- [3] Воронков В. П., Гурченко Г. А. // ФТП. 1990. Т. 24. В. 10. С. 1831—1834.
- [4] Вирт И. С., Любченко А. В., Мозоль П. Е., Гнатюк В. А. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 8. С. 1386—1389.
- [5] Берченко Н. Н., Кревс В. Е., Средин В. Г. Полупроводниковые твердые растворы и их применение. М., 1982. 208 с.
- [6] Кучис Е. В. Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования. М., 1990. 264 с.

Дрогобычский государственный педагогический институт
им. И. Франко

Получено 24.11.1990
Принято к печати 23.10.1991

ФТП, том 26, вып. 3, 1992

СВОЙСТВА $n^+ - p$ -ПЕРЕХОДОВ НА ОСНОВЕ $Cd_xHg_{1-x}Te$, ПОДВЕРГНУТЫХ ЛОКАЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Вирт И. С., Белотелов С. В.

Известно [1], что механические напряжения в полупроводниковых приборах генерируют различного типа дефекты, что приводит к ухудшению их параметров и в конечном счете влечет за собой выход приборов из строя. Такие дефекты (например, дислокации) могут возникать как при эксплуатации приборов, так и на промежуточных этапах их изготовления. Это в особенности относится к изготовлению приборов из полупроводникового материала $Cd_xHg_{1-x}Te$, в которых порог пластичности очень низкий [2].

В данной работе приведены результаты исследований влияния локального деформирования на свойства $n^+ - p$ -переходов (фотодиодов) на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x = 0.2$).

Переходы создавались имплантацией ионов бора (B^+) в пластины p -типа проводимости. Размеры рабочей площадки 50×50 мкм. Поверхность пассивирована Al_2O_3 .

Локальная деформация создавалась путем вдавливания алмазного микроиндентора за пределами рабочей площадки фотодиода в базовую p -область с нагрузкой на индентор 30 г при определенной плотности. Диаметр отпечатка ~ 20 мкм. До и после индентирования контролировались вольт-амперные (ВАХ) и вольт-фарадные (ВФХ) характеристики при 77 К. Измерялись также зависимость дифференциального сопротивления при нулевом смещении от температуры $R_0(T)$, спектральные зависимости фотоэдс при возбуждении импульсом CO_2 -лазера ($\lambda = 10.6$ мкм). Измерялись характеристики как сразу после деформации, так и по истечении некоторого времени после снятия механической нагрузки.

Судя по прямым (с параметром $\beta \approx 1.2$ [3]) и обратным ветвям ВАХ, полный ток через $n^+ - p$ -переход в предположении, что рекомбинационный уровень находится близ середины запрещенной зоны, состоит из суммы диффузионной и генерационно-рекомбинационной компонент [3]:

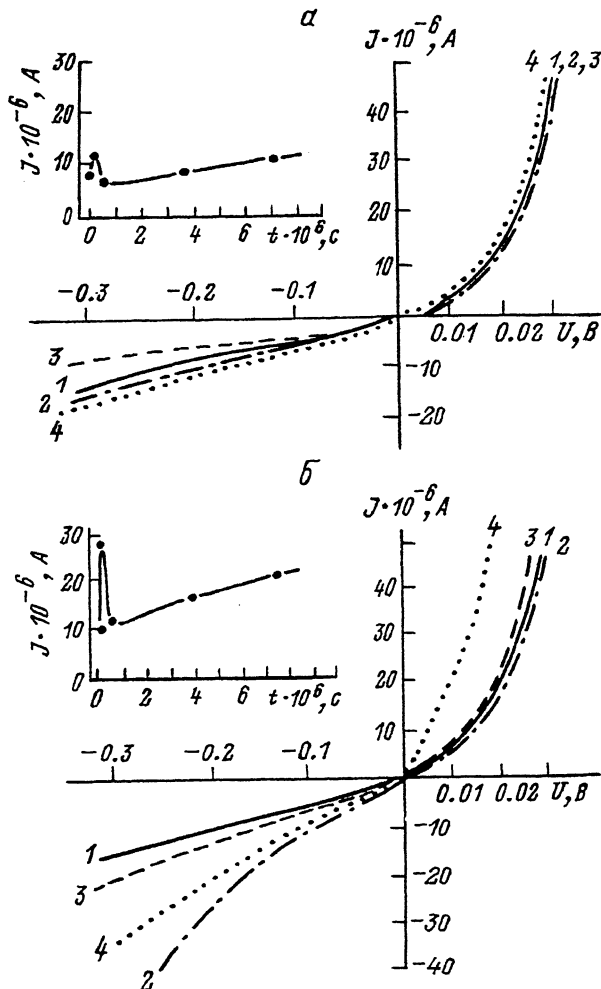


Рис. 1. ВАХ $n^+ - p$ -перехода, подвергнутого локальной деформации с $N \approx 10^3$ (а) и 10^4 см^{-2} (б). 1 — исходный образец, 2 — подвергнутый деформации, 3 — спустя 120 ч, 4 — после $2 \cdot 10^3$ ч. На вставках — временные зависимости J_s при $U_{\text{обр}} = 0.2$ В после снятия деформации.

$$J = (J_D + J_{GR}) \left[1 - \exp \left(-\frac{qU}{\beta kT} \right) \right], \quad (1)$$

где $J_D = A_q \frac{n_i^2}{N_A} \left(\frac{D_n}{\tau_n} \right)^{1/2}$, $J_{GR} = A_q \frac{n_i W}{2\tau_n}$, n_i — собственная концентрация носителей заряда при 77 К, N_A — концентрация акцепторов в p -области, D_n и τ_n — коэффициент диффузии и время жизни электронов в p -области, W — ширина ОПЗ.

При малой плотности индентирования $N \approx 10^3$ см^{-2} (расстояние между инденторными лунками и рабочей площадкой $n^+ - p$ -перехода $l \approx 150$ мкм) сразу после деформации незначительно увеличивается ток насыщения на ВАХ при обратном смещении примерно на 5—10% (рис. 1, а) и появляется почти линейная его зависимость от напряжения, характеризующаяся шунтирующим сопротивлением $R_{\text{ш}} \approx 25$ кОм. С течением времени $t \approx 120$ ч обратный ток $n^+ - p$ -перехода уменьшается на 20—30% и становится заметно меньше исходного, а также незначительно уменьшается ток в прямом направлении. В дальнейшем при $t \geq 2 \cdot 10^3$ ч

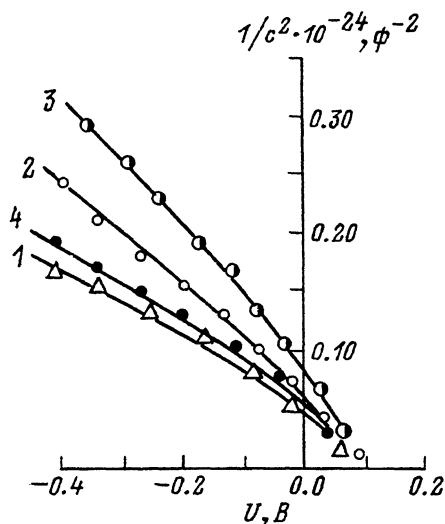


Рис. 2. ВФХ $n^+ - p$ -перехода, подвергнутого локальной деформации.

$N \approx 10^4 \text{ см}^{-2}$; 1-4 — то же, что и на рис. 1.

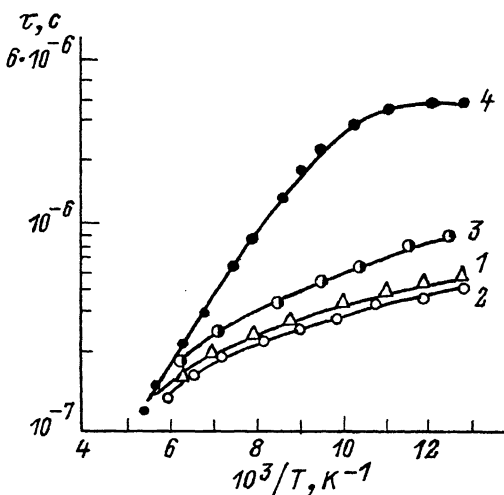


Рис. 3. Температурные зависимости релаксации фотоэда $n^+ - p$ -перехода, подвергнутого локальной деформации.

$N \approx 10^4 \text{ см}^{-2}$; 1-4 — то же, что и на рис. 1.

обратный ток через $n^+ - p$ -переход увеличивается в ~ 2 раза (см. вставку на рис. 1, а).

При больших плотностях индентирования ($N \approx 10^4 \text{ см}^{-2}$, $l \approx 50 \text{ мкм}$) сразу после снятия нагрузки обратный ток через переход возрастает в 2—3 раза (рис. 1, б), при малых обратных смещениях $R_{\text{ш}} \approx 7.5 \text{ кОм}$, а при $U_{\text{обр}} \geq 0.15 \text{ В}$ ВАХ становится нелинейной. В течение 120 ч обратная ветвь ВАХ почти восстанавливается (рис. 1, б, кривая 3). Длинноволновый край фотоэда при различных плотностях индентирования не изменяется, что свидетельствует о незначительном влиянии механических напряжений на величину запрещенной зоны. После индентирования уменьшается также емкость $n^+ - p$ -перехода, и вид ВФХ (рис. 2) свидетельствует об уменьшении концентрации акцепторов N_A в 1.5 раза в p -области, а спустя 120 ч — примерно в 2 раза. Время релаксации фотоэда, которое при $RC \ll \tau$ можно связать с временем жизни неравновесных носителей заряда (ННЗ) в p -области, сначала несколько падает, потом увеличивается (рис. 3). Причем время релаксации при длительной выдержке $n^+ - p$ -перехода возрастает значительно.

Данные исследования влияния локальных деформаций на свойства $n^+ - p$ -переходов укладываются в рамки механизма возникающих дислокаций донорного типа [2, 4], со временем блокирующихся акцепторными примесными атмосферами p -типа проводимости. В [5] показано, что при локальном деформировании кристаллов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ с помощью индентора возникают пластически (ПДО) и упруго (УДО) деформированные области. ПДО представляет собой область с повышенной плотностью дислокаций и превышает размер инденторной лунки в $\sim 3-4$ раза. Следует ожидать, что при малой плотности индентирования ($l \approx 150 \text{ мкм}$) $n^+ - p$ -переход подвергается в основном действию упругих напряжений и действию малой плотности дислокаций в p -области. Очевидно, что такая плотность дислокаций слабо сказывается на токопрохождении через $n^+ - p$ -переход.

Однако со временем образование примесных атмосфер приводит к уменьшению концентрации акцепторов N_A в базовой p -области, что в свою очередь увеличивает значение τ_n в (1). При этом вклад генерационно-рекомбинационной компоненты, судя по ходу J_s (рис. 1), уменьшается.

При больших плотностях индентирования ($l \approx 50 \text{ мкм}$) $n^+ - p$ -переход попадает в ПДО. Введенные дислокации выступают в роли коротковольных шунтирующим сопротивлением $R_{\text{ш}}$: J_s резко возрастает, а при увеличении обрат-

ного смещения появляются пробойные нелинейные явления. За время $t \approx 120$ ч дислокации блокируются — обратный ток ВАХ практически восстанавливается. Это происходит за счет насыщения оборванных связей дислокаций (уменьшения их электрической активности) и образования примесных атмосфер при уменьшении концентрации N_A в области p -типа проводимости (судя по ВФХ, в ~ 2 раза), при этом также увеличивается τ ННЗ. В дальнейшем ($t \approx 2 \cdot 10^3$ ч) (рис. 1, б, кривая 4) происходит прорастание дислокаций по активной области $n^+ - p$ -перехода; от места отпечатка индентора под действием упругих сил их плотность на $n^+ - p$ -переходе увеличивается. Примесные атмосферы таких дислокаций образуют эффективные шунтирующие связанные каналы p^+ -типа проводимости [6]. При этом особенно значительно возрастает τ_n ННЗ, поскольку образующиеся p^+ -области не являются эффективными центрами рекомбинации для неосновных ННЗ, а, наоборот, выступают в роли барьеров, уменьшающих темп электрон-дырочной рекомбинации.

Изменения электрических и фотоэлектрических параметров индентированных структур не связаны с естественной деградацией, поскольку при аналогичных измерениях на контрольных образцах указанных изменений не наблюдалось.

В заключение можно сделать следующие выводы.

В результате экспериментальных данных можно предположить, что действие локальных механических напряжений на свойства $n^+ - p$ -переходов на основе $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ сводится в основном к следующему: 1) образованию дефектов типа дислокаций, которые в некоторой степени выступают в роли закороток $n^+ - p$ -перехода; 2) геттерному действию дислокаций и их блокированию примесными атмосферами с p^+ -типом проводимости; 3) прорастанию дислокаций и образованию связанного канала токопротекания по примесным атмосферам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Чернышев А. А. Основы надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. М., 1988. 256 с.
- [2] Гасан-заде С. Г., Сальков Е. А., Шепельский Г. А. // ФТП. 1983. Т. 17. В. 11. С. 1913—1917.
- [3] Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов. М., 1984. Ч. 1. 456 с.
- [4] Андрухив М. Г., Вирт И. С., Цюцюра Д. И., Шуптар Д. Д., Шкумбатюк П. С. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 7. С. 1263—1266.
- [5] Вирт И. С., Дякин В. В., Любченко А. В., Коваль В. В., Цюцюра Д. И. // УФЖ. 1987. Т. 32. В. 5. С. 745—749.
- [6] Баранский П. И., Беляев А. Е., Городничий О. П., Комиренко С. М. // ФТП. 1990. Т. 24. В. 1. С. 121—125.

Дрогобычский государственный педагогический институт
им. И. Франко

Получено 11.04.1991
Принято к печати 23.10.1991

ФТП, том 26, вып. 3, 1992

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ АНОМАЛИИ ТЕРМОЭДС PbTe(Tl)

Бойко М. П., Засавицкий Е. А.

Полупроводниковый сплав $\text{Pb}_{1-x}\text{Tl}_x\text{Te}$ представляет особый интерес из-за наиболее ярко проявляющихся в нем эффектов, связанных с сильным резонансным рассеянием носителей в широкую примесную полосу. Кинетические коэффициенты определяются плотностью состояний, формой примесной полосы и относительным положением уровня Ферми [1]. Как известно, наиболее чувствительным к особенностям плотности состояний коэффициентом является термоэдс, что подтверждено подробными исследованиями [2]. Обобщенные в [3]