

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В $n^+ - p$ -СТРУКТУРАХ
НА ОСНОВЕ $Cd_xHg_{1-x}Te$

М. Г. Андрухив, С. В. Белотелов, И. С. Вирт

Дрогобычский государственный педагогический институт им. И. Франко,
Дрогобыч, Украина

(Получено 30 ноября 1992 г. Принято к печати 24 мая 1993 г.)

Исследование переходных характеристик $p-n$ -переходов имеет важное значение для создания быстродействующих диодов. Особенно это касается фотодиодов на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$, в которых прохождение видеоимпульсов достаточно сложное из-за технологических особенностей создания $p-n$ -перехода. Одним из основных способов создания $p-n$ -переходов в материале $Cd_xHg_{1-x}Te$ является метод ионной имплантации, при котором наряду с введением примеси образуется сравнительно толстый слой полупроводника с повышенной плотностью радиационных дефектов донорной природы [1]. В большинстве случаев этот слой обладает n^- - или p^- -проводимостью [2, 3] по сравнению с базовыми областями. Очевидно, что характеристики такой многослойной структуры будут сказываться на инерционности переходных процессов фотодиодов.

В данной работе исследовались переходные характеристики $n^+ - p$ -структур на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x = 0.24$). В образцах p -типа проводимости имплантацией ионов V^+ с энергией 100 кэВ создавались n^+ -области и наносились защитное покрытие из ZnS и токоведущие контакты из Al. Структуры специально не отжигались. Переходные характеристики исследовались с помощью запоминающего осциллографа С8-13 по спаду послеинжекционного напряжения или фотототклика от импульса лазера длительностью $\Delta t \approx 10^{-8}$ с и длиной волны $\lambda = 0.33$ мкм.

Прохождение прямоугольного импульса тока через $n^+ - p$ -структуру при температуре $T = 77$ К показано на рис. 1. Характерным на осциллограмме является спад послеинжекционной эдс. За участком падения напряжения на базе структуры наблюдается почти линейное изменение эдс с течением времени, соответствующее высокому уровню инжекции. На этом участке выполняется следующее соотношение [4]

$$\frac{dU(t)}{dt} = -\frac{kT}{q} \frac{1}{\tau}, \quad (1)$$

где τ — большее из времен релаксаций, составляющих переходной процесс. Определение времени релаксации по зависимости $U(t)$ дает значение $\tau \approx 3 \cdot 10^{-6}$ с. При больших временах, что соответствует низкому уровню инжекции (а также при импульсах прямого тока малой амплитуды), линейный закон изменения послеинжекционной эдс на $n^+ - p$ -структуре преобразуется в экспоненциальный с той же постоянной времени.

Приведем оценку времен релаксации для различных возможных составляющих.

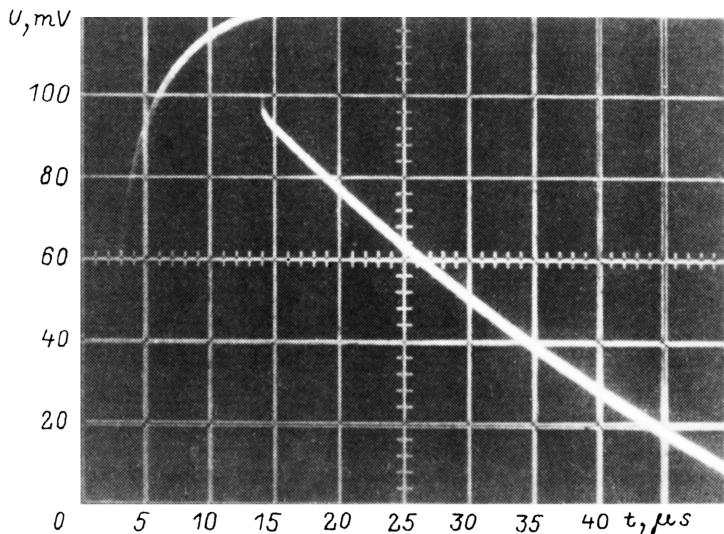


Рис. 1. Осциллограмма прохождения прямого импульса тока через $n^+ - p$ -переход.

1. Время рекомбинации неосновных неравновесных носителей заряда (ННЗ) в $n^+ - p$ -структуре больше в p -области и при концентрации акцепторов $N_A \approx \approx 10^{16} \text{ см}^{-3}$ составляет при оже-механизме рекомбинации $\tau \approx 10^{-8} \text{ с}$ [5].

2. Ограничение времени переходного процесса RC -составляющей [где $R \approx \approx 400 \text{ Ом}$ — сопротивление базы, $C \approx 10^{-10} \text{ Ф}$ — диффузионная (при прямом смещении) емкость структуры] происходит при временах, меньших $4 \cdot 10^{-8} \text{ с}$. Таким образом, каждая из составляющих переходного процесса дает время релаксации примерно на 2 порядка меньше, чем наблюдается на эксперименте. Естественно предположить, что основной вклад в релаксацию послеинжекционной эдс вносит рекомбинация ННЗ в промежуточной компенсированной n^- -области (толщиной $\sim 1 - 3 \text{ мкм}$ [2], находящейся между n^+ - и p -областями структуры.

Полученное по спаду послеинжекционной эдс значение τ согласуется с временем релаксации фотоотклика в фотовольтаическом режиме при $U = 0$ (рис. 2,

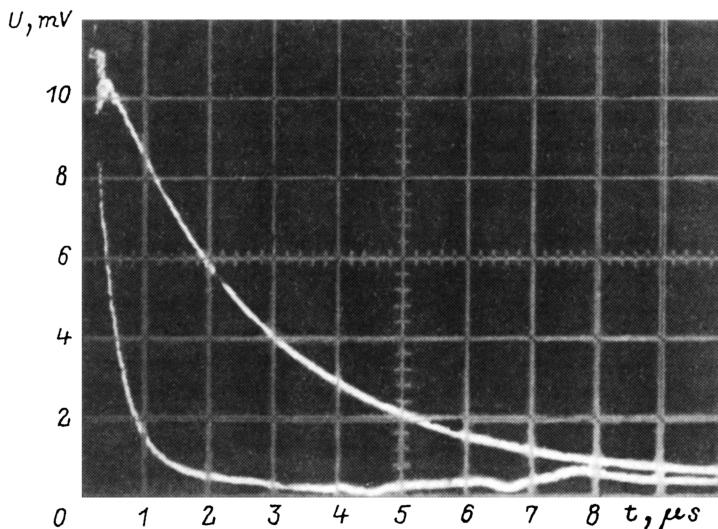


Рис. 2. Осциллограмма релаксации фотоотклика $n^+ - p$ -структуры при импульсном освещении: верхняя кривая (1) для фотовольтаического режима, нижняя (2) — для фотодиодного.

кривая 1). Учитывая, что изменение фотоотклика при этом происходит из-за рекомбинации и рассасывания ННЗ, при низком уровне возбуждения время релаксации будет совпадать с временем жизни дырок (τ_p) в n^- -слое. Поскольку при оже-механизме рекомбинации $\tau_p \sim n^{-2}$, оценка концентрации электронов в этом слое дает значение $n \approx 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ [5].

Время релаксации фотоотклика в фотодиодном режиме (рис. 2, кривая 2) при поверхностном возбуждении ограничивается следующими факторами.

1. Пролетом ННЗ через область пространственного заряда (ОПЗ) при толщине ОПЗ $l \approx 0.1 \text{ мкм}$ и скорости насыщения $\tau_{SCR} \approx 10^{-10} \text{ с}$.

2. Диффузией ННЗ дырок через суммарный (l_i) n^+ - и n^- -слой, причем вследствие повышенной дефектности n -слоя подвижность носителей заряда должна быть достаточно низкой. Учитывая, что $l_i = \sqrt{\tau_p D_p}$, диффузионная компонента времени релаксации фотоотклика в фотодиодном режиме составляет $\tau_p \approx 2 \times 10^{-7} \text{ с}$ и согласуется с экспериментальным значением (D_p — коэффициент диффузии дырок).

Следует отметить, что влияние поверхности на переходные характеристики в данном случае несущественно. При достаточно узкой области n -типа проводимости, когда выполняется соотношение $d \ll \sqrt{D_p \tau_p}$, время релаксации, связанное с поверхностной рекомбинацией, имеет вид [4]

$$\tau_s = f(s) \frac{d^2}{D_p}, \quad (2)$$

где $f(s)$ — функция от скорости поверхностной рекомбинации при $s \rightarrow \infty$, $f(s) = 0.4$, а при $s \rightarrow 0$, $f(s) \approx 0$. При максимальном значении s — $\tau_s \approx 8 \cdot 10^{-8} \text{ с}$.

Таким образом, достаточно большие времена релаксации видеоимпульсов в n^+p -структурах на основе $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ можно связать с промежуточной n^- -областью, возникающей в процессе изготовления n^+p -перехода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] A. Fraenkel, S. E. Schacham, C. Bahir, E. Finkman. J. Appl. Phys., 60, 3916 (1986).
- [2] D. L. Spears. Lasers and Electron. Conf. Proc. Arlando. Fla., 113. New York (1989).
- [3] С. В. Белотелов, В. И. Иванов-Омский, А. И. Ижнин, В. А. Смирнов. ФТП, 25, 1058 (1991).
- [4] Ю. Р. Носов. Физические основы работы полупроводникового диода в импульсном режиме, 264. М. (1968).
- [5] А. В. Любченко, Е. А. Сальков, Ф. Ф. Сизов. Физические основы полупроводниковой инфракрасной фотозлектроники, 254. Киев (1984).

Редактор В. В. Чалдышев