

Влияние электрического поля на релаксацию фотопроводимости в кристаллах $n\text{-Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$

© И.С. Вирт

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

(Получена 24 апреля 1996 г. Принята к печати 25 декабря 1996 г.)

Исследовано влияние тянущего электрического поля на релаксационные кривые фотопроводимости кристаллов $n\text{-Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$. Показано, что с увеличением напряженности поля время релаксации медленной компоненты возрастает, а быстрой уменьшается. Уменьшается также и вклад медленной компоненты. Такое поведение затухания фотопроводимости связывается с изменением изгиба энергетических зон в области макродефектов в присутствии электрического поля и с изменением подвода к ним неравновесных носителей заряда.

Наиболее распространенным методом измерения времени жизни неравновесных носителей заряда (ННЗ) является метод релаксации фотопроводимости (нестационарная фотопроводимость), которая позволяет непосредственно определять эту характеристику. В комбинации с методом стационарной фотопроводимости можно также установить наличие рекомбинационных центров (центров захвата) и центров прилипания [1]. Тянущее электрическое поле, которое используется для измерения времени жизни ННЗ, в кристаллах $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ может изменять протекание фото процессов. Так, при больших значениях электрического поля наблюдается вытягивание (экстракция) ННЗ из кристаллов [2].

В большинстве случаев релаксационные кривые фотопроводимости (ФП), по которым обычно определяется величина времени жизни ННЗ, состоят из нескольких экспонент, по крайней мере из двух [3]. Например, при рекомбинации ННЗ с участием локальных центров (рекомбинация Шокли–Рида), когда время жизни неравновесных электронов (τ_n) много меньше времени жизни неравновесных дырок (τ_p), т.е. $\tau_n \ll \tau_p$, на релаксационной кривой ФП наблюдается быстрая электронная компонента при малых временах наблюдения, сменяющаяся медленной дырочной.

Экспериментальная часть

В данной работе проводились исследования релаксационных кривых ФП от величины напряженности электрического поля. Использовались образцы электронного типа проводимости с концентрацией электронов $n = 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ и их подвижностью $\mu_n = 8 \cdot 10^4$ (образец 1) и $2 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ (образец 2). Размеры образцов составляли $5 \times 1 \times 0.3 \text{ мм}^3$. Фотопроводимость измерялась при воздействии излучением импульсного CO_2 -лазера с длиной волны $\lambda = 10.6 \text{ мкм}$ и длительностью импульса $\Delta t \approx 100 \text{ нс}$. С помощью фильтров обеспечивался низкий или высокий уровень генерации фотоносителей.

Релаксационные кривые ФП (при величине напряженности электрического поля в образце $E = 0.1 \text{ В/см}$)

представлены на рис. 1. Из рис. 1 следует, что вид релаксационных кривых определяется не только уровнем возбуждения, но и характеристиками образцов. На релаксационных кривых, построенных в полулогарифмическом масштабе, видны две экспоненты (рис. 2) — быстрая и медленная компоненты. Температурные зависимости времени жизни ННЗ — дырок, которое оценивалось по медленной компоненте релаксации ФП, показывают на отсутствие характерного для механизма рекомбинации ННЗ Шокли–Рида активационного характера в области примесной проводимости. Это указывает, что преобладающим процессом рекомбинации ННЗ в этой области является оже-механизм, при котором $\tau_n = \tau_p$. Очевидно, что быстрая компонента ФП связана не с преобладающей электронной рекомбинацией, а скорее всего с участием кроме объемного канала рекомбинации ННЗ других, конкурирующих, в роли которых могут выступать макродефекты (поверхность, границы блоков, неоднородности состава и т.д.). Так, в образце с более низким значением μ_n (образец 1), очевидно, из-за большей концентрации рассеивающих центров ФП характеризуется двумя экспоненциальными релаксационными участками.

Зависимости характерного времени релаксации от величины напряженности электрического поля при низком уровне возбуждения показаны на рис. 3. Представлены также и зависимости относительного вклада каждой из компонент A_s/A_f (где A_s и A_f соответственно амплитуды медленной и быстрой компонент ФП). С увеличением напряженности поля характерное время быстрой компоненты падает, а медленной возрастает. При этом вес медленной компоненты уменьшается. При величине электрического поля $E \leq 1 \text{ В/см}$ времена релаксации практически не изменяются. В более однородном образце при малых смещениях на ФП присутствует одна компонента, которая при увеличении электрического поля расщепляется на две. Уменьшение амплитуды медленной компоненты с полем в однородном образце происходит быстрее, чем в неоднородном.

Аналогичные изменения происходят и при высоком уровне возбуждения. В этом случае кривая $\tau(E)$ для быстрой и медленной компонент неоднородного образца

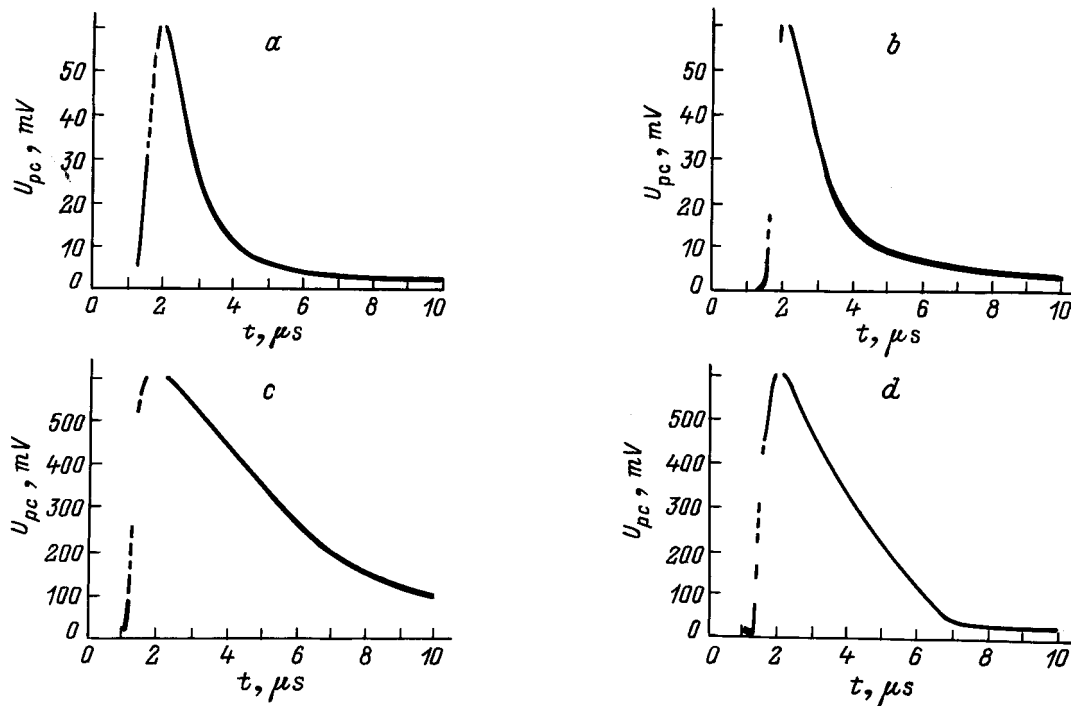


Рис. 1. Релаксационные кривые фотопроводимости образцов 1 (a, c) и 2 (b, d) при низком (a, b) и высоком (c, d) уровне возбуждения. Напряженность тянущего поля $E = 0.1$ В/см.

проходит через максимум. Отношение величин A_s/A_f при высоком уровне возбуждения изменяется с полем не так значительно, как при низком.

Обсуждение результатов

Сложный характер релаксационных кривых ФП и их изменение при воздействии электрического поля в случае оже-механизма рекомбинации ННЗ можно объяснить присутствием неоднородностей в кристаллах твердых растворов $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$. Внутренние макродефекты, особенно их поверхность, являются естественным стоком

ННЗ [4] с повышенной скоростью рекомбинации по сравнению с объемом. Поэтому изменение во времени t сигнала фотопроводимости $U_{pc}(t)$ определяется двумя каналами [3] — рекомбинацией ННЗ в объеме и их подводом к макродефектам с последующей рекомбинацией на них [5]:

$$U_{pc}(t) = A \exp(-t/\tau_v) + B \exp(-t/\tau_s), \quad (1)$$

где τ_v и τ_s — объемное и поверхностное времена жизни ННЗ.

В случае небольшой разницы в скоростях рекомбинации ННЗ в объеме и на макродефектах, при которой темп рекомбинации ННЗ на поверхности макродефектов (s) можно считать низким, величина поверхностного времени жизни (τ_s) определяется диффузией (подводом) к границам макродефекта и в простейшем случае (плоской поверхности макродефекта) зависит от их концентрации:

$$\tau_s = d^2/\pi D_p, \quad (2)$$

где D_p — коэффициент диффузии неравновесных дырок, d — расстояние между макродефектами. При этом быстрая компонента ФП определяется меньшим из времен — τ_s .

Электрическое поле ускоряет подвод ННЗ к макродефектам и характерное время быстрой компоненты релаксации ФП будет составлять

$$\tau_{s\text{eff}} = \frac{\tau_s}{1 + (\tau_s/d)\mu_a E}, \quad (3)$$

где μ_a — амбиполярная подвижность ННЗ. Таким образом, характерное время релаксации быстрой компоненты

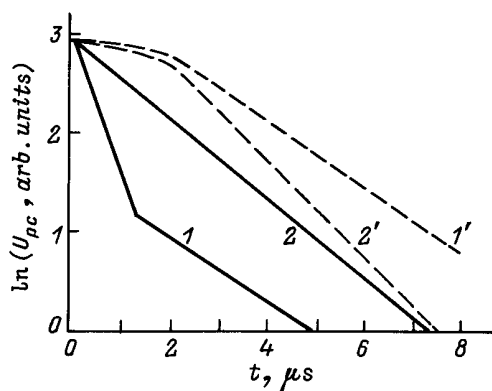


Рис. 2. Релаксационные кривые фотопроводимости образцов 1 (I, I') и 2 (2, 2') при низком (I, 2) и высоком (I', 2') уровне возбуждения. Напряженность тянущего поля $E = 0.1$ В/см.

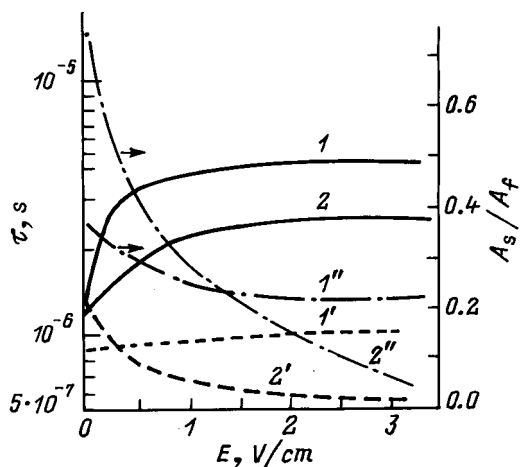


Рис. 3. Полевые зависимости характерного времени релаксации медленных (1, 2) и быстрых (1', 2') компонент при низком уровне возбуждения, а также отношения A_s/A_f (1'', 2'') соответственно образцов 1 и 2.

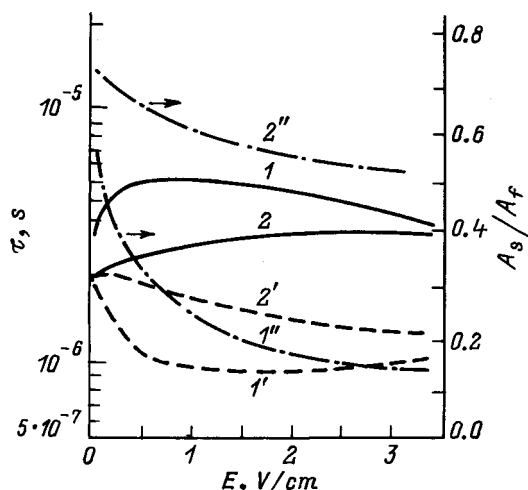


Рис. 4. Полевые зависимости характерного времени релаксации медленных и быстрых компонент фотопроводимости при высоком уровне возбуждения, а также отношения A_s/A_f . Обозначения те же, что на рис. 3.

с увеличением поля падает (рис. 4). При этом характерное время медленной компоненты увеличивается в связи с уменьшением энергетических барьеров (флуктуаций зон) внутри матрицы кристалла. При больших значениях напряженности электрического поля на зависимость $\tau_v(E)$ накладывается эффект экстракции ННЗ, что более сильно проявляется в неоднородном образце. В этом случае электрическое поле уменьшает измеряемое время жизни ($\tau_{v, \text{eff}}$) согласно выражению

$$\tau_{v, \text{eff}} = \frac{\tau_v}{1 + (\tau_v/l)\mu_a E}, \quad (4)$$

где l — длина образца.

С увеличением поля увеличивается также и амплитуда быстрой компоненты в связи с преобладанием

рекомбинации ННЗ на поверхности макродефектов. При высоких уровнях возбуждения ННЗ изменяется также поверхностный изгиб энергетических зон на границе раздела матрица кристалла–макродефект, уменьшающий скорость поверхностной рекомбинации s . Судя по зависимости A_s/A_f от E , это приводит к меньшему вкладу быстрой компоненты ФП.

Таким образом, влияние электрического поля на релаксацию ФП в кристаллах $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$ связано с изменением темпа подвода ННЗ к рекомбинационным макродефектам и с изменением изгиба энергетических зон на границе их раздела.

Список литературы

- [1] С.М. Рывкин. *Фотоэлектрические явления в полупроводниках* (М., Физматгиз, 1963).
- [2] А.И. Власенко, А.В. Любченко. *ФТП*, **28**, 1219 (1994).
- [3] V.S. Lopes, A.J. Syllaios, M.C. Chen. *Semicond. Sci. Technol.*, **44**, 824 (1993).
- [4] А.И. Елизаров, В.И. Иванов-Омский, А.А. Корнищ, В.А. Петряков. *ФТП*, **18**, 201 (1984).
- [5] В.Н. Овсяк. *Электронные процессы в полупроводниках с областью пространственного заряда* (Новосибирск, Наука, 1984).

Редактор Л.В. Шаронова

The influence of electric field on transient photoconductivity in $n\text{-Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$ crystals

I.S. Virt

I.Franko State Pedagogical Institute,
293720 Drohobych, Ukraine