

Влияние лазерного облучения на фотопроводимость и шумы в монокристаллах $n\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$

© А.И. Власенко, В.А. Гнатюк, Е.П. Копишинская, П.Е. Мозоль

Институт физики полупроводников Национальной академии Украины, 252650 Киев, Украина

(Получена 24 сентября 1996 г. Принята к печати 11 ноября 1996 г.)

Исследовано влияние лазерного излучения наносекундной длительности на фотопроводимость и $1/f$ -шум в кристаллах $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$. Показано, что лазерное облучение вызывает снижение фоточувствительности образцов и коротковолновый сдвиг максимума и длинноволнового края спектра фотопроводимости. Усиление $1/f$ -шума по интенсивности и частоте связано с возрастанием дефектности материала под действием лазерного облучения.

Электрофизические свойства узкозонных полупроводниковых твердых растворов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ во многом определяются взаимодействием точечных и протяженных дефектов структуры. Низкий порог пластичности приводит к тому, что при различных воздействиях (в том числе лазерном облучении), которым подвергаются кристаллы в процессе изготовления приборов ИК фотоэлектроники, наблюдаются существенные изменения дефектной структуры [1–4].

В настоящем сообщении приводятся результаты исследований спектров фотопроводимости (ФП) и спектра $1/f$ -шума в монокристаллах $n\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ ($x = 0.2$), подвергнутых облучению импульсами излучения рубинового ($\lambda = 0.694 \text{ мкм}$) лазера длительностью $t = 20 \text{ нс}$. Линейные размеры образцов после полировки и химического травления составляли $3 \times 75 \text{ мм}$, толщина — 30 мкм . Контакты получены электрохимическим осаждением индия на свежепротравленную поверхность. Концентрация электронов, определенная из холловских измерений в слабом магнитном поле $(\mu_H \cdot B)^2 \ll 1$, составляла $n = 2.5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, холловская подвижность $\mu_H = 1.5 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.

Спектры ФП измерялись при $T = 77 \text{ К}$ на фиксированной частоте модуляции 400 Гц инфракрасным спектрометром ИКС-21. Усиление и преобразование сигнала ФП осуществлялось при помощи предварительного усилителя и синхронного детектора. Обработка данных производилась компьютером с учетом поправки на спектральное распределение глобара. Спектры ФП пересчитывались на один квант падающего излучения, выводились на дисплей и записывались на принтере.

Избыточный шум измерялся по стандартной 3- и 4-зондовой методике при $T = 85 \text{ К}$ в диапазоне частот $1\text{--}20 \text{ кГц}$ цифровым анализатором спектра, который использует алгоритм быстрого преобразования Фурье. Спектральная плотность шума $S_V(f)$ (где V — постоянное напряжение на образце) после вычета генерационно-рекомбинационной составляющей квадратично зависела от протекающего тока и во всем исследуемом диапазоне частот изменялась по закону $1/f^\gamma$. Значения γ для различных образцов лежали в пределах $0.78\text{--}1.02$.

На рис. 1 представлены спектры ФП до (1) и после лазерной обработки (2, 3). Исходный спектр (1) прописан после химико-динамической обработки образцов [1] и хранения их на воздухе в течение 1 месяца. Резкая длинноволновая граница спектра свидетельствует об однородности кристаллов. После облучения образцов импульсами излучения рубинового лазера с плотностью энергии 0.05 Дж/см^2 наблюдается падение коротковолнового крыла спектра ФП, что свидетельствует об уменьшении скорости поверхностной рекомбинации (рис. 1, кривая 2). Увеличение плотности энергии импульсов до 0.12 Дж/см^2 приводит к уменьшению сигнала ФП и коротковолновому сдвигу максимума и длинноволновой границы спектра.

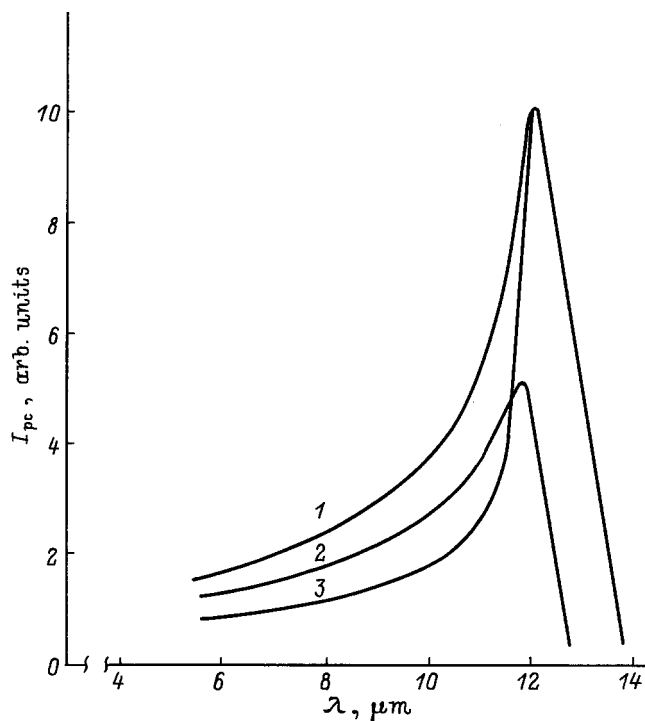


Рис. 1. Спектры фотопроводимости кристалла $n\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ ($x = 0.2$) при 77 К до (1) и после облучения импульсами излучения рубинового лазера с плотностью энергии (Дж/см^2): 2 — 0.05 , 3 — 0.12 .

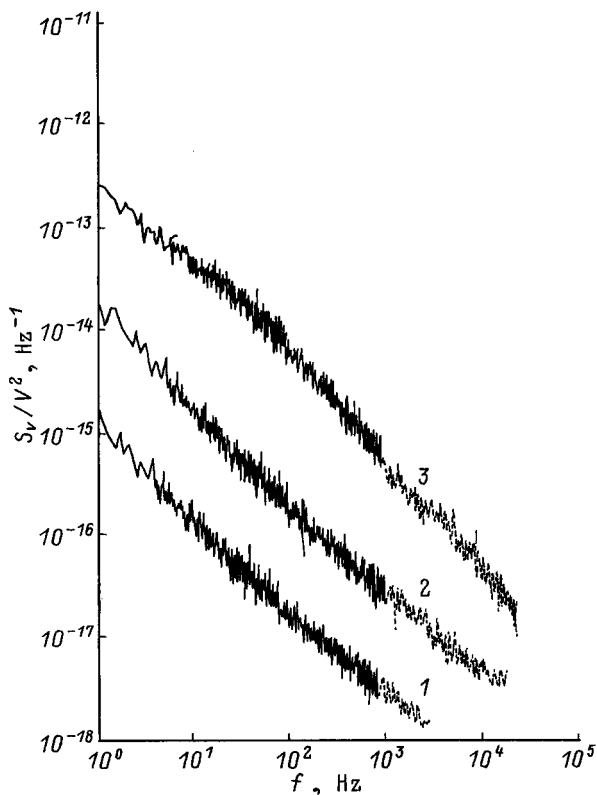


Рис. 2. Спектры избыточного $1/f$ -шума с вычетом генерационно-рекомбинационной составляющей: после химико-динамической обработки (1) и хранения на воздухе в течение месяца (2), после облучения импульсами излучения лазера с плотностью энергии 0.12 Дж/см^2 (3).

В частотных спектрах $1/f$ -шума при плотности энергии импульсов 0.05 Дж/см^2 не наблюдается изменений. Увеличение плотности энергии облучения до 0.12 Дж/см^2 приводит к усилению $1/f$ -шума (рис. 2, кривая 3).

При интерпретации результатов будем опираться на следующие факты.

1. В исходных исследуемых образцах преобладает процесс межзонной оже-рекомбинации. Концентрация неравновесных носителей заряда (ННЗ) и время их жизни равны соответственно $\Delta n = \Delta p$, $\tau_n = \tau_p = \tau = 3 \cdot 10^{-6} \text{ с}$. Время жизни ННЗ рассчитывалось по кривым релаксации фототока при возбуждении импульсами излучения Nd-лазера ($\lambda = 1.06 \text{ мкм}$, $t = 20 \text{ нс}$) в линейном режиме.

2. Химико-динамическая обработка поверхности не создает глубоких нарушенных слоев, эффективная скорость поверхностной рекомбинации, оцениваемая по коротковолновому спаду сигнала ФП, составляла $s \ll 10^3 \text{ см}^3/\text{с}$. После хранения образцов на воздухе в течение 1 месяца происходит окисление поверхности и увеличение скорости поверхностной рекомбинации до $s = 3 \cdot 10^4 \text{ см}^3/\text{с}$ (рис. 1, кривая 1). Время жизни в приповерхностном слое ниже, чем в объеме $\tau_s < \tau$,

что позволяет охарактеризовать границу раздела эффективным параметром s_{ef} , не связанным с классической величиной s .

3. Нарушенные области являются эффективными стоками для ННЗ. В $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ в качестве таких стоков могут выступать ростовые протяженные дефекты: мелкодисперсионные включения второй фазы, крупномасштабные флуктуации состава, вакансионные кластеры (поры), примесные и дислокационные, сетка малоугловых границ и др. [5]. Лазерная обработка приводит к уменьшению интенсивности сигнала ФП и коротковолновому сдвигу максимума спектра ФП (рис. 1, кривая 3). Подобная зависимость ФП наблюдается и при одноосном сжатии кристалла, когда напряжения не превышают порога пластической деформации [2]. В области локальной пластической деформации изменяется состав кристалла, вокруг нарушения образуется избыток ртути по отношению к ее содержанию в матрице [4]. Обогащение деформированной области ртутью образует полуметаллическую оболочку с минимальным τ , выполняющую, с одной стороны, роль внутренних закороток при токопрохождении, а с другой стороны, при достаточной их плотности в объеме они ведут к снижению фоточувствительности материала [6].

4. С положительным барическим коэффициентом dE_g/dP связано увеличение E_g в состоянии одноосной деформации матрицы кристалла.

Лазерная обработка приводит к двум "технологическим" эффектам в приповерхностном слое — удалению окисной пленки, что вызывает уменьшение скорости поверхностной рекомбинации (рис. 1, кривая 2) и испарению межзельной ртути с образованием обедненного по основным носителям инвертированного слоя [3]. При больших плотностях энергии облучения происходит изменение состава твердого раствора в сторону обеднения по ртути и уплотнение прилегающих к поверхности слоев возникающей ударной волной. В обоих случаях величина E_g увеличивается, о чем можно судить по коротковолновому смещению максимума спектра ФП (рис. 1, кривая 3).

5. Деградиация материала в большей степени затрагивает его фоточувствительность. В кристаллах $n\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ через год после хранения в естественных условиях сигнал ФП (особенно в области фундаментального поглощения) и τ ННЗ уменьшались более чем на порядок величины [5]. В соответствии с этим спектральные характеристики плотности шума смещаются в область более высоких частот.

Предложенная к настоящему времени модель механизма старения кристаллов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ сводится к диффузии атомов ртути из объема к поверхности и последующему их испарению либо окислению на границе раздела (на поверхности). Скорость этого процесса определяется интенсивностью поступления ртути на поверхность, что существенно зависит от степени дефектности материала [5].

При измерении спектров $1/f$ -шума было установлено, что с увеличением энергии облучения возрастает интенсивность $1/f$ -шума. Этот результат согласуется с выводами работы [7], где показано, что дефекты (ловушки, локализованные состояния, рассеивающие центры) являются причиной $1/f$ -шума в $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, т. е. повышенному количеству дефектов соответствует более высокий уровень шума. Таким образом, лазерное излучение генерирует в кристаллах $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ дефекты, которые вызывают снижение фоточувствительности и являются причиной $1/f$ -шума.

В заключении авторы благодарят Ю.Н. Шавлюка за проведение измерений спектральных зависимостей шумов.

Список литературы

- [1] Б.Д. Луфт. *Физико-химические методы обработки поверхности полупроводников* (М., Радио и связь, 1982).
- [2] В.В. Дякин, В.В. Коваль, А.В. Любченко, Е.А. Сальков, В.Г. Чалая. Неорг. матер., **25**, 1645 (1989).
- [3] И.С. Вирт, А.В. Любченко, П.Е. Мозоль, В.А. Гнатюк. ФТП, **23**, 1386 (1989).
- [4] С.Г. Гасан-заде, Е.А. Сальков, Г.А. Шепельский. ФТП, **17**, 1913 (1983).
- [5] А.И. Власенко, А.В. Любченко, Е.А. Сальков. УФЖ, **25**, 434 (1980).
- [6] А.И. Власенко, В.В. Горбунов, А.В. Любченко. УФЖ, **29**, 423 (1984).
- [7] И.С. Бакши, В.Ф. Гринь, Л.А. Карачевцева, Т.З. Кодалашвили, Е.А. Сальников, Б.И. Хижняк. ФТП, **23**, 571 (1989).

Редактор В.В. Чалдышев

The influence of laser irradiation on photoconductivity and noises in $n\text{-Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ single crystals

A.I. Vlasenko, V.A. Gnatyuk, E.P. Kopishynskaya,
P.E. Mozol'

Institute of Physics of Semiconductors,
National Academy of Sciences of Ukraine,
252650 Kiev, the Ukraine

Abstract The influences of laser pulse radiation of nanosecond duration on photoconductivity and $1/f$ noise in $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ crystals was investigated. It was shown that laser irradiation causes reduction in photosensitivity of the samples and the shift of photoconductivity maximum and long-wavelength edge of the spectra towards shorter wavelength. Increase in the frequency of the $1/f$ noise was connected with the increase of the defect quantity in samples after laser irradiation.

Fax: (044) 265-83-42 (Mozol' P.E.)