

## Влияние импульсного лазерного отжига на параметры фоторезисторов на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$

© В.Н. Рыжков, М.И. Ибрагимова\*<sup>¶</sup>, Н.С. Барышев

Федеральный научно-производственный центр "ГИПО",  
420075 Казань, Россия

\*Казанский физико-технический институт Казанского научного центра Российской академии наук,  
420029 Казань, Россия

(Получена 26 июля 2000 г. Принята к печати 14 сентября 2000 г.)

Исследовано влияние наносекундного импульсного излучения неодимового лазера (длительность импульсов  $\tau = 10$  нс, длина волны  $\lambda = 1.06$  мкм) при 300 К на параметры фоторезисторов на основе  $Cd_{0.19}Hg_{0.81}Te$ . Установлено, что при оптимальной величине плотности энергии  $W = 0.2-0.3$  Дж/см<sup>2</sup> происходит плавление поверхности с образованием инверсного слоя толщиной 0.04–0.52 мкм; при этом наблюдается рост чувствительности и обнаружительной способности фоторезисторов. Дальнейшее увеличение плотности энергии  $W$  приводит к ухудшению параметров фоторезисторов и росту темнового сопротивления.

Фоторезисторы на основе твердых растворов  $Cd_xHg_{1-x}Te$  широко используются как в современной инфракрасной (ИК) технике, так и в научных исследованиях. Известны различные способы воздействия на поверхность чувствительных элементов этих приборов, которые могут улучшить их фотоэлектрические параметры и характеристики. Одним из них является импульсный лазерный отжиг (ИЛО).

Изучение воздействия импульсного лазерного излучения на свойства  $Cd_xHg_{1-x}Te$  проводилось в нескольких работах. В основном эти работы связаны с исследованиями влияния лазерного облучения на физико-химические свойства модифицированных слоев. Одним из важных параметров при ИЛО является величина плотности энергии  $W$ , при которой происходит плавление приповерхностной области. В работах [1–3] были предприняты попытки определения порога плавления  $Cd_xHg_{1-x}Te$  при воздействии наносекундными импульсами рубинового лазера. Полученные данные противоречивы, пороговые значения  $W$  лежат в интервале от 0.03 до 0.18 Дж/см<sup>2</sup>.

Цель настоящей работы — определение оптимальных режимов отжига при воздействии наносекундными импульсами излучения неодимового лазера, позволяющих улучшить параметры фоторезисторов на основе  $Cd_xHg_{1-x}Te$ . Путем численного моделирования процесса импульсного лазерного облучения определены порог плавления поверхности и толщина перекристаллизованного слоя.

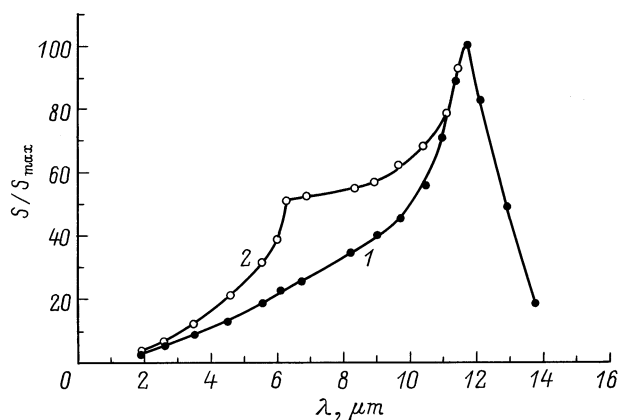
Фоторезисторы были изготовлены из монокристаллов  $Cd_xHg_{1-x}Te$   $n$ -типа проводимости с  $x = 0.19$ , выращенных методом Бриджмена. Отжиг проводился при 300 К импульсами излучения неодимового лазера (длина волны  $\lambda = 1.06$  мкм, длительность импульса  $\tau = 10$  нс) через входное окно вакуумного криостата, в котором размещались фоточувствительные элементы.

В качестве материала входного окна использовался  $BaF_2$ . С целью предотвращения испарения ртути в про-

цессе ИЛО поверхность элементов защищалась пленкой  $ZnS$ , нанесенной методом вакуумного испарения. Измерения фотоэлектрических характеристик проводились при 77 К.

На рис. 1 приведены кривые спектрального распределения чувствительности фоторезистора  $S$ , измеренные до (кривая 1) и после (кривая 2) отжига импульсами излучения с плотностью энергии  $W = 0.3$  Дж/см<sup>2</sup>. Наблюдается заметный рост чувствительности в коротковолновой области спектра. Дальнейшее увеличение плотности энергии приводит к снижению чувствительности во всем диапазоне длин волн  $\lambda = 2-14$  мкм.

На рис. 2 приведена зависимость вольтовой чувствительности фоторезистора от плотности энергии ИЛО. Из рисунка видно, что максимальное значение чувствительности достигается при  $W \approx 0.3$  Дж/см<sup>2</sup>. При более высоких значениях  $W$  чувствительность уменьшается. В этой же области плотностей энергии ( $W > 0.3$  Дж/см<sup>2</sup>) наблюдается рост темнового сопротивления.



**Рис. 1.** Спектральное распределение нормированной на максимальное значение чувствительности фоторезисторов до (1) и после импульсного лазерного отжига при плотности энергии  $W = 0.3$  Дж/см<sup>2</sup> (2).

<sup>¶</sup> E-mail: ibragimova@dionis.kfti.knc.ru

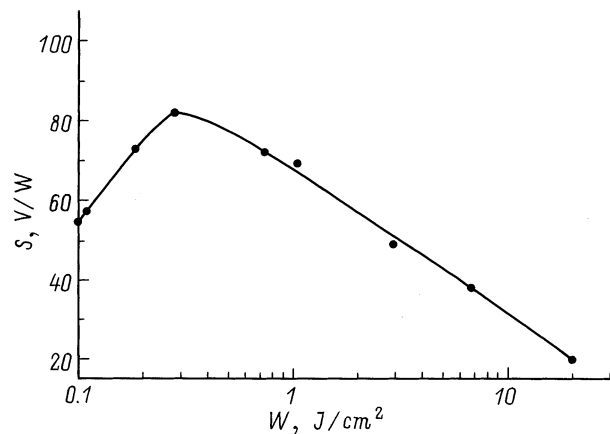


Рис. 2. Зависимость вольтовой чувствительности фоторезистора от плотности энергии при импульсном лазерном отжиге.

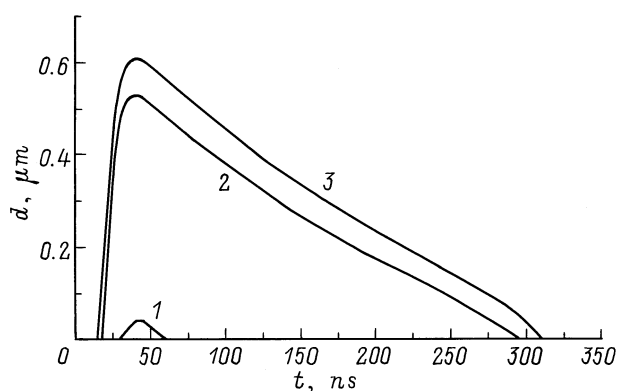


Рис. 3. Расчетная зависимость толщины перекристаллизованного слоя  $Cd_xHg_{1-x}Te$  от времени при воздействии импульсами с плотностью энергии  $W = 0.19$  (1),  $0.3$  (2),  $0.33$  Дж/см<sup>2</sup> (3).

Зависимость обнаружительной способности ( $D^*$ ) от плотности энергии качественно подобна зависимости  $S(W)$ ; максимальное значение  $D^*$  соответствует  $W \approx 0.2$  Дж/см<sup>2</sup>, а быстрый спад в области  $W > 1$  Дж/см<sup>2</sup> связан преимущественно с возрастанием шумов в чувствительном элементе.

Для установления оптимальных режимов ИЛО  $Cd_xHg_{1-x}Te$  был проведен численный расчет температурных полей по методике, описанной в работе [4]. Численные расчеты дают возможность учесть все основные факторы, влияющие на нагрев (в том числе фазовые переходы), и позволяют получить информацию о профилях распределения температуры по глубине и во времени. На рис. 3 приведены зависимости толщины перекристаллизованного слоя  $Cd_xHg_{1-x}Te$  ( $d$ ) от времени ( $t$ ) при воздействии лазерными импульсами с различной плотностью энергии. Из проведенных тепловых расчетов следует, что при отжиге поверхности фоточувствительного элемента лазерными импульсами происходит плавление поверхностных слоев, которое начинается при плотности энергии  $\sim 0.16$  Дж/см<sup>2</sup>. При плотности

энергии  $W = 0.19$  Дж/см<sup>2</sup> глубина перекристаллизованного слоя составляет  $d = 0.04$  мкм, тогда как при  $W = 0.3$  Дж/см<sup>2</sup> эта величина достигает уже  $0.52$  мкм.

Экспериментальные и расчетные данные показывают, что с началом плавления поверхности чувствительность и обнаружительная способность фоторезисторов возрастают. Рост чувствительности в коротковолновой области спектра обусловлен снижением скорости поверхностной рекомбинации и возрастанием эффективного времени жизни носителей заряда; это может быть связано с образованием у поверхности инверсного слоя, препятствующего движению фотоносителей к поверхности и рекомбинации на ней. Увеличение эффективного времени жизни ведет к росту вольтовой чувствительности и обнаружительной способности. Рост темнового сопротивления с увеличением плотности энергии ИЛО до величин  $W > 0.3-0.5$  Дж/см<sup>2</sup> связан скорее всего с увеличением толщины инверсного слоя и его влиянием на общее сопротивление образца. При плотности энергии  $W > 1$  Дж/см<sup>2</sup> сопротивление резко возрастает, при этом наблюдается сильное падение вольтовой чувствительности и обнаружительной способности, обусловленное структурными изменениями образца в процессе ИЛО.

Таким образом, полученные в работе результаты показывают, что при облучении фоточувствительной поверхности фоторезисторов наносекундными импульсами излучения неодимового лазера с плотностью энергии  $W = 0.2-0.3$  Дж/см<sup>2</sup> при температуре 300 К происходит плавление поверхности фоточувствительного элемента с образованием у поверхности инверсного слоя толщиной  $d = 0.04-0.52$  мкм, который способствует снижению скорости поверхностной рекомбинации и увеличению эффективного времени жизни фотоносителей. При этом наблюдается рост чувствительности и обнаружительной способности фоторезисторов. Дальнейшее увеличение плотности энергии ИЛО приводит к снижению параметров фоторезисторов и росту темнового сопротивления.

## Список литературы

- [1] P.E. Mozol, V.V. Borsch, V.A. Gnatyuk, E.P. Kopishynskaya, A.L. Vlasenko. *Semicond. Sci. Technol.*, **10**, 61 (1995).
- [2] M.M. Jevtic, M.J. Scepanovic. *Appl. Phys. A*, **53**, 332 (1991).
- [3] Л.А. Головань, П.К. Кашкаров, В.М. Лаксенков, В.Ю. Тимошенко. *ФТП*, **31**, 931 (1997).
- [4] Р.М. Баязитов, М.И. Ибрагимова, И.Б. Хайбуллин. *Деп. ВИНТИ № 4716-81* (1981).

Редактор Л.В. Шаронова

## The influence of pulsing laser irradiation on parameters of $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ -based photoconductors

V.N. Rizhkov, M.I. Ibragimova\*, N.S. Baryshev

The Federal Scientific-Production Center "GIPO",  
420075 Kazan, Russia

\*Kazan Physicotechnical Institute,  
Russian Academy of Sciences,  
420029 Kazan, Russia

**Abstract** The influence of nanosecond Nd-laser pulsed irradiation ( $\tau = 10\text{ ns}$ ,  $\lambda = 1.06\ \mu\text{m}$ ) at 300 K on parameters of photoconductors on the basis of  $\text{Cd}_{0.19}\text{Hg}_{0.81}\text{Te}$  has been investigated. Under irradiation with an optimal power density  $W = 0.2\text{--}0.3\ \text{J}/\text{cm}^2$  there occurs melting of the surface that leads to formation of an inversion layer having thickness  $0.04\text{--}0.52\ \mu\text{m}$  and to an increase of sensitivity and detectivity of photoconductors as well. The further increase of power density of irradiation brings about both a decrease of parameters of photoconductors and an increase of the dark resistance.