

©1995 г.

## ЭФФЕКТ СЕГРЕГАЦИИ РТУТИ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ОТЖИГЕ $Cd_xHg_{1-x}Te$

*М. Кузьма, М. Поцяск, Е. Шерегий, В. Кемпник, М. Фарина, Р. Цяж*

Институт физики Высшей педагогической школы,

35-310 Жешув, Польша

(Получена 4 февраля 1994 г. Принята к печати 13 декабря 1994 г.)

Получено непосредственное экспериментальное подтверждение образования резкого максимума концентрации ртути на малой (0.2 мкм) глубине от облучаемой поверхности под воздействием многократного импульсного отжига кристаллов  $Cd_xHg_{1-x}Te$  ( $x = 0.2$ ) излучением лазера YAG:Nd<sup>3+</sup>.

Механизм структурных превращений в твердых растворах теллуридов кадмия и ртути при воздействии лазерного излучения продолжает активно обсуждаться в печати [1-5]. Современные методы анализа позволяют непосредственно получить реальное количественное распределение компонент в материале, подвергнутом лазерной обработке. Такое исследование проведено в работе [1] с помощью электронной поверхностной оже-спектроскопии для кристаллов с  $x = 0.2-0.22$ , облученных наносекундными импульсами лазера YAG:Nd малой мощности, равной 0.14 Дж/см<sup>2</sup>. Обнаружено незначительное изменение распределения состава по глубине в пределе до 15 нм с несколько неоднозначными данными. Более определенные результаты получены в работе [2] в аналогичном эксперименте. Однако здесь длина импульса была значительно больше ( $t = 100$  нс) и в 2 раза больше плотность энергии. Показано, что структурные превращения происходят на глубине, не превышающей 0.2 мкм. Обнаружены максимумы концентрации ртути и теллура в этом пределе. Следует отметить, что этот результат в большой степени связан с рекристаллизацией при лазерной обработке, приводящей к оплавлению поверхности.

Данные как работы [2], так и более ранней работы [3] согласуются в некоторой степени с эффектом сегрегации ртути, предсказанным компьютерным моделированием процессов диффузии при лазерном отжиге в предыдущей нашей работе [6]. Напомним, что этот эффект обусловлен присутствием максимума градиента температуры, а его интенсивность зависит от величины пространственного объема, охватываемого этим градиентом. В этом отношении предпочтение должно

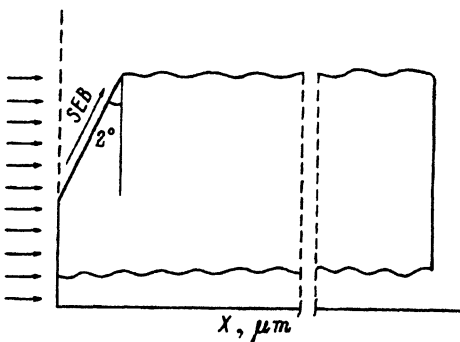


Рис. 1. Схема измерения концентрации компонент твердого раствора с помощью рентгеновского микроанализа. Стрелкой показано направление сканирующего электронного луча.

быть отдано более длительным импульсам. При этом концентрационный максимум усиливается при их повторении и нет необходимости в фазовых превращениях, так как самодостаточным оказывается сам процесс диффузии, точнее термодиффузии [7,8], обусловленной так называемым «фононным ветром» [9,10].

Данная работа посвящена экспериментальной проверке этого главного вывода работы [6]. Облучению лазера YAG:Nd<sup>3+</sup> ( $\lambda = 1.06$  мкм) с длительностью импульса  $t = 250$  мкс были подвергнуты несколько объемных образцов Cd<sub>0.2</sub>Hg<sub>0.8</sub>Te, вырезанных из одной и той же шайбы. Предварительные размеры образцов составляли  $4 \times 1 \times 0.5$  мм<sup>3</sup>. После механической обработки нарушенный слой был снят 0.5%-м раствором бром-метанола. Гальваномангнитные измерения показали идентичные характеристики образцов: концентрация электронов  $n = (1.5 \div 2) \times 10^{15}$  см<sup>-3</sup> и подвижность электронов  $\mu_e \approx 9 \cdot 10^4$  см<sup>2</sup>/В·с. Достаточная мощность лазера позволяла расфокусировать луч и создавать при этом энергетически однородное световое пятно. Измеренная при этом плотность энергии была около 0.8 Дж/см<sup>2</sup>. Облучение образцов не приводило к визуальным изменениям их поверхности. Часть из них была подвергнута обработке однократными, другая — трехкратными импульсами.

Поскольку предполагалось измерить распределение профиля концентрации компонент по глубине с помощью рентгеновского микроанализа, имеющего, как известно, наилучшее разрешение порядка 1 мкм, для увеличения пространственного разрешения было решено микроанализ состава проводить вдоль поверхности клина, пересекающего под малым углом (2°) исследуемый профиль (рис. 1). Это позволило улучшить разрешение в  $(\sin 2^\circ)^{-1} = 29$  раз. Поверхность клина была протравлена 0.05%-м раствором бром-метанола.

Приготовленные таким образом образцы были разделены на две партии с тремя образцами в каждой:

- 1) образцы без лазерной обработки (тоже с клином);
- 2) образцы после обработки однократным лазерным импульсом;
- 3) образцы после трехкратной лазерной обработки.

Первая партия образцов была отправлена для количественного рентгеновского микроанализа в Краковскую региональную лабораторию физико-химического анализа и структурных исследований (Польша). Измерения проводились с помощью спектрометра IXA-50A JOEL сканированием электронного луча вдоль поверхности клина. Результаты этих исследований представлены на рис. 2.

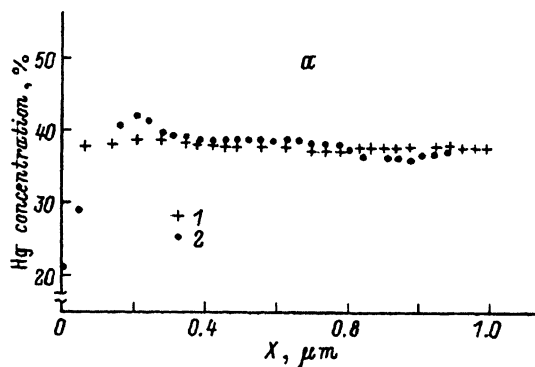


Рис. 2. Экспериментальное распределение концентрации ртути перед обработкой (1) и после трехкратной обработки (2) лазером YAG: Nd<sup>3+</sup> ( $\lambda = 1.06$  мкм,  $t_p = 250$  мкс) с плотностью энергии  $0.8$  Дж/см<sup>2</sup>.

Вторая партия образцов была отправлена для измерений распределения компонент в Институт материалов АН Украины (Львов). Здесь измерения проводились с помощью сканирующего рентгеновского микроанализатора COMEBAH. Результаты этих измерений представлены на рис. 3.

На рис. 2 показано количественное распределение концентрации ртути после обработки трехкратным лазерным импульсом. Для сравнения приведена подробная зависимость для необлученного образца. Видно существенное изменение концентрационного профиля ртути в образце после трехкратного импульса (после однократного импульса однозначных изменений не наблюдалось). На глубине около  $0.2$  мкм образовался достаточно резкий максимум концентрации Hg. Значительный ее спад у самой поверхности достигает глубины около  $23\%$ . Для сравнения на рис. 4 приведено расчетное пространственно-временное распределение концентрации Hg на основе термодиффузионной модели [6] в предположении, что начальная концентрация межузельных атомов ртути составляет  $N_0 = 10^{15}$  см<sup>-3</sup>. Видно хорошее качественное совпадение теоретического и экспериментального распределения. Наиболее существенное количественное расхождение состоит в том, что теоретическое положение концентрационного максимума ртути находится в области  $1$  мкм от облучаемой поверхности, в то время как на экспериментальной кривой — в области  $0.2$  мкм.

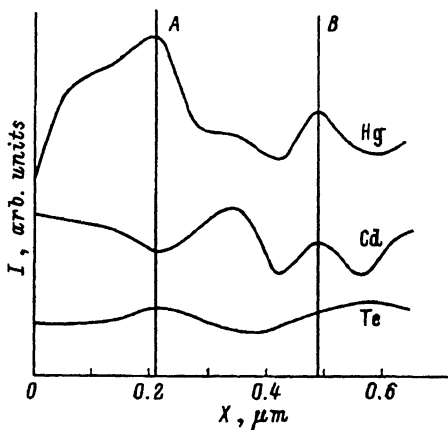


Рис. 3. Экспериментальный профиль концентрации компонент Cd, Hg, Te по глубине образца после воздействия трех лазерных импульсов (параметры те же, что и на рис. 2).

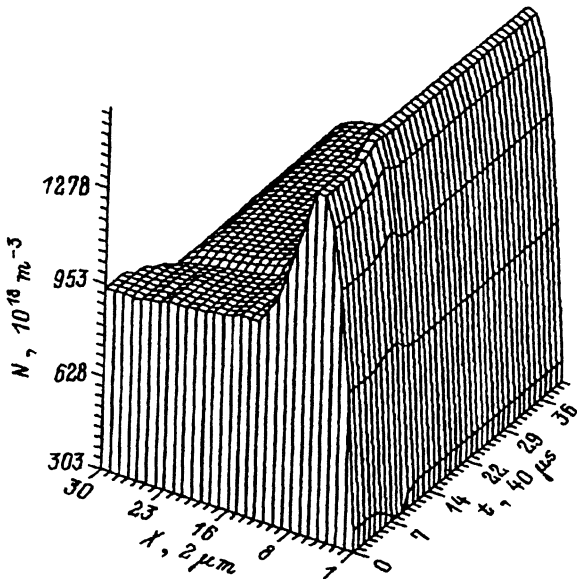


Рис. 4. Теоретическое распределение концентрации ртути  $N$  после трехкратной лазерной обработки. Параметры импульса  $t_p = 250$  мкс, плотность выделяемой мощности излучения  $W = 3.08 \cdot 10^{13}$  Вт/м<sup>3</sup>, что соответствует плотности энергии  $0.8$  Дж/см<sup>2</sup>, коэффициент поглощения  $\alpha = 10^{-6}$  м<sup>-1</sup>, начальная концентрация  $N_0 = 10^{21}$  см<sup>-3</sup>.

Как уже отмечалось, результаты независимых параллельных исследований концентрационных профилей представлены на рис. 3. Здесь показаны распределения всех трех компонент материала. Следует отметить полное качественное и в значительной мере количественное согласие концентрационных кривых ртути на рис. 2 и 3. Видно даже, что в плоскости  $A$  (глубина  $0.2$  мкм на рис. 3) максимуму концентрации ртути соответствует минимум концентрации кадмия и некоторое повышение концентрации теллура. В то же время в плоскости  $B$  (глубина около  $0.5$  мкм) имеем очередной максимум концентрации ртути. На этот раз ему соответствует также незначительный максимум концентрации кадмия при понижении концентрации теллура. Подобная ситуация наблюдалась в работе [2].

Таким образом, два независимых параллельных измерения концентрационных профилей компонент  $\text{Cd}_{0.2}\text{Hg}_{0.8}\text{Te}$  после отжига трехкратным лазерным импульсом (без расплавления поверхности) подтвердили предсказанный термодиффузионной теорией [6] эффект сегрегации ртути (резкий максимум ее концентрации). Отметим, что однократного импульса длительностью  $250$  мкс недостаточно для того, чтобы этот максимум стал экспериментально заметным. Можно предположить, что при более кратких импульсах даже их многократное повторение не приведет к заметным изменениям концентрационных профилей, т.е. средств термодиффузии (без фазовых превращений) недостаточно для образования экспериментально заметного сегрегационного максимума ртути при наносекундных импульсах.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Напомним, что в работе [2] лазерная обработка наносекундными импульсами проводилась в режиме рекристаллизации.

## Список литературы

- [1] C.N. Afonso, M. Alonso, J.L.H. Neira et al. *J. Vac. Sci. Technol.*, **A7**, 3256 (1989).
- [2] П.В. Голошинин, К.Е. Миронов, А.Я. Поляков. *Поверхность. Физика, химия, механика*, № 12, 12 (1991).
- [3] Г.Г. Громов, С.В. Серегин, С.В. Жук, В.Б. Уфимцев. *Физика и химия обраб. материалов*, № 4, 19 (1990).
- [4] M. Kuźma, C. Abeunayake, E. Sheregii, I. Virt. *Acta Phys. Polon. A*, **8C**, 475 (1991).
- [5] И.С. Вирт, М. Кузьма, Е.М. Шерегий, П.С. Шкумбатюк. *ФТП*, **26**, 562 (1992).
- [6] А. Валь, М. Кузьма, М. Поцяск, Е.М. Шерегий. *ФТП*, **27**, 622 (1993).
- [7] G. Schottky. *Phys. St. Sol. (b)*, **8**, 357 (1965).
- [8] M. Wautelet, P. Queon, C. Antoniadis, L.D. Laude. *Semicond. Sci. Technol.*, **2**, 453 (1987).
- [9] В.И. Фикс. *Ионная проводимость в металлах и полупроводниках* (М., Наука, 1969).
- [10] В.П. Воронков, Г.А. Гурченко. *ФТП*, **24**, 1831 (1990).

Редактор Т.А. Полянская

### Effect of mercury segregation in $Cd_xHg_{1-x}Te$ under laser pulse annealing

*M. Kuźma, M. Pociask, E. Sheregii, V. Kęmpnick, M. Farina, R. Ciach*

Institute for Physics, High Pedagogical School, 35-310 Rzeszów, Poland

---