

05.3;07

©1995

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОГО ПЛАВЛЕНИЯ ТЕЛЛУРИДА КАДМИЯ ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

*Л.А.Головань, П.К.Кашкаров, В.Ю.Тимошенко*

Лазерно-индуцированное плавление полупроводников групп  $A^4$  и  $A^3B^5$  подробно изучено. В значительной мере этому способствовала возможность использовать измерения коэффициента отражения  $R(t)$  в момент облучения для регистрации фазового перехода [1,2]. Действительно, указанные материалы в расплаве являются металлами, что обуславливает рост величины  $R$  почти в 2 раза по сравнению с твердым состоянием. Однако ряд материалов группы  $A^2B^6$ , в частности в  $CdTe$ , в жидком состоянии остаются полупроводниками [3], что не позволяет делать однозначных выводов о фазовом переходе из анализа зависимостей  $R(t)$ .

В настоящей работе для определения порога плавления  $CdTe$  при импульсном лазерном облучении (ИЛО) использован нелинейно-оптический метод генерации второй гармоники (ГВГ). Эти данные сопоставляются с измерениями линейного коэффициента отражения  $R(t)$ . Использовались монокристаллы нелегированного  $CdTe$  ориентации (111). ИЛО осуществлялось на воздухе при  $T = 300$  К моноимпульсами с  $\lambda_1 = 694$  нм,  $\tau = 20$  нс и плотностью энергии  $W = 0 \dots 130$  мДж/см<sup>2</sup>. Применялся кварцевый гомогенизатор, дающий пространственно однородное неполяризованное излучение [2].

ГВГ на поверхности  $CdTe$  возникала при воздействии импульсов указанного выше рубинового лазера. Интенсивность сигнала второй гармоники  $I_1$  нормировалась на интенсивность опорного сигнала  $I_2$  второй гармоники, сформированного в кристалле KDP частью отведенного излучения с  $\lambda_1$ . Величина  $I_2$ , таким образом, пропорциональна  $W^2$ . Из рис. 1 видно, что при  $W_m = 40 \pm 5$  мДж/см<sup>2</sup> происходит заметное падение отношения  $I_1/I_2$ . Это может быть связано с появлением центросимметричного расплава, для которого эффективность ГВГ резко падает [4]. Поэтому можно рассматривать плотность энергии  $W_m = 40 \pm 5$  мДж/см<sup>2</sup> как порог лазерно-индуцированного плавления поверхности

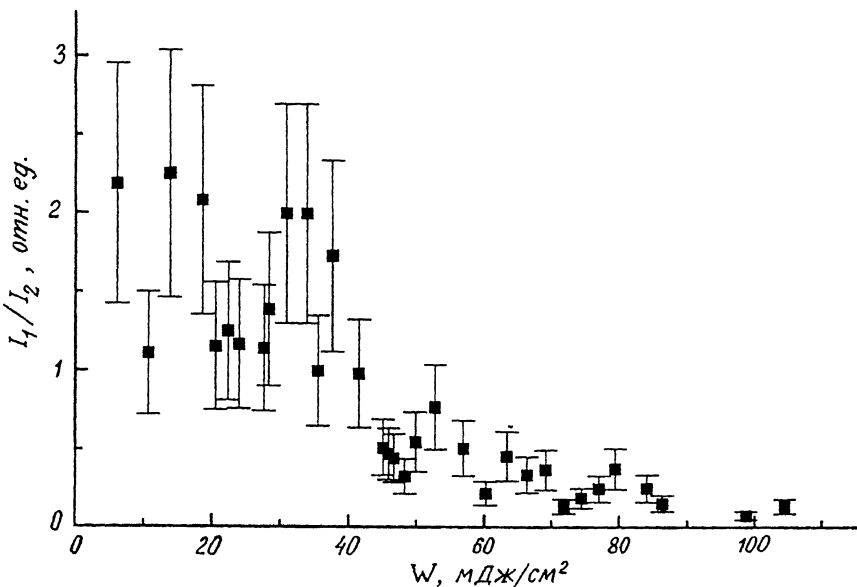


Рис. 1. Зависимость интенсивности сигнала второй гармоники при отражении от поверхности CdTe, нормированной на интенсивность опорного сигнала, от энергии ИЛО.

CdTe. Отличное от нуля значение  $I_1/I_2$  при  $W > W_m$  связано с ГВГ на начальном этапе действия светового импульса до возникновения расплава. Отметим, что экспериментально определенный порог плавления близок к рассчитанному нами значению  $30 \text{ мДж/см}^2$  [5].

Динамика изменения линейного коэффициента отражения  $R(t)$  во время ИЛО наблюдалась при использовании пучка пробного  $\text{Ag}^+$ -лазера ( $\lambda_2 = 488 \text{ нм}$ ). Как следует из рис. 2, лазерное воздействие обуславливает рост  $R$ , начиная с  $W = 30 \text{ мДж/см}^2$  (кривая 2). По-видимому, при  $W < W_m$  увеличение  $R$  связано с нагревом поверхности. Особенно заметным рост коэффициента отражения становится для  $W > W_m$ . При этом очевидно, что с повышением  $W$  расширяется и углубляется слой на поверхности образца. Однако изменение величины  $R$  составляет 30%, что существенно меньше, чем в случае материалов  $\text{A}^4$  и  $\text{A}^3\text{B}^5$ . Это подтверждает литературные данные, полученные из электрофизических измерений [3], что при плавлении CdTe происходит переход “полупроводник–полупроводник”.

Интересная особенность на кривых  $R(t)$  — появление “провала” между двумя максимумами — возникает при

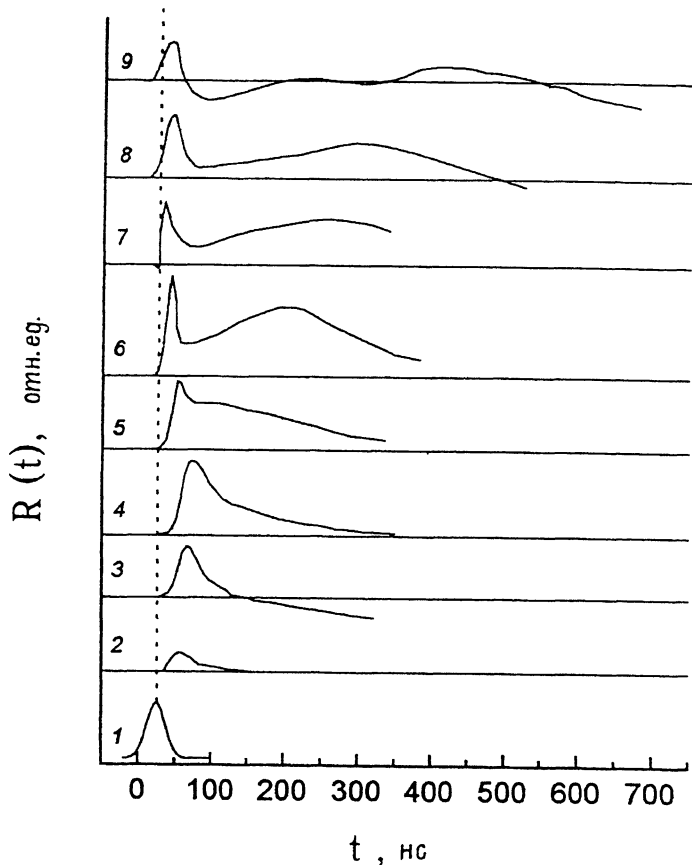


Рис. 2. Кинетика коэффициента отражения  $R$  при различных плотностях энергии ИЛО  $W = 30$  (2), 50 (3), 75 (4), 90 (5), 125 (6), 170 (7), 190 мДж/см<sup>2</sup> (8), после облучения пятью импульсами с  $W$  около 170 мДж/см<sup>2</sup> (9), лазерный импульс (1).

$W > 90$  мДж/см<sup>2</sup> (рис. 2, кривые 5–8). Аналогичные зависимости наблюдались и ранее при ИЛО полупроводников  $A^3B^5$  и объяснялись кипением расплава и, вследствие этого, уменьшением отражения за счет значительного диффузного рассеяния от его поверхности. Однако давление насыщенных паров соединения CdTe при температуре плавления  $T_m = 1365$  К составляет 0.23 атм [6], что недостаточно для начала кипения. Предполагается [3], что в расплаве сохраняется определенная структура в виде цепочек атомов Cd и Te. Отметим, что давление отдельных компонентов Cd и Te при  $T_m$  составляет 13 и 3 атм соответственно [3,7]. По-видимому, при определенной температуре жидкой

фазы  $T > T_m$  происходит диссоциация компонент, что, в свою очередь, ведет к интенсивному испарению. Возможно, именно указанная диссоциация является причиной резкого скачка электропроводимости при температуре плавления около 1500 К [3]. Испарение материала из жидкого слоя очевидно ведет к значительному нарушению стехиометрического состава приповерхностного слоя CdTe. Кинетика  $R(t)$  для многократно облученных образцов довольно сложной (рис. 2, кривая 9).

Таким образом, в работе методом нелинейной оптики определен порог лазерно-индуцированного плавления CdTe  $W_m = 40 \pm 5$  мДж/см<sup>2</sup>. Анализ изменения линейного коэффициента отражения в момент ИЛО свидетельствует об интенсивном испарении составляющих материал компонент при  $W > 90$  мДж/см<sup>2</sup>. Последнее необходимо учитывать при разработке лазерных технологий обработки CdTe.

### Список литературы

- [1] Карпов С.Ю., Ковальчук Ю.В., Погорельский Ю.В. // Итоги науки и техники. Сер. Физические основы лазерной и пучковой технологии. М.: ВИНТИ, 1988. Т. 1. С. 5.
- [2] Kashkarov P.K., Timoshenko V.Yu., Chechenin N.G., Obratsov A.N. // Laser Physics. 1992. V. 2. P. 790.
- [3] Регель А.Р., Глазов В.М. Физические свойства электронных расплавов. М.: Наука, 1980. 296 с.
- [4] Коротеев Н.И., Шумай И.Л. Физика мощного лазерного излучения. М.: Наука, 1991. 312 с.
- [5] Висковатых И.Ю., Лакеенков В.М., Кашкаров П.К., Петров В.И., Тимошенко В.Ю., Хилинский Ф.И. // Изв. АН Сер. физ. 1993. Т. 57. № 9. С. 12.
- [6] Landolt-Börnstein. V. III/17d. 430 p. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo. Springer-Verlag, 1984.
- [7] CRC Handbook of Chemistry and Physics / Ed. R.C. Weast. CRC Press, Boca Raton, 1988.

Московский  
государственный университет  
им. М.В. Ломоносова

Поступило в Редакцию  
10 мая 1995 г.