

## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ПРИ ПЛАВЛЕНИИ НА ФОРМУ ФОТОАКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

И.А. Веселовский

*В рамках упрощенной линейной модели исследуются особенности формы фотоакустического сигнала в сильно поглощающих средах, связанные с резким изменением поглощательной способности вещества при плавлении под действием лазерного импульса.*

Воздействие излучения на поглощающую среду приводит к ее тепловому нагреву и возбуждению импульса давления. В случае сильно поглощающих сред, т.е. сред, в которых область тепловыделения определяется температуропроводностью  $\chi$ , линейный отклик давления на симметричный лазерный импульс имеет биполярную форму с отношением амплитуд фаз сжатия и растяжения равным примерно двум [1,2]. Учет температурной зависимости поглощательной способности  $A$  в отсутствие фазовых превращений не приводит к заметному изменению формы отклика давления [2].

Плавление вещества может приводить к существенным изменениям оптических свойств поверхности за время, значительно меньшее длительности лазерного импульса, и, следовательно, должно проявляться в виде особенности в поведении давления [3].

При облучении германия импульсами рубинового и неодимового лазеров с плотностью энергии, превосходящей порог плавления, на положительной фазе фотоакустического сигнала наблюдался узкий провал [4,5], появление которого связывалось с увеличением отражательной способности и плотности при плавлении.

В данной работе рассчитывается давление  $P$  в сильно поглощающей среде с заданным поведением поглощательной способности, характерным для плавления полупроводников наносекундными лазерными импульсами, при воздействии на нее импульса излучения гауссовой формы  $I(t) = I_0 \exp[-(t - 2t_0)^2/t_0^2]$ . Зависимость  $A(t)$  выбиралась близкой к наблюдавшейся в работе [6].

Фотоакустический сигнал в сильно поглощающей среде описывается выражением

$$P = \beta \rho \chi \frac{\partial T(0, t)}{\partial t},$$

где  $T(0, t)$  — температура поверхности, которая вычислялась из известного соотношения

$$T(0, t) = T(0, 0) + \int_0^t \frac{A(t-t')I(t-t')}{\rho c \sqrt{\pi \chi t'}} dt',$$

$\beta, \rho, c$  — линейный коэффициент теплового расширения, плотность и теплоемкость среды.

Изменение поглощательной способности задавалось в виде  $A(t) = (1/2\pi) \operatorname{arccotg}[(t - t_m)/t_1] + 1/2$ , где  $t_m$  — момент, когда начинается плавление. Длительность временного интервала, на котором происходит изменение  $A$ , варьировалось заданием различных значений  $t_1$ .

На рис. 1 приведены форма импульса излучения, поведение поглощательной способности и фотоакустический сигнал, рассчитанный для  $t_0 = 10$  нс,  $t_1 = 0,8$  нс,  $t_m = 13$  нс. Штриховой линией изображен фотоакустический сигнал  $P_0(t)$  при  $A(t) = \text{const}$ .

Расчет показывает, что одновременно с изменением поглощательной способности на фазе сжатия фотоакустического сигнала возникает узкий провал, ширина и глубина которого зависят от скорости изменения  $A$ . При уменьшении времени  $t_1$  в четыре раза глубина провала  $\Delta P/P_0 = [P_0(t/m) - P(t'/m)]/P_0(t/m)$  увеличивается примерно вдвое, что согласуется с качественными оценками [3]. Здесь  $t'_m$  — момент времени, соответствующий максимальной скорости изменения  $A$ .

Для сравнения на рис. 2 приведен фотоакустический сигнал в германии, полученный в условиях эксперимента, описанного в [5], при плотности энергии действующего излучения  $0,58$  Дж/см<sup>2</sup>. Видно, что расчетный и экспериментально наблюдаемый сигналы качественно согласуются между собой.

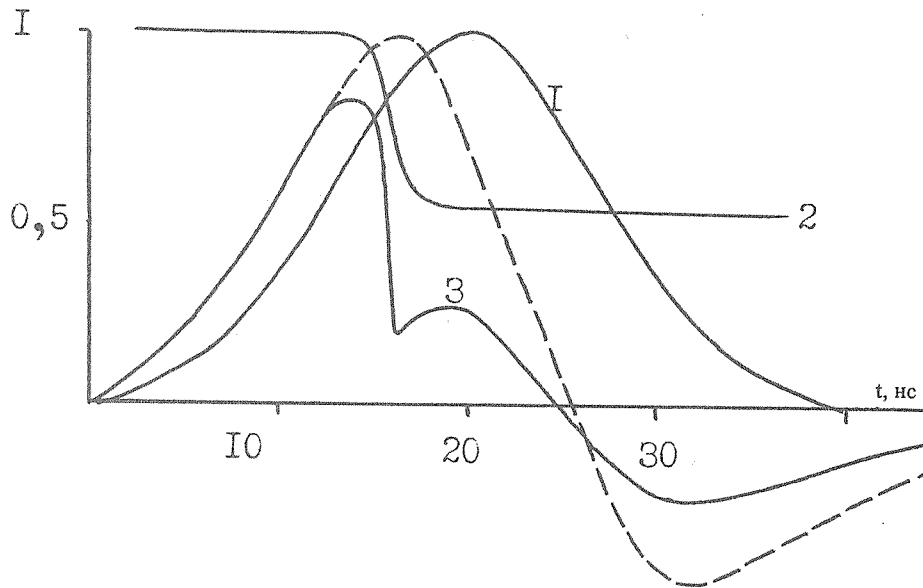


Рис. 1. Форма импульса излучения (1), поведение поглощательной способности (2) и расчетный фотоакустический сигнал (3) при  $t_0 = 10$  нс,  $t_1 = 0,8$  нс,  $t_m = 13$  нс. Штриховая линия — фотоакустический сигнал при постоянной поглощательной способности.

Рис. 2. Экспериментально наблюдаемый фотоакустический сигнал в германии при воздействии импульса неодимового лазера с длительностью 20 нс и плотностью энергии  $0,58$  Дж/см<sup>2</sup>.

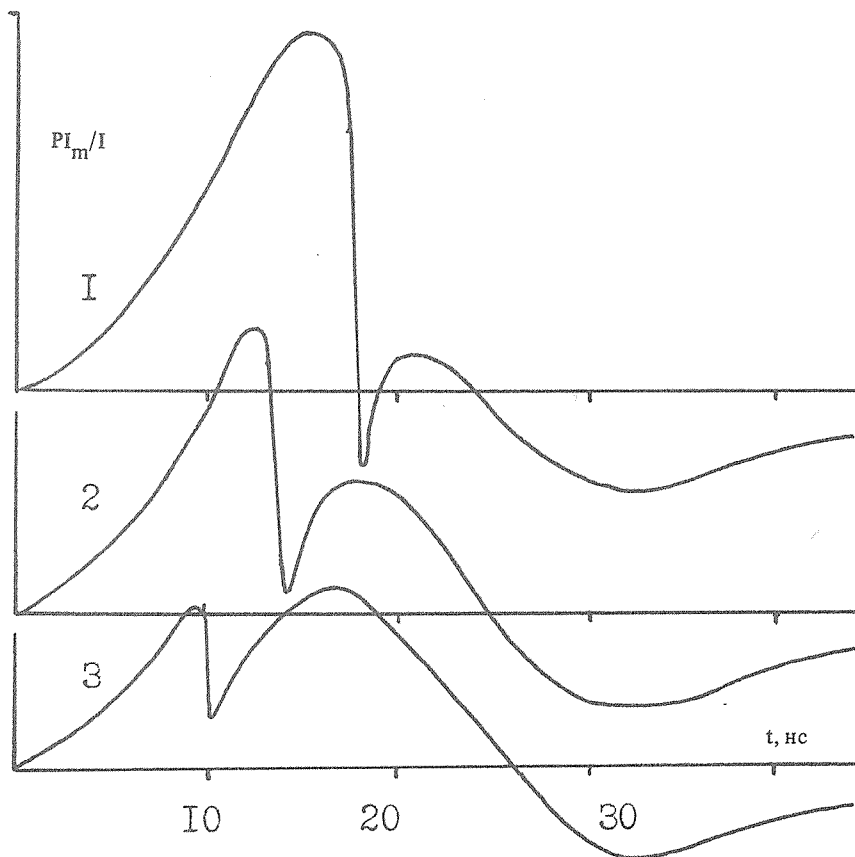
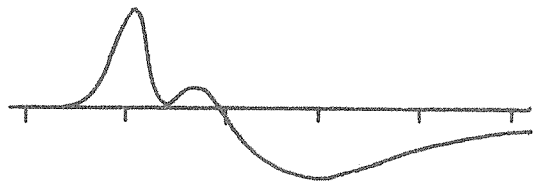


Рис. 3. Расчетная форма фотоакустического сигнала при значениях  $I/I_m = 1,4$  (1),  $2,5$  (2),  $5,5$  (3);  $t_1 = 0,4$  нс.

На рис. 3 показана расчетная эволюция фотоакустического сигнала при различных интенсивностях действующего излучения:  $I/I_m = 1,4, 2,5, 5,5$ ;  $t_1 = 0,4$  нс ( $I_m$  — пороговое значение интенсивности, при котором достигается температура плавления).

По мере возрастания  $I/I_m$  провал возникает первоначально на спаде положительной фазы и затем перемещается к началу сигнала. Скорость роста амплитуды первого максимума положительной фазы при этом замедляется. При увеличении  $I$  в 5,5 раза амплитуда первого максимума увеличивается в 2,5 раза.

Данный расчет является приближенным, поскольку в нем не учитывалась температурная зависимость теплофизических параметров вещества, динамика движения фронта фазового превращения и возможность перегрева твердой фазы. Корректное решение полной задачи связано со значительными трудностями. Однако даже модельный учет изменения поглощательной способности приводит к результату, качественно согласующемуся с экспериментальным.

Проведенный расчет подтверждает сделанный в работах [4,5] вывод о том, что появление провала на форме фотоакустического сигнала в германии связано с процессом плавления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Черепецкая Е. Б. Канд. диссертация, МГУ, 1980.
2. Гуськов А. П., Коротченко А. И., Самохин А. А. Препринт ИОФАН № 4, М., 1985.
3. Самохин А. А. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 8, 40 (1986).
4. Веселовский И. А. и др. Квантовая электроника, 12, 381 (1985).
5. Веселовский И. А. и др. Препринт ИОФАН № 277, М., 1985.
6. Auston D. H. et al. Appl. Phys. Lett., 33, 437 (1978).

Поступила в редакцию 3 июня 1987 г.