

УДК 537.312

## ВЛИЯНИЕ ЗАГЛУБЛЕННОГО ИМПЛАНТИРОВАННОГО СЛОЯ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ НЕРАВНОВЕСНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ФОНОНОВ В АЛМАЗЕ

А. И. Шарков, Т. И. Галкина, А. Ю. Клоков,  
Р. А. Хмельницкий, В. А. Дравин, А. А. Гишпиус

*В данной работе исследовался неравновесный теплоперенос в алмазе, содержащем заглубленные ионно-имплантированные слои. В частности, ставилась задача обнаружить влияние имплантированного слоя на распространение неравновесных акустических фононов. Показано, что такие слои эффективно отражают неравновесные фононы.*

Исследование распространения неравновесных акустических фононов в алмазе проводилось с помощью методики тепловых импульсов. Схема эксперимента и основные процессы с неравновесными фононами показаны на рис. 1. Образец находился в жидком гелии при  $T = 1.8 \text{ K}$ . Неравновесные акустические фононы генерируются в образце в результате импульсного возбуждения  $P$ ; в данном случае в качестве генератора фононов использовался заглубленный имплантированный слой, облучаемый импульсами азотного лазера ЛГИ-21 ( $\lambda = 337 \text{ нм}$ ,  $\tau_p = 7.5 \text{ нс}$ ). Как было показано в [1], такой способ является эффективным методом генерации неравновесных фононов в алмазе. Фононы распространяются по образцу, испытывая процессы спонтанного ангармонического распада (1), упругого рассеяния на точечных (изотопы, атомы примесей) дефектах (2), дислокациях (3) и плоских (границы зерен, плоскости двойникования) дефектах (4). При попадании на границу образца в случае, если она соприкасается с жидким гелием, большая часть фононов выходит из образца (5).

В данной работе ставилась задача обнаружить влияние такой плоской границы, как заглубленный имплантированный слой (6), на распространение неравновесных фононов. Для решения данной задачи в образец алмаза (тип IIa, ориентация (110), толщина

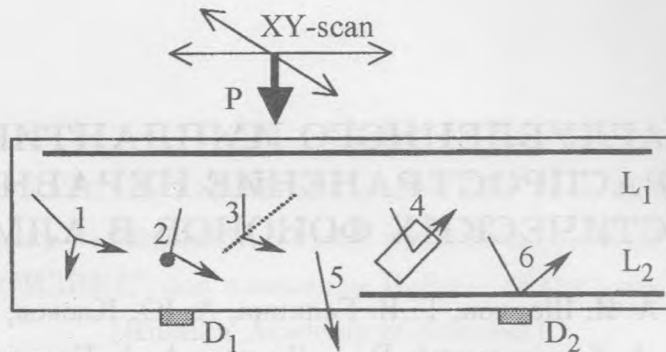


Рис. 1. Схема эксперимента и основные процессы с неравновесными фононами.  $P$  — генерация фононов излучением импульсного лазера с возможностью сканирования по передней поверхности образца,  $L_1$  и  $L_2$  — заглубленные имплантированные слои,  $D_1$  и  $D_2$  — тонкопленочные сверхпроводниковые болометры; 1 — спонтанный ангармонический распад фононов, 2 — рассеяние фононов на точечных дефектах, 3 — рассеяние на дислокациях, 4 — рассеяние на плоских дефектах, 5 — выход из образца в жидкий гелий, 6 — отражение от заглубленного имплантированного слоя.

520 мкм) были встроены два заглубленных слоя  $L_1$  и  $L_2$  на противоположных сторонах пластины (рис. 1). Слой  $L_1$  был изготовлен путем имплантации в образец ионов дейтерия  $D^+$  с энергией 350 кэВ и дозой  $8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ , а слой  $L_2$  — имплантацией ионов гелия  $He^+$  с энергией 350 кэВ и дозой  $4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ . Слои находились на глубине 0.5 и 1.6 мкм, соответственно; толщина слоев составляла 0.15 мкм [2]. Детектирование неравновесных фононов осуществлялось при помощи сверхпроводниковых болометров  $D_1$  и  $D_2$  с размерами детектирующей части  $50 \times 30 \text{ мкм}$ , изготовленных из гранулированного алюминия [3, 4].

На рис. 2 показаны отклики, зарегистрированные болометром  $D_1$  (сплошные линии) в случаях, когда фононы генерировались прямо напротив болометра (кривая 1) и при смещении области генерации фононов в направлении выхода оси (100) на 300, 600 и 700 мкм (кривые 2, 3 и 4, соответственно). Видно, что все представленные отклики имеют характерный баллистический вид и являются достаточно короткими (длительность на полувысоте  $\Delta\tau_{1/2} \sim 15 - 25 \text{ нс}$ ). Такой вид откликов соответствует тому, что поток неравновесных фононов, приходящий на контактирующую с жидким гелием поверхность алмаза, практически полностью выходит из образца. Можно отметить, кроме того, особенности, связанные с фокусировкой фононов: на кривой 1 отчетливо разрешен

пик LA фононов, которые сфокусированы в направлении (110). При смещении в направлении выхода оси (100) количество LA фононов падает, а количество TA фононов растет (кривая 2). При дальнейшем смещении общий вид сигнала сохраняется, а интенсивность падает из-за уменьшения "угла видимости" (кривая 3). Далее, при выходе из направления фокусировки TA фононов, интенсивность сигнала резко падает (кривая 4).

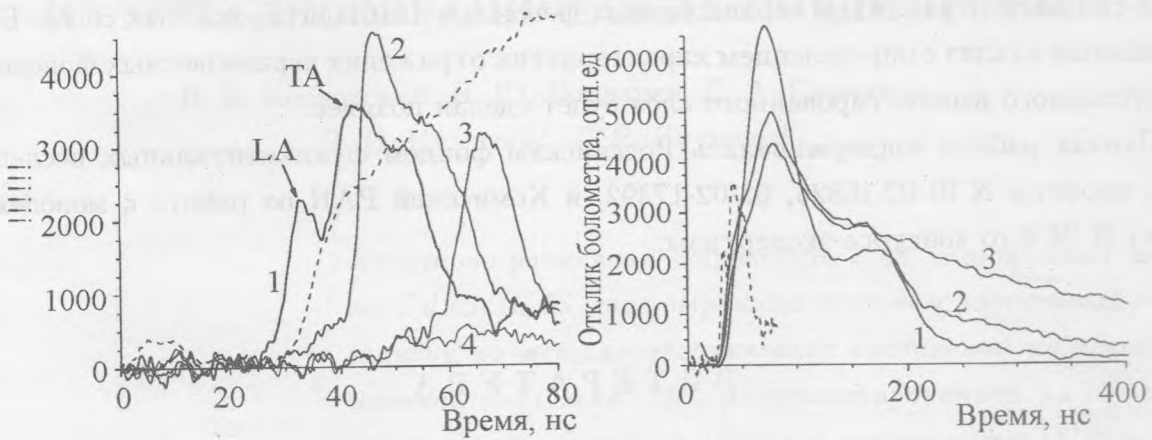


Рис. 2. Отклики болометра  $D_1$  на приход неравновесных акустических фононов, когда область генерации находится прямо напротив болометра (1) или смещена вбок на 300 (2), 600 (3) и 700 мкм (4). Пунктиром показан отклик болометра  $D_2$ , когда область генерации находится против  $D_2$  (кривая 1 на рис. 3).

Рис. 3. Отклики болометра  $D_2$  на приход неравновесных акустических фононов, когда область генерации находится прямо напротив болометра (1) или смещена вбок на 500 (2) и 1000 мкм (3). Пунктиром показан отклик болометра  $D_1$ , когда область генерации находится против  $D_1$  (кривая 1 на рис. 2).

В то же время, вид откликов, зарегистрированных болометром  $D_2$ , отличается радикально. На рис. 2 пунктиром показан передний фронт такого отклика в случае, когда область генерации находилась прямо напротив детектора  $D_2$  (аналогично кривой 1); а на рис. 3 показан дальнейший ход этого отклика (кривая 1) и отклики, регистрируемые при смещении области генерации на 500 мкм (кривая 2) и, далее, 1000 мкм (кривая 3). Видно, что передний фронт сильно затянут (до 50 нс), а длительность откликов больше 100 нс. Для иллюстрации на рис. 3 пунктиром показана кривая 1 рисунка 2. Интересно отметить, что в этом случае, когда имплантированные слои расположены с

обеих сторон пластины, при смещении области генерации возрастает величина отклика на больших временах. Это означает, что фононы имеют возможность многократно отражаться от имплантированных слоев и не выходить из образца.

Таким образом, наблюдаемые различия в распространении неравновесных фононов в случае, когда фононы распространяются между двумя заглубленными имплантированными слоями, по сравнению со случаем, когда присутствует только один заглубленный слой и возможен свободный выход фононов через поверхность образца в гелий, объясняются сильным отражением неравновесных фононов от имплантированных слоев. Более детальный анализ с определением характеристик отражения неравновесных фононов от заглубленного имплантированного слоя будет сделан позднее.

Данная работа поддерживалась Российским фондом фундаментальных исследований, проекты N 01-02-16826, 02-02-17392, и Комиссией РАН по работе с молодежью, грант N 24 6-го конкурса-экспертизы.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] Галкина Т. И., Шарков А. И., Клоков А. Ю. и др. Письма в ЖЭТФ, **64** (4), 270 (1996).
- [2] Khmel'nitsky R. A., Dravin V. A., Gippius A. A. J. Chem. Var. Deposit., **5**, 121 (1996).
- [3] Алексеев А. С., Блинов А. Ю., Бонч-Осмоловский М. М., Галкина Т. И. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 11, 12 (1984).
- [4] Блинов А. Ю., Бонч-Осмоловский М. М., Галкина Т. И., и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 7, 31 (1989).

Поступила в редакцию 27 декабря 2002 г.