

ЗАГЛУБЛЕННЫЙ ИМПЛАНТИРОВАННЫЙ СЛОЙ В АЛМАЗЕ КАК ИСТОЧНИК БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ФОНОНОВ ПРИ ГЕЛИЕВЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Т.И.Галкина¹⁾, А.И.Шарков, А.Ю.Клоков, М.М.Бонч-Осмоловский,
Р.А.Хмельницкий, В.А.Дравин, А.А.Гиппенс

Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН
117924 Москва, Россия

Поступила в редакцию 17 июля 1996 г.

Показано, что имплантированный заглубленный слой в алмазе толщиной около 150 нм, возбуждаемый импульсным лазером на длине волн $\lambda = 337$ нм служит источником неравновесных акустических фононов, распространяющихся баллистически по образцу алмаза при температуре ~ 2 К.

PACS: 44.30.+i

Алмаз, обладающий весьма высокой теплопроводностью при комнатной температуре (в 5 раз выше, чем у меди) привлекает в последнее время все большее внимание исследователей. Алмазоподобные пленки и пленки искусственного алмаза характеризуются заметно меньшей величиной теплопроводности, в основном, из-за наличия дефектов, границ зерен и т.п. [1]. Очевидно, что понимание процессов упругого и неупругого рассеяния акустических фононов (то есть знание микроскопических сечений рассеяния фононов и констант распада и слияния) на изотопах, примесях и дефектах, кроме интереса к фундаментальным свойствам материала, необходимо для оптимизации теплоотвода в микроэлектронных устройствах.

Алмаз уникален по "изотопической чистоте" – содержит около 99% основного изотопа, по сравнению с 93% для кремния и 36% для германия. Это обстоятельство позволяет надеяться на получение достоверных данных о влиянии примесного состава и дефектов на процессы распространения акустических фононов.

В работе [2] было исследовано распространение акустических фононов в алмазе типа IIА методом тепловых импульсов. В качестве инжектора неравновесных акустических фононов в работе [2] использовалась нагреваемая лазерным лучом пленка золота, напыленная на алмаз. Был получен весьма широкий (длительностью ~ 150 нс) отклик. Соображения, связанные с наличием сильного акустического рассогласования ($\rho v \sim 38.6 \cdot 10^6$ кг/с·м² для Au и $\rho v \sim 54 \cdot 10^6$ кг/с·м² для алмаза), а также с возможностью плохого контакта алмаза и термически напыленной пленки золота, то есть подозрения относительно влияния времени остывания золотой пленки на форму отклика болометра, заставили обратиться к иным способам инъекции неравновесных фононов в алмаз.

В данной работе была осуществлена имплантация в образец алмаза ионов He⁺ с энергией 300 кэВ и дозой $4.5 \cdot 10^{16}$ см⁻². При этом на глубине ~ 700 нм образовался сильно поврежденный слой толщиной ~ 150 нм, где доля смещенных атомов достигает десятков процентов. Этот слой хорошо поглощает

¹⁾e-mail: bagaev@sci.fian.msk.su

свет во всем видимом диапазоне. С другой стороны, большая часть связей между атомами углерода в нем не нарушена, что позволяет надеяться на хорошее акустическое согласование этого слоя с неповрежденным материалом [3].

На рис.1 схематически представлена схема эксперимента. Заглубленный имплантированный слой (1) облучался УФ азотным лазером, работающим на длине волн $\lambda = 337$ нм. С обратной стороны образца алмаза типа ПА толщиной 0.65 мм и ориентацией (в направлении луча лазера) [110] напылялся сверхпроводниковый болометр из гранулированного алюминия [4]. Размер площадки болометра (в виде меандра) составлял 0.35×0.5 мм. Луч лазера был сфокусирован в пятно диаметром ~ 50 мкм; длительность лазерного импульса составляла 7–8 нс, частота повторения 100 Гц. Быстродействие болометра составляет 15–20 нс, что было определено по уширению светового сигнала, также регистрируемого болометром. Измерения проводились при гелиевых температурах ($T = 1.90$ К). Схема регистрации описана в [2].

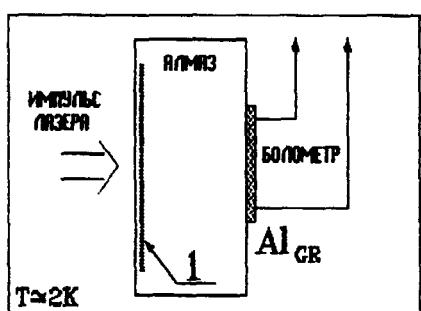


Рис.1

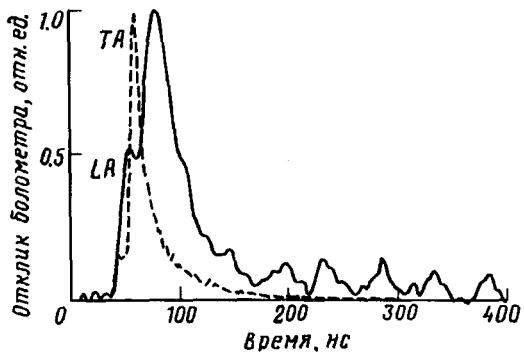


Рис.2

Рис.1. Схема эксперимента. 1. Заглубленный имплантированный слой

Рис.2. Отклик болометра на приход неравновесных акустических фонов при оптическом возбуждении имплантированного слоя лазерным лучом с $\lambda = 337$ нм, $T = 1.90$ К

На рис.2 представлен отклик болометра на приход пакета акустических фонов, генерируемых при поглощении кванта 3.7 эВ в имплантированном слое. Отметим, что пропускание на этой длине волн ($\lambda = 337$ нм) составило несколько процентов, а механизм поглощения света еще недостаточно ясен. Из рисунка видно, что с задержкой 37 нс на болометр приходят продольные акустические фоны (LA) (скорость их распространения для [110] около 18 км/с [5]), и хорошо разрешается пик, связанный с приходом поперечных фонон (TA) их скорость около 12 км/с, что также хорошо согласуется с литературой [5]. При сканировании лучом лазера вдоль поверхности образца соотношение этих пиков слабо меняется, что соответствует рассчитанным на основе [6] эпюрам слабой фокусировки фонон для алмаза.

Наиболее примечательным результатом нам представляется ширина отклика, составляющая для каждой из поляризаций $\sim 25 - 30$ нс. Такая ширина отклика, по нашему мнению, свидетельствует: 1) об идеальном акустическом согласовании имплантированного слоя с основной решеткой алмаза; 2) о практически чисто баллистическом распространении рожденных фонон через

толщу кристалла алмаза. Приведенная на том же рис.2 пунктирная кривая является результатом моделирования распространения неравновесных фононов начальной частотой 20 ТГц методом Монте-Карло [7] для алмаза с использованием констант распада [8] при учете упругого рассеяния только на изотопах.

Результаты данной работы позволяют заключить, что большая ширина отклика, полученная в [2], действительно представляет собой эффект, связанный с неудовлетворительным акустическим согласованием кристалла алмаза с напыленной на него пленкой золота и, следовательно, оценка вклада примесного рассеяния в [2] оказывается сильно завышенной. Реализованный в данной работе метод возбуждения баллистических фононов с помощью заглубленного имплантированного слоя открывает возможности получения достоверных данных о роли примесей и дефектов в процессах рассеяния фононов.

Данная работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант 95-0204278а).

-
1. J.E.Graebner, M.E.Reiss, L.Seibles et al., Phys. Rev. B **50**, 3702 (1994).
 2. Т.И.Галкина, А.Ю.Клоков, А.И.Шарков, Письма в ЖТФ **21**, 17 (1995).
 3. R.A.Khmelnitsky, V.A.Dravin, and A.A.Gippius, Proc. 3-rd Int. Symp. on Diamond Films, St. Petersburg, 1996, (в печати).
 4. А.Ю.Блинов, М.М.Бонч-Осмоловский, Т.И.Галкина и др., Кр. сообщ. по физике ФИАН **7**, 31 (1989).
 5. Р.Труэлл, Ч.Эльбаум, Б.Чик, Ультразвуковые методы в физике твердого тела, М.: Мир, 1972.
 6. H.J.Maris, J.Acoust. Soc. Am. **50**, 812 (1971).
 7. М.М.Бонч-Осмоловский, Т.И.Галкина, А.Ю.Клоков и др., ФТТ **38**, 1051 (1996).
 8. H.Schwartz, K.F.Renk et al., Proc. 5-th Int. Conf. Phonon Scattering, Cond. Matt., Springer-Verlag, 1986, 362.