

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ НЕРАВНОВЕСНЫХ ФОНОНОВ С ПОМОЩЬЮ РЕЗОНАНСНОГО КР СВЕТА

А.А.Максимов, И.И.Тартаковский

Предложена методика оптического детектирования неравновесных акустических фононов с помощью резонансного комбинационного рассеяния света. Экспериментально определены скорости баллистического распространения акустических фононов вдоль *a* и *b* осей кристалла антрацена.

В экспериментах по распространению фононов высоких частот 10^{11} — 10^{12} Гц в диэлектрических и полупроводниковых кристаллах широко используются оптические методы детектирования неравновесных фононов. При генерации высокочастотных фононов тепловыми импульсами приход различных групп фононов регистрируется по изменениям в оптических свойствах примесных центров [1, 2] и по разрешенным во времени спектрам собственной люминесценции кристаллов [3]. В настоящей работе сообщается о возможности использования резонансного комбинационного рассеяния света (РКРС) в качестве детектора фононов.

Эксперименты по детектированию фононов с помощью РКРС проводились на тонких ($d \approx 5 - 10$ мкм) монокристаллических пластинках антрацена. Как было показано в работе [4], при возбуждении кристаллов антрацена вблизи дна нижней экситонной зоны ($\nu_0 = 25097 \text{ см}^{-1}$) наблюдается резкое возрастание интенсивности (I) РКРС на внутримолекулярном колебании с частотой $\Omega = 1402 \text{ см}^{-1}$. Была обнаружена чрезвычайно высокая чувствительность величины I к температуре кристалла и к уровню оптической накачки. Эти особенности, которые наблюдаются в режиме вынужденного РКРС, были использованы при детектировании неравновесных фононов.

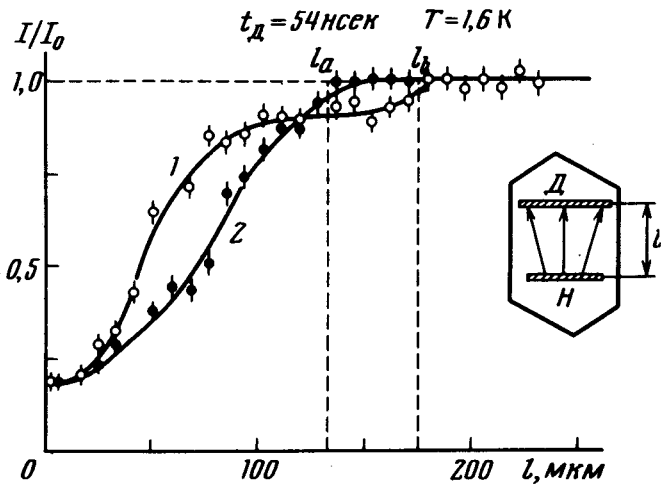
Эксперимент заключался в следующем. Фронтальная поверхность кристалла (плоскость [001]) возбуждалась импульсами азотного лазера: $\lambda = 3371 \text{ \AA}$, длительность импульса $\tau_p = 4$ нсек, частота повторений 25 Гц, интенсивность оптической накачки $P \approx 50 \text{ кВт/см}^2$. Пятно накачки на поверхности кристалла формировалось в виде узкой полоски шириной ~ 10 мкм и длиной ~ 2 мм (H , см. рисунок). Излучение азотного лазера поглощается в тонком приповерхностном слое $K^{-1} \approx 0,5$ мкм. В этой области в результате быстрых безызлучательных процессов происходит генерация неравновесных фононов, которые затем распространяются в невозбужденные участки кристалла [3].

Возбуждение РКРС осуществлялось с помощью перестраиваемого лазера на красителе: область перестройки $\nu_{\text{возб}} = 24000 - 26000 \text{ см}^{-1}$, полуширина полосы генерации $\Delta\nu_{\text{возб}} = 1 \text{ см}^{-1}$, длительность импульса $\tau_p = 3$ нсек частота повторений 25 Гц. Импульсы перестраиваемого лазера были задержаны относительно импульсов накачки азотного лазера на величину $t_D = 54$ нсек. Пятно освещения на поверхности кристалла (D , см. рисунок) имело те же размеры, что и пятно накачки, а их расположение было взаимно параллельным. Оптическая система позво-

для перемещать пятно накачки по поверхности кристалла и, тем самым, плавно изменять расстояние l между областями H и D (см. рисунок). Кроме того, можно было изменять расположение пятен H и D относительно кристаллографических направлений в плоскости $[001]$.

Интенсивность РКРС на частоте $\nu = \nu_{\text{Возб}} - \Omega$ измерялась с помощью монохроматора ДФС-12 с обычной фотоэлектрической системой регистрации. Приход неравновесных фононов детектировался по изменению сигнала РКРС.

На рисунке представлены результаты эксперимента. Кристалл антрацена толщиной $d \approx 10$ мкм находился в сверхтекучем гелии при температуре $T = 1,6$ К. Частота возбуждающего РКРС излучения перестраиваемого лазера $\nu_{\text{Возб}} = 25085 \text{ см}^{-1}$ (т.е. $\nu_0 - \nu_{\text{Возб}} = 12 \text{ см}^{-1} = 3,6 \cdot 10^{11}$ Гц), I_0 - интенсивность РКРС в отсутствие импульсов накачки азотного лазера. Кривые 1 и 2 получены при расположении пятен H и D соответственно вдоль a и b осей кристалла и отвечают относительному изменению сигнала РКРС I/I_0 при изменении расстояния l между нагревателем и детектором неравновесных фононов. Как видно из рисунка, приход наиболее быстрой группы фононов при фиксированной временной задержке $t_D = 54$ нсек наблюдается на расстояниях $l_b = 175$ мкм и $l_a = 133$ мкм, что отвечает максимальным скоростям распространения вдоль b и a - осей $v_b^{\text{max}} = (0,2 \pm 0,2) \cdot 10^5$ см/сек и $v_a^{\text{max}} = (2,5 \pm 0,2) \cdot 10^5$ см/сек.



Для случая баллистического распространения фононов акустических ветвей в геометрии настоящего эксперимента Казаковцевым были проведены расчеты, аналогичные расчетам в работе [5]. Как следует из результатов расчета, максимальные скорости распространения вдоль a и b - осей имеют фононы квазипродольных ветвей, а их численные значения $v_a^{\text{max}} = 2,45 \cdot 10^5$ см/сек и $v_b^{\text{max}} = 3,05 \cdot 10^5$ см/сек хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Таким образом, использование методики детектирования неравновесных фононов с помощью РКРС позволяет изучать распространение фононов вдоль развитой поверхности тонких монокристаллических пластинок. Проведение подобных экспериментов в случае применения флуорес-

центных детекторов представляется достаточно затруднительным. Методика обладает хорошим пространственным (~ 10 мкм) и временным разрешением. Кроме того, благодаря изолированности полосы РКРС в спектре излучения кристалла антрацена и ее высокой интенсивности, отпадает необходимость в использовании методик фотоэлектрической регистрации с высоким временным разрешением и чувствительностью, что существенно упрощает эксперимент.

Принцип действия детектора с использованием РКРС, по-видимому, заключается в следующем. Приход неравновесных фононов в область детектирования приводит к увеличению поглощения возбуждающего РКРС лазерного излучения с частотой $\nu_{\text{возб}}$. В результате, из-за резкой сверхлинейной зависимости интенсивности РКРС в режиме вынужденного рассеяния света от уровня возбуждения наблюдается заметное падение сигнала РКРС. Есть основания полагать, что формирование длинноволнового крыла поглощения вблизи дна экситонной зоны кристалла антрацена обязано в основном однофононным процессам. Легко видеть, что в этом случае происходит детектирование фононов с частотами $\omega_{\text{ф}} \gtrsim \nu_0 - \nu_{\text{возб}}$. Изменяя с помощью перестраиваемого лазера на красителе величину $\nu_{\text{возб}}$, можно, тем самым, регистрировать приход фононов с различной энергией. Таким образом, детектирование неравновесных фононов с помощью РКРС может быть, в принципе, использовано в качестве методики фононной спектроскопии в области частот $10^{11} - 10^{12}$ Гц. В настоящее время ведутся экспериментальные работы в этом направлении.

Авторы выражают благодарность Д.В.Казаковцеву за проведенные расчеты и обсуждение экспериментальных результатов.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
22 июля 1980 г.

Литература

- [1] K.F.Renk, J.Deisenhofer. Phys. Rev. Lett., 26; 764, 1975; А.А.Каплянский, С.А.Басун, В.А.Рачин, Р.А.Титов. Письма в ЖЭТФ, 21, 438, 1975.
- [2] J.Shah, R.F.Lehenу, А.Н.Даяем. Phys. Rev. Lett., 33, 318, 1974.
- [3] В.Л.Броуде, Н.А.Видмонт, В.В.Коршунов, И.Б.Левинсон, А.А.Максимов, И.И.Тартаковский. Письма в ЖЭТФ, 25, 285, 1977; В.Л.Броуде, Н.А.Видмонт, Д.В.Казаковцев, В.В.Коршунов, И.Б.Левинсон, А.А.Максимов, И.И.Тартаковский, В.П.Яшников. ЖЭТФ, 74, 314, 1978.
- [4] В.Л.Броуде, А.А.Максимов, И.И.Тартаковский. Письма в ЖЭТФ, 27, 424, 1978.
- [5] Д.В.Казаковцев, И.Б.Левинсон, В.П.Яшников. ЖЭТФ, 74, 328, 1978.