

## АНОМАЛИИ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ТЕПЛОВЫХ ИМПУЛЬСОВ В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ ИТТРИЙ - РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ГРАНАТОВ

*С.Н.Иванов, Е.Н.Хазанов, А.В.Таранов*

В работе показано, что в гранатах при концентрации взаимозамещающих атомов Y и редкоземельных металлов (РЗМ) Lu, Yb, Dy более 5% неравновесные фононы НФ распространяются преимущественно диффузионно. При концентрации РЗМ  $\approx 25\%$  наблюдается аномальное увеличение длины свободного пробега НФ и их распространение может стать баллистическим.

В настоящей работе методом "тепловых импульсов"<sup>1</sup> исследованы процессы релаксации неравновесных фононов (НФ) в изоморфных твердых растворах гранатов:  $(Y_{1-C}R_C)_3Al_5O_{12}$ , где R = Lu, Yb, Dy.

Возбуждение НФ проводилось коротким импульсом тока  $t_{им} = 70$  нсек, который подавался на нагреватель из золота, напыленный на торце образца длиной  $L = 0,4 \div 1,0$  см. Регистрация НФ осуществлялась индиевым болометром, расположенном на противоположном торце образца; температура сверхпроводящего перехода болометра изменялась в интервале  $T = 2,0 \div 3,4$  К включением внешнего магнитного поля. Температура нагревателя  $T_n$  в предположении сильного упругого рассеяния в твердых растворах рассчитывалась согласно<sup>2</sup>. Эксперименты проводились при мощностях, рассеиваемых на нагревателе  $P_n = (0,2 \div 2,0) \cdot 10^3$  Вт/см<sup>2</sup> ( $T_n \approx 18 \div 30$  К). Заметной индивидуальности влияния рода редкоземельного металла на характер наблюдаемых закономерностей не наблюдалось.

Рассмотрим сначала случай относительно малых мощностей  $P_H \approx 0,2 \cdot 10^3$  Вт/см<sup>2</sup>. В гранате с  $C = 0$ , и  $L$  до 0,5 см реализовался режим баллистического распространения НФ, четко различались продольная и сдвиговая компоненты сигнала (см. рис. 1, кривая 1). В матрице с  $C = 1$  также наблюдался баллистический отклик, но заметной была и диффузионная составляющая, которая обусловлена, по-видимому, вкладом изотопического рассеяния на атомах R (кривая 5, рис. 1).

При введении в матрицу граната примеси замещения, т. е. с ростом величины  $C$  (либо  $1 - C$ ), увеличивается темп упругого рэлеевского рассеяния на изоморфных атомах замещения и падает длина свободного пробега НФ. Баллистическая часть отклика болометра уменьшается, существенно искажается наплывом диффузионного фона. При  $C$ ,  $1 - C \gg \gg 0,05 \div 0,07$  НФ преимущественно распространяются диффузионно и сигнал фоновой неравновесности, принимаемый болометром, имеет соответствующую колоколообразную форму.

Неожиданным в серии настоящих экспериментов оказалось anomальное изменение в характере распространения НФ для граната состава  $C_K \approx 0,25$ . В таких образцах снова наблюдался баллистический режим распространения НФ. Отметим, что при  $C = 0,2; 0,34$ , т. е. вблизи критического значения состава твердого раствора, режим распространения НФ имеет диффузионный характер (рис. 1, кривые 2, 3, 4).

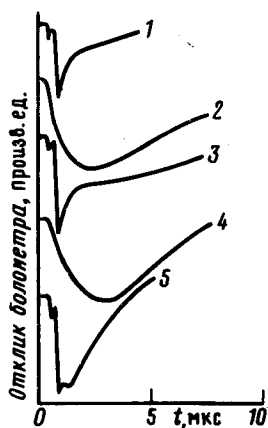


Рис. 1

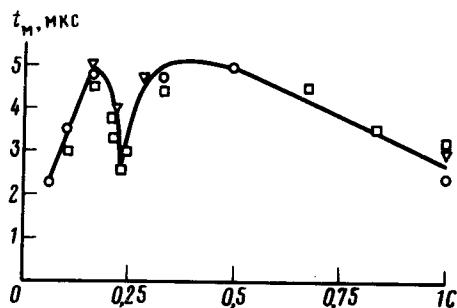


Рис. 2

Рис. 1. Временные зависимости отклика болометра от состава твердого раствора  $(Y_{1-C}R_C)_3Al_5O_{12}$  для образцов с  $L = 0,4$  см; температура бани 2,11 К;  $P_H = 0,2 \cdot 10^3$  Вт/см<sup>2</sup>; 1 -  $C = 0$ ; 2 -  $C = 0,2$ ; 3 -  $C = 0,25$ ; 4 -  $C = 0,34$ ; 5 -  $C = 1$ ; R = Lu

Рис. 2. Зависимость времени прибытия максимума фоновой неравновесности от состава твердого раствора  $(Y_{1-C}R_C)_3Al_5O_{12}$   $P_H = 2 \cdot 10^3$  Вт/см<sup>2</sup>; температура бани 2,11 К. Длина образцов  $L = 0,5$  см. □ - Lu; ▽ - Yb; ○ - Dy

В экспериментах с большими значениями  $P_H = 2 \cdot 10^3$  Вт/см<sup>2</sup>, когда растет температура инжектированных НФ и увеличивается рассеяние на атомах примеси и изотопах, сигнал фоновой неравновесности на болометре носит диффузионный характер для всех образцов, кроме  $C = 0$ . На рис. 2 представлена зависимость времени прихода максимума фоновой неравновесности от состава твердого раствора. Аномалия наблюдается и в этом случае: при  $C = C_K$  коэффициент диффузии НФ оказывается максимальным, что соответствует увеличению свободного пробега НФ. Такое резкое изменение режима распространения НФ как при больших, так и при малых уровнях  $P_H$  определяется, по-видимому, сильным уменьшением темпа упругого рассеяния НФ на атомах замещения вблизи  $C = C_K$ .

В общем случае взаимозамещающие атомы Y и R распределены случайно по соответствующим узлам кристаллической решетки. Это случайное распределение обуславливает

при малых концентрациях примеси  $C$ ,  $(1 - C) \ll 1$  локальное возмущение плотности фоновых состояний вблизи частот колебаний атомов примеси и рассеянию на них НФ. С ростом концентрации случайно распределенных атомов замещения, т. е. при некотором составе твердого раствора, возможно образование *упорядоченного* расположения атомов  $Y \rightleftharpoons R$ , например, из-за преимущественного заполнения атомами  $R$  некоторых неэквивалентных позиций  $Y$  в элементарной ячейке граната. В таком упорядоченном твердом растворе темп упругого рассеяния НФ уменьшится и НФ будут распространяться либо баллистически, либо с большим значением коэффициента диффузии.

Асимметрия кривой рис. 2 относительно  $C = 0,5$  может быть объяснена в рамках трансформации фононного спектра в твердых растворах замещения и существования критических концентраций, при которых атомы одного сорта (примеси) образуют кластеры, размеры которых стремятся к бесконечности и пронизывают весь кристалл при  $C = C_k$ <sup>3</sup>. Заметим, что в наших экспериментах величина  $C_k \simeq 0,25$  хорошо коррелирует со значением порога протекания для кубических кристаллов<sup>4</sup>.

Справедливость предложенной интерпретации может быть установлена из измерений теплопроводности и рентгеновских спектров таких твердых растворов. Так для теплопроводности исследуемого твердого раствора следует ожидать асимметрию кривой относительно  $C = 0,5$  из-за эффективного рассеяния на низкочастотных резонансных модах вблизи изолированных тяжелых атомов РЗМ<sup>3</sup> и особенностей вблизи  $C = C_k$ .

В заключение авторы выражают благодарность Ю.В.Гуляеву за внимание к работе и И.Б.Левинсону за многочисленные полезные дискуссии.

#### Литература

1. Физика фононов больших энергий. Новости физики твердого тела. Выпуск 5. М.: Мир, 1976.
2. Казаковцев Д.В., Левинсон И.Б. Письма в ЖТФ, 1981, 7, 1185.
3. Elliott R.J., Krumhans J.A., Leath P.L. Rev. Mod. Phys., 1974, 46, 465.
4. Займан Дж. "Модели беспорядка" гл. IX, М.: Мир, 1982.