

ПРОЯВЛЕНИЕ «ДВУХМОДОВОСТИ» СМЕШАННЫХ КРИСТАЛЛОВ ИТТРИЙ—ЛЮТЕЦИЙ АЛЮМИНИЕВЫХ ГРАНАТОВ В ОПЫТАХ ПО ПОГЛОЩЕНИЮ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

С. Н. Иванов, В. В. Медведь

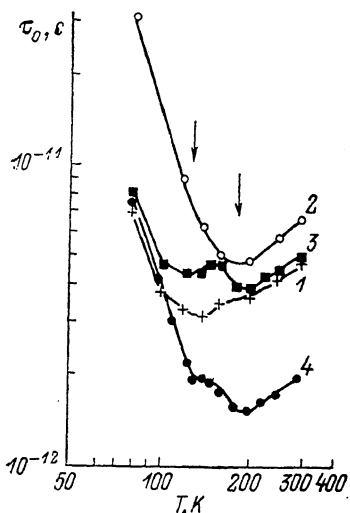
Особенности поведения длинноволновых оптических фононов в экспериментах по комбинационному рассеянию света (КРС) и инфракрасному поглощению в смешанных кристаллах (твердых растворах), например, вида $AB_{1-x}C_x$ приводят к классификации таких кристаллов на ряд типов [1, 2]. Если частота заданной оптической моды меняется непрерывно и примерно линейно от значения для $x=0$ (кристалл АВ) до значения при $x=1$ (кристалл АС), т. е. прослеживается однозначное соответствие между частотой и составом, то кристалл называют «одномодовым». В другом типе смешанных кристаллов — «двухмодовых» — в фононном спектре одновременно присутствуют частоты оптических мод, очень близкие к модам кристаллов конечных соединений (АВ и АС). Интенсивность этих мод примерно пропорциональна концентрации составляющих смешанный кристалл компонент В и С.

В последние годы большой интерес вызывают твердые растворы алюминиевых гранатов на основе иттрия и ряда редкоземельных элементов как материалы для квантовой электроники и других разделов техники. Ведутся всесторонние исследования физических характеристик этих кристаллов, в том числе и поведения длинноволновых оптических фононов. В [3] методом КРС изучены активные в КРС оптические фононные моды твердого раствора $Y_{3-x}Er_xAl_5O_{12}$. Делается вывод об их «одномодовом» характере. В [4] утверждается, что в области спектра $100-250\text{ см}^{-1}$ смешанные растворы гранатов $Y_{3-x}Lu_xAl_5O_{12}$ — кристаллы с двухмодовым поведением.

В акустических экспериментах на гранатах $Y_{3-x}R_xAl_5O_{12}$ атомы иттрия и редкой земли проявляются как центры рассеяния тепловых фононов. Так, в [5] показано, что из данных по поглощению сдвиговых акустических волн (АВ) в иттрий—лютеций алюминиевых гранатах (ИАГ : Lu) можно определить времена фонон-примесной релаксации (ФПР), зависимости которых от температуры оказываются резонансными (см. рисунок, кривые 1, 2). Минимальные значения времен ФПР, которые являются средними по всему ансамблю фононов, наблюдались при $T \approx 130\text{ К}$ для $Y_{2.7}Lu_{0.3}Al_5O_{12}$ и при $T \approx 180\text{ К}$ для $Lu_{2.5}Y_{0.5}Al_5O_{12}$. Эти же температуры (частоты) [6] — температуры (частоты) локализации колебаний атомов лютеция ($\approx 130\text{ К}$) и иттрия ($\approx 180\text{ К}$) в решетке граната. В этом случае наибольший вклад во время релаксации дают фононы энергии $\approx kT$ (т. е. фононы температуры (частоты) соответственно ≈ 130 или 180 К), интенсивно рассеивающиеся на примесях. Заметим, что $T \approx 130$ и 180 К соответствуют частотам наинизших оптических колебаний в $Lu_3Al_5O_{12}$ и $Y_3Al_5O_{12}$, полученным из оптических измерений [7].

В [5] исследованы иттрий—лютеций алюминиевые гранаты только двух «крайних» составов, что оставляет открытым вопрос о зависимости частот характерных оптических колебаний от состава кристаллов. В настоящей работе выполнен ряд экспериментов, которые, на наш взгляд, позволяют более определенно судить об «одномодовом» или «двухмодовом» поведении низших оптических ветвей колебаний в гранатах смешанного состава. Мы используем термины «одно-, двухмодовое» поведение, введенные для длинноволновых оптических фононов (центр зоны Бриллюэна) применительно к тепловым оптическим фононам (край зоны Бриллюэна).

Нами были исследованы температурные зависимости поглощения сдвиговых АВ в образцах граната «промежуточных» составов $Y_{2.25}Lu_{0.75}Al_5O_{12}$ и $Y_2Lu_1Al_5O_{12}$. Измерения поглощения АВ проводились эхо-импульсным методом в диапазоне температур 4.2—300 К. АВ возбуждались и принимались пленочными пьезопреобразователями на основе окиси цинка, нанесенными на предварительно ориентированные (направление $\langle 110 \rangle$) и отполированные в плоскопараллельном варианте торцы кристаллов. По методике, описанной в [5], из температурных зависимостей поглощения сдвиговых АВ в «смешанном» и «чистом» ИАГ были получены температурные зависимости времен ФПР — τ_0 (см. рисунок, кривые 3, 4), имеющие вид кривых с двумя минимумами при ≈ 130 и ≈ 180 К. Для более корректной обработки результатов в настоящей работе в отличие от [5] учтена зависимость времени фонон-фононного рассеяния в ИАГ: Lu от состава твердого раствора, найденная из экспериментов в области рэлеевского механизма рассеяния тепловых фононов. По «подправленной» методике обработаны кривые 1, 2 на рисунке.



Первый минимум, как мы полагаем, определяется рассеянием тепловых фононов на атомах лютеция, а второй — на атомах иттрия. Таким образом, при промежуточных составах итрий—лютеций алюминиевого граната минимумы τ_0 наблюдаются при тех же температурах, что и для

Зависимости времен фонон-примесной релаксации от температуры в $Y_{3-x}Lu_xAl_5O_{12}$.
1 — $x=0.3$, 2 — 2.5, 3 — 0.75, 4 — 1.

Зависимости времен фонон-примесной релаксации от температуры в $Y_{3-x}Lu_xAl_5O_{12}$.
1 — $x=0.3$, 2 — 2.5, 3 — 0.75, 4 — 1.

случая «крайних» составов $Y_{2.7}Lu_{0.3}Al_5O_{12}$ и $Lu_{2.5}Y_{0.5}Al_5O_{12}$. Это позволяет утверждать, что наибольшее рассеяние тепловых фононов (минимум τ_0) в итрий—лютеций алюминиевом гранате происходит при температурах, когда наибольшее число фононов, дающих вклад в среднее время ФПР, попадает в спектральный интервал, где в основном сосредоточены колебания Y или Lu, частоты которых (в пределах точности эксперимента ± 5 К) постоянны при любых составах твердого раствора граната. В предположении, что частоты, вблизи которых локализованы колебания Y и Lu, соответствуют частотам наинизших оптических колебаний в $Y_3Al_5O_{12}$ и $Lu_3Al_5O_{12}$ [5-7], наш эксперимент свидетельствует о «двухмодовости» низших оптических колебаний исследованных кристаллов.

При описании поведения «двухмодового» кристалла часто используется модель малопротяженного кластера (см., например, [1]). Предполагается, что в решетке атомы одного сорта могут собираться в кластеры, в которых они являются ближайшими соседями.

На этом языке в случае ИАГ: Lu, по-видимому, часть атомов лютеция является центрами рассеяния фононов в среде ИАГ с собственной частотой ≈ 130 К, а часть собирается в малопротяженные кластеры. Атомы иттрия, соседние с такими образованиями, также выступают как примесные атомы (центры рассеяния фононов) в среде кластера: лютеций-алюминиевый гранат (ЛАГ) с собственной частотой ≈ 180 К. Аналогичные рассуждения справедливы и для случая ЛАГ: Y. Таким образом, при всех составах твердых растворов итрий—лютеций алюминиевых гранатов будет происходить рассеяние тепловых фононов на атомах Lu и Y, что и наблюдается в эксперименте (см. рисунок, кривые 3, 4).

Л и т е р а т у р а

- [1] Chang I. R., Mitra S. S. // Phys. Rev. 1968. V. 172. N 3. P. 924—933.
[2] Бетгер X. Принципы динамической теории решетки. М., 1986. 382 с.

- [3] Жеков В. И., Мурина Т. М., Поливанов Ю. Н. и др. // ФТТ. 1983. Т. 25. № 5. С. 1510—1512.
 [4] Воронько Ю. К., Ершова Л. М., Еськов Н. А. и др. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 2. С. 512—519.
 [5] Иванов С. Н., Медведь В. В., Котелянский И. М., Хазанов Е. Н. // ФТТ. 1986. Т. 28. № 10. С. 2941—2945.
 [6] Морозов С. И., Данилкин С. А., Закуркин В. В., Иванов С. Н. и др. // ФТТ. 1983. Т. 25. № 4. С. 1135—1141.
 [7] Neil T., Devitt M. // J. Opt. Soc. Am. 1969. V. 59. N 9. P. 1240—1244.

Институт радиотехники
и электроники АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
7 сентября 1988 г.

УДК 537 : 538

Физика твердого тела, том 31, в. 3, 1989
Solid State Physics, vol. 31, № 3, 1989

НЕМОНОТОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ РАДИОЧАСТОТНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ОТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ

В. А. Ацаркин, Г. А. Васнева, В. В. Демидов, А. Т. Соболев

Известно, что в высокотемпературных сверхпроводящих керамиках ниже T_c наблюдается сильная зависимость СВЧ поглощения от внешнего магнитного поля B в диапазоне 0—10 мТл [1, 2]. Целью данной работы был поиск и изучение сходного эффекта на более низких радиочастотах $f \sim 10^5 \div 10^7$ Гц.

Исследованные образцы сверхпроводящих керамик составом $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($R=\text{Y}, \text{Eu}$) приготовлялись стандартным методом твердофазного синтеза с отжигом на воздухе и имели $T_c = 92 \div 94$ К при ширине перехода ΔT от 2 до 5.5 К (между точками максимальной кривизны в температурной зависимости сопротивления постоянному току). Образцы размером $1 \times 1 \times 2.5$ мм помещались в катушку индуктивности резонансного контура, включенного в стандартную схему Q -метра, а при измерениях в СВЧ диапазоне ($f = 9.3 \cdot 10^9$ Гц) — в пучность магнитной компоненты микроволнового поля объемного резонатора. Внешнее магнитное поле B разворачивалось около нуля по синусоидальному закону с частотой 50 Гц и амплитудой 14 мТл. Сигналы с выхода Q -метра, обусловленные изменением добротности контура и определяющие мнимую часть динамической магнитной восприимчивости $\chi''(f)$, наблюдались на осциллографе, синхронизованном с разверткой поля B . Некоторые из них показаны на рис. 1.

Подчеркнем, что в данном методе измерялось лишь приращение χ'' , связанное с изменением B (т. е. магнитосопротивление), поэтому положение базовых линий на рис. 1 произвольно. Отметим также, что на опыте наблюдался некоторый гистерезис, т. е. небольшое смещение сигналов в разные стороны при противоположных направлениях развертки магнитного поля. Чтобы не усложнять рисунок, этот эффект не показан.

Как видно из рис. 1, зависимость $\chi''(B)$ оказывается немонотонной: наблюдаются четкие максимумы поглощения с $\chi''_{\text{max}} \approx 0.15$ ед. СИ, причем с понижением f максимум сдвигается в меньшие поля. Такое поведение, насколько нам известно, ранее не наблюдалось; в частности, оно отсутствует в СВЧ диапазоне (рис. 1, 1).

Измерялась также полевая зависимость действительной части динамической восприимчивости χ' на частотах 10^5 — 10^7 Гц. Во всем исследован-