

ИССЛЕДОВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ ГАДОЛИНИЙ–СКАНДИЙ–ГАЛЛИЕВОГО ГРАНАТА МЕТОДОМ МАНДЕЛЬШТАМ–БРИЛЛЮЭНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

Е. В. Жариков, В. Ф. Китаева, И. В. Кошелева, Л. М. Ершова,
С. П. Калитин, В. В. Осико, Н. Н. Соболев

УДК 535.36

Методом мандельштам-бриллюэновского рассеяния света исследованы монокристаллы гадолиний-скандий-галлиевых гранатов. Определены упругие и фотоупругие свойства, выявлены характерные особенности рассеяния света в этих кристаллах.

Монокристаллы редкоземельных галлиевых гранатов обладают большой изоморфной емкостью, что позволяет в широких пределах изменять их химический состав и создавать кристаллы с необходимыми для практических применений физическими свойствами.

Целью настоящей работы явились исследования методом мандельштам-бриллюэновского рассеяния света (МБР) монокристаллов скандийсодержащих редкоземельных гранатов типа $Gd_3(Sc, Ga)_2Ga_3O_{12}$. Кристаллы представляют собой твердые растворы, содержащие ионы Sc^{3+} в октаэдрических положениях структуры. Исследовались кристаллы гадолиний-скандий-галлиевого граната как "чистые" ($GdScGaG$), так и содержащие ионы эрбия ($GdScGaG - Er$ (1,7 ат. %)). Замещение эрбием происходит в позициях с додекаэдрической координацией.

Кристаллы имеют кубическую структуру. Пространственная группа $Ia3d$, точечная $m3m$. Показатели преломления были определены по методу призмы. Они равны 1,982 для $GdScGaG$ на длине волны 5145 Å и 1,992 для $GdScGaG - Er$ на длине волны 4765 Å.

Исследования проводились на установке, подробно описанной в [1]. Регистрировались поляризационные спектры МБР света, рассеянного на фонах, распространяющихся вдоль кристаллографических направлений [100], [110], $[11\sqrt{2}]$. Обработка спектров заключалась в измерении сдвигов компонент МБР и их относительных интенсивностей. Из смещения компонент определялась скорость распространения гиперзвука и упругие константы

кристалла, из интенсивностей — фотоупругие постоянные. Расчеты проводились с помощью соотношений, приведенных в /2,3/.

Для GdScGaG упругие постоянные оказались равными: $c_{11} = 2,75 \cdot 10^{-12}$, $c_{44} = 0,805 \cdot 10^{-12}$, $c_{12} = 1,04 \cdot 10^{-12}$ дин/см²; параметр упругой анизотропии $|(c_{11} - c_{12})/2c_{44}| = 1,06$, параметр Коши $|c_{12}/c_{44}| = 1,29$; фотоупругие постоянные $p_{11} = -0,130$, $p_{12} = -0,054$, $p_{44} = -0,074$; параметр фотоупругой анизотропии $|(p_{11} - p_{12})/2p_{44}| = 0,54$; параметр фотоупругого взаимодействия $|p_{12}/p_{44}| = 0,74$. Плотность кристалла GdScGaG $\rho = 6,54$ г/см³, параметр решетки $a = 12,55$ Å. Для GdScGaG—Er: $c_{11} = 2,74 \cdot 10^{-12}$, $c_{12} = 1,05 \cdot 10^{-12}$, $c_{44} = 0,813 \cdot 10^{-12}$ дин/см², $|(c_{11} - c_{12})/2c_{44}| = 1,03$, $|c_{12}/c_{44}| = 1,29$, $p_{11} = -0,123$, $p_{44} = -0,067$, $p_{12} = -0,046$, $|(p_{11} - p_{12})/2p_{44}| = 0,57$, $|p_{12}/p_{44}| = 0,69$, $\rho = 6,56$ г/см³, $a = 12,54$ Å. Точность определения упругих постоянных $1 \div 3\%$, фотоупругих $20 \div 25\%$.

Температура Дебая, рассчитанная из упругих констант, для GdScGaG и GdScGaG—Er в пределах точности эксперимента совпадает и составляет 510 К. В ряду гранатов /3-6/ это одна из низких температур Дебая, соответственно и фонный спектр в этих кристаллах обладает малой протяженностью. Это позволяет рассчитывать на достаточно высокий квантовый выход люминесценции с верхнего лазерного уровня примесного иона в этих кристаллах за счет уменьшения вероятности многофононной релаксации энергии и на получение генерации более длинноволнового излучения /6/. Поэтому GdScGaG—Er, в частности, является перспективным материалом для создания твердотельных лазеров, генерирующих в области 3 мкм, что подтверждается и спектроскопическими исследованиями /7/.

Из анализа полученных результатов следует, что GdScGaG и GdScGa—Er упруго изотропны, причем характер силового взаимодействия атомов решетки в них существенно нецентрален.

Для спектров МБР исследованных гранатов характерны две особенности:

1. Резкая зависимость компонент МБР от ориентации кристалла. В спектрах НΣ* для ориентаций 2—2, 4—4, 2—4 ** отношение интенсивности поперечной компоненты к продольной для GdScGaG равно 8,3; 2,2; 1,9, а для GdScGaG—Er — 5,0; 1,9; 0,4. Указанная особенность определяется зна-

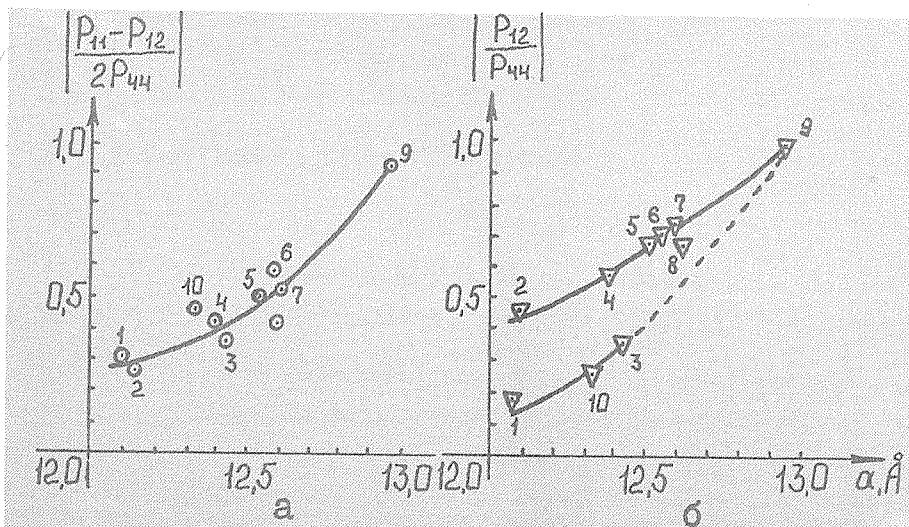
* Поляризация возбуждающего света: Н — горизонтальная, V — вертикальная (по отношению к плоскости рассеяния), Σ — в рассеянном свете поляризатор отсутствовал.

** Первая цифра означает порядок оси симметрии кристалла, вдоль которой распространяется падающая световая волна, вторая — порядок оси симметрии кристалла, вдоль которой наблюдается рассеянный свет.

чительной фотоупругой анизотропией этих гранатов ($|(p_{11} - p_{12})/2p_{44}| = 0,54$ и $0,57$ соответственно).

2. Малая интенсивность продольной компоненты МБР по сравнению с поперечной в спектрах $V\Sigma$. Эта особенность обусловлена характером фотон-фононного взаимодействия, характеризуемого параметром $|p_{12}/p_{44}|$.

Анализ результатов и сопоставление их с результатами работ [3-6] показывает, что фотоупругие параметры фотоупругая анизотропия $|(p_{11} - p_{12})/2p_{44}|$ (а) и параметр фотоупругого взаимодействия $|p_{12}/p_{44}|$ (б) в ряду гранатов монотонно возрастают с увеличением параметра решетки (рис. 1). С увеличением a гранаты становятся более изотропными по отношению к рассеянию света, причем параметр фотоупругой анизотропии $|(p_{11} - p_{12})/2p_{44}|$ стремится к единице (рис. 1а).



Р и с. 1. Зависимость параметра фотоупругой анизотропии $|(p_{11} - p_{12})/2p_{44}|$ (а) и параметра фотоупругого взаимодействия $|p_{12}/p_{44}|$ (б) в гранатах от параметра решетки. 1 - YAlG; 2 - YAlG-Er, 3 - GdGaG, 4 - GdGaG-Er, 5 - GdScGaG-Er (1,7%), 6 - GdScGaG - Er (33%), 7 - GdScGaG, 8 - GaScGaG - Nd, Cr, 9 - LaNdL и GaG, 10 - YGaG [8].

Зависимость параметра фотоупругого взаимодействия $|p_{12}/p_{44}|$ от a распадается на две ветви (рис. 1б). Нижняя относится к простым бинарным гранатам с общей формулой $A_3B_5O_{12}$, верхняя - к твердым растворам гранатов. Следует отметить, что последняя зависимость является единой

для всех гранатов, несмотря на различный уровень легирования и, что наиболее важно, несмотря на то, что замещение производилось в различных подрешетках структуры граната (образцы 2, 4 и 9 имеют замещение только в додекаэдрической подрешетке, образец 7 — только в октаэдрической, а образцы 5, 6 и 8 — в обеих этих подрешетках одновременно). Таким образом, замещение (или легирование) приводит к заметному возрастанию параметра фотоупругого взаимодействия образующихся твердых растворов по сравнению с кристаллами бинарных гранатов.

Авторы выражают благодарность И.Л. Чистому за полезные дискуссии и М.П. Ермиловой за помощь в работе.

Поступила в редакцию 11 сентября 1984 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Китаева В. Ф. и др. ФТТ, 22, 1379 (1980).
2. Чистый И. Л. и др. ФТТ, 17, в. 5, 1434 (1975).
3. Жариков Е. В. и др. Препринт ФИАН № 200, 1983.
4. Жариков Е. В. и др. ФТТ, 25, в. 4, 986 (1983).
5. Ершова Л. М. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 7, 48 (1984).
6. Китаева В. Ф., Жариков Е. В., Чистый И. Л. Препринт ФИАН № 146, 1984.
7. Жариков Е. В. и др. Препринт ФИАН № 196, 1983.
8. Spence E. G. et al. J. Appl. Phys., 34, 3059 (1963).