

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ИТТРИЕВЫХ ГРАНАТОВ

Ломако И.Д.¹, Троянчук И.О.¹, Адашкевич С.В.², Стельмах В.Ф.²

¹Институт физики твердого тела и полупроводников НАНБ, ул. П. Бровки 17, Минск

²Белорусский государственный университет, проспект Ф. Скорины 4, Минск

Для отбора ферромагнитных кристаллов с заданными свойствами и оптимизации технологии выращивания кристаллов известны различные способы [1-3]. Однако известные способы являются либо трудоемкими и разрушающими, либо не обеспечивают высокую точность измерений, либо непригодны для сортировки пространственно-неоднородных кристаллов, кристаллов с одномерными и двумерными включениями, а также кристаллов с повышенной дефектностью, что существенно ограничивает тип сортируемых кристаллов и возможности оптимизации технологии выращивания кристаллов.

При магниторезонансных измерениях нами были установлены закономерности изменения спектра спиновых волн и условий их возбуждения для широкого класса ферромагнитных кристаллов, характеризующихся как гомогенным распределением дефектов по объему, так и для кристаллов, содержащих одно- и двумерные низкоразмерные включения (кластеры) с различными значениями их концентраций. Решение задачи сортировки ферромагнитных кристаллов в широком диапазоне качественно и количественно различающихся типов дефектов существенно для оптимизации технологии выращивания и применения кристаллов. Нами было подтверждено формирование в монокристаллах иттриево-железных гранатов $Y_3Fe_5O_{12}$ (ИФГ) одномерных дефектных структур с различной их ориентацией и концентрацией по разным кристаллографическим плоскостям, связанных с технологическими условиями и морфологическими особенностями огранки граната при выращивании из раствора в расплаве. Такие включения дефектов формируют пространственно- и ориентационно-неоднородные структуры с существенно различными магниторезонансными и оптическими свойствами.

Для изучения дефектной структуры кристаллов ИФГ наиболее информативными являются оптические свойства, основанные на взаимодействии дефектов структуры со световой волной, распространяющейся в образце. Поэтому качество приготовленных образцов ИФГ оценивалось по величине коэффициента поглощения (α) на длине волны $\lambda=1300$ нм.) [1, 4]. В окне прозрачности величина α определяется внедрением неконтролируемых примесей и разного рода структурными несовершенствами образцов (дислокации, междуузельно-вакансионными комплексами и дефектами нестехиометрии) [4]. Оптический метод оценки степени совершенства является как достаточно трудоемким, так и разрушающим.

Известно, что позиционный беспорядок возникает в случае, если положений больше, чем частиц, или когда имеется более одного сорта частиц, которые размещаются в одних узлах решетки, что имеет место в гранатах [5].

Способ сортировки основан на том, что условия возбуждения и параметры спиновых волн, характерные для одной выделенной ориентации ферромагнитного кристалла содержат только количественные критерии сортировки и дают информацию лишь об одной группе сорта, характеризующей общую дефектность кристалла для данной ориентации. Для пространственно-неоднородных кристаллов, а также кристаллов, содержащих одно- или двумерные включения, информация, получаемая из анализа параметров спиновых волн при

измерении известным способом [3] недостаточна, но она может быть получена при введении в известный способ дополнительных операций изменения ориентаций кристалла относительно магнитного поля при соответствующей коррекции условий их возбуждения и введении дополнительных критериев для суждения о сортности контролируемого кристалла.

На рис. 1 представлены экспериментальные зависимости ширины спектральных линий спиновых волн ΔH от коэффициента оптического поглощения α , измеренные на серии образцов кристаллов ИФГ для двух кристаллографических ориентаций $\{110\}$ и $\{111\}$. Образцы ИФГ специально выбирались разной степени оптического совершенства, поскольку величина α варьировалась от $0,1 \text{ см}^{-1}$ до 25 см^{-1} .

Экспериментальные зависимости отражают наличие корреляции между оптическими и магниторезонансными параметрами образцов железо-иттриевых гранатов, каждый из которых связан со степенью структурного совершенства (дефектностью) кристаллов. Корреляционная связь между оптическими и магниторезонансными параметрами описывается выражением: $\Delta H = A + B \cdot \alpha$.

В частности, при ориентации (110) экспериментально полученные коэффициенты корреляции $A = 0.15$, $B = 0.106$, а при ориентации (111) $A = 0.20$, $B = 0.122$; для $\Delta H = \{0.1 \dots 5\} \text{ Э}$, $\alpha = \{0.1 \dots 25\} \text{ см}^{-1}$.

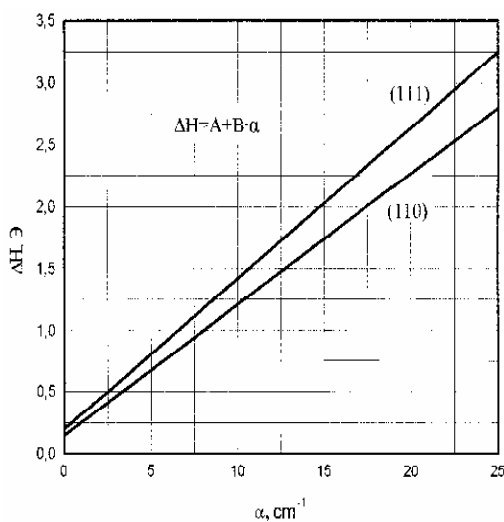


Рис. 1

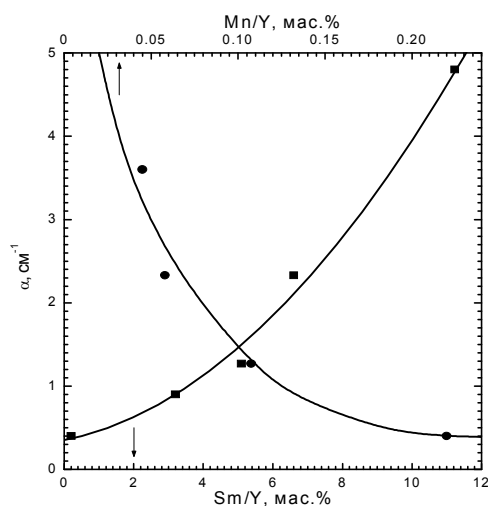


Рис. 2

Корреляционная связь (рис. 1) не только показывает принципиальную возможность реализовать неразрушающий способ контроля дефектности кристалла на основе магниторезонансных измерений, но и является физической основой способа сортировки образцов по дополнительному критерию, характеризующему группу сорта по степени анизотропии дефектности кристалла, связанной с формой низкоразмерных дефектных включений и их кристаллографической ориентацией.

Алгоритм отбора (сортировки) ферромагнитных кристаллов включает воздействие на кристалл постоянного магнитного поля и параллельного ему сверхвысокочастотного ПОЛЯ с возбуждением мод коллективных колебаний спиновых волн, измерение параметров спиновых волн (в качестве которых используется ширина спектра спиновых волн) для не менее двух различных ориентаций контролируемого кристалла и о сортности кристалла судят по значениям ширины спектра спиновых волн и их изменений при разных ориентациях кристалла.

С помощью разработанного способа можно контролировать технологию выращивания из раствора в расплаве монокристаллов иттриево-железных гранатов с учетом особенности влияния конкурирующего характера взаимодействия неизбежных технологических примесей - ионов Ва, Мп и Sm. Эти ионы размещаются в додекаэдрической подрешетке, замещая ионы Y структуре граната. Ионы Ва имеют большой ионный радиус, стабильную валентность (+2) и являются пассивной технологической примесью в образцах ИФГ. При совместном внедрении ионов Ва и Мп в кристаллах ИФГ проявляется следующая корреляция: в образцах с максимальной концентрацией ионов Ва наблюдается минимальная концентрация ионов Мп. Ионы Мп и Sm, имеющие магнитный момент, проявляют переменную валентность (от +2 до +4) и успешно конкурируют с ионами Ва за внедрение в додекаэдрические позиции. Отношение Sm/Y определялось методом рентгенофотозлектронной спектроскопии, а Мп/Y — методом нейтронно-активационного анализа.

Влияние относительной концентрации Sm/Y и Мп/Y на оптическую прозрачность исследуемых кристаллов представлено на рис. 2.

Значения отношения $(\text{Ва}/\text{Y})_{\text{ср.}}$ в образцах изменяются в больших пределах, а, значит, часть ионов Мп, V, Fe в соседних окта- и тетраэдрических позициях изменяют свою валентность или зарядовые состояния ионов O в структуре граната. Поэтому информация о значениях $(\text{Ва}/\text{Y})_{\text{ср.}}$, которые в логарифмическом масштабе изменяются на 7 порядков, а также о характере их нестатистического распределения по нормали к поверхности образца немаловажна для анализа структурной неоднородности реального образца и ее взаимосвязи с величиной α в ИФГ [6]. Количественная оценка неоднородного распределения Ва/Y по толщине образца важна как для целей совершенствования и оптимизации технологии выращивания кристаллов ИФГ, так и их выбора для конкретного использования в приборах магнито- и оптоэлектроники.

В докладе обсуждаются механизмы взаимной корреляции содержания основных технологических примесей и пространственно-неоднородных структурных дефектов в процессе выращивания кристаллов.

Работа была выполнена при финансовой поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь Ф05 БР-003.

Литература

1. И.Д. Ломако, Т.В. Смирнова, А.Н. Игуменцев, А.А. Мельников. Журн. прикладной спектр. **63**, с. 667-675 (1996)
2. Я.А. Моносов, В.В. Сурин. Автор. свид. СССР № 360601, кл. G 01N 27/78, 1970 г., опубл. 28.11.72, бюллетень № 36.
3. А.В. Вашковский, В.И. Зубков. Автор. свид. СССР № 828039, кл. G 01N 22/02, 1978 г., опубл. 07.05.81, бюллетень № 17.
4. И.Д. Ломако, А.Г. Дугов.. Кристаллография.. **47**. № 1. С. 128-132 (2002.)
5. Н. Парсонидж, Л. Стейвли. Беспорядок в кристаллах. Москва. Мир. 1982. 312 с.
6. И.Д. Ломако. Кристаллография.. **47**. № 4. С. 724-729. (2002.)