

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ашкрофт, Н. Физика твердого тела / Н. Ашкрофт, Н. Мермин. — М.: Мир, 1979. — 390 с.
- 2 Абрикосов, А. А. Основы теории металлов / А. А. Абрикосов. — М.: Наука, 1987. — 520 с.
- 3 Соболев, В. Р. Электродинамика криопроводников в неоднородном стационарном магнитном поле / В. Р. Соболев, О. Н. Мазуренко. — Минск: Беларуская навука, 2003. — 198 с.
- 4 Гостищев, В. И. Особенности низкотемпературного теплоспроводности алюминия в магнитном поле / В. И. Гостищев, А. А. Дрозд, В. Р. Соболев // ФНТ. — 1988. — Т. 14, № 6. — С. 594–598.
- 5 Федотов, А. О. Непригодность закона Видемана-Франца для описания соотношений между теплопроводностью и электропроводностью пластически деформированных кристаллов / А. О. Федотов, Л. П. Мещеряков, А. Ю. Касумов // ФТТ. — 1981. — Т. 23, вып. 1. — С. 311–313.

УДК:537.312.62:541.123.3:546.562

**В.Р. СОБОЛЬ, Т.В. ВОЛЧИК; Н.А. КАЛАНДА; С.М. АРАБЕИ  
И.И. МАКОЕД**

Минск, БГТАТУ; ОИФТТП НАНБ; ИМАФ НАНБ;  
Брест, БрГУ имени А.С.Пушкина

### **ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ИТТРИЕВОГО ФЕРРОГРАНАТА**

Использование света в системах записи и обработки информации основано на применении материалов, способных модулировать направление оптического луча с помощью эффектов Керра и Фарадея. Для материалов, работающих в режиме пропускания важной характеристикой является оптическая добротность при достаточной прозрачности. В этом смысле в красной области спектра среди гранатов перспективен иттриевый гранат  $Y_3Fe_5O_{12}$ , а также производные на его основе [1; 2]. По сути  $Y_3Fe_5O_{12}$  является базовым для частично замещенных твердых растворов. Существуют также замещенные растворы  $Bi_xY_{3-x}Fe_5O_{12}$  обнаруживают даже большую оптическую активность, чем у исходного материала, однако присутствие ионов радиусов Bi, Pb и Y означает, что внедренные в кристаллическую ячейку элементы являются точечными дефектами. Не исключено, что для пути снижения упругих напряжений можно получить дополнительно

резерв улучшения свойств этих материалов. Следует отметить, что в микроэлектронном материаловедении все большее распространение приобретают пленочные технологии, которые практичнее получения объемных заготовок высокого качества с последующим их разделением на микроэлементы. Перспективы повышения качества замещенных растворов можно оценить сопоставляя их со свойствами исходного материала. При многообразии данных по оптическим и другим свойствам  $Y_3Fe_5O_{12}$  существует много вопросов, поскольку результаты различных авторов не всегда однозначны, что, по всей видимости, обусловлено неидентичностью и сложностью применяемых методик синтеза, а также разнообразием экспериментальных подходов по тестированию и расшифровке их спектров.

В сообщении представлены результаты эксперимента по изучению оптических свойств монокристаллических объемных и пленочных образцов  $Y_3Fe_5O_{12}$  и предварительные оценки по интерпретации данных эксперимента на основе численного моделирования оптических констант. Объемные цилиндрические образцы с длиной и диаметром около 3 мм были синтезированы методом направленной динамической кристаллизации, а пленочные структуры – жидкофазной эпитаксией на монокристаллические подложки из галлий гадолиниевого граната. Шихта, применяемая для получения исходного раствора в расплаве, составлялась из компонент с классификацией как особо чистые, для которых производилось последовательное наплавление в платиновом тигле объемом 1000–1200 мл при температуре 1370 К с весовым контролем каждого компонента.

При изучении оптических свойств регистрировали спектры пропускания материалов с использованием спектрофотометра, который позволял записать оптическую плотность как натуральный логарифм отношения интенсивностей падающего  $I_0$  и прошедшего излучения  $I$  (рисунок 1, рисунок 2). Характерно, что для объемных образцов оптическая прозрачность, как граничное значение длины волны, при которой интенсивности прошедшего света отличается от интенсивности падающего излучения в  $e$  раз, начинается с диапазона около 1100 нм. В то же время для пленочной структуры эта область распространяется до 800 нм.

Сравнительный анализ спектров объемного и пленочного образцов показывает, что уменьшение пропускания света в диапазоне 800–1100 нм в объемных материалах обусловлено преимущественно ростом коэффициента поглощения света, а влияние вещественной части показателя преломления незначительно. Действительно, характерные интерференционные осцилляции интенсивности в спектре пропускания пленочных образцов позволяют оценить толщину пленки как имеющую порядок 5 мкм. Роль границы раздела на переходе подложка-воздух не может проявиться в формировании границы поглощения, поскольку по результа-

там записи спектра подложки вещественная часть показателя почти не изменяется, а мнимой составляющей можно пренебречь. Для объемного образца в приближении традиционных подходов анализа выполняются следующие соотношения, связывающие коэффициент отражения  $R$  и оптическую плотность  $D = \ln(I_0/I)$  и вещественной ( $n$ ) и мнимой ( $k$ ) компонентами показателя преломления

$$\ln \frac{I_0}{I} = -2 \ln \left( \frac{4n}{n^2 + 2n + 1 + k^2} \right) + \frac{2\pi k d}{\lambda} \quad (1)$$

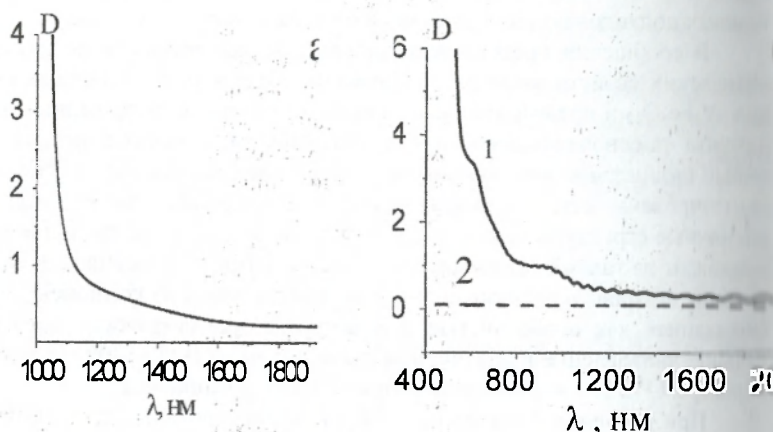


Рисунок 1 – Спектры оптической плотности иттриевого феррограната: а) – объемный образец толщиной 3мм, б) пленочная структура на подложке из галлий гадолиниевого граната (1), оптическая плотность подложки (2)

Сопоставление полученных соотношений с результатами эксперимента при 2 мкм показывает, что выражение для оптической плотности содержащее и компоненты показателя преломления и толщину образца может быть удовлетворено, если последнее слагаемое вида  $\frac{2\pi k d}{\lambda}$ , имеющее в области 2 мкм масштаб  $3000 \pi k$  будет пренебрежимо мало. Действительно, подстановка пробного значения для  $n$  порядка двух приводит к выражению

$$\ln \frac{I_0}{I} = -2 \ln \frac{8}{9} + 2 \ln \left( 1 + \frac{k^2}{9} \right) + 3000 \pi k, \quad (2)$$

которое удовлетворяет эксперименту ( $D = 0.2$ ) если  $k < \frac{0.2}{3000 \pi}$ . Если же исходить из тезиса, что вклад в оптическую плотность формируется за счет мнимой составляющей при  $n = 1$ , то получаем  $\ell n \frac{t_0}{l} = 2 \ell n \left( 1 + \frac{\lambda^2}{4} \right) + 3000 \pi k$ .

Видно, что последнему выражению можно, если второе слагаемое будет порядка зарегистрированной величины 0.2, что означает опять таки прежний предел для  $k$ . С учетом малости параметра  $k$  для области длин волн свыше 1200 нм была рассчитана спектральная зависимость  $n$  (рисунок 2). Из представленных на рисунке 2 данных следует, что значение показателя преломления в красной области этого участка спектра действительно формируется только частичным отражением на передней и задней гранях исследуемого образца. Для верификации результатов расчета в коротковолновой области следует более тщательно проанализировать возможное влияние уменьшения вещественной составляющей показателя преломления. Это следует из того, что при формальном уменьшении  $n$  в область значений меньше единицы с последующим устремлением его к нулю можно достичь любых уровней оптической плотности вплоть до бесконечности при сохранении малости мнимой компоненты. Такое поведение напоминало бы ситуацию, которая реализуется в металлах, у которых в области частот ниже частоты плазменных колебаний показатель преломления становится мнимой величиной.

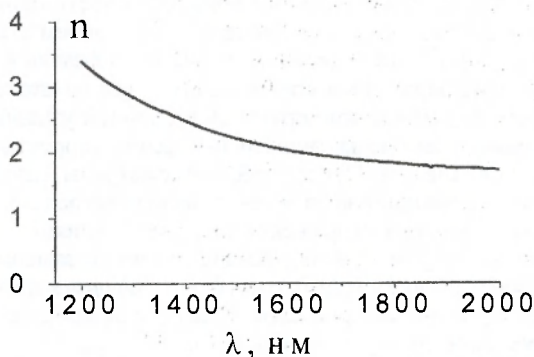


Рисунок 2 — Спектральная зависимость вещественной части показателя преломления иттриевого феррограната.

Естественно, что для повышения точности обработки результатов по представленной методике, целесообразно применять образцы с наиболее малым уровнем поглощения, которое можно реализовать либо за счет ма-