

## ТЕХНИКА ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРАЛЬНЫХ И МАТЕРИАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТОНКИХ ПЛЕНОК ЖИГ

© 2012 И.С. Паняев, Д.Г. Санников

Ульяновский государственный университет

Поступила в редакцию 20.11.2012

В статье представлены результаты измерений спектральных характеристик тонких плёнок железиттриевого граната (ЖИГ), выполненных на модернизированном аппаратно-измерительном комплексе на основе монохроматора МДР-23У. Отработаны экспериментальные методики измерений параметров тонких плёнок ЖИГ с использованием интерференционного микроскопа, метода угла Брюстера и поляризационного микроскопа Jeparol фирмы «Zeiss».

Ключевые слова: спектроскопия, тонкие плёнки, железиттриевый гранат (ЖИГ)

В настоящее время наблюдается интерес к исследованиям оптических свойств материалов на основе железо-иттриевого граната  $Y_3Fe_5O_{12}$  (ЖИГ), которые могут использоваться не только для создания пассивных и активных интегрально-оптических устройств - поляризационных фильтров, модуляторов, магнитооптических систем памяти и т.д. [1,2], но и служить основой для композитных наноструктур нового типа [3]. Исходя из этого, остро стоит вопрос о способах и методах исследований спектральных и магнитооптических характеристик данных сред.

Данная статья посвящена развитию методики измерений спектральных характеристик на модернизированном экспериментальном аппаратно-измерительном комплексе (АИК) на основе монохроматора МДР-23У, а также разработке техники измерений параметров тонких плёнок ЖИГ.

Принцип работы АИК показан на рис. 1. Белый свет от волоконно-оптического осветителя ОВС-1 падает на входную щель монохроматора ( $S = 1$  мм), затем монохроматический пучок проходит через образец и фокусируется линзой на светочувствительной площадке фотоэлемента ФД-24К. Далее электронный сигнал с фотодиода поступает на цифровой вольтметр В7 16А. После выхода с канала общего пользования (КОП) вольтметра сигнал проходит через плату сопряжения и поступает на LPT-порт компьютера, где с помощью специально написанной на языке Pascal программы отображается на мониторе с точностью до третьего знака после запятой.

Измерения проводились в полуавтоматичес-

ком режиме с последующей обработкой результатов и построением спектральных характеристик образцов. Сначала измерялся спектр без образца (оптического канала с воздухом), затем спектры образцов в тех же самых условиях. Влияние окружающего света снижалось до минимума непрозрачным кожухом.

В качестве объектов исследования были выбраны эпитаксиальные плёнки монокристаллического железо-иттриевого граната  $Y_3Fe_5O_{12}$  (вставка на рис. 2.) разной толщины на ГГГ-подложке ( $Gd_3Ga_5O_{12}$ ) с известным показателем преломления ( $n = 1,97 \pm 0,01$  при  $\lambda = 0,633$  мкм).

Был использован сравнительный метод, в котором значения коэффициентов пропускания и оптической плотности рассчитывались по формулам:

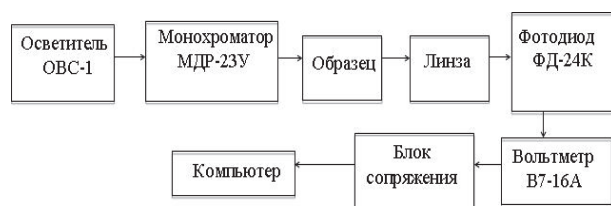
$$D = \log_{10}\left(\frac{U_0}{U}\right), P = \frac{U}{U_0} 100\%$$

где  $U_0$  и  $U$  – значения напряжений, соответствующие пустому оптическому каналу и каналу с образцом.

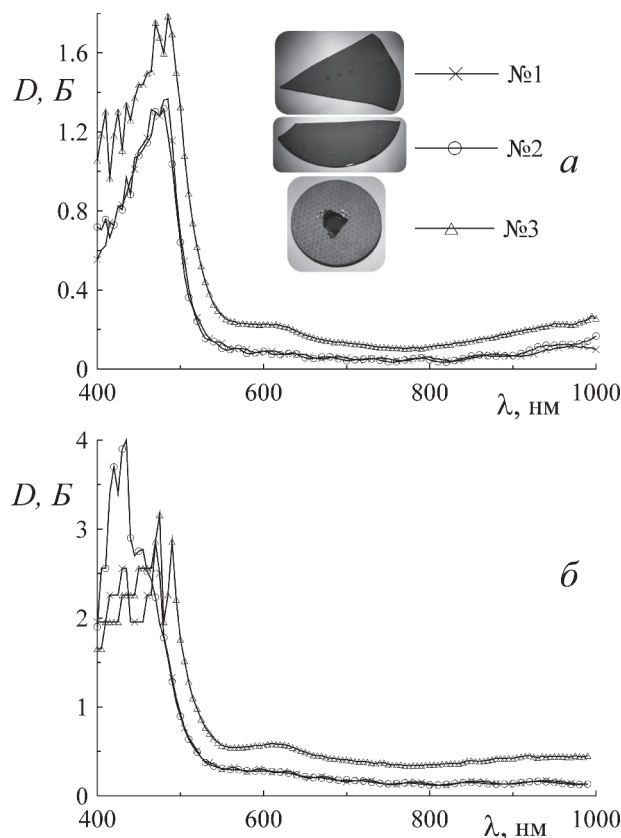
На рис. 2 и 3 представлены спектры оптической плотности и спектры пропускания для первого, второго и третьего образцов тонких плёнок ЖИГ различной толщины в диапазоне 400 – 1000 нм, полученные с помощью АИК (рис. 2а и 3а), а также спектры тех же самых образцов, измеренных на фотометре КФК-3 (рис. 2б и 3б) в диапазоне длин волн 400 – 1000 нм. Осциллирующий характер спектральных зависимостей коэффициента пропускания и оптической плотности свидетельствует о наличии явления интерференции во всех трех тонкоплёночных образцах ЖИГ. Особенностью обоих рисунков является то, что осциллирующий характер спектральных кривых 3-го образца менее выражен, что может быть объяснено меньшей толщиной плёнки ЖИГ на этом образце.

*Паняев Иван Сергеевич, аспирант кафедры радиофизики и электроники инженерно-физического факультета высоких технологий. E-mail: katzarin@rambler.ru*

*Санников Дмитрий Германович, доктор физико-математических наук, доцент кафедры радиофизики и электроники инженерно-физического факультета высоких технологий. E-mail: sannikov-dg@yandex.ru*



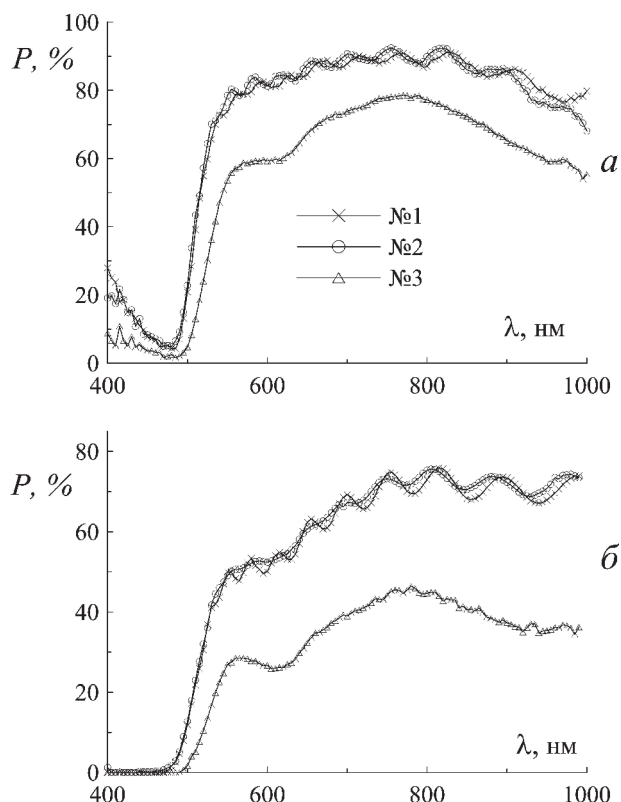
**Рис. 1.** Блок-схема измерительной установки для исследования спектров пропускания образцов



**Рис. 2.** Спектры оптической плотности, полученные с помощью монохроматора МДР 23У (а) и спектрофотометра КФК-3 (б) для трёх образцов (вставка на рис. а)

Значения оптической плотности, полученные на КФК 3 (рис. 2б), выше снятых на установке с МДР-23У (рис. 2а) в среднем на 0,4 Б. Это быть связано с неточной калибровкой сигнала измерительной установки с МДР-23У, различными по мощности и спектрам излучения источниками света, используемыми в установке с МДР 23У и в КФК 3, а также ненадёжной фиксацией положения образцов относительно падающего пучка света.

Как видно из рис. 3, значения коэффициентов пропускания, полученные с помощью МДР 23У (рис. 3а), в среднем на 20% выше значений, полученных с помощью КФК-3, а для образца №3 отличие достигает 25%, что можно объяснить указанными выше причинами. Наибольшее сближение спектров пропускания и оптической плотности, снятых на разных установках, наблю-



**Рис. 3.** Спектры коэффициента пропускания, полученные с помощью монохроматора МДР 23У (а) и спектрофотометра КФК-3 (б) для трёх образцов (вставка на рис.а)

дается для 1-го и 2-го образцов в диапазонах 945 – 990 нм и 490 – 510 нм (рис. 3а, б). Оценка толщин образцов с помощью интерференционного метода регистрации интенсивности от длины волны [4] по спектрам на рис. 3 не дало адекватного результата, поскольку сам метод пригоден лишь для вычисления толщины тонких плёнок более 1 мкм.

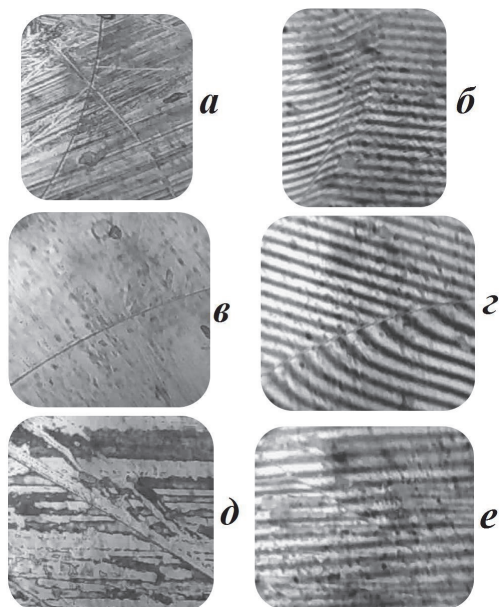
В частности поэтому мы проводили измерения толщин пленок образцов на микроинтерферометре МИИ-4, работающем на принципе двулучевой интерференции и использовании отраженного света (рис. 4), и позволяющему находить величины шероховатости пленки в диапазоне 0,1-0,8 мкм. Для исследуемых образцов были получены значения толщин  $h$ , приведённые в табл. 1. Погрешность измерения толщин составила  $\pm 0,004$  мкм.

Для измерения показателей преломления образцов использовалась метод угла Брюстера, для чего на базе гониометра Г-5 была собрана экспериментальная установка, показанная на рис. 5.

Лазерный пучок с длиной волны  $\lambda = 0,550$  мкм, проходя через призму Николя, раздваивается на обыкновенный (отклонившийся) с ТЕ-поляризацией и необыкновенный (прошедший прямо) с ТМ-поляризацией. Затем пучок с ТМ-поляризацией отражается от поверхности образца и попадает на фотоприёмник. При угле падения на образец, равном углу Брюстера  $\theta_B$ , от-

**Таблица 1.** Измеренные толщины пленок ЖИГ

№ образца	1	2	3
h, мкм	0,387	0,338	0,175



**Рис. 4.** Фотографии исследуемых образцов снятые с помощью МИИ-4 (а, в и д – структура на границе «пленка-подложка» образцов №1, 2 и 3 соответственно, б, г и е – наблюдаемая интерференционная картина)

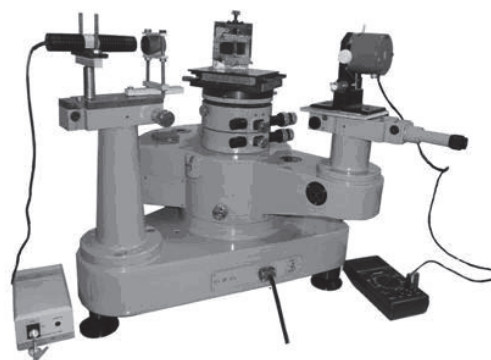
ражённый пучок испытывает сильное затухание, т.к. исчезает ТМ-поляризация. По формуле

$$n = \operatorname{tg}\theta_B$$

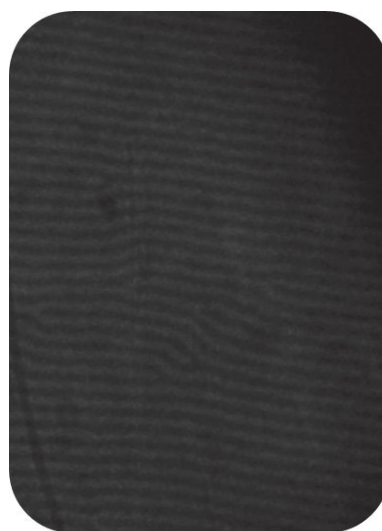
были вычислены показатели преломления для 1-го и 2-го образца ( $n_1 = n_2 = 2,475 \pm 0,100$ ). Высокая погрешность вызвана неточностью самого метода, т.к. затухание отражённого пучка проявляется не резко, а постепенно и в определённом диапазоне углов. Поэтому точно определить угол Брюстера таким методом не представляется возможным, а значение тангенса угла при углах  $> 60$  градусов меняется очень резко, что также вносит свой вклад в конечную погрешность.

В каждом образце с помощью поляризационного микроскопа Jenapol фирмы “Carl Zeiss” наблюдалась лабиринтарная доменная структура. В качестве примера на рис. 6 приведена фотография доменной структуры плёнки ЖИГ.

Отработанные методики и созданные аппаратно-программные средства позволяют проводить исследования спектров пропускания тонкопленочных образцов, в частности, пленок ЖИГ, в видимой и ближней инфракрасной области спектра вплоть до 1000 нм, а также изучать поверхностную



**Рис. 5.** Установка для измерения угла Брюстера



**Рис. 6.** Доменная структура тонкой плёнки ЖИГ в отсутствие внешнего магнитного поля

структуру пленок и ее материальные параметры. Предполагается развивать описанную технику исследований для изучения магнитооптических параметров многослойных композитных наноструктур, содержащих, в частности, феррит-гранаты и полупроводниковые слои.

*Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг., мероприятие 1.2.1, заявки 14.B37.21.0772 и 14.B37.21.1081.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гижевский Б.А. и др. Оптические и магнитооптические свойства наноструктурного железо-иттриевого граната // Физика твердого тела. 2009. Т.51. Вып. 9. С.1729-1734.
2. Махнёв А.А., Гижевский Б.А., Номерованная Л.В. Оптические спектры нанокерамик железо-иттриевого граната  $Y_3Fe_5O_{12}$ , полученных методом интенсивной пластической деформации // Письма в ЖЭТФ. 2010. Т.91. Вып. 2. С. 85-88.
3. Eliseeva S.V., Sannikov D.G., Sementsov D.I. Anisotropy, gyrotropy and dispersion properties of the periodical thin-layer structure of magnetic-semiconductor // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2010.

V.322. Is.23. P.3807–3816.  
4. Элементы и устройства на цилиндрических магнит-

ных доменах. Справочник [под ред. Н. Н. Евтихиева,  
Б. Н. Наумова]. Москва. Радио и связь, 1987. 488 с.

**SPECTRAL MEASUREMENT TECHNIQUE  
AND MATERIAL PARAMETERS YIG THIN FILMS**

© 2012 I.S. Panyaev, D. G. Sannikov

Ulyanovsk State University

The results of measurements of the spectral characteristics of thin films of yttrium iron garnet (YIG) are presented, performed on a modernized hardware and test system based on the monochromator MDR-23U. The experimental measurement techniques of parameters of YIG thin films are practiced using interference microscopy, the Brewster angle method and polarization microscope Zeiss.

Keywords: spectroscopy, thin films, yttrium iron garnet (YIG)

---

*Ivan Panyaev, Graduate Student at the Radio Physics and  
Electronics Engineering Department and Physics Faculty of High  
Technology. E-mail: katzarin@rambler.ru*

*Dmitry Sannikov, Doctor of Physical and Mathematical  
Sciences, Associate Professor at the Radio Physics and  
Electronics Department, Engineering and Physics Faculty of  
High Technology. E-mail: sannikov-dg@yandex.ru*