

- [1] Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В. // Фоточувствительные электрооптические среды в голографии и оптической обработке информации. Л.: Наука, 1983. 269 с.
- [2] Photorefractive Mat. and Their Appl. I. Ed. P.Günter, J.-P. Huignard Springer-Verlag. Berlin: Heidelberg. 1988. P. 295.
- [3] Huignard J.-P., Margraskhi A. // Opt. Comm., 1981. V. 39. N 4. P. 249-254.
- [4] Степанов С.И., Куликов В.В., Петров М.П. // Письма в ЖТФ. 1982. Т. 8. Вып. 9. С. 527-531.
- [5] Степанов С.И. Нестационарные механизмы голографической записи в фоторефрактивных кристаллах. В сб.: Оптическая голография с записью в трехмерных средах. Ред. Ю.Н. Денисюк. Л.: Наука, 1986. С. 17-30.

Поступило в Редакцию
18 августа 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 20

26 октября 1989 г.

05.2; 09; 11

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ИОНОИМПЛАНТИРОВАННОГО СЛОЯ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ФЕРРИТ-ГРАНАТОВЫХ ПЛЕНОК

О.В. И л ь ч и ш и н, А.С. П а с ы н к о в,
Ю.Н. П и м е н о в

Ионная имплантация (ИИ) эпитаксиальных феррит-гранатовых пленок (ЭФПГ) служит эффективным средством подавления „жестких“ ЦМД, а также используется в технологии создания доменопроводящих схем и устройств на спиновых волнах [1]. Важной характеристикой имплантированного слоя (ИС) ЭФПГ является его однородность. Считается, что профиль концентрации внедренных ионов при ИИ и соответствующий ему профиль дефектов ИС являются асимметрично колоколообразным [2]. Однако существует ряд экспериментальных результатов [3-5], указывающих на наличие в ИС субслоев с характерным профилем распределения магнитных дефектов. В [3-5] профиль ИИ исследовался методом ФМР при ступенчатом высокотемпературном травлении ИС. Высокотемпературное травление, однако, приводит к термодиффузии магнитных дефектов к поверхности ИС и, как следствие, к увеличению скорости его травления, что искажает истинный профиль индуцированных в результате ИИ дефектов. Кроме того, в методе ФМР исследование маг-

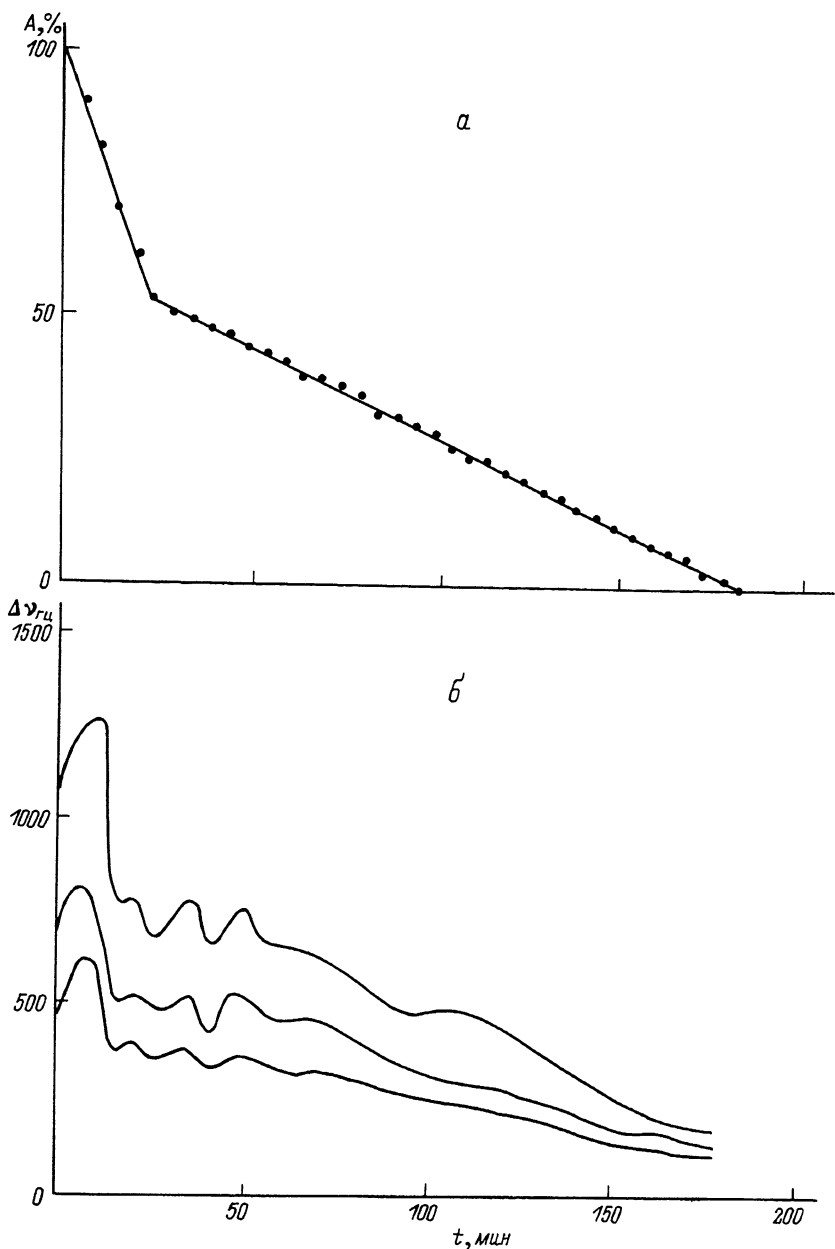


Рис. 1. а - зависимость коэффициента оптического поглощения $A\%$ ИИ ЭФПГ от времени низкотемпературного травления t ; б - зависимость максимума восприимчивости ИС от времени травления. $\Delta\nu$ - разность частот между измерительным и опорным генераторами, пропорциональная $\chi_{ИС}$.

нитных дефектов ИС проводится в магнитных полях, сравнимых с полями одноосной анизотропии ЭФГП и полями перемагничивания магнитных дефектов, что несомненно понижает его информационные характеристики. В этой связи особенности ИИ требуют экспериментальных исследований ИС при низкотемпературном травлении и с применением методик, дополняющих метод ФМР. Целью данной работы было экспериментальное исследование ИС ЭФГП методами оптического поглощения и низкочастотной магнитной восприимчивости при низкотемпературном травлении и сравнение полученных результатов с результатами теоретического расчета профиля распределения дефектов ИС в рамках модели независимых рассеивателей. Исследования проводились на ЭФГП состава $Y_{1.25}Eu_{0.3}Ga_{0.55}Ge_{0.85}Fe_{4.15}O_{12}$ с параметрами: толщина $h = 2,9$ мкм, период полосовых доменов $P_0 = 2,9$ мкм, поле коллапса $H_0 = 158$ Э, поле одноосной анизотропии $H_A = 1315$ Э. Пленка имплантировалась ионами Ne^{2+} с дозой $D = 80$ мкКл и энергией $E = 150$ кэВ.

Измерение коэффициента оптического поглощения A ИИ ЭФГП проводилось по стандартной двухлучевой методике на спектрофотометре „*Specord*“. ИС ЭФГП травлился в специальной кювете с ортофосфорной кислотой при температуре $T = 50$ °С. Термостабильность измерений составляла $\Delta T = +0,05$ °С. Максимум амплитуды A измерялась на частоте $21 \cdot 10^3$ см⁻¹ через каждые пять минут после начала травления. На рис. 1, а приведена зависимость $A = f(t)$ от времени травления. После 180 минут непрерывного травления оптическое поглощение от ИС не наблюдается. Из рис. 1, а видно, что после 25 минут травления наблюдается излом на графике зависимости $A = f(t)$, что указывает на снятие при травлении структурного подслоя ИС, содержащего более высокую по сравнению с основным объемом ИС концентрацию радиационных дефектов, либо содержащую дефекты иного (по спектрам оптического поглощения) типа. Такие дефекты могут быть обусловлены преимущественным смещением ионов кислорода и железа в элементарных ячейках ЭФГП в верхнем подслое ИС.

Степень однородности ИС исследовалась при ступенчатом низкотемпературном травлении по измерению низкочастотной магнитной восприимчивости в соответствии с хорошо известной индуктивно-частотной методикой, приведенной в [2]. Амплитуда сигнала, пропорционального величине $\chi_{ИС}$ ИС, измерялась в скрещенных магнитных полях $H_1 = H_0$, $H_{II} = 20-40$ Э вдоль каждой из трех проекций кубических осей ЭФГП на плоскость [111]. Полученные зависимости $\chi_{ИС} = f(t)$ для трех ориентаций приведены на рис. 1, б, из которого следует, что зона наиболее выраженного магнитного разупорядочения ИС, характеризуемая максимальным значением $\chi_{ИС} = f(t)$ [6], лежит вблизи его поверхности. После 20 минут травления амплитуда $\chi_{ИС}$ падает в 1,5 раза. Различие в амплитудах для трех ориентаций указывает на магнитную неэквивалентность проекций кубических осей ИС, что, вероятно, связано с эффектами каналирования при ИИ. Однако качественно совпадающий характер зависимостей $\chi_{ИС} = f(t)$ для всех трех ориентаций несомненно обусловлен

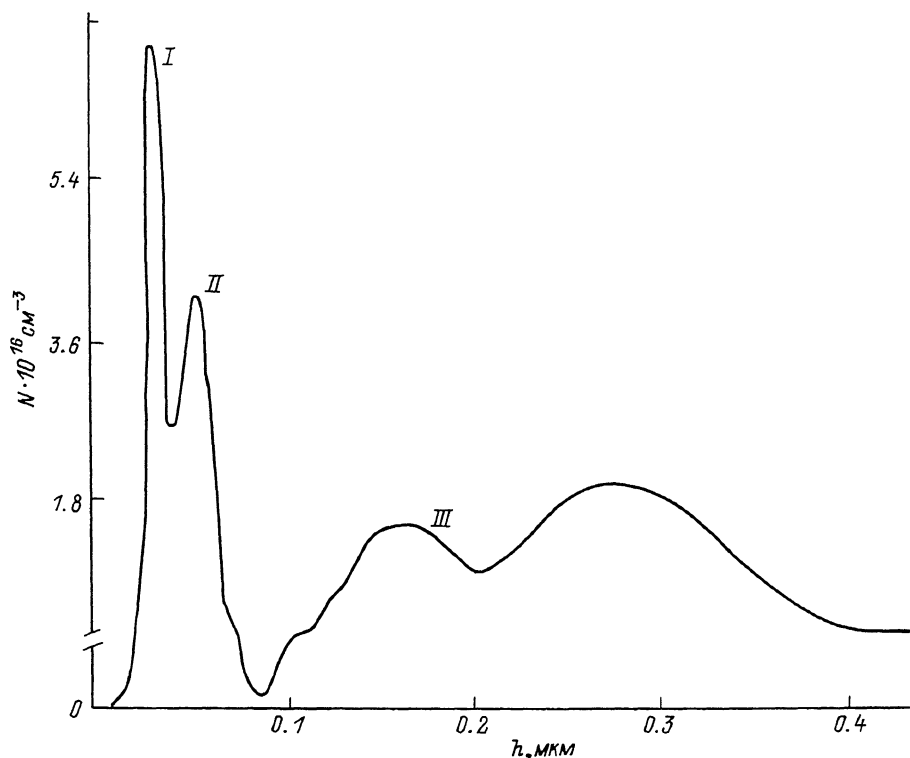


Рис. 2. Расчетный профиль ИИ ЭФП в модели НР.

общей закономерностью распределения радиационных дефектов по глубине ИС. Наличие пиков на зависимостях $x_{ИС} = f(t)$ можно связать с существованием структурных субслоев ИС ЭФП, что подтверждает данные по оптическому поглощению (рис. 1, а).

Для возможного объяснения существования субслоев ИС нами предложена следующая модель [7]. В процессе ИИ на статистическую картину нормального распределения радиационных дефектов накладывается статистическое распределение точечных дефектов, возникающее при смещении структурных единиц элементарных ячеек ЭФП как независимых рассеивателей (НР). Рассеяние имплантированных ионов на ансамблях НР приводит к формированию профиля имплантации для данного НР. Результирующий профиль имплантации совокупности НР будет в первом приближении суперпозиционным. Если считать профиль рассеяния на всех НР гауссовым, то результирующий профиль будет

$$N(z) = \sum_i \frac{D}{\sqrt{2\pi} \Delta R_i} \exp \left\{ -\frac{(z - R_i)^2}{2\Delta R_i^2} \right\}. \quad (1)$$

Здесь $N(z)$ – концентрация примесного иона в точке z ИС, D – доза имплантации, R_i и ΔR_i – проекции среднего пробега и дисперсии имплантированного иона при рассеянии на i -м НР. Величина R_i и ΔR_i рассчитывались в соответствии с теорией Линхарда [8] для электронного торможения. В R_i и ΔR_i аддитивно учитывался вклад упругого рассеяния на ядре НР [8]. Полученные расчетные формулы имеют вид

$$R = \frac{1}{k\delta} \int_0^{\xi} \frac{\alpha \varepsilon}{\left(\alpha \varepsilon^{1/2} + \frac{\alpha \varepsilon}{\delta + \varepsilon}\right)} d\varepsilon, \quad (2)$$

$$\Delta R = \left(\frac{1}{\sqrt{32.6} \pi^2}\right) \left(\frac{M_1 + M_2}{\sqrt{M_1 M_2}}\right) \frac{1}{n \alpha^2 \delta} \int_0^{\xi} \frac{\varepsilon d\varepsilon}{\left(\alpha \varepsilon^{1/2} + \alpha \varepsilon / (\delta + \varepsilon)\right)^2},$$

$$k = \alpha \delta M_1 / Z_1 Z_2 e^2 (M_1 + M_2), \quad (3)$$

$$\delta = 4\pi M_2 \alpha \delta Z_1 Z_2 e^2 M_1 / (M_1 + M_2),$$

$$\alpha = 3.39 m_e^{1/2} Z_1^{1/2} Z_2^{1/2} (M_1 + M_2)^{3/2} / \left[(Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3})^{3/4} M_1^{3/2} M_2^{1/2} \right],$$

$$\varepsilon = E M_2 \alpha_{\text{ТФ}} / \left[(M_1 + M_2) Z_1 Z_2 e^2 \right].$$

$$\alpha = 0.45, \quad \delta = 0.3.$$

Использованы обозначения: M_1 и M_2 – массы имплантированного иона и НР соответственно, Z_1 и Z_2 – их соответствующие атомные номера, m_e , e – масса электрона и его заряд, $\alpha \delta$ – борковский радиус, $\alpha_{\text{ТФ}}$ – радиус экранирования Томаса–Ферми, n – концентрация НР. Расчет профиля имплантации, проведенный по формулам (1), (2) для ИИ ЭФГП состава $Y_{1.25}Er_{0.55}Tm_{0.55}Gd_{0.55}Ge_{0.85}Fe_{4.15}O_{12}$ для иона Ne^{2+} , $D = 80$ мкКл, $E = 150$ КэВ приведен на рис. 2. Из рис. 2 видно наличие в профиле имплантации трех пиков, связанных с рассеянием на ионах кислорода (I), железа (II) и группе редкоземельных и диамагнитных ионов (III). Пики I и II лежат на глубине порядка 10% от толщины ИС. Сравнение полученных экспериментальных данных (рис. 1, а, б) и расчет профиля имплантации (рис. 2) в модели НР позволяет сделать вывод о наличии с ИС стратификационной структуры, которая может быть обусловлена распределением различных типов магнитных дефектов по глубине в зависимости от тормозной способности атомных рассеивателей, входящих в структурные формулы ЭФГП. Важным выводом проведенного рассмотрения является также возможное наличие радиационных дефектов вблизи поверхности ИС, обусловленных рассеянием на ионах кислорода и железа.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Э ш е н ф е л ь д е р А. // Физика и техника цилиндрических магнитных доменов. М.: Мир. 1983.

- [2] Элементы и устройства на цилиндрических магнитных доменах. Справочник / Под ред. Н.Н. Евтихеева, М.: Радио и связь, 1987.
- [3] M a d a J., A s a m a A. // J. Appl. Phys. 1979. V. 50. N 9. P. 59914.
- [4] W i l t s C.H., Z e m b z o w s k y J., K o m a n o w K. // J. Appl. Phys. 1979. V. 50. N 9. P. 5878.
- [5] A l g r a H.A., D e R o d e W., H e n - k e n s R.A., P o b e r t s o n J.M. // J. Appl. Phys. 1979. V. 50. N 3. P. 2385.
- [6] M a a r t e n s e l., S e a r l e C.W. // J. Appl. Phys. Lett. 1981. V. 34. N 1. P. 115-117.
- [7] Б о й к о А.П., И л ь ч и ш и А.П., П а с ы н к о в А.С. Тез. докл. XI Всес. школы-семинара по новым магнитным материалам микроэлектроники. Ташкент. 1988.
- [8] L i n d h a r d J., N i e l s e n V., S h a r f f M. // Mat. Fys. Med. Dan. 1968. V. 36. N 413.

Донецкий государственный
университет

Поступило в Редакцию
13 марта 1989 г.
В окончательной редакции
21 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 20

26 октября 1989 г.

07

ЗАПИСЬ И СЧИТЫВАНИЕ ТОНКИХ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ
ДИНАМИЧЕСКИХ ГОЛОГРАММ ВБЛИЗИ ГРАНИЦЫ
РАЗДЕЛА ДИЭЛЕКТРИК-ПАРЫ МЕТАЛЛА

А.Е. К о р о л е в, В.Н. Н а з а р о в,
Д.И. С т а с е л ь к о

Резонансные динамические голограммы (ДГ) представляют значительный интерес для оптической обработки низкоинтенсивных быстроменяющихся сигналов. Однако применение таких ДГ ограничивается объемным характером записи [1].

В данной работе исследованы возможности регистрации геометрически тонких резонансных ЛГ, не селективных к направлению распространения считывающего пучка. Для реализации такого свойства нами использовалась запись отражательных ДГ вблизи границы раздела диэлектрик-пары металла, применявшаяся ранее в экспериментах по фазовому сопряжению [2] и бездоплеровской спектроскопии