

- [4] W a t a n a b e J., O k u m u r a T. // Japanese Journal of Applied Physics. 1986. V. 25. N 12. P. 1851-1854.

Институт физики АН СССР,
Дагестанский филиал

Поступило в Редакцию
24 апреля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 14

26 июля 1989 г.

06.3; 07; 11

ВЛИЯНИЕ ДИФфуЗИОННОГО ОТЖИГА НА СВОЙСТВА ПЛЕНОК $(Y, Lu, Pr, Bi)_3(Fe, Ga)_5O_{12}$ С РОМБИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ

В.П. К л и н, М.В. Л о г у н о в,
Б.П. Н а м, В.В. Р а н д о ш к и н,
Ю.Н. С а ж и н, А.Г. С о л о в ь е в,
В.И. Ч а н и, А.Я. Ч е р в о н е н к и с

Перспективными материалами для магнитооптических управляемых транспарантов (МОУТ) являются монокристаллические пленки феррит-граната (МПФГ) состава $(Y, Lu, Pr, Bi)_3(Fe, Ga)_5O_{12}$ с ориентацией (210), выращенные на подложках из $(Gd, Ca)_3(Zr, Mg, Ga)_5O_{12}$ [1]. Информационные ячейки МОУТ можно создать с помощью локального диффузионного отжига в присутствии восстанавливающего агента [2-4].

В настоящей работе изучено влияние диффузионного отжига в присутствии кремния на свойства вышеуказанных пленок. Типичные параметры МПФГ толщиной $h = 7.8$ мкм до и после отжига приведены в таблице. Отжиг приводит к снижению намагниченности насыщения $4\pi M_s$ примерно в 2 раза, при этом период полосовых доменов P_0 возрастает примерно в 3 раза. Удельное фарадеевское вращение θ_F увеличивается на 10%, что коррелирует с повышением содержания железа в октаэдрической (а-) подрешетке структуры граната. Отжиг приводит к „просветлению“ пленок в видимом диапазоне, а в ближнем инфракрасном диапазоне коэффициент оптического поглощения несколько возрастает (см. таблицу).

В процессе диффузионного отжига имеет место миграция катионов между подрешетками граната в направлении увеличения доли более равновесных ионов [5, 6] для каждой подрешетки. В частности, миграция ионов Fe^{3+} и Ga^{3+} полностью связана с их перемещением между окта- (а-) и тетраэдрической (d-) подрешетками, причем (поскольку радиус Fe^{3+} больше, чем у Ga^{3+}) их перераспределение идет в направлении увеличения доли Fe^{3+} в а- и Ga^{3+} в d- подрешетках соответственно.

Параметры МПФГ до и после отжига

Параметр	До отжига	После отжига
Период полосовых доменов P_0 , мкм	21.5	64
Поле коллапса ЦМД, H_0 , Э	41	8.5
Температура Нееля, T_N , °С	132	131
Удельное фарадеевское вращение, θ_F на длине волны $\lambda = 633$ нм, град/мкм	1.65	1.82
Коэффициент оптического поглощения при $\lambda = 875$ нм, см^{-1}	332	412

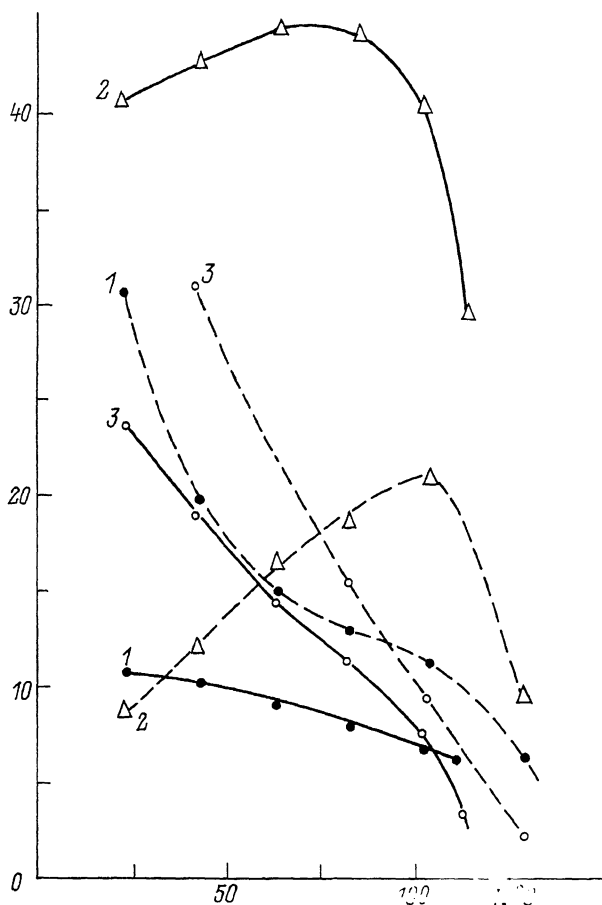


Рис. 1. Температурные зависимости статических магнитных параметров до (сплошные линии) и после (пунктирные линии) отжига: 1 - $P_0 \times 0.5$ мкм; 2 - H_0 , Э; 3 - $H_k \times 0.01$ Э.

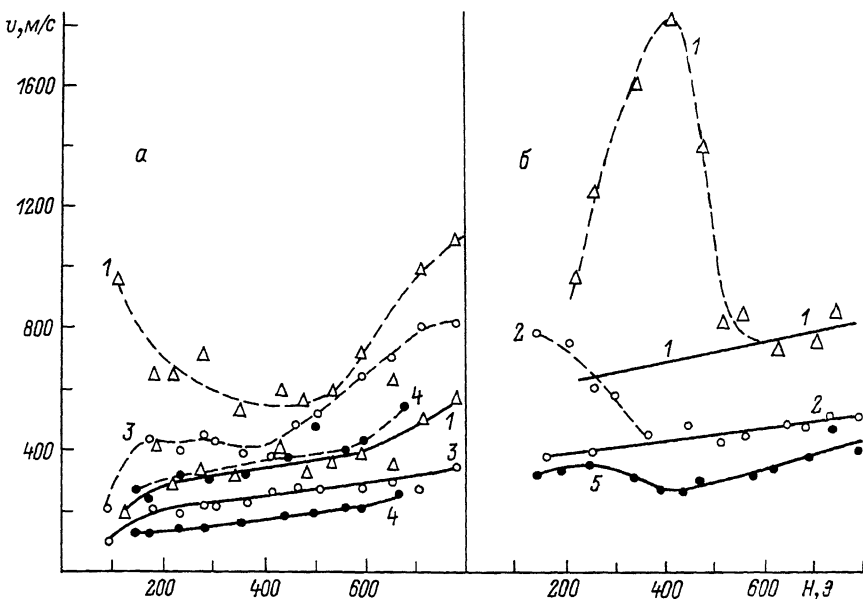


Рис. 2. Зависимости максимального (пунктирные линии) и минимального (сплошные линии) значений скорости ДС от действующего магнитного поля до (а) и после (б) отжига при разной температуре T , °С: 1 - 24, 2 - 57, 3 - 65, 4 - 90, 5 - 95.

Что касается миграции между окта- и додекаэдрической (с-) подрешетками в процессе отжига, то, исходя из того же размерного фактора [5, 6], единственными участниками такого процесса для исследуемых МПФГ следует считать только ионы Y^{3+} и Lu^{3+} , причем Lu^{3+} переходят в а-подрешетку, а Y^{3+} - в с-подрешетку. В общем случае все редкоземельные элементы в таких МПФГ должны были бы расположиться в с-подрешетке. Но это привело бы к дефициту катионов в а-подрешетке и к нарушению структурной однородности граната вплоть до образования включений второй фазы (вероятнее всего, ортоферрита), чего, однако, не наблюдалось.

Миграция ионов между d - и с-подрешетками маловероятна ввиду большого различия размеров соответствующих пустот в кислородной упаковке структуры граната.

Таким образом, диффузионный отжиг переводит МПФГ в более равновесное структурное состояние.

О параметрах магнитной анизотропии судили по величине минимального планарного магнитного поля $H_{пл}^*$, которое приводит к исчезновению контраста доменной структуры (значение этого поля зависит от его ориентации в плоскости образца). Его минимальное значение до отжига составляло 2,4 кЭ, а после отжига превышало 3,5 кЭ.

На рис. 1 приведены температурные зависимости статических магнитных параметров МПФГ до и после отжига. Для отожженной

пленки характерна более сильная зависимость параметров от температуры, обусловленная близостью точки компенсации магнитного момента (КММ) к комнатной температуре. В свою очередь изменение температуры КММ вызвано перераспределением ионов галлия между подрешетками граната в процессе отжига, в результате чего магнитный момент а-подрешетки возрастает, а d-подрешетки уменьшается.

Динамику доменных стенок в МПФГ исследовали методом высокоскоростной фотографии с временным разрешением ~ 5 нс и пространственным разрешением ~ 1 мкм. Типичные результаты измерений, приведенные на рис. 2 для нескольких значений температуры T , показывают, что зависимость скорости доменных стенок (ДС) v от действующего магнитного поля H является весьма сложной. В отличие от пленок, не обладающих ромбической анизотропией [4], отжиг исследуемых МПФГ приводит к увеличению скорости ДС. Это коррелирует с уменьшением $4\pi M_S$, как следствием роста эффективного поля ромбической анизотропии. При этом наблюдается значительная анизотропия скорости ДС (на рис. 2 сплошные линии относятся к минимальной скорости ДС в плоскости пленки, пунктирные — к максимальной), причем домен имеет каплеобразную форму. С ростом температуры скорость ДС снижается. В неотожженной пленке в диапазоне полей $H = 50-200$ Э (рис. 2, а) наблюдается неустойчивость движущейся ДС. Для этой неустойчивости („выброса“) характерно резкое несимметричное увеличение (в 3-5 раз) скорости ДС вдоль некоторого направления в пленке, причем оно не повторяется от импульса к импульсу. Этот эффект близок к описанному в [7, 8]. Более ярко он проявляется в пленке, подвергнутой диффузионному отжигу (рис. 2, б), где скорость „стабильной“ ДС $v \approx 0.6$ км/с, а для отдельных „выбросов“ она достигает ~ 2 км/с. С увеличением температуры диапазон полей, в котором наблюдаются „выбросы“, смещается в сторону меньших полей, а при $T \gtrsim 100$ °С „выбросы“ не наблюдаются (рис. 2, б). Следует отметить, что в полях выше этого диапазона анизотропия скорости ДС, в отличие от неотожженной пленки, отсутствует (расширяющийся ЦМД имеет круговую форму).

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Васильева Н.В., Клини В.П., Кузнецов И.А., Нам Б.П., Рандошкин В.В., Сигаичев В.Б., Чани В.И., Червоненкис А.Я. Носитель информации МОУТ с повышенным быстродействием переключения информационных ячеек. Тезисы докладов XI Всесоюзной школы-семинара: Новые магнитные материалы микроэлектроники. Ташкент, 1988, с. 300-301.
- [2] Клини В.П., Нам Б.П., Павлов В.Т., Соловьев А.Г., Тюменцева С.И. // Электронная техника. Сер. Материалы. 1981. № 12. С. 20-22.

- [3] Р ан до ш ки н В.В., Ры ба к В.И., Си га че в В.Б., Ч а ни В.И., Чер в он ен ки с А.Я. // Микроэлектроника, 1986. Т. 15. В. 1. С. 16-24.
- [4] Гу ба ре в А.П., Р ан до ш ки н В.В., Си га че в В.Б., Чер в он ен ки с А.Я. // ЖТФ. 1985. Т. 55. В. 7.С. 1393-1399.
- [5] Ч а ни В.И. // ЖТФ. 1986. Т. 56. В. 1. С. 193-195.
- [6] Ч а ни В.И. В кн.: Элементы и устройства на ЦМД и ВВЛ. М.: Ин-т электронных управляющих машин, 1987. С. 9.
- [7] Ло гу но в М.В., Р ан до ш ки н В.В. // ФТТ. 1986. Т. 28. В. 5. С. 1559-1562.
- [8] Ли со вс ки й Ф.В., Ло ги но в А.С., Не по ко й-чи ц ки й Г.А., Ро за но ва Т.Б. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 45. В. 7. С. 339-342.

Институт общей физики АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
20 апреля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 14

26 июля 1989 г.

01; 07; 10

НЕЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ ЭФФЕКТА КОГЕРЕНТНОГО СВЕРХИЗЛУЧЕНИЯ ДВИЖУЩЕГОСЯ СЛОЯ ВОЗБУЖДЕННЫХ ЦИКЛОТРОННЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

Н.С. Г и н з б у р г, И.В. З о т о в а

1. В квантовой электронике известен эффект сверхизлучения (когерентного спонтанного излучения) Дике [1-3], при котором ограниченный образец, состоящий из инвертированных двухуровневых систем, в результате развития индуцированных процессов (диссипативной неустойчивости [3]) излучает короткий электромагнитный импульс с длительностью много меньшей времени релаксации. В работах [4-7] показано, что классическим аналогом описанного эффекта может служить излучение пространственно-локализованных ансамблей электронов-осцилляторов в условиях, когда в пренебрежении столкновениями время взаимодействия частиц с электромагнитным полем можно считать бесконечным. Это могут быть ансамбли электронов, захваченные в магнитной ловушке [5], сгустки электронов, движущиеся в свободном пространстве [4, 6] и т.д. В последнем случае при поступательной скорости электронов близкой к скорости света частота излучения в направлении движения электронов благодаря эффекту Доплера может существенно превосходить частоту их осцилляции и возможно получение когерентного коротковолнового излучения в отсутствие внешней обратной связи (например, в диапазонах, где реализация эффективных отражателей затруднена).