

- [3] Борисова М.Э., Койков С.Н., Морозов С.Ф. // Изв. вузов, Физика. 1974. № 6. С. 104-110.
- [4] Борисова М.Э., Койков С.Н., Парибок В.А., Фомин В.А. В сб.: Всес. конф. „Физ. диэлектриков и перспективы ее развития“. Л., т. 2, 1973. С. 134-135.
- [5] Громов В.В. // Атомная энергия. 1969. Т. 26. С. 250-254.
- [6] Такаи У., Наюасе У., Mizuta-ni Т., Ieda М. // J. Phys. D. 1986. V. 19. P. 115-125.

Поступило в Редакцию  
2 июля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 4  
05

26 февраля 1989 г.

### ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРАНАТОВ НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРИ ОТЖИГЕ

А.К. Ткалич, М.Л. Шупегин

Обнаружено [1, 2], что отжиг в восстановительной среде при 570-720 К легированных Са пленок  $Y_3Fe_5O_{12}$  сопровождается увеличением параметра кристаллической решетки и снижением коэффициента оптического поглощения в видимой и ближней инфракрасной области спектра, которое авторы объясняли уменьшением концентрации центров  $Fe^{4+}$  компенсирующих заряд  $Ca^{2+}$ . Однако недавно установлено [3], что подобный эффект имеет место и в Са-Ge-замещенном гранате на основе  $Y_3Fe_5O_{12}$  с концентрацией Са выше стехиометрической, но при более низкой температуре отжига

520-540 К. Несмотря на достаточно большое число публикаций, касающихся влияния отжига на свойства гранатов, этот эффект остается мало изученным. Вместе с тем, этот вопрос чрезвычайно актуален, т. к. сильное изменение свойств материала наблюдается при достаточно низких температурах, широко используемых при создании твердотельных микроэлектронных устройств.

В настоящей работе проведены исследования кинетики активируемых отжигом обратимых процессов в эпитаксиальных пленках магнитного граната с концентрацией Са выше стехиометрической. Изучены закономерности изменения коэффициента оптического поглощения в видимой части спектра, параметра решетки и удельного сопротивления пленок в широком интервале температур отжига и выявлен ряд особенностей, позволяющих установить природу этого эффекта.

Эпитаксиальные пленки, имеющие общую химическую формулу:  $(Bi, Y, Sm, Lu, Gd, Ca)_3(Fe, Si)_5O_{12}$  толщиной от 1.5 до 4.5 мкм выращивались методом жидкофазной эпитаксии

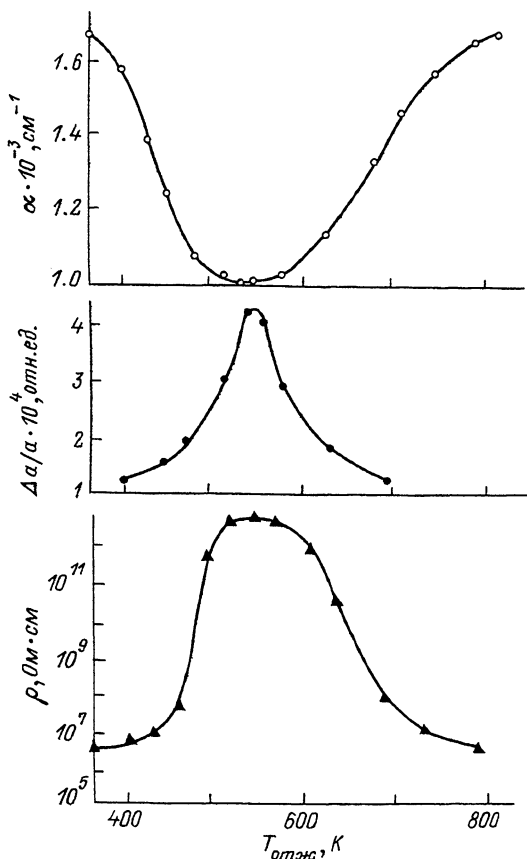


Рис. 1. Зависимость коэффициента поглощения на длине волны 630 нм, величины несоответствия параметров решетки эпитаксиальной структуры и удельного сопротивления от температуры отжига.

на подложках ГГГ ориентации (111). Измерения величины несоответствия параметров решетки подложки и пленки проводились на рентгеновском двухкристальном спектрометре. При использовании излучения  $\text{SiK}\alpha_1$  и высокоуглового отражения (888) точность определения величины несоответствия  $\Delta a/a$  составила  $8 \cdot 10^{-6}$ . Величина параметра решетки подложки контролировалась до и после отжига методом Бонда с точностью  $\pm 10^{-4}$  Å. Коэффициент оптического поглощения ( $\alpha$ ) определялся по величине пропускания образцов на длине волны 630 нм. Поправка на отражение рассчитывалась по данным работы [4]. Удельное сопротивление ( $\rho$ ) контролировалось двухзондовым методом [5] с точностью  $\pm 10\%$ . Отжиг образцов эпитаксиальных структур проводился на воздухе в интервале 350–800 К, контроль и поддержание температуры автоматические, точность  $\pm 1$  К. Образцы загружались в предварительно

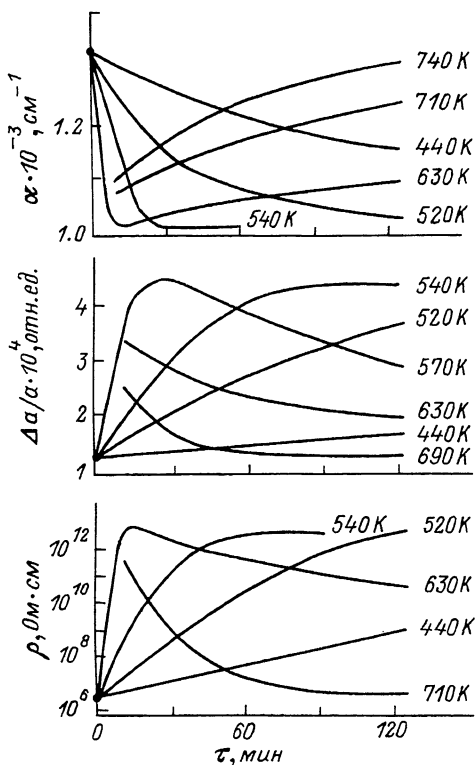


Рис. 2. Временные зависимости параметров эпитаксиальной пленки при различных температурах отжига. Толщина пленки 2.1 мкм.

нагретую до заданной температуры камеру, а после выдержки выгружались и остывали на воздухе до комнатной температуры. Все измерения проводились при комнатной температуре.

На рис. 1 представлены кривые „параметр–температура отжига”. Длительность выдержки при каждой из температур составляла 2 часа. Экстремальные значения  $\alpha$ ,  $\Delta\alpha/\alpha$  и  $\rho$  наблюдаются при температуре отжига  $535 \pm 5$  К. Контроль параметра решетки подложки не выявил изменений его величины после отжига. Особенностью приведенных зависимостей является инверсия знака изменения параметров. При этом число циклов практически обратимых изменений доводилось нами до десяти на одном и том же образце. Исследование кинетики наблюдавшегося эффекта проводилось в серии коротких (10–20 мин), изотермических отжигов для ряда температур. При проведении эксперимента общее время нагрева и охлаждения образцов составляло не более 15 % от времени выдержки. Результаты измерений, представленные на рис. 2, свидетельствуют о наличии

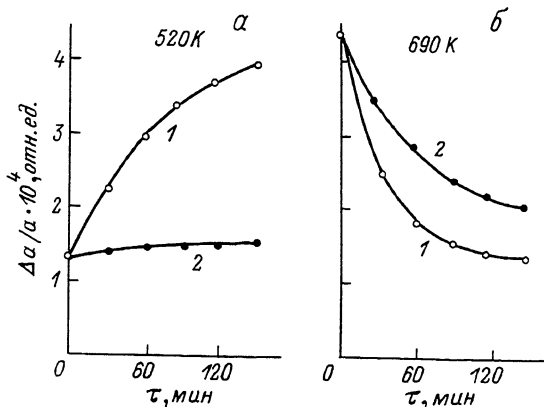


Рис. 3. Влияние защитного слоя на скорость прямого (а) и обратного (б) процессов изменения  $\Delta a/a$ : 1 – пленка без защитного слоя, 2 – со слоем  $SiO_2$  0.4 мкм.

двух процессов, скорости которых зависят от температуры и времени отжига. Процесс, доминирующий при температурах до 540 К и вызывающий увеличение  $\rho$ ,  $\Delta a/a$  и снижение  $\alpha$ , можно назвать прямым. Обратный процесс доминирует при температурах отжига свыше 570 К и приводит к восстановлению исходного значения параметров. Существенное влияние на кинетику этих процессов оказывает поверхность эпитаксиальной пленки. На рис. 3 показано влияние наличия слоя  $SiO_2$ , толщиной 0.4 мкм на поверхности образца на характер изменения  $\Delta a/a$  в прямом и обратном процессах. Защитный слой практически полностью подавляет первый из них и лишь немного замедляет второй. Отжиг в вакууме  $10^{-3}$  Торр этого же образца без слоя  $SiO_2$  приводит к возрастанию скорости изменения  $\Delta a/a$  по сравнению с результатами его термообработки на воздухе. С помощью рентгеновского двухкристального спектрометра обнаружено две стадии увеличения параметра решетки пленки магнитного граната в прямом процессе. На рис. 4 показана динамика кривой дифракционного отражения эпитаксиальной структуры в серии коротких отжигов при 525 К. На первой стадии образуется поверхностный слой (на рисунке обозначен стрелкой) с увеличенным параметром и по мере возрастания времени изотермической выдержки его толщина растет. Вторая стадия начинается после того, как граница поверхностного слоя достигнет подложки и характеризуется равномерным увеличением параметра всей пленки.

Полученные результаты указывают на то, что при температурах отжига свыше 350 К эпитаксиальная пленка  $Ca-Si'$ -замещенного граната теряет кислород. Это приводит к возрастанию концентрации вакансий в приповерхностной области и их диффузии в глубь пленки. Скорость диффузии вакансий можно оценить по скорости движения границы поверхностного слоя. При 525 К она составляет около

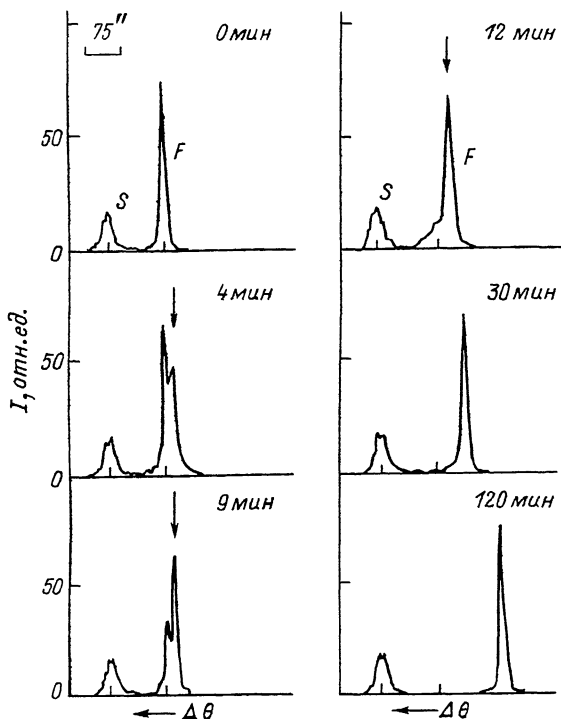


Рис. 4. Кривые дифракционного отражения эпитаксиальной структуры после отжига при 525 К:  $F$  - пик пленки,  $S$  - пик подложки,  $I$  - интенсивность рентгеновских лучей,  $\Delta\theta$  - отклонение от угла Брэгга, время отжига указано сверху. Излучение  $\text{Cu K}\alpha_1$ , отражение (888). Толщина пленки 4.2 мкм.

18.9 кмк/час, что очень близко к сообщавшейся в работе [6] величине скорости диффузии вакансий в  $\text{Ca-Ge}$ -замещенном гранате. Рост концентрации вакансий в пленке приводит к изменению условия электронейтральности и это, видимо, является причиной замедления прямого процесса. Поскольку вакансии не могут увеличивать постоянную решетки, полученные данные не исключают участия в этом центров  $\text{Fe}^{4+}$ , однако надежного доказательства их образования в гранатах пока нет. Процесс восстановления исходного значения параметров после отжига в интервале температур 570–800 К связан с диффузией кислорода из подложки ГГГ в обогащенную вакансиями пленку магнитного граната. Таким образом, активируемое отжигом обратимое изменение свойств  $\text{Ca-Si}$ -замещенного магнитного граната с концентрацией  $\text{Ca}$  выше стехиометрической определяется тремя процессами: образованием кислородных вакансий, их диффузией

в эпитаксиальной пленке и диффузией кислорода из подложки в эпитаксиальную пленку.

В заключение авторы выражают свою признательность А.Ю.Трошину за предоставленные образцы эпитаксиальных структур.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] A n t o n i B., B l a n k S.L. et al. // J. of Magnetism and Mag. Mater. 1980. V. 20. P. 216-219.
- [2] A n t o n i B., B l a n k S.L. et al. // J. Appl. Phys. 1982. V. 53. N 3. P. 2495-2497.
- [3] С т а р о с т и н Ю.В., Ш а б у р н и к о в А.В., Ш у п е г и н М.Л. Мат. 1X Всес. конф. „Новые магнитные материалы для микроэлектроники“, 1984 г., с. 42-43.
- [4] M o r i s e a u H., F e r r a n d B. et al. // IEEE Trans. on Mag., MAG-20. 1984. N 5. P.1004-1006.
- [5] П а в л о в Л.П. Методы измерения параметров полупроводников. М.: Высшая школа, 1987 г., 240 с.
- [6] L e S c r a w R.C., G y o r g y E.M. et al.// Appl. Phys. Lett. 1977. V. 31. P. 243-244.

Поступило в Редакцию  
22 ноября 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 4  
05.2  
09

26 февраля 1989 г.

### ОПТИМИЗАЦИЯ ИМПУЛЬСА СЧИТЫВАНИЯ ВБЛ-ИНФОРМАЦИИ

А.Г. Ш и ш к о в, Е.Н. И л ь и ч е в а,  
Ю.Н. Ф е д ю н и н, Э.В. К о ч е т к о в а

В гипотетическом запоминающем устройстве (ЗУ) со сверхвысокой плотностью записи ( $\sim 10^9$  бит/см<sup>2</sup>) на вертикальных блоховских линиях (ВБЛ) Кониши был предложен принцип считывания ВБЛ-информации, состоящий в отрезании головки от полосового домена (ПД) [1]. Такое считывание основано на том, что процесс отрезания чувствителен к состоянию (полярности) стенок ПД. Необходимо, чтобы разрезание ПД не нарушало структуру стенок. Следовательно, важной задачей является изучение оптимальных условий считывания. Эти условия включают амплитуду и длительность считываемого импульса, а также длительность его переднего фронта. Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию влияния длительности  $t_p$  и времени нарастания  $t_\varphi$  (фронта) разрезающего импульса магнитного поля на амплитуду поля разрезания