

СТРУКТУРНОЕ И СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ИМПЛАНТИРОВАННОГО БОРОМ
ЖЕЛЕЗО-ИТТРИЕВОГО ГРАНАТАБ.К. Остафийчук, В.М. Пыльпив,
А.И. Сенкевич, В.Д. Федориев,
О.Н. Ворончак

Знание распределения элементов по толщине имплантированного слоя кристалла, степени его магнитного и структурного разупорядочения представляют значительный научный и практический интерес. В настоящей работе методами рентгеновской и мессбауэровской спектроскопии, рентгеноструктурного анализа и электронографии проведено экспериментальное исследование приповерхностного, имплантированного бором слоя монокристаллической пленки железо-иттриевого граната (ЖИГ). Все исследования проводились на одной пленке ЖИГ номинального состава $Y_3Fe_5O_{12}$ толщиной 3.5 мкм, полученной методом жидкофазной эпитаксии на галлий-гадолиниевой подложке с кристаллографической плоскостью среза (111). Имплантация ЖИГ проводилась ионами B^+ с энергией 80 кэВ и дозой $1 \cdot 10^{17}$ ион/см² на установке типа „Везувий“ в геометрии, исключающей каналирование. Рентгеновские фотоэлектронные спектры (РФЭС) от исходной имплантированной поверхности и после последовательного ионного травления пленки ЖИГ непосредственно в рабочей камере спектрометра получены на приборе IEE-15 фирмы „Varian“. Послойное ионное травление проводилось сканирующим пучком ионов Ar при напряжении 0.6 кэВ и плотности тока 1 мА/см². Электронограмма получена на отражение от поверхности ЖИГ с помощью электронографа ЭМР-102. Диаметр зонда составлял ~100 мкм при угле падения на поверхность образца ~1°. Методики получения конверсионных электронных мессбауэровских спектров (КЭМС) железа, их математической обработки, а также рентгеноструктурного анализа, описаны в работах [1, 2].

Исходя из интегральных интенсивностей РФЭС уровней $Fe 2p$, $Y 3d$, $O 1s$, $B 1s$, полученных от исходной поверхности и после послойного ионного травления пленки ЖИГ, были определены изменения концентраций элементов по глубине имплантированного бором слоя, которые показали, что на имплантированной поверхности находятся в основном кислород (67.0 ат.%), бор и очень малое количество металлического железа и иттрия. Приведенная на рис. 1 кривая, отображающая профиль концентрации внедренного в результате ИИ бора, имеет характерную гауссовскую форму. Некоторое уширение кривой связано с относительно большой дозой ИИ [3]. Очевидно, что при имплантации с дозой $1 \cdot 10^{17}$ ион/см² происходит частичное распыление поверхности мишени, о чем свидетельствует первоначальный изгиб кривой [4] на рис. 1. Внедренные ионы бора и образовавшиеся радиационные дефекты вызывают уве-

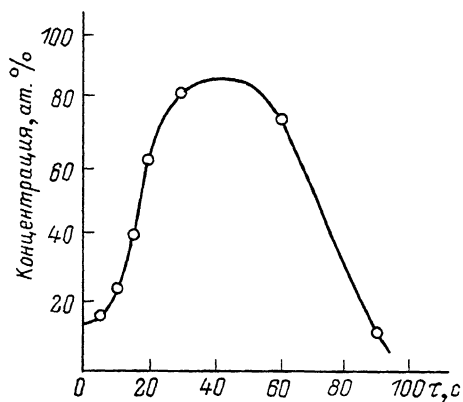


Рис. 1. Зависимость распределения концентрации ионов бора в нарушенном слое ЖИГ от времени травления.

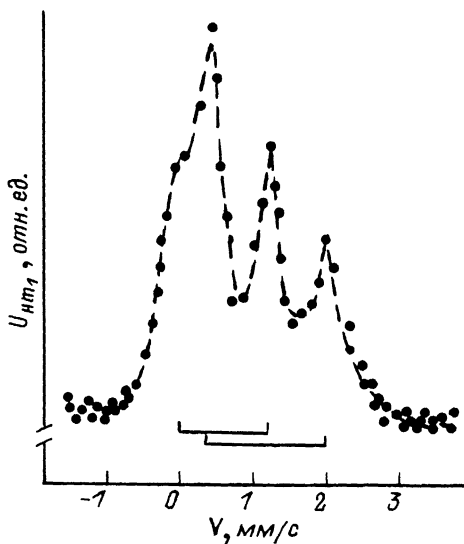


Рис. 2. КЭМС железа в пленке ЖИГ, имплантированной ионами бора с энергией 80 кэВ и дозой $1 \cdot 10^{17}$ ион/см².

личение постоянной решетки нарушенного слоя пленки ЖИГ. Максимальное значение $\Delta a = 0.0216$ нм, в то время как радиус первой координированной сферы ионов железа увеличивается на 0.01 нм по сравнению с неимплантированной пленкой ЖИГ.

Указанные концентрационные и структурные изменения приводят к магнитному разупорядочению, что находит свое отображение в КЭМС железа. Так, КЭМС железа, полученной от неимплантированной пленки ЖИГ, имеет характерный для монокристалла железо-иттриевого граната вид [5] и представляет собой суперпозицию двух сикстетов, соответствующих магнитоупорядоченному состоянию железа в окта- и тетра-подрешетках с эффективными магнитными полями $H_a = 490$ кЭ и $H_a = 393$ кЭ соответственно. Мессбауэровский спектр железа от имплантированного слоя ЖИГ, представленный на рис. 2, являет собой суперпозицию двух дублетов, соответствующих парамагнитному состоянию железа. Дублет с изомерным сдвигом $\delta = 0.76$ мм/с и квадрупольным расщеплением $\Delta E = 1.896$ мм/с соответствует Fe^{3+} , в то время как дублет с $\delta = 1.09$ мм/с и $\Delta E = 3.98$ мм/с - Fe^{2+} [6]. Наличие Fe^{2+} в приповерхностном слое вытекает также из анализа энергетического положения и формы РФЭС уровня $Fe 2p$. Сопоставление энергий связи электронов уровня $Fe 2p$, полученных в настоящей работе, с приведенными в [7], позволяет заключить, что степень окисления железа при

переходе от поверхности вглубь нарушенного слоя меняется по следующей схеме: $Fe \rightarrow FeO \rightarrow Fe_2O_3$. Характерно, что только после шестого травления энергия связи электронов $Fe 2p_{3/2}$ - и $Yd 5f_{7/2}$ -уровней стремится к значениям, соответствующим ЖИГ [8]. Однако необходимо отметить, что энергия $Fe 2p_{3/2}$ -уровня зависит не только от величины переноса заряда, но и от структурных параметров вещества [9], что накладывает некоторую неоднозначность в интерпретации энергетических сдвигов. В результате ИИ бором происходит также увеличение оптической плотности пленки ЖИГ и уменьшение намагниченности насыщения $4\pi M_s$. Данные изменения можно объяснить тем, что в процессе внедрения ионов бора происходит удаление кислорода с приповерхностного слоя пленки в вакуум, обуславливающее частичный переход $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$.

Таким образом, на основании полученных результатов можно сделать вывод, что в приповерхностном слое пленки ЖИГ в результате ИИ с указанной выше энергией и дозой происходит не только частичное распыление поверхности, структурное и магнитное разупорядочение, но и восстановление железа.

В заключение авторы выражают благодарность Н.М. Торчун за помощь в получении электронограмм.

Л и т е р а т у р а

- [1] Остафийчук Б.К., Пылыпив В.М., Шевчук П.И. и др. - *Металлофизика*, 1987, т. 9, № 4, с. 75-78.
- [2] Остафийчук Б.К., Шевчук П.И., Солоницын В.Я. и др. В сб.: *Обмен опытом в радиопромышленности*. М., 1985, вып. 10, с. 55-56.
- [3] Риссел Х., Руге И. *Ионная имплантация*. М.: Наука, 1983, 360 с.
- [4] Билюс К.И., Пранавичюс Л.И. - *ФТП*, 1978, т. 12, вып. 7, с. 1355-1357.
- [5] Башкиров Ш.Ш., Либерман А.Б., Синявский В.И. *Магнитная микроструктура ферритов*. Казань, Изд-во КГУ, 1978, 181 с.
- [6] *Химические применения мессбауэровской спектроскопии*. / Под ред. Гольданского В.И. М.: Мир, 1970, 502 с.
- [7] Нефедов В.И. *Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений*. М.: Химия, 1984, 255 с.
- [8] Немошкаленко В.В., Демехин В.Ф., Носачев Ю.Ф. и др. - *Металлофизика*, 1986, т. 8, № 6, с. 105-108.
- [9] Рандошкин В.В., Шапошников А.Н., Шапошникова Г.В., Ширков А.В. - *Письма в ЖТФ*, 1984, т. 10, вып. 4, с. 224-227.