

05.2; 06; 12

©1993 г.

ВЛИЯНИЕ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ Ag И ПОСЛЕДУЮЩИХ ОТЖИГОВ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК ЗАМЕЩЕННЫХ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ

А. С. Камзин, Ю. Н. Мальцев

Для изменения химических связей, кристаллической и магнитной структуры широко применяется ионная имплантация и последующая термическая обработка материалов [1,2]. Однако процессы, связанные с взаимодействием частиц с такими сложными оксидными соединениями, как ферриты, а также с влиянием термической обработки на эти материалы, изучены не достаточно. Это является препятствием для эффективного использования этих методов для управления свойствами материалов.

Цель данной работы — изучение возможностей целенаправленного изменения свойств поверхностных слоев феррит-гранатовых пленок при имплантировании ионов Ag с энергией 60 кэВ дозой 10^{14} ион/см² и последующих изотермических отжигах.

Монокристаллические пленки феррита-граната состава $Y_{2.6}Sm_{0.4}Fe_{3.7}Ga_{1.3}O_{12}$ толщиной 3 мкм были выращены методом жидкофазной эпитаксии на подложку из монокристалла гадолиний-галлиевого граната с кристаллографической плоскостью среза [111]. Изотермический отжиг проводился в атмосфере воздуха в течение часа в интервале температур от 300 до 800° С через каждые 100° С. Мессбауэровские спектры снимались после каждого отжига.

Для исследований использовался предложенный авторами [3,4] метод одновременной гамма-, рентгеновской и электронной мессбауэровской спектроскопии (ОГРЭМС), позволяющий изучать одновременно свойства объема, слоя толщиной несколько микрометров и поверхностного слоя толщиной 300 нм массивного кристалла. Метод основан на том, что гамма-кванты (ГК), рентгеновское характеристическое излучение (РХИ) и конверсионные и Оже-электроны, которые будем называть вторичными электронами (ВЭ) имеют различную длину пробега в веществе. В работе [5] этот метод был назван Simultaneous Triple Radiation Mossbauer Spectroscopy (STRMS). Методика одновременной регистрации этих излучений в области температур от 100 до 750 К описана в [6,7]. Канал, регистрирующий резонансные ГК, в данной работе не применялся, поскольку информация о свойствах объема изучаемых пленок, имеющих толщину 3 мкм, извлекается при регистрации РХИ.

На рис. 1 показаны мессбауэровские спектры, полученные при регистрации ВЭ, т.е. из поверхностного слоя толщиной 300 нм, ФГП до и после имплантации ионов Ag с энергией 60 кэВ дозой 10^{14} ион/см², а также после каждого цикла отжига этой пленки.

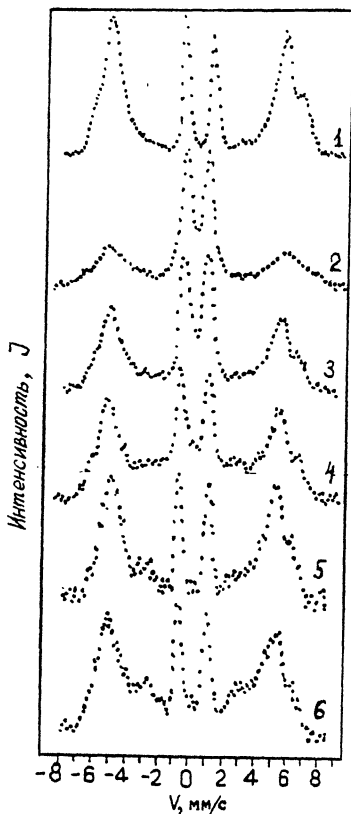


Рис. 1. Мессбауэровские спектры, полученные при регистрации конверсионных и Оже-электронов (вторичных электронов), полученные до (1) и после (2) имплантации ионов Ag с энергией 60 кэВ дозой 10^{14} ион/см², а также после изотермического отжига при температуре 400° С — (3); 500° С — (4); 600° С — (5); 700° С — (6).

Мессбауэровские спектры, полученные при регистрации РХИ, то есть из всей толщины неимплантированной пленки, не приведены, поскольку они аналогичны спектру ВЭ, снятому с той же неимплантированной ФГП и представляют собой, как видно из рис. 1 (1), наложение двух секстиплетов, соответствующих магнитоупорядоченному состоянию ионов железа в октаэдрических и тетраэдрических подрешетках.

При имплантации в ФГП ионов Ag с энергией 60 кэВ дозой 10^{14} ион/см² на мессбауэровских спектрах ВЭ интенсивности внутренних линий зеемановских секстиплетов увеличились, тогда как интенсивности внешних линий — уменьшились. Таким образом, имплантация ионов аргона указанной выше энергии и дозы приводит к образованию в ФГП дефектов, существенно меняющих структуру только поверхностного слоя толщиной около 300 нм, и не затрагивает более глубокие слои и весь объем пленки. Это подтверждается тем, что вид мессбауэровского спектра на РХИ не изме-

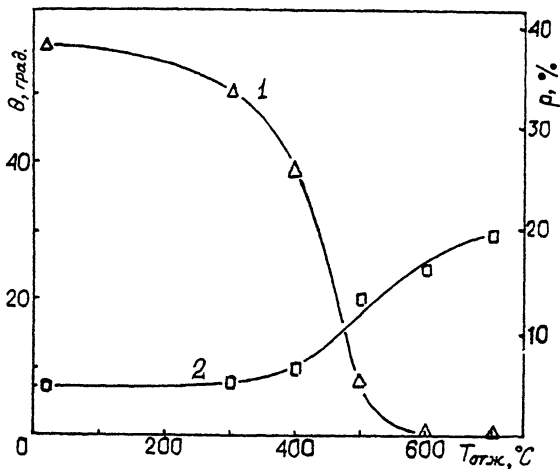


Рис. 2. Зависимости доли аморфизированной фазы P и угла отклонения θ вектора намагниченности от нормали к поверхности пленки от температуры отжига, обозначенные 1 и 2 соответственно.

нился после проведенной имплантации, тогда как на мессбауэровском спектре ВЭ наблюдаются значительные изменения. Появление на спектрах ВЭ центральных линий большой интенсивности зеemanовских секстетов указывает на аморфизацию исследуемого приповерхностного слоя толщиной 300 нм. Факт аморфизации этого слоя подтверждается тем, что центральные линии по своему виду отличаются от мессбауэровских спектров, представляющих собой парамагнитные дублеты при температурах выше точки магнитного упорядочения ферритов-гранатов (см., например, [8]). При дозе 10^{14} ион/см² наблюдаемая аморфизация весьма значительна. Вклад магнитоупорядоченной фазы проявляется в виде небольшой интенсивности внешних линий зеemanовского секстетплета, наблюдаемых на спектрах ВЭ.

По мере повышения температуры отжига, как видно из рис. 1, наблюдается уменьшение интенсивностей внутренних линий и увеличение интенсивностей внешних линий зеemanовских секстетов. При температуре отжига 500° С начинают появляться вторые и пятые линии зеemanовского секстетплета, и интенсивности этих линий увеличиваются по мере повышения температуры отжига от 500 до 800° С. Из мессбауэровских спектров, снятых после каждой изотермической обработки, были рассчитаны величины эффективных магнитных полей на ядрах ионов железа, занимающих неэквивалентные положения. Изменений в величинах эффективных магнитных полей при повышении температуры отжига обнаружено не было.

Из соотношения площадей внутренних и внешних линий зеemanовских секстетплетов была определена доля аморфизированной фазы. Зависимость доли аморфизированной фазы от температуры отжига приведена на рис. 2. На том же рисунке приведена зависимость от температуры отжига величины угла между вектором намагниченности и нормалью к поверхности пленки. Величина угла

определялась по формуле, связывающей отношения интенсивностей второй и первой (или пятой и шестой) линий зеемановского секстиплета:

$$\frac{A_{2,5}}{A_{1,6}} = \frac{4 \sin^2 \theta}{3(1 + \cos^2 \theta)}.$$

Из рис. 2 видно, что отжиг до температур 400° С не вносит каких-либо изменений в наблюдаемые зависимости. Отжиг при температурах выше 400° С приводит к уменьшению доли парамагнитной и, соответственно, увеличению доли магнитоупорядоченной фазы (рис. 2), что указывает на интенсивный отжиг радиационных дефектов и восстановление магнитного упорядочения в обсуждаемой области температур отжига. Часовой отжиг при 600° С уменьшает долю аморфизированной фазы более чем в 20 раз.

Одновременно с восстановлением кристаллической структуры и магнитного упорядочения при этих температурах отжига наблюдается изменение ориентации вектора намагниченности. Как видно из рис. 2, при повышении температуры отжига угол отклонения вектора намагниченности от нормали к поверхности пленки увеличивается.

Следует отметить, что изменение ориентации намагниченности в поверхностном слое не может быть вызвано устранением ростовой анизотропии при отжиге, поскольку применялся низкотемпературный отжиг. Температуры, при которых устраняется ростовая анизотропия, и, следовательно, исчезает намагниченность, направленная по нормали к плоскости пленки, значительно выше [9]. Сохранение направления и величины намагниченности в объеме пленки при проведенных отжигах подтверждается результатами измерений мессбауэровских спектров, снятых с регистрацией РХИ, вид которых аналогичен виду спектров неимплантированного и неотожженного образца.

Причина возникновения и возрастания планарной составляющей намагниченности в поверхностном слое заключается в следующем. Ионы Ag достаточно велики, чтобы низкотемпературный отжиг (до 700° С) привел к существенной диффузии и размытию профиля концентрации имплантированных ионов. Вместо этого происходит рекристаллизация аморфизированных областей за счет возвращения в исходные места выбитых при имплантации ионов и восстановление в них магнитного упорядочения. Таким образом, в магнитную фазу включаются слои с высокой концентрацией имплантированной примеси. Наличие примеси приводит к локальному увеличению параметра решетки, возникновению механических напряжений, что, в свою очередь, вызывает отклонение намагниченности от нормали к поверхности.

Список литературы

- [1] *Marest G. et al.* // Phys. Rev. B. 1986. V. 14. N 7. P. 4831-39.
- [2] *Остафийчук С.К. и др.* // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. С. 82-86.
- [3] *Kamzin A.S., Rusakov V.P., Grigoriev L.A.* Physics of Transition Metals. International Conf. USSR, 1988. Proceed. Pt. II. P. 271-274.
- [4] *Камзин А.С., Григорьев Л.А.* // Тез. Всесоюз. конф. по физике магнитных явлений. Калинин, 1988. С. 521-522.
- [5] *Gonser G., Schaat P., Aubertin F.* // Hyperfine Interactions. 1991. V. 66. P. 95-98.

- [6] Камзин А.С., Григорьев Л.А. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. Вып. 16. С. 38-41.
- [7] Камзин А.С., Григорьев Л.А. // ПТЭ. 1991. Вып. 2. С. 74-77.
- [8] Sawatsky G.R. et al. // Phys. Rev. 1969. V. 183. N 2. P. 383-386.
- [9] Enosh R.D. et al. // J. Appl. Phys. 1976. V. 47. N 6. P. 2705-2709.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе РАН
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
9 апреля 1993 г.

