

УДК 621.318 : 541.132

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ИОННО-ИМПЛАНТИРОВАННЫХ СЛОЕВ В ПЛЕНКАХ ЖЕЛЕЗО-ИТТРИЕВОГО ГРАНАТА

А. Р. Бедюх, Т. А. Крылова, Н. И. Ляшенко, В. М. Талалаевский,  
Д.-Т. А. Урбонас, С. В. Яковлев, Ю. М. Яковлев

С помощью послойного травливания пленок железо-иттриевого граната, подвергнутых ионной имплантации, и регистрации изменения коэффициента затухания ПМСВ и характеристик спектра ФМР получена картина пространственного распределения поля одноосной магнитной кристаллографической анизотропии имплантированных в пленку ионов и вызванных ими радиационных дефектов. Предложена модель имплантированного слоя.

Исследование структуры ионно-имплантированных слоев в пленках железо-иттриевого граната (ЖИГ) представляет интерес как с точки зрения физики получения этих слоев с заданными свойствами, так и для использования ионно-имплантированных пленок в приборах с управляемыми дисперсионными характеристиками магнитостатических волн. Данные работ [1-4] позволяют в общих чертах судить о структуре имплантированного слоя эпитаксиальных гранатовых пленок. Так, в [1] послойное травление пленки  $(Yb_m L_n Ca)_3(FeGe)_5O_{12}$ , имплантированной ионами  $Ne^+$  с энергией 200 кэВ и дозой  $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ , показало наличие ряда (четырёх) максимумов поверхностного натяжения в пределах имплантированного слоя, а сама скорость травления этого слоя имеет несколько значений [2]. Анализируя результаты, полученные в [1, 2], можно заметить, что скорость травления пленки и величина коэффициента поверхностного натяжения как функция толщины травленного слоя коррелируют. Эти данные и результаты работы [3], в которой для пленки  $Y_3Fe_5O_{12}$ , имплантированной ионами  $Ne^+$  с энергией 175 кэВ и дозой  $3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ , установлено наличие ряда независимых пиков ферромагнитного резонанса (ФМР), подтверждают мысль о существовании подслоев, образующих имплантированные слои в пленках ЖИГ. Более полное представление о структуре имплантированного слоя в феррит-гранатовых пленках можно получить, изучая колебания намагниченности при послойном травлировании пленки.

В настоящей работе представлены результаты исследования характеристик ферромагнитного резонанса и затухания поверхностных магнитостатических волн (ПМСВ) при послойном травлении имплантированного слоя, дающие сведения о количестве и топологии подслоев. Послойно травляя пленку и регистрируя изменение коэффициента затухания ПМСВ  $\alpha$  и характеристики спектра ФМР (интенсивность, ширину и форму линий, а также положение их по полю), мы определили закономерности поверхностного распределения поля одноосной магнитной кристаллографической анизотропии имплантированных ионов и вызванных ими радиационных дефектов. Исследования проводились на монокристаллических пленках ЖИГ толщиной до 10 мкм, имплантированных ионами  $Ne^+$  с энергией 175 кэВ и дозой  $3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ . В этом случае наблюдается наиболее богатый спектр «индуцированных» ионной имплантацией линий ФМР (4 линии). Линии ФМР записывались для нормально намагниченной пленки,

так как в этом случае интерпретация спектра наиболее проста (отсутствуют неразрешенные линии). Методика исследования ФМР и затухания ПМСВ описаны в [5]. Измерения проводились на частоте 9.1 ГГц. Толщина пленок в процессе травления определялась оптическим методом.

На рис. 1, а представлены коэффициент затухания ПМСВ  $\alpha$  и положение по полю «индуцированных» имплантацией линий ФМР относительно линии, полученной от неимплантированного слоя пленки (в дальнейшем именуемой линией основного ФМР)  $\delta H$ , как функция толщины травлен- ной линией основного ФМР)  $\delta H$ , как функция толщины травлен-

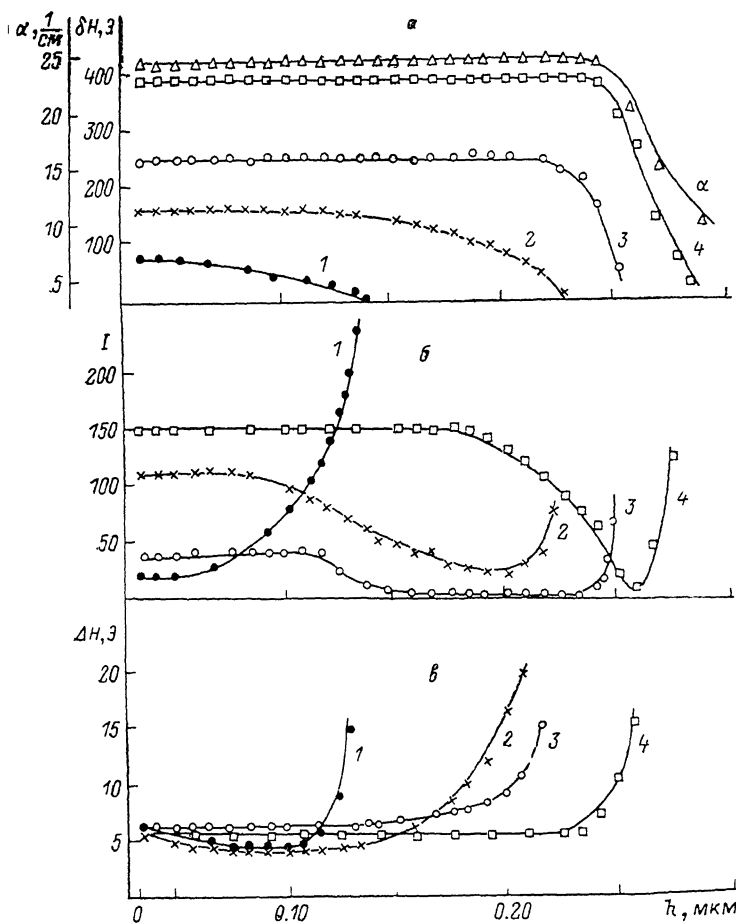


Рис. 1. Влияние глубины травления ионно-имплантированного слоя на параметры ФМР и ПМСВ.

ного слоя. На рис. 1, а—в цифрами пронумерованы характеристики «индуцированных» линий ФМР, начиная с ближайшей относительно основной. Интенсивность линий и их ширина при послойном травлении показаны на рис. 1, б, в соответственно. Рис. 1, а—в скомпонованы таким образом, чтобы удобно было наблюдать изменения всех представленных параметров линий в зависимости от толщины травленного слоя.

Из рис. 1 видно, что травление избирательно (в определенной последовательности) влияет на характеристики ФМР «индуцированных» линий. Вначале наиболее заметным является процесс смещения по полю первой линии в сторону линии основного резонанса. По мере их сближения интенсивность и ширина первой линии начинают быстро расти. Этот рост происходит вплоть до слияния «индуцированной» линии ФМР с линией основного резонанса. Существенным при этом является тот факт, что вначале травления меняются параметры только первой линии. Вторая линия

начинает смещаться только тогда, когда первая уже подходит к основному резонансу. Эксперимент показывает, что влияние травления на характеристики второй и последующих линий аналогично описанному выше, т. е. все линии поочередно смещаются в сторону основного резонанса, меняя при этом свою ширину и интенсивность, и сливаются с ним.

Полученные данные дают основание предположить, что поочередное влияние травления на характеристики «индуцированных» имплантацией линий ФМР связано с принадлежностью исследуемых линий соответствующим пространственно разделенным подслоям, образующим имплантированный слой. Смещение «индуцированных» линий в сторону основного резонанса связано со снятием напряжений, а вместе с ними и индуцированной одноосной анизотропии в подслоях в процессе травления. Значительный рост ширины линий и их интенсивности при приближении этих линий к линии основного резонанса обусловлен, по-видимому, ростом связи между сближающимися линиями. Связь колебаний намагниченности осуществляется через общее поле излучения, а величина коэффициента связи в данном случае определяется разностью резонансных частот связанных колебаний [6]. В пользу этого предположения свидетельствует и факт однородного уширения линий. Форма линий не зависит от толщины стравленного слоя. Так как интенсивность линии основного резонанса, получаемого от неимплантированной сравнительно толстой (около 4 мкм)

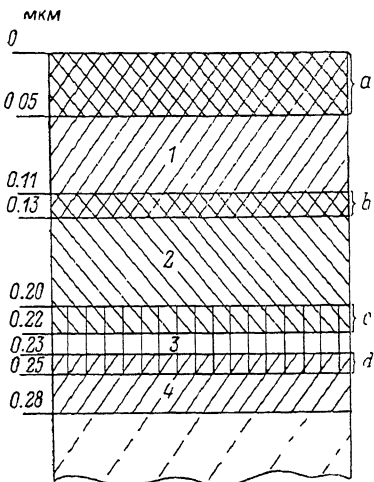


Рис. 2. Предполагаемая модель имплантированного слоя.

Цифры слева — глубина залегания; 1—4 — подслои; а — неимплантированный верхний слой; б, с, d — зоны перекрытия подслоев.

части пленки, существенно выше интенсивности «индуцированных» линий, то изменение коэффициента связи не приводило к заметным изменениям параметров основного резонанса.

Исследования формы линий, проведенные в [3], дали возможность определить пространственное распределение в подслоях как наведенной одноосной анизотропии, так и имплантированных ионов и вызванных ими дефектов. Однако слияние «индуцированных» линий с основной еще до полного исчезновения (стравливания) рождавших эти линии подслоев не дает возможности определить как отмеченные распределения в конце каждого подслоя, так и более точные их размеры. Недостающая информация о глубине залегания последнего подслоя и пространственном распределении радиационных дефектов в нем в данной работе получена при помощи поверхностных магнитостатических волн (точнее, зависимости коэффициента затухания ПМСВ  $\alpha$  от толщины стравленного слоя). Зависимость эта представлена на рис. 1, а, откуда видно, что связанное с травлением уменьшение коэффициента затухания наблюдается и после слияния последней «индуцированной» линии с основной. Эти данные дают возможность более точно определить размеры как последнего подслоя, так и всего имплантированного слоя в целом. По-видимому, и другие подслои будут иметь менее четкие границы, т. е. они более «размыты», чем это следует из данных по ФМР. Так как увеличение коэффициента затухания ПМСВ в имплантированном слое обусловлено дефектами его структуры, то, анализируя ход края кривой  $\alpha = f(h)$ , можно получить картину пространственного распределения дефектов в последнем подслое. Анализ показывает, что вначале примерно половина падающего участка этой кривой имеет гауссову форму, далее она представляет собой суперпозицию гауссовой и лоренцевой кри-

вых. Эти данные подтверждают высказанные ранее в [3] предположения о форме распределения дефектов в подслоях и близки к распределению дефектов, наблюдаемых в имплантированных полупроводниках [7].

Полученные результаты позволяют построить одну из вероятных моделей имплантированного слоя (рис. 2), который в данном случае состоит из четырех подслоев, имеющих различную величину «индуцированной» одноосной магнитной анизотропии, плотности внедренных ионов и радиационных дефектов. Следует отметить, что численные параметры модели (рис. 2) существенно зависят от величины дозы имплантации. Она определяет размеры подслоев, их состав и распределение ионов в них. При дозах, больших  $3 \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup>, подслояная структура исчезает и весь имплантированный слой аморфизируется и становится немагнитным.

На наш взгляд, разбиение имплантированного слоя на подслои связано со следующими факторами: эффектом каналирования; наличием нескольких механизмов торможения внедряемых ионов; несовпадением по глубине максимума распределения внедренных ионов с максимумом механических напряжений; селективным перераспределением элементного состава. Эти предположения частично подтверждаются зависимостью количества «индуцированных» линий от величины ионного радиуса и массы внедряемых ионов [8]. Вклад каждого из эффектов на механизм расслоения требует специального исследования.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Kersusan J. P., Gerard P., Gailliard J. P., Jouve H. // IEEE Trans. on Magn. 1981. V. MAG-17. N 6. P. 2917—2919.
- [2] Gerard P., Delaye M. T., Daniolou R. // Thin Solid Films. 1982. V. 88. N 1. P. 75—79.
- [3] Бедюх А. Р., Крылова Г. А., Лебедь Б. М., Ляшенко Н. И., Талалаевский В. М., Яковлев С. В., Яковлев Ю. М. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 6. С. 1799—1802.
- [4] Зюзин А. М., Кудельник Н. Н., Рокдошкин В. В., Телесин Р. В. // ЖТФ. 1983. Т. 53. № 1. С. 174—176.
- [5] Ляшенко Н. И., Талалаевский В. М. // УФЖ. 1986. Т. 38. № 11. С. 1716—1718.
- [6] Богданов Г. Б. Частотно-избирательные системы на ферритах и применение их в технике СВЧ. М.: Сов. радио, 1973. С. 352.
- [7] Рассел Х., Руге И. Ионная имплантация. М.: Наука, 1983. 360 с.
- [8] Бедюх А. Р., Крылова Г. А., Ляшенко Н. И., Талалаевский В. М., Яковлев С. В. // Региональная конф. «Спиноволновые явления электроники СВЧ». Тез. докл. Краснодар, 1987. С. 132—133.

Киевский государственный  
университет им. Т. Г. Шевченко  
Киев

Поступило в Редакцию  
12 декабря 1989 г.