

УДК 621.372.824:621.318.134

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА КАЧЕСТВО ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК ЖЕЛЕЗО-ИТТРИЕВОГО ГРАНАТА

Д. т. н. С. И. Юшук, к. ф.-м. н. С. А. Юрьев, к. ф.-м. н. С. П. Дубельт,
к. ф.-м. н. В. И. Лобойко

Национальный университет «Львовская политехника»
Украина, г. Львов
syuryev@mail.ru

Показано, что химический состав пленок железо-иттриевого граната, эпитаксиально выращенных на монокристаллических подложках из галлий-гадолиниевого граната, изменяется по толщине из-за неравномерного внедрения из раствора-расплава ионов гадолиния, галлия и свинца. Выращенные пленки из раствора-расплава оптимального состава при толщине 1...6 мкм имели ширину линии ферромагнитного резонанса $\Delta H = 0,3...0,5$ Э.

Ключевые слова: феррогранатовые пленки, раствор-расплав, ферромагнитный резонанс.

Эпитаксиальные пленки железо-иттриевого граната (ЖИГ) $Y_3Fe_5O_{12}$ представляют интерес для создания интегральных пассивных сверхвысокочастотных (СВЧ) схем на магнитостатических волнах (МСВ). Для получения оптимальных рабочих параметров СВЧ-устройств на МСВ требуется малая ширина линии ферромагнитного резонанса (ФМР) ΔH наряду с бездефектной структурой пленки. Характеристики распространения МСВ зависят от степени однородности внутреннего магнитного поля в кристалле, а величина потерь при этом непосредственно связана с качеством феррогранатовой пленки, которое определяется шириной линии ферромагнитного резонанса (ФМР). Чем меньше ширина линии ФМР, тем меньше магнитные потери.

В объемных монокристаллических образцах ЖИГ достигнута величина ΔH порядка 0,2...0,3 Э. В пленочных образцах достигнуть таких значений для слоев ЖИГ толщиной 1...3 мкм очень проблематично. Это связано с целым рядом факторов, ответственных за уширение линии однородного ФМР.

Целью работы являлось установление состава шихты и условий выращивания высококачественных пленок ЖИГ.

В процессе роста пленки на границе между слоем ЖИГ и подложкой из галлий-гадолиниевого граната (ГГГ) $Gd_3Ga_5O_{12}$ образуется переходной слой, обогащенный ионами галлия и гадолиния. Этот слой является твердым раствором ЖИГ и немагнитного ГГГ, имеет меньшую, чем у ЖИГ, намагниченность насыщения и большее значение ΔH . Очевидно, что в измеряемое значение параметра ΔH вносит существенный вклад неоднородность состава ферритовой пленки в переходном слое «пленка—подложка» (ПП). В начале процесса выращивания после погружения подложки в раствор-расплав происходит подтравливание и частичное растворение подложки, причем с возрастанием температуры растворимость подложки увеличивается. С помощью пробных кратковременных погружений подложек из ГГГ в раствор-расплав ЖИГ было установлено, что рост пленки не начинается сразу после погружения подложки. В течение некоторого малого времени, предшествующего росту, подложка растворяется, обогащая раствор-расплав гадолинием и галлием. На подложке вырастает переходной слой ПП, богатый на ионы Gd^{3+} и Ga^{3+} , внедряющиеся соответственно в додекаэдрические и тетраэдрические положения растущей феррогранатовой пленки. Замещение немагнитными ионами Ga^{3+} ионов Fe^{3+} в тетраэдрах приводит к уменьшению намагниченности насыщения пленки. Ионы Gd^{3+} вносят вклад в уширение линии ФМР за счет ионного механизма релаксации.

На поверхности феррогранатовой пленки также образуется переходной слой «пленка—воздух» (ПВ), связанный с возрастанием вхождения в структуру пленки ионов Pb^{2+} из растворителя из-за

обеднения ферритообразующими компонентами граничащего с подложкой диффузионного слоя. Эти ионы приводят к возрастанию ширины линии ФМР.

Для исследования влияния переходных слоев ПП и ПВ на магнитные свойства пленок ЖИГ проведено послойное травление ферритового слоя с помощью ортофосфорной кислоты при 125°C. После каждого травления измеряли толщину пленки d , намагниченность насыщения $4\pi M_s$ и ΔH .

В таблице приведены значения $4\pi M_s$, ΔH и толщины d трех пленок ЖИГ после каждого травления. Из таблицы видно, что ферритовые пленки обладают слоистой структурой. Эти слои имеют разную толщину, характеризуются по сравнению с ЖИГ, для которых $4\pi M_s = 1750$ Гс, большей или меньшей намагниченностью, а для ПП- и ПВ-слоев — намного большими значениями параметра ΔH .

Толщина и магнитные параметры трех образцов пленок ЖИГ, полученные в процессе травления

№ 1	d , мкм	4,1	3,2	2,4	1,5	0,8	0,5	0,2
	ΔH , Э	0,9	0,83	0,80	0,64	0,73	1,40	2,11
	$4\pi M_s$	1780	1780	1700	1710	1650	1600	1470
№ 2	d , мкм	3,8	3,0	2,2	1,4	0,7	0,6	0,4
	ΔH , Э	0,80	0,85	0,71	0,47	0,7	1,34	1,92
	$4\pi M_s$	1740	1710	1680	1590	1530	1460	1390
№ 3	d , мкм	3,7	2,8	1,9	1,2	0,6	0,4	0,3
	ΔH , Э	1,10	1,00	0,86	0,78	0,93	1,38	2,14
	$4\pi M_s$	1780	1780	1700	1720	1670	1580	1510

Эксперименты, проведенные с растворителем $PbO-B_2O_3$ при значениях коэффициента $R_3 = \frac{PbO}{B_2O_3} = 12,4; 14; 15,6$ и $16,0$ показали, что степень растворимости подложек ГГГ линейно растет с увеличением концентрации оксида бора в растворителе. Следовательно, при выращивании пленок ЖИГ необходимо использовать растворители с пониженным содержанием B_2O_3 . Для поддержания фазового равновесия в системе «растворитель—ЖИГ» в раствор-расплав необходимо вводить избыточное количество оксида железа. Однако уменьшение содержания оксида бора имеет также отрицательные последствия: 1) сужается композиционная стабильность поля ЖИГ в растворе-расплаве; 2) возрастает летучесть оксида свинца. Нами был определен оптимальный весовой состав раствор-расплава, в котором растворимость ГГГ незначительна при высоких температурах: PbO — 90,34%; B_2O_3 — 1,81%; Fe_2O_3 — 7,13%; Y_2O_3 — 0,72%. Установлено, что для данного раствор-расплава оптимальная степень перенасыщения достигается его охлаждением на 10...20°C при температуре насыщения $t_n = 960$ °C. Из такого состава нами выращены пленки ЖИГ толщиной 1...6 мкм на круглых подложках из ГГГ диаметром 40...60 мм, имеющие ширину линии ФМР $\Delta H = 0,3...0,5$ Э, пригодные для использования в микроволновых устройствах.

S. I. Yushchuk, S. O. Yuryev, S. P. Dubelt, V. I. Loboiko

Influence of some technological factors on the quality of epitaxial films of yttrium iron garnet

It is shown that the chemical composition of yttrium iron garnet films, epitaxially grown on single crystal substrates of gallium-gadolinium garnet changes in thickness due to uneven implementation from the solution-melt of ions of gadolinium, gallium and lead. Films grown from the optimal composition of solution-melt had the line width of ferromagnetic resonance $\Delta H = 0,3...0,5$ Oe at the thickness of 1...6 μm .

Keywords: *ferrogarnet films, solution-melt, ferromagnetic resonance.*