

05; 09

© 1992

ФЕРРОМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ ФЕРРИТ-ГРАНАТОВ

В.Н. В а н ь к о в, А.М. З ю з и н,
Ю.В. С т а р о с т и н

Поликристаллические пленки феррит-гранатов (ППФГ) привлекли в последнее время заметное внимание исследователей [1-3]. Это объясняется как научным интересом, так и перспективами практического использования ППФГ в качестве материала для магнитооптических дисков и интегральной оптики.

Целью данной работы являлось исследование влияния особенностей, присущих ППФГ, на основные параметры ФМР: резонансное поле H_p , ширину $2\Delta H$ и интенсивность I линии поглощения. Исследования проводились на пленках состава $(BiGd)_3(ScAlFe)_5O_{12}$, полученных методом химического осаждения на различные типы подложек (стекло и монокристаллические пластины гадолиний-галлиевого граната) с последующим отжигом. Толщина пленок составляла 0.2-0.7 мкм. Измерения параметров ФМР производились при температуре 293 К на частоте 9.34 ГГц. При анализе использовалась модель независимых зерен (см., например, [4]), условию применимости которой соответствовали значения поля анизотропии и намагниченности.

К особенностям исследованных ППФГ относится то, что составляющие их монокристаллические зерна наряду с присущей феррит-гранатам кристаллографической кубической, обладали анизотропией, обусловленной магнитоупругим механизмом. Последняя, как следует из угловых зависимостей резонансного поля, в целом по образцу (усредненно) проявляет себя как одноосная анизотропия с осью, перпендикулярной плоскости пленки. Значения поля одноосной анизотропии H_K , найденные по резонансным полям при перпендикулярной H_{\perp} и параллельной H_{\parallel} ориентациях внешнего магнитного поля относительно пленки, составляли для разных образцов 500-1600 Э. Рассчитанная по составу пленок [5] намагниченность M составляла 8-12 Гс, собственная ширина линии ФМР не превышала 10 Э.

Форма линии резонансного поглощения ППФГ отличалась от лоренцевой. В пленках на стекле g -фактор, рассчитанный по H_{\perp} и H_{\parallel} , отличался от 2 в сторону больших значений. В то же время в состав ППФГ не входили ионы, которые могли бы привести к отклонению g -фактора от 2. Данное обстоятельство можно объяснить смещением максимума кривой поглощения при обеих ориентациях в область меньших полей из-за влияния кубической анизотропии

[4]. Величина смещения $\delta H_p \approx (50-250 \text{ Э})$ близка к значениям поля кубической анизотропии H_{k1} для монокристаллических феррит-гранатовых пленок с аналогичными составами. В пленках на подложках ГГГ, которые, как следует из полученных результатов, при тех же составах обладали большими значениями поля одноосной анизотропии H_k по сравнению с ППФГ на стекле, наблюдалось смещение максимума поглощения при обеих ориентациях в область больших полей. Во всех ППФГ на ГГГ, наблюдалось некоторое несоответствие экспериментальных и расчетных зависимостей резонансного поля H_p от угла θ_H между внешним магнитным полем и нормалью к плоскости пленки. Характер этого несоответствия показан на рис., где приведены угловые зависимости параметров ФМР для ППФГ на ГГГ с $M = 12 \text{ Гс}$ и $H_k = 1180 \text{ Э}$. Теоретическую кривую $H_p(\theta_H)$ рассчитывали с помощью резонансного соотношения и условия равновесной ориентации намагниченности для случая одноосной монокристаллической пленки [6] с таким же, как и у исследуемой, значениями H_k и g -фактора.

Наличие одноосной анизотропии в ППФГ, обусловленной магнитоупругим механизмом, должно приводить к дополнительному вкладу в ширину линии, природу которого можно объяснить следующим образом. Величина поля анизотропии H_k , а следовательно и резонансное поле будут различными для монокристаллических зерен, кристаллографические оси которых по-разному ориентированы относительно плоскости подложки. Так, если плоскости подложки перпендикулярна ось $\langle 111 \rangle$, то для такого зерна резонансное поле (при \vec{H} перпендикулярном плоскости подложки) будет равно

$$H_{\perp}^{(111)} = \omega/g - H_k^{(111)} + 4\pi M + \frac{2}{3} H_{k1}, \quad (1)$$

где ω — круговая частота СВЧ-поля, g — гиромагнитное отношение, $H_k^{(111)} = -3\epsilon_0 \lambda_{111}/M$ — поле одноосной анизотропии, ϵ_0 — величина упругих напряжений, λ_{111} — константа магнитоупругости.

Если плоскости подложки перпендикулярна ось $\langle 100 \rangle$, то

$$H_{\perp}^{(100)} = \omega/g - H_k^{(100)} + 4\pi M - H_{k1}, \quad (2)$$

где $H_k^{(100)} = -3\epsilon_0 \lambda_{100}/M$.

Резонансные поля зерен, ориентированных иным образом будут (при \vec{H} перпендикулярном плоскости подложки) лежать в интервале

$H_{\perp}^{(111)} - H_{\perp}^{(100)}$, величина которого равна

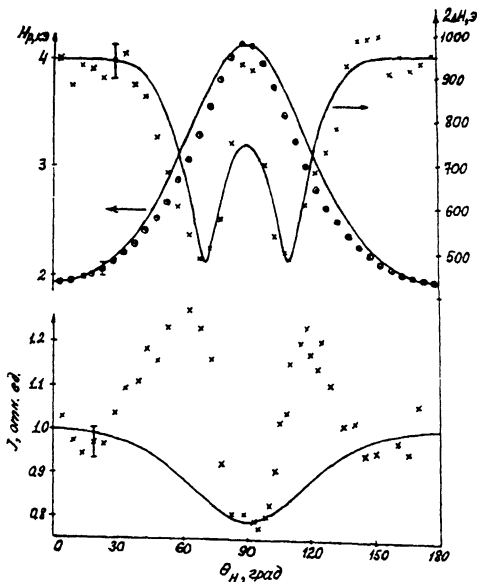
$$\delta H_k = 3\epsilon_0(\lambda_{111} - \lambda_{100})/M + \frac{5}{3} H_{k1} = \Delta H_k + \Delta H_{k1}.$$

Величины $\Delta H_K = 3 G_0 (\lambda_{111} - \lambda_{100}) / M$ и $\Delta H_{K1} = \frac{5}{3} H_{K1}$ можно рассматривать как вклады в ширину линии, обусловленные, соответственно, магнитоупругой и магнитокристаллической кубической компонентами анизотропии. Понятно, что кроме того, к дополнительному уширению может приводить разброс параметров $\phi_0, \lambda, H_{K1}, M$, связанный с неоднородностью состава ППФГ.

Очевидно, что при равновероятном распределении зерен по пространственным ориентациям, ΔH_{K1} будет являться изотропной величиной. В то же время можно показать, например, с помощью семейства зависимостей резонансного поля H_R от θ_H , построенных для соответствующего интервала полей анизотропии, что вклад в ширину линии, обусловленный магнитоупругой компонентой анизотропии, будет зависеть от θ_H . При расчете величина уширения определялась как разность максимального и минимального резонансных полей на семействе кривых $H_R(\theta_H)$ для данного значения θ_H . Как следует из расчетных результатов, при некотором значении угла ($0 < \theta_H < \frac{\pi}{2}$) разброс резонансных полей, а следовательно, и уширение линии, обусловленное дисперсией H_K , принимали минимальное значение, составляющее $\sim 7\%$ от величины уширения при перпендикулярной ориентации.

Расчетная зависимость $2\Delta H(\theta_H)$, учитывающая (аддитивно) вклады ΔH_K и ΔH_{K1} , а также экспериментальная для ППФГ на ГТГ приведены на рисунке. Как видно из этого рисунка, экспериментальные результаты качественно согласуются с расчетными. Подобную угловую зависимость $2\Delta H(\theta_H)$ имели и пленки, осажденные на стекле.

Таким образом, наличие дисперсии магнитоупругой компоненты анизотропии в ППФГ приводит, во-первых, к существенному уширению линии ФМР и, во-вторых, к заметной анизотропии ширины линии. По величине изменения $2\Delta H$ на угловой зависимости $2\Delta H(\theta_H)$ можно оценить величину дисперсии поля одноосной анизотропии. На рис. приведены также экспериментальная и расчетная [7] (для монокристаллической пленки с таким же, как у поликристаллической, значением H_K) угловые зависимости интенсивности линии поглощения. Видно, что при промежуточных, между перпендикулярной и параллельной, ориентациях, происходит заметное возрастание I . Такое поведение $I(\theta_H)$ можно объяснить влиянием дисперсии магнитоупругой компоненты анизотропии на функцию распределения монокристаллических зерен по величинам резонансного поля, которая и определяет в рассматриваемом случае, кривую поглощения. При промежуточных ориентациях θ_H происходит уменьшение интервала резонансных полей зерен, и, как следствие, возрастание амплитуды функции распределения, а следовательно, и I . Это подтверждается, в частности, наблюдавшейся корреляцией угловых зависимостей $I(\theta_H)$ и $2\Delta H(\theta_H)$.



Угловые зависимости H_p , $2\Delta H$ и I в ППФГ. Линии – расчет, точки и крестики – эксперимент. $\theta_H = 0.180^\circ$ соответствует перпендикулярной ориентации \vec{H} относительно пленки, $\theta_H = 90^\circ$ – параллельной.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] K r u m m e J.P., D o r m a n V., E s k a r t R. // IEEE Trans. Magn. 1984. MAG-20 N 5. P. 983–985.
- [2] G o m i M., T a n i d a T., A b e M. // J. Appl. Phys. 1985. V. 57(1). N 15. P. 3888–3890.
- [3] S h o h o K., K a n o H., K o s h i n o N., O g a w a S. // IEEE Trans. Magn. 1987. MAG-23. N 5. P. 2970–2972.
- [4] Г у р е в и ч А.Г. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках. М.: Наука, 1973. 951 с.
- [5] Landolt-Borstein. Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. Group 111, v. 12, parta Gartets and perovskites. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1987, 376 p.

- [6] М а к и н о Н., Н и д а к а У. // Mat. Rez. Bull
1981. V. 16. N 8. P. 957-966.
- [7] З ю з и н А.М., В а н ь к о в В.Н. // ФТТ. 1990. Т. 32.
№ 7. С. 2015-2019.

Поступило в Редакцию
25 декабря 1991 г.
В окончательной редакции
20 октября 1992 г.