

Ферромагнитный резонанс в планарных массивах взаимодействующих микрополосок

Р. В. Горев¹, Р. Р. Якубов², Е. В. Скороходов¹, С. Н. Вдовичев¹, В. Л. Миронов^{1,2}, Е. С. Демидов²

¹ Институт физики микроструктур РАН, ул. Академическая, д. 7, Нижний Новгород, 603087.

² ННГУ им. Н. И. Лобачевского, пр. Гагарина, 23, Нижний Новгород, 603022.

Обсуждаются спектры ферромагнитного резонанса для систем из шести микрополосок $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$, упорядоченных в структуру типа «ромашка». Исследована зависимость спектра поглощения СВЧ от ориентации образцов относительно подмагничивающего поля.

В последнее время наблюдается интерес к исследованиям динамических свойств паттернированных ферромагнитных наноструктур [1-4]. В частности, ряд работ посвящен исследованию ферромагнитного резонанса в микрополосках прямоугольной формы [2-4]. Это обусловлено перспективами применения таких объектов в качестве элементной базы СВЧ электроники. В настоящей работе особое внимание уделяется влиянию магнитоэлектронного взаимодействия между микрополосками на их спектр ФМР.

Исследуемые образцы представляли собой массивы из шести магнитоэлектронно взаимодействующих пермалловых ($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$) полосок с размерами $1000 \times 200 \times 30$ нм. Полоски были упорядочены в «ромашку» (рис. 1), расстояние между центрами противоположных полосок составляло 1.3 мкм. Образцы изготавливались методом электронно-лучевой литографии и магнетронного напыления. Маска в резисте формировалась с помощью электронного пучка в растровом электронном микроскопе SUPRA 50VP, оснащенного приставкой для электронной литографии ELPHY PLUS. Затем на полученный рисунок методом магнетронного напыления осаждалась пленка пермаллоя. На финальной стадии массив полосок формировался посредством процедуры «lift-off» в ацетоне.

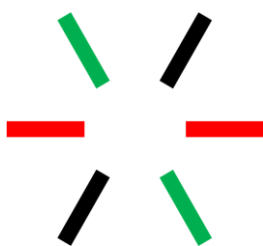


Рисунок 1. Схема массива шести ферромагнитных микрополосок, упорядоченных в «ромашку»

Спектры ферромагнитного резонанса были измерены с помощью ЭПР-спектрометра Bruker EMXPlus-10/12. Образец помещался в резонатор спектрометра таким образом, что переменное поле было направлено перпендикулярно плоскости образца, а подмагничивающее (\mathbf{H}) – параллельно ей. Переменное поле подавалось на собственной частоте резонатора 9.85 ГГц; поле \mathbf{H} изменялось в диапазоне от 0 до 3 кЭ.

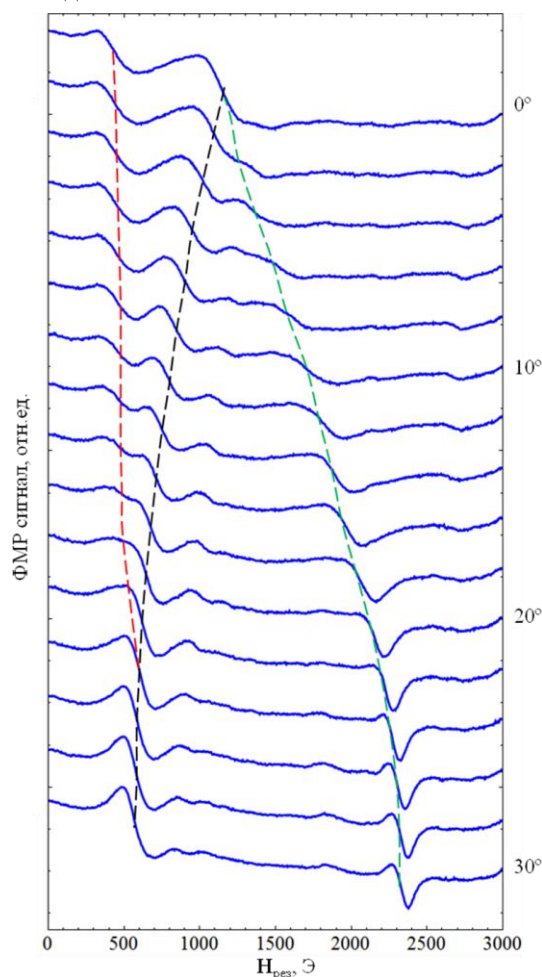


Рисунок 2. Спектры ФМР массива микрополосок при различных ориентациях образца относительно поля \mathbf{H}

В эксперименте исследовалась зависимость поглощения от ориентации образца относительно поля \mathbf{H} . Он вращался вокруг нормали к поверхности с шагом 2° , результаты приведены на рис. 2. Начальное положение образца (0°) соответствует ситуации, когда магнитное поле параллельно осям двух полосок, выделенных красным цветом на рис. 1. В этом случае спектр содержит два резонансных пика. Левый пик соответствует резонансу полосок, отмеченных красным цветом. При совпадении направления внешнего магнитного поля с длинной стороной микрополоски резонансное магнитное поле $\mathbf{H}_{\text{рез}}$ минимально. Правый пик соответствует резонансу остальных четырех полосок, их оси составляют с направлением поля \mathbf{H} угол 60° . При повороте образца резонансный пик, связанный с микрополосками, которые отмечены черным цветом на рис. 1, будет смещаться в область низких полей. В то же время пик, связанный с микрополосками, которые отмечены зеленым цветом, будет смещаться в область высоких полей. При повороте образца

на 30° поле будет направлено по биссектрисе угла между осями полосок. В этом случае резонансные пики, связанные с микрополосками, отмеченными черным и красным, сливаются в один. Значение резонансного поля для микрополосок, отмеченных зеленым цветом на рис. 1, достигает максимального значения, т.к. направление внешнего магнитного поля перпендикулярно длинной стороне полоски.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 15-02-04462).

Литература

1. H. Zhang, A. Hoffman, R. Divan and P. Wang // *Appl. Phys. Lett.*, **95**, 232503 (2009).
2. R. Adam, Yu. Khivintsev, R. Hertel, C. M. Schneider et. al. // *J. Appl. Phys.*, **103**, 07C508 (2008).
3. B. K. Kuanr, R. Lopusnil. L. M. Malkinski et. al. // *J. Appl. Phys.*, **103**, 07C508 (2008).
4. E. V. Skorohodov, R. V. Gorev, R. R. Yakubov, E. S. Demidov et. al. // *JMMM*, 424, 118-121 (2017).