

- [1] Пудалов В. М., Семенчинский С. Г. Письма в ЖЭТФ, 1985, т. 42, № 5, с. 188—190.  
 [2] Шашкин А. А., Долгополов В. Т., Дорожкин С. И. ЖЭТФ, 1986, т. 91, № 11, с. 1897—1904.  
 [3] Дорожкин С. И., Шашкин А. А., Житенев Н. Б., Долгополов В. Т. Письма в ЖЭТФ, 1986, т. 44, № 4, с. 189—192.  
 [4] Семенчинский С. Г. ЖЭТФ, 1986, т. 91, № 11, с. 1804—1814.

Институт физики твердого тела АН СССР  
 Черноголовка Моск. обл.

Поступило в Редакцию  
 26 февраля 1987 г.

УДК 539.23

Журнал технической физики, т. 58, в. 11, 1988

## ОСОБЕННОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ

Ф. Г. Барьяхтар, А. В. Зиновук, А. Ф. Коновалов, Л. И. Приходько

В последнее время появился ряд работ [1-4], в которых рассматриваются вопросы, связанные с преобразованием внутренней структуры доменных границ (ДГ) во внешнем планарном магнитном поле. Интерес к этой проблеме стимулирован тем, что исследования показали возможность создания ЗУ большой емкости на основе вертикальных блоховских линий (ВБЛ).

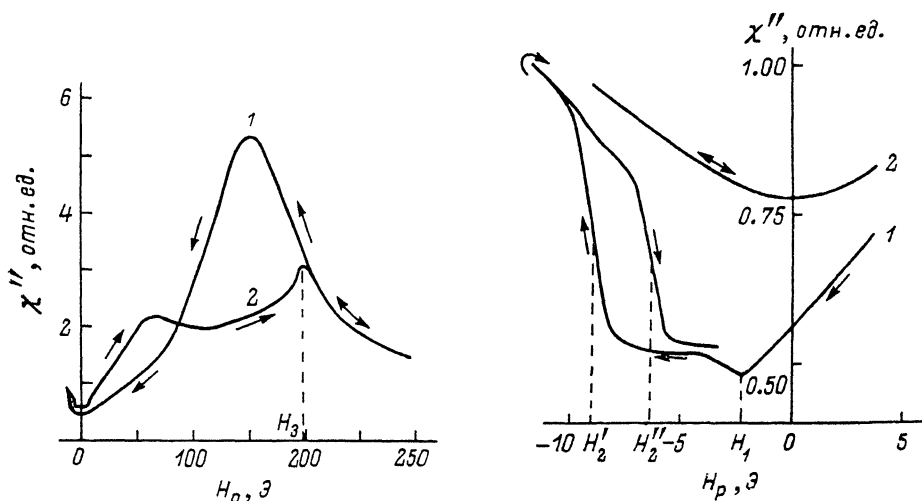


Рис. 1. Зависимость мнимой части высокочастотной восприимчивости от планарного магнитного поля  $H_p$  для пленки с поляризованными (1) и содержащими ВБЛ (2) доменными границами.

Стрелками показано направление изменения поля.  $\nu=90$  мГц,  $T=293$  К.

Рис. 2. Детальный вид зависимости  $\chi''(H_p)$  в области малых полей при  $T=300$  (1), 430 К (2).  $\nu=90$  мГц.

В данной работе экспериментально изучены вопросы преобразования структуры ДГ полосовых доменов в феррит-гранатовых пленках, а также зависимость их от температуры и величины поля одноосной анизотропии.

Методика эксперимента базировалась на исследовании зависимости мнимой части восприимчивости  $\chi''$  от магнитного поля  $H_p$ , приложенного в плоскости пленки параллельно ДГ. Измерения  $\chi''$  проводились на частотах вблизи резонанса ДГ по изменению добротности колебательного контура, внутри катушки индуктивности которого помещался образец таким образом, чтобы высокочастотное поле было направлено вдоль оси легкого намагничивания пленки.

Исследования проводились на образцах эпитаксиальной феррит-гранатовой пленки состава  $(Y, Bi)_3(Fe, Ga)_5O_{12}$  со следующими параметрами: толщина 6.5 мкм, намагниченность насыщения ( $4\pi M_s$ ) 380 Гс, эффективное поле одноосной анизотропии 4300 Э, резонансная частота колебаний доменных границ (при нулевом внешнем магнитном поле) 58 МГц, температура Нееля 171 К.

Известно [8], что внешнее магнитное поле  $H_p$  достаточной величины ( $H_p \geq 8M_s$ ), приложенное в плоскости пленки параллельно ДГ, ориентирует магнитные моменты в центре границы в направлении этого поля, т. е. граница становится поляризованной. Такое состояние сохраняется в диапазоне полей, совпадающих по направлению с намагниченностью границы по крайней мере от 0 и до значений, при которых уже наблюдается искажение решетки полосовых доменов. В этом случае зависимость  $\chi''(H_p)$  на частотах, превышающих резонансную частоту колебаний ДГ, имеет типичный резонансный характер (рис. 1, 1).

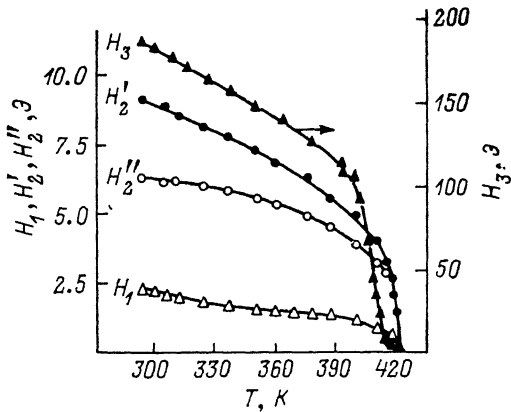


Рис. 3. Зависимости полей зарождения ВБЛ  $H_1$ , образования кластера  $H_2'$ , распада кластера  $H_2''$  и коллапса блоховских линий  $H_3$  от температуры.

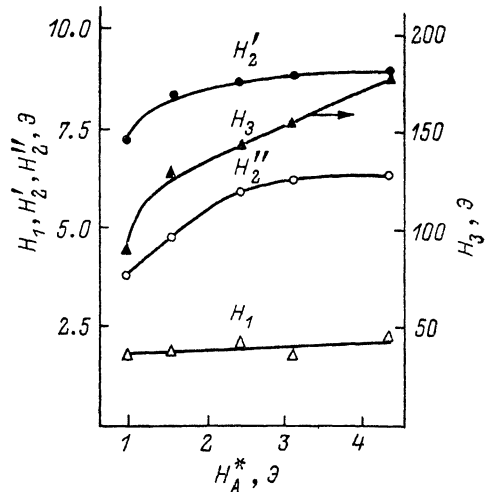


Рис. 4. Зависимости  $H_1$ ,  $H_2'$ ,  $H_2''$  и  $H_3$  от эффективного поля одноосной анизотропии.

При увеличении от нуля поля, направленного противоположно ориентации магнитных моментов в границе, на кривой  $\chi''(H_p)$  имеется ряд особенностей, связанных с зарождением, формированием кластеров и аннигиляцией ВБЛ [2, 3]. В [6] показано, что перематничивание доменной границы магнитным полем происходит через зарождение горизонтальных блоховских линий (ГБЛ) вблизи поверхностей пленки. В результате прорыва ГБЛ в силу статистических причин образуются устойчивые ВБЛ одного направления закрученности. Появление в ДГ ВБЛ приводит к необратимому изменению характера зависимости  $\chi''(H_p)$  и сопровождается изломом кривой в поле  $H_p = H_1$ . Более детальный вид этой зависимости в области малых полей представлен на рис. 2. При наличии ВБЛ вид зависимости  $\chi''(H_p)$  (рис. 1, 2) существенно отличается от резонансной кривой, имеющей место в случае поляризованных ДГ. По-видимому, это вызвано существованием нескольких мод колебаний ДГ, содержащих ВБЛ.

Как показано в [2], характер распределения ВБЛ в ДГ существенно зависит от величины  $H_p$ . При определенных значениях этого поля происходит перераспределение блоховских линий — как группирование ВБЛ в кластеры, так и их распад, сопровождающиеся скачком восприимчивости  $\chi''$ . Аналогичный процесс отражен на рис. 2, где  $H_2'$  соответствует полю образования кластера, а  $H_2''$  — полю распада кластера. Естественно, что при определенном значении поля  $H_p$  силы отталкивания между ВБЛ, обусловленные обменной энергией, будут преодолены за счет магнитоэлектростатических сил вследствие возрастания энергии «невыгодных» участков границы, намагниченных противоположно полю, в результате чего будет наблюдаться коллапс блоховских линий и стенка станет поляризованной. Полю коллапса ВБЛ соответствует поле  $H$  (в этом случае кривые 1, 2 на рис. 1 совпадают).

Необходимо подчеркнуть, что характер зависимости  $\chi''(H_p)$  образца, в ДГ которого ВБЛ зарождались динамическим образом, т. е. воздействием на доменную структуру с поляризованными границами высокочастотным полем большой амплитуды (5—6 Э), совпадает с зависимостью 2 на рис. 1.

Известно [5], что такие свойства доменной границы, как ширина и ее скрученность, зависят от эффективного поля одноосной анизотропии, которая в свою очередь существенно зависит от температуры. Поэтому представляли интерес исследования преобразования внутренней структуры ДГ в планарном поле от температуры. На рис. 3 представлены зависимости полей зарождения и коллапса ВБЛ ( $H_3$ ), формирования и распада кластеров в области температуры 290—430 К. Видно, что поля  $H_1$ ,  $H_2'$ ,  $H_2''$ ,  $H_3$  с ростом температуры уменьшаются и при  $T = T_{кр} = 422$  К обращаются в нуль, т. е. при  $T = T_{кр}$  образование ВБЛ в ДГ невозможно и процесс перемангничивания ДГ идет обратным образом (без гистерезиса). На рис. 2 показана зависимость  $\chi''$  ( $H_p$ ) при  $T = 430$  К. Такая зависимость дает основание предполагать, что структура ДГ в этом случае весьма существенно отличается от блоховской модели, в рамках которой возможно существование ВБЛ. На рис. 4 показаны зависимости  $H_1$ ,  $H_2'$ ,  $H_2''$ ,  $H_3$  от эффективного поля одноосной анизотропии.

Различные значения поля одноосной анизотропии были получены путем отжига исходного образца в воздухе, намагниченность насыщения пленок при этом оставалась практически неизменной. Необходимо отметить также, что полученные зависимости полей  $H_2'$  и  $H_2''$  от температуры и анизотропии отличаются от результатов, полученных в [2]. Этот факт, очевидно, связан с тем, что авторы не учитывали влияния скрученности ДГ на устойчивость кластеров ВБЛ. Представленные зависимости  $H_1$ ,  $H_3$  находятся в хорошем согласии с результатами, описанными в [4].

Таким образом, в результате проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод, что при воздействии на доменную границу планарного магнитного поля процесс перемангничивания происходит путем образования ВБЛ через ГБЛ, формирования кластеров и их коллапса в отличие от модели, предложенной в [4]. В пользу этого говорит то, что зависимость  $\chi''$  ( $H_p$ ) совершенно симметрична относительно нуля магнитного поля при наличии блоховских линий в ДГ. Это связано с тем, что как при положительных, так и при отрицательных значениях полей особенности на кривой (формирование и распад кластеров, коллапс ВБЛ) обусловлены взаимодействием ВБЛ, имеющих одно направление закрученности [5]. В то же время в рамках модели [4], предполагающей образование только ГБЛ, зависимость  $\chi''$  ( $H_p$ ) должна, по-видимому, быть асимметричной, так как в магнитных полях одного направления ГБЛ будут «выходить» на поверхность, где компонента намагниченности, нормальная плоскости ДГ, будет противоположна результирующей намагниченности ГБЛ. В противоположно направленных полях эти намагниченности будут совпадать.

Авторы выражают благодарность Ю. А. Кузину за проведение отжига феррит-гранатовых пленок и М. И. Ереминой за измерения эффективной анизотропии этих образцов частотно-индуктивным методом.

#### Литература

- [1] Ялышев Ю. И., Лукаш К. И., Показаньев В. Г. ФТТ, 1984, т. 26, № 5, с. 1549—1550.
- [2] Ялышев Ю. И., Политов В. Ю., Показаньев В. Г. ФММ, 1986, т. 62, № 1, с. 61—68.
- [3] Барьяхтар Ф. Г., Зиновук А. В., Коновалов А. Ф., Приходько Л. И. В кн.: II Всес. семинар по функциональной магнитоэлектронике. Красноярск, 1986, с. 102—103.
- [4] Maartense I. J. Magnet. Magnetic Mater., 1986, v. 54—57, pt III, p. 1571—1572.
- [5] Малоземов А., Слонзуски Д. Ж. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами. М.: Мир, 1982, с. 382.
- [6] Hubert A. J. Appl. Phys., 1975, v. 46, N 5, p. 2276—2287.

Донецкий физико-технический институт АН УССР

Поступило в Редакцию  
9 апреля 1987 г.

### СИГНАЛЬНЫЕ И ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ЦЕПОЧЕК ТОРЦЕВЫХ ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ ПЕРЕХОДОВ

А. Л. Гудков, В. А. Ильин, В. Н. Лаптев, В. И. Махов, И. А. Семин, В. С. Эткин

В [1-3] сообщалось о разработке торцевых джозефсоновских переходов (ТДП) на основе ниобия и их использовании в детекторных радиометрах миллиметрового диапазона волн. Было показано, что ТДП являются перспективными элементами для создания малошумящих