

Таким образом, рассмотрены различные механизмы ЭФ в магнитном полупроводнике  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$ . Выявлена значительная роль аномального ЭФ. Тремя способами получены согласующиеся между собой значения эффективной массы электронов проводимости.

Авторы признательны М. И. Ауслендеру и Н. Г. Бебенину за полезное обсуждение.

### Л и т е р а т у р а

- [1] *Shoenes J., Wachter P.* Phys. Rev. B, 1974, vol. 9, N 7, p. 3097—3104.
- [2] *Лошкарева Н. Н., Суخورов Ю. П., Гижевский В. А., Чеботаев Н. М., Симонина М. И., Самохвалов А. А.* ФТТ, 1987, т. 29, № 7, с. 2231—2233.
- [3] *Selmi A., Mougier A., Heritier M.* JMMM, 1987, vol. 66, N 3, p. 295—316.
- [4] *Ауслендер М. И., Бебенин Н. Г., Гижевский В. А., Костылев В. А.* и др.: Свердловск: УрО АН СССР. Препринт № 87/2, 1987, с. 40.
- [5] *Lee T. N., Coburn T., Gluck R.* Sol. St. Commun., 1971, vol. 9, N 21, p. 1821—1824.
- [6] *Файфер В. Н.* Автореф. канд. дис. Всесоюзный научно-исследовательский центр по изучению свойств поверхности и вакуума. М., 1982. 20 с.
- [7] *Bongers P. F., Zanmarchi G.* Sol. St. Commun., 1968, vol. 6, N 5, p. 291—294.
- [8] *Coburn T. J., Moser F., Ahrenkiel R. K., Telgarden K. J.* IEEE Trans. Magnet.. 1971, MAG-7, p. 392—393.
- [9] *Самохвалов А. А., Гижевский В. А., Лошкарева Н. Н., Арбузова Т. И., Симонина М. И., Чеботаев Н. М.* ФТТ, 1981, т. 23, № 11, с. 3467—3469.
- [10] *Мосс Т.* Оптические свойства полупроводников. М.: ИЛ, 1961. 295 с.

Институт физики металлов УНЦ АН СССР  
Свердловск

Поступило в Редакцию  
8 октября 1987 г.

УДК 537.611.3

*Физика твердого тела, том 30, в. 3, 1988*  
*Solid State Physics, vol. 30, № 3, 1988*

## ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЦМД В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ

*Ф. Г. Барьяхтар, А. В. Зиновук, А. Ф. Коновалов,  
С. Н. Кудряшова, В. Д. Стасовский*

В настоящее время установлено, что при движении цилиндрического магнитного домена (ЦМД) в тонких феррит-гранатовых пленках может происходить преобразование доменной границы (ДГ), связанное с потерей или приобретением блоховских линий (БЛ) [ $1-3$ ]. В [4] показано, что при достижении ЦМД некоторых критических скоростей наблюдаются следующие характерные переходы: необратимые, «твердый» ЦМД (домен, содержащий БЛ)—«нормальный» (без БЛ); обратимые, «нормальный»—«твердый»; необратимые, «нормальный»—«сверхтвердый». Однако детального исследования каждого из отмеченных переходов проведено еще практически не было.

В данной работе экспериментально изучено явление динамического перехода, в результате которого домен, содержащий определенное число БЛ («твердый»), полностью их теряет, т. е. переходил в нормальное состояние, а также показано влияние на такой переход постоянного магнитного поля, приложенного в плоскости образца.

Для экспериментов были отобраны образцы эпитаксиальных феррит-гранатовых систем  $(\text{Y, Bi})_3(\text{Fe, Ga})_5\text{O}_{12}$ , выращенные на подложках гадолиний-галлиевого граната, ориентированных вдоль направления [111] со следующими параметрами: толщина  $h=12 \cdot 10^{-4}$  см, намагниченность насыщения  $4\pi M_s=172$  Гс, поле анизотропии  $H_A=3000$  Э, гиромагнитное отношение  $\gamma=1.82 \cdot 10^7$  Э $^{-1}$ с $^{-1}$ , параметр затухания  $\alpha=0.025$ .

Исследования проводились методом вращающегося градиентного поля [5] на установке, описанной в [6].

Для выполнения условий, необходимых при движении ЦМД по окружности, создавалась суперпозиция однородного по объему домена вращательного градиента  $\nabla H_{\sim}$  и постоянного градиента поля смещения  $\nabla H_{\sim}$ , направленного по радиусу-вектору. Последний необходим для центровки траектории движения ЦМД.

На рис. 1 представлена зависимость скорости движения ЦМД от величины  $\nabla H_{\sim}$  для доменов с состоянием  $S=1$  и  $S=3$  ( $S=1+1/2 \Sigma n_i$ , где  $n_i$  — число вертикальных блоховских линий). Штриховые линии соответствуют переходу домена из состояния  $S=3$  в  $S=1$  для различных величин постоянного магнитного поля  $H_p$ , приложенного в плоскости пленки. Из рис. 1 видно, что наличие поля  $H_p$  приводит к заметному уменьшению критической скорости ( $V_{кр}$ ), при которой наблюдается такой переход. По-

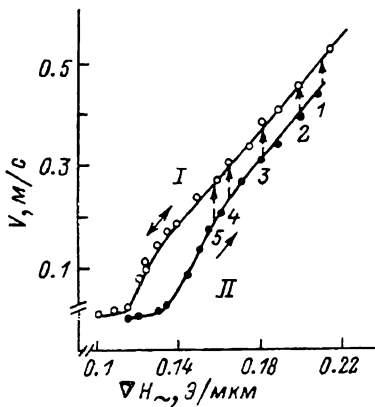


Рис. 1. Зависимость скорости движения ЦМД от величины переменного градиента поля для доменов с  $S=1$  (I) и  $S=3$  (II).

Штриховые линии соответствуют переходу домена из состояния  $S=3$  в  $S=1$  при различных величинах поля  $H_p$ , Э: 1 — 0, 2 — 10, 3 — 24, 4 — 35, 5 — 112.

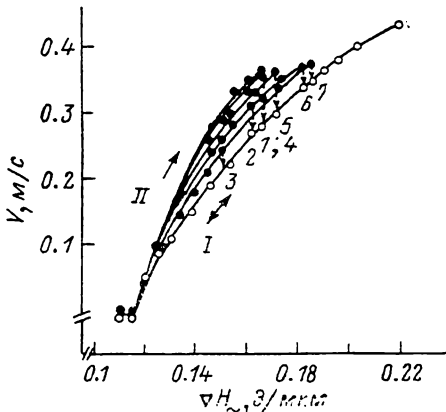


Рис. 2. Зависимость динамического перехода домена из состояния  $S=0$  (II) в  $S=1$  (I) от поля  $H_p$ .

Штриховые линии соответствуют переходу при различных значениях магнитного поля, Э: 1 — 0, 2 — 5, 3 — 14, 4 — 25, 5 — 30, 6 — 38, 7 — 40—50.

добную зависимость  $V_{кр}$  от  $H_p$  можно было ожидать, поскольку известно, что поле  $H_p$  определенной величины преобразует любую структуру доменной границы ЦМД в блоховскую стенку с двумя неелевскими участками [7], а в данном случае (рис. 1) поле  $H_p$  дополнительно стимулирует переход «твердого» ЦМД в «нормальный». Необходимо также отметить, что зависимость  $V_{кр}$  от  $H_p$  для всех исследованных образцов имеет нелинейный характер. При значениях поля  $H_p \approx 15 \div 25$  Э наблюдается особенность на зависимости  $V_{кр} \approx f(H_p)$ , которая, очевидно, связана с эффектом «поляризации» границы ЦМД под действием поля  $H_p$ .

Большой интерес вызывает динамический переход ЦМД из состояния  $S=0$  в состояние  $S=1$  при наличии поля  $H_p$ , поскольку, с одной стороны, как показано в [4], переход «твердый» ЦМД — «нормальный» в некотором диапазоне скоростей домена необратим, а с другой, как указано выше, поле  $H_p$  переводит ЦМД, в каком бы состоянии он не находился, в  $S=0$ . На рис. 2 показана зависимость динамического перехода  $S=0$  в  $S=1$  от магнитного поля  $H_p$ . Из рис. 2 видно, что в области полей  $0 < H_p < 14$  Э происходит уменьшение  $\nabla H_{\sim}$  и  $V_{кр}$ , при  $H_p = 14$  Э наблюдается минимум  $\nabla H_{\sim}$  и  $V_{кр}$ , а в области полей  $16 \text{ Э} < H_p \leq 25$  Э наблюдается уже увеличение  $\nabla H_{\sim}$  и  $V_{кр}$  до их значений в нулевом магнитном поле. При дальнейшем росте магнитного поля вплоть до величины в 40 Э происходит увеличение переменного градиента поля смещения, при котором наблюдается переход из состояния  $S=0$  в  $S=1$ , в то время как скорость,

при которой он происходит, остается практически постоянной. В области полей  $40 \text{ Э} < H_p \leq 50 \text{ Э}$  этот динамический переход происходит при  $\nabla H_- = 0.19 \text{ Э/мкм}$  и достижении ЦМД скорости  $V=0.38 \text{ м/с}$ , т. е. при любом значении поля  $H_p$  (из указанного диапазона) переход происходит при постоянном значении скорости и градиента. При более высоких полях ( $H_p > 50 \text{ Э}$ ) динамический переход из состояния ЦМД с  $S=0$  в  $S=1$  не наблюдался.

Для выяснения механизма перестройки внутренней структуры доменной границы ( $S=0$  в  $S=1$ ) в процессе движения ЦМД при наличии поля подмагничивания в плоскости пленки проведены детальные исследования радиуса траектории движения домена. Оказалось, что в нулевом магнитном поле траектория движения ЦМД как в состоянии  $S=1$ , так и в состоянии  $S=0$  представляет собой окружность. При прикладывании к образцу даже небольших полей  $H_p$  ( $H_p \approx 5 \text{ Э}$ ) траектория движения домена с  $S=0$  становится явно эллиптической, причем максимальное отличие большой и малой оси эллипса наблюдается при  $H_p=14 \text{ Э}$ . Очевидно, это связано с тем, что при  $H_p=14 \text{ Э}$  происходит полная «поляризация» ДГ по полю, т. е. две вертикальные блоховские линии располагаются диаметрально противоположно по отношению друг к другу и в направлении по полю. Разница в динамических характеристиках различных участков границы (с БЛ и без них) обуславливает разницу в их скоростях продвижения, что приводит как к эллиптичности формы самого домена, так и к эллиптичности его траектории движения. В то же время траектория движения ЦМД с  $S=1$  представляет собой правильную окружность и при наличии поля  $H_p$ . Поэтому динамический переход домена из состояния  $S=0$  в  $S=1$  сопровождается изменением формы траектории движения.

Таким образом, в работе экспериментально исследовано влияние на динамический переход «твердый» ЦМД—«нормальный» планарного магнитного поля, а также показан диапазон полей, в котором такой переход разрешен и как в этом случае меняется переменный градиент поля смещения, критическая скорость и траектория движения домена.

Авторы выражают благодарность А. М. Гришину за полезное обсуждение результатов исследований.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Vella-Coleiro G. P., Hagedorn F. B., Chen Y. S., Blank S. L. Appl. Phys. Lett., 1973, vol. 22, N 7, p. 324—325.
- [2] Ильяшенко Е. И., Юрченко С. Е. ФТТ, 1974, т. 16, № 11, с. 3509—3511.
- [3] Боков В. А., Волков В. В., Трофимова Т. К., Шер Е. С. ФТТ, 1975, т. 17, № 12, с. 3591—3594.
- [4] Барьяхтар Ф. Г., Зиновук А. В., Коновалов А. Ф., Стасовский В. Д. ФТТ, 1987, т. 29, № 8, с. 2482—2484.
- [5] Jones C. A., Stroemer M., Voegeli O., Friedlaender F. S. Digest Intermag. Conf., Los Angeles, 1977, p. 1—5 and IEEE Trans. Magn., 1979, vol. MAG-15, N 2.
- [6] Барьяхтар Ф. Г., Стасовский В. Д., Хохлов В. А. ПТЭ, 1986, № 6, с. 163—165.
- [7] Барьяхтар Ф. Г., Линник А. И., Прудников А. М., Соболев В. Л. Сб. научных трудов ИНЭУМа, М., 1986, с. 84—93.

Донецкий физико-технический  
институт АН УССР  
Донецк

Поступило в Редакцию  
8 октября 1987 г.