

- [9] Тер-Микаэлян М. И. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях. Ереван, 1969. 457 с.
- [10] Glauber R. J. Phys. Rev., 1955, v. 98, N 6, p. 1692—1698.
- [11] Andersen J. U., Bonderup E., Laegsgaard E. et al. Nucl. Instr. Meth., 1982, v. 194, N 1—3, p. 209—224.
- [12] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. М.: Наука, 1974, т. 3. 752 с.
- [13] Andersen J. U., Bonderup E., Laegsgaard E., Sørensen A. H. Physica Scripta, 1983, v. 28, N 3, p. 308—330.

Поступило в Редакцию  
27 июня 1987 г.

Журнал технической физики, т. 58, в. 8, 1988

## РЕЛАКСАЦИЯ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ В ВІ-СОДЕРЖАЩИХ ПЛЕНКАХ

А. Н. Ануфриев

В последнее время большое внимание уделяется разработке устройств с магнитооптической обработкой сигнала. В качестве активных магнитных сред в таких устройствах применяются Ві-содержащие феррит-гранатовые пленки, обладающие высоким удельным фарадеевским вращением и легко управляемой доменной структурой. Однако быстродействие устройств лимитируется сравнительно небольшой скоростью доменных границ (ДГ) и большими временами их релаксации. Релаксации ДГ посвящен ряд работ [1—4], в которых исследуются процессы релаксации ДГ при воздействии на них синусоидальным магнитным полем в широком диапазоне частот. Релаксации ДГ объясняют наличием «вязкого» трения в системе и перестройкой структуры ДГ на частотах, близких к частотам релаксации [1, 2]. Низкочастотная релаксация ДГ в области 0.5—1.0 кГц объясняется собственной намагниченностью ДГ в области ее выхода на поверхность образца [3].

Кроме того, вклад в релаксацию ДГ вносят обменные взаимодействия при наличии пространственной дисперсии магнитных моментов [4].

Большой интерес представляет собой релаксация ДГ после воздействия на них одиночным прямоугольным импульсом магнитного поля, т. е. когда скважность сигнала, интервал между соседними импульсами, много больше времени релаксации. В таком режиме ДГ полностью возвращается в состояние равновесия и сигналы фотоотклика не перекрываются.

В данной работе исследовалась кооперативная релаксация ДГ при воздействии на них одиночным прямоугольным импульсом магнитного поля.

Исследовались пленки состава  $(\text{BiTm})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$ , выращенные на подложке из ГГГ с ориентацией (111). Толщина пленки 7.2 мкм, полупериод доменной структуры  $w=35$  мкм,  $M_s=0.4$  кА/м,  $H_k=215$  кА/м,  $\alpha=0.03$ .

Исследование колебаний доменных границ проводилось методом фотоотклика. Фронт импульса перемагничивания был не хуже 50 нс, длительность импульса варьировалась в пределах 0.1—10 мкс. Параметры и форма сигнала фотоотклика и перемагничивающего импульса показаны на рис. 1. При перемагничивании ДГ совершали свободные кооперативные колебания [1].

В первом эксперименте, результаты которого приведены на рис. 1, длительность перемагничивающего импульса поддерживалась постоянной и составляла 10 мкс. С ростом импульсного поля наблюдалось увеличение амплитуды фотоотклика и времени релаксации ДГ, время нарастания сигнала фотоотклика падало. Начиная с импульсных полей напряженностью 4 кА/м наблюдается выход на насыщение амплитуды сигнала фотоотклика, что свидетельствует о достижении предельной амплитуды колебаний ДГ. При этом наблюдается резкое увеличение времени релаксации ДГ, которое при  $H_n=8$  кА/м достигает 100 мкс. Время нарастания сигнала фотоотклика в интервале полей 4—10 кА/м остается постоянным, что можно объяснить насыщением скорости ДГ. Видно, что при переходе через значение величины импульсного поля  $H_n=4$  кА/м, отвечающего насыщению скорости ДГ, характер релаксации ДГ изменяется.

Во втором эксперименте величина импульсного поля поддерживалась постоянной и составляла 2.5 кА/м, что было ниже поля насыщения скорости ДГ. Начиная с длительности

перематгнчивающего импульса  $\tau_n=5$  мкс наблюдается насыщение амплитуды сигнала фотоотклика и возрастание времени релаксации (рис. 2). Время нарастания сигнала фотоотклика монотонно увеличивается с ростом длительности импульса, что говорит о стационарном дви-

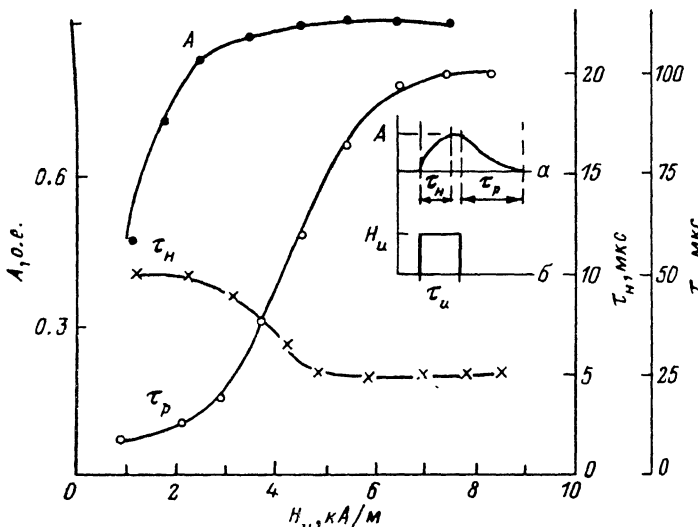


Рис. 1. Зависимость амплитуды фотоотклика  $A$ , времени нарастания  $\tau_n$  и времени релаксации  $\tau_p$  от величины импульсного поля  $H_u$ .

На вставке: параметры импульса фотоотклика (а) и перематгнчивающего импульса (б).

жении ДГ в малых полях. Интересно отметить, что при  $\tau_n \geq 4$  мкс время нарастания и время спада сигнала фотоотклика равны длительности перематгнчивающего импульса и возрастают вместе с ней. При этом форма сигнала фотоотклика представляет собой как бы равносторонний треугольник. При увеличении длительности импульса высота треугольника, соответ-

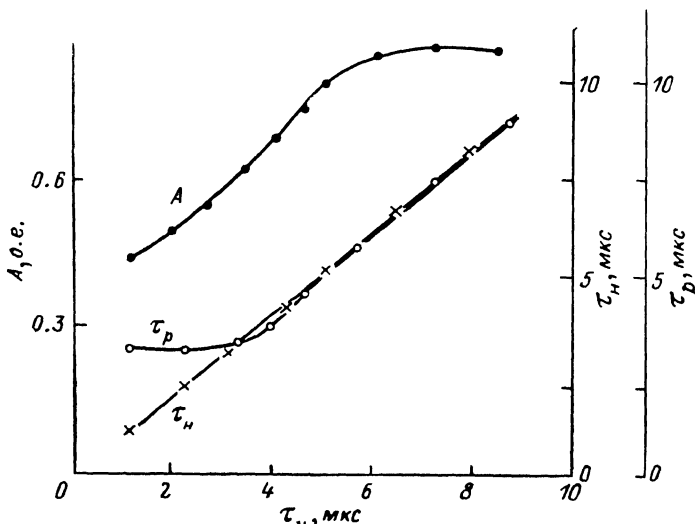


Рис. 2. Зависимость параметров импульса фотоотклика от длительности перематгнчивающего импульса  $\tau_u$  при фиксированной амплитуде перематгнчивающего импульса  $H_u=2.5$  кА/м.

ствующая амплитуде сигнала, остается постоянной, а основание увеличивается. Возможно, это объясняется действием упругой возвращающей силы при сближении двух доменов с одинаковыми направлениями намагнченности.

В третьем эксперименте амплитуда перематгнчивающего импульса поддерживалась постоянной и составляла 10 кА/м, что превышало поле насыщения скорости ДГ. Длительность перематгнчивающего импульса варьировалась в пределах 0.1—10 мкс. Из рис. 3 видно, что

зависимости амплитуды и времени нарастания сигнала фотоотклика выходят на насыщение при длительностях перемагничивающего импульса, превышающих 4 мкс. При этом наблюдается резкое увеличение времени релаксации ДГ, которое может достигать 160 мкс.

Из результатов трех экспериментов можно заключить, что аномально большие времена релаксации ДГ наблюдаются при насыщении скорости ДГ при перемагничивании пленки и предельной амплитуде колебаний ДГ. Большие времена релаксации ДГ можно объяснить зарождением горизонтальных блоховских линий (ГБЛ), поля образования которых, вычисленные по приведенной формуле, сравнимы с полем насыщения скорости ДГ [6]

$$H_{\text{ГБЛ}} = \frac{(2\pi M_s \alpha \Delta_0 \sqrt{Q}) (1 + e^2)^2}{hc^2},$$

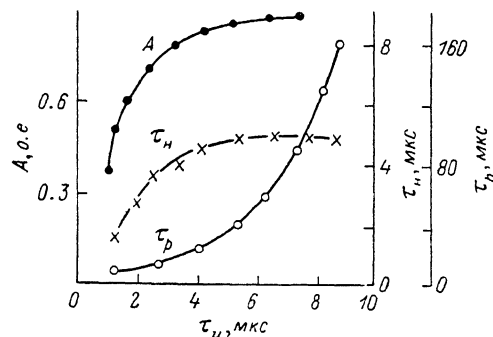


Рис. 3. Зависимость параметров импульса фотоотклика от длительности перемагничивающего импульса при  $H_n = 10$  кА/м.

где  $H_{\text{ГБЛ}}$  — поле зарождения ГБЛ,  $M_s$  — намагниченность насыщения,  $\alpha$  — параметр затухания по Гильберту,  $\Delta_0$  — ширина ДГ,  $Q$  — фактор качества,  $h$  — толщина пленки.

Для пленок, исследуемых в данной работе,  $H_{\text{ГБЛ}} \approx 0.6$  кА/м при  $\alpha$ , полученном из данных ФМР. Если для расчета использовать значение  $\alpha$ , полученное из данных по резонансу доменных границ, то  $H_{\text{ГБЛ}} \approx 3.7$  кА/м, что дает лучшее совпадение с приведенными экспериментальными результатами.

В диапазоне параметров перемагничивающих импульсов, используемых в эксперименте, нелинейные явления определяются порогом зарождения ГБЛ и гибкостью доменных границ [7].

### Литература

- [1] Малоземов А., Слезунски Дж. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами. М.: Мир, 1982. 382 с.
- [2] Криничик Г. С. Физика магнитных явлений. М., 1985. 336 с.
- [3] Криничик Г. С., Чепурова Е. Е. Тез. докл. X Всес. школы-семинара «Новые магнитные материалы микроэлектроники». Рига, 1986, с. 76—77.
- [4] Ким П. Д., Дрокина Т. В., Шувалов А. В. и др. Там же, с. 165—166.
- [5] Ануфриев А. Н., Летюк Л. М. Тез. докл. VII Всес. объединенного семинара «Современный уровень разработок запоминающих и логических устройств на цилиндрических магнитных доменах». М., 1985, с. 42.
- [6] Iwata S., Shiomi S., Uchiyama S. J. Appl. Phys., 1979, v. 50, N 11, p. 7859—7861.
- [7] Slonzewski J. C., Argule B. E., Spreen J. H. IEEE Trans. Magn., 1981, v. MAG-17, N 6, p. 2760—2765.

Московский институт стали и сплавов

Поступило в Редакцию  
27 июня 1987 г.  
В окончательной редакции  
18 декабря 1987 г.