

## ЗАРОЖДЕНИЕ МЕЗОСКОПИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ СТРУКТУР ЛОКАЛЬНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

А.С.Логгинов<sup>1)</sup>, А.В.Николаев, В.Н.Онищук, П.А.Поляков

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова,  
119899 Москва, Россия*

Поступила в редакцию 22 июля 1997 г.

Обнаружены новые эффекты модификации внутренней структуры доменных границ в тонкой магнитной пленке феррита-граната под действием сфокусированного лазерного излучения. Воздействие однократного импульса лазера, по мере увеличения его мощности, вызывает: 1) перемещение вертикальных линий Блоха в доменной границе; 2) зарождение пары вертикальных линий Блоха на исходно свободных от линий границах; 3) необратимое изменение формы доменной стенки и доменной структуры в целом. Механизм эффектов зарождения и перемещения линий Блоха связывается с движением доменных границ, вызванным локальным изменением распределения полей размагничивания в результате температурного уменьшения намагниченности в месте фокусировки лазера.

PACS: 75.60.Ch, 75.70.Kw

Поиск новых физических механизмов и материалов, допускающих изменение параметров вещества на субмикронном масштабе в результате оптического воздействия, вызывает значительный интерес в связи с возможностью их применения в устройствах памяти с оптической и термомагнитной записью информации.

В настоящей работе сообщается об эффекте зарождения и продвижения вертикальных блоховских линий (ВБЛ) в доменных границах (ДГ) тонкой магнитной пленки феррита-граната в результате воздействия сфокусированного лазерного излучения. ВБЛ представляют собой устойчивые магнитные вихри, разделяющие участки доменной границы противоположной полярности [1]. Линии Блоха имеют характерный размер в доли микрона и относятся к классу мезоскопических объектов.

Эксперимент был поставлен по следующей схеме. Излучение импульсного азотного лазера ЛГИ-21 с длиной волны  $\lambda \approx 337$  нм преобразовывалось красителем Родамин 6 Ж к длине волны  $\lambda \approx 540$  нм и фокусировалось на образец объективом с числовой апертурой 0.2. Диаметр сфокусированного пучка равнялся приблизительно 4 мкм. Образец представлял собой  $\langle 111 \rangle$  пленку феррита-граната состава  $(\text{BiTm})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$  с параметрами:  $4\pi M_s = 173$  Гс;  $H_{\text{col}} = 126$  Э; период равновесной полосовой структуры 8.5 мкм; толщина пленки 7.5 мкм;  $Q=3.8$ . Длительность импульса лазера составляла  $\sim 10$  нс, его форму можно считать близкой к гауссовой. Максимальная энергия светового импульса, переизлученного красителем и попадающего на образец, составляла  $W_{\text{max}} \sim 10^{-6}$  Дж (при нестабильности около 15%).

Для контроля состояния доменной структуры использовался метод одностронней темнопольной подсветки, позволяющий наблюдать доменные границы и содержащиеся в них ВБЛ [2]. Доменные стенки в этом методе выглядят светлыми линиями на темном фоне, а локальное уменьшение или увеличение

<sup>1)</sup> e-mail: asl@osc.phys.msu.su

яркости ДГ соответствует линиям Блоха (см. ниже рис.2, ВБЛ отмечены стрелочками). В проведенном эксперименте лазер ЛГУ-21 на установке темного поля [3] был использован и для воздействия на доменную структуру, и как источник темнопольной подсветки.

Эксперименты проводились на полосовой равновесной доменной структуре, получаемой размагничиванием образца из монодоменного состояния в присутствии постоянного магнитного поля, направленного в плоскости магнитной пленки. Это давало совершенную решетку полосовых доменов, стенки которых свободны от ВБЛ.

Использовалась следующая процедура. Видеокамерой, соединенной с компьютером, методом односторонней темнопольной подсветки фиксировалось исходное изображение доменных стенок и вертикальных линий Блоха. Затем генерировался однократный импульс лазера заданной мощности, после чего, опять при помощи темнопольного наблюдения, контролировалось результирующее изменение структуры доменной границы. Внешние магнитные поля не прикладывались.

Выявлено, что в зависимости от энергии лазерного излучения  $W$ , наблюдаются три различных физических явления.

1. Под влиянием импульса с  $W < 0.2W_{max}$  вертикальные линии Блоха (предварительно специально введенные в доменные границы и находящиеся на расстоянии  $\sim 10-15$  мкм от сфокусированного пятна) начинают перемещаться. На рис.1а изображена исходная картина, ВБЛ отмечена стрелочкой, кружком с крестиком внутри показано место фокусировки луча. Рисунки 1b и c демонстрируют результат последовательного воздействия двух однократных лазерных импульсов. Следует заметить, что движение линий Блоха неустойчиво и не всегда направлено к лучу. Смещение ВБЛ отмечается как на границе, ближайшей к сфокусированному лучу, так и на соседних с ней.

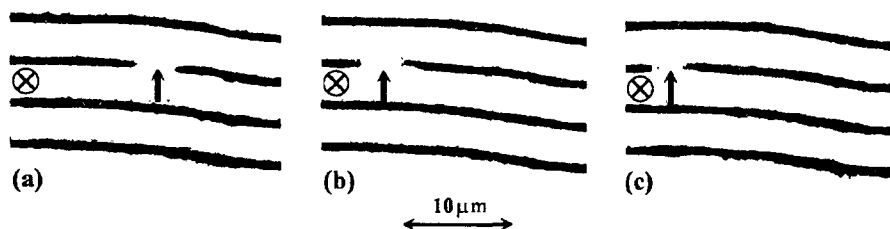


Рис. 1. Перемещение ВБЛ в результате воздействия лазерного излучения: а - исходное положение; б, с - смещение ВБЛ при последовательном приложении двух однократных импульсов лазера. Знак  $\otimes$  показывает место фокусировки лазера, ВБЛ отмечена стрелкой. Изображения получены в одностороннем темном поле, контраст инвертирован

2. При увеличении энергии до  $W \approx 0.2W_{max}$  однократный импульс лазера приводит к зарождению пары вертикальных линий Блоха на исходно свободных от ВБЛ границах. На рис.2 представлены типичные изображения, получаемые после воздействия импульса. Место фокусировки луча отмечено кружком с крестиком. Как видно, на стенках образуются области измененного контраста. Данные области соответствуют парам ВБЛ. По своему изображению в одностороннем темном поле и по динамической реакции на импульсы поля в плоскости магнитной пленки и поля смещения они идентичны линиям,

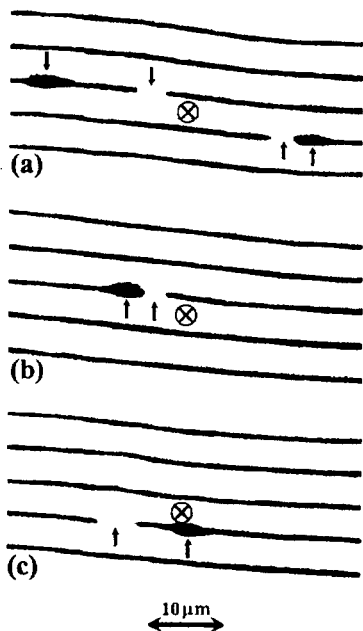


Рис. 2. Типичные изображения линий Блоха, зарождающихся в доменных границах после воздействия импульса лазера. Знак  $\otimes$  показывает место фокусировки лазера, ВБЛ отмечены стрелками. Фотографии получены в одностороннем темном поле, контраст инвертирован

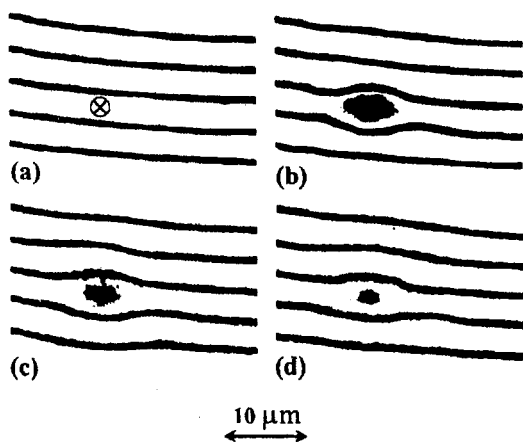


Рис. 3. Мгновенные динамические конфигурации доменной структуры в различные моменты времени после приложения сфокусированного импульса лазера ЛГИ-21. Изображения получены: до импульса (а), знак  $\otimes$  показывает место фокусировки лазера, и с задержками 100 нс (б); 300 нс (с); 1000 нс (д) после воздействия импульса

зарождающимся в ДГ "традиционным" способом – при движении границы со скоростью, превышающей критическую [1]. Сближение зарожденных пар (например, при помощи импульсов поля, направленного в плоскости магнитной пленки вдоль границы) приводит к их аннигиляции. Отсюда следует, что пары являются незакрученными [1].

Зарождение ВБЛ носит статистический характер с вероятностью зарождения, увеличивающейся от  $\sim 0.1$  при  $W \approx 0.2W_{max}$  до  $\sim 0.9$  при  $W \approx 0.24W_{max}$ . Местоположение пары на доменной границе, а также расстояние между составляющими ее отдельными линиями Блоха, может варьироваться от импульса к импульсу при других фиксированных параметрах.

3. С дальнейшим увеличением энергии,  $W > 0.25W_{max}$ , наряду с зарождением ВБЛ наблюдается необратимая модификация доменной структуры, которая происходит в непосредственной близости от места фокусировки лазера и представляет собой изгиб ДГ. Локальное нарушение равновесности решетки полосовых доменов, а также заметное закрепление границы в этом месте свидетельствуют о возникновении дефекта магнитной пленки. Наиболее вероятной причиной образования дефекта является локальный перегрев образца в результате воздействия лазерного излучения.

Также, по мнению авторов, температурное воздействие светового импульса, а не какие-либо фотомагнитные эффекты (проявляющиеся в прямом влия-

нии электромагнитного поля световой волны на магнитную систему образца), служит физической причиной и описанных выше эффектов зарождения и продвижения ВБЛ.

Для проверки данного предположения и выяснения механизма зарождения линий Блоха при помощи метода высокоскоростной фотографии (ВСФ) [4] в реальном времени была рассмотрена динамика доменной структуры после приложения импульса лазера. Мощность излучения ЛГИ-21 соответствовала условиям зарождения линий Блоха. В качестве источника подсветки ВСФ использовался полупроводниковый инжекционный лазер с длиной волны  $\lambda \cong \cong 670$  нм. В фиксированные моменты времени после генерации импульса лазера ЛГИ-21 доменная структура подсвечивалась полупроводниковым лазером в оптической геометрии прямой подсветки (с использованием эффекта Фарадея) со скрещенными поляризаторами. Импульс полупроводникового лазера имел длительность порядка 30 нс. Это позволяло получать "мгновенную" конфигурацию доменной структуры, возмущенной сфокусированным световым импульсом, и проследить эволюцию этого возмущения во времени. Как видно на фотографиях, представленных на рис.3, в месте фокусировки лазерного луча после его приложения возникает темная область, а соседние доменные стенки смещаются, формируя изгиб. Наиболее быстро изгиб нарастает в течение первых 50 нс после импульса ЛГИ-21, формируясь, в основном, к 100 нс (рис.3б). Затем он медленно эволюционирует (рис.3с, d) и релаксирует до исходного состояния за 1500 – 2000 нс одновременно с исчезновением темной области.

Объяснение результатов эксперимента может быть проведено в рамках следующей качественной модели. Регистрируемая на фотографиях темная область соответствует участку образца с пониженным фарадеевским вращением, что вызвано существенным локальным уменьшением величины намагниченности насыщения пленки (а возможно, и переходом в парамагнитную фазу) из-за лазерного перегрева. Изменение намагниченности локального участка при нагреве и последующем остывании существенно изменяет распределение полей размагничивания в этой области. Данное изменение вызывает смещение близлежащих доменных границ. Как известно, при превышении движущейся границей критической скорости, в ней происходит зарождение горизонтальной блоховской линии (ГБЛ), прорывающейся на поверхность магнитной пленки с образованием пары ВБЛ [1]. Если скорость ДГ ниже критической, это может приводить к продвижению линий Блоха.

По результатам эксперимента по высокоскоростной фотографии видно, что наиболее быстро стенка движется в первые несколько десятков наносекунд после приложения импульса ЛГИ-21, то есть во время разогрева магнитной пленки. Оценка показывает, что при этом скорость ДГ может достигать 15 – 20 м/с. Это примерно соответствует значению критической скорости границы, измеренному для данного образца при движении ДГ в однородном импульсном поле смещения и равному  $\sim 30$  м/с. Таким образом, вполне можно ожидать, что при движении границы после лазерного импульса в ней зарождаются и прорываются петли ГБЛ, что и приводит к образованию ВБЛ.

Описанный эффект зарождения линий Блоха демонстрирует принципиальную возможность оптической записи магнитного бита информации субмикронного размера (в виде ВБЛ) с применением пучка лазера, сфокусированного в область существенно большего размера. В отличие от традиционной техники

терромагнитной записи [5], в которой битом информации является домен и его размер определяется, в основном, диаметром сфокусированного лазерного луча (что требует специальных методов для уменьшения размера записываемого домена до долей микрона [6]), в нашем случае размер бита определяется его физической природой как мезоскопического объекта внутри доменной границы, а не характерным масштабом записывающего "инструмента".

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант 97-02-17788.

- 
1. А.Малоземов, Дж.Слонзуски, *Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами*, М.: Мир, 1982. (A.P.Malozemoff and J.C.Slonczewski, *Magnetic domain walls in bubble materials*, New York, Academic Press, 1979).
  2. A.Thiaville, J.Ben Youssef, Y.Nakatani, et al., *J.Appl.Phys.* **69**, 6090 (1991).
  3. A.S.Logginov, A.V.Nikolaev, and V.V.Dobrovitski, *IEEE Trans. Magn.* **29**, 2590 (1993).
  4. Л.П.Иванов, А.С.Логгинов, Г.А.Непокойчицкий, *ЖЭТФ* **84**, 1006 (1983).
  5. M.Marsuripur, *The physical principles of magneto-optical recording*, Cambridge: University Press, 1995.
  6. T.Suzuki, *MRS Bulletin* **21**, 42 (1996).