

Магнитооптическая установка для исследования динамики доменных границ при импульсном фотонамагничивании

*М.В. Герасимов¹, С.В. Ильин¹, М.В. Лозунов^{1,2}, С.А. Никитов^{2,3}, А.В. Спириин¹,
А.Н. Чалдышкин¹*

¹НИУ «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва»

²Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН

³Московский физико-технический институт (государственный университет)

Для исследования быстропротекающих процессов в магнитных материалах инициируют динамическое изменение магнитного состояния под действием импульсов магнитного поля, спин-поляризованного тока, лазерных импульсов [1,2]. Независимо от метода изменения магнитного состояния материала, применение магнитооптических методов для регистрации состояния магнетика позволяет исследовать динамические свойства материалов практически в неограниченном частотном диапазоне [2]. Интерес к исследованию малых смещений доменов в значительной степени обусловлен разработкой устройств спинтроники с нанометровыми размерами компонентов [1]. Доменные границы (ДГ) рассматриваются как ключевые элементы спин-волновых наноразмерных устройств обработки информации – источников спиновых волн, наноантенн, нановолноводов и устройств управления параметрами спиновых волн.

При использовании оптической микроскопии для визуального наблюдения и метода высокоскоростной фотографии для регистрации положения ДГ разрешающая способность ограничена дифракционным пределом. Методы оптической микроскопии темного поля обеспечивают детектирование и исследование субмикронных магнитных структур с размерами ~100 нм. Использование щелевых диафрагм и лазерного зондирования также не позволяют существенно преодолеть порог в 100 нм. Исследование малых смещений ДГ, значительно меньших предела оптического разрешения, позволяют осуществлять методы с фотоэлектрической регистрацией положения ДГ или с помощью холловской микромагнитометрии [3]. Упомянутые методы позволяют получить интегральные сведения о малых смещениях ДГ, но не дают возможности зарегистрировать временную эволюцию смещения ДГ.

В данной работе представлена установка для исследования динамики нанометровых смещений ДГ при импульсном фотонамагничивании магнитных плёнок с регулярной доменной структурой. В установке (рис. 1) реализована пространственная фильтрация выходного оптического потока с использованием Фурье-образа доменной структуры и регистрация импульсной переходной реакции в режиме реального времени, что позволило зарегистрировать эволюцию смещений ДГ с пространственным разрешением 5 нм и временным разрешением 1 нс.

Исследуемый образец расположен в центре системы катушек Гельмгольца (рис. 1). Постоянное магнитное поле (А) позволяет управлять коэффициентом заполнения доменной структуры. Переменное поле (В) с экспоненциально уменьшающейся до нуля амплитудой служит для «отжига» доменной структуры перед приложением фотонамагничивающего импульса Nd:YLF лазера. Соответственно, перед каждым лазерным импульсом доменная структура образца приводилась в равновесное состояние, что позволило повысить повторяемость результатов эксперимента.

Для регистрации изменения состояния ДГ использовали зондирующий луч He-Ne лазера. Собирающая линза 1, расположенная на фокусном расстоянии от образца, выполняет функцию анализатора спектра пространственных частот доменной структуры, являющейся бинарной фазовой решеткой. Для выделения максимума m -го порядка дифракции использован пространственный фильтр. Он находится в задней фокальной плоскости линзы 1, где формируется Фурье-образ доменной структуры. Спектральный фильтр и, отчасти, пространственный фильтр служат для предотвращения попадания лазерного импульса в канал регистрации. Оптический поток после собирающей линзы 2 подается на ФЭУ с временем нарастания 0,78 нс (работает в режиме внешнего запуска для повышения чувствительности установки), сигнал с ФЭУ регистрируется осциллографом.

Широкая полоса пропускания осциллографа (1 ГГц) и высокий динамический диапазон (12 бит) позволили регистрировать временную эволюцию смещения ДГ в режиме реального времени, не прибегая к использованию стробоскопического метода, что на 2-3 порядка сокращает время проведения эксперимента. Временное разрешение установки (~1 нс) определяется временем нарастания ФЭУ и полосой пропускания осциллографа.

В результате проведенного на установке эксперимента показано, что поляризационно-зависимый эффект импульсного фотонамагничивания плёнок ферритов-гранатов под действием лазерного импульса с циркулярной поляризацией определяется движением ДГ [4]. Отметим, что ранее в экспериментах по фотонамагничиванию не было зарегистрировано движение ДГ под действием одиночного лазерного импульса, наблюдалось только изменение структуры неподвижной ДГ [5]. Управление свойствами ДГ с помощью импульсов лазера позволяет локализовать изменения положения и структуры ДГ, что представляет интерес для разрабатываемых устройств спин-фотоники [1].

Работа выполнена при поддержке Программы развития МГУ им. Н.П. Огарёва (соглашение № 757 между Минобрнауки РФ и МГУ им. Н.П. Огарёва) и РФФИ в рамках проекта № 15-07-08152А.

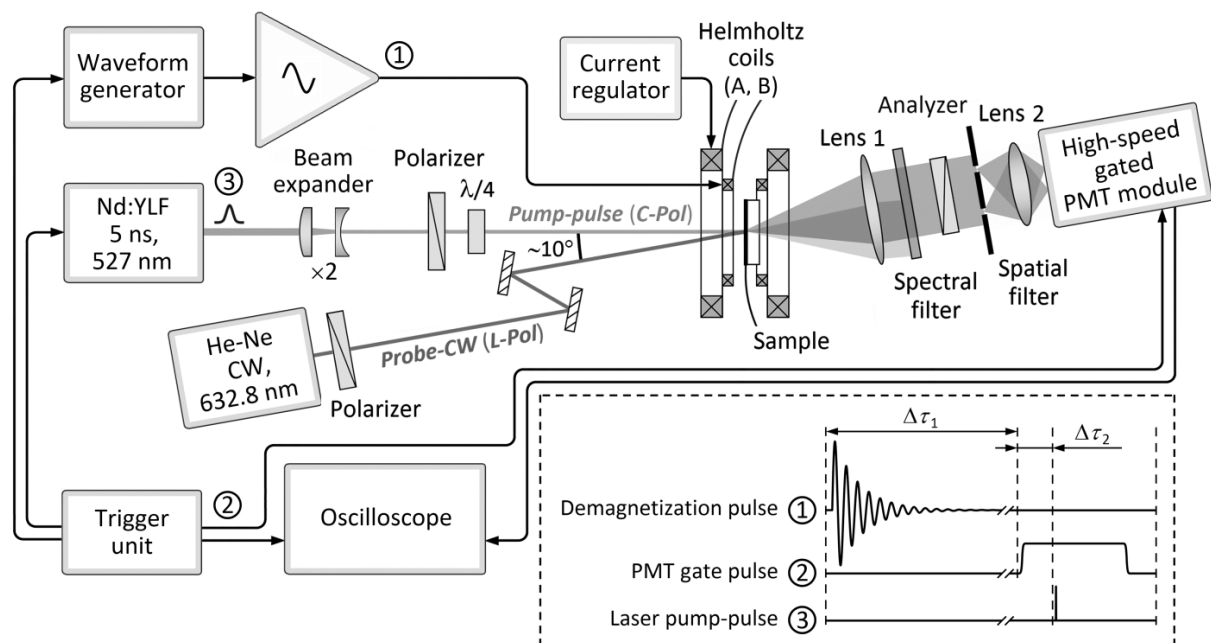


Рис. 1. Блок-схема установки. Nd:YLF лазер – источник фотонамагничивающих импульсов. He-Ne лазер использован для формирования зондирующего луча. На вкладке (выделена штриховой линией) показана временная диаграмма работы установки в течение одного цикла измерений: 1 – размагничивающий импульс, 2 – импульс, задающий время работы фотодетектора, 3 – возбуждающий импульс лазера. $\Delta\tau_1$ – время, равное длительности импульса размагничивания; $\Delta\tau_2$ – время, необходимое для перехода фотодетектора в рабочий режим.

Литература

1. Hoffmann A., Bader S.D. Opportunities at the Frontiers of Spintronics // Phys. Rev. Appl. 2015. V. 4. P. 047001.
2. Калашникова А.М., Кимель А.В., Писарев Р.В. Сверхбыстрый магнетизм // УФН. 2015. Т. 185. № 10. С. 1064.
3. Christian D.A., Novoselov K.S., Geim A.K. Barkhausen statistics from a single domain wall in thin films studied with ballistic Hall magnetometry // Phys. Rev. B. 2006. V. 74. № 6. P. 064403.
4. Gerasimov M.V., Logunov M.V., Spirin A.V., Nozdrin Yu.N., Tokman I.D. Time evolution of domain-wall motion induced by nanosecond laser pulses // Phys. Rev. B. 2016. V. 94. P. 014434.
5. Pfau B., Schaffert S., Müller L., Gutt C., Al-Shemmary A., Büttner F., et al. Ultrafast optical demagnetization manipulates nanoscale spin structure in domain walls // Nature comm. 2012. V. 3 P. 1100.