

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ БАРЬЕРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ДОМЕНОВ В ГРАНАТОВЫХ ПЛЕНКАХ, ПОЛУЧЕННЫХ ХИМИЧЕСКИМ И ЭЛЕКТРОННО- ЛУЧЕВЫМ СПОСОБАМИ ТРАВЛЕНИЯ

*Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины,
ул. Р. Люксембург, 72, Донецк, 83114, Украина, aleksandr.kosse@gmail.com*

Исследовалась эпитаксиальная феррит-гранатовая пленка состава $(YSmLuCa)_3(FeGa)_5O_{12}$ с параметрами: поле коллапса (ЦМД–цилиндрические магнитные домены) $H_0=105$ Э, поле эллиптической неустойчивости $H_2=80$ Э, поле анизотропии $H_a=1200$ Э, намагниченность насыщения $M_S=210$ Гс, температура Кюри $T_C = 410$ К, толщина пленки 4,8 мкм. Травление топологического барьера проводилось двумя способами: 1) опусканием части пленки в горячий раствор ортофосфорной кислоты при различных температурах и концентрациях последней. Такая процедура проводилась с целью получения ступенек травления с углами наклона от 20° до 70° . 2) Травление электронным лучом производилось через маску двуокиси кремния. Скорость травления таким способом была в четыре раза медленнее, но угол травления достигал величины, близкой к 90° . Угол травления и его глубина определялись с помощью интерферометрического микроскопа МИИ – 4. Для исследований были выбраны пленки с углами травления 20° , 38° , 45° , 56° и 68° (ошибка измерения $\pm 4^\circ$), полученные химическим способом травления, а пленка с углом травления около 80° – электронно-лучевым способом. Отметим, что при больших углах барьера точность измерения угла травления и поля барьера вблизи его границ (менее 5 мкм) резко падает. Выбранные для исследований пленки имели толщину в протравленной части $3,2 \pm 0,2$ мкм. Независимо от способа травления при одинаковой толщине стравленной части пленки поля коллапса и эллиптической неустойчивости совпадали с точностью до ошибки измерения.

Исследования проводились магнитооптическим методом [1] на основе эффекта Фарадея с использованием поляризационного микроскопа МБИ-6. Зарождение решетки ЦМД осуществлялось путем воздействия локального импульсного магнитного поля смещения на зону пленки с барьером при помощи плоской улиткообразной катушки, подключенной к импульсному генератору. Поле смещения реализовывалось катушками Гельмгольца от источника постоянного тока (рис. 1). Одиночные домены, продвигаемые через барьер, генерировались следующим образом. Вначале генерировалась решетка ЦМД, затем плавным увеличением поля смещения коллапсировалось основное количество доменов. При этом, благодаря различной величине поля коллапса отдельных «жестких» доменов в диапазоне 2–3 Э, оставалось несколько удаленных друг от друга доменов, не взаимодействующих друг с другом. Снижая поле смещения до необходимой для исследований величины, получали ЦМД различных диаметров. Трансляция ЦМД через барьер осуществлялась градиентным полем смещения, реализуемым двумя токовыми полосками, напыленными на покровное стекло. Часть пленки с барьером помещалась между токовыми полосками. Изменяя величину и направление тока в полосках, получали различные значения градиентного поля смещения.

Калибровка величины градиентного поля проводилась следующим образом. Генерировалась ЦМД решетка по методу, описанному в [2], который позволял получить «мягкие» домены с одинаковым значением поля коллапса с точностью до ошибки измерения $\pm 0,4$ Э (рис. 2). По измерению поля коллапса ЦМД между полосками строился график топологии магнитного градиента между токовыми полосками и за их пределом. Наилучшая линейность градиента между полосками достигалась при зазоре, равном двойной ширине полоски.

Для изучения поведения ЦМД при прохождении им топологического барьера из протравленной части пленки в нетронутую и наоборот применялись метод и устройство для «качания» ЦМД в градиентном поле смещения, описанном в [3]. На рис. 2 изображена часть ЦМД,

содержащих пленки с барьером травления, расположенные между двумя параллельными полосками с током. При толщине токовой полоски из алюминия 0,45 мкм и ширине 100 мкм величина тока в ней регулировалась в пределах 0,1–65 мА.

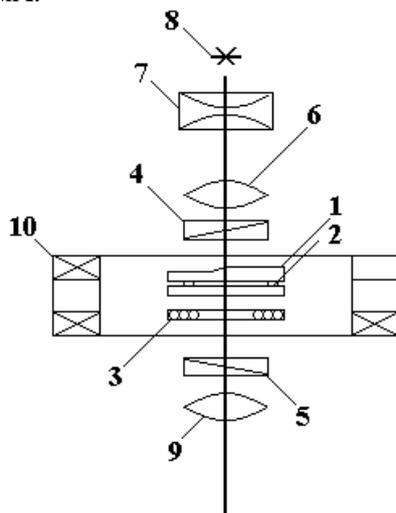


Рис. 1. Схема магнитооптической установки: 1 – ЦМД, содержащая пленку с топологическим барьером; 2 – алюминиевые токовые полоски, напыленные на покровном стекле для создания градиентного магнитного поля; 3 – улиткообразная катушка для генерации ЦМД; 4 – поляризатор, 5 – анализатор; 6 – объектив микроскопа; 7 – конденсор; 8 – источник света; 9 – окуляр микроскопа; 10 – катушки Гельмгольца

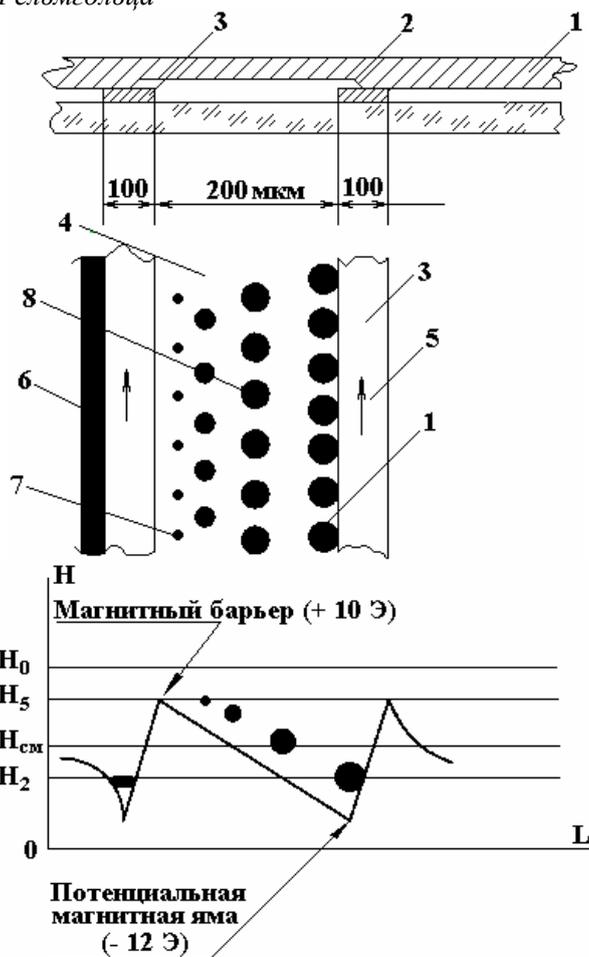


Рис. 2. Топология градиентного магнитного поля, образованного током 50 мА между полосками. Угол травления равен 45°: 1 – пленка с топологическим барьером; 2 – топологический барьер; 3 – токовые полоски на покровном стекле; 4 – ЦМД решетка в градиентном поле; 5 – направление тока в полосках; 6 – полосовой домен; 7 – ЦМД в предколлапсовом состоянии; 8 – ЦМД в поле смещения

Наилучшая линейность градиентного поля достигалась, когда расстояние между полосками было вдвое больше ширины полоски. ЦМД транслировались через барьер туда или обратно с помощью градиентного поля, перпендикулярного линии травления. Естественно было ожидать изменение характера взаимодействия ЦМД с барьерами, имеющими различную топологию. При плавном увеличении градиентного поля смещения нужной полярности отдельный ЦМД, находящийся в тонкой части пленки, двигается к барьеру, уменьшаясь в диаметре. При дальнейшем увеличении тока в полосках ЦМД резко перескакивает барьер и там застревает, что указывает на наличие потенциальной ямы H_g топологического барьера травления. При трансляции ЦМД через барьер его удавалось фиксировать на расстоянии не менее 5 мкм от барьера. Изменение градиентного поля вблизи барьера на $\pm 0,5$ Э/мкм приводило всегда к скачкообразному переходу ЦМД из тонкой части пленки в толстую и наоборот. Извлечь и переместить домен из потенциальной ямы H_g топологического барьера можно только увеличением градиентного поля.

Исследование величины барьера (в эрстедах) для различных углов травления проводилось следующим образом. Включалось поле смещения $H_{CM} = 94 \pm 0,4$ Э, градиентным полем ЦМД подводился к барьеру на расстояние 5 мкм (для данной пленки ближе домен было невозможно подвести, так как он при дальнейшем увеличении градиентного поля до определенной величины, практически не сдвигаясь, мгновенно «перепрыгивал» через барьер) и измерялся его диаметр. При дальнейшем увеличении тока в полосках домен «перепрыгивал» барьер и попадал в топологическую потенциальную яму H_g . Зная разницу тока в полосках, когда ЦМД подошел к границе барьера на расстояние 5 мкм и перескочил через барьер, по градуировочной кривой определяли величину барьера в эрстедах. Результаты измерений приведены на рис. 3. Видно, что величина барьера возрастает при увеличении угла травления. Необходимо отметить, что, изменяя направление тока в полосках, можно осуществить обратный скачкообразный переброс ЦМД из толстой части пленки в тонкую.

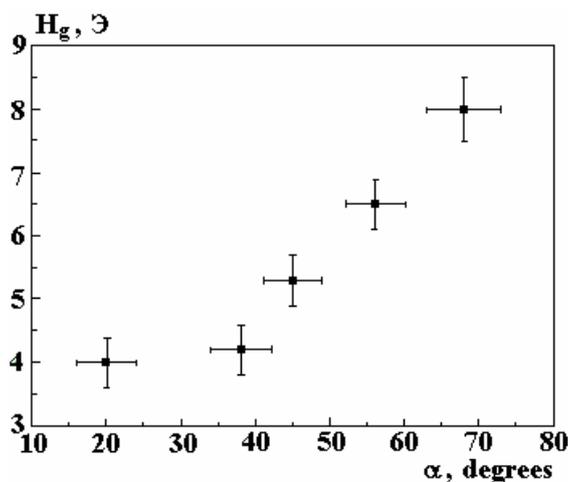


Рис. 3. Зависимость величины поля барьера H_g от угла травления. ■ – химическое травление, ● – электронно-лучевое травление

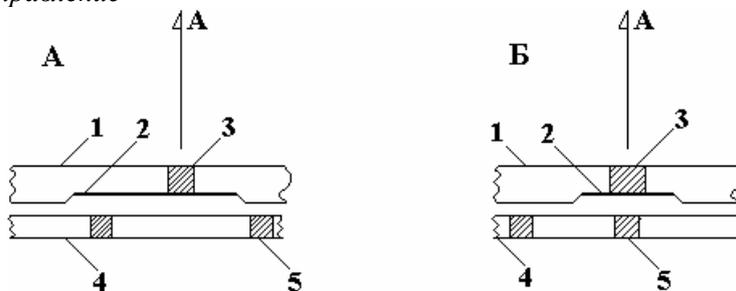


Рис. 4. Схема визуализации информации на магнитном носителе: А – в области барьеров нет намагниченной зоны на носителе информации. Диаметр ЦМД мал (информационный ноль); Б – намагниченная зона носителя в области барьеров. Диаметр ЦМД увеличен, что соответствует информационной единице. 1 – пленка с барьерами травления; 2 – напыленный слой алюминия; 3 – ЦМД; 4 – носитель информации; 5 – бит информации

Используя данные по свойствам топологических барьеров, можно предложить схему некоторых устройств:

1. Микропереключающее устройство в пространственных областях порядка единиц микромикрон, например затвор в стыковочных узлах торцов световодов. Для этого необходимо протравить в пленке (лучше висмутсодержащей) узкую, в несколько микрон, полосу и наложить пленку на управляющие шины, создающие градиентное поле. Поскольку для световодов обычно используется лазерный (то есть поляризованный) источник света, то на пленку достаточно наложить только анализатор. Далее методом, описанным выше, в канавке создаем ЦМД. Теперь если сверху и снизу протравленной части пленки поместить стыковочные концы световода, то при наличии домена в канавке световой поток через световод существенно уменьшится. Изменяя ток градиентного поля, перебрасываем домен через барьер, при этом свет через световоды будет проходить с минимальными потерями. Изменяя направление тока в управляющих шинах, ЦМД вновь возвращается в канавку и перекрывает световой поток. Используя систему канавок и управляющих шин, можно снабдить переключающими устройствами целый оптоволоконный кабель.

2. Похожее устройство (но без токовых шин) может быть использовано для расшифровки информации (в двоичном коде) на плохо читаемых поврежденных магнитных носителях информации «черных ящиков» самолетов, кораблей (рис. 4). Если продвигать магнитный носитель под протравленной полоской, где сформировано ЦМД, то намагниченная часть носителя будет увеличивать или уменьшать (в зависимости от направления поля носителя по отношению к направлению поля смещения в пленке) диаметр ЦМД. Если область носителя не намагничена, то диаметр домена не изменится. Остается только зарегистрировать эти изменения. Это можно сделать, если запылить протравленную канавку тонким слоем алюминия и зарегистрировать ЦМД с помощью микроскопа, работающего на отражение с подключенным к нему фоточувствительным устройством. С помощью этого метода была расшифрована информация на поврежденном участке реальной пермалоевой ленты от «черного ящика» самолета.

Таким образом, в результате проведенных исследований были изготовлены образцы с различными углами наклона топологических барьеров. Предложен метод определения величины потенциала барьера в функции его угла наклона. Предложены две схемы устройств, использующие свойства топологических барьеров в ЦМД, содержащих гранатые пленки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юрченко С.Е., Розенблат М.А. Методы измерения динамических характеристик ЦМД материалов // Препринт. Институт проблем управления. М., 1982. С. 13–15.
2. Ходосов Е.Ф., Кожухарь А.Ю., Нецветов В.И. Динамический коллапс решетки ЦМД // ФТТ. 1980. Т.22. №6. С. 147–148.
3. Brown B R. Wall state stability during translational motion // AIP Cont. Proc. 1975. Vol.29. P. 69–71.

Поступила 30.03.09

Summary

The results of experimental study of interaction of cylindrical magnetic domains (CMD) with topological potential barrier in the form of etching step with different inclination angles are presented. A method for determining of barrier field magnitude is presented. The barrier field value is estimated for given film as function of step inclination angle. On the basis of obtained results we suppose some possible devices based on the topological barriers in CMD-containing films.