

РОЛЬ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ ПРИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ В РЕШЕТКАХ ЦМД

Ю.А. Сирюк¹, А.В. Безус¹, Е.Д. Бондарь¹, В.В. Смирнов²

¹Донецкий национальный университет, г.Донецк, ул. Университетская 24, Украина

²ДонФТИ им. А.А. Галкина, г.Донецк, ул. Розы Люксембург 72, Украина

E-mail: juliasiryuk@gmail.com

THE ROLE OF DOMAIN BOUNDARIES AT PHASE TRANSITIONS IN THE BUBBLE LATTICES

Yu.A. Siryuk¹, A.V. Bezus¹, E.D. Bondar¹, V.V. Smirnov²

¹Donetsk National University, 24 Universitetskaya str., Donetsk, Ukraine

²DonFTI n.a. A.A.Galkin, 72 Rosy Luksemburg str., Donetsk, Ukraine

E-mail: juliasiryuk@gmail.com

Изучены спонтанные фазовые переходы в доменных структурах феррит-гранатовой пленки. Показано, что фазовые переходы в доменных границах вызывают фазовые переходы первого рода в решетках ЦМД.

The spontaneous phase transitions in the domain structures of ferrite-garnet film have been studied. The results of investigation have shown that the phase transitions in the domain boundaries induce the first-order phase transitions in the bubble lattices.

Введение

Магнитная доменная структура эпитаксиальных пленок феррита-граната представляет собой периодически чередующиеся области с антипараллельным направлением намагниченности, разделенные доменными стенками, т.е. доменными границами (ДГ). Доменные стенки, в свою очередь, являются неоднородными структурами, в которых происходят изменения ориентации спинов от направления спинов в одном домене к направлению спинов в соседнем домене. Структура ДГ зависит от выбранного кристаллографического направления пленки, ее толщины, температуры и действия магнитных полей. При рассмотрении распределения спинов в ДГ предполагается, что при переходе через границу нормальная составляющая спинового магнитного момента не испытывает изменений, т.к. в этом случае полная магнитостатическая энергия минимальна. При этом намагниченность в ДГ лежит в плоскости стенки, и на поверхности стенки не возникают магнитные заряды. Это означает, что поворот спинов по толщине ДГ можно уподобить винтовому вращению. Такие доменные стенки называются доменными границами Блоха и представляют собой наиболее общий тип доменных границ в ЦМД-материалах, т.к. они минимизируют энергию размагничивания. Симметрия допускает два возможных направления поворота намагниченности в ДГ – правовинтовое и левовинтовое. В ДГ Нееля спины распределяются с нарушением правила непрерывности нормальной составляющей. При этом оказывается более выгодным поворот в плоскости параллельной плоскости пленки.

В эпитаксиальных пленках с осью легкого намагничивания, перпендикулярной развитой поверхности пленки, доменная граница Блоха наблюдается в широком температурном интервале вплоть до температуры Нееля. И только при приближении к точке компенсации, где растет величина константы кубической анизотропии и характеристическая длина пленки, ДГ Блоха переходит в ДГ Нееля. Если в пленке формировать решетку ЦМД импульсным магнитным полем, перпендикулярным плоскости пленки, то создается доменная граница ЦМД, имеющая сложную структуру. В границе ЦМД создается большое число поворотов спинов двух направлений (полярностей), как левовинтовых, так и правовинтовых. Линия, разделяющая два участка стенки Блоха с различными полярностями, проходит вертикально через пленку, и

такую структуру назвали вертикальной линией Блоха (ВБЛ). Число линий Блоха в ЦМД должно быть четным, т.е. в стенке ЦМД могут находиться только пары линий Блоха. Длина окружности ЦМД представляет собой граничное условие, которое заставляет линии Блоха сближаться до интервала $s = \pi d / 2N$, где d – диаметр ЦМД, N – число оборотов спинов, s – расстояние между ВБЛ [1].

Для ЦМД с диаметром (4–13)мкм получено максимальное значение $N = 90$, что соответствует 180 линиям ВБЛ. В жестких доменах имеются две силы (сила отталкивания ВБЛ и магнитоэлектрическая сила), которые, уравновешивая сжимающие силы поверхностного натяжения стенки Блоха, дают статически устойчивый домен.

Ранее в работах [2, 3] исследовались спонтанные фазовые переходы (ФП) в жестких решетках ЦМД. Но при этом происходили изменения и в структуре доменных границ.

Цель настоящей работы – показать, что в доменных границах происходят спонтанные фазовые переходы, которые и вызывают фазовые переходы в решетках ЦМД. Из-за своей структуры доменная граница ЦМД более чувствительна к температурному изменению параметров пленки.

Для исследования была выбрана пленка с развитой поверхностью $\langle 111 \rangle$, выращенная методом жидкофазной эпитаксии на гадолиний-галлиевой подложке состава $(TmBi)_3(FeGa)_5O_{12}$ ($T_N = 437K$, $T_C = 120K$), где T_N – температура Нееля, T_C – температура магнитной компенсации. При комнатной температуре пленка имеет фактор качества $Q > 5$. При таком Q действием импульсного магнитного поля в доменной границе создаются ВБЛ [1]. Доменная структура наблюдается с помощью эффекта Фарадея.

Результаты эксперимента

Импульсным магнитным полем при 300К создается решетка ЦМД. Это равновесная решетка при температуре формирования (рис.1А). Согласно [1], в границе ЦМД создается 180 ВБЛ. Это количество ВБЛ является максимальным для изолированного ЦМД. При этом расстояние между ВБЛ достигает величины $s = 0.23$ мкм.

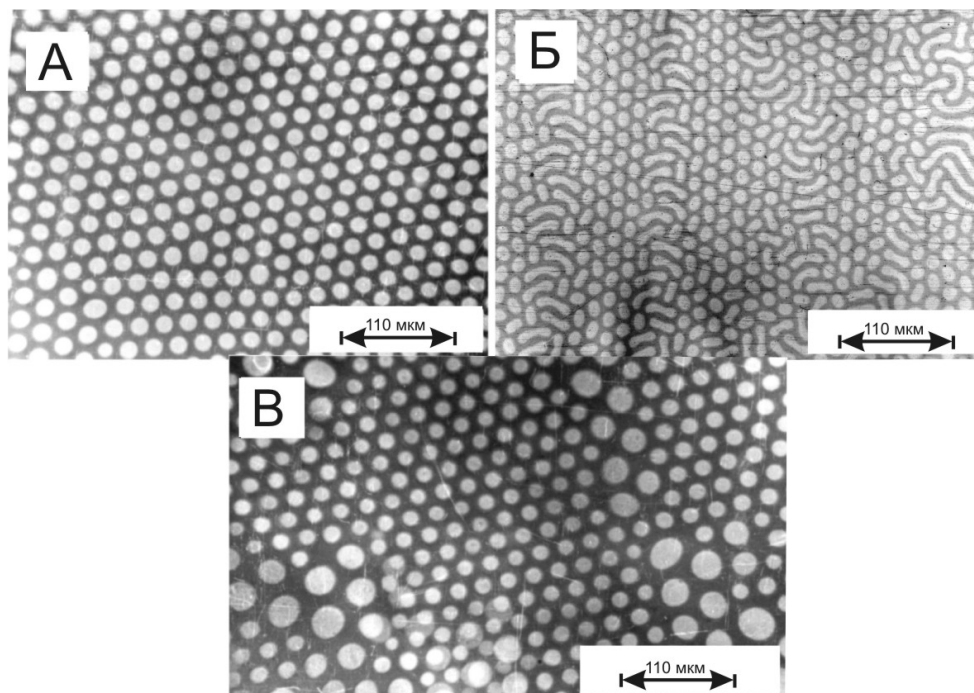


Рис.1 - Виды доменных структур пленки: А– РЦД при 300К; Б– ФП в РЦД при нагревании ; В– ФП в РЦД при охлаждении

При нагревании пленки в решетке ЦМД наблюдается несколько фазовых переходов первого рода с сохранением числа доменов (рис.1, рис.2) [2, 3]. Эти фазовые переходы вызваны фазовыми переходами в структуре доменных границ ЦМД. При фазовых переходах количество ВБЛ в границе уменьшается скачком путем аннигиляции ВБЛ (рис.2). Вблизи температуры Нееля остается простая блоховская стенка.

При понижении температуры от 300К к точке компенсации в решетке ЦМД происходят фазовые переходы первого рода с уменьшением числа частиц (рис.1В, рис.2). При этом

увеличивается как диаметр ЦМД, так и ширина ДГ. В доменной границе также происходят фазовые переходы первого рода. Количество ВБЛ уменьшается путем раскручивания. Вблизи T_C наблюдается скачок доменной границы. Это уже ДГ Нееля.

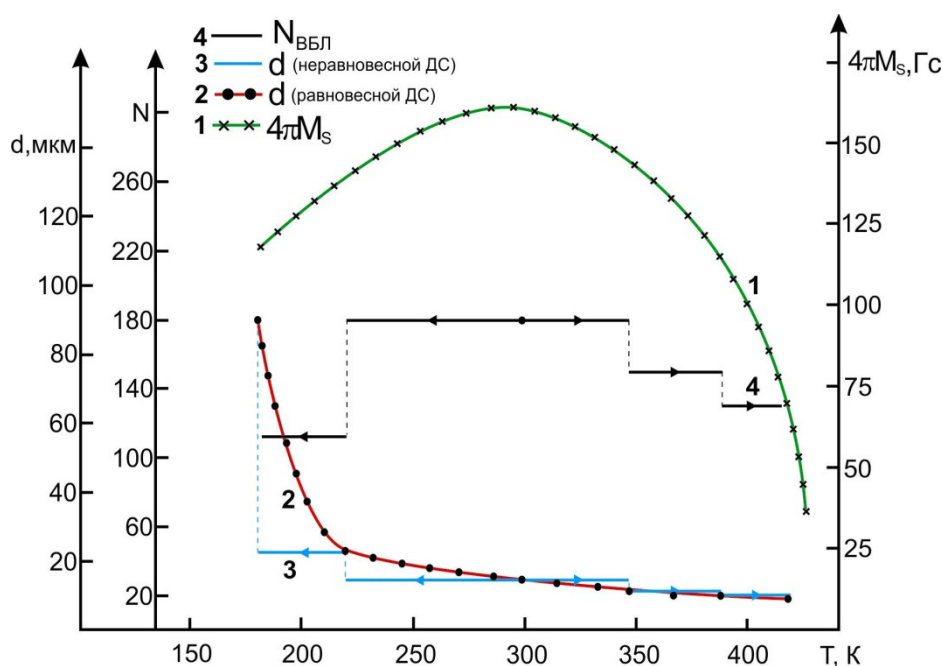


Рис.2 - Температурные зависимости характеристик пленки: 1– намагниченность насыщения; 2– диаметр ЦМД равновесной ДС; 3– диаметр ЦМД неравновесной ДС; 4– число ВБЛ в доменной границе

Решетка, сформированная вблизи T_N ($0.98T_N$) имеет простую блоховскую стенку, что соответствует минимальной энергии доменной границы. При охлаждении пленки она сохраняется в широком температурном интервале, и фазовые переходы в ней не наблюдаются.

Выводы

Структура доменной границы ЦМД очень чувствительна к температурному изменению параметров пленки. В ней происходят спонтанные фазовые переходы первого рода, которые вызывают фазовые переходы в решетке ЦМД. Механизм фазовых переходов в ДГ при нагревании и охлаждении пленки имеет существенные отличия. Число ВБЛ в ДГ уменьшается при нагревании путем аннигиляции, а при охлаждении – путем раскручивания. Решетка ЦМД с простой блоховской стенкой наиболее устойчива и сохраняется в широком температурном интервале.

Список использованных источников:

1. Малоземов А., Слонзуски Дж. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами . М.: Мир, 1982. 384с.
2. Мамалуй Ю.А., Сирюк Ю.А., Безус А.В. Решетки цилиндрических магнитных доменов вблизи точки компенсации // ФТТ. 2003. Т. 45 (9). С.1645-1652.
3. Сирюк Ю.А., Безус А.В. Спонтанные фазовые переходы в феррит-гранатовых пленках // ФТТ. 2013. Т. 55 (3). С.547-551.