

АНОМАЛЬНАЯ КОЭРЦИТИВНОСТЬ БЛОХОВСКОЙ ТОЧКИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ ЖЕЛЕЗА

В.Е.Зубов, Г.С.Кринчик, С.Н.Кузьменко

Впервые измерено коэрцитивное поле блоховской точки в приповерхностной области нитевидных монокристаллов железа. Показано, что оно более чем на порядок превышает коэрцитивное поле **вертикальных блоховских линий** и более чем на три порядка коэрцитивное поле доменной границы в том же кристалле.

Известно, что магнитные кристаллы содержат микроструктурные элементы различной размерности: доменные границы, блоховские линии и блоховские точки. Доменные границы (ДГ) и вертикальные блоховские линии (ВБЛ) к настоящему времени изучены достаточно подробно ¹. Экспериментальное исследование точечных структур только начинается. Например, в ² сообщалось об обнаружении особенностей типа блоховской точки (БТ) в приповерхностной области 180° ДГ монокристаллов железа. Подробнее статическая структура выхода ДГ на поверхность и характеристики БТ были изучены в работе ³. Существование БТ связано с асимметричной структурой 180° ДГ в приповерхностной области, экспериментально обнаруженной в работе ⁴ и обусловленной появлением неелевской (перпендикулярной плоскости ДГ) компоненты намагниченности. Наблюдаемая структура наиболее близка к модели асимметричной блоховской границы, предложенной Хубергом ⁵ и показанной на вставке к рис. 1. Энергия границы не зависит от направления ее загиба в приповерхностной области, т.е. вырождена по отношению к знаку неелевской компоненты намагниченности. БТ представляет собой микромагнитный элемент, разделяющий субдомены различной полярности (см. рис. 1) в одномерной приповерхностной структуре типа блоховских линий, при сохранении неизменной полярности ДГ в объеме.

Настоящая работа посвящена изучению процессов смещения БТ под действием внешнего магнитного поля. Как и в работах ^{2, 3}, измерения проводились на нитевидных монокрис-

таллах железа, полученных водородным восстановлением галоидных солей железа. В эксперименте использовались образцы квадратного сечения со стороной $d = 50 - 140$ мкм и длиной $L = 2 - 10$ мм с оптически совершенными гранями типа (100). Они содержали одну 180° ДГ, расположенную в центре вдоль оси кристаллов и параллельную боковым граням. Процессы смещения БТ изучались в поле параллельном неелевской составляющей намагниченности (H_x) и в поле параллельном намагниченности в центре ДГ (H_z) (см. рис. 1). Магнитные поля создавались катушками Гельмгольца. Измерения проводились с помощью магнитооптического микромагнетометра, описанного в ⁶. При движении щели фотоприемника

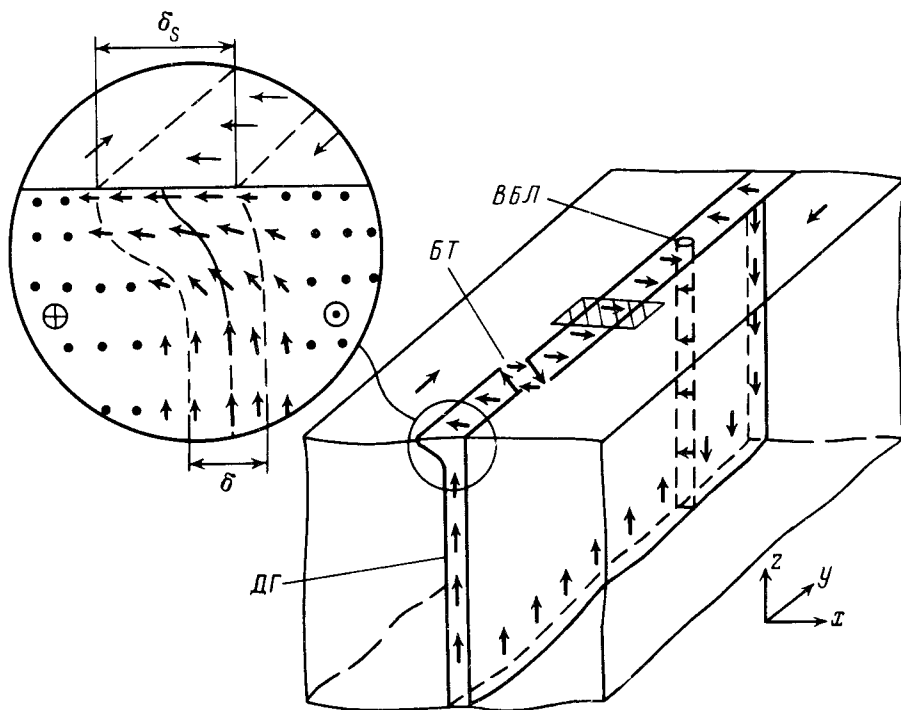


Рис. 1. Схема участка 180° ДГ, содержащего ВБЛ и БТ. На вставке изображена модель асимметричной 180° ДГ, предложенная Хубертом ⁵; δ – эффективная ширина ДГ в объеме, δ_s – на поверхности

параллельно ДГ (вдоль оси y) магнитооптический эффект наблюдался только на участке поверхности кристалла, перемагничиваемом вследствие колебаний БТ вдоль ДГ под действием переменного магнитного поля. Частота перемагничивания составляла 60 Гц. Исследование намагниченности выполнялось на локальных участках поверхности образца с размерами $0,3 \times 2$ мкм² с длинной стороной прямоугольника перпендикулярной ДГ (заштрихованная область на рис. 1). Измерялся экваториальный эффект Керра (δ^E), обусловленный неелевской компонентой намагниченности. Полуширина кривых $\delta^E(y)$ определяет амплитуду смещения БТ (Δ) от положения равновесия. Кривые $\delta^E(y)$ для различных значений поля H_x изображены на рис. 2. Они позволяют определить полевую зависимость Δ . Результаты измерений $\Delta(H_x)$ для нескольких БТ представлены на рис. 3. Видно, что экспериментальные точки хорошо ложатся на прямые линии, наклон которых определяет восприимчивость приповерхностного участка ДГ, обусловленную смещением БТ. Указанную восприимчивость можно охарактеризовать коэффициентом $K_x^{BT} = \Delta/H_x$. Для изученных БТ его величина изменялась в пределах $0,3 - 0,5$ мкм/Э. Экстраполяция прямых, описывающих зависимость $\Delta(H_x)$, к значению $\Delta = 0$ определяет величину коэрцитивного поля БТ (H_c^{BT}) аналогич-

но тому, как это делается для ДГ¹. Величина определенного таким образом поля $H_c^{БТ}$ для всех исследованных БТ заключена в интервале 30 – 50 Э. Измерения показали, что в поле H_z БТ не смещается.

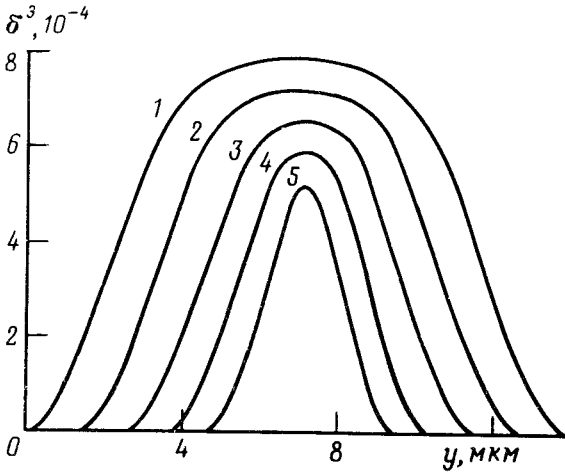


Рис. 2. Экваториальный эффект Керра, обусловленный колебаниями БТ, при различных значениях амплитуды поля H_x (1 – $H_x = 64$, 2 – 60, 3 – 54, 4 – 50, 5 – 48 Э)

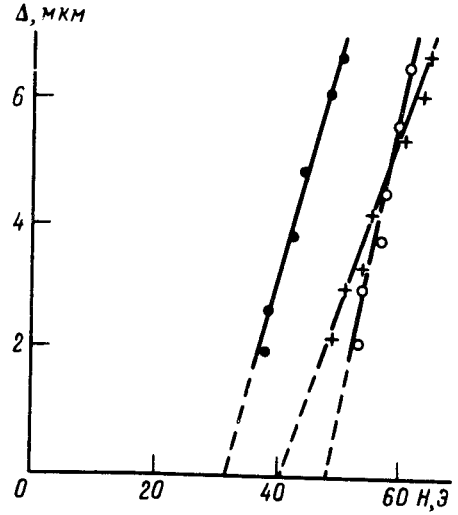


Рис. 3. Зависимость амплитуды колебаний БТ от амплитуды поля H_x

С целью сравнения на тех же образцах были проведены аналогичные измерения процессов смещения ВБЛ и ДГ в магнитном поле. Величина коэффициента $K_z^{ВБЛ}$, характеризующего магнитную восприимчивость ДГ при смещении ВБЛ в поле H_z , увеличивалась с ростом толщины образцов и изменялась в пределах 0,1 – 1 мкм/Э. Коэрцитивное поле смещения ВБЛ составляло 1 – 3 Э. В поле H_x ВБЛ не смещается. Измерения коэрцитивного поля ДГ ($H_c^{ДГ}$) позволили установить, что величина $H_c^{ДГ}$ меньше, чем 0,01 Э. Таким образом, при переходе от ДГ к ВБЛ коэрцитивное поле возрастает на 2 – 3 порядка, а при переходе от ВБЛ к БТ – более чем на порядок.

Полученные результаты, а также наблюдение аналогичного эффекта для ДГ и ВБЛ в других материалах^{1, 7} позволяют предположить, что указанные резкие различия H_c в основном определяются размерностью микроструктурных элементов. Проиллюстрировать правоту этой гипотезы можно для случая, когда размер дефектов, ответственных за коэрцитивность, меньше характерного размера исследуемых микроструктур (δ). H_c определяется из условия равенства между давлением на микрообъект со стороны внешнего поля и удерживающей силой (F_c) со стороны дефектов кристалла, т. е. из уравнения $2SI_s H = F_c$, где I_s – намагниченность насыщения, S – эффективная площадь элемента. Сила F_c определяется флуктуациями числа дефектов N в объеме микрообъекта (V)⁸, т. е. $F_c \sim \Delta N \sim \sqrt{N} = \sqrt{nV}$, где ΔN – флуктуация N , n – объемная плотность дефектов. Отсюда получаем, что коэрцитивное поле пропорционально $\sqrt{V/S}$. Для ДГ, ВБЛ и БТ имеем, соответственно, $S_{ДГ} = dL$, $S_{ВБЛ} \cong \delta d$, $S_{БТ} \cong \delta^2$; $V_{ДГ} = \delta dL$, $V_{ВБЛ} \cong \delta^2 d$, $V_{БТ} \cong \delta^3$. При $L = 10$ мм, $d = 100$ мкм, $\delta \cong 0,2$ мкм получим для отношений величин H_c разных микроструктурных элементов: $H_c^{ДГ} : H_c^{ВБЛ} : H_c^{БТ} \sim 1 : 200 : 5000$, что согласуется с результатами эксперимента.

В заключение отметим, что коэрцитивное поле блоховской точки является очень чувствительным параметром, характеризующим качество материала.

Литература

1. Малоземов А., Слонзуски Дж. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами. М.: Мир, 1982.
2. Зубов В.Е. и др. Письма в ЖЭТФ, 1988, **47**, 134.
3. Зубов В.Е. и др. ЖЭТФ, 1988. **94**, 243.
4. Кринчик Г.С., Бенидзе О.М. ЖЭТФ, 1975, **67**, 2180.
5. Hubert A. Zs. Angew. Phys., 1971, **32**, 58.
6. Зубов В.Е. и др. ПТЭ, 1988, **3**, 206.
7. Feldtkeller E. Zs. Angew. Phys., 1962, **14**, 195.
8. Dijkstra L.J., Wert C. Phys. Rev., 1950, **79**, 979.

Московский государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
22 февраля 1990 г.
После переработки
23 марта 1990 г.