

Л. В. КИРЕНСКИЙ и В. В. ВЕТЕР

ИЗМЕРЕНИЕ ШИРИНЫ ГРАНИЧНОГО СЛОЯ МЕЖДУ ДОМЕНАМИ В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

(Представлено академиком А. В. Шубниковым 29 XII 1958)

В работе магнетооптическим эффектом Керра определялась ширина граничного слоя для 180-градусных соседств на монокристаллах кремнистого железа с 3%Si.

По современным теоретическим представлениям, изменение намагниченности в граничном слое между доменами происходит постепенно на ширине порядка 10^{-5} см⁽¹⁻³⁾. Причина такого постепенного изменения состоит в том, что при заданном полном изменении направления намагниченности увеличение обменной энергии будет меньше, если изменение этого направления распределено по многим спинам, чем если оно происходит резким скачком. Теория граничного слоя требует, чтобы составляющая намагниченности, перпендикулярная к границе, изменялась непрерывно, ибо только в этом случае во всей толще граничного слоя не появляется свободных магнитных полюсов. Вследствие этого для 180-градусных соседств изменение направления спинов внутри границы осуществляется в ее плоскости. В тех местах ферромагнетика, где граничный слой выходит на поверхность кристалла, возникает слагающая намагниченности, нормальная к поверхности кристалла. Поскольку эта слагающая вдоль ширины границы изменяется от $I_z = 0$ до $I_z = I_s$ и вновь до $I_z = 0$, то имеет смысл говорить о некоторой средней намагниченности граничного слоя нормально к поверхности образца. Как показал Г. С. Кринчик⁽⁴⁾, выход магнитных полюсов нормально к поверхности образца вдоль граничного слоя дает возможность для исследования его структуры и ширины применить полярный магнетооптический эффект Керра⁽⁵⁾.

Известно, что при отражении плоско поляризованного света от образца, намагниченного нормально поверхности, происходит изменение светового потока, проходящего через анализатор, вследствие вращения плоскости поляризации. При этом угол вращения пропорционален намагниченности образца

$$\alpha = kI,$$

где k — постоянная Керра. Для участка образца, занятого граничным слоем,

$$\alpha = k\bar{I}_z,$$

где \bar{I}_z — средняя нормальная составляющая намагниченности граничного слоя. Если \bar{I}_z известна, то ширина граничного слоя может быть определена по величине изменения светового потока, отраженного от граничного слоя.

Формула для определения ширины граничного слоя выводится при условии, что $\theta = \frac{\pi}{8}x$, где θ — угол между вектором I_s в точке $x = 0$

и направлением $I_S^{\bar{z}}$ в любой точке граничного слоя (см. рис. 1), а δ — ширина граничного слоя. Так как изменение светового потока при отражении от граничного слоя

$$\Delta\Phi = \Phi_0 \sin^2(\alpha' + \alpha) - \Phi_0 \sin^2 \alpha',$$

где α' — начальный угол между анализатором и поляризатором, то

$$\Delta\Phi = (k^2 \bar{I}_z^2 + 2\alpha' k \bar{I}_z).$$

Как видно из рис. 1,

$$I_z = I_S \sin^2 \frac{\pi}{\delta} x;$$

поэтому

$$d\Phi \sim l \left[k^2 I_S^2 \sin^2 \frac{\pi}{\delta} x dx + 2\alpha' k I_S \sin \frac{\pi}{\delta} x dx \right],$$

$$\Delta\Phi \sim l \left[k^2 I_S^2 \int_0^\delta \sin^2 \frac{\pi}{\delta} x dx + 2\alpha' k I_S \int_0^\delta \sin \frac{\pi}{\delta} x dx \right],$$

$$\Delta\Phi = A k I_S \left[\frac{k I_S}{2} + \frac{4\alpha'}{\pi} \right] \delta.$$

Изменение светового потока от участка образца, намагниченного нормально к поверхности до величины I_S , можно записать в виде

$$\Delta\Phi' = A S k I_S [k I_S + 2\alpha'],$$

где S — площадь рассматриваемого участка. Из выражений для $\Delta\Phi$ и $\Delta\Phi'$ можно определить ширину границы

$$\delta = \frac{2\pi \Delta\Phi S [k I_S + 2\alpha']}{\Delta\Phi' l [\pi k I_S + 8\alpha']}.$$

Величины $\Delta\Phi$, $\Delta\Phi'$ и S определяются экспериментально. Постоянная Керра k берется из таблиц по данным Дю-Буа (?).

Экспериментальная установка. В работе использованы:

1. Микроскоп МБИ-6 с поляроидами и специальной раздвижной щелью которая помещалась в плоскости полевой диафрагмы.

2. Фотоэлектронный умножитель ФЭУ-18, экранированный от внешних магнитных полей специальным экраном и являющийся составной частью интегрально-балансовой схемы, состоящей из конденсатора известности емкости, сопротивления и компенсирующей системы (?).

3. Импульсный синхроскоп СИ-1, который являлся основной измерительной частью схемы. Оптическая часть схемы представлена на рис. 2.

Наличие раздвижной щели (измененная конструкция полевой диафрагмы микроскопа) давало возможность выделить на образце участок, необходимый для исследования. Анализатор был снабжен дополнительным меха-

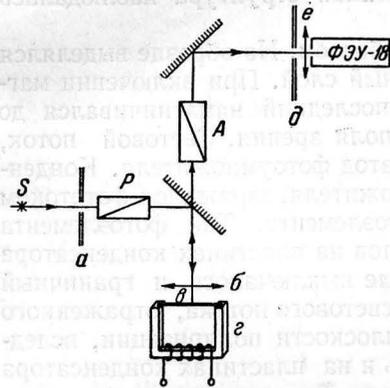


Рис. 2. S — источник света, P — поляризатор; A — анализатор; a — щель, расположенная в плоскости полевой диафрагмы; b — линза объектива; e — исследуемый образец; z — электромагнит; d — щель фокальной плоскости окуляра; e — окуляр

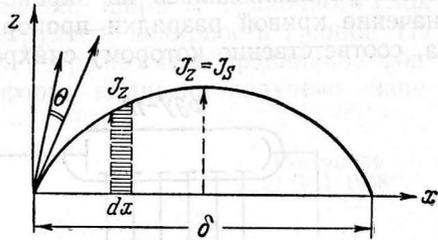


Рис. 1

низмом, с помощью которого можно измерить угол вращения плоскости поляризации с точностью до $0,6'$. Стабильность источника света в микроскопе достигалась питанием лампы от аккумуляторов. Использовался монохроматический свет с длиной волны $\lambda 6,1 \cdot 10^{-5}$ см.

Интегрально-балансовая схема представлена на рис. 3. Питание фотоумножителя и фотоэлемента осуществлялось сухими батареями. Моторчик M , дающий 60 об/мин, служил для включения ртутного контакта. Заряд накапливался на пластинах конденсатора в течение 1 сек., и в момент включения контакта конденсатор разряжался. Кривая разрядки конденсатора наблюдалась на экране синхроскопа визуально. Амплитудное значение кривой разрядки пропорционально величине зарядного фототока, соответственно которому синхроскоп градуировался.

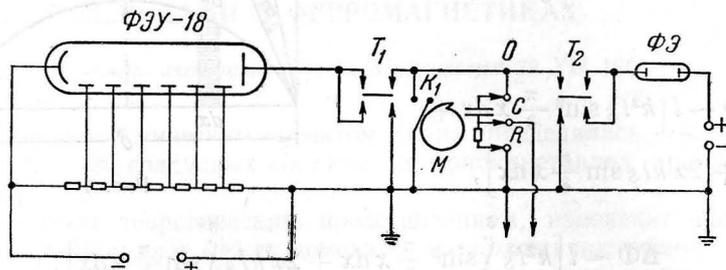


Рис. 3

Проведение эксперимента. Образцы вырезались в виде пластинок длиной 40—50 мм из монокристаллов кремнистого железа, затем тщательно шлифовались, полировались и отжигались в вакууме при 1000° в течение 3 час. Предварительно доменная структура наблюдалась методом порошковых фигур.

Определение $\Delta\Phi$ проводилось следующим образом. На образце выделялся участок, середину которого занимал граничный слой. При включении магнитного поля вдоль поверхности образца последний намагничивался до насыщения и граничный слой убирался из поля зрения. Световой поток, отраженный от данного участка, падал на катод фотоумножителя. Конденсатор, включенный в анодную цепь фотоумножителя, заряжался фототоком и встречным током компенсационного фотоэлемента. Ток фотоэлемента подбирался таким, чтобы разность потенциалов на пластинах конденсатора оказалась равной нулю. Затем магнитное поле выключалось, и граничный слой возвращался в поле зрения щели. Часть светового потока, отраженного от граничного слоя, испытывала вращение плоскости поляризации, вследствие чего компенсация системы нарушалась и на пластинах конденсатора возникла определенная разность потенциалов. Так как синхроскоп проградуирован на величину фототока, то в конечном итоге измерялась не величина $\Delta\Phi$, а Δi .

Определение $\Delta\Phi'$ проводилось без применения интегрально-балансной схемы и синхроскопа, так как изменение светового потока при отражении от участка площади, значительно большей, чем площадь границы, легко замерить непосредственно гальванометром. Световой поток, отраженный от участка площади S (не содержащего граничный слой), падал на фотокатод ФЭУ-18. Величина фототока измерялась гальванометром. Отклонение стрелки гальванометра, включенного в анодную цепь фотоэлектронного умножителя, компенсировалось встречным током от дополнительного источника питания. Затем анализатор поворачивался на угол $\alpha = 30'$, который, по данным Дю-Буа (⁷), соответствует амагнитности насыщения $I_S = 1669$ гаусс (намагниченность насыщения исследуемого образца, измеренная магнитометрическим методом, оказалась равной 1650 ± 30 гаусс). Показание гальванометра давало величину фототока, соответствовавшего

изменению светового потока за счет вращения плоскости поляризации при отражении от образца, намагниченного до насыщения.

Непосредственное измерение $\Delta\Phi'$ намагничиванием образца нормально к поверхности до величины I_S затруднительно из-за сильного действия магнитного поля на фотоэлектронный умножитель.

Результаты измерений. Проведенные измерения позволяют утверждать, что ширина граничного слоя для 180-градусных соседств на монокристаллах кремнистого железа не является величиной стабильной. На первом образце, на котором границы между доменами проходили вдоль всего монокристалла, получено значение ширины граничного слоя $0,89 \mu$. На этом же образце удалось обнаружить полярность границ. На втором образце, на котором доменная структура не имела правильной формы слоев (большинство доменов имело форму клиньев), получено значение ширины граничного слоя $0,64 \mu$.

Институт физики
Академии наук СССР
Красноярск

Поступило
21 VII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ F. Bloch, Zs. f. Phys., 74, 295 (1932). ² Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Sow. Phys., 8, 157 (1935). ³ T. Odachi, Progr. Theor. Phys., 9, № 1, 7 (1953).
⁴ Г. С. Кричич, Физ. метал. и металловед., 3, 549 (1950). ⁵ А. В. Соколов, Усп. физ. наук, 50, 161 (1953). ⁶ Л. А. Кубецкий, Вторично-электронные приборы, М., 1951. ⁷ W. Schötz, Handb. d. exp. Phys., 16, 1 (1936).