

О ТЕМПЕРАТУРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ В КРИСТАЛЛАХ КРЕМНИСТОГО ЖЕЛЕЗА

Л. В. Киренский, И. Ф. Дегтярев

Применен меридиональный магнетооптический эффект Керра к исследованию доменной структуры 3%-го кремнистого железа в интервале температур от 20 до 700°C. Показано, что в этом интервале температур доменная структура обладает высокой стабильностью.

Введение

Исследованию доменной структуры ферромагнетиков посвящено весьма большое число как теоретических, так и экспериментальных работ. Такой интерес к доменной структуре ферромагнетиков вполне закономерен, поскольку в области слабых и средних полей их основные свойства определяются доменной структурой, а процесс намагничивания осуществляется путем движения междоменных границ [1].

В настоящее время имеется целый ряд методов по изучению доменной структуры. Основным, хорошо разработанным методом является метод порошковых фигур [2]. Однако применение метода порошковых фигур ограничено сравнительно низкими температурами. Кроме того, исследование динамики доменной структуры при помощи кино съемки и порошковых фигур возможно лишь при небольших скоростях изменения поля или упругих напряжений [3].

Таким образом, вполне естественными являются попытки найти иные методы исследования доменной структуры ферромагнетиков, свободные от указанных выше недостатков. К числу таких методов следует отнести электронно-оптические методы [4], метод пермаллового зонда [5] и методы, использующие магнетооптический эффект Керра [6]. Что касается последнего из перечисленных методов, то так называемый полярный эффект успешно использовался при исследовании доменной структуры одноосных кристаллов, в частности кристаллов $MnBi$. Применение этого метода возможно лишь в случае наличия нормальной к поверхности образца слагающей намагниченности.

Работ с использованием меридионального эффекта Керра, при котором вектор намагниченности лежит в плоскости поверхности образца и в плоскости падения светового луча, имеется сравнительно немного, а само исследование сопряжено со значительными техническими трудностями. Эти трудности объясняются тем, что величина угла вращения плоскости поляризации при отражении света от ферромагнитного зеркала для упомянутого случая эффекта Керра мала (максимальное значение до 5'). Кроме того, существенной экспериментальной трудностью является преодоление влияния микрорельефа поверхности. Микрорельеф поверхности дает значительно большую разность интенсивностей отраженных лучей от различных участков, чем эта разность от соседних областей спонтанного намагничивания.

Малое значение вращения плоскости поляризации в меридиональном эффекте Керра не допускает возможности визуального наблюдения доменной структуры из-за недостаточного контраста. Авторы упомянутых выше работ преодолевали влияние микрорельефа поверхности, применяя фотографический метод. Исследуемый образец фотографировался в состоянии магнитного насыщения. На полученном негативе отражалось действие микрорельефа поверхности. Из негатива изготовлялся прозрачный позитив, который точно совмещался с негативами, снятыми с образца в исследуемом состоянии, что давало возможность выявлять доменную структуру.

В литературе имеется указание на усиливающее влияние тонких диэлектрических и полупроводниковых пленок на величину магнетооптического эффекта Керра [7]. Это влияние и использовано для разработки метода исследования доменной структуры, обладающего безынерционностью, а также применимого в значительно более широком интервале температур.

Экспериментальная часть

Основная идея эксперимента заключается в использовании свойств пленки окиси железа усиливать величину наблюдаемого эффекта Керра, что дает возможность визуального наблюдения доменной структуры, а также проведения ее фото- и киносъемки.

Схема установки представлена на рис. 1. Свет от источника S (точечная лампа накаливания) при помощи линзы L_1 превращается в параллельный пучок. Поляризатор P поляризует свет в плоскости, перпендикулярной плоскости падения. После отражения от поверхности исследуемого образца K линза L_2 дает изображение ее в плоскости C , где помещается фотографическая пленка. Анализатор A располагается в месте максимального схождения отраженных лучей.

Рис. 1. Схема установки для наблюдения доменной структуры при помощи меридионального эффекта Керра

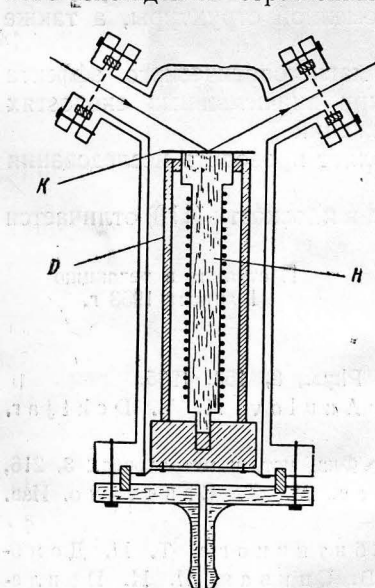


Рис. 2. Схема прибора для исследования доменной структуры при различных температурах

Перед фотографированием поляризатор и анализатор устанавливаются на минимум прохождения света, а затем анализатор поворачивается на небольшой угол и при визуальном наблюдении в окуляр отчетливо выявляются домены в виде темных и светлых полос. Так как этот метод безынерционен, то, используя стробоскопический эффект, удастся наблюдать процесс смещения границ в переменных полях с частотой в 50 гц и выше.

Оказалось возможным также производить исследование доменной структуры в весьма широком интервале температур. Для этого образец K вместе с нагревателем H помещался в камеру, в которой создавался вакуум (рис. 2). Камера имела два окна, которые закрывались плоскими стеклами и располагались нормально к падающим и отраженным лучам. Нагреватель закреплялся в фарфоровой трубке D так, чтобы при изменении температуры не произошло смещения образца. Температура измерялась при помощи термопары нихром — константан.

При температурах выше 500°C возникало свечение образца, но при экспозициях до 10 сек это собственное излучение не оказывало существенного действия на фотопленку вплоть до 700°C .

Исследования проводились на монокристаллах 3%-го кремнистого железа, вырезанных в виде полосок $25 \times 4 \times 0,3 \text{ мм}^3$ в плоскости (110). Образцы, приготовленные так же, как для наблюдения порошковых фигур, отжигались в вакууме порядка $10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$ при температуре около 1000°C в течение трех часов. Такой отжиг снимал механические напряжения и по-

крывал поверхность образца тонкой пленкой окиси железа. При соответствующей толщине пленки создавалась возможность визуального наблюдения, о которой говорилось выше.

На рис. 3 представлены фотографии, иллюстрирующие изменение доменной структуры при наложении усиливающегося магнитного поля. Расширение наиболее выгодно ориентированных в отношении поля доменов за счет ориентированных менее выгодно убеждает в том, что как сама доменная структура, так и ее изменение с полем фиксируются достаточно надежно.

На рис. 4 представлены снимки доменной структуры в отсутствие поля при различных температурах от 20 до 700° С. Как видно из приведенного рисунка, доменная структура кремнистого железа отличается необычайно высокой температурной стабильностью. Действительно, ширина полос доменов сохраняется, в указанном интервале температур, строго постоянной.

Представленная доменная структура может быть названа «нормальной». Под термином «нормальная» доменная структура в данном случае понимается такая доменная структура, которая получена путем размагничивания образца переменным полем с убывающей до нуля амплитудой. В случае иной магнитной предыстории образца доменная структура может существенно отличаться от нормальной. Как показали визуальные наблюдения, проведенные в интервале температур от 20 до 500° С, и такая, отличная от нормальной, доменная структура также не меняется с изменением температуры.

Заключение

1. Использование пленки окиси железа при исследовании доменной структуры ферромагнетиков методом меридионального эффекта Керра позволяет проводить визуальные наблюдения доменной структуры, а также осуществлять ее фото- и киносъемки.

2. Вследствие безынерционности, метод магнетооптического эффекта Керра позволяет проводить исследования при значительных скоростях изменения магнитного поля и упругих напряжений.

3. Магнетооптический эффект Керра позволяет проводить исследования в широком интервале температур.

4. Доменная структура кремнистого железа в плоскости (110) отличается высокой температурной стабильностью.

Институт физики
Сибирского отделения Академии наук СССР

Поступила в редакцию
1 апреля 1958 г.

Литература

- [1] L. D. Landau, E. M. Lifschitz. *Sov. Phys.*, **8**, 153, 1935.
- [2] F. Bitter. *Phys. Rev.*, **38**, 1903, 1931. N. S. Akulov, M. V. Dehtjar. *Ann. d. Phys.* **15**, 750, 1932.
- [3] Л. В. Киренский, В. Д. Дылгеров. *Физ. мет. и металловед.*, **3**, 216, 1956. Л. В. Киренский, В. Д. Дылгеров, М. К. Савченко. *Изв. АН СССР, серия физич.*, **8**, 1168, 1957.
- [4] Г. В. Спивак, Н. Г. Канавина, И. С. Сбитникова, Т. Н. Домбровская. *ДАН СССР*, **105**, 706, 1955. Г. В. Спивак, И. Н. Прилежаева, В. К. Азовцев. *ДАН СССР*, **105**, 965, 1955.
- [5] J. Kaczer, Ć. S. *Fysik. časopis.*, **5**, 239, 1955.
- [6] C. Fowler, E. Fryer. *Phys. Rev.*, **94**, 52, 1954. B. Roberts, C. Bean. *Phys. Rev.*, **94**, 1494, 1954.
- [7] М. М. Носков, А. В. Соколов. *ЖЭТФ*, **17**, 969, 1947.

ON THE TEMPERATURE STABILITY OF THE DOMAIN STRUCTURE IN IRON SILICATE CRYSTALS

L. V. Kirensky, I. F. Dekhtyarev

The meridian magneto-optical Kerr effect has been employed to investigate the domain structure of 3% iron silicate in the temperature range from 20 to 700° C. It is shown that in the indicated range the domain structure is highly stable.

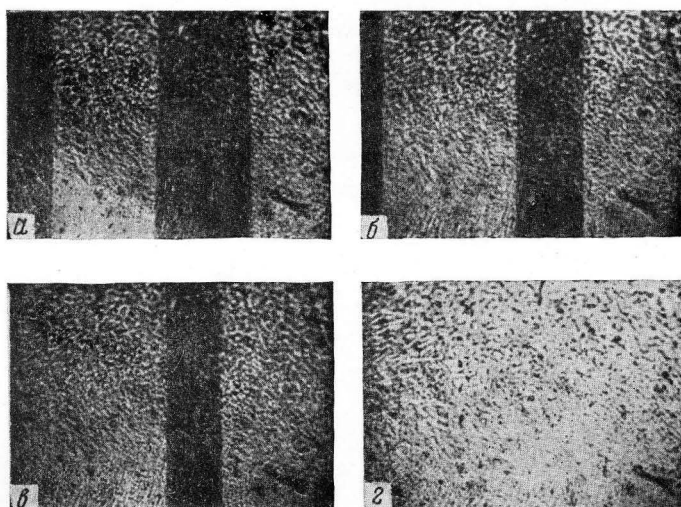


Рис. 3. Изменение доменной структуры при наложении поля.
а — $H = 0$, б — $H = 15$ Ое, в — $H = 25$ Ое, г — $H = 60$ Ое

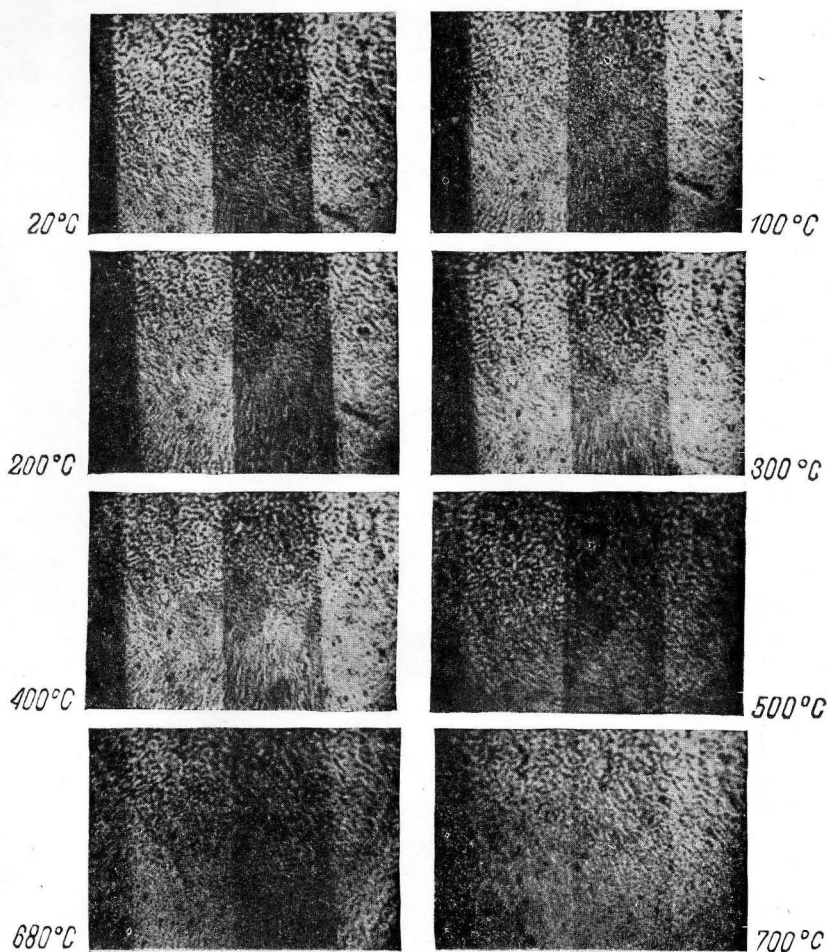


Рис. 4. Нормальная доменная структура кристаллов кремнистого железа в отсутствие магнитного поля при различных температурах