ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР

Т. XXIX, № 4 СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ 1965

Л. В. КИРЕНСКИЙ, Т. П. ИЗОТОВА и Н. М. САЛАНСКИЙ

МАГНИТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СЛОЕВ В ДВУХСЛОЙНОЙ ПЛЕНКЕ

Двухслойные ферромагнитные пленки, разделенные слоем кварца, обладают магнитными свойствами, отличными от свойств однослойных пленок, идентичных по составу. В работе [1] описаны технология получения таких пленок и их некоторые магнитные свойства. В данной работе представлены результаты по изучению взаимного влияния слоев, составляющих двухслойную ферромагнитную пленку.

1. Влияние механических неоднородностей на величину H_c магнитных слоев

При термическом способе получения многослойных пленок магнитные слои могут загрязняться частицами последующих напыляемых слоев, вследствие чего их магнитные свойства могут изменяться.

Изучались двухслойные магнитные пленки Fe—Ni—Co|SiO_2|Fe—Ni, однослойные пленки тех же составов, а также пленки, покрытые кварцем и напыленные на кварц. Толщина высококоэрцитивного (ВК) слоя 1200 Å, слоя кварца 2000 Å и низкокоэрцитивного (НК) слоя 500 Å. Доменная структура пленок изучалась с помощью эффекта Керра, однородность пленок — с помощью эффекта Баркгаузена. Установка фиксировала импульсы Баркгаузена длительностью 10^{-7}—10^{-4} *сек*. Все наблюдения проведены при перемагничивании пленок в легком направлении.

Однослойная НК-пленка перемагничивается в этом направлении образованием и ростом зародыша обратной намагниченности [2—4]. При покрытии НК-пленки кварцем или нанесении ее на кварц перемагничивание протекает в основном как обычно, но в отдельных местах пленки остаются неперемагниченные области, которые исчезают при увеличении магнитного поля. Доменная структура очень мелкая и беспорядочная. В двухслойной пленке в НК-слое могут возникать зародыши обратной намагниченности и в отрицательных полях.

Однослойная ВК-пленка, как правило, перемагничивается одним-двумя большими скачками Баркгаузена. При покрытии ее кварцем или напылении ее на кварц она перемагничивается в основном несколькими большими скачками Баркгаузена, но местами, как и в НК-пленке, остаются неперемагниченные участки. При возрастании магнитного поля эти участки исчезают, создавая мелкие импульсы Баркгаузена. При нанесении второго магнитного слоя дисперсность доменной структуры растет.

Распределение скачков Баркгаузена по полю, снятое с исследуемых пленок, показывает, что кварц практически не влияет на величину H_c НК-слоя. Только при соседстве второго магнитного слоя происходит сдвиг кривой в область слабых магнитных полей. Смещение кривых распределения числа скачков Баркгаузена в область слабых магнитных полей наблюдается на двухслойных пленках, разделенных слоем кварца небольшой толщины. Для двухслойных пленок, напыленных на противоположные стороны покровного стекла, толщина которого 0,1 *мм*, такого эффекта не

наблюдается. Об изменении числа скачков Баркгаузена в НК-слое в зависимости от соседних слоев нельзя сказать что-либо определенное.

На рис. 1 представлены интегральные кривые распределения числа скачков Баркгаузена по полю в ВК-слое для различных случаев. Как видно из хода кривых *2* и *3* этого рисунка, напыление кварца существенно сказывается на однородности ВК-слоя. Пленка становится более неоднородной (увеличивается число скачков Баркгаузена, и они проходят в большом интервале полей) по сравнению с однослойной ВК-пленкой. Распределение числа скачков Баркгаузена по полю для этой изолированной пленки представлено кривой *1*. Когда на пленку Fe — Ni — Co напылен второй ферромагнитный слой (кривая *4*), число скачков Баркгаузена становится еще бо́льшим, а сама кривая значительно смещается в область малых полей. Существенное увеличение числа скачков Баркгаузена для случая, изображенного кривой *4*, может быть вызвано увеличением неоднородностей за счет тепловой диффузии частиц кварца и магнитным взаимодействием слоев. Так как ВК-слой, покрытый слоем кварца, перед напылением НК-слоя подвергается нагреву, то в какой-то мере возможна диффузия частиц соприкасающихся слоев.

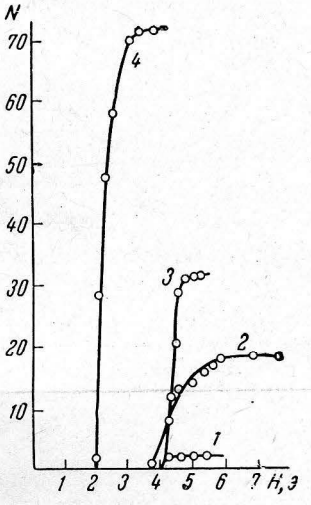

Рис. 1. Интегральные кривые распределения скачков Баркгаузена по полю для ВК-слоя: *1* — Fe — Ni — Co, *2* — Fe — Ni — Co | SiO_2, *3* — SiO_2 | Fe — Ni — Co, *4* — Fe — Ni — Co | SiO_2 | Fe — Ni

Чтобы проверить этот эффект, ВК-пленка, покрытая слоем кварца, подвергалась тепловой обработке, соответствующей условиям, в которых она находилась при напылении НК-слоя. Такие пленки дали увеличение числа скачков Баркгаузена по сравнению с такими же по составу, но не отожженными пленками. Однако основное увеличение числа скачков Баркгаузена в этом случае, вероятно, связано с магнитным взаимодействием слоев.

2. Магнитное взаимодействие слоев в двухслойной пленке

Уменьшение H_c ферромагнитных слоев, вероятно, вызвано магнитным взаимодействием слоев. Это взаимодействие может быть как макроскопическим [5], так и микроскопическим [6]. Действие макроскопических магнитных полей должно, очевидно, зависеть от направлений легких осей слоев. Проведенные в работе [1] измерения H_c магнитных слоев, напыленных в двухслойную пленку, при параллельной и взаимно перпендикулярной ориентации легких осей показали, что макроскопические поля не вызывают уменьшения H_c. Это утверждение справедливо для двухслойных пленок, толщина которых не более 1200 Å.

Микроскопическое взаимодействие возникает в результате полей рассеяния, которые, как правило, изменяются от точки к точке. Такое взаимодействие может быть обусловлено топографией поверхности пленок, так как пленки имеют не идеально гладкую поверхность, а шероховатую, причем шероховатость может усугубляться при последовательном напылении слоев. При определенной шероховатости поверхности создаются локальные поля рассеяния. Эти поля в двухслойных пленках взаимно замыкаются, создавая благоприятные условия для образования зародышей в пленках.

В данной части работы делается попытка доказать существование в двухслойных пленках полей рассеяния и их действием объяснить причи-

ну уменьшения коэрцитивной силы. Все исследования проведены на двухслойных пленках состава Fe — Ni — Co|SiO_2|Fe — Ni. Толщина НК-слоя 500 Å, ВК-слой изменялся по толщине. Такой ход эксперимента выбран с целью выяснения действия локальных магнитных полей рассеяния в зависимости от толщины ВК-слоя на НК-пленки одинаковой толщины.

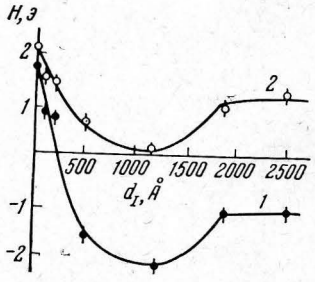

Рис. 2. Зависимость поля зародышеобразования $H_з$ (*1*) и коэрцитивной силы H_c (*2*) НК-слоя от толщины ВК-слоя

Исследования проводились в основном с помощью меридионального магнитооптического эффекта Керра, метода порошковых фигур и эффекта Баркгаузена. С помощью эффекта Керра изучалась доменная структура НК-слоя при различной толщине ВК-слоя. Для выявления мелких зародышей перемагничивания требовалось большее увеличение. В этом случае использовался метод порошковых фигур. С помощью эффекта Баркгаузена с двухслойных пленок снималось распределение скачков Баркгаузена по полю.

На рис. 2 представлены зависимости поля зародышеобразования $H_з$, коэрцитивной силы НК-слоя от толщины ВК-слоя. Кривые построены по наблюдениям доменной структуры. Как видно из хода кривой *1*, зародыши обратной намагниченности в НК-слое при толщине ВК-слоя d_I больше 300 Å возникают в отрицательных полях. С ростом толщины ВК-слоя величина этого поля увеличивается и при толщине ВК-слоя 1200 Å оно имеет максимальное значение. Начиная с толщины ВК-слоя 1800 Å, величина поля зародышеобразования остается отрицательной и постоянной. При толщине ВК-слоя меньше 300 Å, как видно из кривой *1*, зародыши обратной намагниченности возникают в положительных полях. Однако эта часть кривой требует корректировки, так как эти пленки, исследуемые с помощью магнитных порошков, после выключения поля насыщения имели зародыши, причем оказалось, что местоположение этих зародышей в НК-слое не зависит от взаимной ориентации намагниченности отдельных слоев. На рис. 3 представлены фотографии, на которых видны зародыши обратной намагниченности в НК-слое при различных толщинах ВК-слоя для двух различных взаимных ориентаций намагниченности слоев. Снимки *а* и *б* соответствуют центральной части пленки, а снимок *в* — краю, так как в центре ее, как правило, зародыши не возникали. В этом случае наблюдается разница в величинах и распределении зародышей в НК-слое в зависимости от взаимной ориентации намагниченности в слоях.

Из рис. 2 и 3 видно, что характер и величина магнитного взаимодействия слоев изменяются с ростом толщины ВК-слоя. Это сказывается на морфологии доменной структуры НК-слоя. Условия возникновения и роста зародышей обратной намагниченности для НК-слоя постоянной толщины при его перемагничивании зависят от толщины ВК-слоя. При толщинах ВК-слоя от 100 до 1200 Å НК-слой перемагничивается возникновением и ростом зародышей обратной намагниченности как в центре пленки, так и на краях. При более толстых слоях в НК-слое сначала возникают зародыши на краях пленки, которые охватывают весь ее край, и лишь после этого зародыши распространяются в центральную часть ее, образуя домены неправильной формы. Последнее обстоятельство говорит о том, что перемагничивание НК-слоя при большой толщине ВК-слоя затруднено.

На этих же пленках изучалось распределение числа скачков Баркгаузена по полю в зависимости от начального состояния намагниченности слоев. На рис. 4 представлены три вида кривых, снятых с двухслойных

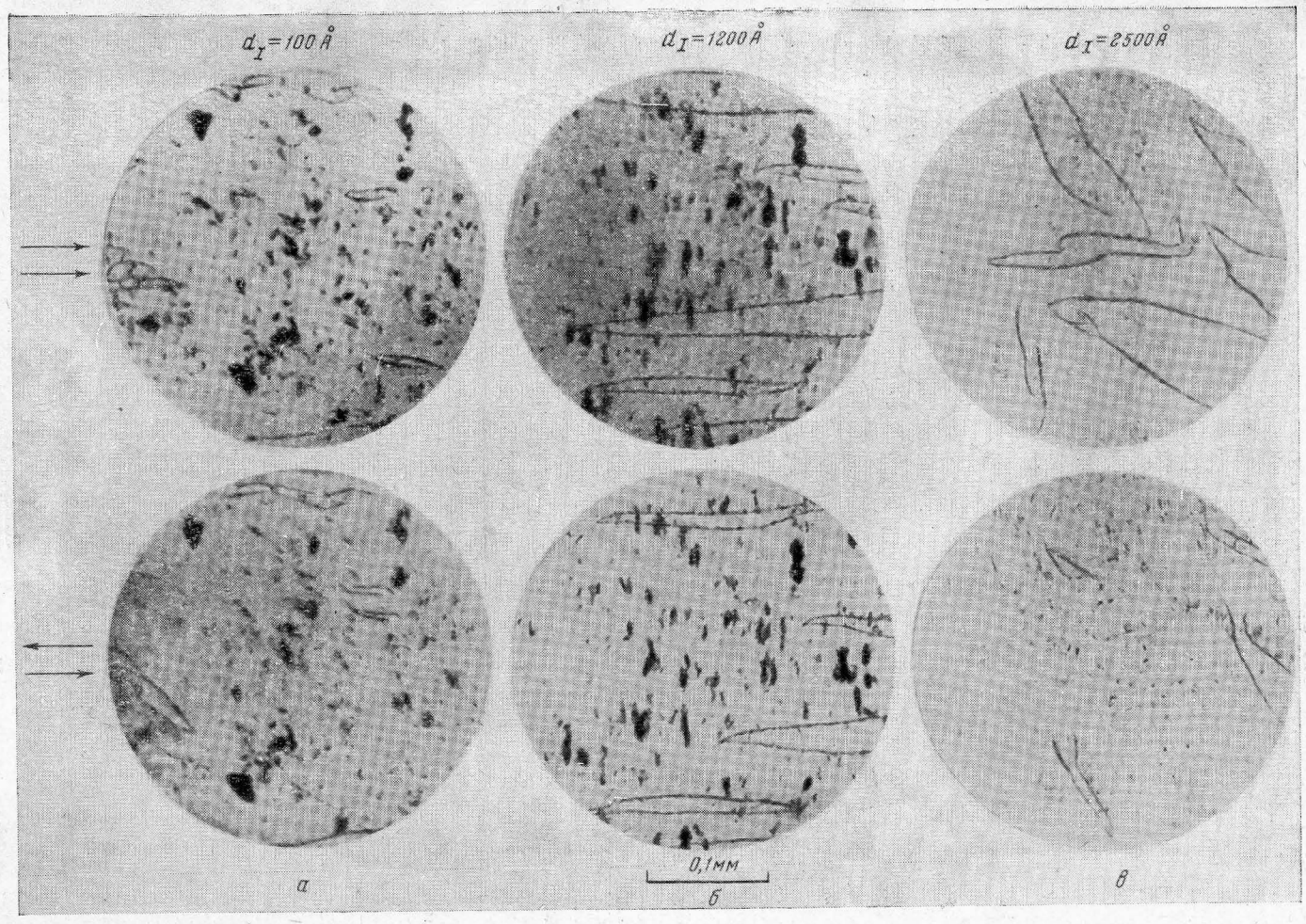

Рис. 3. Зародыши обратной намагниченности в НК-слое толщиной 500 Å при различной толщине ВК-слоя

пленок, соответствующих толщине ВК-слоя 100 и 1800 Å. Толщина НК-слоя 500 Å. Начальные и конечные магнитные состояния слоев обозначены стрелками, направление которых совпадает с направлением намагниченности слоев. Как видно из рис. 4, все сплошные кривые совпадают. Подобная картина наблюдается на всех двухслойных пленках при изменении толщины ВК-слоя до 1200 Å. Число скачков Баркгаузена в НК-слое и их распределение по полю не зависят от направлений намагниченности слоев. Когда толщина ВК-слоя превышает 1200 Å, число скачков Баркгаузена, их распределение по полю при перемагничивании НК-слоя зависят от начального и конечного состояний. В системе пунктирных кривых имеется смещение одной кривой в область больших полей.

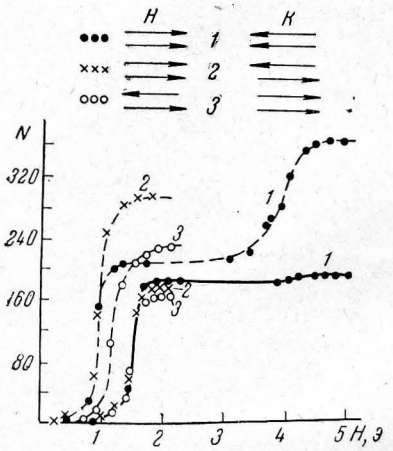

Рис. 4. Интегральные кривые распределения скачков Баркгаузена по полю в двухслойных пленках в зависимости от их начального и конечного состояний намагниченности, которые обозначены соответственно через H и K. Сплошные линии проведены для слоистой пленки с толщиной ВК-слоя 100 Å, пунктирные — 1800 Å

Как видно из рис. 4, интегральные кривые распределения скачков Баркгаузена по полю начинаются в положительных полях, хотя зародыши обратной намагниченности возникают в отрицательных полях. Видимо, образующиеся зародыши дают импульсы малой величины и длительности и установка их не чувствует.

Заключение

Эксперимент, проведенный по изучению скачков Баркгаузена в двухслойных и однослойных пленках, показывает увеличение неоднородностей в магнитных слоях при покрытии их кварцем. При намагничивании таких пленок движущая граница затормаживается неоднородностью, обтекает ее и замыкается, оставляя неперемагниченным небольшой участок пленки. Механические неоднородности, связанные с проникновением частиц кварца в магнитные слои, могут, вероятно, влиять на другие магнитные свойства пленок, но на величину H_c они практически не влияют.

Уменьшение H_c вызвано измененными условиями образования и роста зародышей. Возникновение зародышей обратной намагниченности при отрицательных внешних полях и их распределение по плоскости пленки указывают на существование неоднородных локальных магнитных полей, характер распределения которых зависит от толщин магнитных слоев. С ростом толщины ВК-слоя могут изменяться величина и степень локализации таких полей.

При бо́льших толщинах ВК-слоя начинает проявляться влияние макроскопических магнитных полей рассеяния.

Институт физики Сибирского
отделения Академии наук СССР
Красноярский государственный
педагогический институт

Литература

1. Киренский Л. В., Изотова Т. П., Саланский Н. М., Савченко М. К., см. настоящий номер журнала, стр. 604.
2. Sixtus K., Tonks L., Phys. Rev., **37**, 930 (1931).
3. Aharoni A., Phys. Rev., **119**, 127, (1960).
4. Smith D., Harte K., J. Appl. Phys., **33**, 1399 (1962).
5. Oakland L. T., Rossing, J. Appl. Phys., **30**, 4, 54 (1959).
6. Neel L, Compt. Rend., **255**, 1676 (1962).