

ИЗВЕСТИЯ АН СССР
СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ

7.25 № 12

МОСКВА. 1961

Г. В. СПИВАК, Л. В. КИРЕНСКИЙ, Р. Д. ИВАНОВ и Н. Н. СЕДОВ
**РАЗВИТИЕ ЗЕРКАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ
 МАГНИТНЫХ МИКРОПОЛЕЙ**

Введение

В настоящем сообщении представлены электроннооптические микрофотографии доменных структур различных ферромагнитных материалов и проведено сопоставление между изображениями, полученными при помощи порошка и в электронном зеркале. Из изучения контраста электронной картины получены количественные данные о распределении локальных магнитных полей рассеяния у реальных объектов.

Применение электронного зеркала для получения изображений магнит-

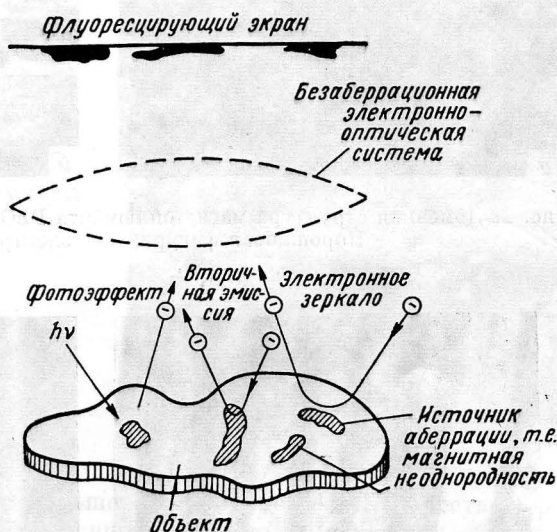


Рис. 1. Принципиальная схема получения электроннооптических изображений в эмиссионной и квазиэмиссионной системах

ных микрополей было впервые предложено в одной работе лаборатории электронной оптики МГУ еще в 1955 г. [1]. В последующих работах улучшалась конструкция прибора и расширялись его области применения: на сегнетоэлектрики и «поля пятен» электронных эмиттеров [2].

В 1960—1961 гг. была опубликована работа [3], в которой детально описывается цельнометаллическая техническая конструкция зеркального электронного микроскопа с внутривакуумным фотографированием, обеспечивающая за счет ряда усовершенствований получение качественных изображений магнитных микрополей.

Наряду с применением для получения изображений электронного зеркала нами были предложены еще два способа: вторичная электронная эмиссия и фотоэффект (рис. 1). Развитие обоих этих способов также перспективно. Однако электронное зеркало в данное время обладает рядом следующих преимуществ: а) высокой чувствительностью к относительно слабым полям, б) большой контрастностью картины, в) возможностью наблюдения магнитной структуры на разных расстояниях от источника микрополя.

Чувствительность зеркала, являющегося «квазиэмиссионной» системой, обусловлена тем, что освещающий пучок электронов останавливается у объекта, а значительная контрастность обеспечивается благодаря прямому и обратному движению электрона.

Так как тормозящим электрическим полем можно остановить электрон, а затем и повернуть на желаемом расстоянии от источника возбуждения, то достигается «зондирование» пространственной структуры поля.

Наряду с высокой чувствительностью электронного зеркала, обеспечиваемой модуляцией медленных электронов, важно, чтобы оптическую систему прибора проходили уже быстрые электроны. Примененное высокое напряжение (50 kV), сужая отраженный пучок электронов, резко улучшает разрешение прибора [4]

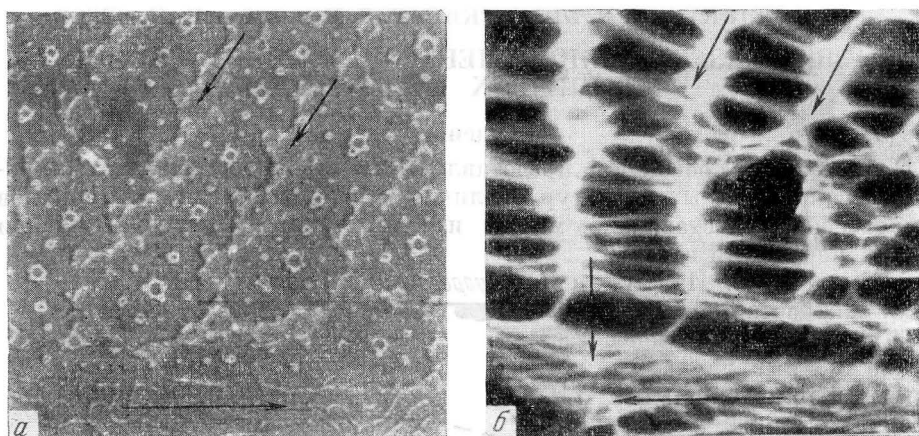


Рис. 2. Доменная структура магнетоплюмбита $\text{PbO}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_6$; плоскость (0001); $400\times$.
 а — Порошковая фигура; б — электронное изображение

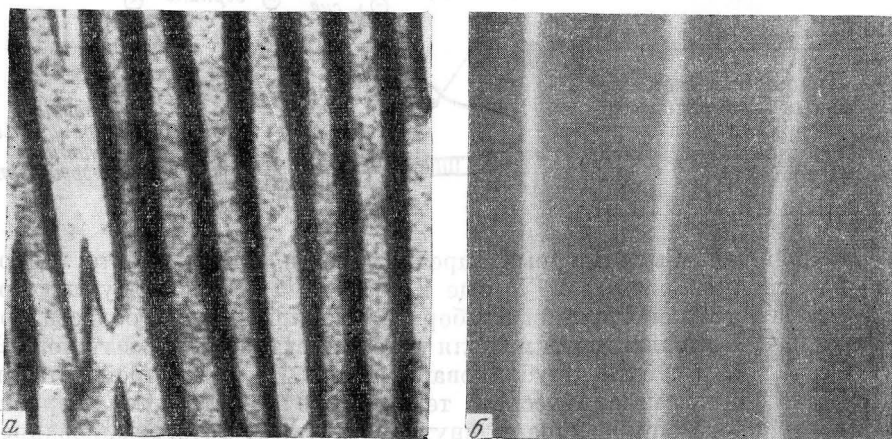


Рис. 3. Доменная структура кобальта; плоскость, почти параллельная гексагональной осп. а — Порошковая фигура ($400\times$); б — электронное изображение ($800\times$)

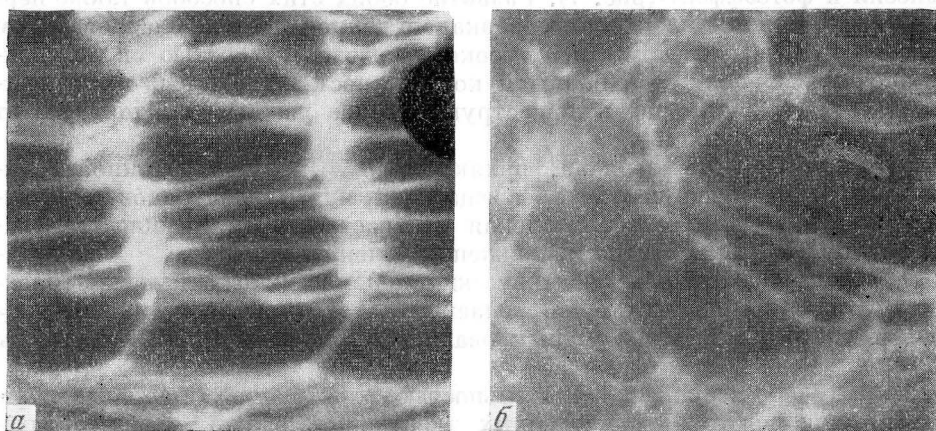


Рис. 4. Доменная структура $\text{PbO}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_6$, зеркальная картина; плоскость (0001):
 а — $800\times$; б — $1500\times$

Наблюдение магнитных микрополей и сопоставление с порошковыми фигурами

На рис. 2 показано зеркальное электроннооптическое и порошковое изображения одного и того же места кристалла магнетоплюмбита. Видно хорошее соответствие обеих картин. На электронном снимке отсутствуют некоторые детали, имеющиеся на порошковом изображении. Это объясняется тем, что электронное изображение в данном случае соответствует полю на некотором удалении от кристалла, и, следовательно, отображает структуру поля, не затухающую на этом расстоянии. Следует отметить высокую контрастность электронной картины.

Сопоставление с порошковой фигурой для случая доменной структуры кобальта показано на рис. 3. Соответствие является достаточно хорошим

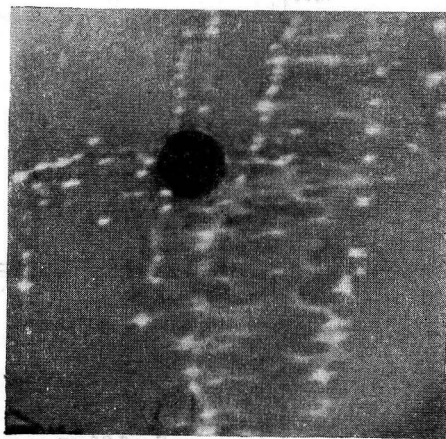


Рис. 5. Доменная структура пленки кобальта ($\sim 1000 \text{ \AA}$); зеркальная картина, $\sim 400\times$

(увеличение на рис. 3, б вдвое больше, чем на рис. 3, а), качество зеркальной картины можно считать лучшим, чем порошковой.

На рис. 4 представлены два зеркальных изображения участка доменной структуры магнетоплюмбита уже на увеличениях $800\times$ и $1500\times$. Изображения и при этих увеличениях не теряют своей резкости и, следовательно, соответствуют еще полезным увеличениям.

Наконец, на рис. 5 показана электроннооптическая картина доменов пленки кобальта (толщина $\sim 1000 \text{ \AA}$). Пленка получена при помощи катодного распыления по способу, описанному ранее в работе [5]. Доменная структура типична и соответствует порошковой картине.

Измерение локальных полей по контрастности зеркального изображения

Измерение величины локального магнитного поля рассеяния представляет существенный интерес для исследования различных объектов, например: 1) доменных структур, 2) магнитных неоднородностей в сплавах, 3) звукозаписывающих и звуковоспроизводящих устройств и т. д. Вопрос о связи контрастности изображения в эмиссионной системе с локальным магнитным полем разобран раньше [6].

Аналогичная методика в данной работе распространена и на обработку зеркальных изображений доменных структур. Мы ставили себе целью определить спадание поля рассеяния границ доменов над поверхностью образца. Соответствующие расчеты показывают, что контрастность изображения зависит как от напряженности действующего на электроны поля H , так и от эффективной протяженности этого поля z , т. е. от величины H_z .

Для градуировки зеркала был применен искусственно приготовленный образец, состоящий из последовательно расположенных латунных и железных пластинок. Передняя поверхность образца полировалась, и на нее напылялось серебро для устранения эффекта контактных полей [7]. Магнитное поле над таким образцом измерялось при помощи вихревого микроизмерителя, причем закон спадания поля можно доста-

точно точно аппроксимировать экспонентой (рис. 6, а): На рис. 6, б показана полученная градуировочная кривая для зеркала: зависимость разности почернений на негативе, т. е. логарифма отношений яркости на экране, от произведения $H z$. Меняя отрицательный потенциал на образце в зеркале, мы меняем высоту, на которой электроны останавливаются, и тем самым можем измерять поле на разных высотах.

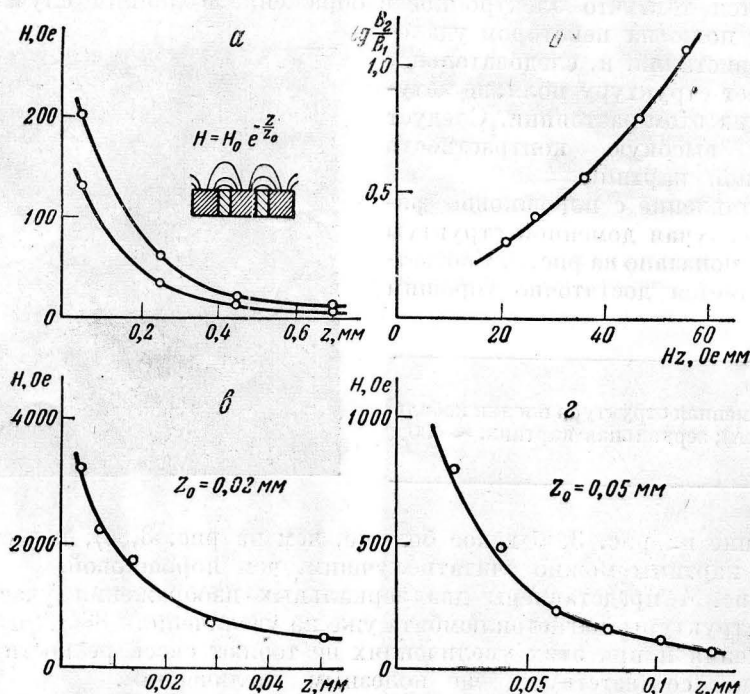


Рис. 6. а — Поле над искусственно приготовленным образцом, измеренное висмутовым микроизмерителем, при разных токах подмагничивания $H = H_0 e^{-z/z_0}$; б — градуировочная кривая зеркала; в — поле рассеяния над гексагональной плоскостью кристалла магнетоплюмбита, $z_0 = 0,02$ мм; г — поле рассеяния над поверхностью кобальта, почти параллельной гексагональной оси, $z_0 = 0,05$ мм

На рис. 6 в, г представлена зависимость локального поля для магнетоплюмбита и кобальта на плоскости, параллельной гексагональной оси, соответственно. Зависимость поля от координаты (расстояние от поверхности) хорошо аппроксимируется экспонентой. Из измерения следует, что константа z_0 для магнетоплюмбита в 2,5 раза меньше, чем у кобальта. Таким образом, поле доменной границы у данного образца магнетоплюмбита значительно быстрее затухает с удалением от кристалла, чем у кобальта.

Заключение

Зеркальный электронный микроскоп, дающий качественное изображение структуры магнитного поля массивных и пленочных объектов, может быть использован как для наблюдения полей, так и для измерения их величины на разных расстояниях от изучаемого объекта. Полученные полезные увеличения ($\sim 2000 \times$) не являются предельными.

Физический факультет
Московского гос. университета
им. М. В. Ломоносова
Институт физики

Сибирского отделения Академии наук СССР

Литература

1. Спивак Г. В., Прилежаева И. Н., Азовцев В. К., Докл. АН СССР, 105, 965 (1955).
 2. Спивак Г. В., Прямова И. А., Играс Э., Изв. АН СССР. Сер. физ., 23, 729 (1929); Спивак Г. В., Прямова И. А., статья в сб.: Магнитная структура ферромагнетиков, стр. 185. Изд. СО АН СССР, Новосибирск, 1960.
 3. Спивак Г. В., Прямова И. А., Фетисов Д. В., Кабанов А. Н., Лазарева Л. В., Шилина А. И., Изв. АН СССР. Сер. физ., 25, 683 (1961) (см. также European Regional Conference on Electronmicroscopie, Programme s. 70, Delft, 1960).
 4. Лейзеганг З., Электронная микроскопия, стр. 104. ИЛ., 1960.
 5. Иванов Р. Д., Спивак Г. В., Сиротенко И. Г., Изв. АН СССР. Сер. физ., 25, 581 (1961).
 6. Седов Н. Н., Спивак Г. В., Исаева Н. Ф., Изв. АН СССР. Сер. физ., 25, 725 (1961).
 7. Спивак Г. В., Прямова И. А., Лепешинская В. Н., Докл. АН СССР, 130, 751 (1960).
-