

Л. В. КИРЕНСКИЙ, В. Г. ПЫНЬКО и И. П. АНТИШИН

ДОМЕННАЯ СТРУКТУРА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ
ПЛЕНОК ЖЕЛЕЗА

В сравнительно немногочисленных работах по изучению доменных структур эпитаксиальных пленок железа авторы стремились получить по возможности более совершенные монокристаллические пленки и на них вести исследования [1—7]. Зависимость доменной структуры от кристаллического совершенства пленок не изучалась.

Для исследования доменной структуры эпитаксиальных железных пленок разной степени совершенства кристаллического строения мы, наряду с порошковым методом, применили метод лорентцевой электронной микроскопии [8]. О переоборудовании для этой цели электронного микроскопа ЭМ-3 уже сообщалось [9]. Исследование доменной структуры пленок производилось также в электронном микроскопе УЭМВ-100, для чего патрон объектодержателя был переделан так, что позволял располагать пленку на различных расстояниях от наконечника объективной линзы. Наблюдения доменной структуры пленок велись также на чехословацком микроскопе BS — 242 без какой-либо переделки прибора, однако за отсутствием у него конденсора изображения распределения намагниченности получаются нерезкими.

Вопросы эпитаксиального выращивания железных пленок и их кристаллического строения рассматриваются в [10].

Для исследования доменной структуры порошковым методом пленки пересаживались в воде с NaCl на стекло, а для наблюдений в электронном микроскопе — на сетку с квадратными ячейками 50×50 мк.

Все пленки, доменная структура которых изучалась, подвергались структурным исследованиям в электронографе ЭГ и в электронном микроскопе УЭМВ-100.

Результаты

При сравнительно небольшом преобладании в железной пленке кристаллитов какой-либо одной ориентации пленка имеет двухосную анизотропию, что просто выявляется по петлям гистерезиса. В доменной структуре таких пленок преобладают 90-градусные границы. Две легкие оси в пленках, напыленных не под углом, всегда совпадают с направлениями [100] преобладающих кристаллитов. Приложение магнитного поля во время напыления не меняет положения этих осей.

Полученные нами эпитаксиальные пленки железа в диапазоне толщин $600 \div 1000$ Å по кристаллическому строению и различиям в доменной структуре можно грубо разделить на следующие группы:

- 1) полностью ориентированные пленки, у которых кристаллографическая плоскость (001) совпадает с плоскостью самой пленки;
- 2) пленки с кристаллитами двух ориентаций:

$$(001), [100]_{\text{Fe}} \parallel (001), [110]_{\text{NaCl}}, \\ (001), [100]_{\text{Fe}} \parallel (001), [100]_{\text{NaCl}};$$

и трех ориентаций:

(001) , $[100]_{\text{Fe}} \parallel (001)$, $[110]_{\text{NaCl}}$,

(110) , $[100]_{\text{Fe}} \parallel (001)$, $[100]_{\text{NaCl}}$,

3) пленки с большим количеством беспорядочно ориентированных кристаллитов.

Характерной особенностью монокристаллических пленок железа считается образование в них под действием переменного поля доменной структуры, напоминающей поле шахматной доски. Вид этой «шахматной



Рис. 1. Доменная структура типа шахматной доски в эпитаксиальной пленке железа: *а* — изображение, полученное с помощью порошка; *б* — электронномикроскопическое изображение

доски» и процесс ее образования могут значительно изменяться с изменением кристаллического строения пленки.

В пленках I типа создать «шахматную доску» из более или менее правильных квадратов весьма затруднительно: при уменьшении амплитуды поля обычно возникают крупные прямоугольники и квадраты разных размеров.

В пленках II и III типов, т. е. в пленках с явно пониженной анизотропией, «шахматная доска» получается регулярно, однако она состоит обычно не из квадратов, а из прямоугольников, вытянутых вдоль направления поля, которое прикладывается по одному из трудных направлений или вблизи него. На рис. 1 приведены снимки такой «шахматной доски», сделанные порошковым методом и в электронном микроскопе.

Образование «шахматной доски» в пленках II и III типов происходит в два этапа: сначала образуются доменные границы, перпендикулярные направлению переменного поля, а затем, при дальнейшем медленном уменьшении его амплитуды, возникают и границы вдоль поля. Если после того как образовались границы, перпендикулярные направлению приложения поля, выключить поле, то продольные границы могут не образоваться совершенно и пленка останется разбитой на домены, перпендикулярные полю. Из наблюдений за воздействием на домены постоянного поля выясняется, что намагниченность в пленке распределяется, как показано на рис. 2, *а*. Второй этап об-

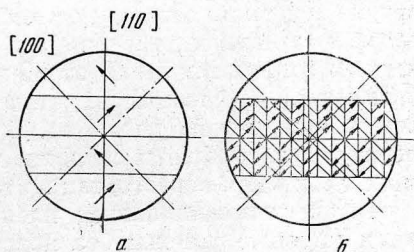


Рис. 2. Схема образования «шахматной доски» в пленках II и III типа: *а* — распределение намагниченности в пленке в конце первого этапа; *б* — то же в конце второго этапа

разования «шахматной доски» приводит к распределению намагниченности в пленке, показанному на рис. 2, б. Полного замыкания магнитного потока в пленке не получается. Объяснение этому следует, видимо, искать в пониженной двухосной анизотропии несовершенных пленок и двухэтапном образовании структуры.

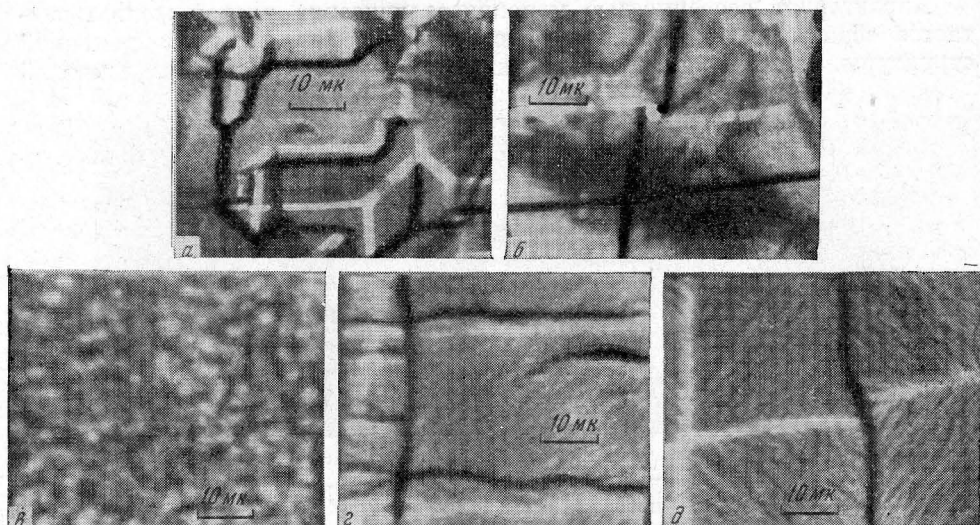


Рис. 3. Доменные структуры эпитаксиальных пленок железа: а — исходная структура пленки I типа; б — структура пленки I типа после размагничивания; в — исходная структура пленки II типа; г — структура пленки II типа после размагничивания; д — структура пленки III типа после размагничивания

На рис. 3 приведены электронномикроскопические снимки доменных структур пленок всех трех типов. В пленках I типа исходная структура состоит из мелких доменов (рис. 3, а) со 180-градусными границами и границами, отличающимися от 90-градусных, что видно по ширине их изображений. В пленках II типа исходная доменная структура обычно бывает крапчатой (рис. 3, в). В пленках III типа в зависимости от температуры подложки и скорости напыления исходная доменная структура может быть как первого, так и второго вида.

После размагничивания пленок I типа, как уже указывалось, образуются крупные домены без подструктуры (рис. 3, б). После размагничивания пленок II типа из исходной крапчатой структуры образуется доменная структура, состоящая из прямоугольников и квадратов (рис. 3, г). Если в пленке совершенно нет беспорядочно ориентированных кристаллитов, то подструктура не наблюдается, хотя изображения доменов неоднородны. Для пленок III типа всегда характерно наличие подструктуры (рис. 3, д).

Изображения границ как 90-градусных, так и 180-градусных на пленках I и II типов в электронном микроскопе видны однородными, хотя магнитный порошок над 180-градусными границами при наблюдении их порошковым методом собирается неоднородно.

Изображения 180-градусных границ в электронном микроскопе получаются прерывистыми только в пленках III типа, содержащих большое количество беспорядочно ориентированных кристаллитов. На рис. 4 изображены такие границы в пленках II и III типов.

Попытки исследовать доменную структуру пленок тоньше $600 \text{ \AA}$ успехом не увенчались. При отделении таких пленок от кристалла NaCl в воде они, видимо, так сильно окисляются, что доменная структура не выявляется ни порошком, ни в электронном микроскопе.

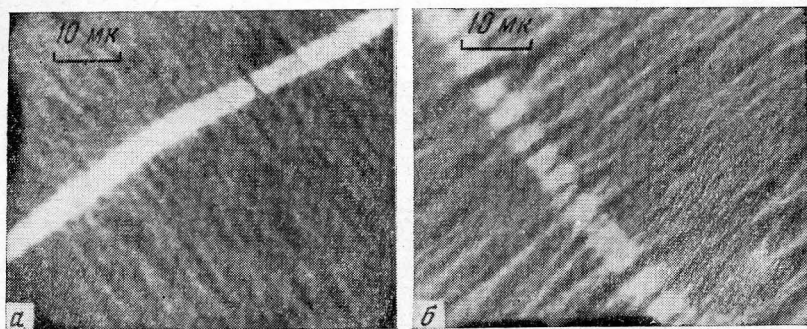


Рис. 4. Электронномикроскопическое изображение пленок II (а) и III (б) типов. В обеих пленках 180-градусная граница

Обсуждение результатов

Особенности эпитаксии Fe , а также сопоставление доменных структур эпитаксиальных пленок различного строения требуют при исследовании их магнитных свойств обязательного выяснения кристаллической структуры каждой пленки.

По виду доменной структуры эпитаксиальных пленок, особенно по виду «шахматной доски», получающейся после размагничивания вдоль одного из трудных направлений, можно делать некоторые предположения о величине анизотропии пленки. В пленках с пониженной анизотропией «шахматная доска», как правило, состоит не из квадратов, а из прямоугольников.

Возникновение подструктуры в эпитаксиальных пленках, безусловно, связано с дисперсией анизотропии, однако не всякая дисперсия анизотропии порождает подструктуру.

180-Градусные границы в эпитаксиальных пленках Fe , видимо, всегда имеют внутреннюю структуру, которая на электронномикроскопическом изображении может не выявляться.

Институт физики Сибирского отделения
Академии наук СССР

Красноярский государственный педагогический институт

Литература

1. Elschner B., Unangst D., Z. Naturforsch., a, 11, 98 (1956).
2. Unangst D., Ann. Phys., 7, 280 (1961).
3. Sato H., Toth R. S., Astrue R. W., J. Appl. Phys., 33, 1113 (1962).
4. Gondô G., J. Phys. Soc. Japan, 17, 1129 (1962).
5. Gondô L., Funotogoue Z., J. Phys. Soc. Japan, 17, S. B-1, 621 (1962).
6. Sato H., Astrue R. W., J. Appl. Phys., 33, 2956 (1962).
7. Sato H., Toth R. S., Astrue R. W., J. Appl. Phys., 34, 1062 (1963).
8. Halle M. E., Fuller H. W., Rubinstein H., J. Appl. Phys., 30, 789 (1959).
9. Пынько В. Г., Приборы и техника эксперимента, № 1, 178 (1964).
10. Пынько В. Г., Суханова Р. В., см. настоящий номер журнала, стр.