

Л. В. КИРЕНСКИЙ, В. Г. ПЫНЬКО и Н. И. СИВКОВ

## ДОМЕННАЯ СТРУКТУРА И ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК НИКЕЛЯ

Исследовались пленки, напылявшиеся при минимальной ( $120^\circ\text{C}$ ) эпитаксиальной температуре подложки (кристалл  $\text{NaCl}$ ): Наблюдался следующий тип эпитаксии  $(001) [100]_{\text{Ni}} \parallel (001) [100]_{\text{NaCl}}$ . В плоскости пленки легкая ось совпадает или близка кристаллографическому направлению  $[110]$ . Пленки, напылявшиеся при более высоких температурах подложки, имеют, как правило, мелкую («кряпчатую») доменную структуру и перемагничиваются неоднородным вращением. Доменная же структура «низкотемпературных» монокристаллических пленок никеля и ее динамика оказались зависящими от толщины пленок. По типу доменной структуры и ее динамике интервал толщин изучавшихся пленок ( $1200\text{--}200\text{ \AA}$ ) можно грубо разбить на четыре диапазона.

1. Пленки толщиной  $> 1000\text{ \AA}$  плохо просвечиваются. Снимки, характеризующие их перемагничивание, не приводятся. В этих пленках, намагниченных до насыщения, при перемагничивании в любом направлении повсеместно возникают мелкие домены, которые без существенного движения границ разрушаются с дальнейшим увеличением поля. Преимущественно существующие  $90^\circ$ -градусные границы доменов имеют редкие, небольшие перевязки. На рис. 1 приведен снимок доменной структуры, характерной для пленок толще  $1000\text{ \AA}$ .

2. Пленки толщиной  $1000\text{--}500\text{ \AA}$ . На рис. 2 показано изменение доменной структуры в процессе перемагничивания такой пленки в направлении легкой оси. Видно, что даже в поле, равном нулю, выявляется подструктура, т. е. намагниченность однодоменной пленки неоднородна. Так же, как и в пленках толще  $1000\text{ \AA}$ , образование доменов с увеличением противополя происходит по всей плоскости пленки и перемагничивание заканчивается по существу разрушением этих доменов без значительного смещения границ. Процесс возникновения доменов и их разрушения требует сравнительно больших полей и характеризуется наклонной петлей гистерезиса. Изображение границ в виде отдельных точек, говорит об их сложном внутреннем строении.

На рис. 2, как и на большинстве других рисунков, видны темные извилистые полосы (полосы погасания), не меняющиеся с изменением поля и не связанные с магнитными свойствами пленок.

3. Пленки толщиной  $500\text{--}300\text{ \AA}$ . Часто получаются пленки с крупной доменной структурой с преобладанием  $90^\circ$ -градусных однород-

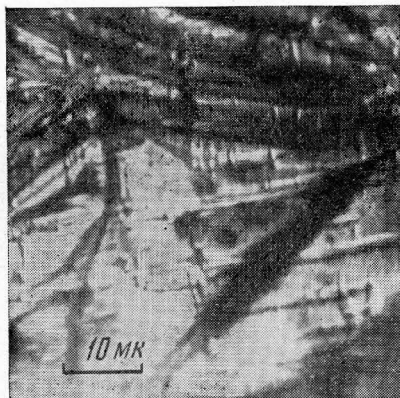


Рис. 1. Доменная структура пленки толщиной  $1200\text{ \AA}$ .  $H \neq 0$

ных границ. 180-градусные границы, возникающие сравнительно редко, имеют перевязки. Перемагничивание осуществляется возникновением зародышей на краях и дальнейшим смещением границ. На рис. 3, а показан характерный начальный этап такого перемагничивания вдоль легкой оси: от краев пленки в трудных направлениях растут клинья, которые, взаимодействуя друг с другом, образуют структуру типа шахматной доски (рис. 3, б). Возникающие при этом домены с обратной намагниченностью разрастаются и показывают перемагничивание обычным смещением границ. На рис. 3, в и г показаны два момента процесса перемагничивания пленки под углом  $\sim 20^\circ$  к легкой оси. В этом случае перемагничивание происходит в два этапа: в результате первого возникновения и смещения границ пленка оказывается перемагничиванной на  $90^\circ$ , в результате второго — намагниченность поворачивается на  $\sim 180^\circ$ . Частичное перемагничивание (на  $90^\circ$ ) при приложении поля в трудном направлении происходит также возникновением зародышей на краях пленки и смещением границ, ориентированных вдоль поля (рис. 3, д и е).

4. Пленки толщиной 300 Å. Перемагничивание пленки в легком направлении (рис. 4а) начинается с возникновения подструктуры по всей поверхности пленки из-за неоднородного вращения вектора намагниченности. Так как в разных участках пленки вектор намагниченности отклоняется от легкого направления как в ту, так и в другую сторону, на изображении возникает рябь, характерная для подструктуры. После преодоления вектором намагниченности энергетического барьера, определяемого трудными осями, возникает мелкая устойчивая доменная структура, разрушением которой с дальнейшим увеличением поля завершается перемагничивание. Перемагничиванные области ( $H = 56$  э) уже свободны от подструктуры.

При перемагничивании под некоторым небольшим углом к легкому направлению возникает одностороннее вращение вектора намагниченности. Однако вращение в разных участках пленки начинается в различных полях, из-за чего на электронномикроскопическом изображении выявляется подструктура, а затем возникают мелкие длинные домены, которые с увеличением поля разрушаются без движения границ. При этом подструктура сохраняется (рис. 4, б).

При перемагничивании в трудном направлении (рис. 4, в) всегда наблюдается подструктура, в том числе и в поле, равном нулю, после насыщения пленки в этом направлении. С увеличением противополя подструктура выявляется более резко, и при некотором значении его возникают клинья «обратной» намагниченности, ростом которых завершается первая стадия процесса перемагничивания. Дальнейший рост поля приводит к уменьшению возникших колебаний вектора намагниченности, подструктура становится менее заметной. Схема представлена на рис. 4, г.

### Обсуждение результатов

Особенности пленок толщиной свыше 500 Å могут быть объяснены отклонением легких осей пленки от ее плоскости, поскольку в плоскости пленки нет осей типа [111]. При толщине 500—300 Å оси легкого намагничивания лежат в плоскости пленки и совпадают с направлением [110], причем пленки еще достаточно однородны и амплитудная дисперсия анизотропии не проявляется. В этом случае возникают крупные домены и наблюдается смещение их границ.

При толщинах, меньших 300 Å, пленки становятся менее однородными по толщине, что приводит к амплитудной дисперсии анизотропии и перемагничиванию пленок неоднородным вращением.