

05

Рентгеновские интерференционные эффекты в тонких монокристаллических пленках кобальт—платина эквивалентного состава

© П.Д. Ким, С.В. Столяр, Р.С. Исхаков, И.А. Турпанов,
В.И. Юшков, А.Я. Бетенькова, Г.Н. Бондаренко, А.М. Махлаев

Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, Красноярск
E-mail: kim@iph.krasn.ru
Красноярский государственный университет
Красноярский государственный технический университет
Институт химии и химических технологий СО РАН, Красноярск

Поступило в Редакцию 26 мая 2003 г.

Методом рентгеновской дифрактометрии изучены тонкие монокристаллические пленки эквивалентных сплавов $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{MgO}$, синтезированные методом магнетронного напыления. В окрестности рефлекса (001), характеризующего упорядоченную по типу $L1_0$ структуру, а также в малоугловой области ($2\theta < 10^\circ$) спектра обнаружены рентгеновские интерференционные осцилляции, период которых зависит от толщины изучаемых пленок.

Тонкие магнитные пленки эквивалентных сплавов CoPt , FePt , FePd в настоящее время рассматривают как потенциальные среды магнитного хранения информации высокой плотности. Гистерезисные свойства данных сплавов обусловлены формированием упорядоченной магнитоодноосной сверхструктуры типа $L1_0$ [1]. Одним из основных условий использования пленок данных сплавов в качестве записывающей среды является их однородность — однородность химического состава, поскольку именно она обеспечивает неизменность степени тетрагональности сверхструктуры $L1_0$, и, следовательно, отсутствие флуктуаций величины поля кристаллографической анизотропии; однородность толщины тонкой магнитной пленки по всей площади поверхности, поскольку это обеспечивает отсутствие магнитоэлектрических зарядов на поверхности. Важным условием использования тонких пленок в качестве магнитной среды с перпендикулярной магнитной анизотропией

является их монодоменность, т.е. наличие в магнитной структуре единственного домена, у которого ось тетрагональности C во всем объеме пленки ориентирована параллельно нормали пленки. Для отслеживания выполнения перечисленных условий параметрами пленок необходимы интегральные методики исследования, чувствительные к однородности синтезируемых пленок. Данной тестовой методикой может служить рентгеновская дифрактометрия тонких монокристаллических пленок, которой при выполнении указанных условий легко регистрируются осцилляции толщинного интерференционного контраста. Отметим, что контроль качества тонких пленок (полупроводниковых, сверхпроводниковых и т.д.), используемых в современной микроэлектронике, в настоящее время является актуальным [2].

Исследуемые образцы тонких монокристаллических пленок $Co_{50}Pt_{50}$ были получены методом магнетронного напыления в атмосфере Ar. Рабочее давление составляло $2.7 \cdot 10^{-2}$ Pa. В целях избежания химических неоднородностей в пленках их синтез осуществлялся попеременным напылением слоев металлов Co и Pt. Продолжительность напыления слоя элемента τ_i была выбрана таким образом, что за каждый τ_i напылялся один мономолекулярный слой. Диапазон толщин исследуемых пленок составлял $2 < d < 20$ nm. В качестве подложек использовались монокристаллы MgO с ориентацией (001). Толщина d_0 и химический состав пленок контролировались методом рентгенофлуоресцентного анализа. Изотермический отжиг осуществлялся в вакуумной камере с давлением не хуже $6.7 \cdot 10^{-4}$ Pa.

Структурные исследования образцов проводились на рентгеновском аппарате ДРОН-4 при комнатной температуре. Длина волны рентгеновского излучения составляла $\lambda = 0.154$ nm (CuK_{α}). Съемка осуществлялась в режиме $U = 32$ kV, $I = 32$ mA, в двухкристальном варианте с применением плоского и изогнутого монохроматора. При съемке устанавливались следующие щели: щели Соллера, вертикальная щель — 2 mm, горизонтальная щель — 6 mm, вертикальная щель — 0.25 mm. Шаг съемки 0.02° . Скорость съемки 1 grad/min. Шаг углового перемещения блока детектирования в автоматическом режиме 0.02° .

На рис. 1 приведен участок рентгенограммы в больших углах пленки толщиной 7 nm, отожженной при $T = 873$ K в течение 3 h. В окрестности сверхструктурного отражения (001) упорядоченной $L1_0$ сверхструктуры, как видно из рисунка, наблюдаются сверхструктурные осцилляции толщинного интерференционного контраста. В соответ-

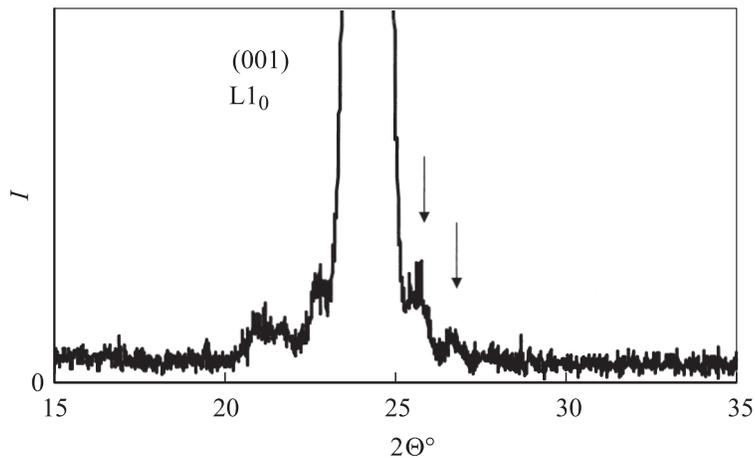


Рис. 1. Участок рентгенограммы пленки $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{MgO}$ с $d = 7$ nm, отожженной при $T = 873$ K в течение 3 h.

ствии с результатами экспериментальных работ [2,3] и работы [4] здесь ширина центрального максимума на половине высоты равна периоду осцилляций, а расстояние от центрального максимума до первого сателлитного отражения в полтора раза больше ширины (рис. 1). Регистрация толщинного контраста для пленок $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}$ свидетельствует об однородности ее толщины, что говорит о хорошем качестве получаемых нами металлических пленок методом магнетронного напыления. Толщина этих пленок может быть рассчитана из известного соотношения Селякова [4], модифицированного для случая, когда дифракционный вектор перпендикулярен поверхности плоскопараллельной кристаллической пластины:

$$d = \lambda / \Delta(2\Theta) \cos \Theta, \quad (1)$$

где λ — длина волны, Θ — брегговский угол, $\Delta(2\Theta)$ — период осцилляций толщинного контраста.

На рис. 2 представлен малоугловой дифракционный спектр тонкой пленки толщиной $d_0 = 12$ nm, подвергнутой изотермическому отжигу в течение 3 h при $T = 873$ K. Хорошо видны рентгеновские интерференционные осцилляции. Заметим, что осцилляции толщинного контраста

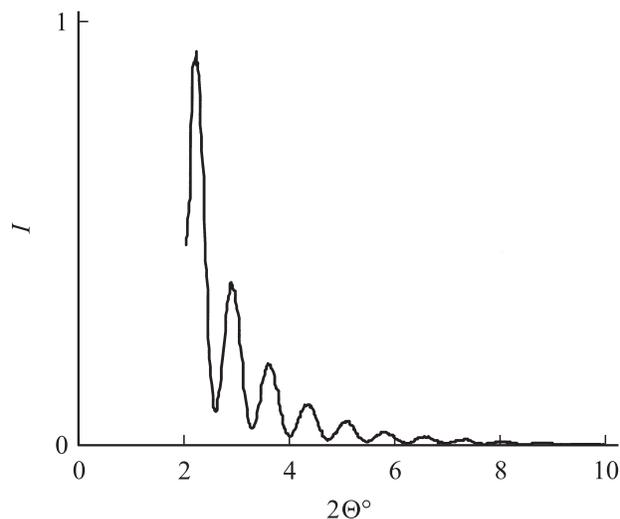


Рис. 2. Малоугловой рентгеновский спектр термообработанной пленки $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{MgO}$ с $d = 12.7 \text{ nm}$.

наблюдались нами и на свежеприготовленных пленках. Малоугловой дифракционный спектр, представляющий собой эквидистантно расположенные пики (рис. 2), является результатом интерференционной картины рентгеновских лучей, отраженных от внешней поверхности пленки (граница раздела воздух–металл) и от внутренней поверхности пленки (граница раздела пленка–подложка MgO). Поэтому величины, обратные волновым векторам $k = (\sin \Theta / \lambda)$, оказались кратными толщине пленки d_0 . Толщины этих пленок из малоугловых спектров могут быть определены следующим образом (с учетом периода осцилляций). Вычисляя разность между двумя соседними отражениями (описываемыми условиями Вульфа–Брегга: $2d \sin \Theta = n\lambda$) и полагая, что в малоугловой области $\sin \Theta = \Theta$, получим выражение для вычисления толщины пленки d :

$$d = \lambda / \Delta(2\Theta), \quad (2)$$

где $\Delta(2\Theta)$ — период осцилляций малоуглового спектра. Данное выражение является частным случаем формулы Селякова (1) для малоугловой области ($\cos \Theta = 1$).

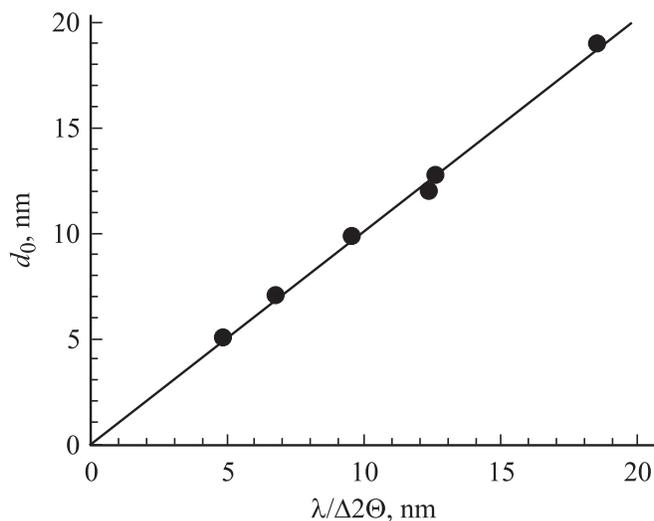


Рис. 3. Сопоставление толщин исследуемых монокристаллических пленок $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{MgO}$, определенных из рентгенофлуоресцентного анализа d_0 и толщин d , определенных из малоугловых рентгеновских спектров.

На рис. 3 приведена зависимость d_0 от величины $\lambda/\Delta(2\theta)$. Из рисунка видно, что экспериментальные точки укладываются на биссектрису прямого угла. Оценки показывают, что при шероховатости поверхности пленки, равной ± 1 nm, эффект интерференционных осцилляций проявляться не будет.

Итак, в данной работе изучены особенности рентгенодифракционных спектров тонких монокристаллических пленок $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{MgO}$ с неупорядоченной ГЦК-структурой в свежеприготовленном состоянии, полученных методом магнетронного напыления, и с L1_0 -структурой, образовавшейся в результате термической обработки. Регистрация осцилляций толщинного интерференционного контраста свидетельствует о высокой степени однородности их толщины. Данная интегральная методика изучения является прекрасным тестовым методом определения морфологической однородности тонких металлических пленок, используемых в современной микроэлектронике.

Список литературы

- [1] *Власова Н.И., Кандаурова Г.С., Щеголева Н.Н.* // ФММ. 2000. Т. 90. № 3. С. 31–50.
- [2] *Дроздов Ю.Н., Молдавская Л.Д., Парафин А.Е.* // Поверхность. 1989. № 10. С. 13–19.
- [3] *Кузнецов Г.Ф.* // Кристаллография. 1995. Т. 40. № 5. С. 936–939.
- [4] *Иверонова В.И., Ревкевич Г.П.* Теория рассеяния рентгеновских лучей. М.: Изд-во МГУ, 1987. 278 с.