

# Особенности планарного эффекта Холла и формирования доменной структуры в тонких пленках Co

М.В. Степушкин<sup>1\*</sup>, О.А. Петров<sup>1,3</sup>, В.Е. Сизов<sup>1</sup>, А.В. Здравейцев<sup>2</sup>, Ю.М. Кузнецов<sup>2</sup>, А.Г. Темиряев<sup>1</sup>, М.П. Темиряева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, пл. Введенского, 1, Фрязино, 141190

<sup>2</sup> Научно-исследовательский физико-технический институт Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, пр. Гагарина, 23, Нижний Новгород, 603950

<sup>3</sup> Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1, 124498

\*sokpoveheu@yandex.ru

Процессы перемангничивания тонких пленок кобальта, защищенных слоем платины, исследованы двумя методами: на основе планарного эффекта Холла и магнитно-силовой микроскопии. Зависимости планарного эффекта Холла от магнитного поля измерены в широком диапазоне температур. Проведено сопоставление результатов, полученных разными методами при комнатной температуре.

## Введение

При исследовании магнитных свойств тонких магнитных пленок использование стандартных методов диагностики сталкивается с определенными трудностями, связанными с тем, что отклик от малого объема магнитного материала весьма слаб. Это определяет интерес к методам, основанным на гальваномагнитных явлениях, в частности, к использованию планарного эффекта Холла (ПЭХ). Интерпретация измерений ПЭХ, как правило, строится на основе моделей, предполагающих, что намагниченность образца пространственно однородна. Это условие может нарушаться при образовании в пленке доменной структуры (ДС). Наличие или отсутствие ДС можно выявить с помощью магнитно-силовой микроскопии (МСМ). В данной работе мы объединили эти два метода и исследовали процессы перемангничивания одних и тех же пленок с помощью ПЭХ и МСМ.

## Образцы и методика эксперимента

Исследовались пленки Co толщиной 30, 40, 50 нм, нанесенные методом электронно-лучевого испарения на подложку GaAs. На поверхность Co был нанесен слой Pt толщиной 5 нм. Измерения ПЭХ проводились методом ван дер Пау на квадратных образцах с плоскостными размерами в несколько мм. Это позволяет избежать эффектов, связанных с анизотропией формы образца, возникающих при

использовании холловских мостиков микронных размеров. МСМ измерения были выполнены на атомно-силовом микроскопе SmartSPM (AIST-NT) со встроенным магнитом.

## Результаты эксперимента

На рис. 1 представлены результаты измерения планарного эффекта Холла в пленке Co толщиной 40 нм в диапазоне температур 10°–290 К.

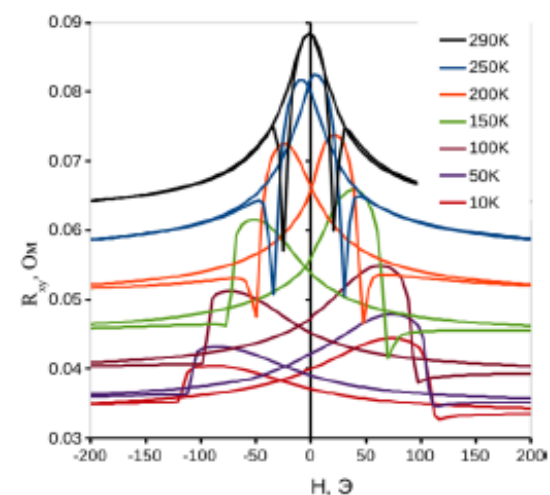


Рис. 1. Зависимости ПЭХ от магнитного поля при различных температурах

Как видно, при понижении температуры коэрцитивность пленки существенно возрастает, процесс

перемagnичивания заканчивается при существенно более высоких полях. Кроме того, меняется форма кривой зависимости ПЭХ от магнитного поля. Остановимся подробнее на этом вопросе.

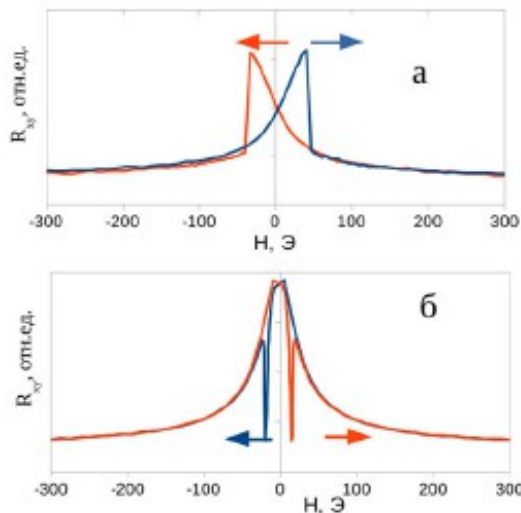


Рис. 2. Зависимости ПЭХ от магнитного поля в пленках Co толщиной 50 нм (а) и 30 нм (б)

На рис. 2 представлены графики зависимости ПЭХ от внешнего магнитного поля, измеренные при комнатной температуре в пленках разной толщины. Для образца со слоем кобальта толщиной 50 нм (рис. 2а) кривые имеют «классический» вид, хорошо объясняемый теорией [1]. В более тонкой пленке (рис. 2б) на зависимости имеются узкие провалы.

Аналогичные особенности имелись и в пленке толщиной 40 нм при комнатной температуре — рис. 1, однако пропадали при снижении температуры до  $\sim 100$  К. Подобного вида зависимости наблюдались в ряде работ, но однозначного объяснения пока не имеют. Так в работе [2] они ассоциируются с наличием двух легких осей анизотропии в плоскости монокристаллической пленки. Однако, исследованные нами пленки имеют поликристаллическую структуру

В работе [2] говорится, что положение прорезей соответствует полю коэрцитивности. Можно ожидать, что при данном поле в пленке образуется доменная структура. Мы проверили это предположение, проведя серию MCM измерений во внешнем магнитном поле. Результаты оказались достаточно неожиданными. Оказалось, что наиболее четко появление доменных структур фиксируется в пленке толщиной 50 нм при полях порядка 15-20 Э, то есть там, где на зависимости ПЭХ от поля (рис. 2а) нет каких-либо особенностей. В этих полях наблюдаются домены в виде лент, направленных под углом к приложенному полю. Причем для полей противоположного направления углы различаются — рис.3.

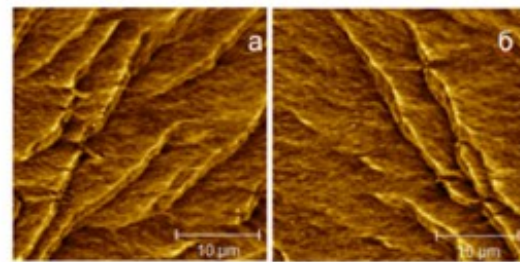


Рис. 3. Доменные структуры в пленке Co толщиной 50 нм при внешнем магнитном поле 16 Э (а), и -20 Э (б)

В пленке толщиной 30 нм неоднородность магнитной структуры была проявлялась слабее и была ближе к тому, что понимается под термином «рябь намагниченности». Таким образом, наиболее вероятной причиной появления резких провалов на полевых зависимостях ПЭХ следует считать разворот намагниченности перпендикулярно направлению тока, что приводит к исчезновению ПЭХ.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (гранты 18-29-27018-мк и 18-29-27020).

## Литература

1. Epshtein E.M. *et al.* // JMMM V. 258–259, 80–83 (2003).
2. Goennenwein *et al.* // Appl. Phys. Lett. V. 90, 142509 (2007).
3. Volmer M., Avram M. // JMMM V. 381, 481–487, (2015).