

УДК 537.624

**ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИИ НА ПЛАНАРНЫЙ
ЭФФЕКТ ХОЛЛА В ПЛЕНКАХ Co** **Степушкин М.В.**

к.т.н. научный сотрудник, ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

Сизов В.Е.

к.ф.-м.н., старший научный сотрудник, ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

Здоровейшев А.В.

к.ф.-м.н., старший научный сотрудник, НИФТИ ННГУ

Здоровейшев Д.А.

студ., 2 курс, каф. ФПЭН, ННГУ

Кузнецов Ю.М.

асп., 3 год, каф. ФПЭН, ННГУ

Аннотация. В пленках Co , покрытого платиной, исследованы зависимости планарного эффекта Холла от угла приложения магнитного поля. Для наблюдаемого в слабых полях необычного поведения полевых зависимостей проведено численное моделирование, основанное на наличии в пленках магнитной анизотропии, и проведено сопоставление экспериментальных данных с расчетами.

Ключевые слова: планарный эффект Холла, магнитная анизотропия

**INFLUENCE OF MAGNETIC ANISOTROPY ON THE PLANAR
HALL EFFECT IN Co FILMS****Stepushkin M.V.**

PhD, Researcher, Kotel'nikov Institute of Radio-Engineering and Electronics (IRE), Russian Academy of Sciences, Fryazino Branch

Sizov V.E.

PhD, Senior Researcher, Kotel'nikov Institute of Radio-Engineering and Electronics (IRE), Russian Academy of Sciences, Fryazino Branch

Zdoroveyshchev A.V.

PhD, Senior Researcher, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod

Zdoroveyshchev D.A.

student Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod

Kuznetsov Yu.M.

graduate student, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod

Annotation. In platinum-coated Co films, the dependences of the planar Hall effect on the angle of application of the magnetic field are studied. For the unusual behavior of the field dependences observed in small fields, a numerical simulation was carried out based on the presence of magnetic anisotropy in the films, and the experimental data were compared with the calculations.

Keywords: planar Hall effect, magnetic anisotropy

Важным этапом при создании приборов спинтроники на основе ферромагнитных пленок является контроль параметров материала, таких как коэрцитивная сила или наличие магнитной анизотропии. Использование для этих целей измерения эффекта Холла представляется интересным и информативным.

Исследовались пленки, представляющие собой слой кобальта толщиной 30, 40 или 50 нм, защищенный сверху слоем платины толщиной 5 нм, нанесенные на кремниевую высокоомную подложку (марка КЭФ-4000) методом электронно-лучевого испарения. Для измерения был выбран один из способов измерения эффекта Холла – метод Ван дер Пау. Данный метод позволяет наносить контакты на края пластины и не требует проведения литографии, что минимизирует повреждение ее поверхности.

Измерения проводились для всего диапазона углов магнитного поля, лежащего в плоскости пленки. Некоторые из полученных кривых для образца с толщиной слоя кобальта 30 нм приведены на рис.1. Для других образцов общие формы кривых отличаются незначительно.

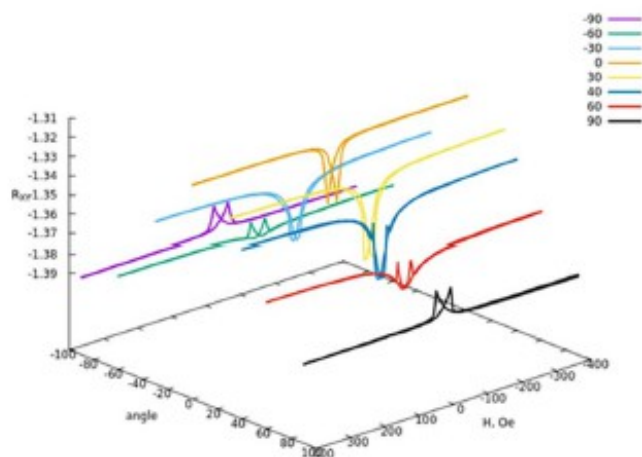


Рис. 1. Зависимость эффекта Холла от угла внешнего поля для образца с толщиной слоя кобальта 30 нм

Из всех полученных кривых можно выделить три типа, приведенные на рис. 2а-в.

Объяснить их форму можно в рамках простой модели, основанной на предположении об однородном развороте намагниченности без образования доменов. Согласно [1], планарный эффект Холла зависит от направления намагниченности пленки, которая соответствует минимуму плотности энергии магнитного поля. В нашем случае зависимость плотности энергии от углов запишем следующим образом:

$$U(H, \varphi) = -MH\cos(\varphi - \alpha) - K\cos^2\varphi,$$

- где M - намагниченность насыщения пленки
 H - величина внешнего поля
 K - энергия анизотропии
 φ - угол между направлением намагниченности и осью анизотропии
 α - угол между осью анизотропии и внешним полем

Из этого угла может быть найдено результирующее холловское напряжение:

$$V = \frac{1}{2}P_s M^2 j \sin(2(\varphi - \beta)),$$

- где P_s - характеристика материала
 j - плотность тока
 β - угол между осью анизотропии и направлением тока

В малых полях функция плотности энергии имеет помимо основного минимума еще и локальный. Из этого следует существование при одном и том же поле двух возможных углов намагниченности и соответственно двух возможных зависимостей эффекта Холла от приложенного поля. Этим объясняется наличие петли на экспериментальных графиках. Релаксация же до равновесного состояния, происходящая либо при исчезновении локального минимума, либо при достижении внешним полем значения коэрцитивной силы пленки, соответствует вертикальным линиям на графике.

На основе данной модели были построены графики 2г-е. Линии, соответствующие релаксации до равновесного состояния, отмечены на рис. 2г буквами А-В и А'-В'. Из графиков видно качественное согласование теоретических и практических кривых.

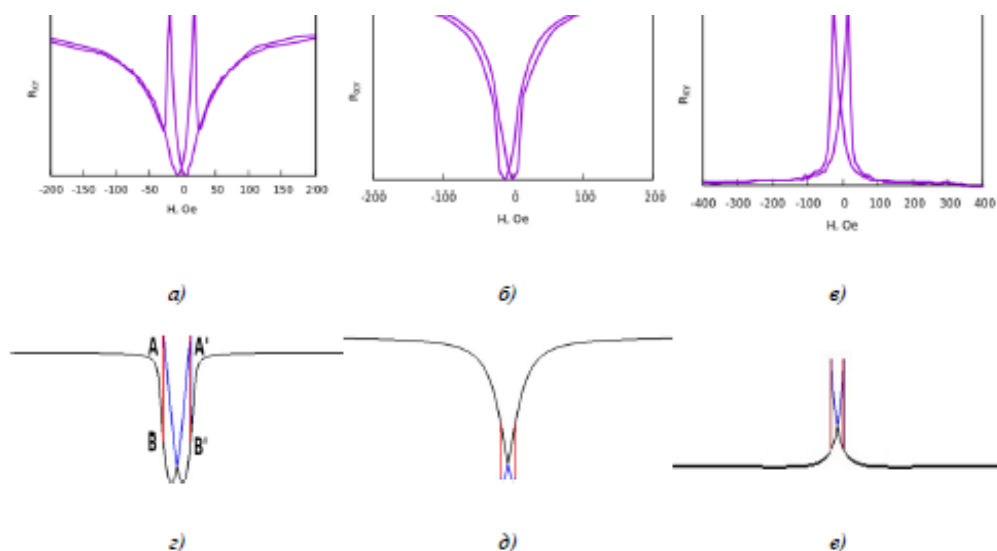


Рис. 2. Характерные экспериментальные (а-е) и расчетные (z-е) зависимости эффекта Холла при различных углах

Таким образом форма зависимости планарного эффекта Холла от величины и направления внешнего поля может быть объяснена наличием в пленке анизотропии и ненулевой коэрцитивной силы. Такие параметры пленки, как величина коэрцитивной силы, наличие и величина энергии анизотропии, могут быть вычислены из экспериментальных данных эффекта Холла, однако точные соотношения и оптимальный алгоритм проведения эксперимента нуждаются в дополнительном исследовании.

Работа выполнена в рамках государственного задания (проект № 0030-2119-0001) при частичной при частичной поддержке РФФИ (20-32-90032-Аспиранты), гранта Президента РФ (МК-445.220.2).

Список использованных источников:

1. E.M. Epshtein, A.I. Krikunov, Yu.F. Ogrin. Planar Hall effect in thin-film magnetic structures. Cobalt films on silicon substrates // Journal of Magnetism and Magnetic Materials — 2003. — V. 258–259 — P. 80–83