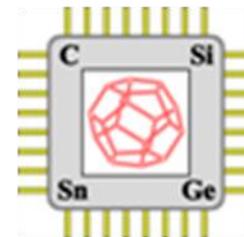




Белорусский государственный университет
Физический факультет
Кафедра физики полупроводников и наноэлектроники
Современные проблемы физики 2020



Влияние перпендикулярной магнитной анизотропии на проявление магниторезистивного эффекта в тонких пленках железа

В.И. Головчук¹⁾, Ю.А. Бумай²⁾, М.Г. Лукашевич¹⁾, Н.М. Лядов³⁾,
И.А. Файзрахманов³⁾, Р.И. Хайбуллин³⁾

¹⁾Белорусский государственный университет Минск, Беларусь

²⁾Белорусский национальный технический университет, Минск,
Беларусь.

³⁾Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского ФИЦ
Казанский научный центр РАН, Казань, Россия. e-mail:Golovchuk@bsu.by

МИНСК 2020

Актуальность

- Широким применением тонких пленок с магнитоупорядочением в магнитоэлектронике и спинтронике при разработке и создании записывающих магнитных элементов а также при создании широкого спектра применения магниточувствительных датчиков.
- С фундаментальной точки зрения в таких пленках возможно наблюдение не только металлического механизма переноса носителей заряда а также режимов сильной и слабой локализации, проявление классических и квантовых размерных эффектов.
- Нахождение корреляции между магнитной микроструктурой и магнитными, электрическими, и гальваномагнитными характеристиками тонкой магнитной пленки является актуальной научно-исследовательской задачей вследствие широкого применения магнитных пленок в магнитоэлектронике и спинтронике. В зависимости от способа получения в таких пленках можно получать объекты с перпендикулярной магнитной анизотропией, и пленки с намагниченностью параллельной плоскости пленки.

Цель:

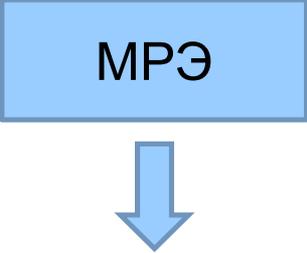
Цель работы состояла в экспериментальном изучении проявления перпендикулярной магнитной анизотропии в магниторезистивном эффекте, который обусловлен спин-зависимыми процессами рассеяния носителей заряда, при разных механизмах переноса электронов и разных геометриях измерений.

Задачи

- Изготовить образцы тонких пленок железа (толщиной 80-280 нм).
- Изучить особенности гистерезиса МС пленок железа магнитным упорядочением в температурном диапазоне (300-2К) при параллельной и взаимно перпендикулярной ориентациях направление магнитного поля — плоскость пленки.

Методика эксперимента

МРЭ



Поперечный и продольный магниторезистивный эффекты измерялись при комнатной температуре в режиме стабилизации тока, протекающего вдоль плоскости пленки. Сканирование магнитного поля проводилось до 1.5 Тл в двух направлениях при различных значениях углах (φ) между направлением вектора магнитного поля и плоскостью образца.

Объект исследования

Тонкие пленки железа толщиной 80 нм получены методом ионно-ассистированного осаждения на кремниевые подложки.

Для проведения измерений МС образцы железных пленок брались в форме квадратов $5 \times 5 \text{ мм}^2$

В данной работе, тонкие (80 нм толщиной) нанокристаллические пленки α -фазы железа были получены на кремневой подложке методом ионно-стимулированного осаждения. Элементно-фазовый состав и магнитное поведение как исходно-осажденных, так и последовательно отожжённых в вакууме пленок железа представлены ранее в [1]. Было показано, что исходно-осажденные пленки железа, помимо доминирующего вклада анизотропии формы в магнитное поведение пленки при высоких полях, проявляют перпендикулярную магнитную анизотропию и характерную полосовую доменную структуру при низких значениях магнитного поля (вплоть до 0.15 Тл).

1. N.M. Lyadov, V.V. Bazarov, F.G. Vagizov, I.R. Vakhitov, E.N. Dulov, R.N. Kashapov et al. Structural and magnetic studies of thin Fe⁵⁷ films formed by ion beam assisted deposition. *Applied Surface Science* 2016; 378: 114-119.

Температурная зависимость сопротивления

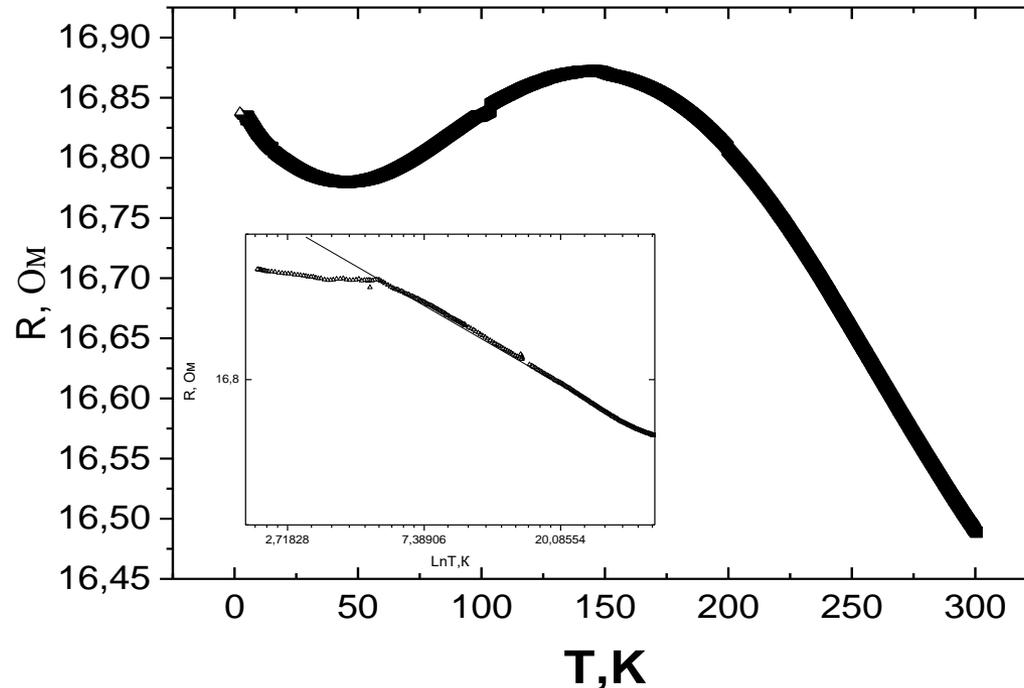


Рис.1 Температурная зависимость сопротивления пленки исходной пленки железа толщиной 80 нм. На вставке показана эта же зависимость в интервале $T=35-2K$ в логарифмическом масштабе.

Обсуждение температурной зависимости сопротивления

До температуры максимума доминируют процессы перколяции по металлическим островкам и аморфным прослойкам, которые могут иметь отрицательный температурный коэффициент сопротивления. При более низких температурах начинает доминировать диффузионный механизм переноса электронов. В интервале температур $T=35-5\text{K}$ температурная зависимость сопротивления хорошо аппроксимируется логарифмической зависимостью, характерной для тонких слабо разупорядоченных пленок (вставка на рис.1а), т. е. определяется процессами слабой локализации.

Петли гистерезиса поперечного магнитосопротивления

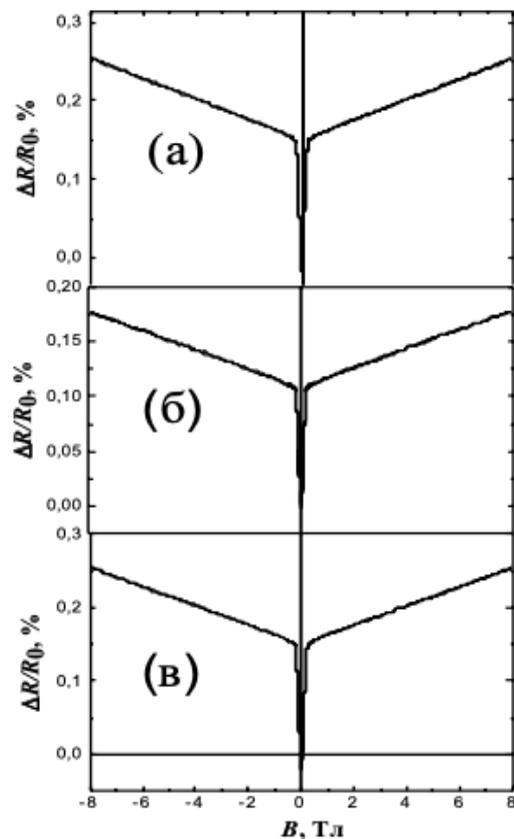


Рис.2 $\varphi = 0^\circ$

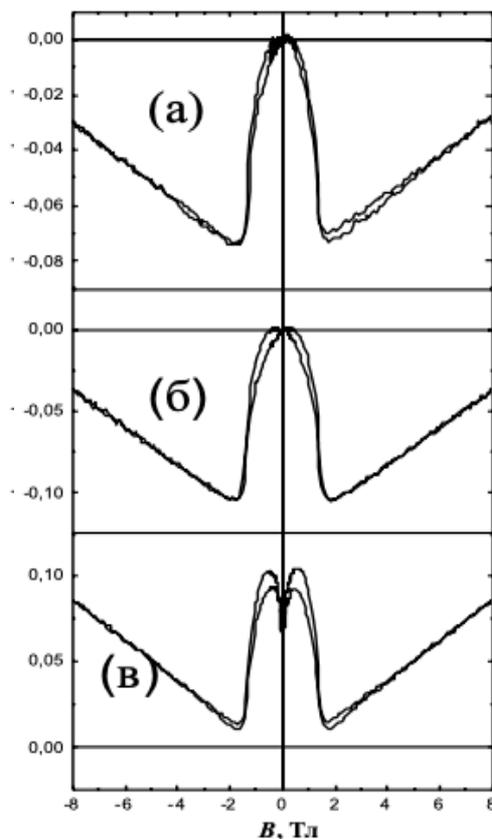


Рис.3 $\varphi = 90^\circ$

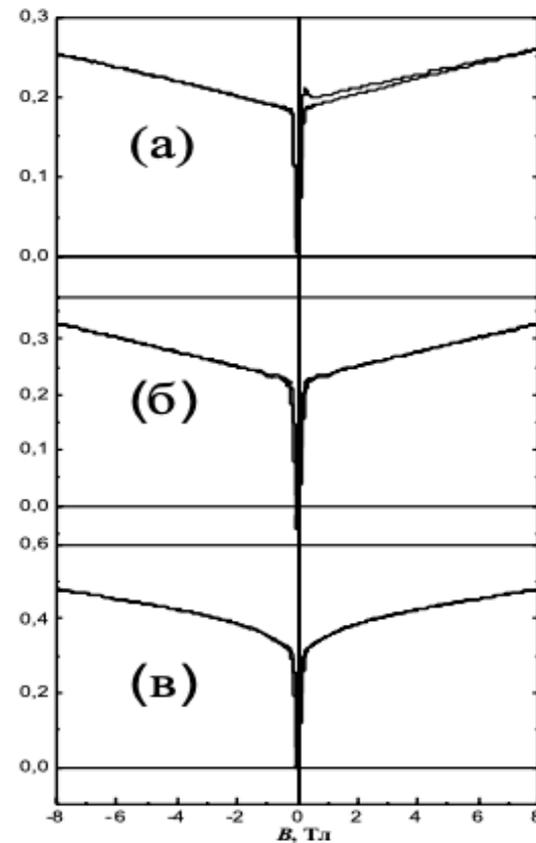


Рис.4 продольное МС

Петли гистерезиса поперечного МС пленки железа измеренные при разных температурах: (а) -300К, (б) – 100К, (в) -2К

Обсуждение гистерезиса поперечного магниторезистивного эффекта

Понижение температуры до $T=2\text{K}$ лишь незначительно изменяет величину эффекта, за исключением поперечного МС при $\varphi=90^\circ$ (рис.3в) когда при $T=2\text{K}$ наблюдается смена знака МС с отрицательного на положительный. Следовательно, основными компонентами МС могут быть анизотропия сопротивления, обусловленная наличием магнитного упорядочения в пленке, т. е. анизотропный магниторезистивный эффект (АМС) и влияние магнитного поля на перколяцию электронов.

Гистерезис магниторезистивного эффекта при $T=100\text{K}$

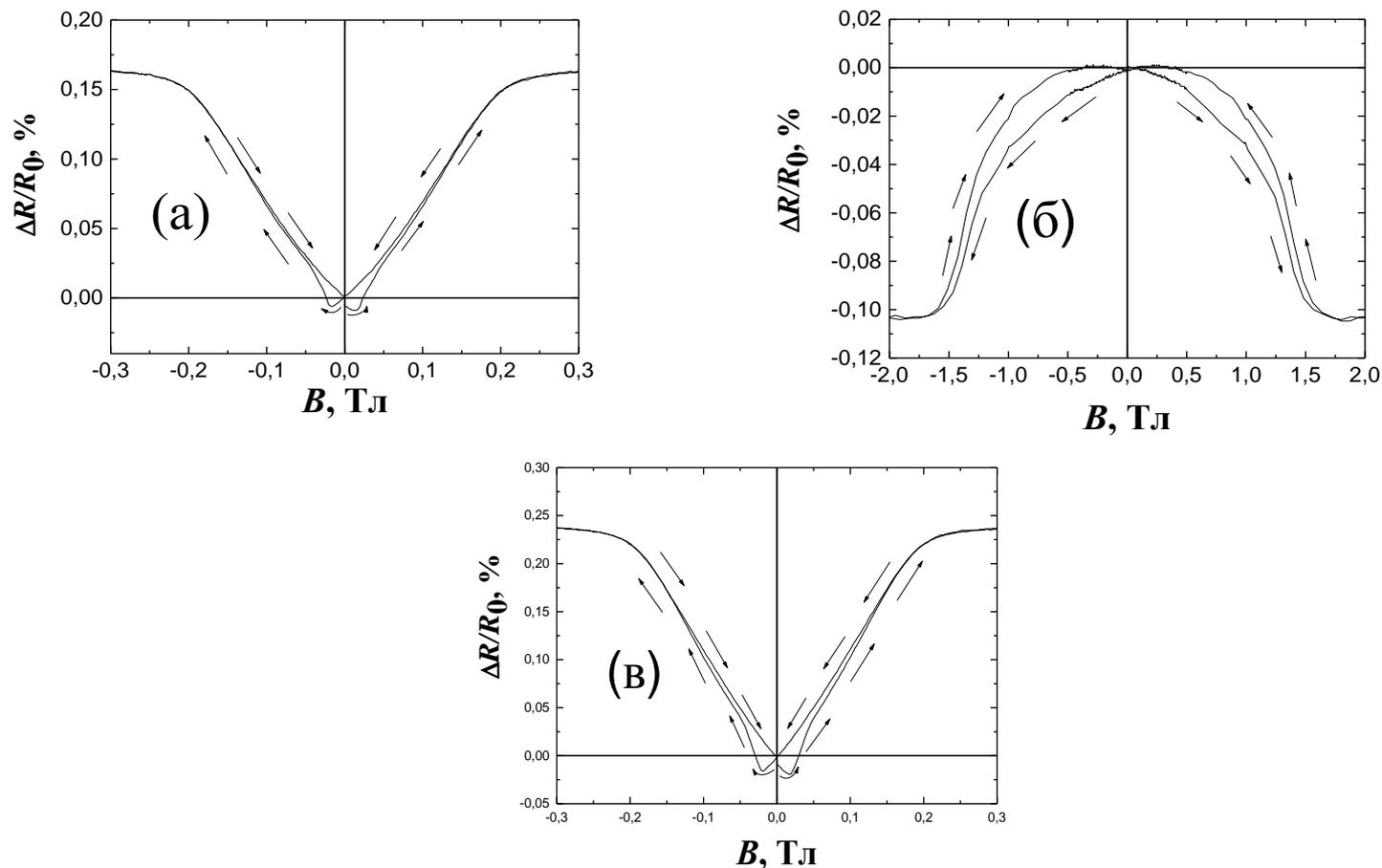


Рис.5 Петля гистерезиса поперечного ($\varphi=0^\circ$ (а) и $\varphi=90^\circ$ (б)) и продольного (в) МС при $T=100\text{K}$ пленки железа в слабом магнитном поле.

Обсуждение гистерезиса магниторезистивного эффекта при $T=100\text{K}$

В области слабых магнитных полей до поля коэрцитивности (рис. 5 а, б, в) наблюдается знакопеременный магниторезистивный эффект. В геометрии измерения $\varphi = 0^\circ$ как поперечное, так и продольное МС изменяют знак с отрицательного на положительный (рис. 5 а и в), а при $\varphi = 90^\circ$ (рис. 5 б) очень малое поперечное положительное МС наблюдается только при уменьшении магнитного поля от максимальной величины до нуля. Направление изменения поля на рис. 5 показано стрелками. Отметим, что в исходных пленках гистерезис с большей величиной сопротивления наблюдается независимо от ориентации поле-плоскость пленки (рис. 5 а, б, в). Такие зависимости типичны для инверсного гигантского МС, наблюдающегося в магнитно-неоднородной среде. Смена знака МС с отрицательного на положительный в магнитоупорядоченных средах может быть обусловлена не только инверсным гигантским МС, но и процессами перемагничивания пленки, в которой изначально произвольные углы между протекающим током, намагниченностью и направлением внешнего магнитного поля.

Температурные зависимости поперечного МС

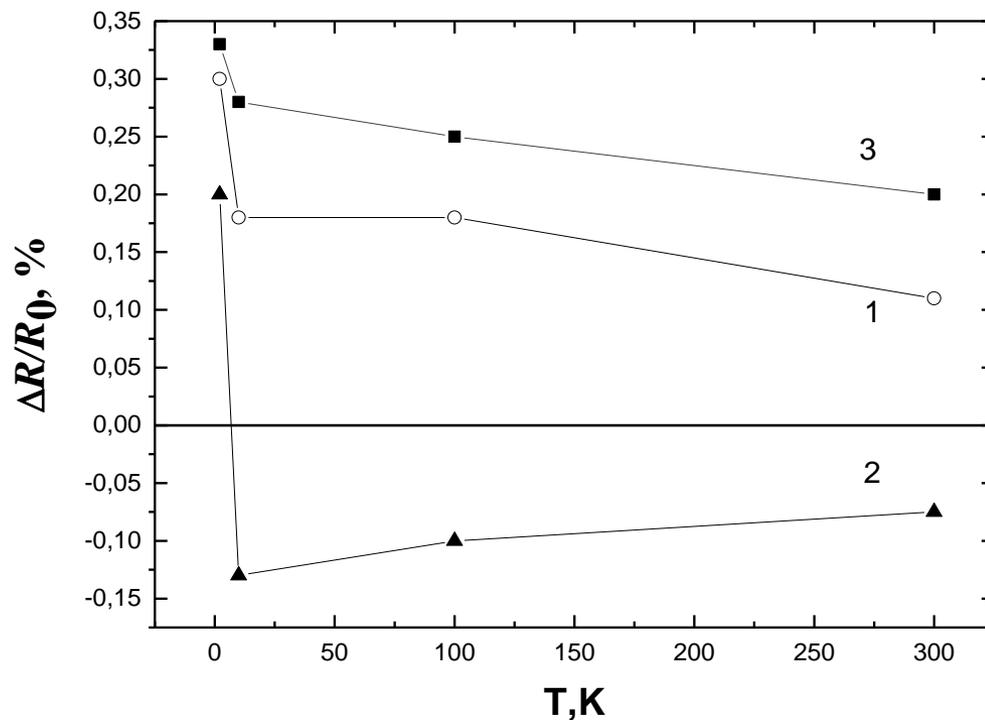


Рис. 5. Температурная зависимость поперечного МС исходной пленки в поле насыщения намагниченности V_s при $T = 300\text{К}$ для $\varphi = 0^\circ$ (кривая 1, $V_s = 0.25$ Тл) и $\varphi = 90^\circ$ (кривая 2, $V_s = 1.25$ Тл), а также продольного МС (кривая 3, $V_s = 0.25$ Тл) 13

Обсуждение температурных зависимостей поперечного МС

В интервале температур до $T=10\text{K}$ наблюдается незначительное изменение величины АМС, а для температур ниже 10K характерно резкое увеличение положительной компоненты МС и смена знака с отрицательного на положительный при $\varphi = 90^\circ$ (кривая 2). Резкое увеличение положительной компоненты МС при $T < 10\text{K}$ может быть связано с дополнительным вкладом положительного МС, которое характерно для третьей области магнитных полей. Такой вклад может быть обусловлен температурным уменьшением величины поля насыщения намагниченности, и, как следствие, увеличением ПМС. Отметим также близкие величины поперечного при $\varphi = 0^\circ$ продольного АМС, а также несколько большую величину продольного по сравнению с поперечным при $\varphi = 0^\circ$ во всем температурном диапазоне. Последнее может определяться как разной величиной отрицательной компоненты в слабом поле, так и изменением угла между током и направлением намагниченности при переходе от измерения поперечного МС к продольному когда магнитное поле в плоскости пленки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В тонких нанокристаллических пленках железа, при $T=300\text{K}$ обнаружена смена знака поперечного при $\varphi=0^\circ$ и продольного МС при изменении направления магнитного поля от параллельного плоскости пленки до перпендикулярного. В области сильных магнитных полей после достижения поля насыщения намагниченности и насыщения АМС наблюдается положительная компонента магниторезистивного эффекта с линейной зависимостью от поля независимо от геометрии измерения, обусловленная влиянием магнитного поля на процессы перколяции носителей заряда.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!