

УДК 537.622

*Б.А. БЕЛЯЕВ^{1,2}, Н.М. БОЕВ^{1,2}, А.В. ИЗОТОВ^{1,2}, Г.В. СКОМОРОХОВ¹, П.Н. СОЛОВЬЕВ^{1,2}***ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВБЛИЗИ КРАЕВ
ТОНКИХ ПЕРМАЛЛОВЫХ ПЛЕНОК***

С помощью сканирующего спектрометра ферромагнитного резонанса (ФМР) изучены магнитные свойства нанокристаллических тонких пленок, изготовленных методом магнетронного распыления мишеней пермаллоя различного состава Ni_xFe_{1-x} ($x=0.6-0.85$). Проведен анализ особенностей поведения основных магнитных характеристик вблизи краев тонких пленок. Показано, что вблизи краев пленок не только значительно отклоняется величина поля одноосной магнитной анизотропии от среднего значения, но и резко уширяется линия ФМР, а также уменьшается эффективная намагниченность насыщения.

Ключевые слова: тонкая магнитная пленка, ферромагнитный резонанс, краевые эффекты, магнитная анизотропия.

Введение

В последние годы нанокристаллические магнитные тонкие пленки привлекают большое внимание исследователей, что связано, в первую очередь, с быстрорастущим технологическим спросом на магнитные материалы с высокой магнитной восприимчивостью [1]. В частности, нанокристаллические тонкие магнитные пленки, обладающие большой магнитной восприимчивостью в сверхвысокочастотном диапазоне, имеют важное прикладное значение в ряде перспективных радиотехнических устройств, таких как датчики магнитных полей [2, 3], градиентометры [4], фазовращатели, умножители частоты [5]. Уникальные магнитомягкие свойства нанокристаллических магнитных пленок обусловлены их микроструктурой. В случае, когда размеры случайно ориентированных кристаллитов меньше, чем радиус корреляции обменного взаимодействия, энергия обмена начинает доминировать над энергией магнитокристаллической анизотропии. Это приводит к нивелированию влияния разброса осей магнитной анизотропии кристаллитов, в результате чего пленка демонстрирует очень низкую коэрцитивную силу [6] и высокую магнитную восприимчивость [7-9]. Однако существует ряд факторов, которые приводят к образованию пространственных вариаций магнитных характеристик по площади пленок. Увеличение дисперсии магнитной анизотропии, намагниченности насыщения и ширины линии ФМР существенно снижает магнитную восприимчивость пленки и увеличивает ее магнитные шумы, что, очевидно, будет негативно сказываться на рабочих характеристиках устройств, использующих такие пленки в качестве активных сред. В частности, нами было показано [10], что с ростом амплитудной и угловой дисперсии поля анизотропии магнитной пленки коэффициент преобразования датчика слабых магнитных полей, в котором данная пленка используется в качестве чувствительного элемента, монотонно уменьшается, причем угловая дисперсия оказывает более сильное влияние. Опыт показывает, что наиболее сильные неоднородности в распределении магнитных характеристик по площади тонких магнитных пленок наблюдаются, как правило, у их краев. При этом краевые эффекты могут иметь различную природу. В случае, когда намагниченность пленки не параллельна ее краю, вблизи этого края возникают неоднородные размагничивающие поля, которые, в частности, создают условия для возбуждения неоднородных мод колебаний намагниченности, локализованных на краях пленок [11]. В тоже время, нарушение симметрии на краях пленки приводит к образованию градиентов механических напряжений [12], которые посредством магнитострикции влияют на магнитные свойства пленки [13]. Важно отметить, что градиенты напряжений могут приводить и к образованию однонаправленной магнитной анизотропии [14]. Кроме того, условия роста пленки вблизи краев часто отличаются от условий роста в ее центральной части [15], что может привести к формированию неоднородной микроструктуры у краев образца.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ, соглашение № 02.G25.31.0313.

Недавно различными методами были подробно измерены распределения магнитных характеристик по площади нанокристаллических тонких пленок пермаллоя [16]. В результате исследований была изучена, в частности, природа дисперсии параметров одноосной магнитной анизотропии вблизи краев пленок. В настоящей работе представлены результаты исследований методом ФМР магнитных параметров локальных участков тонких пленок NiFe, полученных магнетронным распылением мишеней различного состава. Подробно рассматриваются особенности поведения основных магнитных характеристик пленок вблизи их краев.

1. Образцы и методика измерения

Нанокристаллические тонкие магнитные пленки были получены методом магнетронного распыления мишеней с низким содержанием примесей (не более 0.05 вес. %) следующих пяти составов (в вес. %): Ni₆₀Fe₄₀, Ni₇₀Fe₃₀, Ni₇₅Fe₂₅, Ni₈₀Fe₂₀, и Ni₈₅Fe₁₅. Мишени представляли собой диски диаметром 55 мм и толщиной 2 мм. Из каждой мишени было получено по пять образцов (всего 25 образцов). Пленки напылялись на квадратные подложки из кварцевого стекла размерами 12×12×0.5 мм с шероховатостью менее 1 нм, которые были предварительно покрыты слоем SiO толщиной 500 нм. Подложки размещались в медном подложкодержателе с квадратными окнами размером 10×10 мм. Расстояние между мишенью и подложкодержателем составляло 170 мм. Плотность мощности на магнетроне поддерживалась постоянной на уровне 11 Вт/см², что обеспечивало скорость осаждения 0.25 нм/с. Базовое давление в камере составляло 3×10⁻⁴ Па, а давление Ar составляло 2×10⁻¹ Па. Толщина каждой магнитной пленки была ~60 нм. Во время процесса осаждения температура подложки поддерживалась на уровне 200 °С. При этом в плоскости пленки было приложено ориентирующее внешнее магнитное поле $H_{ext}=200$ Э. Для всех образцов, кроме одного, магнитное поле H_{ext} было направлено параллельно одному краю подложки (ось y). Один образец был изготовлен напылением Ni₈₀Fe₂₀ через круглую маску диаметром 10 мм.

Химический состав полученных пленок определялся с помощью рентгенофлуоресцентного анализа, который показал, что в среднем состав пленок отличался от состава мишеней менее чем на 1.5 вес. %. С помощью просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) было установлено, что полученные образцы имели нанокристаллическую микроструктуру с размерами кристаллитов 6–14 нм. Электронограмма исследуемых пленок свидетельствует о произвольной ориентации кристаллитов. Кроме того, с помощью ПЭМ поперечного среза пленок было установлено, что образцы имеют столбчатую микроструктуру, с шириной столбцов порядка 10 нм. Следует отметить, что наличие столбчатой структуры характерно для образцов, изготовленных при невысоких температурах подложки по сравнению с температурой плавления осаждаемого металла [17,18].

Исследования магнитных свойств полученных образцов проводились на сканирующем спектрометре ФМР. В спектрометре в качестве датчика используется микрополосковый резонатор, изготовленный на диэлектрической подложке с измерительным отверстием в экране вблизи пучности высокочастотного магнитного поля [19]. Диаметр отверстия (~1 мм) определяет локальность измерений. Основным достоинством спектрометра является его высокая чувствительность даже на относительно низкой частоте накачки 2.3 ГГц, за счет большого коэффициента заполнения миниатюрного резонатора образцом. Эффективная намагниченность насыщения и параметры одноосной магнитной анизотропии на каждом локальном участке определялись по измеренным угловым зависимостям резонансного поля путем подбора параметров модели однодоменной пленки, обеспечивающих согласие теории и эксперимента [20,21]. Измерения выполнялись по всей площади образцов с шагом 1 мм.

2. Результаты исследований

С помощью сканирующего спектрометра ФМР были измерены распределения магнитных характеристик по площади всех полученных образцов. На рис. 1 для иллюстрации приведены результаты измерений двух пленок состава Ni₈₀Fe₂₀, одна из которых напылена через маску с квадратным окном, а вторая – с круглым. Видно, что сравнительно высокая однородность распределения магнитных характеристик в центральной части пленки резко нарушается у ее краев. На краях пленок наблюдается сильное отклонение поля одноосной магнитной анизотропии H_a , и заметное уменьшение эффективной намагниченности насыщения M_s . Кроме того, измерения показали, что ширина линии ФМР ΔH резко увеличивается у границ пленок. Вблизи краев противоположных сторон квадратной пленки, вдоль которых было направлено магнитное поле H_{ext} во время осажде-

ния, поле анизотропии H_a примерно на 25% больше, чем H_a в центральной части образца (рис. 1, а). Однако вблизи краев другой пары противоположных сторон пленки, H_a примерно настолько же меньше. При этом распределение направлений осей легкого намагничивания (ОЛН, показаны на рисунке белыми штрихами) не имеет ярко выраженных особенностей вблизи краев пленки, и ориентация ОЛН практически совпадает с направлением поля H_{ext} . Похожая картина наблюдается и для пленки, осажденной через маску с круглым окном (рис. 1, б). У ее краев также наблюдается уменьшение эффективной намагниченности насыщения M_s , а поле анизотропии H_a максимально вблизи тех краев пленки, которые ближе по направлению к полю H_{ext} во время напыления. Однако поскольку данная пленка круглая, у нее есть только по две точки, расположенные на противоположных сторонах, края которых строго параллельны или перпендикулярны H_{ext} . Ось легкого намагничивания в круглой пленке также следует за направлением поля H_{ext} , которое было направлено под углом 120° относительно оси x , однако распределение углов ОЛН имеет особенности вблизи краев пленки, которые будут обсуждаться ниже.

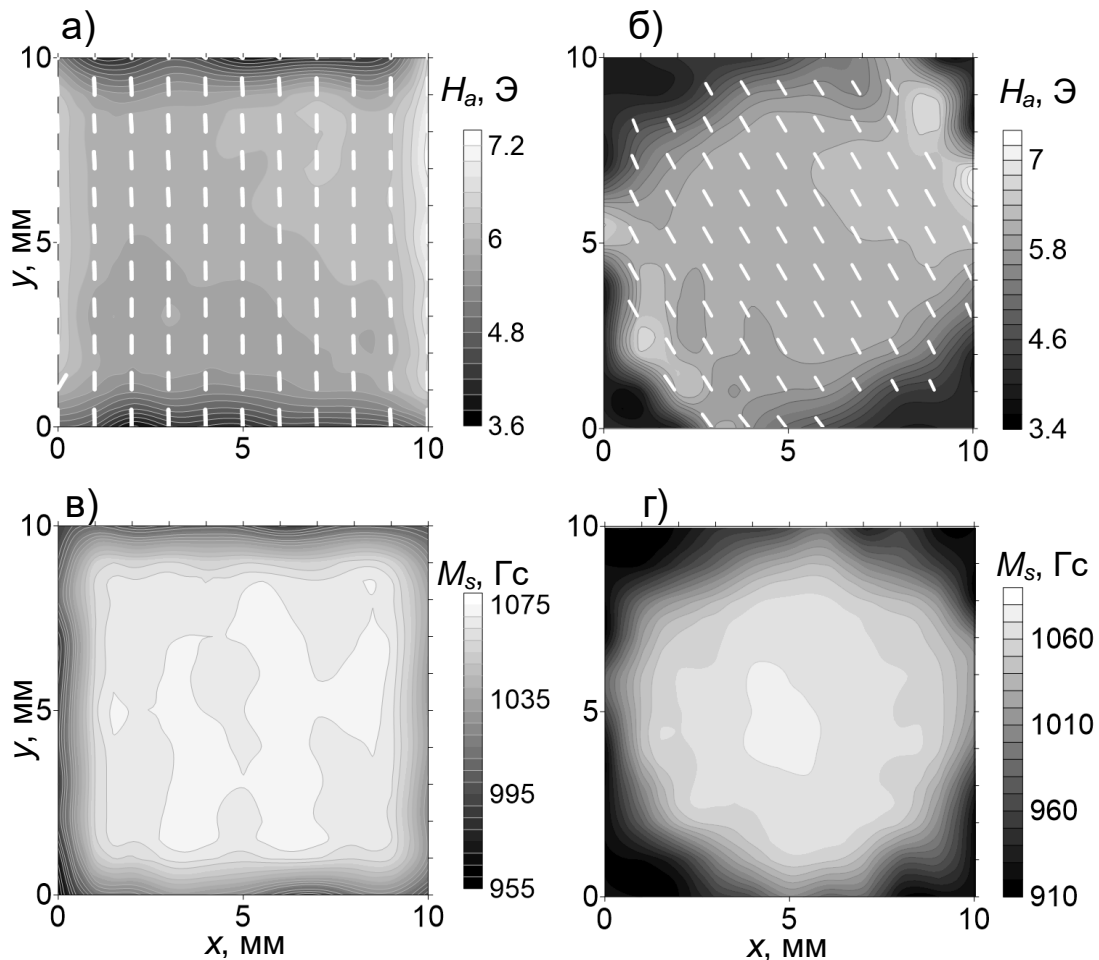


Рис. 1. Распределения магнитных характеристик по площади пленок $Ni_{80}Fe_{20}$. H_a – поле одноосной магнитной анизотропии, M_s – эффективная намагниченность насыщения. Белые штрихи показывают распределение осей легкого намагничивания. а, в) – квадратная пленка, б, г) – круглая.

Анализ результатов измерений показал, что у всех исследованных квадратных пленок поведение магнитной анизотропии на противоположных краях почти симметрично. При этом положительное отклонение H_a на краях от среднего по всей площади пленки значения немного больше отрицательного, как это видно из рис. 2, а. Здесь величина S_H определяется как отношение абсолютного отклонения H_a , измеренного на крае вдоль оси x , к отклонению H_a на крае вдоль оси y . Видно, что величина S_H слабо зависит от состава пленок, и, в среднем, положительное отклонение H_a на крае вдоль оси y на 25% больше отрицательного отклонения H_a на крае вдоль оси x .

Как видно из представленных на рис.1 распределений магнитных параметров по площади образцов, края вносят значительный вклад в общую по площади пленки дисперсию магнитных ха-

рактических. На рис. 2, б показана зависимость среднеквадратичного отклонения поля анизотропии $\delta H_a = \sqrt{(1/n) \sum_{i=1}^n (H_a^i - \langle H_a \rangle)^2}$ от состава образцов. Здесь $\langle H_a \rangle$ – среднее значение поля одноосной магнитной анизотропии пленки, H_a^i – поле анизотропии i -го локального участка пленки, n – количество учитываемых точек. На рис. 2, б круглыми маркерами показана величина δH_a , рассчитанная по всей площади пленки ($n=100$), а треугольными маркерами – величина δH_a , рассчитанная по площади пленки за исключением ее краев (отступ от краев 1 мм), $n=64$. Видно, что среднеквадратичное отклонение δH_a уменьшается с увеличением содержания никеля в пермаллое, достигает минимума для $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$, а затем начинает немного подрастать. Данная зависимость, очевидно, обусловлена зависимостью постоянной магнитострикции от состава пермаллоя. Константа магнитострикции для $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ близка к нулю, что приводит к нивелированию механизмов дисперсии, связанных с механическими напряжениями в пленке. Однако видно также, что для всех составов отклонение поля анизотропии δH_a , рассчитанное по площади пленки за исключением ее краев, примерно в два раза меньше, чем отклонение для всей площади пленки.

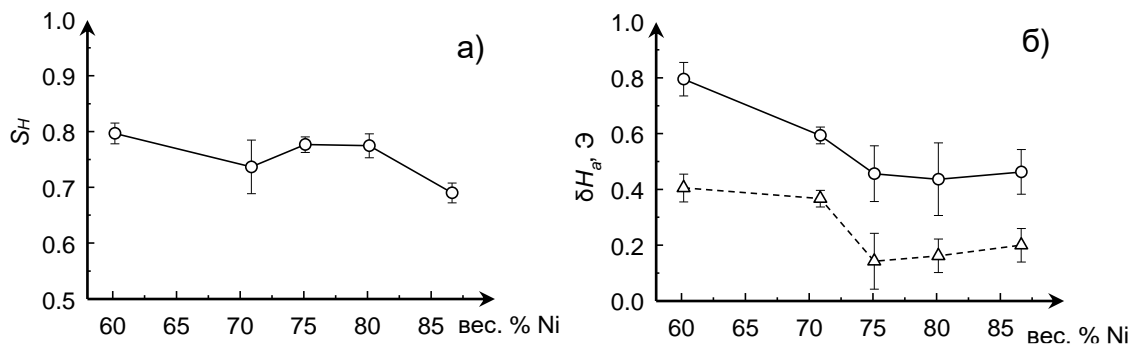


Рис. 2. а) Зависимость отношения абсолютных отклонений величины поля анизотропии H_a на смежных краях пленки S_H от состава. б) Зависимость среднеквадратичного отклонения поля анизотропии δH_a от состава. Круглые маркеры показывают отклонение, рассчитанное по всей площади пленки, а треугольные – при исключении краев пленок.

Как и следовало ожидать, результаты измерений образцов показали, что величина поля магнитной анизотропии сильно зависит от состава образцов. Поэтому представляет интерес исследовать поведение не только среднего значения распределения магнитной анизотропии в каждом образце без учета краевых эффектов $\langle H_f \rangle$ (отступ от краев 1 мм), но и вклада самих краевых эффектов от содержания никеля в пермаллое. Вклад краевых эффектов оценивался усредненной величиной $\langle H_e \rangle$, которая определялась как модуль разности средних величин полей анизотропии H_a , измеренных для каждой пары противоположных краев пленок и $\langle H_f \rangle$. Величина $\langle H_f \rangle$ может приближенно рассматриваться как усредненное поле одноосной магнитной анизотропии, наведенной магнитным полем, а $\langle H_e \rangle$ – как усредненное поле дополнительной эффективной магнитной анизотропии, сформированной вблизи краев пленки. Полученные зависимости представлены на рис. 3, а. Среднее значение поля магнитной анизотропии $\langle H_f \rangle$ линейно уменьшается с увеличением концентрации никеля от 60 вес. % до 86 вес. %. Данная зависимость воспроизводит хорошо известные результаты исследований пленок NiFe , которые были объяснены с помощью теории упорядочения атомных пар под действием магнитного поля, приложенного во время осаждения [22]. Поле $\langle H_e \rangle$ также зависит линейно от состава пленки, уменьшаясь с 2.17 Э для 60 вес. % Ni до 1.3 Э для 86 вес. % Ni. На рис. 3, б круглыми маркерами показана зависимость отношения $\langle H_e \rangle / \langle H_f \rangle$ от состава. Видно, что с ростом содержания никеля в пермаллое отношение $\langle H_e \rangle / \langle H_f \rangle$ увеличивается, причем данная зависимость нелинейная. Интересно рассмотреть два предположения: пусть усредненные поля магнитной анизотропии $\langle H_f \rangle$ и $\langle H_e \rangle$ одинаково зависят от состава, и пусть $\langle H_e \rangle$ от состава не зависит. Этим двум случаям соответствуют сплошная и точечная линии на рис. 3, б. Хорошо видно, что экспериментальная зависимость находится в промежуточном положении между двумя приближениями. Это свидетельствует в пользу того, что за формирование магнитных анизотропий $\langle H_f \rangle$ и $\langle H_e \rangle$ ответственны различные механизмы.

Как было показано в работе [16], наблюдаемые в поведении поля анизотропии особенности можно объяснить, если предположить, что существует механизм, приводящий к возникновению

дополнительного эффективного вклада в магнитную одноосную анизотропию вблизи краев с легкой осью, параллельной краям. При этом если в пленке существует два механизма формирования одноосной анизотропии, то результирующее поле анизотропии, как известно, равно сумме двух полей анизотропии (если ОЛН параллельны) или разности (если ОЛН перпендикулярны), а ориентация результирующей «легкой» оси соответствует направлению ОЛН большей по величине анизотропии. Это в точности соответствует поведению H_a , показанному на рис. 1, а. Однако в общем случае, при произвольных ориентациях двух легких осей легкая ось результирующей одноосной анизотропии должна находиться между ними в некотором промежуточном положении. Данная ситуация соответствует круглой пленке (см. рис. 1, б). Действительно, на тех локальных участках круглой пленки, которые расположены у краев параллельных полю H_{ext} , должна наблюдаться максимальная величина H_a , а для локальных участков пленки, края которых перпендикулярны полю H_{ext} , поле H_a должно быть минимальным, при этом ОЛН должна быть параллельной H_{ext} , что и наблюдается в эксперименте. В тоже время, как показывает расчет [16], в случае, когда угол между краем и полем H_{ext} составляет 45° , поле результирующей анизотропии примерно равно $\langle H_f \rangle$, но ориентация ее ОЛН на несколько градусов отклоняется от направления поля H_{ext} . Результаты измерения параметров анизотропии круглой пленки подтверждают данный вывод: было обнаружено, что максимальный угол отклонения ОЛН от направления поля H_{ext} ($\sim 7^\circ$) наблюдается вблизи краев, составляющих угол $\sim 45^\circ$ с полем H_{ext} .

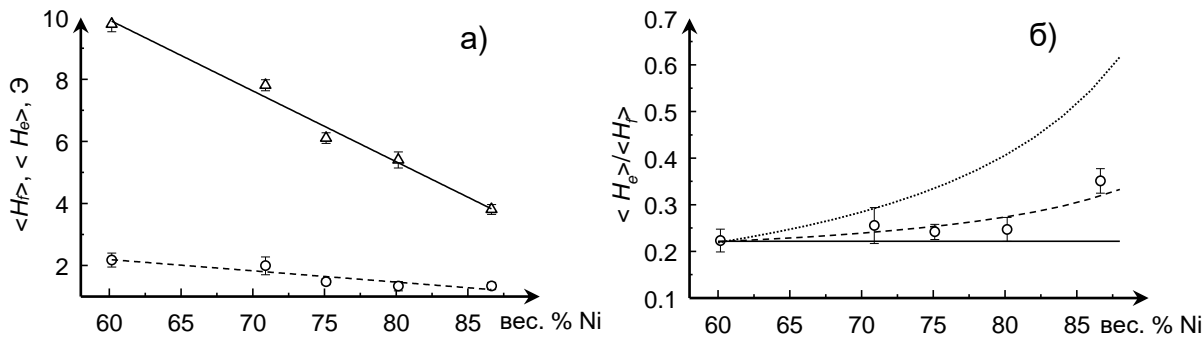


Рис. 3. а) Зависимость усредненных полей магнитной анизотропии $\langle H_f \rangle$ (треугольные маркеры) и $\langle H_e \rangle$ (круглые маркеры) от концентрации никеля в пермаллое. Линии – линейные аппроксимации. б) Зависимость отношения $\langle H_e \rangle / \langle H_f \rangle$ от состава. Маркеры – экспериментальные значения, штриховая линия, проходящая через маркеры – их аппроксимация, сплошная линия соответствует случаю, когда $\langle H_f \rangle$ и $\langle H_e \rangle$ зависят от состава одинаково, и точечная линия соответствует случаю, когда $\langle H_e \rangle$ от состава не зависит.

Ранее было отмечено, на краях пленок наблюдаются особенности не только в поведении параметров магнитной анизотропии, но также и в характере распределения эффективной намагниченности насыщения M_s и ширины линии ФМР ΔH . На краях пленок намагниченность M_s немного уменьшается относительно центральной области пленки, а линия ФМР значительно уширяется. На рис. 4 представлены зависимости от состава пленки усредненной по площади образца эффективной намагниченности насыщения $\langle M_s \rangle$ и усредненной ширины линии ФМР $\langle \Delta H \rangle$. Дополнительно на рисунке приведены зависимости величин d_M и $d_{\Delta H}$ также от состава образцов. Здесь величина d_M показывает относительное уменьшение M_s на краях пленок, а величина $d_{\Delta H}$ – относительное увеличение ΔH на краях. Видно, что $\langle M_s \rangle$ монотонно уменьшается с увеличением вес. % Ni, что хорошо согласуется с данными для массивных образцов пермаллоя [23]. При этом величина d_M от состава практически не зависит, и в среднем для всех измеренных 25 образцов относительное уменьшение намагниченности M_s на краях пленок составляет $\sim 1.8\%$ от M_s , измеренного на центральных участках пленок. Усредненная ширина линии ФМР $\langle \Delta H \rangle$ с ростом содержания никеля в пермаллое сначала снижается, достигая минимального значения для $\sim 75-80$ вес. % Ni, а затем резко увеличивается. Поведение величины $\langle \Delta H \rangle$ от состава похоже на поведение отклонения поля анизотропии δH_a (рис. 2, б), и, по-видимому, обусловлено теми же причинами. Интересно отметить, что относительное увеличение ширины линии ФМР на краях пленок $d_{\Delta H}$, так же, как и d_M , не имеет выраженной зависимости от состава (рис. 4, б), и в среднем $d_{\Delta H} = 10.5\%$.

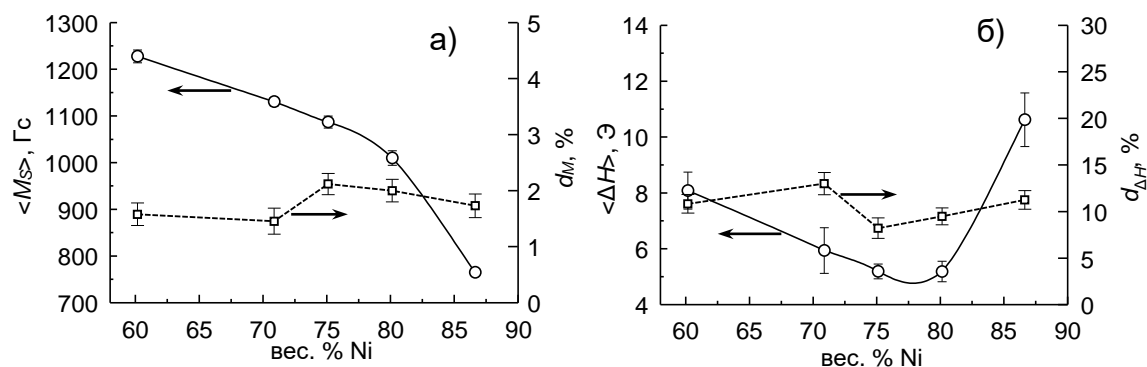


Рис. 4. Зависимости средней эффективной намагниченности насыщения $\langle M_s \rangle$ (а) и средней ширины линии ФМР $\langle \Delta H \rangle$ (б) от состава образцов (круглые маркеры), и зависимости от состава относительного изменения этих величин на краях (d_M и $d_{\Delta H}$) (квадратные маркеры).

Заключение

Таким образом, с помощью сканирующего спектрометра ФМР изучено распределение магнитных характеристик по площади нанокристаллических тонких пленок NiFe, изготовленных методом магнетронного распыления мишеней. Проведен анализ особенностей поведения основных магнитных характеристик пленок вблизи их краев. Обнаружено сильное отклонение поля одноосной магнитной анизотропии, резкое увеличение ширины линии ФМР и небольшое уменьшение эффективной намагниченности насыщения на краях пленок относительно их центральных участков. Показано, что на краях пленок возникает дополнительный эффективный вклад в одноосную анизотропию, причем механизмы, отвечающие за формирование этого дополнительного вклада и формирование одноосной анизотропии в центральной области пленки, имеют различную природу. Важным практическим результатом исследования является установление того факта, что наблюдаемые краевые эффекты увеличивают дисперсию поля одноосной анизотропии для всей пленки размерами 10×10 мм примерно в два раза. Кроме того, в настоящей работе предоставлены абсолютные значения магнитных характеристик и их относительные изменения на краях для пленок пермаллоя различного состава. Очевидно, что полученные результаты будут полезны для разработчиков и исследователей устройств на тонких магнитных пленках, в частности, датчиков слабых магнитных полей [2,3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. Petzold // *J. Magn. Magn. Mater.* – 2002. – V. 242. – pp. 84–89.
2. А.Н. Бабицкий, Б.А. Беляев, Н.М. Боев, Г.В. Скоморохов, А.В. Изотов, Р. Г. Галеев // *Приборы и техника эксперимента.* – 2016. – № 3. – с. 96–104.
3. А.Н. Babitskii, В.А. Belyaev, N.M. Bоеv, A.V. Izotov // *Proceedings of IEEE Sensors.* – 2017. – pp. 1-3.
4. А.Н. Бабицкий, Б.А. Беляев, Н.М. Боев, А.В. Изотов, С.А. Клешнина. Тонкопленочный градиентометр. Патент № RU 26 87557 С1. – 2019.
5. Б.А. Беляев, А.В. Изотов, А.А. Лексиков, А.М. Сержантов, В.Ф. Шабанов // *Известия вузов. Физика.* – 2010. – №. 9/2. – с. 163–165.
6. Б.А. Беляев, А.В. Изотов, А.А. Лексиков // *ФТТ.* – 2010. – №. 52. – с. 1664–1672.
7. G. Herzer // *J. Magn. Magn. Mater.* – 1996. – V. 157/158. – pp. 133–136.
8. A.V. Izotov, V.A. Belyaev, P.N. Solovёv, N.M. Bоеv // *Phys. B Condens. Matter.* – 2019. – V. 556. – pp. 42–47.
9. Б.А. Беляев, Н.М. Боев, А.В. Изотов, П.Н. Соловьев // *Известия вузов. Физика.* – 2018. – №. 61. – с. 50–56.
10. Б.А. Беляев, Н.М. Боев, А.В. Изотов, П.Н. Соловьев, В.В. Тюрнев // *Известия вузов. Физика.* – 2018. – №. 61. – с. 3–10.
11. В.В. Maranville, R.D. McMichael, S.A. Kim, W.L. Johnson, C.A. Ross, J.Y. Cheng // *J. Appl. Phys.* – 2006. – V. 99. – pp. 08C703.
12. С.Е. Murray // *J. Appl. Phys.* – 2006. – V. 100. – pp. 103532.

13. J. Wenisch, C. Gould, L. Ebel, J. Storz, K. Pappert, M.J. Schmidt, C. Kumpf, G. Schmidt, K. Brunner, L.W. Molenkamp // *Phys. Rev. Lett.* – 2007. – V. 99. – pp. 077201.
14. В.А. Беляев, А.В. Изотов, Р.Н. Соловьев, Н.М. Боев // *Phys. Status Solidi RRL.* – 2019. pp. 1900467.
15. S. Glathe, M. Zeisberger, R. Mattheis, D. Hesse // *Appl. Phys. Lett.* – 2010. – V. 97. – pp. 112508.
16. В.А. Беляев, А.В. Изотов, Г.В. Скоморохов, Р.Н. Соловьев // *Mater. Res. Express.* – 2019. – V. 6. – pp. 116105.
17. J. A. Thornton // *J. Vac. Sci. Technol.* – 1974. – V. 11. – pp. 666–670.
18. Б.А. Беляев, А.В. Изотов, П.Н. Соловьев // *Известия вузов. Физика.* – 2016. – №. 59. – с. 120–125.
19. В.А. Беляев, А.В. Изотов, А.А. Лексиков // *IEEE Sens. J.* – 2005. – V. 5. – pp. 260–267.
20. В.А. Беляев, А.В. Изотов, Р.Н. Соловьев // *Phys. B Condens. Matter.* – 2016. – V. 481. – pp. 86–90.
21. В.А. Беляев, А.В. Изотов, Р.Н. Соловьев, И.А. Яковлев // *J. Magn. Magn. Mater.* – 2017. – V. 440. – pp. 181–184.
22. J. Han-Min, C.-O. Kim, T.-D. Lee, H.-J. Kim // *Chin. Phys.* – 2007. – V. 16. – pp. 3520–3535.
23. К. Hoeselitz // *Ferromagnetic properties of metals and alloys*, Oxford at the Clarendon press, 1952.

¹Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, Россия Поступила в редакцию 08.11.2019.

²Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Беляев Борис Афанасьевич, д.т.н., профессор, зав. лабораторией ИФ СО РАН, профессор каф. Радиотехники СФУ, e-mail: belyaev@iph.krasn.ru;

Боев Никита Михайлович, к.ф.-м.н., зав. лабораторией ИФ СО РАН; науч. сотр. СФУ, e-mail: nik88@inbox.ru;

Изотов Андрей Викторович, к.ф.-м.н., доцент, ст. науч. сотр. ИФ СО РАН, доцент каф. радиотехники СФУ, e-mail: iztv@mail.ru;

Скоморохов Георгий Витальевич, ведущий технолог ИФ СО РАН, e-mail: tornadobak@mail.ru;

Соловьев Платон Николаевич, к.ф.-м.н., науч. сотр. ИФ СО РАН, науч. сотр. СФУ, e-mail: psolovev@iph.krasn.ru.

B.A. Belyaev, N.M. Boev, A.V. Izotov, G.V. Skomorokhov, P.N. Solovev

Peculiarities in the behavior of magnetic characteristics of thin permalloy films near their edges

Using a scanning spectrometer of ferromagnetic resonance (FMR), the magnetic properties of nanocrystalline thin films fabricated by magnetron sputtering of permalloy targets of various compositions $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ ($x = 0.6-0.85$) were studied. The behavior of the main magnetic characteristics near the edges of thin films was analyzed. It was shown that near the edges of the films, not only the field of uniaxial magnetic anisotropy deviates significantly from the average value, but the FMR line also sharply broadens and the effective saturation magnetization decreases.

thin magnetic film, ferromagnetic resonance, edge effects, magnetic anisotropy.

Kirensky Institute of Physics, Federal Research Center KSC SB RAS, 50/38 Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia
Siberian Federal University, 79 Svobodny pr., Krasnoyarsk, 66041, Russia