

УДК 621.317.444

АНИЗОТРОПНЫЕ МАГНИТОРЕЗИСТИВНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ОСНОВЕ САМОСОВМЕЩЕННОЙ СТРУКТУРЫ

© 2017 г. Н. А. Дюжев¹, А. С. Юров¹, Н. С. Мазуркин^{1, *},
Р. Ю. Преображенский¹, М. Ю. Чиненков^{1, 2, **}

¹Национальный исследовательский университет “МИЭТ”, 124498 Москва, Россия

²Общество с ограниченной ответственностью “СПИНТЕК”, 124527 Москва, Россия

*E-mail: mazurkin-n@yandex.ru

**E-mail: chinenkov@inbox.ru

Поступила в редакцию 09.03.2016 г.

Для увеличения чувствительности анизотропных магниторезистивных структур была предложена новая конструкция, в которой форма ферромагнитных элементов повторяет форму немагнитных проводящих шунтов. Численное моделирование, учитывающее неоднородное распределение намагниченности, показало, что самосовмещенные структуры демонстрируют значительное увеличение чувствительности по сравнению с классическими структурами “barber-pole”. Предположительно, такое увеличение связано с неоднородностью распределения намагниченности в самосовмещенных структурах, которая компенсирует влияние неоднородности распределения силовых линий электрического тока.

Ключевые слова: анизотропный магниторезистивный эффект, сенсор магнитного поля, магнитные пленки, самосовмещенная структура.

DOI: 10.7868/S0207352817030076

ВВЕДЕНИЕ

Преобразователи магнитного поля, в основе работы которых лежит анизотропный магниторезистивный эффект (АМР-эффект), представляют большой интерес и широко используются для измерения магнитных полей. Основу таких преобразователей составляют АМР-структуры в виде полосы магнитной пленки, чаще всего пермаллоя, с контактами [1]. Наиболее широкое распространение получила структура, в которой на магнитную полосу из пермаллоя (Fe-Ni) под углом 45° нанесены шунтирующие полосы из проводящего материала (так называемая “зазубренная” структура, или “barber-pole”). Таким способом формируется нечетная передаточная характеристика с достаточно большим линейным участком (рис. 1) [2]. Важнейшим параметром АМР-структур, определяющим их применимость для решения тех или иных задач, является чувствительность [3], на которую существенное влияние оказывают параметры магниторезистивной пленки, в частности, распределение намагниченности и величина анизотропного магниторезистивного эффекта.

СОЗДАНИЕ ТОНКИХ МАГНИТНЫХ ПЛЕНОК

При магнетронном напылении пермаллоя ($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$) на подложку Si/SiO₂/Si₃N₄ (мощность 150 Вт, диаметр мишени 100 мм, время напыления 300 с, расстояние между магнетроном и подложкой 112 мм, давление Ag 0.5 Па, температура подложки 270°C) была получена пленка толщиной 35 нм с неравномерностью распределения поверхностного сопротивления R_s по пластине менее 5%. АМР-эффект, обнаруженный в данных пленках сразу после напыления, составил 2.7%.

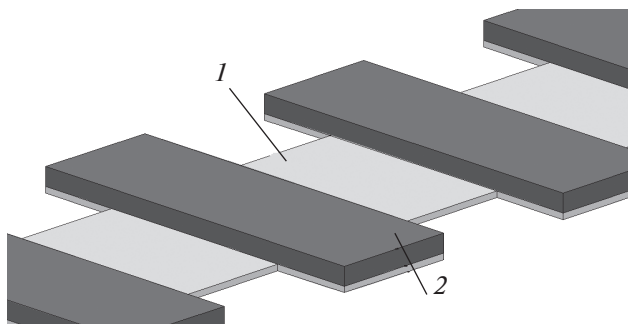


Рис. 1. Схема самосовмещенного магниточувствительного элемента: 1 – пермаллой; 2 – алюминий.

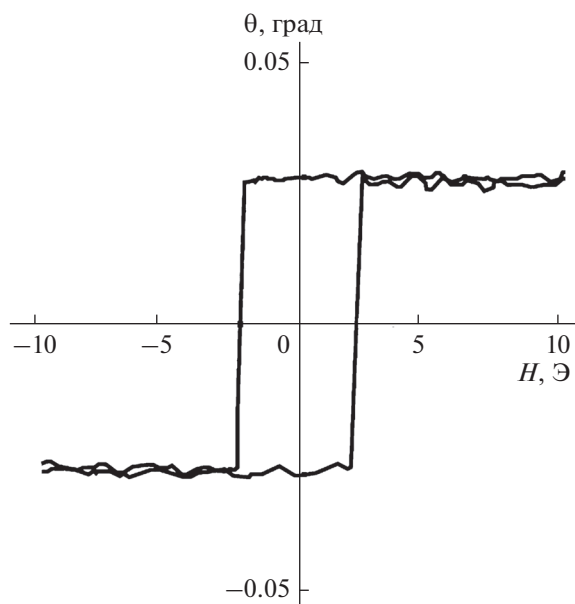


Рис. 2. Петля перемагничивания полоски пермаллоя вдоль легкой оси намагничивания.

Коэрцитивная сила ~ 2.2 Э, поле анизотропии ~ 7.6 Э (рис. 2).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

На основании полученных пленок был создан АМР-сенсор с классической структурой “barber-pole”, с чувствительностью до 23.7 (мВ/В)/(кА/м) [5]. Анализ распределения намагниченности на основе микромагнитной модели в такой структуре дает распределение, близкое к однородному (рис. 3а). Однако если предположить, что форма магнитного элемента повторяет форму лежащего на нем проводящего шунта, то распределение становится существенно неоднородным (рис. 3б). Такая структура может быть названа “самосовмещенной”.

Было проведено моделирование предложенного АМР-преобразователя со следующими характеристиками чувствительных элементов (рис. 1): длина магниторезистивной полоски 200 мкм, ширина полоски варьируется в диапазоне от 10 до 40 мкм, расстояние между шунтами 6 мкм. Величина выступов элементов немагнитного проводящего слоя h также варьируется от 0 до 6 мкм.

Для расчета распределения намагниченности была использована микромагнитная модель [4], основанная на уравнении Ландау–Лифшица–Гильберта.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные распределения намагниченности в структурах с классической (рис. 3а) и самосов-

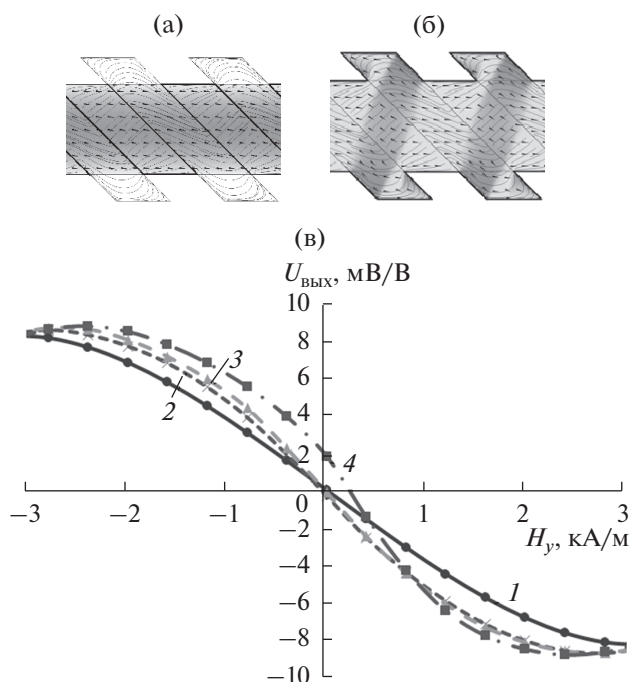


Рис. 3. Распределение намагниченности и линий тока в традиционной (а) и самосовмещенной (б) структурах. Цветовой градиент отображает величину X -компоненты намагниченности, векторы локальной намагниченности обозначены стрелками. Сплошные линии представляют линии тока. Теоретические зависимости выходных характеристик преобразователей (в) от параметра выступов h : 1 – 0; 2 – 3; 3 – 4; 4 – 6 мкм.

мещенной (рис. 3б) геометрией подтверждают предположение о возникновении в самосовмещенных структурах периодических неоднородностей распределения намагниченности. Для оценки влияния этих неоднородностей на чувствительность структур был проведен соответствующий анализ, результаты которого представлены на рис. 3в в виде выходных характеристик структур при различных параметрах h . Значение $h = 0$ мкм соответствует структуре с традиционной геометрией, форма кривой согласуется с экспериментальными данными [5–8] для традиционных АМР-преобразователей. Можно видеть, что при увеличении параметра выступа h от 0 до 3 мкм чувствительность структуры возрастает на $\sim 70\%$. Однако при дальнейшем увеличении h от 3 до 6 мкм возникает негативный эффект – смещение точки прохождения нуля при отсутствии дальнейшего увеличения чувствительности. При значениях параметра h меньше нуля (впадины) чувствительность падает. Оптимальной конфигурацией самосовмещенной структуры является конфигурация, соответствующая значению параметра $h = 3$ мкм.

Таким образом, продемонстрирована возможность значительного увеличения чувствительности АМР-преобразователей при использовании самосовмещенных структур без изменения технологии производства.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа была выполнена на оборудовании ЦКП МСТ и ЭКБ МИЭТ при поддержке Минобрнауки России в рамках ФЦП “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы” (ГК № 14.578.21.0007, уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57814X0007).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tumanski S.* Thin Film Magnetoresistive Sensors. CRC Press, 2001. P. 83.
2. *Wakatsuki N., Kurashima S., Shimizu N. et al.* Patent № 5055786. USA. 1991.
3. *Abidin Z., Faizal A., Jusoh M.H. et al.* // Appl. Mechan. Mater. 2015. V. 785. P. 714.
4. *Miltat J., Albuquerque G., Thiaville A.* // Spin Dynamics in Confined Magnetic Structures I. Springer Berlin Heidelberg, 2002. P. 1.
5. *Дюжнев Н.А., Юров А.С., Преображенский Р.Ю. и др.* // Письма в журн. техн. физики. 2016. Т. 42. № 10. С. 99.
6. *Дюжнев Н.А., Юров А.С., Преображенский Р.Ю. и др.* // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2016. № 3. С. 46. doi 10.7868/S0207352816030057
7. *Болтаев А.П., Пудонин Ф.А., Шерстнев И.А.* // ФТТ. 2011. Т. 53. № 5. С. 892.
8. *Bespalov V., Djuzhev N., Iurov A. et al.* // Solid State Phenomena. 2016. V. 249. P. 124.

Anisotropic Magnetoresistive Sensors Based on Self-Aligned Structure

N. A. Djuzhev, A. S. Iurov, N. S. Mazurkin, R. Yu. Preobrazhensky, M. Yu. Chinenkov

A new type of anisotropic magnetoresistive structures where the form of ferromagnetic elements followed the shape of the nonmagnetic conductive shunts was proposed. Numerical simulation taking into account nonuniform magnetization distribution was carried out. Self-aligned structures were shown to exhibit a significant increase in sensitivity compared to the classic “barber-pole” structures. Presumably, this increase arose due to the compensation of the influence of inhomogeneity in the distribution of field lines of the electric current by nonuniform magnetization distribution in self-aligned structures.