

РАЗРАБОТКА ТОПОЛОГИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА АНИЗОТРОПНОМ МАГНИТОРЕЗИСТИВНОМ ЭФФЕКТЕ ДЛЯ ДАТЧИКОВ УГЛА ПОВОРОТА

С. В. Горохов, А. В. Негин, В. Е. Сергеев

Филиал РФЯЦ–ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова», г. Нижний Новгород

В настоящей работе показаны результаты разработки топологии и технологии изготовления магниторезистивных преобразователей (МРП) для датчиков угла поворота. Выходные электрофизические характеристики МРП аналогичны датчику KMZ – 43 Т фирмы Philips.

Ключевые слова: магниторезистивный преобразователь, датчики угла поворота, мост Уинстона, анизотропный магниторезистивный эффект.

Датчики магнитного поля на основе тонкопленочных магниторезистивных структур занимают большой объем на рынке микроэлектроники, благодаря таким их свойствам как: энергонезависимость, широкий температурный диапазон, радиационная стойкость, отсутствие механического контакта, высокая надежность, низкий порог чувствительности и многим другим [1]. Требования к современным системам управления постоянно ужесточаются и соответственно повышаются требования к разрешающей способности датчика угла поворота. Поэтому необходимо постоянно разрабатывать новые конструкторские и технологические решения.

Основная цель работы – разработка конструкции и технологии изготовления МРП на основе анизотропного магниторезистивного эффекта (АМР) для датчика угла поворота с минимальным эффектом размагничивающих полей и возможностью устранения технологического разбаланса моста Уинстона.

АМР эффект проявляется в том, что сопротивление тонкой ферромагнитной пленки, измеренное вдоль оси легкого намагничивания (ОЛН), оказывается несколько выше сопротивления пленки вдоль оси трудного намагничивания (ОТН). Величина АМР эффекта при комнатной температуре составляет 1,5–2,5 % в зависимости от материала магниторезистивного слоя [1, 2]. Характеристики МРП на основе АМР эффекта позволяют использовать их для решения таких задач как: бесконтактное измерение тока в электрических цепях, скоростей вращения и углов поворота подвижных деталей механизмов, магнитных полей в диапазоне от единиц нТл до сотен мкТл. Формирование МРП производится на основе магниторезистивных пленок с наведенной анизотропией. Анизотропии в тонких пленках добиваются посред-

ством напыления пленок из сплавов с содержанием Fe, Ni и Co во внешнем магнитном поле.

АМР эффект имеет угловую зависимость, что используется для создания датчиков определения углового положения. Угловые измерения представляют собой измерение выходных напряжений с мостов Уинстона засчет изменения внутреннего намагничивания магниторезистивных полосок от воздействия внешнего магнитного поля, такого чтоб направление обоих векторов стало одинаковым. При этом внешнее поле должно быть много больше чем внутреннее намагничивание магниторезистивных полосок. Следовательно, угловые МРП работают в режиме насыщения. При измерении углов поворота используют схему установки датчика, изображенную на рис. 1 [3]. На деталь 3, угол поворота которой требуется измерять, устанавливается постоянный магнит 2. Магнит вращается перед датчиком 1, причем внутренний вектор магнита должен быть параллелен внутреннему вектору намагничивания датчика в контрольной точке, выбранной за нулевое положение. Выходная характеристика моста Уинстона будет соответствовать функции синуса двойного угла что позволяет определять углы в диапазоне от 0° до 90°. Для определения углов от 0° до 180° используют два моста сдвинутые друг относительно друга на 45°. Выходное напряжение мостов Уинстона будут соответствовать функциям $\sin 2\alpha$, $\cos 2\alpha$, соответственно.

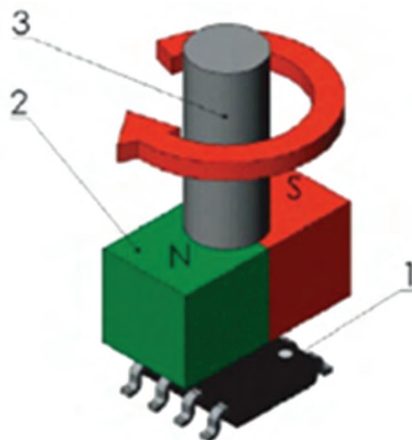


Рис. 1. Схема установки датчика углового положения: 1 – угловой магниторезистивный датчик; 2 – постоянный магнит; 3 – вращающаяся деталь механизма

Обработка выходных сигналов двух мостов позволяет получить линейную функцию зависимости сигнала от угла поворота по формуле 1:

$$\Theta = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{U_{a,\sin}}{U_{a,\cos}} \right), \quad (1)$$

где $U_{a,\sin}$ и $U_{a,\cos}$ выходные сигналы двух мостов.

Схематическое изображение стандартной топологии углового МРП показано на рис. 2. Цифрами 1 и 2 обозначены измерительные мосты двухмостовой схемы. Передаточная характеристика такого МРП изображена на рис. 3 [4, 5, 6].



Рис. 2. Топология углового МРП с двухмостовой схемой

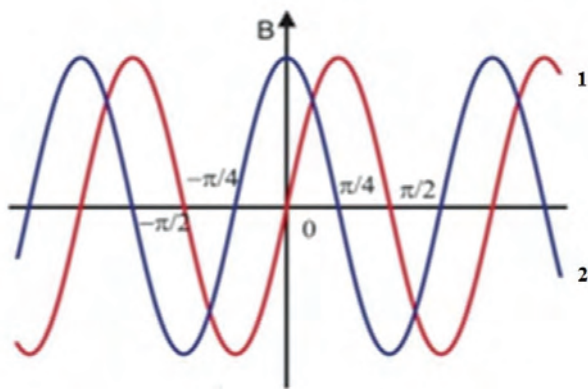


Рис. 3. Передаточная характеристика углового МРП с двухмостовой схемой: 1 – мост 0°, 2 – мост 45°

Для наличия «полезного» выходного сигнала с моста Уинстона от воздействия внешнего магнитного поля, необходимо создать смещение тока в магниторезистивных полосках относительно ОЛН. Существует две схемы, при которых создается смещение на 45°, это полюса барбера (ПБ) и наклонное расположение магниторезистивных полосок (рис. 4).

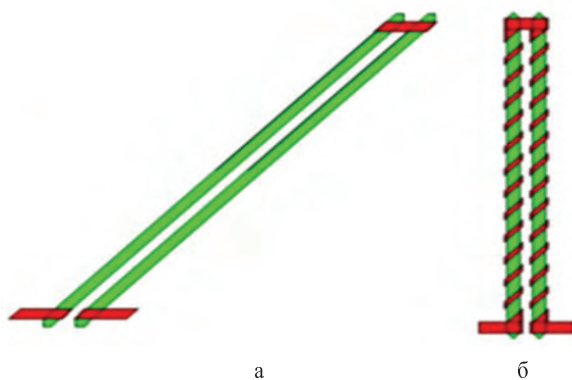


Рис. 4. Способы задания смещения тока: а – наклонные магниторезистивные полоски; б – полюса барбера

В преобразователях с наклонными полосками смещение получается посредством расположения магниторезистивных полосок под углами 0°, 45° и 90°. В структуре с применением ПБ смещение тока получается в нанесении проводников с малым сопротивлением (Al, Ag, Cu) под углом 45° градусов относительно направления магниторезистивных полосок. Схема прохождения тока через барбер – полюсную структуру изображена на рис. 5.

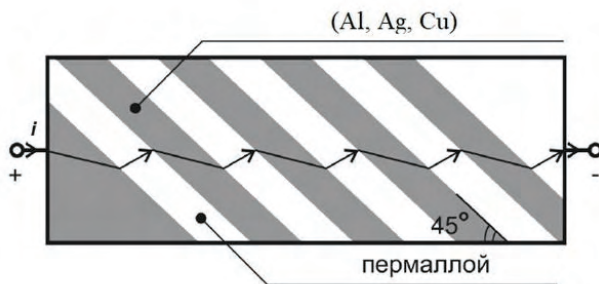


Рис. 5. Прохождение тока через барбер – полюсную структуру

При любом способе смещения тока в магниторезистивных полосках, воздействие магнитного поля будет вызывать уменьшение сопротивления одной пары плеч моста Уинстона и увеличение сопротивления в другой паре, что послужит появлению «полезного» выходного сигнала.

Как было описано выше, угловые МРП имеют особенность – работа в состоянии насыщения. Однако, размагничивающее поле, для короткой стороны магниторезистивной полоски, на порядок больше чем для длинной стороны. Это приводит к разнице в сопротивлении плеч моста и, следовательно, к увеличению разбаланса. Физический смысл размагничивающих полей состоит в том, что во внешнем магнитном поле на краях ферромагнитного образца образуются магнитные полюсы, создающие внутри образца магнитное поле обратного (по отношению к внешнему полю) направления. Размагничивающее поле пропорционально намагниченности.

В данной работе показана разработка новой топологии МРП с минимальным эффектом размагничивающих полей. Основой МРП являлось два измерительных моста Уинстона смещенных друг относительно друга на 45° . Обеспечение четной характеристики выходного сигнала определяется созданием ПБ на магниторезистивных полосках. Целесообразность применения данной структуры заключалось в том, что все магниторезистивные полоски в мосте Уинстона расположены одинаково по отношению к ОЛН (0° и 45°). По этому принципу в данной работе были разработаны два типа МРП (рис. 6), первого типа с различной длиной магниторезистивных полосок (рис. 6а) и второго типа с одинаковой длиной магниторезистивных полосок (рис. 6б). Так же в данных топологиях обеспечена возможность коррекции технологического разбаланса мостов посредством лазерного выжигания части подгоночных сопротивлений выделенных на рисунках темным контуром [7].

На основе проведенных исследований выбрана структура для изготовления МРП - сплав FeNiCo. За один цикл откачки рабочей камеры, установки электронно – лучевой напыления «Оратория – 9М» с безмасляной системой откачки путем последовательного вакуумного напыления на подложку, напыляют структуру FeNiCo – Ta – Cu – FeNiCo, из которой, путем фотолитографического травления через совмещенный фотошаблон, сначала формируют контур моста Уинстона с рисунком проводящего слоя, включающим полоски, переключки, проводники и контактные площадки, а затем, через другой фотошаблон, магниторезистивные полоски и ПБ с образованием топологии моста Уинстона [8].

Функциональное назначение слоев следующее:

– первый слой FeNiCo – магниточувствительный слой;

– второй слой Ta – защитный слой, с большим удельным поверхностным сопротивлением (он практически не вносит вклада в сопротивление моста);

– третий слой Cu – проводящий слой, служащий для формирования электрической разводки, переключки, ПБ и контактных площадок;

– четвертый слой FeNiCo – защищает медь от окисления.

В работе были определены режимы напыления и фотолитографического травления структуры с использованием фоторезиста micropositS1813SP15. Точность изготовления ширины элементов составила: для магниторезистивных полосок шириной 40 мкм не более 1,5 мкм, а для ПБ шириной 24 мкм не более 1 мкм.

Для снятия выходных напряжений с МРП использовался стенд включающий в себя: пульт управления, соленоид с 2000 витками создающий напряженность магнитного поля порядка 12 мТл, контактное приспособление для подачи напряжения и снятия выходных напряжений и 2 источника питания.

На рис. 7 представлены выходные напряжения МРП топологии первого типа (выходные напряжения МРП второго типа аналогичны) и графики функций $\sin(2x)$ и $\cos(2x)$ умноженные на амплитуду выходного сигнала.

Из рис. 7 видно, что угловые выходные характеристики мостов Уинстона МРП существенно не отличаются от расчетных функций \sin и \cos двойного угла. Выходная характеристика МРП соответствует заявленным параметрам датчика КМЗ – 43Т, что позволяет использовать его в датчиках угла поворота в качестве первичного преобразователя магнитного поля.

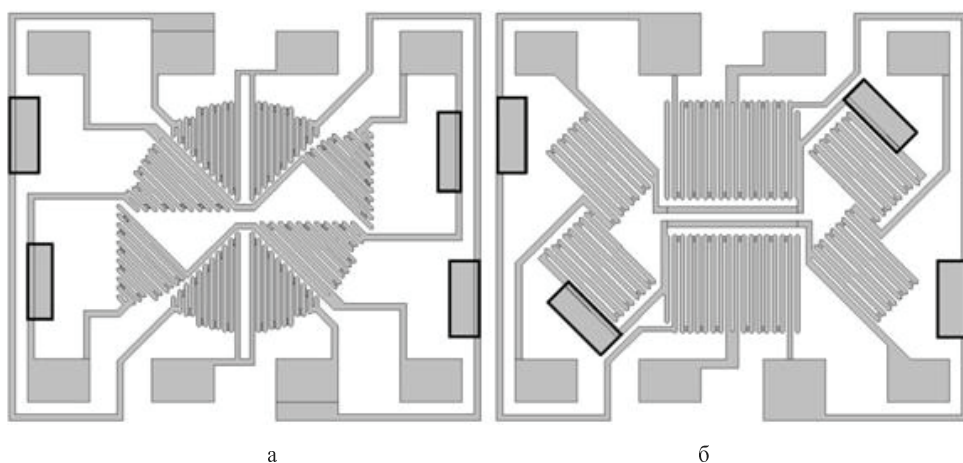


Рис. 6. Эскиз топологии угловых МРП: а – топология первого типа, б – топология второго типа

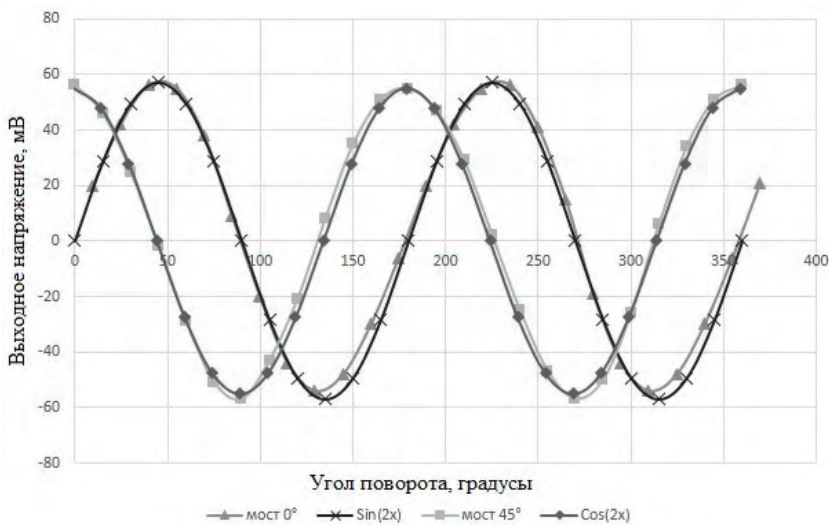


Рис. 7. Выходная характеристика двух измерительных мостов Уинстона в МРП с топологией первого типа (рис. 6а) в сравнении с функциями $\sin(2x)$ и $\cos(2x)$

Заключение

1. Разработаны две конструкции МРП для датчика угла поворота. Для данного типа МРП применена полюс – барберная структура для смещения тока в магниторезистивных полосках с целью получения минимального эффекта размагничивающих полей.

2. Разработаны МРП с угловой зависимостью по характеристике аналогичной датчику KMZ – 43Т фирмы Philips. В МРП предусмотрена возможность коррекции разбаланса мостов Уинстона за счет технологической операции лазерной подгонки сопротивлений плеч моста.

3. МРП позволяют использовать их в датчиках угла поворота в качестве первичного преобразователя магнитного поля.

Литература

1. Борисов А. Современные АМР датчики для детектирования скорости, положения и слабых магнитных полей // Компоненты и технологии. 2006. № 7. С. 56–60.

2. Амеличев В. В., Гамарц И. А., Касаткин С. И. и др. Анизотропные магниторезистивные преобразователи на основе ферромагнитных наноструктур с различным содержанием кобальта // Нано – и микросистемная техника. 2010. № 2. С. 22–24.

3. Сысоева С. Автомобильные датчики положения, современные технология и новые перспективы // Компоненты и технологии. 2005. № 4. С. 52–62.

4. Касаткин С. И., Муравьев А. М., Плотникова Н. В. и др. Анизотропные магниторезистивные датчики магнитного поля и тока // Автоматика и телемеханика. 2009. № 6. С. 141–152.

5. Ширяев Ю. Три кита бесконтактных датчиков положения Honeywell S&C: магнитное поле, инфракрасный свет и ультразвук // Компоненты и технологии. 2011. № 1. С. 13–16.

6. Преображенский А. А. Магнитные материалы и элементы // М.: Высшая школа, 1976.

7. Патент 2664868 РФ, H01L43/08. Способ балансировки магниторезистивного датчика // А. В. Негин, В. К. Гусев // Бюл. № 24, 2018.

8. Патент 2617454 РФ, H01L43/12. Способ изготовления магниторезистивного датчика // В. К. Гусев, А. В. Негин, Т. Г. Андреева, С. В. Горохов // Бюл. № 12, 2017.