(cc) BY

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Амеличев Владимир Викторович
канд. техн. наук, начальник отдела
Костюк Дмитрий Валентинович
Начальник НИЛ МПМНС ОМСТ
Жуков Дмитрий Андреевич
Техник 1 категории НИЛ МПНМС ОМСТ
Тахов Владимир Станиславович
м. н. с. НИЛ МПНМС ОМСТ

НПК «Технологический центр»
г. Москва, г. Зеленоград

МАГНИТОРЕЗИСТИВНАЯ МАТРИЦА ДЕТЕКТОРА МАГНИТНЫХ МИКРОЧАСТИЦ

***Аннотация**: в статье представлены теоретические и экспериментальные данные контроля магнитных микрочастиц с помощью магниторезистивной матрицы. Авторами приведена экспериментальная зависимость изменения выходного сигнала ячейки магниторезистивной матрицы с магнитными микрочастицами при изменении магнитного поля.*

***Ключевые слова**: анизотропный магниторезистивный эффект, магниторезистор, магниторезистивная матрица, магнитная микрочастица, преобразователь магнитного поля.*

Преобразователи магнитного поля на основе магниторезистивного эффекта обладают рядом преимуществ перед полупроводниковыми преобразователями магнитного поля, поскольку характеризуются более высоким быстродействием и чувствительностью к магнитному полю, более широким динамическим диапазоном, смещенным в область слабых магнитных полей (менее 1 мТл), а также способны выдерживать более высокую рабочую температуру (до 150°С) [1].

Магниторезистивная матрица представляет собой кремниевый кристалл, на котором сформированы шесть магниточувствительных ячеек, построенных на основе магниторезисторов, обладающих анизотропным магниторезистивным (AMR) эффектом. Каждая из шести ячеек представляет собой магниторезистивный преобразователь магнитного поля градиометрического типа. В данном случае градиометрический магниторезистивный преобразователь представляет собой мост Уитстона, в котором магниторезисторы сгруппированы в пары по диагонали моста и разнесены в пространстве так, что составляющая вектора магнитной индукции детектируемых магнитных микрочастиц действует лишь на одну из пар магниторезисторов.

Каждая из шести магниторезистивных ячеек расположена на мембране, сформированной на обратной стороне кристалла. Полость, образованная над мембраной в результате травления, предназначена для пробы материала, содержащей магнитные микрочастицы, таким образом, магниторезистивная матрица обладает возможностью одновременного определения шести различных аналитов.

Выбор наноструктур на основе анизотропного магниторезистивного эффекта для создания магниторезистивной матрицы обусловлен относительной простотой и отработанностью технологических процессов их формирования. Перспективным для подобных устройств является применение наноструктур на основе спин-вентельных и спин-туннельных магниторезистивных структур (CBMR и CTMR, соответственно). Например, фирмой IBM (США) проведены исследования по созданию CTMR преобразователей магнитного поля для биосенсорных устройств и получен CTMR преобразователь с величиной магниторезистивного эффекта около 50%, позволяющий обнаруживать единичные магнитные микрочастицы в анализируемом растворе [1]. Компания NVE (США) ведет активную работу по разработке и созданию биодатчиков на основе CBMR эффекта, а компания Micromagnetics уже предлагает коммерческие образцы подобных датчиков [2–3].

В отличие от наноструктур с АМР эффектом, материалы с гигантским магниторезистивным (ГМР) эффектом более сложны не только структурно, но технологически. Структура материалов на основе ГМР эффекта состоит более чем из шести слоев наноразмерной толщины, при том, что к буферному слою, например, меди предъявляют более высокие требования по толщине (2–3 нм).

Достоинством магниточувствительных преобразователей магнитного поля на основе ГМР эффекта перед преобразователями на основе АМР эффекта являются меньший ток потребления, за счет более высокого сопротивления мостовой схемы или высокоомного туннельного барьера в наноструктуре, большая крутизна преобразования, за счет более высокого эффекта, миниатюрность за счет малых размеров магниточувствительных элементов [4].

Обнаружение и регистрация исследуемых материалов происходит за счёт взаимодействия «антиген – антитело», которое обладает высокой селективностью и специфичностью. Данный метод основан на использование магнитных микрочастиц, состоящих из ферромагнитного ядра и полимерной оболочки, покрытой химическим или биологическим составом, выборочно связывающим их с анализируемыми объектами. Частным случаем является стрептавидин, который обладает высоким сродством к биотину, поэтому исследуемые молекулы подвергаются биотинилированию, после чего они приобретают способность соединяться со стрептавидин-мечеными магнитными микрочастицами [5].

Для исследования магниторезистивной матрицы создан макет устройства, состоящий из блока управления, немагнитной оснастки, соединённой с блоком управления через разъём, и соленоида (рисунок 1).

Магнитное поле задается соленоидом для намагничивания микрочастиц и формирования выходного сигнала с каждой из шести ячеек магниторезистивной матрицы.

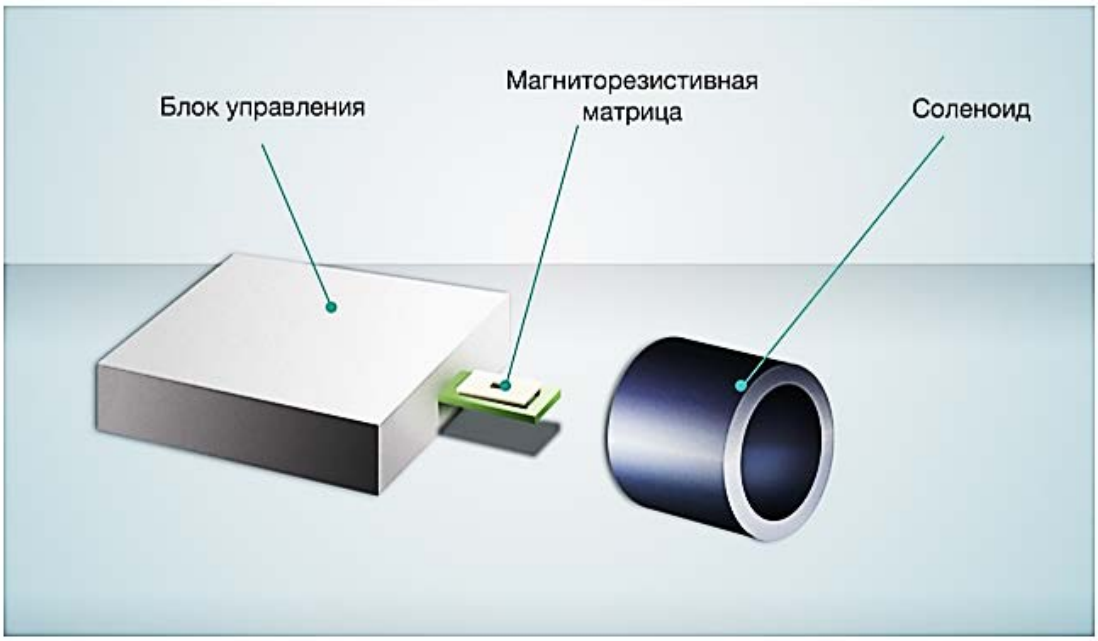

Рис. 1. Эскиз внешнего вида магниторезистивного устройства детектирования магнитных микрочастиц

Ячейка магниторезистивной матрицы, заполненная магнитными микрочастицами и помещенная в соленоид, изменяет уровень выходного сигнала после подключения его к источнику тока. На графике (рисунок 2) видно, что изменение выходного напряжения (ΔV) исследуемого образца составляет 36,8 мВ. При этом ячейки магниторезистивной матрицы без магнитных микрочастиц не изменяют уровень выходного сигнала. Точка М на графике – момент включения магнитного поля.

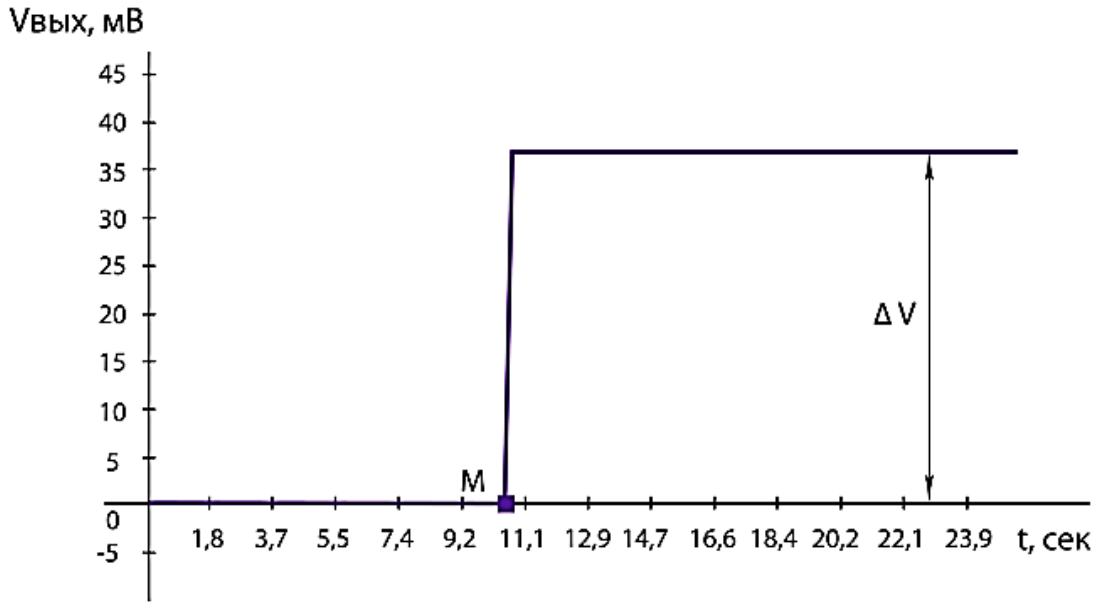

Рис. 2. График выходного напряжения ячейки магниторезистивной матрицы

Таким образом, на макете магниторезистивного устройства детектирования магнитных микрочастиц с помощью магниторезистивной матрицы, содержащей шесть магниторезистивных градиометров магнитного поля на основе AMR эффекта, подтверждена методика контроля наличия магнитных микрочастиц, закрепленных на поверхности ее ячеек.

В перспективе, с учетом полученных результатов могут быть разработаны более совершенные устройства контроля биоматериалов с использованием магниторезистивных матриц, в том числе с ГМР эффектом. Например, на основе CTMR эффекта (рисунок 3), где величина магниторезистивного эффекта может достигать значения более 30% [4].

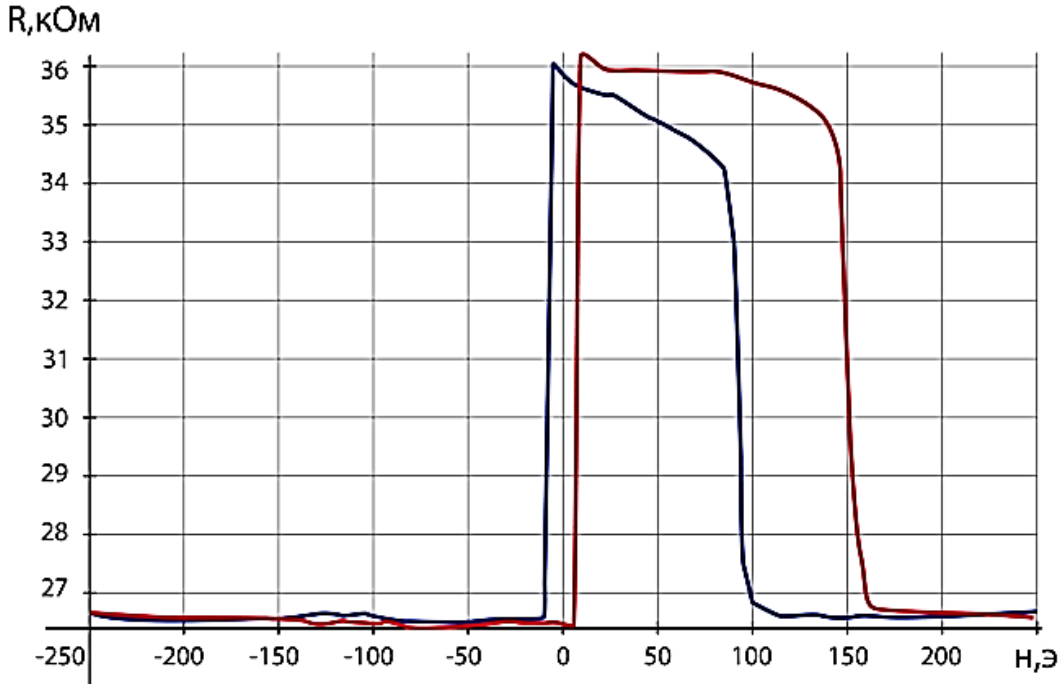

Рис. 3. Зависимость изменения сопротивления образца CTMR в магнитном поле с напряженностью ± 250 Э [4]

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания по проекту 3576. Исследование параметров, формируемых наноструктур осуществлялось с помощью измерительных приборов ЦКП «Функциональный контроль и диагностика микро- и наносистемной техники» на базе НПК «Технологический центр», поддержанном Минобрнауки России.

Список литературы

1. Касаткин С.И. Магниторезистивные биосенсоры // Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения / С.И. Касаткин. – М. – 2010. – С. 601–611.

2. Материалы компании NVE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.nve.com

3. Материалы компании MicroMagnetics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.micromagnetics.com

4. Абанин И.Е. Исследование спин-туннельных магниторезистивных наноструктур с барьерным слоем из оксида магния (MgO), полученных масочным методом / И.Е. Абанин, В.В. Амеличев, П.А. Беляков, Д.В. Васильев [и др.] // Нано- и микросистемная техника. – 2015. – №4. – С. 10–14.

5. Амеличев В.В. Профилированный магниторезистивный микрочип биосенсорного устройства регистрации магнитных меток / В.В. Амеличев, Р.О. Гаврилов, И.А. Решетников, С.И. Касаткин [и др.] // Нано- и микросистемная техника. – 2011. – №12. – С. 52–54.