

НАНОФИЗИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

**Труды XXIV Международного
симпозиума**

10–13 марта 2020 г., Нижний Новгород

Том 1

Секции 1, 2, 4

Нижний Новгород
Издательство Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского
2020

Концепция спинтронного мемристора на базе системы взаимосвязанных спин-орбитальных гетероструктур с управляемым количеством промежуточных резистивных состояний

Г.Д. Демин^{1,*}, П.А. Степанов¹, Н.А. Дюжев¹

¹ Национальный исследовательский университет «МИЭТ», пл. Шокина, 1, Москва, Зеленоград, 124498.

*demin@ckp-miet.ru

В работе предложена концепция мемристора на основе системы взаимосвязанных спин-орбитальных гетероструктур типа «тяжелый металл - магнитный туннельный переход», а также способ управления количеством его резистивных состояний путем создания выемок на краях ферромагнитного слоя с доменной конфигурацией. Расчет показывает, что в такой структуре мемристора удастся получить устойчивый набор дискретных уровней при пониженном энергопотреблении, затрачиваемом на переключение между ними.

Введение

В настоящее время в связи с опережающим развитием информационных технологий, направленных на обработку больших объемов данных и реализацию трудоемких вычислительных процессов, возникает острая необходимость в создании новых типов компьютерных архитектур, отличных от традиционной архитектуры фон Неймана [1]. Современные компьютерные системы для решения вышеперечисленных задач требуют серьезных временных и производственных ресурсов вследствие последовательной передачи данных между процессором и памятью, что существенно снижает эффективность вычислений. Одним из перспективных решений представляется разработка маломощных нейроморфных архитектур на основе магниторезистивных устройств спинтроники, где память и процессор работают в одном блоке, что позволяет эффективно имитировать функциональность биологической нейронной сети. Ключевым элементом таких спинтронных нейронных систем является мультirezистивный мемристор на основе магнитного туннельного перехода (МТП), меняющий свое сопротивление с величиной протекающего тока, что позволяет его использовать в качестве искусственного синапса. Ранее в работе [2] было экспериментально продемонстрировано, что структура МТП с мультидоменным свободным ферромагнитным слоем позволяет реализовать до 15-20 промежуточных резистивных состояний. Данный результат достигается благодаря магниторезистивному

эффекту изменения сопротивления МТП в процессе поэтапного перемещения доменной границы в свободном ферромагнитном слое под действием спин-поляризованного тока. Тем не менее, до сих пор отсутствует ясное представление о способах фиксации и управления количеством состояний магнитного синапса на основе МТП. Случайный процесс закрепления доменной границы на дефектах свободного ферромагнитного слоя приводит к неконтролируемому разбросу количества резистивных уровней в различных образцах МТП и их невозпроизводимости. Тем самым параметрами магнитных синапсов на основе МТП сложно управлять, что становится серьезным барьером на пути практического применения таких устройств в задачах нейроморфных вычислений. Также актуальной задачей является снижение пороговых токов переключения резистивных уровней спинтронного мемристора, что представляется возможным посредством применения спин-орбитальных гетероструктур [3].

Модель спинтронного мемристора на основе спин-орбитальных гетероструктур

Для решения указанных выше проблем нами предлагается концепция спинтронного мемристора, принцип действия которого основан на устойчивом переключении сопротивления спин-орбитальной гетероструктуры типа «тяжелый металл - МТП» в процессе последовательного токового смещения

топологических магнитных дефектов (доменных границ или магнитных скирмионов) между пиннигующими центрами (симметричными выемками треугольной формы) ферромагнитного слоя под действием передачи спин-орбитального вращательного момента (рисунок 1а). Данный подход не рассматривался ранее и, по сравнению с другими концепциями мемристоров, обеспечивает устойчивое управление количеством резистивных уровней синаптического элемента. Микромагнитный расчёт показывает, что при изменении протекающего вдоль гетероструктуры спин-поляризованного тока можно получить набор устойчивых петель гистерезиса сопротивления МТП как функцию от напряжения через туннельный барьер, что проиллюстрировано на рисунке 1б.

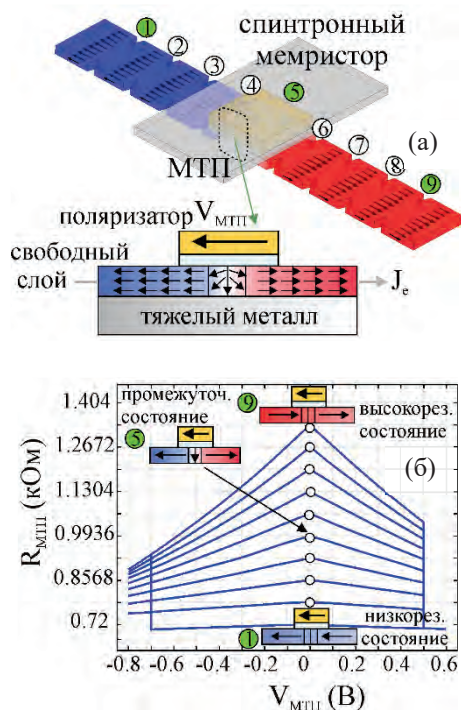


Рис. 1. (а) Схематический рисунок спинтронного мемристора на основе спин-орбитальной гетероструктуры «тяжелый металл-МТП» с периодическими треугольными выемками в свободном ферромагнитном слое. (б) Набор гистерезисных петель переключения сопротивления МТП при перемещении доменной границы между выемками под действием токовых импульсов различной амплитуды

Однако для получения заметного различия между резистивными состояниями следует объединить спин-орбитальные гетероструктуры в единую систему, как показано на рисунке 2, где отдельные МТП расположены на выемках свободного ферромагнитного слоя, что позволяет рассматривать общее сопротивление системы как набор сопротивле-

ний взаимосвязанных между собой МТП на шине тяжелого металла.

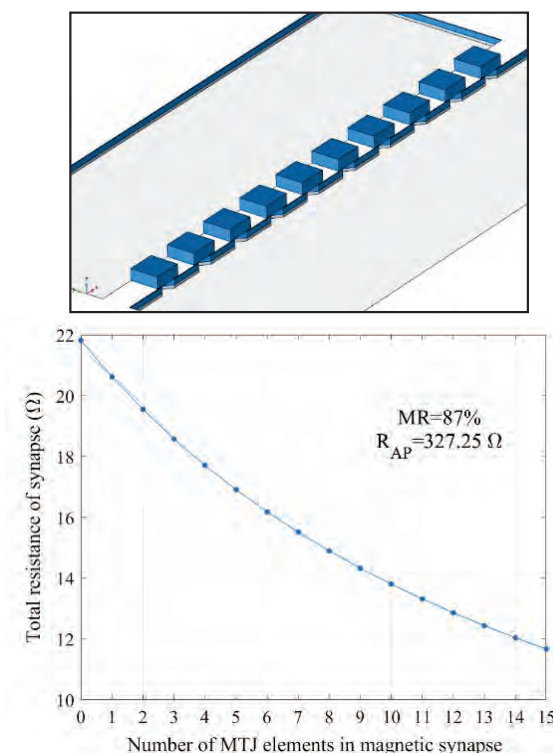


Рис. 2. Изменение сопротивления спинтронного мемристора на базе системы взаимосвязанных спин-орбитальных гетероструктур

Моделирование показывает, что в результате перемещения доменной границы сопротивление системы будет линейно уменьшаться с количеством магниторезистивных элементов (МТП), переключенных из высокорезистивного в низкорезистивное состояние, в результате чего можно успешно идентифицировать дискретный набор уровней спинтронного мемристора.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента РФ (No. 075-15-2019-1139) с использованием оборудования ЦКП "Микросистемная техника и электронная компонентная база", поддержанного Минобрнауки России.

Литература

1. M.A. Zidan *et al.* // Nat. Electron., V. 1, 22 (2018).
2. S. Lequeux *et al.* // Sci. Rep., V. 6, 31510 (2016).
3. S. Zhang *et al.* // Adv. Electron., V. 5, 201800782 (2019).