

ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ СПИНТРОНИКА

Артемяев В.В., Дах А.О.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Бычек И.В. – канд. техн. наук, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Проанализирована технология спинтронных устройств. Выделены преимущества спинтроники. Рассмотрены наиболее известные способы применения спинтроники.

Ключевые слова: спинтроника, спин, полупроводники, магнетизм, энергонезависимая память, информационная безопасность

Введение. Спинтроника – будущее информационных технологий – использует квантовое свойство электронов для хранения, обработки и передачи информации, что дает такие преимущества, как более высокая скорость и меньшее потребление энергии по сравнению с традиционной электроникой. В устройствах спинтроники, в отличие от устройств обычной электроники, энергию или информацию переносит не электрический ток, а ток спинов [1].

Основная часть. Магнитным спином обладают не только электроны, но и некоторые другие элементарные частицы, а также ядра атомов. В наше время спинтроника изучает магнитные и магнитооптические взаимодействия в полупроводниковых структурах, динамику и когерентные свойства спинов в конденсированных средах, а также квантовые магнитные явления в структурах нанометрового размера. Наряду с ранее известными магнетиками по мере развития спинтроники появились магнитные полупроводники – вещества, которые одновременно могут быть магнитами, полупроводниками и оптическими средами.

Одной из серьезных проблем в создании приборов спинтроники является спиновая поляризация. Поскольку электроника, используемая сегодня, работает при комнатной температуре и выше, серьезной проблемой в развитии спинтроники было то, что электроны имеют тенденцию переключать и случайным образом изменять направление своего спина при повышении температуры. Это означает, что информация, закодированная в электронных спиновых состояниях, теряется или становится неоднозначной. Таким образом, необходимым условием для развития спинтроники на основе полупроводников является то, что можно установить практически все электроны в одно и то же спиновое состояние и поддерживать его при комнатной и более высоких температурах. Предыдущие исследования позволили достичь максимальной спиновой поляризации электронов около 60 % при комнатной температуре [2].

Для создания приборов спинтроники используется большое количество различных материалов и явлений: полупроводники, ферромагнетики, гетероструктуры и т. д. [3-5]. Полупроводник – материал, по удельной проводимости занимающий промежуточное место между проводниками и диэлектриками, и отличающийся от проводников сильной зависимостью удельной проводимости от концентрации примесей, температуры и воздействия различных видов излучения. Основным свойством полупроводников является увеличение электрической проводимости с ростом температуры. Ферромагнетики – материалы, у которых магнитные моменты атомов различных подрешеток ориентируются антипараллельно, как и в антиферромагнетиках, но моменты различных подрешеток не равны, и, тем самым, результирующий момент не равен нулю. Ферромагнетики характеризуются спонтанной намагниченностью. Гетероструктура – термин в физике полупроводников, обозначающий выращенную на подложке слоистую структуру из различных полупроводников, в общем случае отличающихся шириной запрещенной зоны. Между двумя различными материалами формируется так называемый гетеропереход. Создание систем металл/полупроводник для приборов спинтроники и оптоэлектроники требует формирования совершенной границы раздела, содержащей минимальное количество дефектов, поскольку однородность и степень кристаллического упорядочения ферромагнитных и

полупроводниковых слоев вблизи гетерограницы оказывают существенное влияние на характеристики приборных структур.

Спинтроника используется в различных отраслях техники. Компания *Motorola* выпустила первые коммерчески доступные микросхемы магниторезистивной памяти произвольного доступа (*MRAM* – magnetic random access memory). Компания *Samsung* также ведет разработки в этом направлении. Энергонезависимость качественно отличает спинтронные устройства от полупроводниковых устройств – оперативной памяти (*DRAM*) и кеша (*SRAM*). Главный недостаток динамической оперативной памяти *DRAM* – энергозависимость. Но если использовать технологию спинтроники – модуль памяти на переносе спина *STT-MRAM*, то записанная в магниторезистивных ячейках информация сохранится в магнитном состоянии запоминающего элемента [6].

Спинтроника развивается в сфере информационной безопасности. Компания *Crocus Technology* запатентовала технологию *MLU* производства ключей и чипов для защиты банковских карт. Новшество состоит в кодировке информации с применением устройств на основе системы магниторезистивных туннельных структур, что позволяет каждый раз создавать уникальную последовательность чисел для конкретного пользователя при прохождении идентификации и получении доступа к карте. Одно из перспективных научных направлений в области искусственного интеллекта – машинное зрение. Прогресс в этом направлении позволит производить быстрый анализ и обработку визуальной информации для решения прикладных задач в робототехнике, системах виртуальной реальности, систематизации и сортировке рукописных данных, анализе медицинских изображений, распознавании текста.

Заключение. Устройства, созданные на основе спинтроники, обещают решить многие проблемы традиционной микроэлектроники: энергонезависимость, уменьшение энергопотребления, увеличение плотности логических элементов и скорости обработки данных.

Список литературы

1. Спинтроника – новое направление в электронике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pandia.ru/text/78/409/84623.php>. – Дата доступа: 12.12.2021.
2. Возможности для практической полупроводниковой спинтроники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ko.com.ua/vozmozhnosti_dlya_prakticheskoy_poluprovodnikovoj_spintroniki_137246. – Дата доступа: 12.12.2021.
3. Полупроводник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Полупроводник>. – Дата доступа: 12.12.2021.
4. Ферримагнетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ферримагнетики>. – Дата доступа: 12.12.2021.
5. Гетероструктура [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Гетероструктура>. – Дата доступа: 12.12.2021.
6. Спинтроника: почему компьютеры будут работать быстрее [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://postnauka.ru/longreads/154793>. – Дата доступа: 12.12.2021.

UDC 621. 382

SEMICONDUCTOR SPINTRONICS

Artemev V.V., Dakh A.O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Bychek I.V. – PhD, associate professor of the department of ETT

Annotation. The technology of spintronic devices is analyzed. The advantages of spintronics are highlighted. The most known ways of using spintronics are considered.

Keywords: spintronics, spin, semiconductors, magnetism, nonvolatile memory, information security