

MRAM: универсальная память с большими возможностями

Рассказывает директор по маркетингу компании Everspin Technologies Дж. Фруэ



Многим приложениям с повышенными требованиями к надежности хранения данных нужна более долговечная, быстрая и эффективная память, превосходящая широко распространенную флеш-память или EEPROM. Одна из технологий, которая рассматривается в качестве альтернативы традиционным решениям, – магниторезистивная память, потенциально способная заменить большую часть существующих видов памяти. Она успешно сочетает преимущества энергонезависимой и оперативной памяти. Everspin Technologies – первый в мире массовый производитель магниторезистивной памяти с произвольным доступом (MRAM) – остается лидером в отрасли, несмотря на активные исследования этой технологии такими крупными компаниями, как IBM и Samsung. На выставке Embedded World 2018 директор по маркетингу компании Everspin Technologies Джон Фруэ (John Fruehe) рассказал нам о преимуществах технологии MRAM, особенностях продуктовой линейки компании, ключевых приложениях и перспективах магниторезистивной памяти.

Магниторезистивная память компании Everspin представляет собой память с произвольным доступом (MRAM), которая хранит информацию при помощи магнитных моментов, а не электрических зарядов. Использование магнитных состояний для хранения данных обусловлено двумя основными преимуществами. Первое – магнитная поляризация не исчезает со временем, в отличие от утечки электрических зарядов, поэтому информация хранится даже при отключении питания. Второе – переключение магнитной поляризации между двумя состояниями не связано с движением электронов или атомов, поэтому на сегодня неизвестны механизмы износа памяти.

Ячейки памяти MRAM от Everspin содержат управляющий транзистор и магнитный туннельный переход (Magnetic Tunnel Junction – MTJ) в качестве запоминающего элемента. MTJ состоит из тонкого (порядка 1 нм) диэлектрического слоя, помещенного между двумя магнитными слоями, один из которых (так называемый свободный) может изменять свою полярность, а полярность

другого (фиксированного) неизменна. Когда на MTJ подается смещение, электроны поляризуются магнитным слоем и пересекают диэлектрический барьер благодаря процессу туннелирования. При этом для MTJ характерно малое сопротивление, когда магнитный момент свободного слоя направлен параллельно магнитному моменту фиксированного слоя, и высокое – когда магнитный момент свободного слоя направлен противоположно магнитному моменту фиксированного слоя. Такие изменения сопротивления, вызванные магнитным состоянием устройства, известны как магниторезистивный эффект. Низкое или высокое сопротивление MTJ-элемента определяет, как будет прочитано содержимое ячейки: «0» или «1».

Важнейшие преимущества MRAM от Everspin – высокая скорость записи/чтения (сравнимая с RAM и превышающая флеш-память в 500 раз), длительное хранение данных (более 20 лет при температуре до 125 °C), неограниченное число циклов перезаписи, широкий температурный диапазон. Кроме того, магнитные

запоминающие элементы MRAM легко интегрируются в стандартный КМОП-процесс.

Первое поколение MRAM, основанное на полевом переключении MTJ (Toggle MRAM), компания Everspin производит уже на протяжении почти девяти лет. Сегодня в продуктовой линейке Toggle MRAM – микросхемы с параллельным и последовательным интерфейсом емкостью от 128 Кбит до 16 Мбит, которые выпускаются по технологическим нормам 180 нм и 130 нм. Параллельные MRAM (8- или 16-разрядные) имеют время чтения/записи на уровне 35/45 нс и асинхронный интерфейс, применяемый в стандартных SRAM. Последовательные MRAM оснащены SPI-интерфейсом (аналогичный используется в обычной флеш-памяти или EEPROM), работают на частоте 40 МГц. Микросхемы MRAM поставляются в корпусах типа TSOP и BGA, которые по выводам и сигналам совместимы с памятью типа EEPROM, SRAM и флеш-памятью других производителей. Последовательные MRAM предлагаются в компактных корпусах типа DFN с уменьшенным профилем. Рабочий диапазон температур этих микросхем от –40 до 125 °С.

Стоит отметить, что MRAM компании Everspin отличаются высокой радиационной стойкостью: выдерживают воздействие ионизирующего излучения на уровне 75 крад и устойчивы к «защелкиванию» из-за потока тяжелых заряженных частиц с энергией 84 МэВ·см²/мг.

Технология MRAM нечувствительна к нейтронам и альфа-частицам, поэтому интенсивность случайных сбоев этих микросхем более чем на два порядка меньше по сравнению с другими типами энергонезависимой памяти. Благодаря этому наша память – надежное решение для многих космических приложений.

Стойкость MRAM от Everspin к магнитному полю соответствует требованиям стандарта IEC-61000-4-8, регламентирующего минимальное значение напряженности поля в 1000 А/м.

Несмотря на очевидные преимущества памяти Toggle MRAM, для них характерно ограничение по масштабированию технологического процесса – перейти на проектные нормы менее 100 нм невозможно, поэтому максимальная емкость чипов не превышает 16 Мбит.

Для преодоления этого ограничения мы разработали новое поколение MRAM – STT-MRAM. В этих устройствах для записи битов используется технология переноса спинового момента (spin-torque transfer – STT) электронами с определенным состоянием спина (так называемые поляризованные электроны). При прохождении через ферромагнитный слой электроны изменяют собственный магнитный момент слоя и переориентируют его намагниченность. Такой способ позволяет значительно уменьшить по сравнению с Torque MRAM энергию переключения, необходимую для записи битов в ячейку

памяти, что расширяет возможности масштабирования. С помощью технологии STT-MRAM можно создавать память повышенной емкости на основе техпроцессов 65, 40 нм и менее.

Первые образцы STT-MRAM емкостью 64 Мбит мы разработали в 2012 году. Эти чипы функционально совместимы со стандартным DDR3-интерфейсом, на их основе был изготовлен DDR3-модуль общей емкостью 64 Мбайт.

Для дальнейшего развития технологии STT-MRAM компания Everspin разработала модифицированный вариант MTJ, который получил название перпендикулярный MTJ (pMTJ). В них магнитные моменты ориентированы перпендикулярно подложке. По сравнению с ячейками памяти на основе плоскостных MTJ (in-plane MTJ), которые использовались в первых образцах Toggle MRAM и STT-MRAM, перпендикулярные MTJ требуют меньшей энергии записи, что позволило уменьшить размеры ячейки, снизить потребление и открыло еще большие возможности для масштабирования и снижения стоимости микросхем.

В 2016 году компания Everspin представила первые образцы STT-MRAM емкостью 256 Мбит на основе pMTJ, с конца 2017 года эти микросхемы выпускаются серийно. Их интерфейс ST-DDR3 совместим со стандартным интерфейсом DDR3-памяти. Микросхемы, изготовленные по 40-нм технологии, работают, как обычные DRAM, но обладают всеми преимуществами магниторезистивной памяти (энергонезависимость, высокая надежность, длительный срок хранения информации) и не требуют специальных циклов восстановления заряда в ячейках памяти.

Успехи в развитии технологии STT-MRAM позволили нам разработать и представить в 2017 году опытные образцы STT-MRAM на основе pMTJ емкостью 1 Гбит. Микросхема, оснащенная DDR4-совместимым интерфейсом, производится по 28-нм процессу на 300-мм пластинах в сотрудничестве с контрактным производителем чипов Global Foundries. Планируем к концу текущего

года наладить серийное производство этих чипов. В наших планах также разработка STT-MRAM с последовательным интерфейсом для широкого спектра встраиваемых приложений.

По мере развития технологии MRAM открываются широкие перспективы для ее применения в самых разных областях – в первую очередь в аэрокосмической, автомобильной, финансовом и промышленном секторе, оборонной промышленности и сегменте корпоративных систем хранения данных. Сегодня MRAM от Everspin находит применение в сферах, требующих быстрого и гарантированного сохранения информации при любых воздействиях. Чем в большей степени система или приложение подвержены влиянию внезапной потери данных, тем выше ценность MRAM. Например, в автомобильных навигационных системах или в системах управления космическим аппаратом, где нужно обеспечить постоянную регистрацию данных, последствия потери данных могут быть катастрофическими. Использование MRAM в RAID-хранилищах данных обеспечивает сохранность записей системных журналов и информации, записанной в кэше, при любых сбоях в системе электропитания.

Поскольку реализация структуры MTJ в стандартном КМОП-процессе производится между операциями формирования двух последних слоев металлизации, интеграция MRAM в КМОП-схемы не требует изменения последовательности КМОП-процесса. Это очень удобно для встраиваемых решений, таких как процессор, микроконтроллер или система-на-кристалле. В перспективе эта память способна заменить в этих устройствах встроенную флеш-память, EPROM и даже SRAM. Интегрирование MRAM в СнК повышает гибкость в разделении встроенной памяти между программами и данными в зависимости от требований приложения. При этом программы и данные могут динамически и с высокой скоростью обновляться в условиях эксплуатации конечного устройства. Для поддержки разработчиков встраиваемых решений Everspin предлагает заказные IP-блоки MRAM и логики управления памятью. Дальнейшая оптимизация технологии и универсальный характер MRAM позволят сократить количество типов применяемой в устройствах памяти, обеспечив эффективную альтернативу флеш-памяти, DRAM и SRAM.

На российском рынке компания Everspin присутствует достаточно длительное время. Наши заказчики используют MRAM от Everspin в интеллектуальных счетчиках, измерителях мощности и других промышленных приложениях. Текущая рыночная ситуация не повлияла на наш бизнес в России. Официальным дистрибьютором Everspin в стране является компания «Макро Групп», с которой мы поддерживаем взаимовыгодные и прочные отношения.

Материал подготовлен Ю. Ковалевским

