

# МАГНИТОРЕЗИСТИВНАЯ ПАМЯТЬ ПРОИЗВОДИТЕЛИ СТРЕМЯТСЯ ВЫПОЛНИТЬ ОБЕЩАНИЯ

М. Гольцова

Расширение возможностей портативных бытовых электронных устройств, например воспроизведение видеоинформации в реальном времени, приводит к росту потребности в энергонезависимой быстродействующей памяти большой емкости и с малой удельной стоимостью в пересчете на единицу хранимой информации. Один из самых многообещающих новых типов памяти – магниторезистивное, или магнитное, ОЗУ (Magnetoresistive RAM – MRAM), сочетающее лучшие характеристики трех основных видов полупроводниковой памяти: плотность упаковки ДОЗУ, быстродействие СОЗУ и энергонезависимость флэш-памяти. В начале века появилось множество сообщений, согласно которым MRAM смогут появиться на рынке памяти уже в 2004 году. Эти прогнозы полностью не оправдались. Тем не менее, по крайней мере две компании – Freescale Semiconductor (бывший сектор полупроводниковых изделий компании Motorola) и Infineon – объявили о начале опытных поставок магнитных ОЗУ. Не отстать от них стремятся и компания Cypress.

По мнению руководителя работ в области MRAM-технологии компании Freescale С.Техрани, сегодня ни один тип полупроводниковой памяти не отвечает всем требованиям, предъявляемым к встраиваемой памяти системы-на-кристалле (высокие плотность упаковки и быстродействие, неограниченный срок службы, энергонезависимость, малая потребляемая мощность и малые издержки производства). К тому же, в ближайшем будущем все отлаженные технологии столкнутся с проблемами, возникающими при масштабировании, – от достижения предельной минимальной площади, занимаемой конденсатором в ДОЗУ, до невозможности снижения напряжения программирования флэш-памяти. Решить все эти проблемы, по утверждению Техрани, смогут магниторезистивные, или магнитные, памяти.

В магнитной памяти состояние базовой ячейки определяется магнитным моментом, а не электронным зарядом, как в традиционных полупроводниковых запоминающих устройствах\*. Для изготовления памяти этого типа пригодны материалы, используемые в магнитных накопителях. Кроме того, ее технология совместима с процессами формирования КМОП-микросхем, что позволяет снизить стоимость многокристалльных устройств. Магнитная память универсальна и может заменить на одном чипе схемы ЗУ нескольких типов, позволяя повысить бы-

стродействие, уменьшить потребляемую мощность и снизить стоимость будущих поколений устройств беспроводной связи. MRAM, в сравнении с флэш-памятью, имеет лучшие характеристики записи, поскольку при программировании не требуется высокое напряжение. К тому же память такого типа не нуждается в обновлении данных, как ДОЗУ. Все это говорит о том, что магнитная память весьма перспективна для применения в портативных электронных устройствах с батарейным питанием. И еще одно достоинство MRAM – возможность "мгновенного включения".

Сейчас основные усилия разработчиков направлены на уменьшение энергии, требуемой для записи данных, и на поиск способов изоляции соседних ячеек памяти с тем, чтобы исключить взаимодействие их магнитных моментов и разрушение хранимых данных.

Первой о создании схемы магнитной памяти емкостью 1 Мбит со значениями циклов записи/считывания менее 50 нс, выполненной по 0,6-мкм технологии, сообщила на симпозиуме по СБИС в середине 2002 года компания Motorola. В 2003 году компания Freescale Semiconductor начала поставки опытных образцов усовершенствованной схемы, интегрированной с КМОП-элементами с медной металлизацией. В том же 2003 году Motorola уже поставляла ограниченному числу заказчиков опытные образцы 4-Мбит MRAM.

В сентябре 2004-го Freescale Semiconductor объявила о создании стандартной 4-Мбит асинхронной магниторезистивной памяти типа MR2A16A с организацией 262144x16 бит. Эта компания, владеющая более чем 70 патентами на такой тип памяти, сумела решить три основные проблемы, препятствующие реализации промышленных образцов микросхем на базе ячеек с одним управляющим транзистором и одним магнитным туннельным переходом (1Т/1МТ). Во-первых, была обеспечена селективность записи, благодаря чему данные могут быть записаны в любую ячейку памяти без нарушения данных,

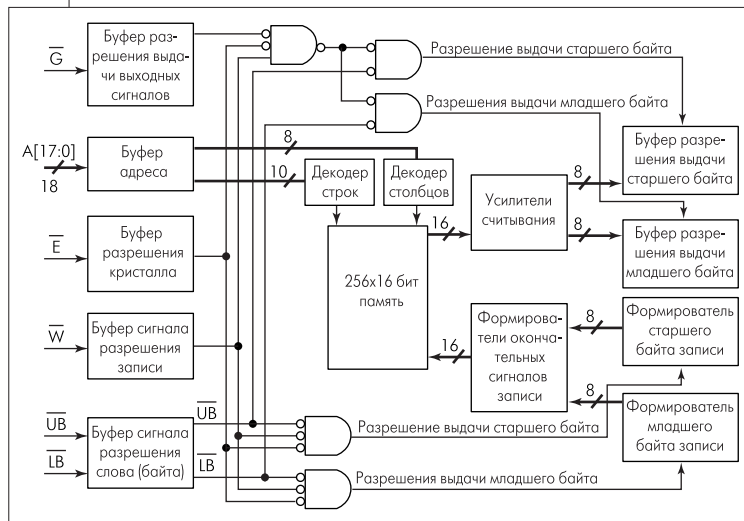
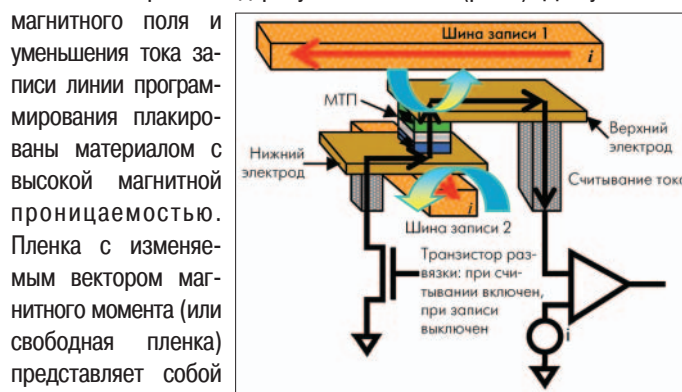


Рис. 1. Блок-схема MRAM-памяти типа MR2A16A



хранимых в других ячейках. Во-вторых, была существенно увеличена длительность хранения данных. И, в-третьих, разработчикам удалось значительно уменьшить размеры памяти.

В 4-Мбит магнитной памяти предусмотрены выводы разрешения кристалла, разрешения записи и разрешения вывода данных (рис. 1), что значительно улучшает гибкость проектирования системы без возникновения конфликтных ситуаций при обращении к шине. Благодаря отдельным выводам управления разрешением записи/считывания байта – LB и UB – возможны запись и считывание отдельных слов. Новая MRAM, выполненная с 0,18-мкм топологическими нормами и с пятислойной металлизацией, как и схема предыдущего поколения, имеет 1Т/1МДТ-ячейку памяти. Площадь ячейки – 1,55 мкм<sup>2</sup>. Она содержит: проходной транзистор; магнитный туннельный переход; нижний и верхний электроды считывания, изолированные от шины записи с целью уменьшения паразитных параметров и улучшения быстродействия; две линии программирования, перпендикулярные плоскости кристалла и физически отделенные от туннельного перехода, что позволяет сократить задержку сигнала в них (рис. 2). Для усиления магнитного поля и уменьшения тока записи линии программирования плакированы материалом с высокой магнитной проницаемостью. Пленка с изменяемым вектором магнитного момента (или свободная пленка) представляет собой многослойный синтетический антиферромагнетик (САФ), состоящий из ферромагнитных слоев с примерно идентичными магнитными моментами, разделенных связующим промежуточным слоем с противоположно направленным параллельным магнитным вектором. Направление намагниченности нижнего ферромагнитного слоя по отношению к слою с фиксированным вектором магнитного поля определяет сопротивление ячейки и, следовательно, прохождение туннельного тока (логический 0) или его отсутствие (логическая 1). При приложении магнитного поля в такой структуре формируются два магнитных момента, векторы которых находятся под углом друг к другу. Вектор магнитного момента ячейки памяти направлен под углом 45° к шинам программирования. Чтобы использовать такую необычную реакцию на приложенное магнитное поле, на ячейку подается последовательность двухфазных импульсов программирования, изменяющих вектор магнитного момента САФ-пленки на 180° и тем самым переключающих ее сопротивление. Благодаря присущей последовательности импульсов программирования симметрии, ячейка переключается независимо от своего состояния до программирования. Поэтому для определения ячейки, в которую можно записать данные, необходимо выполнять операцию предварительно считывания. Таким образом, в новой схеме MRAM-памяти для переключения сопротивления ячейки недостаточно тока одной шины программирования. Это существенно улучшает селективность записи/считывания по сравнению с предыдущими схемами.



**Рис. 2. Структура ячейки MRAM-памяти**

Время выборки схемы – 25 нс, напряжение питания схемы памяти – 3,3 В, диапазон рабочих температур – 0...70°C. Шина данных обеспечивает выбор 8- и 16-бит данных. В схеме предусмотрена автоматическая защита данных с помощью низковольтной схемы запрета, предотвращающей запись при отключении питания. Все входы и

выходы схемы совместимы с уровнем сигналов ТТЛ-микросхем. Схема магнитной памяти работает в полностью статическом режиме. Продолжительность хранения данных энергонезависимой памяти – 10 лет. Монтируется схема MRAM-памяти в 44-выводной малогабаритный корпус TSOP-типа с присущей микросхемам СОЗУ стандартной промышленной разводкой выводов питания и заземления. Сейчас компания разрабатывает микросхемы, выполняемые по 90-нм технологии, и уже проводит испытания контрольных приборов.

Производство стандартных MRAM-микросхем компания Freescale намерена начать в 2005 году. Кроме того, планируется выпускать варианты встраиваемых 4-Мбит MRAM для систем-на-кристалле.

Технологию компании Motorola лицензировала фирма Honeywell, которая намерена использовать ее совместно со своей КНИ-технологией изготовления радиационно стойких микросхем для систем космического и военного назначения.

Основной конкурент Freescale – компания Infineon, которая совместно с IBM на престижном симпозиуме по СБИС, проходившем на Гавайях, сообщила о создании первой микросхемы магнитной памяти объемом 16 Мбит. Схема, так же как и память компании Freescale, выполнена по 0,18-мкм технологии. Площадь ее 1Т/1МДТ-ячейки с тремя металлическими слоями (заземления, шины слов и разрядной шины) равна всего 1,42 мкм<sup>2</sup> (правда, пока площадь кристалла составляет 79 мм<sup>2</sup>). Схема содержит СОЗУ-подобный интерфейс, которому отдается предпочтение в мобильных и портативных устройствах и который, к тому же, пригоден для реализации встроенных MRAM. При объединении магнитной памяти с КМОП-схемой необходимо нанести всего три дополнительных специальных слоя, требуемых для формирования ячеек памяти. В схеме использован новый формирователь начальной загрузки, а также ряд конструктивных средств, способствующих снижению тока в режиме хранения.

Схема памяти разделена на две матрицы емкостью 8 Мбит каждая, содержащих по 64 блока емкостью 128 Кбит. В каждый блок памяти помимо ячеек памяти входят и необходимые схемы обработки данных. Значения времени записи и считывания памяти составляют 30–40 нс, что позволит ей успешно конкурировать с ДОЗУ.

Работы по созданию схем магнитной памяти Infineon ведет совместно с компанией IBM с 2000 года, а в разработке новой 16-Мбит MRAM участвовали специалисты расположенной во Франции фирмы Altis, образованной Infineon и IBM. Правда, пока, по заявлению разработчиков, о массовом производстве MRAM-микросхемы речь не идет. Прежде всего компания намерена уменьшить площадь кристалла, занимаемую схемой, а также освоить 0,13-мкм технологию изготовления памяти с тем, чтобы начать выпуск микросхем емкостью 128М- или 256-Мбит, сопоставимых по объему с современными полупроводниковыми ЗУ. Время появления такой MRAM не указывается.

В стремлении принять участие в гонках на рынке энергонезависимой памяти компания Cypress Semiconductor в середине 2004 года опубликовала технические данные первых двух схем семейства магнитной памяти. Это микросхема CY9C6264 – 64-Кбит MRAM с организацией 8Кх8 бит – и CY9C62256 – 256-Кбит память с организацией 32Кх8 бит. По утверждению разработчиков, обе схемы полностью функционально сопоставимы с микромощными СОЗУ аналогичной емкости. Значения времени записи и считывания составляет 70 нс, напряжение питания 4,5–5,5 В. Максимальная мощность, потребляемая в рабочем режиме, – 330 мВт, максимальная мощность в режиме хранения – 495 мВт. Допустимое число циклов записи превышает 10<sup>15</sup>, срок хранения данных – 10 лет. В обеих схемах памяти предусмотрена защита от воздействия внешних магнитных полей, а также дополнительные 64 бита идентификации и учета. Диапазон рабочих температур –40...85 °С. Монтируются в 28-выводные DIP-, SOIC- и TSOP-корпуса. ○