

Разработки магнитной памяти на эффекте переключения спинового момента электрона

Ключевые слова: долговечность, магнитная память, перпендикулярный магнитный туннельный переход, специализированные ИС, спиновый момент электрона, энергетический барьер.

Корпорация Spin Transfer Technologies, разработчик передовых STT-MRAM¹⁰, в качестве альтернативы встраиваемым СОЗУ и автономным ДОЗУ представила структуру Precessional Spin Current (PSCTM). Результаты предварительного испытания подтверждают увеличение эффективности момента вращения спина любого MRAM на 40–70%, что обеспечивает более длительное хранение данных при меньшей потребляемой мощности. Предполагается, что улучшенные MRAM смогут заменить СОЗУ и ДОЗУ в таких применениях, как мобильные приборы, средства искусственного интеллекта, центры хранения и обработки данных, высокотемпературные автомобильные применения.

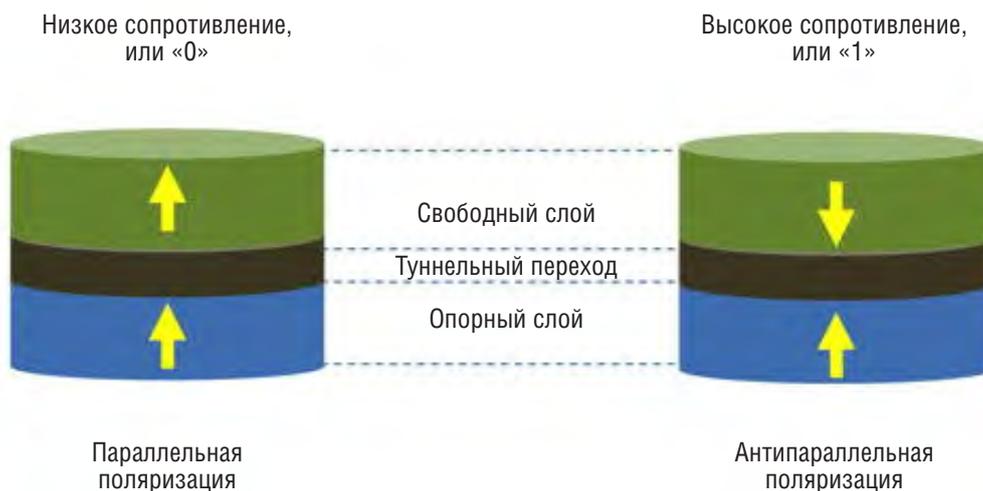
Эффективность переключения спинового момента – один из основных показателей эффективности работы перпендикулярного магнитного туннельного перехода (pMTJ – «бита», хранящего состояние памяти в магнитном ОЗУ) (см. рисунок). Она определяется отношением между тепловым барьером, определяющим, как долго данные могут надежно храниться в памяти, и током переключения, необходимым для изменения значения бита. В предыдущих реализациях MRAM повышение энергетического барьера для увеличения времени сохранения данных требовало пропорционального увеличения тока записи, что приводило к росту энергопотребления и гораздо более быстрому износу приборов на перпендикулярных магнитных туннельных переходах.

Структура PSC представляет собой прорывное решение – она эффективно отделяет статический потенциальный ба-

рьер, определяющий сохранность данных, от динамических процессов переключения, которые управляют током переключения. В результате при добавлении PSC-структуры к любому перпендикулярному магнитному туннельному переходу достигаются следующие преимущества:

- увеличенный энергетический барьер не позволяет току протекать сквозь него, что делает возможным сохранение данных на протяжении длительных периодов;
- увеличенная спиновая поляризация при прохождении тока через прибор и записи нового состояния идеальна для минимизации тока переключения и продления срока службы прибора на несколько порядков.

Структура PSC с самого начала разрабатывалась как модульная и изго-



Источник: Spin Transfer Technologies

Перпендикулярный магнитный туннельный переход

тавливаемая с любым перпендикулярным магнитным туннельным переходом (рMTJ). Она формируется во время процесса осаждения этого перехода и увеличивает высоту этажерки рMTJ примерно на 4 нм. Совместимость с широким диапазоном стандартных производственных процессов изготовления MRAM, материалами и комплектами инструментальных средств позволяет любому кремниевому заводу¹¹ легко включать PSC-структуры в существующие этажерки рMTJ без существенного увеличения сложности или издержек производства.

MRAM привлекает большое внимание в качестве встраиваемой памяти для специализированных ИС (ASIC) и микроконтроллеров, однако предметом озабоченности разработчиков были вопросы тока записи и сохранности данных. Новая PSC-структура фирмы Spin Transfer Technologies демонстрирует потенциал разрешения достаточно разнообразных проблем и открывает для MRAM возможность занять значительную долю рынка схем встраиваемой памяти. Тестирование PSC-структуры включало сопоставление производительности одних и тех же рMTJ-приборов с PSC и без нее на большом числе тестовых КМОП-микросхем при различных температурах и диаметрах приборов. Тесты показа-

ли значительные преимущества PSC-структур, в частности:

- увеличение эффективности момента спина до 70%;
- выигрыш в эффективности в широком диапазоне размеров (40–60 нм) и температур (30–125 °С);
- увеличение тепловых энергетических барьеров на 50%, что соответствует увеличению длительности времени хранения данных более чем на четыре порядка при уменьшении тока переключения;
- уменьшение частоты ошибок считывания до пяти порядков.

Эти преимущества достигаются без ухудшения других характеристик. Иными словами, PSC-структуры демонстрируют значительный потенциал для обеспечения работы приложений с высоким быстродействием, высокотемпературных автомобильных и других применений. Кроме того, поскольку эффективность PSC-структур позволяет уменьшать рMTJ, открываются возможности для создания встраиваемых СОЗУ на новейших топологических поколениях (7 и 5 нм).

Существует огромный спрос на память с долговечностью СОЗУ, но с более

МНЕНИЕ ЭКСПЕРТА



Магнитная память (MRAM) обладает одним важным достоинством – для нее заявлен практически бесконечный ресурс циклов переключения. К тому же это довольно быстрая память с перспективой достижения достаточно большой плотности (магнитная память с эффектом переключения спинового момента электрона STT-MRAM). Вследствие этого MRAM рассматривается как перспективный кандидат на роль «идеальной памяти», в частности для замены динамической.

Основным ограничением в производстве MRAM и STT-MRAM была и остается высокая стоимость: MRAM в 1000 раз дороже flash

и в 10000 раз дороже жестких дисков. Это объясняется технологической сложностью производства STT-MRAM, обусловленной использованием в MTJ-стеке большого числа экзотических для КМОП-технологии материалов. Кроме того, недостатком магниторезистивной памяти являются высокие токи записи, ограничивающие возможность применения данной технологии в некоторых современных приборах. Тем не менее фирма Everspin делала поставки на рынок MRAM, включая и перпендикулярные 256-Мбит STT-MRAM, изготовленные по 40-нм процессу на мощностях компании GlobalFoundries. Недавно эта компания представила 1-Гбит-схему, реализованную по 28-нм технологическому процессу. Планируется также разрабатывать STT-MRAM под 14-нм и 7-нм FD-SOI (полностью обедненный кремний-на-изоляторе) процессы с использованием 3D-finFET-транзисторов.

Один из перспективных разрабатываемых подходов к совершенствованию MRAM – память на основе эффекта изменения орбиты спина (spin orbit torque, SOT), предназначенная для замены кеш-памяти на основе СОЗУ. У данного подхода есть ряд преимуществ, таких как меньшие токи переключения, лучшая сохранность данных и большее быстродействие.

Среди основных компаний на рынке MRAM можно выделить Global Foundries, Samsung, TSMC, UMC и, конечно, Everspin.

*Олег Орлов, кандидат технических наук,
начальник лаборатории отдела
функциональной электроники АО «НИИМЭ»*

высокой плотностью, меньшей рабочей мощностью и энергонезависимостью. Улучшенная структура PSC позволяет

усовершенствовать технологию STT-MRAM и сделать ее привлекательной альтернативой СОЗУ.

Spin Transfer Technologies Announces Breakthrough MRAM Technology for SRAM and DRAM Applications. Solid State Technology, May 10, 2018: http://www.eejournal.com/industry_news/spin-transfer-technologies-announces-breakthrough-mram-technology-for-sram-and-dram-applications/