

УДК 004.087.2

ОБЗОР ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМЫХ НОСИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ

Леонид Леонидович Картушин

Студент 4 курса

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Р.А. Каракулов,

Ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Устройства хранения памяти, которые используются в современных компьютерных системах, появились в 1970-ые с развитием полупроводниковой индустрии. Основными запоминающими устройствами (ЗУ) до сих пор являются динамическая память с произвольным доступом (DRAM – dynamic random access memory) и флэш-память. В настоящее время лидером на рынке энергонезависимых ЗУ является флэш-память. Механизм записи в таких устройствах основан на инжекции горячих носителей заряда из канала транзистора на плавающий затвор (обычно тонкий слой металла внутри диэлектрика под затвором), т.е. фактически в диэлектрике реализуется предпробойный режим, что накладывает ограничения на число циклов переключения и скорость записи [1]. Благодаря компактности, дешевизне, механической прочности, большому объёму, скорости работы и низкому энергопотреблению, флэш-память широко используется в цифровых портативных устройствах и носителях информации.

Однако с развитием индустрии информационных технологий и увеличением объёма обрабатываемых данных остро ощущается необходимость появления памяти нового типа. Полупроводниковая индустрия до сих пор ведет поиск ЗУ, сочетающего в себе быстроту динамической памяти и энергонезависимость флэш-памяти. Такая универсальная память должна обладать высокой информационной емкостью, низким энергопотреблением, дешевизной и иметь хорошие предпосылки к скейлингу – уменьшению размеров ячейки вместе с уменьшением минимальных топологических размеров, обеспечиваемых литографическими методами. Среди основных кандидатов такой универсальной памяти можно назвать сегнетоэлектрические запоминающие устройства (FRAM – Ferroelectric Random Access Memory), магниторезистивную память (MRAM – Magnetoresistive RAM), в том числе на переносе спинового момента (STT-RAM – Spin-transfer torque RAM), и память на основе фазового перехода (PRAM – Phase-change RAM). Все они (FRAM, MRAM, PRAM) отличаются энергонезависимостью, высокими скоростями записи/считывания и длительным временем хранения информации в сравнении с занимающими основную долю рынка DRAM и флэш-памятью [Табл. 1], однако находятся на различных стадиях освоения промышленного производства.

Большинству требований, предъявляемых к универсальной памяти, соответствует FRAM. Отличительной особенностью FRAM является зарядовый принцип записи, основанный на переключении поляризации в сегнетоэлектрическом конденсаторе, что обеспечивает энергонезависимость наряду с высокой энергоэффективностью, скоростями чтения/записи, большим числом циклов перезаписи ($10^{12} - 10^{15}$) и длительным временем хранения (~ 10 лет) [1]. Сегнетоэлектрические материалы отличаются также высокой стойкостью к воздействию специальных факторов, что определяет перспективы их применения в особых условиях.

точки зрения

С

Таблица 1. Сравнение основных характеристик различных видов памяти [2-3]

Параметры	DRAM	Флэш-память	FRAM	MRAM/ STT-RAM	PRAM
Энергонезависимость	нет	да	да	да	да
Физический эффект	заряд конденсатора	заряд в плавающем затворе	поляризация конденсатора	туннельное магнитное сопротивление	изменение фазы материала
Ячейка памяти	1Т1С	1Т	1Т1С	1Т1R	1Т1R
Рабочее напряжение, В	1.5–2	16–20	1.8–3	1–3	1.5–1.8
Ток записи, мкА	~1000	~1000	~1	~10–100	~100
Время чтения, нс	30	50	20–50	3–20	20
Время записи/стирания, нс	50/50	$10^4/10^3$	50/50	20/20	30/20
Число циклов перезаписи	неограниченно	10^5	$10^{12}-10^{15}$	10^{15}	10^9-10^{12}
Размер ячейки (F^2)/техпроцесс (нм)	6–10/18	5/14	20–40/130	16–40/65 (MRAM) 6–20/45 (STT-RAM)	4–19/45
Основные производители	Samsung, Intel, SK Hynix, Nanau, Elpida, Winbond	Micron, Samsung, Sandisk/Toshiba, SK Hynix, Intel	Texas Instruments, Cypress Semiconductor, Fujitsu, Lapis	Everspin, Sony, Samsung, Avalanche Technology	Micron/Intel, Samsung
Преимущества	низкая цена, высокая плотность, быстрое действие	низкая цена, высокая плотность	малое энергопотребление, быстрое действие	наибольший срок службы, быстрое действие	высокая плотность, быстрое действие
Недостатки	энергозависима, малое время хранения бита	медленная запись, высокое рабочее напряжение	разрушающее чтение, проблема масштабирования	большой ток записи, низкая плотность	большой ток записи, малый срок службы

Примечание: F – фактор площади ячейки; 1Т1С – 1 транзистор, 1 конденсатор; 1Т1R – 1 транзистор, 1 резистор.

современного уровня производства устройств памяти основной проблемой технологии FRAM является большой размер ячеек памяти (ЯП) ($>20 F^2$) [1, 3]. Проблема масштабируемости связана с уменьшением токового сигнала (переключаемого заряда) при уменьшении площади сегнетоэлектрического конденсатора. Переход на технологические нормы 90 нм и ниже связан с необходимостью использования 3D

конструкций ЯП [3, 4]. Одним из вариантов может стать технология создания щелевых конденсаторов по типу DRAM, что позволит добиться размеров ЯП FRAM в $8 F^2$. Несмотря на отличный потенциал к скейлингу и 3D-интеграции, технология создания FRAM памяти на основе вышеупомянутых бинарных сегнетоэлектриков пока находится на стадии исследований и перспективы ее внедрения зависят от решения вопросов надежного долговременного хранения информации в таких ЯП.

Так или иначе, сегнетоэлектрическая память имеет все шансы стать той универсальной памятью, поиск которой активно ведет ИТ-индустрия, стремящаяся преодолеть существующий барьер, обусловленный различиями в производительности быстрого процессора и относительно медленной памяти.

Литература

1. Воротилов К.А., Сигов А.С. Сегнетоэлектрические запоминающие устройства. Физика твердого тела. 2012;54(5):843-848
2. Meena J.S., Sze S.M., Chand U.Ch., Tseng T.-Y. Overview of emerging nonvolatile memory technologies. Nanoscale research letters. 2014;9(526):1-33.
<https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-526>
3. FRAM Guide Book. 5th Edition. Fujitsu Lmtd. Electronic Devices. 2005. 57 p.
4. Koo J.M., Seo B.S., Kim S., Shin S., Lee J.H., Baik H., Lee J.H., Lee J.H., Bae B.J., Lim J.E., Yoo D. Ch., Park S.O., Kim H.S., Han H., Baik S., Choi Y.J., Park Y.J., Park Y. Fabrication of 3D trench PZT capacitors for 256Mbit FRAM device application. In: IEEE International Electron Devices Meeting-2005. IEDM Technical Digest. 4 p.
<https://doi.org/10.1109/IEDM.2005.1609345>