

3D NAND-ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ FLASH-ПАМЯТИ

Котов Е.Г.

*Институт информационных технологий БГУИР,
г. Минск, Республика Беларусь*

Скудняков Ю.А.– доцент каф. ПЭ, к.т.н., доцент

В работе приведен краткий обзор процесса развития микроэлектроники, рассмотрены возможности и перспективы использования 3D NAND-технологии для изготовления flash -памяти и других средств электронной и вычислительной техники.

Современное глобальное технологическое развитие человеческой цивилизации привело к тому, что распространение вычислительной техники стало повсеместным. От банковского дела и торговли, до промышленных предприятий и научно-исследовательских центров, – везде так или иначе задействуется вычислительная техника. При этом многие предприятия продолжают усиливать компьютеризацию и цифровизацию с целью оптимизировать производственные процессы и снизить

операционные издержки. Помимо этого, последние тенденции нашего времени – расширение облачных вычислений (*cloud computing*) и повышение спроса на них, развитие и внедрение интернет вещей (IoT – Internet of Things), создание мощных центров хранения и обработки данных (*data center*), необходимость работы с огромными массивами данных (*big data*), усовершенствование беспроводной связи до сетей 5G, разработки в области искусственного интеллекта и беспилотных автомобилей – всё это требует от компьютерной техники колоссальных вычислительных мощностей. Подобный спрос стимулирует развитие полупроводниковой техники, производители стремятся увеличить вычислительную мощность, оптимизировать энергопотребление. С этой целью компании инвестируют огромные средства для усовершенствования технологий производства, продолжая миниатюризацию, практически подтверждая эмпирический закон Мура. В настоящее время корпорация Intel при производстве процессоров использует технологический процесс с размерами стандартной ячейкой 1 бита памяти, равными 14 нм. При этом плотность размещения составляет до $37,5 \cdot 10^6$ транзисторов на мм^2 [1]. Компания планирует запуск производств по технологии 10 и 7 нм, хотя запуск откладывается в связи с возникшими техническими трудностями [2]. Главные конкуренты компании – TSMC (*Taiwan Semiconductor Manufacturing Company*) и Samsung запустили свои производства по технологии 10 нм. Ими так же планируется внедрение 7-и нанометрового техпроцесса. На данном этапе промышленные гиганты приближаются к пределам современных технических возможностей для массового производства [3].

Аналогичная ситуация сложилась и в производстве элементов памяти. Например, технологический процесс изготовления flash-памяти типа NAND достиг уровня 12 нм. Дальнейшее уменьшение размеров ячейки памяти и увеличение плотности элементов сталкивается с рядом серьезных технологических трудностей и необходимостью многомиллиардных инвестиций. В связи с активно растущим спросом и необходимостью увеличения вычислительных мощностей производители вынуждены искать другие, более простые пути решения данного вопроса. Марк Лиу (MarkLiu), директор TSMC, считает, что 3D-интеграция является одним из перспективных решений в этом направлении [4].

В области изготовления элементов флэш-памяти была предложена технология 3D NAND, иное название 3Dvertical-NAND (V-NAND). Одной из первых выпуск элементов памяти по данной технологии начала компания Samsung в 2014 году [5]. Главным принципом технологии является не дальнейшее уменьшение размеров ячейки и увеличение компактности элементов, а расположение нескольких слоёв ячеек памяти поверх друг друга. V-NAND компании Samsung I-го поколения были представлены 24 слоями. Основной конструкции планарной флэш-памяти является полевой МОП-транзистор, а именно транзистор с плавающим затвором. Такой полупроводниковый прибор имеет способность удерживать электрический заряд в течение продолжительного времени. Ячейка памяти V-NAND представляет собой цилиндр, внешний слой которого является управляющим затвором, а внутренний слой представляет из себя изолятор. Ячейки расположены друг над другом, формируя стек. Внутри стека находится цилиндрический канал из поликристаллического кремния, данный канал является общим для всех ячеек. Число ячеек в стеке соответствует количеству слоев флэш-памяти (рисунок 1).

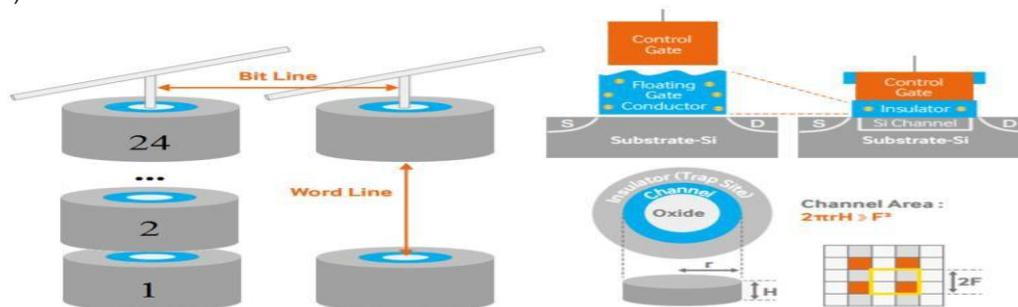


Рисунок 1 – Структура flash-памяти

Формирование структуры памяти происходит следующим образом. На кристалл производится напыление проводящего слоя, затем изолирующего, затем вновь проводящего и т.д. Таким образом формируется многослойная структура, где слои образуют проводники затворов и сами затворы. На следующем этапе в слоях создают множество отверстий на всю глубину структуры. На поверхность стенок полученных отверстий наносится структура полевых транзисторов – изоляторы и плавающие затворы. В итоге формируется столбец кольцеобразных полевых транзисторов с плавающими затворами. Схематичное изображение многослойной конструкции флэш-памяти представлено на рисунке 2 [6].

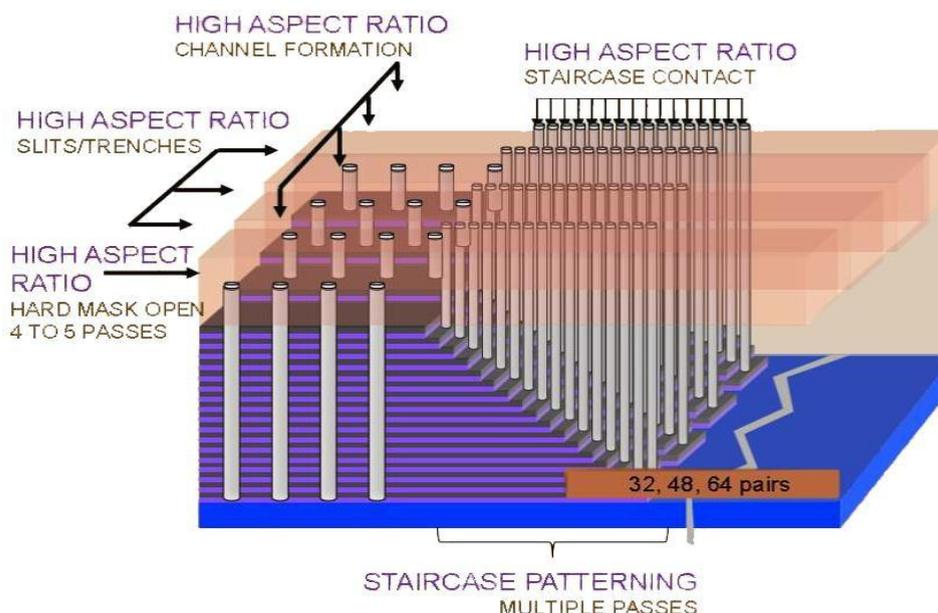


Рисунок 2 – Многослойная конструкция flash-памяти

Описанная технология позволяет создать большую плотность элементов на единицу площади кристалла, при этом же увеличить расстояние между ячейками, что кардинально снижает вероятность ошибок и сбоев, и увеличивает долговечность. Иная структура также позволяет увеличить скорость записи данных, тем самым повышая быстродействие. Также элементы 3DNAND потребляют меньше энергии и являются более экономичными.

Данная технология активно внедряется в производство и получила широкое распространение на рынке энергонезависимой памяти. В связи со всем вышесказанным перспективными представляются разработки в направлении развития трехмерной компоновки элементов компьютерной техники и в других сферах электронной и вычислительной техники.

Список использованных источников:

1. <https://techreport.com/review/31660/intel-defends-its-process-technology-leadership-at-14nm-and-10nm>.
2. <https://www.hardwareluxx.ru/index.php/news/hardware/prozessoren/44754-tsmc-5-nm-vs-intel-10-nm-vs-glofo-7-nm.html>.
3. <https://www.hardwareluxx.ru/index.php/news/hardware/prozessoren/44187-10-14-nm-intel-tsmc-samsung.html>.
4. https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1333692.
5. https://www.samsung.com/us/business/oem-solutions/pdfs/V-NAND_technology_WP.pdf.
6. <http://semimd.com/blog/2014/01/29/3d-nand-to-10-nm-and-beyond/>.