

Гафний: новое слово Intel в микроэлектронике

Совсем недавно в микроэлектронике произошла настоящая революция, инициатором которой стала корпорация Intel: при производстве транзисторов стал использоваться новый химический элемент – гафний.

Многие эксперты, в том числе и Гордон Мур, автор знаменитого одноименного закона, считают, что внедрение диэлектрика на основе гафния с высоким коэффициентом диэлектрической проницаемости и металлического затвора является самым значительным инновационным изменением в технологии производства транзисторов, осуществленным за последние 40 лет. Некоторые источники идут дальше, утверждая, что внедрение новых материалов, предложенное корпорацией Intel при переходе к 45-нм техпроцессу, - это, пожалуй, единственное фундаментальное изменение с момента появления «классических» планарных полупроводниковых транзисторов с поликремниевым затвором...

Как известно, еще в 1965 году Гордон Мур зафиксировал эмпирическое наблюдение, ставшее впоследствии знаменитым законом его имени. Представив в виде графика рост производительности микросхем памяти, он обнаружил любопытную закономерность: новые модели микросхем разрабатывались спустя равные промежутки времени — примерно 18-24 месяца — после появления их предшественников, а емкость микросхем при этом возрастала каждый раз примерно вдвое. Если бы такая тенденция продолжилась, заключил Мур, то мощность вычислительных устройств экспоненциально возрастала бы на протяжении относительно короткого промежутка времени, что делало полупроводниковую индустрию весьма перспективной отраслью с точки зрения не только технологических инноваций, но и экономической привлекательности. Наблюдение Гордона Мура впоследствии блестяще подтвердилось, при этом с каждым годом гиганты полупроводниковой индустрии в точности подтверждали ставший сакраментальным закон Мура.

Однако серьезным барьером на пути миниатюризации транзисторов является утечка электрического тока при работе транзистора. Чем меньше транзистор – тем больше ток утечки, и, следовательно, выше тепловыделение. «Постоянное стремление к миниатюризации CMOS-транзисторов напоминает подъем на все более крутую гору. «Вершины» впереди едва различимы, а невероятные сложности в процессе интеграции новых материалов и структур заставляют многих «восходителей» терять уверенность в себе, - писала EE Times в редакционной статье еще в сентябре 2003 года. - Сегодня ни у кого не вызывает сомнений тот факт, что CMOS-транзисторы должны меняться, причем очень быстро. На компьютерном рынке происходит нечто похожее на естественный отбор, открытый Дарвиным в мире живой природы: выживают лишь те компании, которые выберут для создания своих продуктов верные материалы и схемы интеграции. У других будет два пути: либо погибнуть, либо слиться с победителями».

Как известно, все полевые транзисторы содержат специальный изолирующий слой - тонкую диэлектрическую пленку под затвором, т.е. электродом, управляющим «включением» и «выключением» транзистора. Свойства диэлектрика затвора оказывают решающее влияние на работу транзистора. Последние 40 лет в качестве основного материала для диэлектрика затвора использовался диоксид кремния (SiO₂), что было обусловлено его технологичностью и возможностью систематического улучшения характеристик транзисторов по мере уменьшения их размеров. На сегодняшний день в транзисторах, производящихся корпорацией Intel, толщина слоя диэлектрика затвора из диоксида кремния составляет всего 1,2 нанометра - то есть, сопоставима с пятью атомарными слоями! Фактически, это уже близко к физическому пределу для данного материала, поскольку в результате дальнейшего уменьшения самого транзистора и, как следствие, утоньшения слоя диоксида кремния ток утечки через диэлектрик затвора значительно возрастает, что приводит к существенным потерям тока и избыточному тепловыделению. По сути дела, слой из диоксида кремния перестает быть препятствием для свободного дрейфа электронов, которые в таких условиях проявляют свойства уже не только частиц, но и волн, в силу чего пропадает возможность гарантированного управления состоянием транзистора. Казалось, что побороть законы физики не удастся, и миниатюризация транзисторов затормозится, а с ней и весь компьютерный прогресс...

Поэтому при переходе к 45-нм нормам техпроцесса для создания затворов транзисторов с малыми токами утечек инженерам Intel пришлось использовать новый материал для диэлектрика - так называемый high-k диэлектрик, в сочетании с новым материалом для электрода затвора транзистора на основе металлов.

Предельно «истончившийся» слой диоксида кремния был заменён на более толстый слой материала на базе солей редкоземельного металла гафния с высоким показателем диэлектрической проницаемости k (high-k), в результате чего ток утечки удалось сократить более чем в десять раз по сравнению с традиционным диоксидом кремния, сохранив при этом возможность корректно и стабильно управлять работой транзистора.

Однако новый диэлектрик оказался плохо совместим с затвором из поликремния, что препятствовало достижению высокого быстродействия. Именно для решения этой проблемы затвор в новых транзисторах был выполнен из металла. Пленка из диэлектрика создается методом атомарного напыления, причем материал наносится последовательными слоями толщиной всего в один атом.

Таким образом, корпорация Intel стала первой в мире компанией, перешедшей к массовому производству микропроцессоров с использованием гафния.

Во время своего доклада на десятом, юбилейном Форуме Intel для разработчиков, прошедшем в сентябре с. г. в Сан-Франциско, президент и главный исполнительный директор Intel Пол Отеллини продемонстрировал пластину с чипами, изготовленными по техпроцессу 45 нм на одной из двух фабрик Intel, уже переоборудованных под производство с нормами 45 нм. Одна из них - экспериментальная D1D, расположенная в Орегоне, вторая – Fab 32 в Аризоне. В 2008 году в строй вступят еще две 45-нм фабрики – Fab 28 в Израиле и Fab 11X в Нью-Мексико. Анонс новых 45-нм микропроцессоров семейства, имеющего кодовое наименование Penryn, состоится в текущем ноябре.

Первые процессоры с использованием транзисторов с металлическим затвором и диэлектриком high-k на основе гафния, изготовленные по 45-нм техпроцессу, только готовятся к появлению на рынке, а корпорация Intel, в очередной раз подтверждая свое технологическое лидерство, уже планирует осилить новые рубежи развития технологий массового производства. Еще одним важнейшим анонсом осеннего IDF'2007 стала первая презентация микросхем памяти SRAM, изготовленных по технологическому процессу 32 нм. При этом стоит отметить, что каждый чип статической памяти емкостью 291 Мб, изготовленный по 32-нм техпроцессу, основывается на транзисторах с металлическим затвором и high-k диэлектриком уже второго поколения, содержит более 1,9 млрд транзисторов, а размер ячейки памяти составляет всего 0,182 мкм²! Предполагается, что Intel приступит к массовому производству микропроцессоров с соблюдением норм 32-нм техпроцесса в 2009 году.

Что же такое гафний? Гафний – это редкоземельный элемент, имеющий 72 номер в периодической системе элементов, обладающий серо-серебристым оттенком цвета, очень эластичный, устойчивый к коррозии, по химическим свойствам похожий на цирконий. Уже из самого названия семейства элементов, к которому принадлежит гафний, следует, что, в отличие от кремния, на Земле его содержится совсем немного. Хватит ли столь редкого элемента для массового производства миллионов чипов?

Специалисты считают, что повода для беспокойства нет. Главным образом потому, что количество гафния, используемое в одном чипе, ничтожно мало. Джим Макгрегор (Jim McGregor), аналитик организации In-Stat, говорит: «Даже если взять весь гафний, необходимый для производства микропроцессоров на одной 300-мм пластине, его будет невозможно разглядеть невооруженным глазом». Бернард Мейерсон (Bernard Meyerson), главный технолог IBM, выразил ситуацию еще более образно: по его словам, если взять один кубический сантиметр гафния и распределить его по поверхности слоем такой толщины, которая используется в чипах, то пленкой из гафния будет покрыта площадь, равная 10 футбольным полям. Причем, эта оценка взята с запасом в «худшую» сторону – во-первых, используется не чистый гафний, а его оксид, а во-вторых, толщина слоя по мере совершенствования технологии будет постоянно снижаться.

Итак, расход гафния невысок. А как обстоит дело с его добычей?

Ежегодно все страны мира, вместе взятые, добывают около 50 тонн этого вещества. Гафний не встречается в виде жил, как золото или некоторые другие металлы, а вырабатывается в качестве побочного продукта при добыче диоксида циркония (цирконий - металл, довольно широко распространенный на территории Австралии, Бразилии, Китая, России и США). Близость атомных структур гафния и циркония делает процесс разделения достаточно дорогостоящим. Около 60-70% полученного гафния идет на производство так называемых графитовых стержней, используемых для управления реакцией деления нуклидов в ядерных реакторах. Большая часть оставшегося гафния идет на изготовление сплавов, применяемых при

производстве авиационных двигателей. Вопрос о недостатке гафния пока не вставал, причем его добычу при необходимости можно увеличить. Другим словами, опасаться, похоже, нечего. Учитывая, что полупроводниковая индустрия предполагает потребление небольшого объема данного материала, отраслевые эксперты не видят причин для возникновения конкуренции между потребителями гафния - по крайней мере, на ближайшую перспективу.

Автор: Артур Скальский © Babr24.com НАУКА И ТЕХНИКА, МИР 👁 2675 14.11.2007, 13:09 📄 160

URL: <https://babr24.com/?ADE=41098> Bytes: 9469 / 9469 Версия для печати Скачать PDF

👍 [Порекомендовать текст](#)

Поделиться в соцсетях:

Также читайте эксклюзивную информацию в соцсетях:

- [Телеграм](#)

- [ВКонтакте](#)

Связаться с редакцией Бабра:

newsbabr@gmail.com

НАПИСАТЬ ГЛАВРЕДУ:

Телеграм: [@babr24_link_bot](#)

Эл.почта: newsbabr@gmail.com

ЗАКАЗАТЬ РАССЛЕДОВАНИЕ:

эл.почта: bratska.net.net@gmail.com

КОНТАКТЫ

Бурятия и Монголия: Станислав Цырь

Телеграм: [@bur24_link_bot](#)

эл.почта: bur.babr@gmail.com

Иркутск: Анастасия Суворова

Телеграм: [@irk24_link_bot](#)

эл.почта: irkbabr24@gmail.com

Красноярск: Ирина Манская

Телеграм: [@kras24_link_bot](#)

эл.почта: krsyar.babr@gmail.com

Новосибирск: Алина Обская

Телеграм: [@nsk24_link_bot](#)

эл.почта: nsk.babr@gmail.com

Томск: Николай Ушайкин

Телеграм: [@tomsk24_link_bot](#)

эл.почта: tomsk.babr@gmail.com

[Прислать свою новость](#)

ЗАКАЗАТЬ РАЗМЕЩЕНИЕ:

Рекламная группа "Экватор"

Телеграм: [@babrobot_bot](#)

эл.почта: equatoria@gmail.com

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО:

эл.почта: babrmarket@gmail.com

[Подробнее о размещении](#)

[Отказ от ответственности](#)

[Правила перепечаток](#)

[Соглашение о франчайзинге](#)

[Что такое Бабр24](#)

[Вакансии](#)

[Статистика сайта](#)

[Архив](#)

[Календарь](#)

[Зеркала сайта](#)