

# ЕСТЬ ЛИ БУДУЩЕЕ У ПЛАНАРНОЙ МОП-ТЕХНОЛОГИИ?

**Совершенствование хорошо отработанной КМОП-технологии, развертывание работ по созданию КНИ-микросхем, в том числе и фирмами, ранее относившимися крайне скептически к этой технологии, новые версии КНИ-устройств. Вот те вопросы, которые привлекли внимание участников ежегодной декабрьской Международной конференции по электронным приборам (IEDM).**

По-видимому, в ближайшие годы почтенный планарный МОП-транзистор, который с начала 70-х годов прочно занимает положение базового элемента современных микросхем, вынужден будет уступить свои позиции новым типам устройств. На IEDM 2001 года эксперты ведущих полупроводниковых фирм высказали единодушное мнение, что пришла пора отказаться от планарной структуры и ввести в конструкцию МОП-транзистора второй электрод. В таком транзисторе со сдвоенным затвором можно вдвое увеличить плотность тока и смягчить влияние эффекта короткого канала. Благодаря второму затвору можно отказаться от применения вызывающих столько затруднений диэлектриков с высокой диэлектрической постоянной (высоким  $k$ ), без которых на современном уровне развития полупроводниковой технологии уже не обойтись из-за увеличения токов утечки по мере непрерывного утонения затворного оксида.

Большинство участников круглого стола, проходившего в рамках конференции и посвященного проблеме будущего полупроводниковой технологии, пришли к выводу, что структура со сдвоенным затвором — наиболее приемлемое решение при достижении к 2015 году 10-нм топологических норм. Высказывалось даже мнение, что с помощью существующих технологических процессов и оборудования удастся изготовить КМОП-устройства с двойным затвором с размерами элементов 0,05 мкм (50 нм). Возможно, минимальные размеры таких транзисторов составят 7 нм (0,007 мкм).

Но, как отметило то же большинство, переход к подобным структурам будет не простым. Нужно не только разработать методы моделирования и изготовления этих устройств, но и одновременно не дать стандартному МОП-транзистору преждевременно исчезнуть. Многие производители с большой неохотой рассматривают необходимость отказа от столь привычной планарной структуры и переход к новой более сложной технологии, которая, возможно, потребует формирования двух металлических затворов (причем с использованием различных материалов). К тому же пока разработанные транзисторы с двойным затвором по своим параметрам не превосходят планарные устройства.

Тем не менее, специалисты IBM считают, что в конечном итоге быстрое действие "объемных" КМОП-транзисторов с двойным затвором будет вдвое выше, чем у современных приборов. Фирма активно ведет разработки таких транзисторов и уже имеет опытные образцы с временем задержки 5,5 пс. Согласно плану перспективного развития фирмы (Roadmap), в будущем доля этих транзисторов в общем ее объеме производства полупроводниковых приборов будет значительной.

Возможно, некоторый "передышка" производителям полупроводниковых приборов даст КНИ-технология, активно разрабатываемая сейчас многими фирмами. Даже Intel, которая до последнего времени не торопилась осваивать эту технологию, считая, что параметрам современных КМОП ИС еще далеко до предельных, объявила о решении включить в свой перспективный план (Roadmap) разработку

КНИ-устройств. К этому решению фирму подвигли трудности, с которыми она столкнулась уже при выполнении микропроцессора Pentium 4 по 0,13-мкм технологии. А уже сегодня Intel сообщила о переходе к 0,015-мкм топологическим нормам. Возникающие при столь малых размерах элементов чипов проблемы рассеяния мощности, которая по своему значению становится сопоставимой с энергией, выделяемой ядерным реактором, заставили специалистов фирмы отказаться от традиционного проектирования устройств "меньших размеров и большего быстродействия".

Следует отметить и то, что сегодня КНИ-технология уже достаточно хорошо отработана и занимает прочные позиции на рынке: IBM начала разрабатывать ее 12 лет назад, первый КНИ-микропроцессор появился в 1994 году, а в 1999-м началось серийное производство КНИ ИС. Сейчас IBM разрабатывает микросхемы четвертого поколения. Таким образом, Intel в очередной раз прибегла к политике выжидания результатов освоения новых технологий. Аналогичные позиции фирма занимала и в отношении перехода к медной металлизации. А недавно проведенный фирмой Chip Works анализ микропроцессора Pentium III-M, показал, что 0,13-мкм технология с медной металлизацией, по которой он выполнен, — едва ли не самая совершенная на сегодняшний день.

Разработчики Intel намерены создать КНИ-транзистор, работающий в режиме обеднения. Транзисторная структура сначала будет сформирована на слое оксида толщиной 50 нм, а во второй половине десятилетия планируется заменить его диэлектриком с высоким  $k$ . Отмечается, что на освоение этой технологии потребуется несколько лет. К моменту начала массового производства микропроцессоров с высоким  $k$ -диэлектриком уже должны быть отработаны экономически эффективные процессы производства таких изделий.

Еще дальше по пути развития КНИ-технологии пошли разработчики компании Toshiba, предложившие так называемую технологию "кремния-ни-на-чем" (silicon-on-nothing — SON). Впервые она была представлена на IEDM 1999 года. Тогда предлагалось создавать рисунок пустот под затворами транзисторов, что позволило бы существенно уменьшить их паразитное сопротивление и повысить быстродействие. SON-технология не требует проведения ионной имплантации и высокотемпературного отжига, поэтому она будет намного дешевле обычной КНИ-технологии. На фирме уже создан SON МОП-транзистор с длиной канала 0,14 мкм. Сферическая пустота занимает всего около 20% площади кристалла под затвором. Емкость перехода транзистора на 20% меньше емкости транзистора на объемном материале. Фирма намерена изготовить микросхемы с такой структурой по 0,05-мкм технологии (длина канала 35 нм) в 2005 году.

"Включить" диэлектрик в подложку пытается не только Toshiba. Фирма STMicroelectronics совместно с France Telecom разрабатывает свою версию SON-технологии, позволяющую формировать с помощью эпитаксиального процесса утопленный канал толщиной 5–20 нм. Правда, эта технология требует применения SiGe-пленок, эпитаксиального выращивания кремния и нескольких дополнительных операций.

Но производители стандартных КМОП-устройств не опустили руки. Большой интерес участников IEDM вызвало сообщение фирмы Advanced Micro Devices о создании КМОП-транзисторов с длиной затвора 0,015 мкм (15 нм), который сможет быть выполнен по 0,03-мкм технологии. Перейти к таким топологическим нормам фирма планирует в 2009 году. Напряжение питания КМОП-схемы на базе подобных транзисторов — 0,8 В, время переключения — 0,3 пс (время переключения транзистора фирмы Intel с затвором такой же длины — 0,1 пс).