



"Американцы настолько законопослушны, что готовы платить за соблюдение Закона Мура"

*В.Перминов.*

Не желая отступить от великого принципа Закона Мура, корпорация Intel объявила об открытии первого из четырех кремниевых заводов с технологическим процессом, обеспечивающим разрешение в 45 нм. Первенцем стала фабрика Fab 32 в Чандлере (шт. Аризона), ориентированная на 300-мм пластины. Инвестиции Intel в это предприятие составили 3 млрд. долл. Фабрика будет производить новые "45-нм" процессоры Intel, включая семейство Penryn. Intel предполагает выпустить первый процессор по 45-нм технологии для серверов и рабочих станций уже к 12 ноября этого года.

Отметим, что Fab 32 – это уже шестая кремниевая фабрика компании Intel, работающая с 300-мм пластинами. Площадь ее чистых комнат составляет 17,1 тыс. м<sup>2</sup>, а общая площадь – почти 100 тыс. м<sup>2</sup>. На предприятии работают более 1000 сотрудников. Представители Intel подчеркивают, что Fab 32 – это одно из наиболее экологически чистых электронных предприятий. Так, на 15% снижено тепловыделение, в замкнутом цикле удается сохранить более 70% воды.

Фабрика Fab 32 в Аризоне – это только начало. Следующим 45-нм предприятием станет завод "D1D" в Хиллсборо (шт. Орегон), запуск которого должен состояться через несколько месяцев. Третья 45-нм фабрика – это действующее вот уже 27 лет предприятие Fab 11X, расположенное в Рио Ранчо (шт. Нью-Мексико). В его переоснащение под 45-нм технологию Intel вложит 1–1,5 млрд. долл. с тем, чтобы уже во второй половине 2008 года оно начало работать по новой технологии. Intel также инвестирует 3,5 млрд. долл. в свой израильский завод Fab 28 в Кириат Гат, который начнет выдавать на гора в первой половине 2008 года.

Новый технологический процесс Intel с разрешением 45-нм предполагает формирование транзисторов с металлическим затвором и оксидом гафния (обладающего высокой диэлектрической проницаемостью) в качестве подзатворного диэлектрика. В рамках 65-нм процесса Intel толщину традиционного подзатворного диэлектрика SiO<sub>2</sub> удалось снизить до 1,2 нм (примерно пять моноатомных слоев). Однако дальнейшее его утончение влечет чрезмерное возрастание токов утечки через подзатворный диэлектрик со всеми вытекающими последствиями, в том числе – к паразитному нагреву. Выходом является использование диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью, что позволяет увеличить толщину подзатворного диэлектрика, сохраняя управляющее напряжение таким же, как и у транзистора с SiO<sub>2</sub> под затвором. В качестве материала для таких диэлектриков используют соединения гафния – оксид гафния или (реже) силицид. Однако при этом возникает новая проблема – на оксиде гафния невозможно сформировать поликремниевый затвор. Да и с металличе-

скими затворами поверх этого материала все непросто. Поэтому немало сил было потрачено на разработку структуры металлических затворов, которые можно формировать поверх диэлектрика на основе соединений гафния.

По словам автора одноименного закона и одного из основателей Intel Гордона Мура, "Применение диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью вкупе с металлами в затворах – это крупнейшее изменение в технологии транзисторов с тех пор, как в конце 1960-х годов были предложены поликремниевые затворы". Эта технология позволяет радикально снизить токи утечки транзисторов, что открывает перед разработчиками и производителями захватывающие перспективы. Новая технология позволяет примерно вдвое увеличить плотность транзисторов на кристалле по сравнению с 65-нм процессом. Необходимая для переключения 45-нм транзистора мощность снижена примерно на 30%. Применение медных межсоединений и новых подзатворных диэлектриков увеличит производительность и снизит энергопотребление. Все это позволяет увеличить быстродействие процессоров, создавать более интегрированные СБИС, что неизбежно скажется на архитектуре процессоров и компьютеров, уменьшит их размеры, энергопотребление, уровень шумов и цену.

Немаловажно, что для формирования 45-нм элементов Intel использует сухой (не иммерсионный) фотолитографический процесс с источником с длиной волны 193 нм. Это означает выигрыш в себестоимости производства приборов по сравнению с иммерсионной фотолитографией, которую собираются использовать в своих 45-нм технологиях другие члены 45-нм клуба – компании IBM и AMD.

В отличие от Intel, IBM не собирается строить новые заводы для 45-нм технологии. Голубой гигант предполагает встроить новое 45-нм технологическое оборудование в свои уже существующие производственные линии, с минимальными изменениями в оборудовании и процессах, и за этот счет снизить себестоимость 45-нм технологии. Первым таким производством, переоснащаемым под 45-нм технологию, станет линия в Ист Фишкилл (шт. Нью-Йорк), которая уже в 2008 приступит к выпуску новой 45-нм продукции. По мнению руководства компании, именно экономически рентабельный переход на новую технологию – залог успеха полупроводникового производства.

Представители корпорации AMD также заявляют о намерении приступить к выпуску продукции по 45-нм технологии в середине 2008 года – заметим, примерно через полтора года после того, как эта компания промышленно освоила 65-нм процесс.

Таким образом, ведущие производители-разработчики технологий, не успев насладиться прелестями 65-нм процесса, уже внедряют 45-нм технологии. Ибо Закон Мура жил, жив и будет жить!

*И.Шахнович*

*По материалам Electronic News*