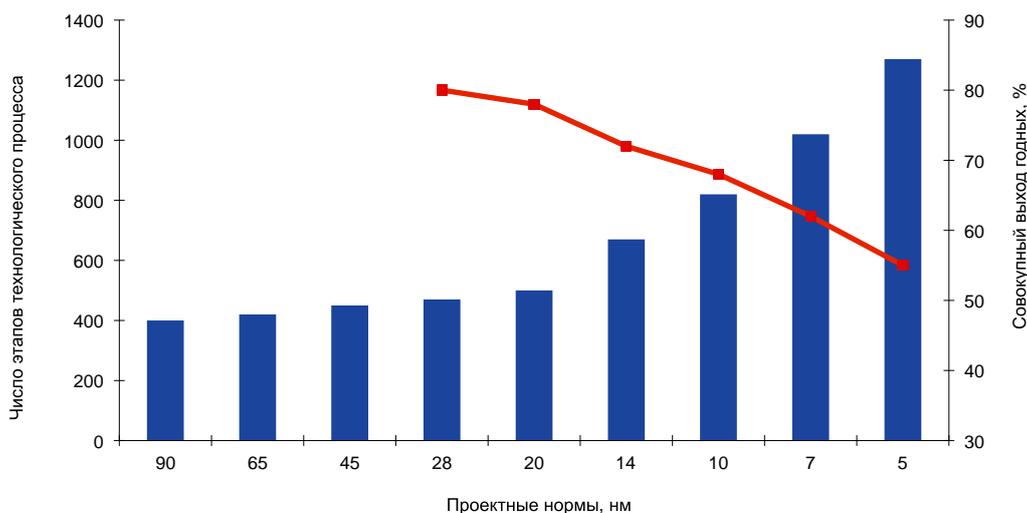




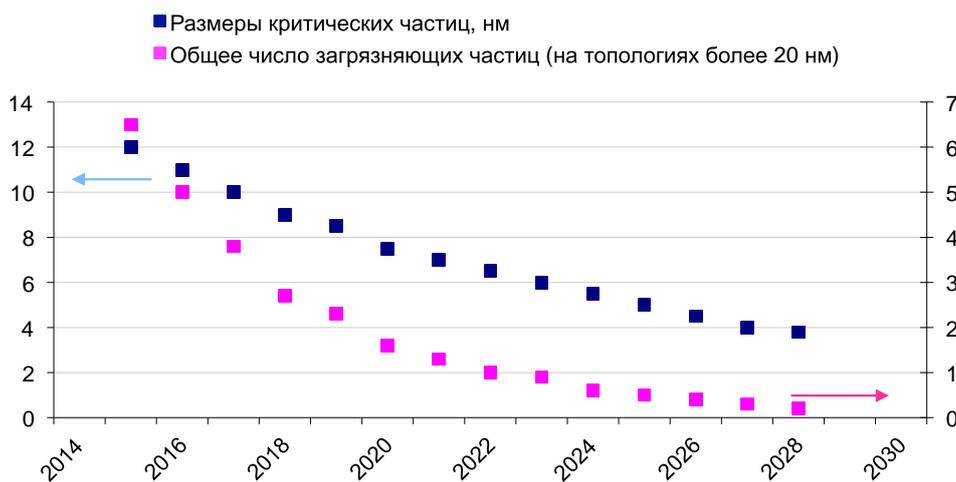
## МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ – КЛЮЧ К УСПЕХУ

По мере того как в технологические процессы с топологиями менее 28 нм вводятся новые материалы, число этапов процесса увеличивается, что осложняет достижение желаемого уровня выхода годных (рис. 6а). По мере уменьшения ширины токопроводя-

щих линий и шага между ними уменьшается и размер критических дефектов, а также общее допустимое количество загрязняющих частиц (рис. 6б). Важность чистоты материала и общего контроля дефектов становится чрезвычайно высокой.



а)



б)

Рисунок 6. По мере увеличения числа этапов технологического процесса совокупный выход годных значительно падает (а). По мере сокращения шага металлической разводки размеры «убийственных» дефектов снижаются до 10 нм а число загрязняющих частиц превышает уровень в 3 единицы (для 20-нм норм) (б)

Источник: Semiconductor Digest



## МНЕНИЕ ЭКСПЕРТА

С каждым следующим поколением технологий рост производительности чипов все сильнее определяется новыми материалами, а не только масштабированием. Так, для технологий уровня 90 нм рост производительности на 60% обеспечивается новыми материалами; 45 нм – на 80 и для 28 нм – более чем на 95%. На начальных этапах развития микроэлектроники переход на новый уровень был возможен с помощью простого масштабирования, но по мере уменьшения норм от 1 мкм и менее такие переходы стали требовать сложных решений: коренных изменений процесса и оборудования фотолитографии, новых материалов, структур и т. п. Требуется учет факторов масштабирования, отражающих взаимное влияние геометрических размеров и свойств материалов, а также особенностей их интеграции в едином объеме с позиций кристаллохимической, термомеханической, электромагнитной, химической совместимостей, тепловой, электрической, механической стойкости, устойчивости к воздействию агрессивных сред и радиации, а также временной стабильности. Необходимо знать и, соответственно, учитывать размерные эффекты изменения электрофизических и других свойств малых объектов из-за увеличения вклада поверхностной энергии в общую энергию объекта. Это ведет, например, к увеличению удельного сопротивления, снижению температуры плавления и т. д.

Начиная с размера 65 нм масштабирование длины затвора замедлилось: оно больше не влияет на увеличение производительности чипов. Сейчас топологический размер (топологическая норма, норма проектирования) соотносится с конкретным процессом изготовления с соответствующими правилами проектирования. Меньший, более быстрый и более энергоэффективный технологический узел, как правило, соответствует меньшему характерному топологическому размеру. Начиная с технологической



нормы 28 нм проектные нормы вычисляются из площади ячейки памяти! То есть полученная за счет технологических и конструктивных улучшений площадь технологического узла приводится к расчетному топологическому размеру, получаемому при прямом масштабировании без вышеуказанных усовершенствований. Таким образом, 7 нм у TSMC и 10 нм у Intel – это одни и те же проектные нормы с точки зрения и плотности упаковки, и размеров отдельных транзисторов! Но каковы же реальные использованные топологические размеры? А вот эта информация недоступна. Поэтому переход на новый технологический уровень сегодня обеспечивается, прежде всего, применением новых материалов и совершенствованием конструкции транзисторов.

*Евгений Горнев, член-корреспондент РАН,  
доктор технических наук, заместитель  
руководителя Приоритетного технологического  
направления по электронным технологиям  
АО «НИИМЭ»*