

# ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МНОГОУРОВНЕВЫХ СИСТЕМ МЕТАЛЛИЗАЦИИ УЛЬТРАБОЛЬШИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ (26-827)

---

## Аннотация

Достижения современного информационного мира основаны, прежде всего, на достижениях и развитии технологий микро- и нанoeлектроники. Прогресс в развитии практически всех наукоемких отраслей современной промышленности определяется уровнем развития электронной компонентной базы. Ключевые направления этого развития сформулированы в «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» (Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642, пункт 20 а – переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта).

Технология современных кремниевых интегральных схем включает в себя начальную стадию полупроводникового производства, в ходе которой на полупроводниковой пластине формируют отдельные элементы (транзисторный цикл – FEOL) и конечную стадию (металлизация – BEOL), в ходе которой создается система проводников, соединяющая отдельные элементы между собой. В последние годы, достигнут большой прогресс в области транзисторных технологий, которые используют новые материалы, процессы и конструкции (high- $k$  диэлектрики, напряженный кремний, новая архитектура и пр.), что позволило значительно улучшить параметры устройств. В то же время BEOL процессы изменились не столь значительно и становятся одним из лимитирующих процессов, ограничивающих производительность, надежность и стоимость интегральных схем высокой степени интеграции.

Современный полупроводниковый чип содержит более миллиарда транзисторных элементов, для коммутации которых необходимо более 10 км проводников, расположенных на 10 и более уровнях. Уменьшение размеров элементов ведет к росту  $RC$  задержек в системе межсоединений ( $R$  – сопротивление,  $C$  – емкость проводников), тепловыделений, возникновению перекрестных помех и пр. Это потребовало от индустрии в конце прошлого столетия совершить достаточно сложный переход от пары материалов: Al – в качестве проводника и  $\text{SiO}_2$  – в качестве изолирующего диэлектрика, к Cu – в качестве проводника с лучшей электропроводностью и диэлектрику с низкой диэлектрической проницаемостью (т.н. low- $k$  диэлектрики, величина диэлектрической проницаемости  $k$  которых, по крайней мере, меньше, чем у  $\text{SiO}_2$   $k < 3.9$ ). Однако дальнейший скейлинг требует решения сложных материаловедческих задач: снижения величины диэлектрической проницаемости low- $k$  диэлектриков, обеспечения малого сопротивления и стойкости к электромиграции металлических

проводников, уменьшения толщины барьерных слоев, поиск новых эффективных схем интеграции.

Проблема снижения величины диэлектрической проницаемости изолирующего диэлектрика явилась для индустрии чрезвычайно сложной задачей. Сложность материаловедческой задачи состоит в том, что изолирующий диэлектрик для систем металлизации должен обладать целым рядом противоречивых свойств: низким значением диэлектрической проницаемости ( $k \leq 2.2 \dots 2.3$ ), высокой электрической прочностью, хорошими механическими свойствами для совместимости с последующими технологическими циклами, малым размером пор (менее 1.5 нм), гидрофобностью для предотвращения деградации вследствие сорбции воды.

Уменьшение размеров приводит также к увеличению сопротивления металлических проводников. В качестве новых перспективных материалов проводников рассматриваются Co, Ru, W и прочие материалы, которые, хотя и имеют более высокое удельное сопротивление чем Cu, но при уменьшении размеров демонстрируют более низкое сопротивление из-за структуры поликристаллических зерен.

Фундаментальные проблемы интеграции новых материалов включают поиск новых методов формирования систем металлизации; новых методов травления пористых low- $k$  диэлектриков; разработку технологий формирования диэлектрических или металлических барьерных слоев для интеграции с low- $k$  материалами; поиск новых металлов для интеграции в суб-7 нм технологии; процессы селективной поверхностной модификации без повреждения объема пористых low- $k$  пленок.

## Рубрикатор

- 827.1. Фундаментальные проблемы повышения степени интеграции и быстродействия УБИС.
- 827.2. Новые методы формирования low- $k$  диэлектриков для использования в технологиях многоуровневой металлизации интегральных схем.
- 827.3. Методы контроля пористой структуры, электрических и механических свойств пористых low- $k$  диэлектриков.
- 827.4. Новые металлы с низким удельным сопротивлением, высокой стойкостью к электромиграции и высокоэффективные барьерные слои для новых поколений систем металлизации интегральных схем.
- 827.5. Новые технологические схемы изготовления многоуровневых систем металлизации с минимальными временами задержки для суб- 7 нм технологий микроэлектроники.
- 827.6. Новые методы плазмохимического травления в технологии формирования многоуровневых систем металлизации интегральных схем. Процессы селективной поверхностной модификации пористых low- $k$  пленок для процессов атомно-слоевого осаждения.
- 827.7. Оптика на кристалле для межсоединений верхнего уровня УБИС.