

Разработка конструктивно- технологического базиса для создания высокотемпературных радиационно- стойких СБИС

Бабкин С.И., Волков С.И., Новоселов А.С.

В НИИСИ РАН разработаны КМОП базовые технологические процессы с проектными нормами 0,5 мкм, 0,35 мкм и 0,25 мкм на основе структур «кремний на изоляторе».

Для этих процессов разработаны библиотеки, предназначенные для автоматизированного проектирования радиационно-стойких цифровых СБИС, в том числе космического применения.

Соответствие требованиям стойкости к воздействию специальных факторов достигнуто комплексом технологических и топологических решений базовых элементов СБИС (транзисторов и др.), обеспечивающие минимальную деградацию параметров (сдвиг пороговых напряжений, ток в режиме насыщения и утечки) во время и после воздействия специальных факторов.

Рабочий диапазон изготавливаемых СБИС - 60 – +125°C.

Ряд применений требует создания микросхем с расширенным диапазоном рабочих температур!

ВТЭ – актуальное и быстроразвивающееся направление электроники.

Основные производители : Honeywell, TI, Analog Devices.

В данной презентации рассмотрены некоторые результаты исследований, проведенных в НИИСИ РАН и направленных на разработку конструктивно-технологического базиса для создания радиационно-стойких высокотемпературных СБИС

Основные проблемы при создании высокотемпературных СБИС

- 1) Сохранение работоспособности интегральных схем при высоких температурах.
- 2) Обеспечение требуемых уровней долговечности, за счет снижения скорости деградиационных процессов при высоких температурах.

Пути решения поставленных задач

Формирование активных элементов:

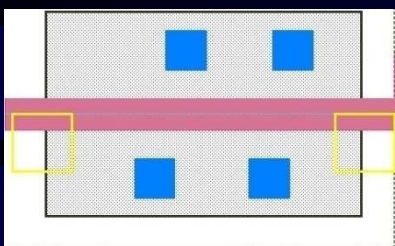
- Минимизация утечек в р-n-переходах за счет использования КНИ – структур с малой толщиной рабочего слоя кремния и оптимизации режимов легирования для уменьшения генерационно-рекомбинационных токов.

Формирование многоуровневой металлизации:

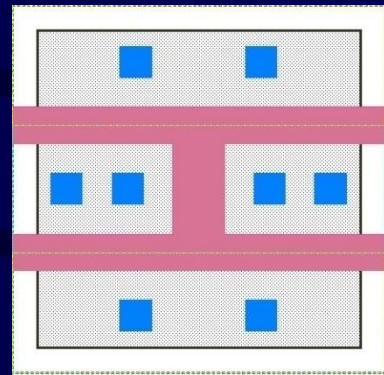
- Замена алюминия на тугоплавкие металлы (вольфрам)

Конструктивно-технологический базис

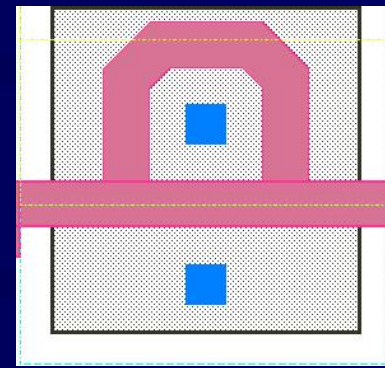
КНИ-05ЭС



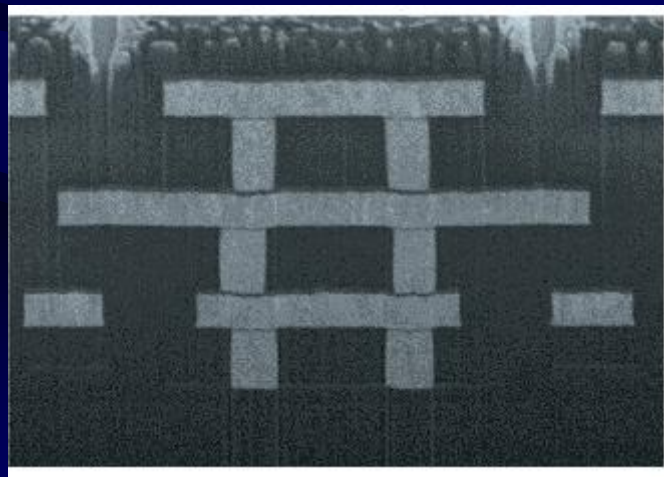
«А»-транзистор



«Н»-транзистор

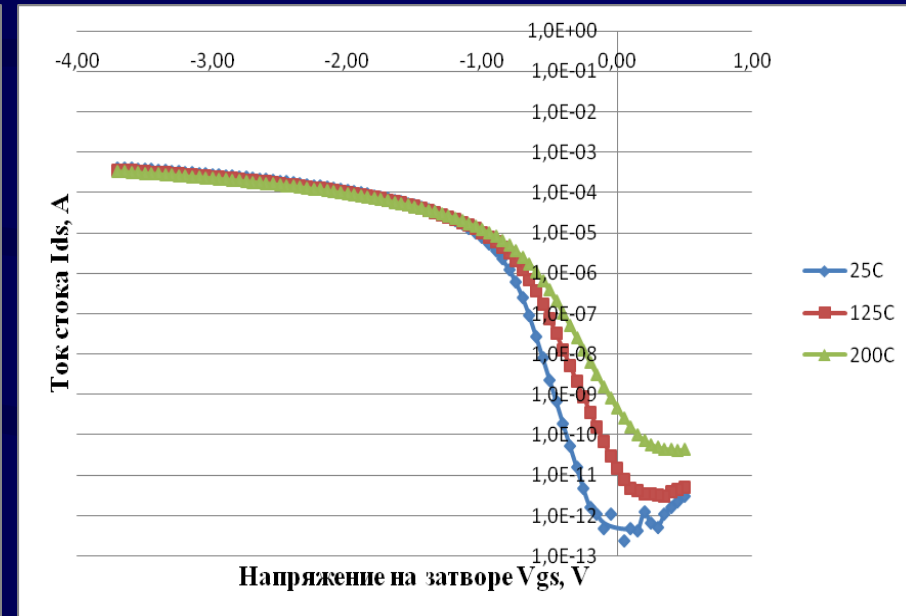
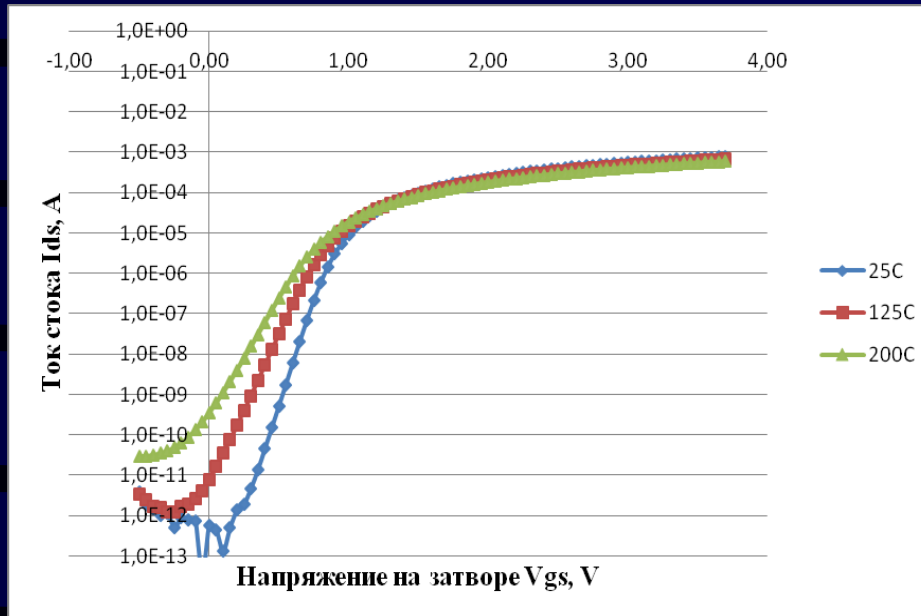


«О»-транзистор



Трехуровневая вольфрамовая металлизация

Результаты исследований параметров транзисторов при $t=25-200\text{ }^{\circ}\text{C}$

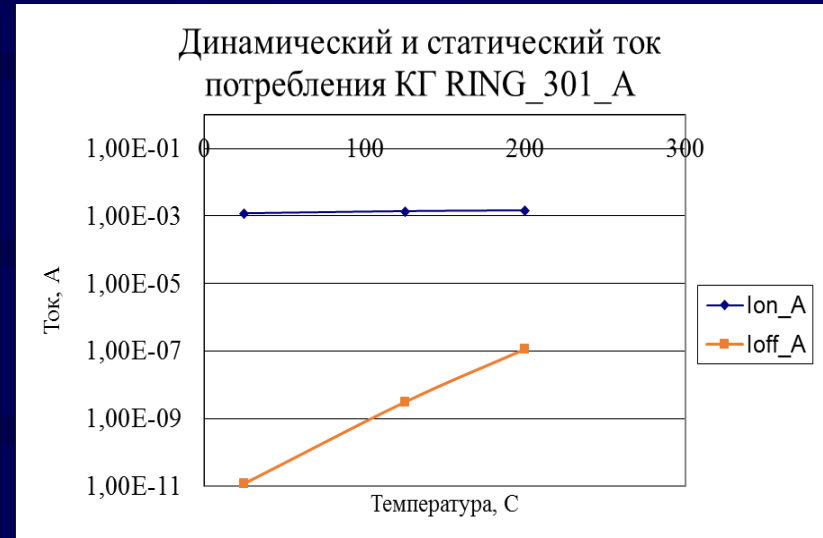
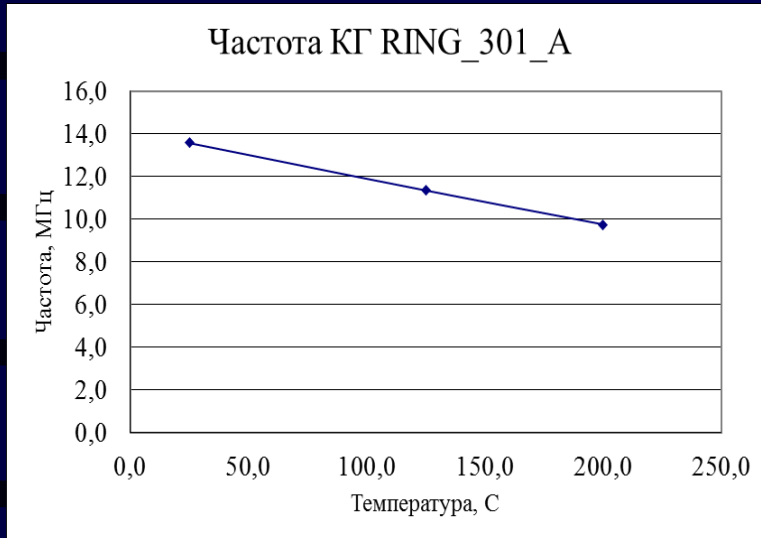


Токи утечки : увеличились на 3-4 порядка до 0,5 нА/мкм

Токи насыщения: уменьшились на 20-30% до 200 мкА/мкм (nMOS), 100 мкА/мкм (pMOS)

Пороговые напряжения: уменьшились на 0,25-0,3В.

Результаты исследований параметров кольцевых генераторов при $t=25-200\text{ }^{\circ}\text{C}$



Частота КГ : уменьшилась на 30% до 10 МГц

Статический ток потребления КГ: увеличился на 4 порядка до 0,3 мкА

Динамический ток потребления: увеличился на 30 %

Формирование трехуровневой металлизации

Задача обеспечения надежности ВТ СБИС не может быть решена без учета механизмов деградации металлизации.

В базовых процессах НИИСИ РАН используется металлизация на основе алюминия (сплав Al+0,5%Cu)

Температура среды, °C	125	200	225
МТТФ, ч	>10 ⁶	32000	10000

Решение: Использование тугоплавкого металла в качестве проводникового материала (вольфрам)

Процесс формирования вольфрамовой металлизации

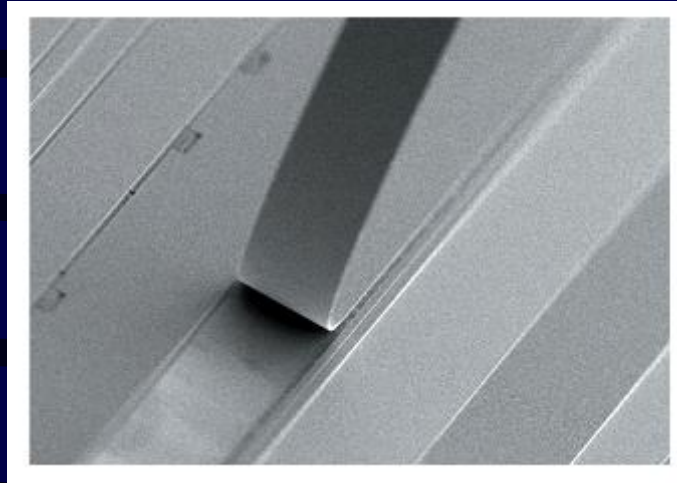
Максимальная унификация с традиционными процессами формирования алюминиевой металлизации

- Осаждение вольфрама из газовой фазы:



- Использование пленок Ti-TiN для адгезии к окислу, и для его защиты от взаимодействия с HF
- Одинаковая суммарная толщина шины 600 нм для сохранения процессов осаждения межуровневого диэлектрика и травления переходных отверстий

Технологические проблемы при формировании вольфрамовой металлизации



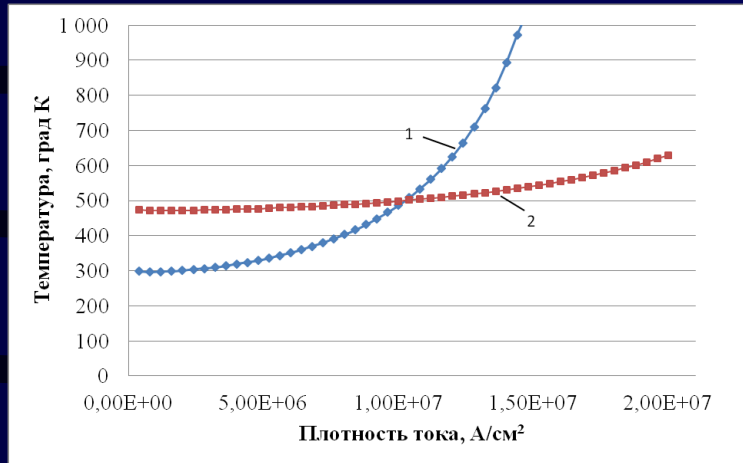
Отслаивание широких шин при одновременном заполнении переходных отверстий и осаждении структуры, предназначенной для формирования шин металлизации.

Решение: использования различных режимов осаждения вольфрама для переходных контактов и шин.

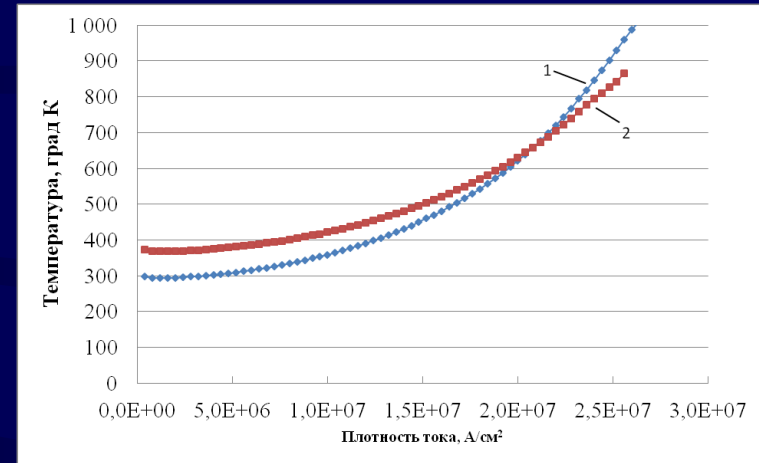
Шины: Ti (10 нм) - TiN (10 нм) - W (500 нм) - Ti (10 нм) - TiN (70 нм)

Контактные переходы: Ti (20 нм) - TiN (70 нм) - W (500 нм).

Сравнительная оценка надежности вольфрамовой и алюминиевой металлизации



Резистор на основе узкой шины



Резистор на основе контактного
перехода

Определение одинаковой эффективной температуры
тестового элемента и плотности проходящего тока.

Шина металлизации: $J=1,0 \times 10^7$ А/см² $T_{эфф}= 500$ К

Контактный переход: $J=2,1 \times 10^7$ А/см² $T_{эфф}= 640$ К

Результаты исследований и испытаний трехуровневой металлизации

Параметр, ед. измерения	Алюминиевые шины	Вольфрамовые шины
rosM, Ом/квадрат	0,07	0,21
rosM1_M2, Ом/контакт	0,9	1,1
rosM2_M3, Ом/контакт	1,0	1,2
ТКС_шина, 1/град К	0,0035	0,0024
ТКС_контакт, 1/град К	0,0012	0,0012
MTTF_шина, ч	2,5	>20
MTTF_контакт, ч	0,25	>10

Заключение

- Отработан процесс формирования трехуровневой металлизации на основе пленок титана, нитрида титана и вольфрама, что привело к:
 - увеличению долговечности металлизированной разводки (как шин, так и контактных межсоединений) на несколько порядков, при повышении удельного сопротивления металлизации всего в три раза (0,22 у вольфрама против 0,07 Ом/квadrat у алюминия)
- Оптимизирован процесс формирования активных элементов, уменьшены площади паразитных p-n-переходов, что привело к:
 - Соотношение тока насыщения к току утечки для n- и p-канальных транзисторов для 200°C при напряжении $V_{dd}=3,3$ В $I_{on}/I_{off} \sim 10^6$
 - Изменение динамических параметров цифровых элементов не превышает 30%.