



Методы обеспечения радиационной стойкости КМОП СБИС с проектными нормами 0.35 мкм и менее

Магистрант: **Новосёлов А.С.**
Группа: **ИУ4-124**
Научный руководитель: **к.т.н., доцент Макарчук В.В.**
Научный консультант: **к.ф-м.н. Волков С.И.**

Цель работы:

➤ Исследование конструкторско-технологических, структурных и схемотехнических методов обеспечения стойкости цифровых СБИС к ионизирующему воздействию и создание основ для их разработки.

Решаемые задачи:

- Исследование радиационных эффектов в интегральных микросхемах.
- Анализ и ранжирование факторов, ограничивающих стойкость элементов КМОП СБИС, изготовленных по технологическому процессу КНИ 0.5 мкм, к накопленной дозе.
- Разработка стенда для измерения статических и динамических параметров полупроводниковых структур, подвергавшимся испытаниям на радиационную стойкость.

Решаемые задачи (продолжение):

- Исследование приемлемых для имеющейся технологии способов повышения радиационной стойкости элементов КМОП КНИ СБИС.
- Экспериментальное исследование эффективности способов повышения радиационной стойкости элементов КМОП КНИ СБИС.
- Экспериментальное исследование стойкости к накопленной дозе транзисторных тестовых структур и функциональных ячеек, разработанных по технологическому процессу КНИ 0.35 мкм.
- Анализ результатов экспериментальных исследований и оценка возможности изготовления радиационно-стойких КНИ схем с проектными нормами 0.35 мкм и менее.

Основные радиационные эффекты, присущие традиционной КМОП технологии производства интегральных схем

- Дegradaция электрических и функциональных характеристик ПП и ИС вследствие накопления радиационно-индуцированного заряда в диэлектрических структурах (поверхностные радиационные эффекты);
- Дegradaция электрических характеристик ПП и ИС вследствие образования радиационных дефектов внутри кристаллической структуры (объемные структурные повреждения);
- Возникновение мощных импульсных электрических разрядов вследствие электростатического пробоя изолирующих материалов;
- Сбои и отказы от воздействия отдельных высокоэнергетичных ядерных частиц (протоны с энергией выше 10-20 МэВ и ионы солнечных и галактических космических лучей с линейными потерями энергии выше нескольких $\text{МэВ}\cdot\text{см}^2\cdot\text{мг}^{-1}$.)

Основные радиационные эффекты, присущие традиционной КМОП технологии производства интегральных схем

1. Эффекты накопленной дозы ионизации.
2. Эффекты единичных сбоев.

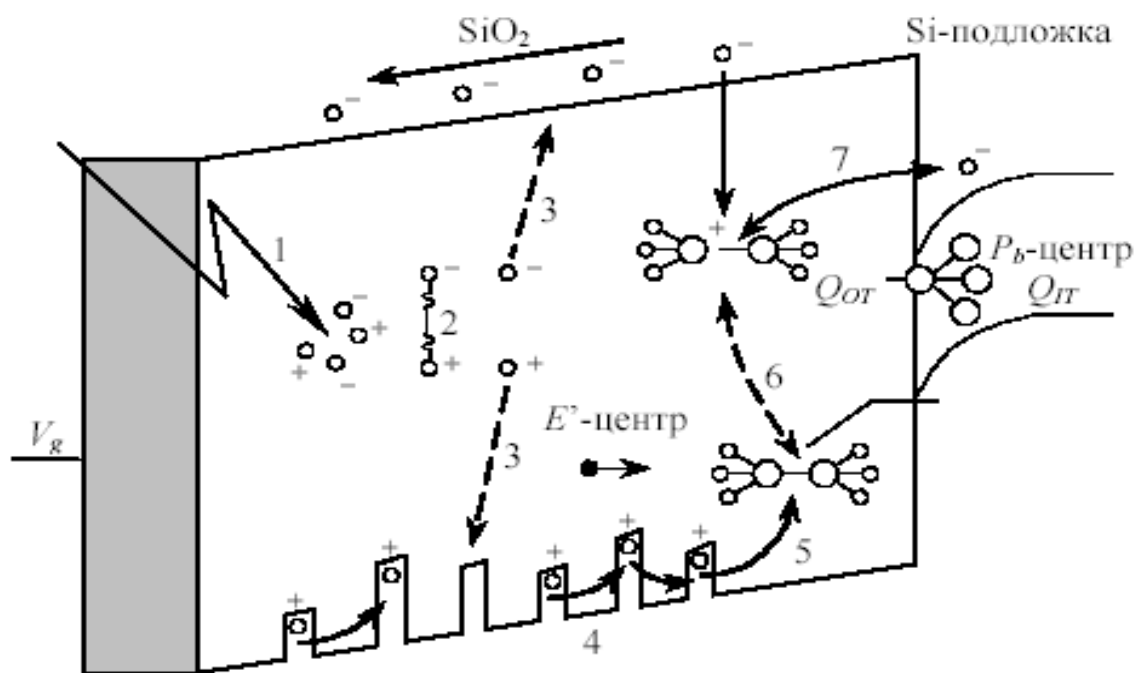


Схемотехнические методы борьбы с эффектами единичных сбоев

- Тройное модульное замещение ячеек памяти с голосованием.
- Ячейки с защищенными затворами транзисторов.
- Ячейки с использованием структур обратной связи.
- Кодированные и декодирующие блоки.



Процессы накопления радиационно-индуцированного заряда в диэлектриках ИС



Процессы:

- 1 - генерация электронно-дырочных пар
- 2 - рекомбинация
- 3 - разделение электрическим полем
- 4 – перенос через окисел
- 5 – захват дырок глубокими центрами
- 6 – отжиг



Процессы генерация поверхностных состояний.

Природа генерации поверхностных состояний:

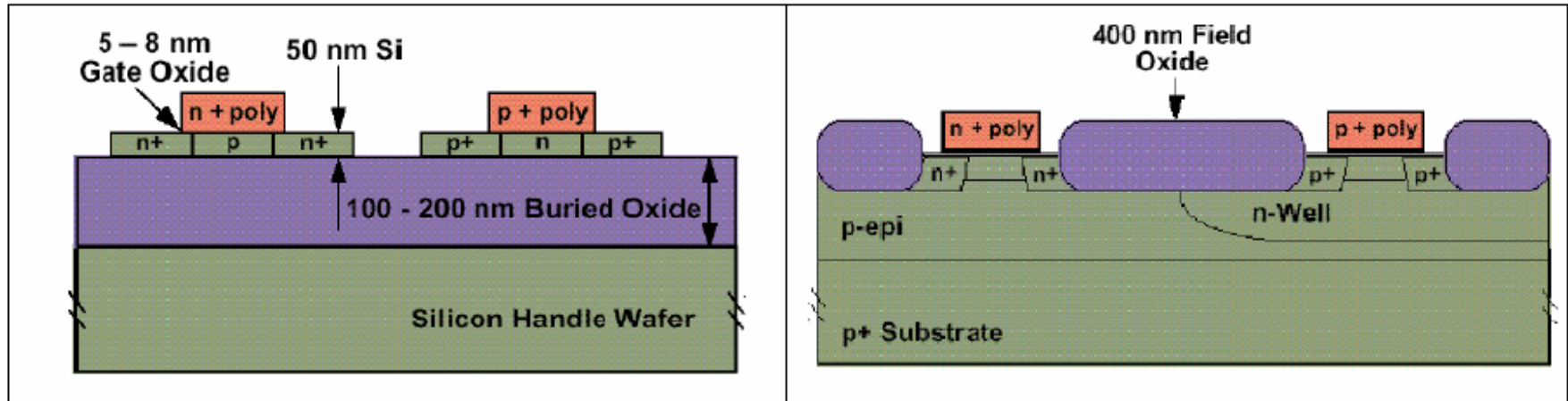
- участие водорода и его соединений



- отжиг положительного заряда и структурное его преобразование в поверхностное состояние.

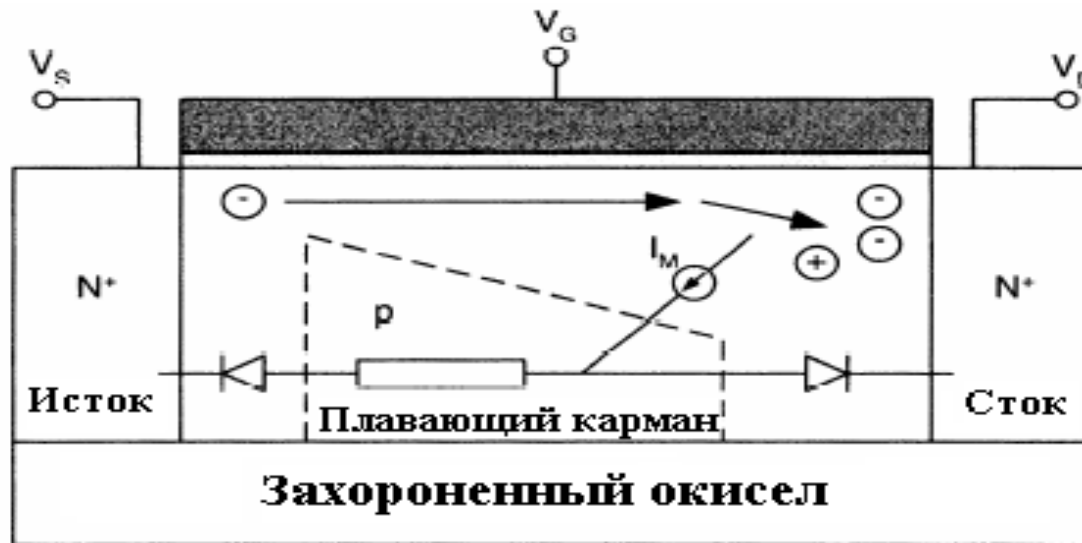


Сравнение КМОП технологий на объемном кремнии и кремнии на изоляторе



Для КНИ-технологии топология схемы получается более компактной и работает быстрее за счет уменьшения паразитных емкостей p-n переходов и связанных с ними перекрестных помех. Существенным является также тот факт, что для КНИ технологии не требуется оборудование, дополнительное к стандартной КМОП технологии.

Эффект плавающего кармана в КНИ



«Кинк-эффект» - паразитный эффект в КНИ-транзисторе.

Механизм образования «кинк-эффекта» - этот эффект возникает из-за ударной ионизации, при которой электроны с высокой энергией, приобретаемой из-за высокого электрического поля мигрируют в область стока, создавая большое количество электронно-дырочных пар, при этом электроны улетают в сток, а дырки перемещаются в плавающую подложку, аккумулируясь на границе ВОХ недалеко от истока.

Зависимость «кинк-эффекта» от длины канала транзистора

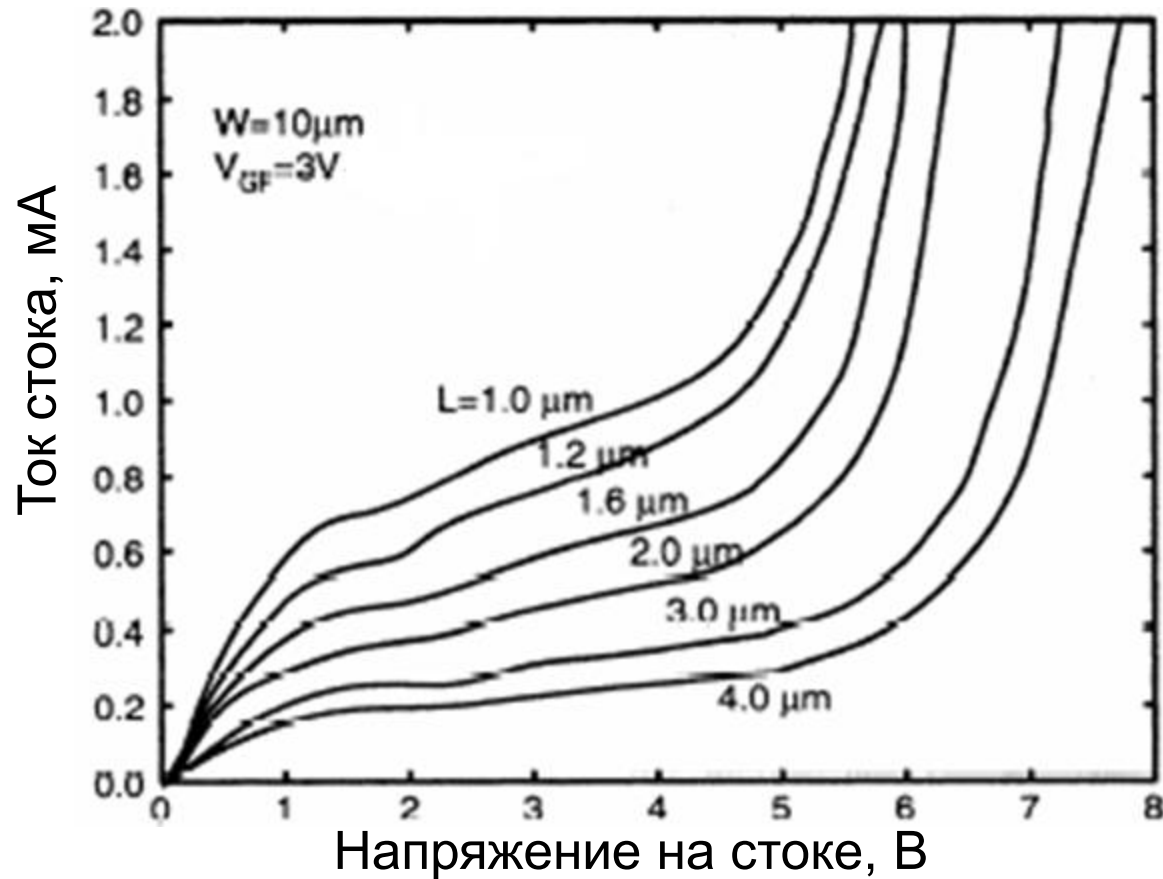
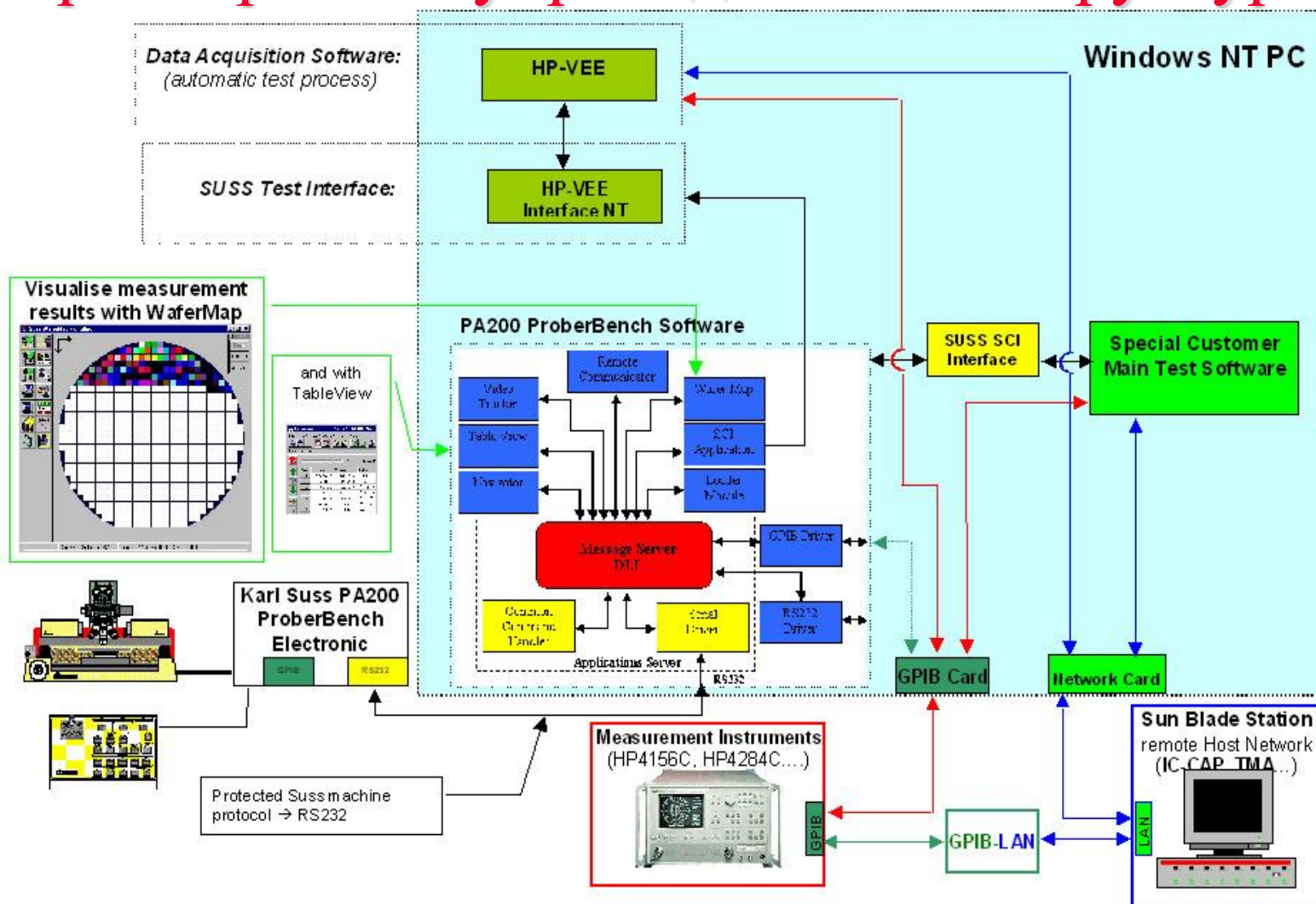


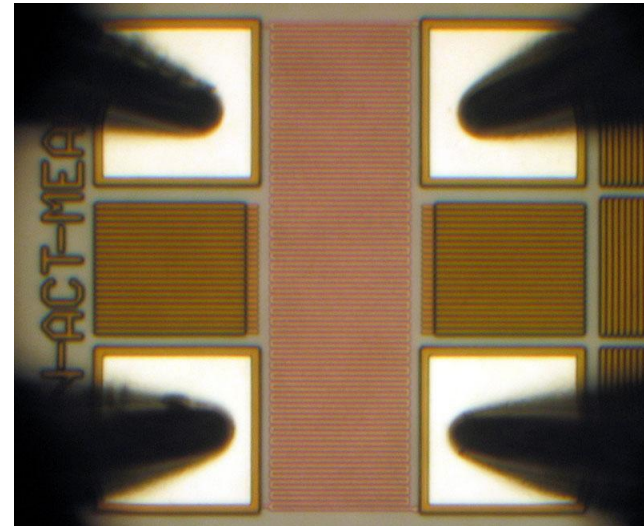
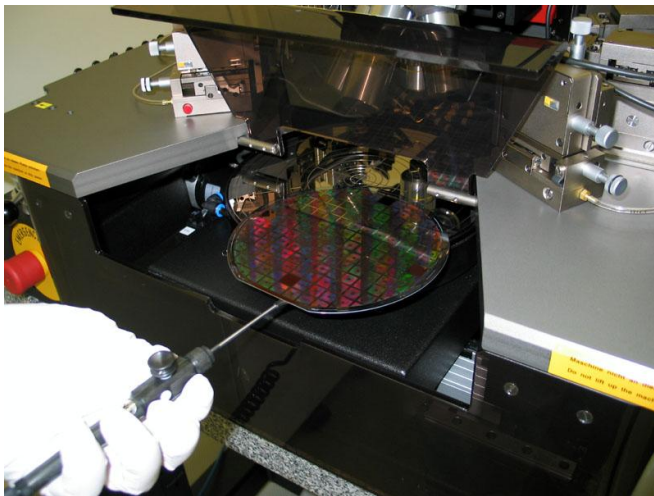
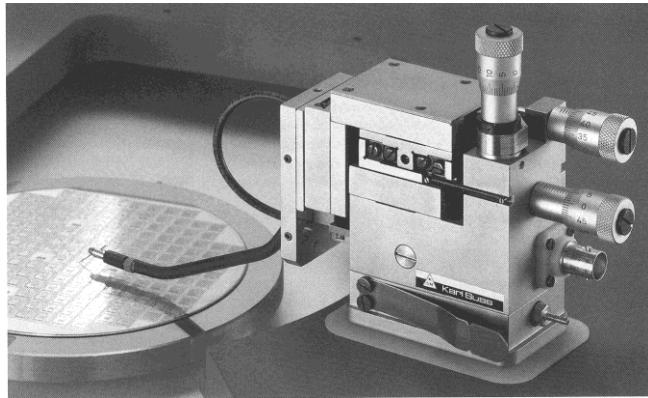
Схема разработанного комплекса для измерения параметров полупроводниковых структур



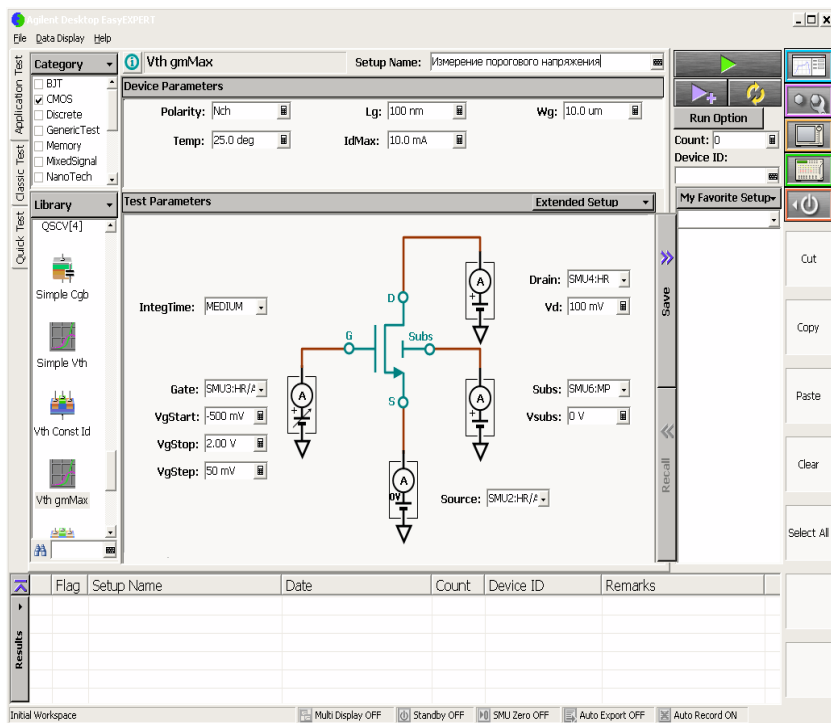
Аппаратная часть комплекса для измерения параметров полупроводниковых структур



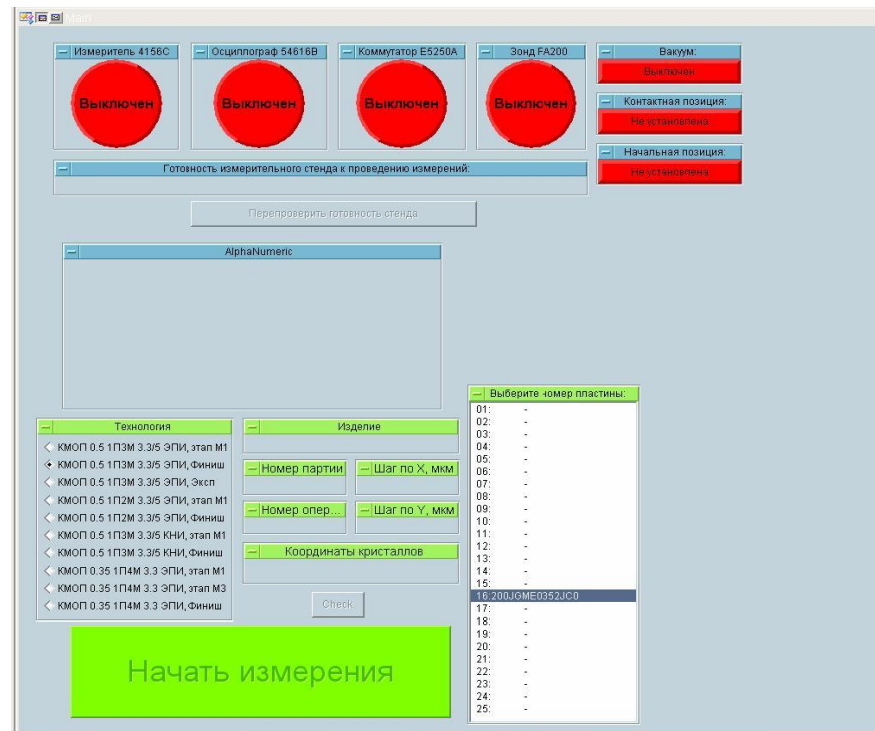
Аппаратная часть комплекса для измерения параметров полупроводниковых структур



Программная часть комплекса для измерения параметров полупроводниковых структур



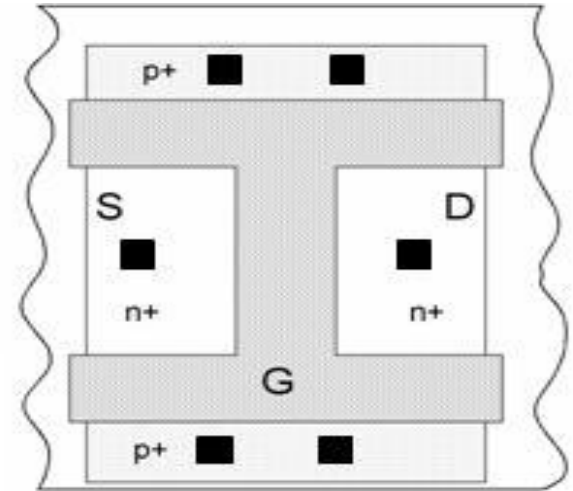
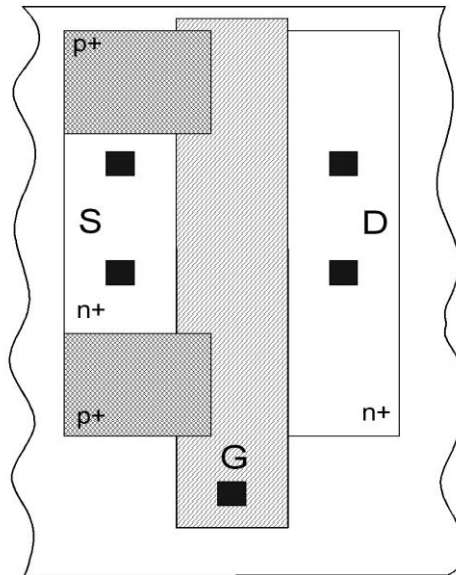
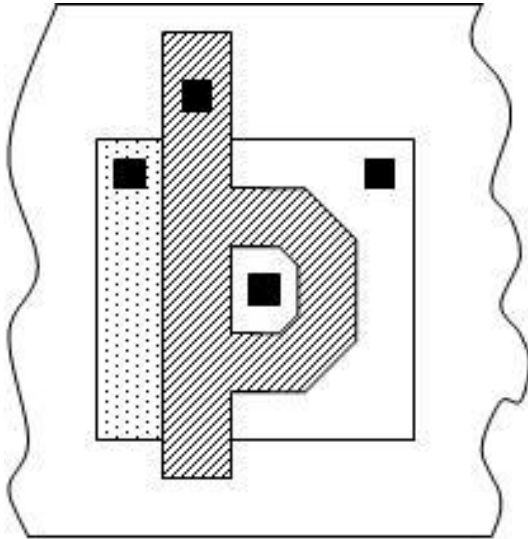
Agilent Easy Expert



Agilent VEE Pro

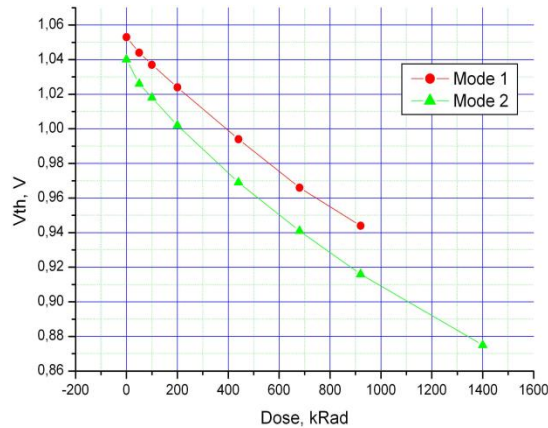


Топология спецстойких транзисторов КНИ 0.5 мкм

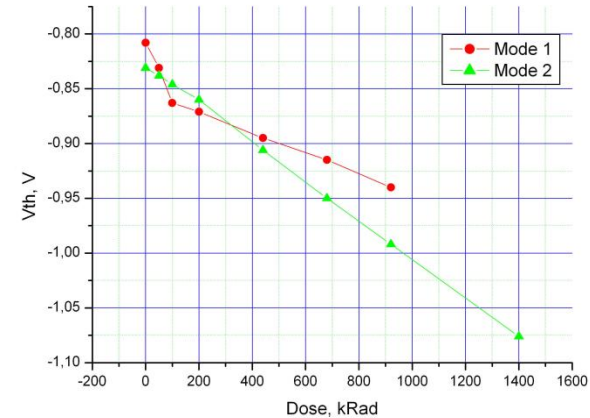


Результаты экспериментальных исследований транзисторов КНИ 0.5 мкм

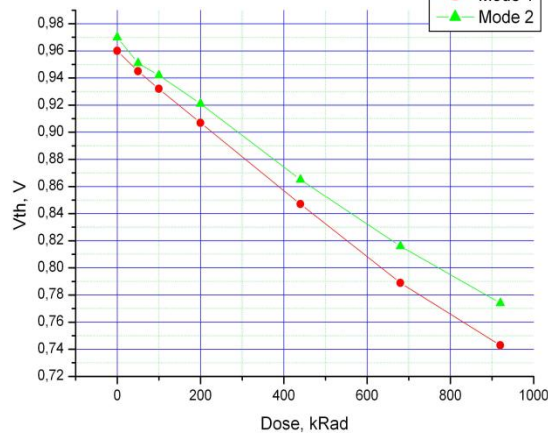
"A+"-type nMOSFET



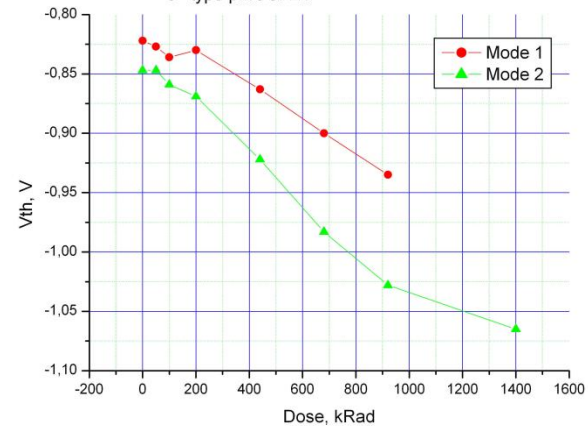
"A+"-type pMOSFET



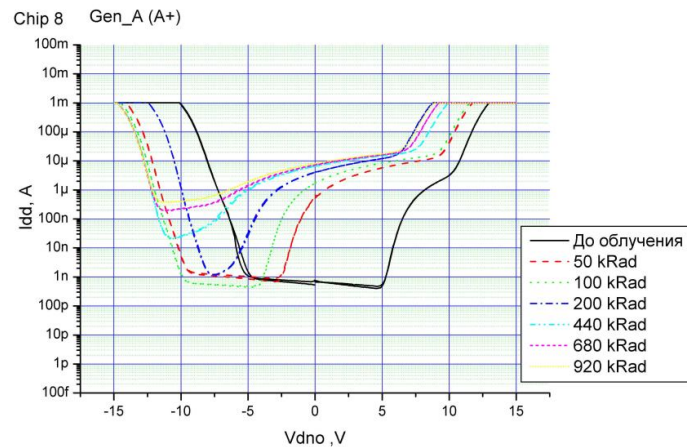
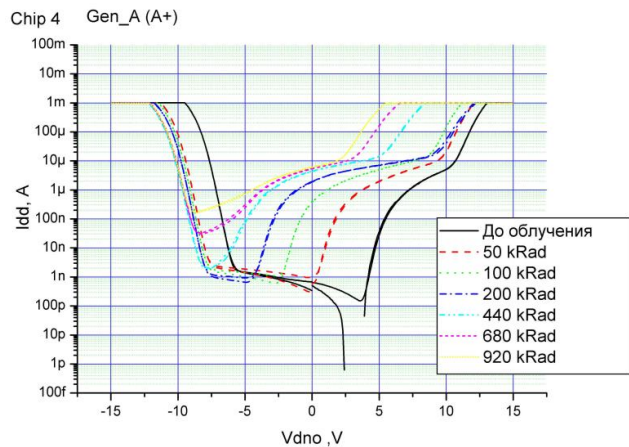
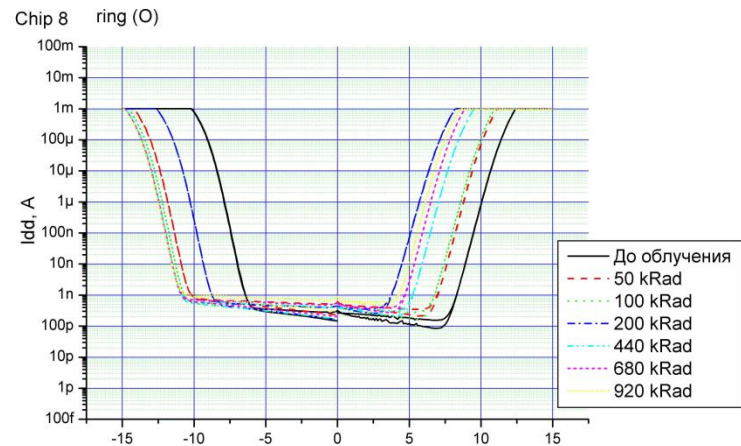
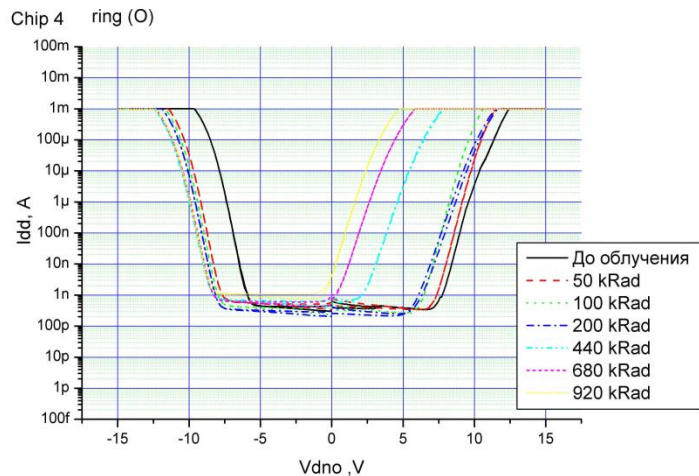
"O"-type nMOSFET



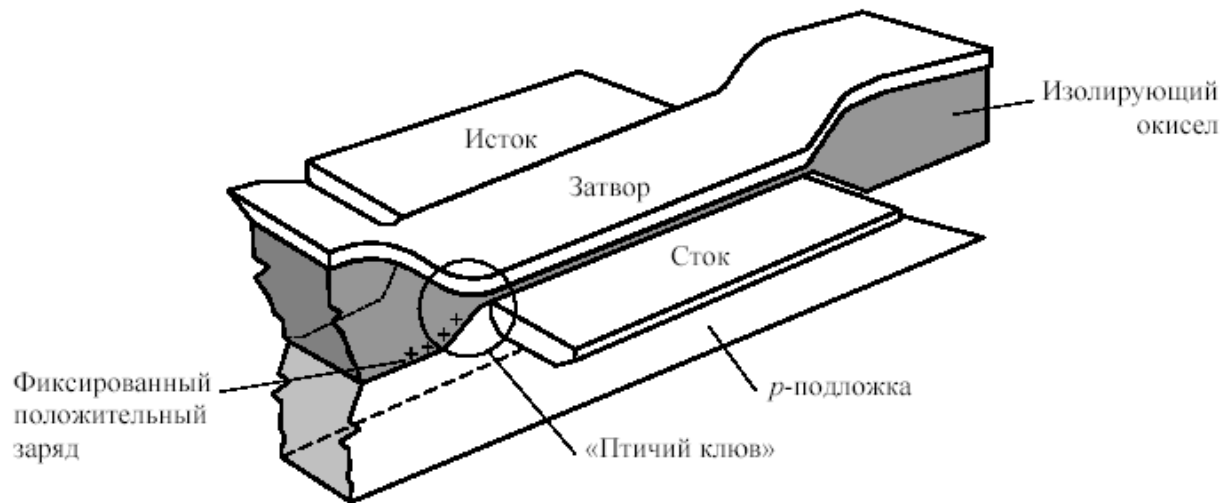
"O"-type pMOSFET



Результаты экспериментальных исследований кольцевых генераторов КНИ 0.5 мкм

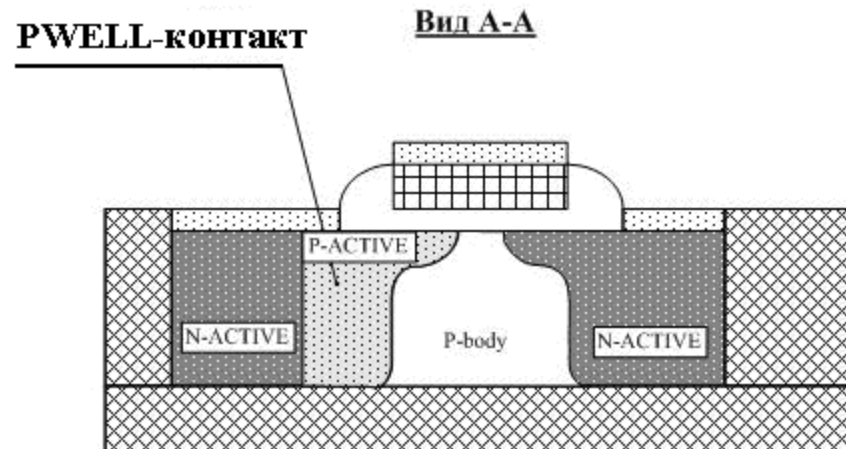
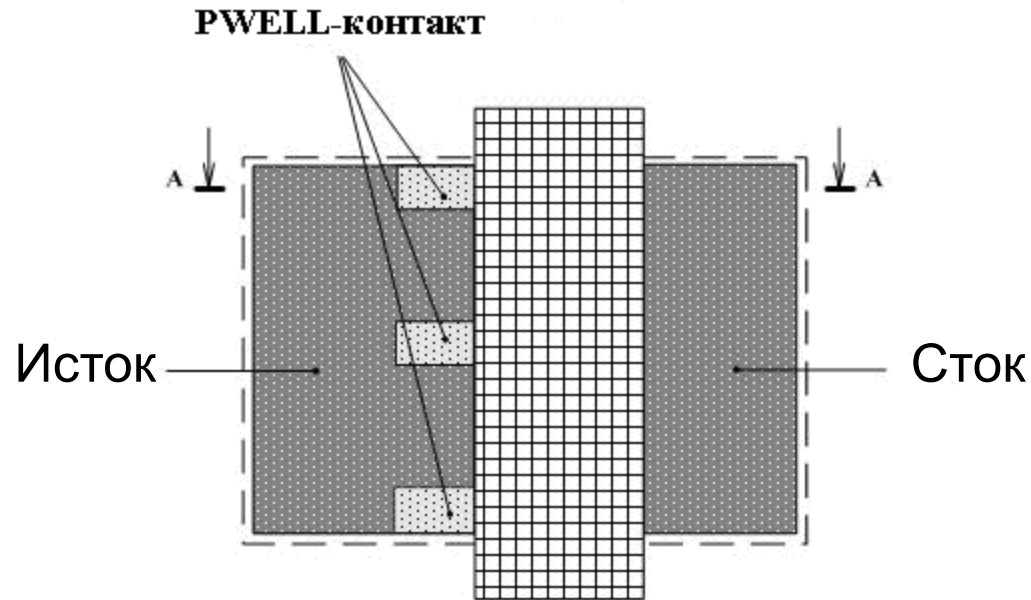


Выявленная при анализе результатов испытаний ячеек КНИ 0.5 мкм проблема.

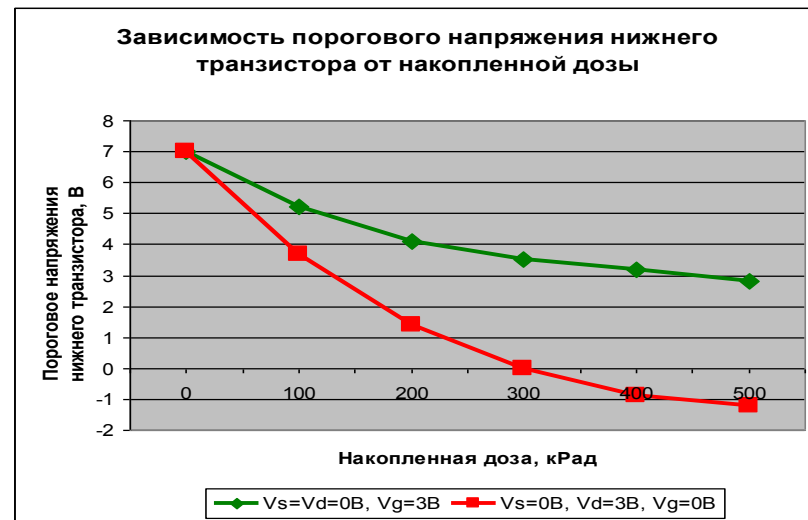
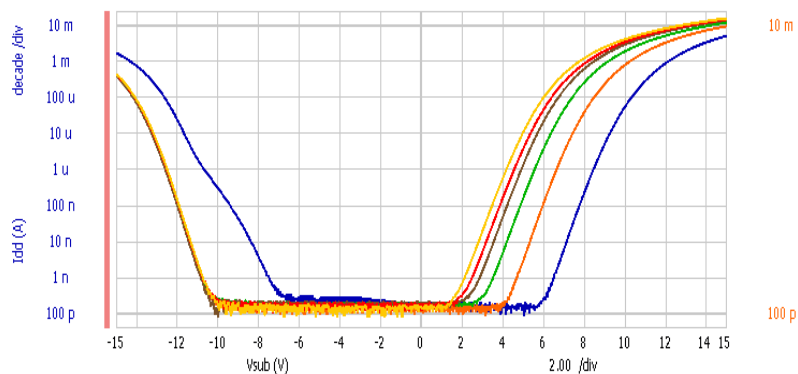
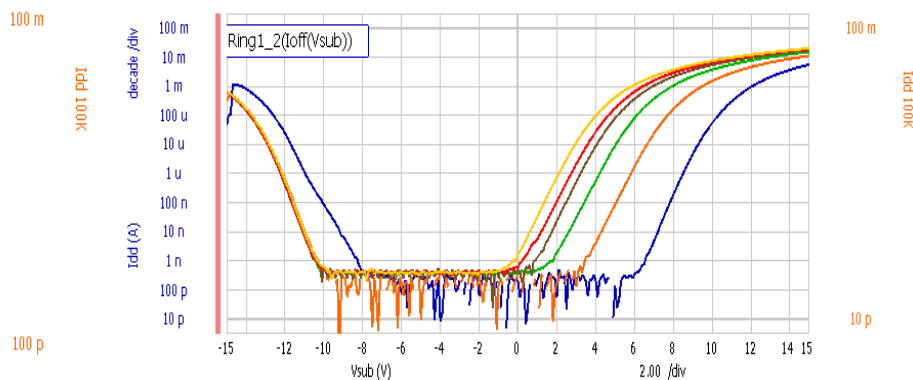
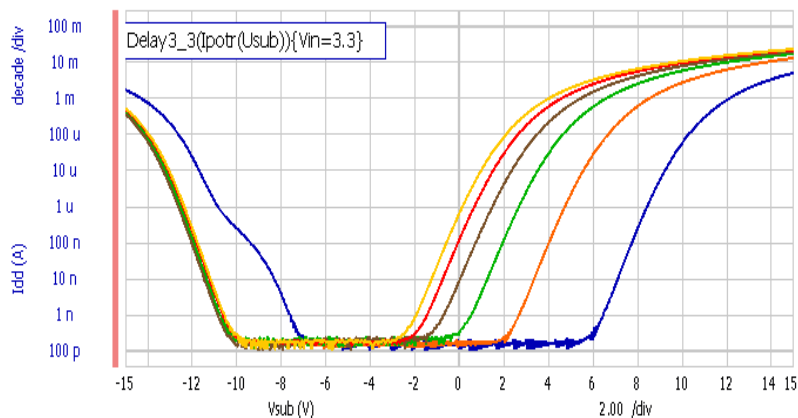


Приоткрывание бокового транзистора из-за накопления радиационно-встроенного заряда в области щелевой изоляции

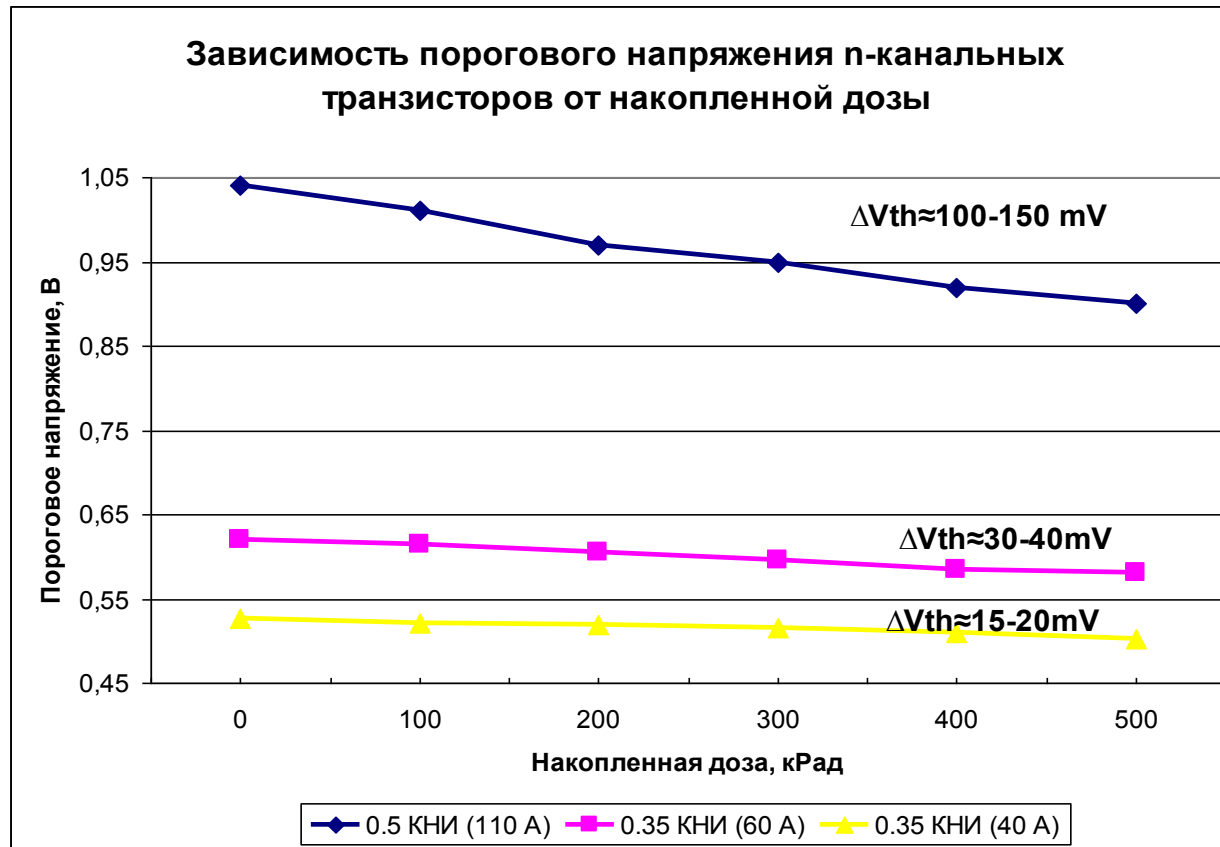
Транзистор, разработанный для КНИ 0.35 мкм



Результаты экспериментальных исследований функциональных ячеек КНИ 0.35 мкм



Анализ влияния толщины подзатворного окисла на дозовые зависимости параметров транзисторов А- и О-типа



Основные результаты работы:

- Проведено исследование радиационных эффектов, характерных для технологии КМОП.
- Разработан стенд для измерения электрофизических параметров полупроводниковых структур, подвергавшихся испытаниям на радиационную стойкость, позволивший в кратчайшие сроки провести измерение параметров транзисторных структур и функциональных ячеек.
- Выявлены и описаны конструкторско-технологические факторы, ограничивающие стойкость СБИС к накопленной дозе.
- Предложены топологические методы обеспечения радиационной стойкости СБИС, разработаны топологические варианты КНИ транзисторов, имеющих контакты к карману и не имеющие выхода затвора на толстый окисел, позволившие достичь стойкости к ионизирующему излучению до дозы в 500 кРад;
- Исследовано влияние толщины подзатворного окисла на динамику дозовой деградации порогового напряжения активного транзистора и предложены меры по улучшению дозовой деградации КНИ структур с проектными нормами 0.35 мкм и менее;

Основные результаты работы(продолжение):

- Исследовано влияние режимов формирования активных областей и топологических параметров на величину и дозовую зависимость токов утечки бокового транзистора, предложены технологические режимы, позволяющие снизить вызванные ионизирующим излучением токи утечки до 1мкА.
- Разработаны модели транзисторов, учитывающие деградацию их параметров при дозовых воздействиях, что позволило уточнить SPICE-параметры транзисторов формируемых в технологическом процессе КМОП КНИ с проектными нормами 0.5 и 0.35 мкм
- Предложены дальнейшие меры по улучшению радиационной стойкости КМОП КНИ СБИС, в частности использование BUSFET - транзисторов с контактом к карману, который соединяет области кармана во всех точках вдоль ширины канала транзистора.