

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ
ПРИБОРНЫХ СТРУКТУР С ТРЕБУЕМЫМИ СТРУКТУРНЫМИ
И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ**

© 2016 г. Г.А. МУСТАФАЕВ, М.Г. МУСТАФАЕВ

Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет), г. Владикавказ

Повышение степени интеграции и уменьшение размеров элементов интегральных микросхем (ИС) связано с качественными изменениями свойств активных и пассивных элементов. Для обеспечения качества изделий и технологичности их производства необходим поиск новых материалов, способных удовлетворить возрастающие требования к элементам ИС и совершенствование технологии их производства [1, 2].

Производство ИС характеризуется тем, что вертикальные размеры активных областей элементов микросхемы становятся соизмеримыми с планарными размерами, т.е. транзисторные структуры элементов микросхем становятся «трехмерными». Резкое уменьшение планарных размеров элементов ИС привело к возникновению ограничений: физических, связанных с предельно высокими электрическими полями в активных областях; технологических, связанных с флуктуациями легированных примесей и необходимостью выполнения множества межсоединений элементов микросхем; схемотехнических, связанных с увеличением энергопотребления и большим разрывом в быстродействии сверхбольших ИС (СБИС); по стойкости СБИС к внешним воздействующим факторам (ВВФ), связанных с соизмеримостью вносимых дефектов с размерами активных областей структур и т.д.

Решение задач повышения качества приборов с уменьшением размеров элементов связано с совершенствованием технологии формирования ИС на основе использования кремний-на-изоляторе (КНИ)-структур. Применение КНИ-структур позволяет уменьшить влияния паразитных эффектов и повысить надежность изоляции рабочего объема прибора от остальной схемы и подложки, а также снизить нежелательные эффекты, в частности, устраняет взаимовлияние между элементами схемы и повышает быстродействие приборов, уменьшается потребляемая мощность, что позволяет увеличить интегральную плотность элементов.

Совершенствование технологии формирования совершенных КНИ-структур с требуемыми структурными и электрофизическими параметрами позволяет улучшить качество границы раздела кремний-изолятор, которое обуславливается рассогласованием кристаллических решеток кремния и подложки. Рассогласование приводит к генерации дефектов кристаллической решетки, возникновению механических напряжений в эпитаксиальном слое и к ухудшению электрофизических параметров структур.

Исследование, оптимизация технологии формирования КНИ-структур и управление изменениями свойств границы раздела диэлектрик-полупроводник позволяет:

- совершенствовать технологию создания КНИ-структур и улучшить электрофизические параметры;
- определить механизмы образования дефектности в процессе формирования КНИ-структур;
- выявить связи между конструктивно-технологическими особенностями КНИ-структур и их параметрами;

- совершенствовать и оптимизировать конструкции КНИ-структур.

Исследование и анализ характеристик КНИ-структур, полученных методом сращивания кремниевых пластин, гетеро-эпитаксией кремния на сапфире и перекристаллизацией кремниевых пленок на аморфной подложке показывает, что низкое качество границы раздела кремний-изолятор, приводит к существенным токам утечек через структуры, при использовании их в структурах БИС и СБИС. Низкое качество границ обусловлено влиянием повышенной плотности дефектов, генерируемых в процессе роста из-за несоответствия кристаллофизических параметров подложки и пленки. Приборы и элементы БИС также характеризуются повышенными токами утечек, обусловленными наличием встроенного заряда на границе Si – SiO₂.

Одним из основных моментов в технологии сращивания пластин является целостность границ раздела. Нарушение целостности границ технологии связано с образованием локально несвязанных областей (пор) между двумя связываемыми пластинами. Для устранения этих нарушений необходимо повышение температуры процесса сращивания, а увеличение температуры ведет к возникновению в структуре механических напряжений, которые приводят к генерации структурных дефектов и отрицательно сказываются на ВАХ приборов и элементов интегральных схем.

Исследование влияния технологических факторов на дефектность и параметры КНИ-структур показывают, что различие температурных коэффициентов линейного расширения кремния и диэлектрика приводит к появлению значительных внутренних напряжений в КНИ-структурах. Величина напряжений, действующих в слое кремния и диэлектрической подложке, зависит от соотношения толщины кремния и сапфира. Внутренние напряжения значительно влияют на электрофизические свойства пленки, изменяя значения удельного сопротивления и подвижности носителей заряда в кремнии.

Анализ стоковых характеристик МДП-транзисторов, изготовленных на кремний на сапфире (КНС) структурах, показывает, что при одинаковых режимах ток стока и крутизна характеристик приборов на более совершенных пленках в 3 – 5 раз больше, что обусловлено увеличением подвижности, из-за снижения дефектов и изменением порогового, индуцированного полем затвора, поверхностного заряда, при котором появляется заметная проводимость канала. Концентрация дефектов в кремнии в направлении, ортогональном к плоскости сапфира, убывает экспоненциально с характеристической постоянной, определяемой технологией изготовления структуры.

Исследование зависимости поверхностного потенциала от концентрации заряженных состояний и распределение поверхностных состояний по энергиям в запрещенной зоне кремния показал, что плотность состояний имеет минимум в середине запрещенной зоны и параболический к краям запрещенной зоны, изменение порогового напряжения пропорционально изменению толщины обедненного слоя. Отрицательный заряд поверхности раздела способствует нейтрализации положительного заряда в слое Si и уменьшает токи утечки n-канала.

Высокие значения обратных токов, по-видимому обусловлено наличием положительного заряда на поверхностных состояниях вблизи границ раздела кремний-сапфир.

Исследование технологических режимов создания приборов на КНИ показало, что увеличение температуры отжига сапфира непосредственно перед наращиванием кремния приводит к уменьшению тока утечки. Для дальнейшего улучшения параметров КНИ-структур применяется технология многоступенчатого процесса эпитаксиального выращивания плёнок Si.

Переход кремний-сапфир представляет область переменного состава толщиной более 30 нм. Переходная область, образующаяся в результате наращивания на поверхности сапфира эпитаксиального кремниевого слоя, состоит преимущественно из алюмосиликатов и представляет в целом сильно неупорядоченную систему. Наряду с алюмосиликатами в составе переходной области присутствует кремний. Материал с таким неупорядоченным строением обладает высокой плотностью локализованных состояний. Наличие между кремнием и сапфиром прослойки материала с высокой плот-

ностью локализованных состояний оказывает сильное влияние на электрофизические процессы в структурах КНС. Перераспределение носителей заряда между локализованными состояниями и зонами в кремнии при термодинамическом равновесии приводит к появлению в кремнии области пространственного заряда, эквивалентной наличию на границе раздела сосредоточенного заряда.

Учет неупорядоченного характера строения перехода кремний-сапфир позволяет установить причинную связь между зарядом на границе в структуре КНС и током утечки полевого транзистора.

Для снижения токов утечки, напряжений в КНИ-структурах и улучшения параметров приборов необходимо формировать в изолирующей подложке под слоем кремниевой пленки слоя диоксида кремния. При этом на границе раздела кремниевая пленка-изолирующая подложка происходит снижение плотности структурных дефектов из-за уменьшения несоответствия решеток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мустафаев М.Г., Мустафаев Г.А.* Влияние несовершенств и дефектов структур на надежность и качество приборов // *Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения*, 2013, Т.13, вып. 6, С. 40-42.
2. *Мустафаев М.Г.* Некоторые особенности формирования качественных приборных структур // *Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения*, 2013, Т.13, вып. 6, С. 45-47.