

угрозы. По результатам произведения баллов воздействия на баллы уязвимости оценивается уровень риска для системы при воздействии на нее угроз определенных категорий и типов.

Данные методы позволяют оценить риски информационной безопасности с должным уровнем надежности и спланировать оптимальный комплекс мероприятий по защите информационных активов.

Литература

1. Маслов О.Н. О моделировании риска принятия решений в области обеспечения информационной безопасности // INSIDE. Защита информации. 2011. № 4 (40).

2. DPC/F4.1 Government framework on cyber security – Information Security Management Framework [ISMF], version 3.3. September 2017.

ПОДВИЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОНОВ В МОДУЛЯЦИОННО-ЛЕГИРОВАННОЙ СТРУКТУРЕ НА ОСНОВЕ НИТРИДА ГАЛЛИЯ

В.С. Волчѣк

Полевые транзисторы с модуляционно-легированной структурой (транзисторы с высокой подвижностью электронов, ТВПЭ) на основе нитрида галлия являются перспективными элементами сенсорных устройств, используемых в системах инженерно-технической защиты объектов. Высокочастотные полупроводниковые приборы требуют больших концентраций носителей заряда с максимально возможной подвижностью. Проблема частично решается в модуляционно-легированной структуре, в которой высокоподвижные электроны с большой концентрацией оказываются пространственно отделенными от положительно заряженных ионов донорной примеси, что ослабляет их рассеяние. Тем не менее, при приложении сильного электрического поля рассеяние электронов на ионизированных примесях возрастает, что приводит к ухудшению подвижности и характеристик прибора.

Для исследования влияния сильного электрического поля на подвижность электронов в ТВПЭ на основе нитрида галлия выбрана структура, состоящая из барьерного слоя $Al_xGa_{1-x}N$, буферного слоя GaN, омических контактов к истоку и стоку и затвора Шоттки. Моделирование выполнялось в программном комплексе компании Silvaco. В расчетах использовалась модель Фарахманда, позволяющая рассчитывать подвижность в зависимости от электрического поля и концентрации донорных примесей [1]. Результаты показывают, что при увеличении процентного содержания алюминия x в барьерном слое (концентрация донорной примеси равна 10^{17} см^{-3}) со значения 0,1 до 0,4 концентрация электронов в канале под затвором повышается в 9,8 раз, а подвижность снижается на 19,5 %. Таким образом, для увеличения произведения концентрации на подвижность требуется достижение определенного компромисса.

Литература

1. Monte Carlo Simulation of Electron Transport in the III-Nitride Wurtzite Phase Materials System: Binaries and Ternaries / M. Farahmand [et al.] // IEEE Trans. Electron Devices. 2001. Vol. 48. P. 535–542.

ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

А.И. Воробьева, Д.Л. Шиманович, Е.А. Уткина

Необходимость в создании нанокompозитных материалов обусловлена современной потребностью увеличения как степени интеграции электронных элементов, так объемов и скорости передачи информации. Дальнейшее уменьшение размеров активных элементов приближается к пределу, связанному с принципиальными физическими ограничениями, и последующее развитие требует привлечения новых решений и подходов, в частности к разработке нанокристаллических функциональных и композиционных материалов (например, «наносборка» с использованием пористого оксида алюминия). Особую роль в свойствах

нанокристаллических композитных материалов, в сравнении с поликристаллическими, играет большая объемная доля границ зерен и, как следствие, высокий уровень внутренних напряжений. Кроме того, поведение частиц, заключенных в поры матрицы, может отличаться от их поведения в свободном состоянии, что обусловлено влиянием межфазной границы «матрица – нанокристалл».

Основная цель исследования состояла в том, чтобы исследовать термическую стабильность магнитных нанокристаллических композитов на основе пористого оксида алюминия (ПОА). Были проведены комплексные исследования состава, структуры и термодинамических характеристик композита из нанонитей (НН) Ni в ПОА мембранах собственного изготовления. Дифференциально-термический и термогравиметрический анализ образцов проводили с использованием синхронного термического анализатора NETZSCH STA 409 PC/PG Luxx (Германия) с вертикальной загрузкой образцов.

Проведенные исследования показали, что фазовые переходы в Ni/ПОА композитах начинаются при температурах выше 250°C, то есть, термостойкость композита ниже, чем термостойкость ПОА мембраны. Механические напряжения возникают при нагревании вследствие (1): различия температурных коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) матрицы и частицы; (2): аномального увеличения размеров кристаллитов НН в условиях ограниченного пространства (в длинных узких порах ПОА). При нагреве до 250 °C начинается заметное увеличение среднего размера зерна, а при нагреве до 350 °C нанокристаллическая структура НН трансформируется в суб-микро-кристаллическую.

ОСОБЕННОСТИ ПРИБОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ В ПАКЕТЕ VICTORY

А.Ю. Воронов, И.Ю. Ловшенко

Рассматриваются особенности приборно-технологического моделирования элементов интегральных микросхем в пакете Victory программного комплекса компании Silvasco. Данный пакет позволил фирмам-проектировщикам и научно-исследовательским лабораториям использовать улучшенные модели диффузии примеси, травления и осаждения. Помимо прочего, данный пакет позволяет проектировать приборы в трехмерном пространстве без использования сторонних программ и использует улучшенный код, который организует многопоточность вычислений, что позволяет не только снизить машинно-временные затраты на вычисления, но и дает возможность использовать более продвинутые модели. Например, модель Монте-Карло при имплантации и модель диффузии дефектов при термообработке пластины.

Проведено сравнение результатов моделирования технологического процесса формирования *n*-канального МОП-транзистора с проектными нормами 0,35 мкм в пакете Victory с широко используемым ранее пакетом Athena. Показано, что без проведения калибровки используемых моделей, имеет место большое расхождение в контролируемых параметрах. Например, для *n*-кармана МОП-транзистора глубина залегания примеси при энергии вводимых ионов 405 эВ и дозе $2,14 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ в пакете Victory составила 1 мкм, а в пакете Athena – 0,93 мкм (соответствует расхождению результатов в 8%); поверхностная концентрация в пакете Victory составила $1,31 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, в Athena – $3,18 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ (76 %); после проведения термического отжига пластин при температуре 950 °C в среде сухого кислорода в течение 30 минут расхождение результатов глубины залегания и поверхностной концентрации составили 6 % и 45 % соответственно. После применения методики калибровки моделей технологических операций расхождение результатов глубины залегания и поверхностной концентрации после имплантации составили 1 % и 15 % соответственно, а после диффузии – 1,5 % и 17 % соответственно. В докладе также рассматриваются методики для увеличения сходимости результатов моделирования реактивного ионного травления, окисления подложек в средах влажного и сухого кислорода.