

Описание (профиль) научно-исследовательского проекта (НИП) по треку постдоков Международной олимпиады Ассоциации «Глобальные университеты»

УНИВЕРСИТЕТ	МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (Московский Политех)
Наименование научно-исследовательского проекта (НИП)	Моделирование тепловых и деформационных процессов кремниевых мембран в микролометрических устройствах
Наименование подразделения	Научно-технический центр «Оптоэлектроника» Московского Политеха
Руководитель подразделения	Николаев Владимир Константинович, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник
Руководитель проекта	Скворцов Аркадий Алексеевич, (Skvortsov, Arkadiy A.), доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник НТЦ «Оптоэлектроника»
Языки при выполнении проекта	Английский, русский

Цели и задачи НИП

Проект направлен на решение фундаментальной научной проблемы, связанной с исследованием и разработкой эффективных фотовольтаических полупроводниковых материалов и структур на их основе, а также исследованием особенностей механики деформирования и разрушения многослойных тонкопленочных материалов на основе полупроводников в условиях нестационарного нагрева.

Данное исследование направлено на:

- определение зависимостей теплового сопротивления между чувствительными элементами и подложкой для различной геометрии и размера мембран;
- определение «критических» значений величины механических напряжений, приводящих к деформации поддерживающих консолей и к возникновению непосредственного контакта чувствительного элемента и подложки (условия контактного теплообмена);
- создание программно-аппаратного комплекса, изготовление тестовых структур на основе многослойных тонкопленочных структур, разработку методики температурных зависимостей теплопроводности тонких (толщиной не более 150 нм) пленок SiO₂, Si₃N₄, аморфного Si и экспериментальное определение значения коэффициентов теплопроводности для пленок разной толщины;
- проведение численного моделирования и экспериментов по изучению переходных процессов в таких структурах при термоциклировании и повышенных тепловых нагрузках.

Описание научных подходов и методов

1. Методы формирования многослойных тонкопленочных структур на кремнии. При формировании модельных структур металл-полупроводник и металл-диэлектрик-полупроводник в качестве подложек будут использованы легированные фосфором кремниевые монокристаллические пластины, с удельным сопротивлением в диапазоне 1...0.01 Ом.см толщиной 300-350 мкм. На части пластин будут выращены тонкие пленки оксида (SiO₂), нитрида (Si₃N₄) кремния. В качестве проводящей металлической пленки будут использованы пленки алюминия и меди. Нанесение пленок нитрида кремния будет реализовано путем пиролитического осаждения на пластины кремния дихлорсилана с аммиаком при пониженном (~50 Pa) давлении в интервале температур 700-900 °С. Выращивание термического оксида будет осуществлено в диффузионных печах по стандартной технологии в диапазоне температур 1150-1250 °С в сухом кислороде. Формирование тестовой структуры будет выполнено методом оптической фотолитографии.

2. Методика исследования тепловых свойств тонких пленок. Исследование тестовых структур будет осуществлено методом вольтметра-амперметра по электрическому отклику, снятому с различных ее участков при прохождении одиночных токовых импульсов различной формы. О температурных изменениях рассматриваемых структур судили по осциллограммам включения. Наличие диэлектрических подслоев с различным значением коэффициента теплопроводности четко отражается на осциллограммах при прохождении токовых импульсов. По экспериментальным осциллограммам включения и данным о толщинах диэлектрических пленок будут рассчитаны температурные зависимости величин коэффициента теплопроводности исследуемых пленок SiO₂ и Si₃N₄.

3. Методика исследования разрушения многослойных тонкопленочных структур. Для исследований использовалась экспериментальная установка, состоящей из источника прямоугольных токовых импульсов амплитудой до 60 А и длительностью до 1 ms, цифрового запоминающего осциллографа и цифрового

оптического микроскопа для регистрации процессов «теплового» разрушения многослойных тонкопленочных структур. Поэтому при таких условиях в рассматриваемых системах могут развиваться процессы образования трещин в диэлектрических пленках. Процессы трещинообразования будут фиксироваться металлографическими исследованиями, оптической и электронной микроскопией. При реализации процессов плавления–кристаллизации алюминия на поверхности диэлектрических пленок образование трещин предполагается на межфазных границах. Кроме того, возможны процессы отслоения пленок от подложек.

4. Расчет напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов. Расчет напряженно-деформированного состояния структуры будет реализован программном комплексе ANSYS. Для численного моделирования структуры будут использованы элементы Plane 183 и Solid 185, не исключено использование и других элементов. Элемент plane 183 является двухмерным элементом второго порядка с восемью узлами, имеющими две степени свободы в каждом узле: перемещения в направлении осей X и Y узловой системы координат. Элемент может использоваться для моделирования плоского напряженного, плоского деформированного состояний. Элемент Solid 185 будет использоваться для трехмерного моделирования полупроводниковой микроструктуры. Данный элемент состоит из 8 узлов, имеющих три степени свободы в каждом узле. Первоначально решение предполагается проводить в геометрически линейной постановке.

Оборудование и методики

Для решения поставленных в проекте задач будет использовано следующее оборудование и методики:

- установка осциллографического анализа, которая в сочетании с оригинальными тестовыми структурами и разработанной методикой позволит *in situ* контролировать состояние многослойных тонкопленочных систем на кремнии (по динамике температуры) в процессе прохождения импульсов тока. На данном этапе генератор импульсов будет доработан в части увеличения мощности токового импульса (длительность токовых импульсов увеличена с 600 μ s до 5 ms), что позволит зафиксировать деградацию структур в условиях теплового удара. Данный метод хорошо отработан и позволяет проводить диагностику критических режимов работы исследуемых структур (различной геометрии и топологии) в зависимости от изменения амплитудно-временных параметров импульсов тока;
- методы металлографии для анализа процессов деградации многослойных тонкопленочных структур на полупроводниковых подложках (метод избирательного травления; электронная микроскопия, разработанную авторами проекта методику диагностики характера дислокационной структуры по изменению нелинейных модулей упругости при статической деформации образцов);
- моделирование тепловых полей, а также термоупругих напряжений (с использованием CAE системы ANSYS14.0), возникающих в системах металлизации и полупроводниковых подложках. Использование данного программного обеспечения позволит смоделировать «критические» режимы работы многослойных тонкопленочных систем сложной геометрии,
- электронную микроскопию (растровый микроскоп JOEL) для анализа тонкопленочных систем до и после теплового удара.

При выполнении проекта планируется использование экспериментального оборудования, а именно:

- установка для электрохимического травления полупроводников;
- установка для ультразвуковой приварки контактов (диаметр проволоки 30-80 мкм);
- необходимый набор оптических микроскопов ИНФРАМ-И, МИИ-4, МЕТАМ-1, позволяющих обеспечить нужное увеличение;
- растровый электронный микроскоп JOEL;
- атомно-силовой микроскоп FSM Nanoview 1000 с антивибрационной платформой TMC TableTop CSP, набор монокристаллических пластин кремния, арсенида галлия и сапфира для формирования тестовых структур;
- микротвердомеры;
- для исследования напряженно-деформированного состояния как отдельных пикселей (с чувствительным элементом), так и матрицы в целом будет приобретен микроболометр Amorphous silicon microbolometer UL 04 27 2 - 032 (Ulis, France) или его полный аналог. Кроме того, для исследований имеется доступ к микроболометрам промышленного партнера.

При выполнении работ будет привлечено также технологическое оборудование центра коллективного пользования Московского Политеха и Сколтеха.