

Качественная оценка образцов проводилась с помощью атомно-силового микроскопа NT-206. Были получены изображения поверхности образцов. Исходя из которых были получены средние квадратичные из абсолютных значений отклонений профиля  $R_q$ , а также значения силы трения.

Количественная оценка микромеханических свойств (микротвердости и модуля упругости) проводилась методом наноиндентирования.

Благодаря проведенным исследованиям, были выявлены образцы с наиболее однородной структурой и наилучшими механическими свойствами. Далее они подверглись термообработке при 100, 200, 300, 400 °С. Анализ результатов позволил установить, что термообработка при 100 °С и 200°С ведет к незначительному увеличению модуля упругости (со 189 ГПа до 198 и 191 Гпа соответственно) и микротвердости (с 10,8 ГПа до 11,1 и 10,2 Гпа соответственно) за счет уменьшения внутренних напряжений. При нагреве 400 °С наблюдается непрерывное увеличение размера зерна от 10 (при комнатной температуре) до 200 нм соответственно. Детальный анализ зеренной структуры свидетельствует, что зерна увеличиваются за счет объединения, что вызвано повышением мобильности атомов пленки и рекристаллизацией наноразмерных зерен.

УДК 621.382

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ**

Студент гр.11310115 Ковальчук А. В.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.

Белорусский национальный технический университет

Биполярный транзистор представляет собой трёхэлектродный полупроводниковый прибор, который наряду с МДП-транзисторами является широко используемым в микроэлектронике типом транзисторов. Ток транзистора в подобных транзисторах течет последовательно от эмиттера к коллектору через два р-п-перехода.

В настоящей работе произведен обзор современных технологий, применяемых для формирования биполярных транзисторов. Они предполагают замену как самих подложек, так и материалов, а, соответственно, и технологий формирования проводящих и изолирующих слоев.

На скорости чипа в несколько ГГц возникает необходимость поиска новых материалов для подложек вместо традиционного кремния и германия. В качестве замены можно использовать арсенид галлия, но данное соединение является значительно более дорогим. Решением стало использование в качестве материала для подложек соединения кремния с германием, SiGe. Результатом применения стало увеличение скорости чипов в 2-4 раза и

такое же снижение энергопотребления по сравнению с кремниевой технологией. Необходимо отметить, что SiGe чипы можно изготавливать на том же производственном оборудовании, которое используется в традиционной кремниевой технологии.

В технологии современных транзисторов происходит замена алюминиевой металлизации на медную. Медь обладает лучшей проводимостью, что позволяет уменьшить сечение межкомпонентных соединений. По данным IBM, применение в технологическом процессе меди вместо алюминия, позволяет снизить себестоимость примерно на 20-30 процентов за счет снижения площади чипа. Проблемой при переходе на медь являлась взаимодиффузия меди и кремния, которая в настоящий момент решена путем формирования специальных барьерных слоев.

При постоянном увеличении плотности транзисторов необходимо уменьшать также толщину его изолирующего слоя, поэтому вместо традиционного SiO<sub>2</sub> предлагается использовать материалы с более высокими изолирующими свойствами – полиамид и перовскиты, что позволяет значительно снизить токи утечки и заметно увеличить плотность транзисторов на чипе.

УДК 621

## **ОПТИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ БЛИЗОСТИ КАК ОДИН ИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ РАЗРЕШЕНИЯ В ЛИТОГРАФИИ**

Аспирант Козлова Т. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

В настоящее время оптическая литография является ключевой технологией, применяемой при производстве интегральных схем. Постоянная тенденция уменьшения критического размера привела к достижению возможного предела литографии. При определенных требованиях к размерам переносимого на подложку изображения ухудшается его качество. В связи с постоянным улучшением разрешающей способности оптики, применяемой в фотолитографии и, соответственно, уменьшением размеров топологии, возникает необходимость в использовании масок, которые изготовлены с применением технологий повышения разрешения или других вспомогательных методик таких как : оптическая коррекция близости, внеосевое освещение, фазосдвигающие маски [1].

Технологию, которая называется оптической коррекцией близости и применяется при проектировании масок, можно использовать для повышения точности переноса изображения с шаблона на пластину. Целью технологии является улучшение оптических характеристик путем внесения корректировок в маску, которая компенсирует геометрию маски для известных эффектов, которые будут возникать во время переноса изображений.