

на автореферат диссертации **Наливайко Олега Юрьевича** на тему **«Формирование из газовой фазы функциональных слоёв субмикронных структур интегральных микросхем на основе кремния»**, представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Электронная промышленность является самой наукоемкой отраслью современного машиностроения. В машиностроении отдельных стран, в том числе и в Республике Беларусь, электронная промышленность занимает ведущие позиции. 14 июня 2022 года на совещании о состоянии и развитии микроэлектроники Президент Беларуси А.Г. Лукашенко заявил, что на фоне гибридного противостояния придание нового импульса развитию микроэлектронной промышленности актуально как никогда.

Основным направлением прогресса в области технологии микроэлектроники, является повышение степени интеграции. Разрабатываемые в настоящее время интегральные микросхемы содержат десятки миллионов элементов. Для их создания применяются структуры с многоуровневой металлизированной разводкой. Для формирования подобных структур требуется глобальная планаризация междууровневого диэлектрика при помощи химико-механической полировки, а также использование вольфрамовых «столбиков» в контактах. Именно этим вопросам посвящена диссертация Наливайко О.Ю., что и определяет ее актуальность.

В работе проведен анализ процессов осаждения поликристаллического кремния, легированного в процессе роста химическим осаждением из газовой фазы. Рассмотрены методы формирования и требования к межкомпонентной изоляции МОП-транзисторов субмикронных ИМС.

Проведен анализ современного состояния и требований к формированию субмикронных структур с многоуровневыми межкомпонентными соединениями. Рассмотрены особенности процессов осаждения слоёв сплавов $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ и Ge и создания структур на их основе, в том числе структур для энергонезависимой памяти с нанокристаллами Ge.

В автореферате приведены результаты исследований кинетики осаждения плёнок ПКЛФ и слоёв сплавов $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$. Показано, что при осаждении пленок ПКЛФ в диапазоне температур 540 – 560 °С и соотношениях потоков PH_3/SiH_4 , равных 0,001 – 0,002, достигается удельное сопротивление пленок ПКЛФ 600 – 1000 мкОм×см при скорости осаждения 2,2 – 2,5 нм/мин, а также снижение шероховатости поверхности плёнок ПКЛФ до 2,1 нм (после термообработки при 950 °С). Также предложено использовать двухслойную структуру ПКЛФ, состоящую из высоколегированного слоя поликремния и слоя нелегированного поликремния для получения резисторов из полицида титана шириной 0,35 мкм с удельным сопротивлением не более 23 мкОм×см. Указанные процессы внедрены в серийном производстве. Разработан и запатентован способ осаждения слоёв $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ толщиной от 20 до 25 нм с содержанием германия от 4 до 20 ат. %.

Для заполнения канавок целесообразно использовать плёнки SiO_2 , осаждённые при субатмосферном давлении, так как они заполняют канавки без образования щелей и трещин при последующих химических обработках. Соискателем установлено, что с увеличением температуры отжига скорость травления «субатмосферного» оксида кремния уменьшается и при 1050 °С составляет 32 – 35 нм/мин, что в 1,28 – 1,40 раза выше, чем скорость травления термически выращенного оксида кремния. Это позволяет проводить удаление слоёв оксида кремния с поверхности без увеличения высоты топологического рельефа. Разработанный способ формирования межкомпонентной изоляции для инте-

гральных микросхем с проектными нормами 0,25 – 0,35 мкм, обеспечивает (по сравнению с изоляцией LOCOS с промежуточным поликремниевым слоем) уменьшение высоты рельефа структуры до 0,02 – 0,05 мкм, уменьшение ширины изоляции с 0,75 мкм до 0,5 мкм.

К числу заслуг соискателя следует отнести исследование влияния длительности обработки пластин в среде SiH₄ и потока SiH₄ на однородность зародышеобразования вольфрама, что позволяет исключить образование пустот и улучшить заполнение контактных окон плёнками вольфрама. Усовершенствование процесса химико-механической полировки пленок вольфрама позволило освоить на пластинах диаметром 200 мм производство ИМС с проектными нормами 0,35 – 0,6 мкм с двух- и трехуровневыми межкомпонентными соединениями. Кроме того, разработан и внедрен в производстве усовершенствованный способ формирования пассивирующих покрытий для ИМС с проектными нормами 0,35 мкм с использованием плёнок оксида кремния, осажденных при субатмосферном давлении.

Новизной отличается разработка технологии формирования нанокристаллов германия, инкорпорированных в оксид кремния с использованием разработанного процесса осаждения тонких слоёв Si_{1-x}Ge_x. Разработан способ формирования МОП структур с матрицей нанокристаллов Ge, инкорпорированных в оксид кремния, методом сегрегационного оттеснения атомов Ge фронтом окисления SiO₂/Si_{1-x}Ge_x и по границам зёрен при термическом окислении слоя Si_{1-x}Ge_x. Получены МОП-структуры с гистерезисом вольт-фарадных характеристик 1,7 – 1,8 В, плотностью токов утечки 1,5×10⁻¹⁶÷2,2×10⁻¹⁶ А/мкм².

Вместе с тем, из автореферата не ясно, для каких процессов использовались вертикальные реакторы, а для каких процессов горизонтальные реакторы пониженного давления.

Достоверность и обоснованность результатов не вызывает сомнений. Они подтверждаются разнообразными методами исследования, патентами, опубликованными научными работами, внедрением разработанных технологических процессов в производство.

В целом, как представляется из автореферата, диссертационное исследование выполнено на высоком научном уровне, соответствует требованиям ВАК. Автор диссертации, Наливайко Олег Юрьевич, достоин присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Заведующий кафедрой энергетики и электроники
учреждения образования
«Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой»,
к.т.н., доцент _____

Довгяло
Довгяло Дмитрий Александрович

Подпись *Довгяло О.А.* заверяю



*спецкомитет по
кадрам*
должность, ФИО
Моловская Е.И.

Совет по защите
диссертаций при БГУИР
<15 > 09 20 22 г.
Вх. № 05.02-11/128