

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Наливайко О.Ю. 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»

Прогресс развития технологий микроэлектроники инициировал интенсивные исследования новых конструктивных видов физических структур субмикронных ИМС. Значительное уменьшение размеров элементов субмикронных ИМС требует использования новых подходов к созданию межкомпонентной изоляции и многоуровневой металлизированной разводки. Поэтому, разработка конкурентоспособных способов создания субмикронных ИМС с использованием канавочной изоляции, глобальной планаризации топологического рельефа и многоуровневых соединений с контактными столбиками из вольфрама, чему посвящена диссертация Наливайко О.Ю., имеет высокую актуальность.

В работе проведен анализ процессов осаждения поликристаллического кремния (ПКК), легированного фосфором в процессе роста (ПКЛФ) химическим осаждением из газовой фазы. Проведен анализ методов формирования межкомпонентной изоляции МОП-транзисторов субмикронных ИМС. Рассмотрены основные проблемы формирования субмикронных структур с многоуровневой металлизацией с использованием «контактных столбиков» из вольфрама.

Проведен анализ процессов осаждения слоев сплавов $Si_{1-x}Ge_x$ и методов создания структур с массивами самоорганизованных нанокристаллов Ge.

В работе проведено исследование кинетики осаждения пленок ПКЛФ. Показано, что при снижении соотношения потоков PH_3/SiH_4 (γ) повышается степень заполнения адсорбционных центров молекулами моносилана, что позволяет достигать высоких скоростей осаждения пленок ПКЛФ, так как при более низких γ еще не происходит полное блокирование адсорбции моносилана молекулами фосфина. При введении в реактор фосфина величина эффективной энергии активации процесса осаждения пленок ПКЛФ снижается с 1,5 до 1,32 эВ при γ равном 0,001. Установлено, что использование защитного слоя оксида кремния позволяет исключить обеднение приповерхностного слоя ПКЛФ во время проведения термической обработки. На основании полученных результатов разработан и внедрен в производство процесс осаждения пленок ПКЛФ, обеспечивающий получение пленок со средней шероховатостью не более 2,1 нм, удельным сопротивлением 600 – 1000 мкОм × см. Установлено, что использование двухслойной структуры, состоящей из высоколегированного слоя ПКЛФ и слоя нелегированного поликремния, позволяет получить резисторы полицида титана шириной 0,35 мкм с удельным сопротивлением не более 23 мкОм × см.

Проведено исследование режимов формирования межкомпонентной изоляции с использованием канавок, заполненных диэлектриком. Разработан способ формирования межкомпонентной изоляции канавками, заполненными пленками оксида кремния, осажденными при субатмосферном давлении, позволивший уменьшить ширину изоляции с 0,75 мкм до 0,5 мкм и высоту рельефа структуры с 0,25 мкм до 0,02 – 0,05 мкм (по сравнению с изоляцией LOCOS с промежуточным поликремниевым слоем). Разработанный способ формирования межкомпонентной изоляции внедрен на изделия СОЗУ1Мбит, 3,3В и может использоваться для ИМС с проектными нормами 0,25 – 0,35 мкм.

К числу заслуг соискателя следует отнести установление влияния потока SiH_4 и длительности обработки пластин в среде SiH_4 на процесс осаждения вольфрама, позволившее обеспечить формирование однородного зародышевого слоя вольфрама, исключить образование пустот при заполнении контактных окон пленками вольфрама, а также усовершенствование процесса химико-механической полировки и процесса формирования пассивирующих покрытий. Это позволило обеспечить формирование двух- и трехуровневых соединений с контактными сопротивлениями между уровнями не более 24 Ом/мкм², а к активным областям и поликремнию – не более 120 Ом/мкм² и освоить производство ИМС с проектными нормами 0,35 – 0,60 мкм на пластинах диаметром 200 мм.

Новизной отличаются положения исследования, относящиеся к исследованию кинетики осаждения слоев сплавов $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ и технологии создания нанокристаллов германия. Установлено, что при введении GeH_4 в газовую смесь скорость осаждения слоев $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ возрастает, а граница образования аморфных слоев смещается в сторону более низких температур. Разработан и запатентован способ химического осаждения из газовой фазы тонких слоев $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$, толщиной от 20 до 25 нм с содержанием германия от 4 до 20 ат.%. Разработан и запатентован способ формирования нанокристаллов германия, инкорпорированных в оксид кремния сегрегационным оттеснением атомов Ge фронтом окисления $\text{SiO}_2/\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$, и по границам зёрен при окислении тонкого слоя $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$, с использованием в качестве верхнего электрода слоя $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ с содержанием Ge 20 – 30 ат.%. Впервые получены МОП-структуры с матрицей нанокристаллов Ge, которые обладают гистерезисом вольтфарадных характеристик 1,7 – 1,8 В и плотностью токов утечки $1,5 \times 10^{-16}$ – $2,2 \times 10^{-16}$ А/мкм².

Вместе с тем, в тексте автореферата имеются некоторые неточности:

- в тексте автореферата нет информации о плотности зерен слоя $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ и плотности нанокристаллов Ge;
- на стр. 10 – в тексте и подрисуночной надписи к рисунку 4 не указан диапазон толщин слоя $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$, с высоким содержанием германия.

Указанные недостатки не снижают высокого впечатления о работе. Результаты практически значимы и характеризуют автора как вполне сложившегося исследователя, умеющего самостоятельно ставить и решать сложные технические задачи.

В целом, как представляется из автореферата, диссертация является законченной научно-квалификационной работой, соответствует всем требованиям ВАК, а ее автор, Наливайко О.Ю., достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01.

Доцент кафедры физической электроники
и нанотехнологий Белгосуниверситета,
кандидат физ.-мат. наук

 А.В.Леонтьев

29.09.2022



Совет по защите
диссертаций при БГУИР
«30» 09 20 22 г.
Вх. № 05.02-11/140