

ОТЗЫВ

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»

Диссертационная работа Наливайко О.Ю. посвящена разработке и исследованию комплекса новых технологических процессов производства субмикронных интегральных микросхем (ИМС) на основе кремния, использующих новые методы реализации межкомпонентной изоляции и многоуровневых металлизированных соединений и обеспечивающих планаризацию топологического рельефа. В автореферате на основании проведённого анализа научно-технической литературы сформулированы цель и задачи исследований, достаточно чётко приведена аргументация актуальности темы исследования и новизны полученных научных и практических результатов.

Среди основных результатов работы следует выделить следующие.

Исследована кинетика осаждения из газовой фазы пленок поликристаллического кремния, легированного в процессе роста фосфором (ПКЛФ). В частности, установлено, что повышение скорости осаждения пленок ПКЛФ может быть достигнуто за счет повышения степени заполнения адсорбционных центров молекулами SiH_4 при снижении соотношения объемных потоков $\text{PH}_3/\text{SiH}_4 \leq 0,002$, при которых еще не происходит полное блокирование адсорбции SiH_4 молекулами PH_3 . Показано, что при осаждении ПКЛФ при температуре 540 – 560 °С и при указанном соотношении потоков достигается более высокий уровень легирования пленок ПКЛФ (600 – 1000 мкОм×см) и исключается трудоёмкая операция ионного легирования плёнок поликремния. При этом также улучшается конформность воспроизведения топологического рельефа. Для снижения шероховатости поверхности осаждаемой пленки предложено проводить осаждение на кремниевую подложку подслоя нелегированного аморфного кремния, а затем осаждение аморфного легированного слоя кремния при той же температуре. При этом после активирующего отжига при 950 °С средняя шероховатость не превышает 2,1 нм (в 5 раз ниже, чем для пленок поликремния).

При решении проблем формирования межкомпонентной изоляции канавками, заполненными оксидом кремния, в работе определены режимы термической обработки пленок оксида кремния, осажденных при субатмосферном давлении, обеспечивающие снижение скорости химического травления «субатмосферного» оксида кремния и удаление слоев оксида кремния с поверхности без увеличения высоты топологического рельефа. Разработан способ формирования межкомпонентной изоляции для ИМС с проектными нормами 0,25 – 0,35 мкм, который позволяет уменьшить высоту рельефа структуры с 0,25 до 0,02 – 0,05 мкм, а ширину изоляции – с 0,75 до 0,50 мкм (по сравнению с изоляцией LOCOS с промежуточным поликремниевым слоем).

Новизной отличается исследование процесса осаждения пленок вольфрама. Экспериментально установлено, что при обработке поверхности адгезионного слоя Ti/TiN в среде моносилана при потоке 40 – 100 см³/мин и длительности обработки 25 – 40 с, обеспечивается формирование равномерного зародышевого слоя вольфрама и улучшается заполнение контактных окон пленками вольфрама. В совокупности с усовершенствованием процесса химико-механической полировки вольфрама это

позволяет создавать двух- и трехуровневые соединения с контактными сопротивлениями между уровнями не более 24 Ом/мкм^2 . Разработанные процессы внедрены в производство ИМС с проектными нормами $0,35 - 0,60 \text{ мкм}$ на пластинах диаметром 200 мм .

Проведен анализ процессов осаждения пленок $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ и Ge и создания структур с массивами самоорганизованных нанокристаллов Ge . По результатам проведенных исследований разработан способ осаждения слоев $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$, толщиной от 20 до 25 нм с содержанием Ge от 4 до $20 \text{ ат.}\%$. К числу заслуг соискателя следует отнести разработку новой технологии формирования матрицы нанокристаллов германия, инкорпорированных в оксид кремния сегрегационным оттеснением атомов Ge 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 $20 - 30 \text{ ат.}\%$, что позволило получить МОП-структуры с матрицей нанокристаллов Ge , обладающие гистерезисом вольтфарадных характеристик $1,7 - 1,8 \text{ В}$ и плотностью токов утечки $1,5 \times 10^{-16} - 2,2 \times 10^{-16} \text{ А/мкм}^2$.

В качестве замечаний по представленному в автореферате материалу можно отметить следующее:

– в описании разработанных технологий не указано, каким образом формируется защитный слой оксида кремния на пленке ПКЛФ.

Однако данное замечание не носит принципиального характера, не снижает высокого качества исследования и не влияет на положительное впечатление о работе. Результаты обладают научной новизной и практически значимы, демонстрируют вклад автора в области технологии создания субмикронных ИМС. Работа достаточно полно апробирована, о чем говорят 47 публикаций, включая 2 монографии, 3 книги и 12 патентов. Результаты работы использованы в реальном производстве, что подтверждается рекомендациями соискателя по их практическому использованию и внедрению.

В целом автореферат диссертации позволяет сделать заключение о том, что представленная научно-квалификационная работа является законченным исследованием, выполненным на высоком научном уровне, соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Наливайко Олег Юрьевич достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности $05.27.01$.

Доктор технических наук,
Профессор Института нано и микросистемной техники
Национального исследовательского университета «МИЭТ»
Сырчин Владимир Кимович

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»
 124498 , г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, д. 1
email: syrchin-v@mail.ru
тел. моб. $+7 (916) 909-89-09$

*Решение Сырчина В.К. утверждено
Нач. ОРТ Сырчин Владимир К.
21.09.2022г.*

