

## 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»

Микроэлектроника – это одна из самых быстро развивающихся отраслей техники. Основанная тенденция развития микроэлектроники – постоянный рост уровня интеграции, что реализуется в первую очередь за счет уменьшения размеров элементов ИМС. При этом для разработки и производства ИМС с высоким уровнем степени интеграции требуется использование новых конструктивно-технологических подходов. Так требуется существенно уменьшить ширину изоляции между элементами, что достигается при использовании узких канавок. Также необходимо использовать новые методы планаризации топологического рельефа и создания многоуровневой разводки. В связи с изложенным тема диссертации Наливайко О.Ю. является актуальной.

Как видно из автореферата, в работе проведен анализ процессов осаждения поликристаллического кремния, легированного в процессе роста (ПКЛФ) химическим осаждением из газовой фазы, который обеспечивает формирование проводящего слоя в сложных областях топологического рельефа.

Анализ методов формирования межкомпонентной изоляции МОП-транзисторов показывает необходимость использования для субмикронных ИМС межкомпонентной изоляции канавками, заполненными диэлектриком. Определены основные требования к межкомпонентной изоляции.

Показано, что для повышения надежности многоуровневой металлизированной разводки требуется глобальная планаризация диэлектрика химико-механической полировкой, а также формирование металлизированной разводки с использованием вольфрамовых «столбиков» в контактах.

Проведен анализ процессов осаждения слоёв сплавов  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  и Ge, а также структур на их основе, в том числе структур для энергонезависимой памяти с инкорпорированными в оксид кремния массивами самоорганизованных нанокристаллов Ge.

В автореферате диссертации представлены результаты исследования кинетики осаждения плёнок ПКЛФ. Установлено, что снижение шероховатости плёнок ПКЛФ (до менее 2,1 нм) достигается при осаждении легированного слоя кремния на подслое аморфного кремния. При этом за счет снижения температуры осаждения при значениях соотношения потоков  $\text{PH}_3/\text{SiH}_4$  равных 0,01 – 0,02 достигается удельное сопротивление плёнок ПКЛФ 600 – 1000 мкОм×см при скорости осаждения 2,2 – 2,5 нм/мин. Показано, что использование двухслойной структуры, состоящей из высоколегированного слоя поликремния и слоя нелегированного поликремния, позволяет получить резисторы полицида титана шириной 0,35 мкм с удельным сопротивлением не более 23 мкОм×см.

Разработан и внедрен в производстве способ формирования межкомпонент-

ной изоляции канавками, заполненными плёнками оксида кремния, осажденными при субатмосферном давлении, который позволил уменьшить ширину изоляции до 0,5 мкм, а высоту рельефа структуры до 0,02 – 0,05 мкм. Способ внедрён на изделия СОЗУ 1Мбит, 3,3В с проектной нормой 0,35 мкм и может использоваться для ИМС с проектными нормами 0,25 – 0,35 мкм.

Новизной отличаются положения, относящиеся к исследованию влияния обработки поверхности подложки в среде моносилана на зародышеобразование пленок вольфрама, что позволило обеспечить формирование однородного зародышевого слоя вольфрама, исключить образование пустот при заполнении контактных окон плёнками вольфрама. В совокупности с усовершенствованием процесса химико-механической полировки и процесса формирования пассивирующих покрытий, а также использованием разработанных процессов формирования ПКЛФ и полицида титана это позволило освоить производство ИМС проектными нормами 0,35 – 0,6 мкм на пластинах диаметром 200 мм.

Также следует отметить разработку осаждения тонких слоёв  $Si_{1-x}Ge_x$  и способа формирования нанокристаллов германия, инкорпорированных в оксид кремния, сегрегационным оттеснением атомов Ge фронтом окисления  $SiO_2/Si_{1-x}Ge_x$  и по границам зёрен при термическом окислении слоя  $Si_{1-x}Ge_x$ , полученного химическим осаждением из газовой фазы при пониженном давлении. В результате получены МОП-структуры с нанокристаллами Ge с гистерезисом вольтфарадных характеристик 1,7 – 1,8 В и плотностью токов утечки  $1,5 \times 10^{-16} - 2 \times 10^{-16}$  А/мкм<sup>2</sup>, что может быть использовано для разработки новых типов схем памяти.

В тексте автореферата имеются некоторые неточности:

- не указаны толщины легированного и нелегированного слоев поликремния, которые используются в двухслойной структуре для обеспечения формирования резисторов полицида титана шириной 0,35 мкм;
- на рисунке 6 не видна размерная шкала.

Указанные недостатки не снижают высокого качества работы. Результаты имеют высокую практическую значимость, что подтверждается патентами, внедрением разработанных способов в производство ИМС.

В целом, как представляется из автореферата, диссертационное исследование выполнено на высоком уровне, соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации, Наливайко О.Ю., достоин присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01.

Генеральный директор АО «Эпизл», к.т.н.

Тюрнев Н.В.

Подпись Тюрнева Н.В. заверяю  
офис-менеджер

Ярмольчук Г.А.

