

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 давно и прочно вошла в нашу жизнь. Сегодня она составляет инфраструктурную основу практически для всех объектов и технологий. Сложно назвать объект, который не имеет даже минимальной электронной начинки. Электронные изделия значительно отличаются друг от друга по уровню сложности. От таких простых пассивных устройств, как телевизионные антенны, до смартфонов со сложной микроэлектронной системой с высоким уровнем вложенности и миниатюризации.

Современный этап развития электроники характеризуется стремительным уменьшением размеров элементов ИМС, т.е. повышением степени интеграции. В настоящее время ИМС содержат десятки миллионов элементов и для их производства требуется использование многослойных трехмерных структур с многоуровневыми межкомпонентными соединениями и глобальной планаризацией топологического рельефа. 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 (ПКЛФ) химическим осаждением из газовой фазы, методов формирования межкомпонентной изоляции МОП-транзисторов и требований к ним. Рассмотрены проблемы и требования к процессам формирования многоуровневых межкомпонентных соединений для субмикронных ИМС. Проведен анализ процессов осаждения пленок $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ и Ge и создания структур с нанокристаллами Ge для энерго-независимой памяти.

В работе проведено исследование кинетики осаждения плёнок ПКЛФ и слоев $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ при пониженном давлении. Установлено уменьшение энергии активации процесса осаждения плёнок поликристаллического кремния, легированных фосфором в процессе роста, с 1,50 до 1,32 эВ при увеличении соотношения объёмных потоков PH_3/SiH_4 (γ) от 0 до 0,001, что обусловлено конкурирующей адсорбцией моносилана и фосфина на одних и тех же адсорбционных центрах. Разработан и внедрен в производство процесс двухстадийного осаждения плёнок ПКЛФ, обеспечивающий получение плёнок со средней шероховатостью не более 2,1 нм (после термообработки при 950 °С), удель-

ным сопротивлением 600 – 1000 мкОм×см. Для формирования полицида титана предложено использовать двухслойную структуру, состоящую из высоколегированного слоя ПКЛФ и слоя нелегированного поликремния, что позволяет обеспечить удельное сопротивление резисторов полицида титана шириной 0,35 мкм не более 23 мкОм×см.

Разработан и запатентован способ осаждения тонких слоев $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$, толщиной от 20 до 25 нм с содержанием германия от 4 до 20 ат. % химическим осаждением из газовой фазы при пониженном давлении.

Определены режимы термической обработки пленок оксида кремния, осажденно-го при субатмосферном давлении, позволяющие уменьшить скорость химического травления «субатмосферного» оксида кремния и удалять слои оксида кремния с поверхности без увеличения высоты топологического рельефа при формировании межкомпонентной изоляции с использованием канавок, заполненных диэлектриком. Разработан и внедрен в производстве способ формирования межкомпонентной изоляции канавками, заполненными диэлектриком, для ИМС с проектными нормами 0,25 – 0,35 мкм, позволяющий уменьшить высоту рельефа структуры с 0,25 мкм до менее 0,05 мкм и ширину изоляции с 0,75 мкм до 0,5 мкм по сравнению с изоляцией LOCOS с промежуточным поликремниевым слоем.

К числу заслуг соискателя следует отнести исследование влияния длительности обработки пластин в среде SiH_4 и потока SiH_4 на свойства пленок вольфрама и разработку процесса осаждения пленок вольфрама, обеспечивающего формирование равномерного тонкого зародышевого слоя вольфрама, исключение образования пустот при заполнении контактных окон пленками вольфрама. Предложен способ формирования многоуровневой разводки для субмикронных ИМС, обеспечивающий создание двух- и трёхуровневые соединений. Разработанные в диссертационной работе технологические процессы позволили освоить производство ИМС проектными нормами 0,35 – 0,60 мкм на пластинах диаметром 200 мм.

Новизной отличаются положения исследования, относящиеся к разработке способа формирования нанокристаллов германия, инкорпорированных в диоксид кремния с использованием разработанного процесса осаждения тонких слоев $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$, сегрегационным оттеснением атомов Ge фронтом окисления $\text{SiO}_2/\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ и по границам зёрен при термическом окислении тонкого слоя $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$. Получены МОП-структуры с матрицей нанокристаллов Ge, обладающие гистерезисом вольтфарадных характеристик 1,7 – 1,8 В и плотностью токов утечки $1,5 \times 10^7$

$10^{-16} - 2,2 \times 10^{-16} \text{ А/мкм}^2$.

Вместе с тем, по тексту автореферата имеются некоторые замечания:

- из текста не ясна последовательность формирования межкомпонентной изоляции;
- в автореферате не отражено, каким образом измерялось контактное сопротивление, чтобы понять его физический смысл. Так удельное сопротивление контакта к полупроводникам измеряется в $\text{Ом} \times \text{см}^2$, а в автореферате оно представлено в Ом/мкм^2 .
- стр.4, первый абзац – лишняя раскрывающая скобка.

Впрочем, отмеченные недостатки не снижают высокого качества исследования, они не влияют на впечатление о работе.

Результаты довольно оригинальны, обладают научной новизной и практически значимы, что подтверждается внедрением в производство.

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

Профессор института ПМТ
НИУ МИЭТ, д.т.н.

Громов Дмитрий Геннадьевич

Подпись Громова Д.Г. заверяю

Уполномоченный секретарь УО



Кузнецов

*Кузнецов Антон
Викторович*

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»
124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, дом 1

Совет по защите
диссертаций при БГУИР
« 21 » 09 20 22 г.
Вх. № 05.02 - 11/133