

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»

Современное развитие электронной промышленности выдвигает множество требований к радиоэлектронным устройствам, таких как, уменьшение габаритов, массы, быстродействия, энергоёмкости, повышение надежности и др. Каждое требование ведет к разработке новых технологических решений. Уменьшение габаритов и массы элементов ИМС привело к необходимости использования структур с многоуровневой металлизацией с глобальной планаризацией межуровневого диэлектрика и использованием вольфрамовых «столбиков» для соединения соседних уровней металлизации. Планаризация в свою очередь требует обеспечить формирование слоя поли-Si легированного фосфором в процессе роста с низкой шероховатостью поверхности. Увеличение быстродействия требует разработки и исследование новых технологических решений на основе слоёв Si, Si_{1-x}Ge_x поскольку плёнки твердых растворов Si_{1-x}Ge_x, имеют низкие температуры получения и обладают высокой подвижностью носителей. Именно этим вопросам посвящена диссертация Наливайко О.Ю.

В работе исследованы процессы осаждения поликристаллического кремния, легированного фосфором в процессе роста (ПКЛФ), химическим осаждением из газовой фазы при пониженном давлении, изучены методы формирования межкомпонентной изоляции МОП-транзисторов в субмикронных ИМС. Рассмотрены основные проблемы формирования субмикронных структур с многоуровневыми межкомпонентными соединениями с использованием «контактных столбиков» из вольфрама.

Предложен метод двухстадийного осаждения ПКЛФ: подслоем аморфного кремния далее легированный слой аморфного кремния, что позволило снизить шероховатость осаждаемых плёнок до 2,1 нм (после проведения активирующего отжига) что в 5 раз ниже, чем для плёнок ПК.

Проведен анализ процессов осаждения слоев Si_{1-x}Ge_x и Ge, а также методов создания структур с нанокристаллами Ge, инкорпорированными в оксид кремния. Предложен оригинальный способ осаждения тонкого слоя Si_{1-x}Ge_x на зародышевом слое кремния, заключающийся в том, что осаждение зародышевого и основного слоёв проводят при температуре 550 – 560°C и давлении от 0,05 до 0,15 мм рт. ст., зародышевый слой аморфного кремния осаждают толщиной от 1 до 5 нм, а слой Si_{1-x}Ge_x – от 5 до 20 нм с содержанием германия от 4 до 20 ат. %.

Для заполнения канавок при формировании межкомпонентной изоляции предложено использовать плёнки оксида кремния, осаждённые при субатмосферном давлении (СА ХОГФ), так как они заполняют канавки без образования щели и растратов при последующих химических обработках.

Разработан способ формирования межкомпонентной изоляции для ИМС с проектными нормами 0,25 – 0,35 мкм, который позволяет уменьшить высоту ре-

льфе структуры с 0,25 до 0,02 – 0,05 мкм, а ширину изоляции – с 0,75 до 0,50 мкм (по сравнению с изоляцией локальным окислением (LOCOS) с промежуточным поликремниевым слоем). Стоит особо подчеркнуть, что разработанный автором способ внедрён в производство.

Новизной отличается предложенный и исследованный процесс осаждения пленок вольфрама. В совокупности с усовершенствованным методом химико-механической полировки вольфрама позволило создавать двух- и трёхуровневые соединения с контактными сопротивлениями между уровнями не более 24 Ом/мкм², а к активным областям и поликремнию – не более 120 Ом/мкм². Разработанные процессы внедрены в производство, что позволило освоить производство ИМС с проектными нормами 0,35 – 0,60 мкм на пластинах Ø 200 мм.

К числу заслуг соискателя следует отнести разработку оригинального способа формирования матрицы нанокристаллов германия, инкорпорированных в оксид кремния сегрегационным оттеснением атомов Ge фронтом окисления SiO₂/Si_{1-x}Ge_x и по границам зёрен при термическом окислении тонкого слоя Si_{1-x}Ge_x. Полученные по данному способу МОП-структуры с нанокристаллами Ge обладают гистерезисом вольт-фарадных характеристик 1,7 – 1,8 В и плотностью токов утечки 1,5×10⁻¹⁶ – 2,2×10⁻¹⁶ А/мкм².

В тоже время, в тексте автореферата имеются некоторые неточности и опечатки:

- на странице 8 имеется опечатка в аббревиатуре ВХФ, поскольку имеется в виду метод измерения вольт-фарадных характеристик (ВФХ);
- на странице 9 на рисунке 1 опечатка в последнем значении на графике по оси абсцисс: указано 0,02 нужно 0,002 (следует из текста описания);
- на странице 8 при перечислении используемого оборудования не указан тип просвечивающего микроскопа и методики подготовки образцов;
- из текста не ясно, какая методика использовалась для определения (расчета) эффективной энергии активации процесса осаждения поли-Si;

Указанные недостатки не снижают положительного впечатления о работе. Результаты имеют большую практическую значимость, что подтверждается патентами, внедренными в производство ИМС с проектными нормами 0,35 – 0,60 мкм на пластинах Ø 200 мм. Так же получен и экономический эффект так как за период с 2014 по 2020 г. произведено и поставлено потребителям с субмикронной линии (на пластинах Ø200 мм) 74,745 млн шт. ИМС на общую сумму 21 528,2 тыс. дол. США.

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

Ведущий научный сотрудник к.ф.-м.н.



ПОДПИСЬ
ЗАВЕРЯЮ

СЕКРЕТАРЬ ИОФ РАН

Глушков В.В.

Совет по защите
диссертаций при БГУИР
« 21 » 09. 20 22 г.
Вх. № 0502-11/132

Калинушкин В.П.

Калинушкин В.П.

09 2022 г.