

УДК 621.382

Пилипенко В. А.^{1,2}, Ковальчук Н. С.¹, Жигулин Д. В.¹, Шестовский Д. В.¹,
Анищик В. М.², Понарядов В. В.²

ФОРМИРОВАНИЕ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА АЛЮМИНИЙ – ПОЛИКРЕМНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ДЛИТЕЛЬНОГО И БЫСТРОГО ТЕРМИЧЕСКИХ ОТЖИГОВ

¹Открытое акционерное общество «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ», Минск, Беларусь

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Приведены результаты исследования влияния длительной и быстрой термообработок на формирование границы раздела алюминий – поликремний на структурах алюминий – поликремний – двуокись кремния с целью изучения формирования омических контактов в элементной базе интегральных микросхем. Установлено, что при стандартной термообработке (450 °С, 20 мин в среде N₂) происходит полное растворение поликремния в алюминии с последующей его сегрегацией в виде отдельных агломератов на поверхности двуокиси кремния. При быстрой термообработке (450 °С, 7 с в среде Ar) такого явления не наблюдается. Таким образом, при формировании омического контакта алюминий-поликремний на этапе производства интегральных микросхем целесообразно использовать быструю термическую обработку, которая существенно уменьшает растворение поликремния в алюминии и тем самым способствует формированию омического контакта.

При все усиливающей тенденции к повышению плотности компоновки современных интегральных микросхем (ИМС), все большее значение приобретает снижение тепловой нагрузки, оказываемой на полупроводниковую пластину в процессе формирования на ней элементной базы ИМС. Это приводит к необходимости разработки новых технологических процессов, использующие либо более низкие температуры, либо более короткое время их проведения. Такая тенденция обусловлена необходимостью значительного уменьшения диффузионных процессов, имеющих место при высокотемпературных обработках, а также практически исключить загрязнение полупроводникового материала неконтролируемыми примесями. Особенно остро этот вопрос стоит при формировании омических контактов к кремнию и поликремнию. Процесс создания контактов представляет собой осаждения алюминия на кремний и поликремний с последующим применением длительной термической обработки (510 °С, 10 мин или 450 °С, 20 мин для кремния [1]). При этом возникает процесс взаимного диффузионного перераспределения как металла в кремнии, так и кремния в металле, который усиливается при длительной термической обработке, что приводит к значительному ухудшению параметров создаваемых ИМС, а, следовательно, к снижению процента выхода годных изделий [2-3].

Один из методов, снижающих диффузионные процессы при высокотемпературных обработках, в том числе при формировании омических контактов, - применение быстрых термических обработок [4-8]. Однако в этих публикациях описывается лишь взаимодействие алюминиевой металлизации с монокристаллическим кремнием, при этом не затрагиваются вопросы по формированию такого контакта с поликремнием в процессе создании элементной базы ИМС. Проведение таких исследований позволит установить особенности формирования омических контактов не только к поликремниевым резисторам и конденсаторам, но и к поликремниевым затворам полевых транзисторов, что непременно скажется на их выходных характеристиках, а, значит, и на работоспособности всей ИМС.

На кремниевых пластинах КДБ 10 диаметром 100 мм и ориентацией <111> пирогенным окислением при температуре 850 °С формировался окисел кремния толщиной 73 нм. Затем на окиселе кремния методом газофазного осаждения формировался поликремний (ПКК) толщиной 0,25 мкм на поверхность которого магнетронным методом напылялась пленка алюминия (с 1 % примеси кремния) толщиной 1,5 мкм. Часть полученных структур Al-ПКК-SiO₂ была подвергнута различным термообработкам: стандартной термической обработке, используемой при вжигании контактов ИМС (450 °С, 20 мин в среде N₂) и быстрой термической обработке (БТО) (450 °С, 7 с в среде Ar). Другая часть не подвергалась воздействию

температуры. Процесс БТО пластин выполнялся в стационарной атмосфере Ar при атмосферном давлении системой УБТО ПИТ1801. Инертная атмосфера Ar была выбрана с целью исключения процессов окисления алюминия при термообработке в естественных атмосферных условиях. Пластины облучались с непланарной стороны потоками фотонов 20 галогенных ламп импульсами постоянной мощности длительностью 7 с. Мощность излучения ламп обеспечивала достижение температуры нагрева пластины 450 °С в течение 7 с.

Исследование границы раздела Al-ПКК и определение элементного состава осуществлялось на сколе пластины с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) S-4800 фирмы Hitachi (Япония) с энергодисперсионным спектрометром Quantax 200 фирмы Bruker (Германия).

Влияние длительной и быстрой термообработки на формирование границы раздела Al - ПКК показано на рисунке 1.

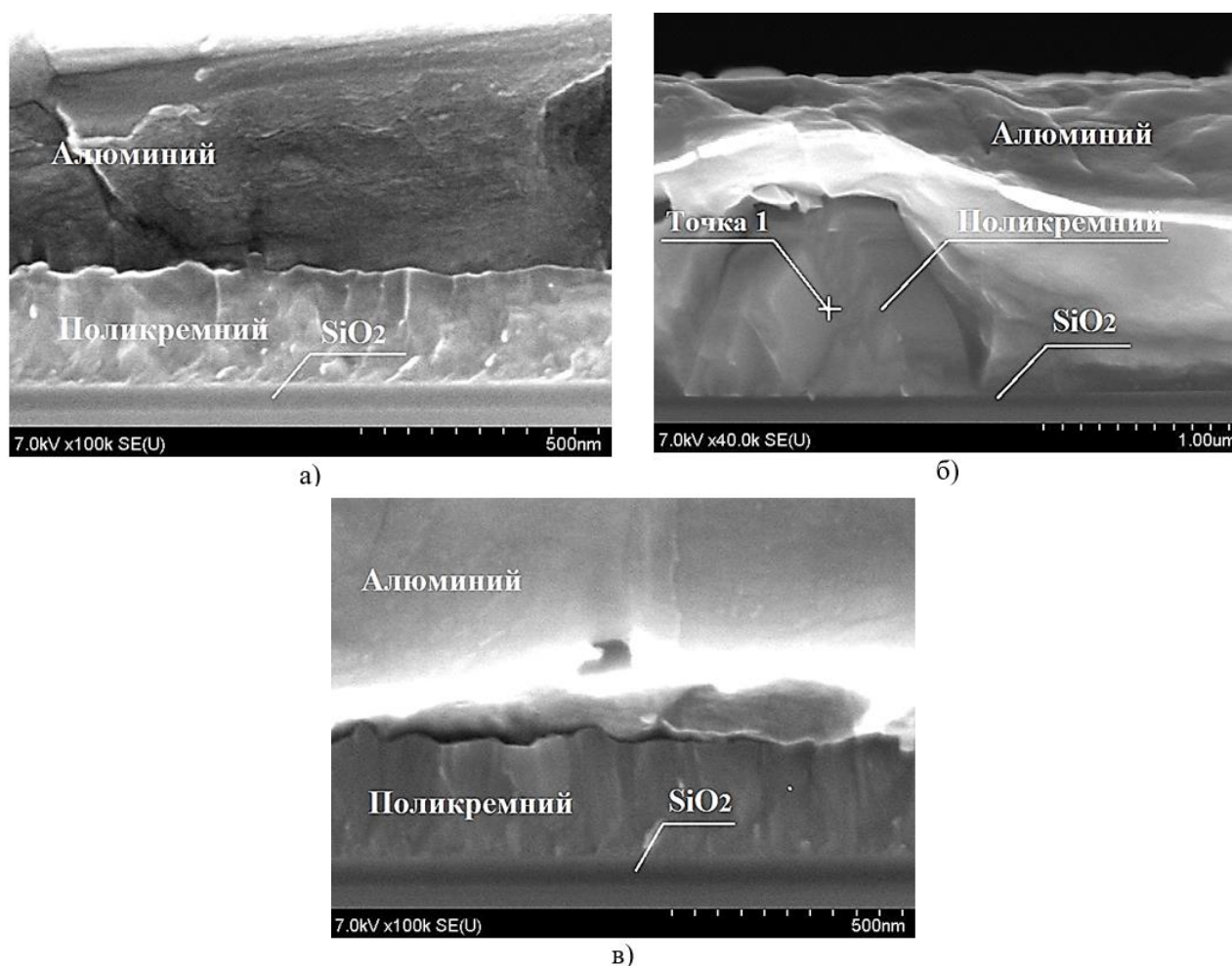


Рисунок 1 – РЭМ-фото структуры Al-ПКК-SiO₂

а - без термической обработки; б - после длительной термической обработки 450 °С, 20 мин, N₂;
в – после БТО 450 °С, 7 с, Ar

Анализ полученных данных показал, что имеется значительная разница между длительной термической обработкой (450 °С, 20 мин, N₂) и БТО (450 °С, 7 с, Ar). При длительной термической обработки происходит полное растворение ПКК в алюминии с последующей его сегрегацией в виде отдельных агломератов ПКК на поверхности двуокиси кремния. Элементный состав данных агломератов приведен на рисунке 2.

Высота таких агломератов может значительно превышать толщину напыленной пленки алюминия. Поскольку алюминий гораздо более мягкий материал по сравнению с ПКК, то своими острыми углами ПКК легко протыкает пленку алюминия насквозь, что может привести к закороткам с соседними топологическими слоями ИМС, а, значит, и к их полному отказу.

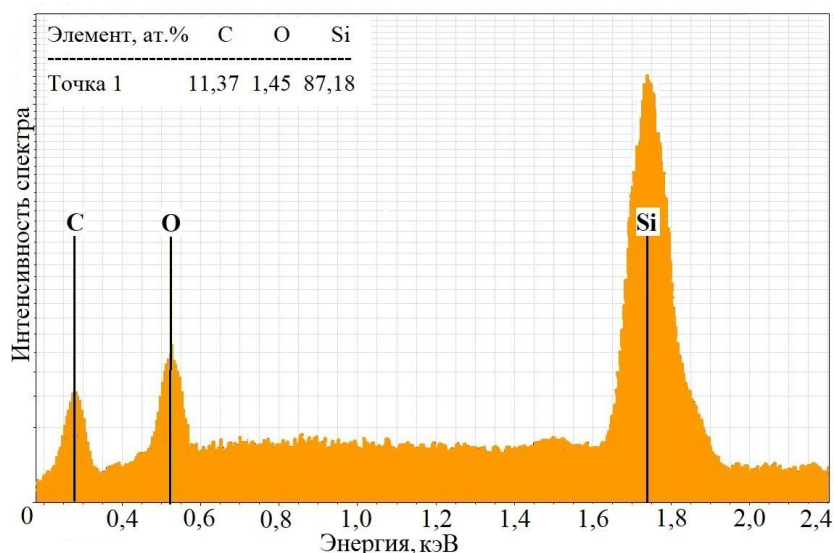


Рисунок 2 – Энергодисперсионный спектр ПКК агломерата (рисунок 1б, точка 1)

С уменьшением проектных норм изготовления ИМС все большее значение приобретают диффузионные процессы на границах раздела топологических слоев. Так, в месте соприкосновения омического алюминиевого контакта к ПКК затворам МОП-транзисторов, резисторов, конденсаторов происходит растворение ПКК в алюминии с последующим его сегрегацией в виде отдельных остроугольных ПКК агломератов, которые не только ухудшают выходные характеристики ИМС, но и приводят к их полному отказу путем закорачивания соседних топологических слоев. Одним из способов уменьшения диффузионных процессов в микроэлектронике является замена термического отжига на БТО, позволяющее избежать разрушения омических алюминиевых контактов к ПКК топологическим элементам, а значит, и увеличить процент выхода годных ИМС.

Список литературы

1. Пилипенко В. А. Быстрые обработки в технологии СБИС. Минск: Издательский центр БГУ, 2004.
2. Тонкие пленки. Взаимная диффузия и реакции / Под ред. Поута Дж., Ту К., Мейера Дж. М.: Мир, 1982. С. 576.
3. Технология СБИС. Т.2 / Под ред. Зи С. М. М.: Мир, 1986.
4. Агеев О. А., Беляев А. Е., Болтовец Н.С. Фазы внедрения в технологии полупроводниковых приборов и СБИС / Харьков: НТК Институт монокристаллов, 2008.
5. Анищик В. М., Горушко В. А., Пилипенко В. А. Физические основы быстрой термообработки. Создание многоуровневой металлизации / Минск: БГУ, 2000.
6. Буйко Л. Д. Лесникова В. П., Пилипенко В. А. Особенности взаимодействия системы Al-Si при термической и импульсной оптической обработках / Электронная техника. 1984. Сер. 6, вып. 2. С. 16–19.
7. Пилипенко В. А., Попов Ю. П. Использование фотонных технологических процессов при изготовлении интегральных микросхем / Электронная промышленность. 1988. Вып. 5. С. 3–9.
8. Пилипенко В. А., Рожков В. В., Горушко В. А. Модель взаимодействия кремния с алюминием при фотонной обработке / Электронная техника. 1990. Сер. 2, вып. 3. С. 24–28.