

8. Švorčík V., Rybka V., Ěndršt R., Hnatowicz V., Kvitek J. // J. Electrochem. Soc. 1993. №140. P.542.

9. Calcagno L., Compagnini G., Foti G. // Nucl. Instr. and Meth. 1992. B 65. P.413.

10. Svorcik V., Rybka V., Hnatowicz V., Kvitek J. // Matter. Letters 1994. №19. P.329.

11. Jankovskij O., Švorčík V., Rybka V., Hnatowicz V., Popok V. // Nucl. Instr. and Meth. 1995. B 95. P.192.

Поступила в редакцию 11.05.98.

УДК 621.315

В.А. ПИЛИПЕНКО, В.Н. ПОНОМАРЬ, В.А. ГОРУШКО, М.И. ТАРАСИК, А.М. ЯНЧЕНКО

УЛУЧШЕНИЕ ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТИ ПЛЕНОК АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ НА КРЕМНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЫСТРОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ

The morphological changes of aluminum films after rapid thermal processing were studied. It is shown that such processing results in the equal-grained structure of these films.

Для создания интегральных микросхем (ИМС) с мелкозалегающими *p-n*-переходами и многоуровневой металлизацией необходимым условием является уменьшение взаимодействия кремния с алюминием и отсутствие на поверхности первого и последующих уровней металлизации аномально высоких бугров. В настоящее время для решения этих задач, а также стабилизации структуры пленок алюминия и его сплавов с успехом применяется быстрая термообработка (БТО).

Поскольку любое термическое воздействие приводит к проявлению недостатков алюминиевой металлизации, то уже на стадиях плазмохимического травления алюминия и плазмохимического удаления фоторезиста происходит взаимодействие алюминия с кремнием и образование аномально высоких бугров на поверхности алюминиевой пленки. Поскольку после БТО структура пленки алюминия становится более равновесной, можно предположить устойчивость такой структуры к последующим термообработкам, если БТО пленок алюминия проводить сразу после их напыления.

Для оценки изменения структуры пленки алюминия с добавками кремния при БТО изучалась ее структура до и после обработки, а также после плазмохимического травления (ПХТ) алюминия, плазмохимического удаления фоторезиста (ПХУФ), длительной термической обработки в режиме формирования омического контакта ($T=783$ К в течение 15 мин). Следует отметить, что плазмохимические и длительная термическая обработки проводились как на пластинах, проходивших БТО после напыления алюминия, так и без нее. БТО обеспечивала нагрев пластины до температуры 783 К при скорости ее набора 490 К/с. Использование такого режима, как было установлено ранее [1], является оптимальным для обработки алюминиевой металлизации методом БТО.

В результате проведенных исследований с использованием метода просвечивающей электронной микроскопии и одновременного компьютерного анализа, позволяющего обрабатывать изображение морфологии поверхности пленок цифровым методом, установлены следующие закономерности (рис. 1,2). Исходные пленки алюминия, толщина которых составляла 0,65–0,75 мкм,



a



б



в



г

Рис. 1. Морфология поверхности пленки алюминия, легированной кремнием, после:
a – напыления; *б* – напыления и длительной термообработки; *в* – напыления и БТО; *г* – напыления, ПХТ алюминия;

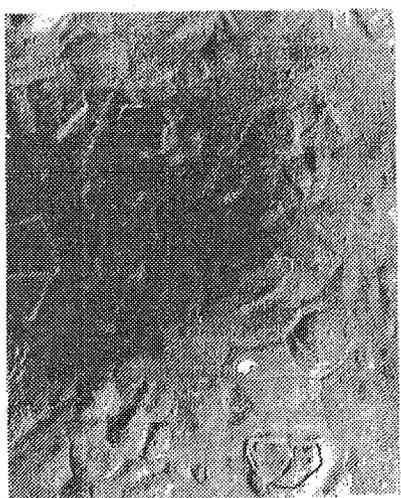
имеют размер зерен от 0,15 до 1,5 мкм с максимумом распределения в области 0,45–0,60 мкм (рис. 1*a*, 2*a*). При этом границы зерен являются четкими и контрастными за счет частичной на них сегрегации кремния, на рельефе поверхности отсутствуют бугры. Контроль удельного сопротивления этих пленок показал, что его величина составляет 3,0–3,2 мкОм·см. Длительная термическая обработка таких пленок приводит к образованию на их поверхности многочисленных бугров с размером 1,5–2,0 мкм в основании и высотой 0,45 мкм, что сравнимо с толщиной межслойного диэлектрика (рис. 1*б*, 2*б*). Кроме того, происходит некоторое увеличение размеров зерен, обусловленное процессом собирательной рекристаллизации и сопровождающееся выделением кремния вдоль границ зерен алюминия, что препятствует дальнейшему протеканию процесса собирательной рекристаллизации.



д



е



ж



з

д — напыления, ПХТ алюминия и ПХУФ; е — напыления, ПХТ алюминия, ПХУФ и длительной термообработки; ж — напыления, БТО и ПХТ алюминия; з — напыления, БТО, ПХТ алюминия и ПХУФ. Увеличение 16000^х.

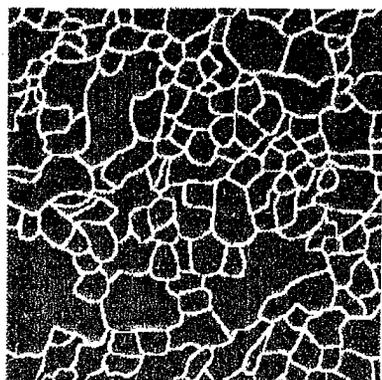
При БТО морфология поверхности пленки алюминия носит иной характер. Происходит небольшое увеличение размера зерен, при этом их средний размер несколько меньше, что обусловлено значительно более коротким временем термообработки и отсутствием сегрегации кремния по границам зерен алюминия, а структура в целом более равнозернистая (рис. 1 в, 2 в). Кроме того, при БТО происходит спрямление границ отдельных зерен, а угол между ними в тройных точках приближается к 120° , т.е. структура пленки становится более равновесной и стабильной. Основной отличительной чертой морфологии поверхности является отсутствие на поверхности пленки бугров, столь характерных для длительной термообработки.

Для исследования перераспределения кремния в пленке алюминия методом Оже-спектроскопии проводился анализ профилей концентрации элементов в ней до и после БТО, а также после длительной термообработки, который показал следующее. В исходной пленке примесь кремния распределена относительно равномерно по толщине, однако на поверхности пленки

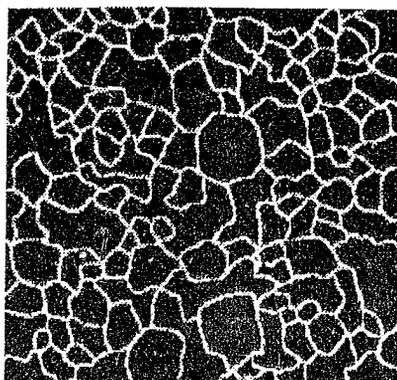
и на границе раздела алюминий—кремний концентрация кремния возрастает. В результате длительной термической обработки концентрация кремния в средней части объема пленки уменьшается, а на поверхности сосредоточивается вдоль границ зерен. При БТО изменение концентрации кремния в пленке не происходит. Характерной особенностью профилей концентрации примесей после любых видов термообработки является появление на поверхности пленок следов кислорода, обусловленное окислением алюминия. Толщина окисла, как показали результаты эллипсометрических измерений, после длительной термообработки в 1,5 раза больше, чем после БТО. Отсутствие бугров на поверхности пленки и образование равнoзернистой структуры при БТО обусловлены теми же причинами, что и в случае применения такой обработки после создания рисунка межсоединений [2].

Плазмохимическое травление пленок алюминия, не подвергавшихся БТО после напыления, показало, что на их поверхности образуются единичные бугры высотой до 0,2 мкм (рис. 1г, 2г). Последующее плазмохимическое удаление фоторезиста вызывает, с одной стороны, как дальнейший рост самих бугров до 0,35 мкм, так и увеличение их плотности на поверхности пленки (рис. 1д, 2д), т.е. процессы релаксации сжимающих напряжений. С другой стороны, уравнивание сил поверхностного натяжения, ответственное за формирование равновесной структуры и релаксацию сжимающих напряжений, протекает при любом процессе, температура проведения которого превышает температуру проведения предшествующих операций с интенсивностью, зависящей от нее. Однако для всех процессов имеет место инкубационный период, определяющий завершение процесса уравнивания сил поверхностного натяжения и начала релаксации сжимающих напряжений. Длительная термообработка пленок алюминия вызывает дальнейший рост бугров до 0,55 мкм и увеличение их плотности на поверхности пленки (рис. 1е, 2е). Кроме того, происходит дальнейшее увеличение размера зерен и максимум их распределения смещается из области 0,30–0,45 мкм (после операций напыления, ПХТ и ПХУФ) в область 0,45–0,60 мкм (после напыления, ПХТ, ПХУФ и длительной термообработки).

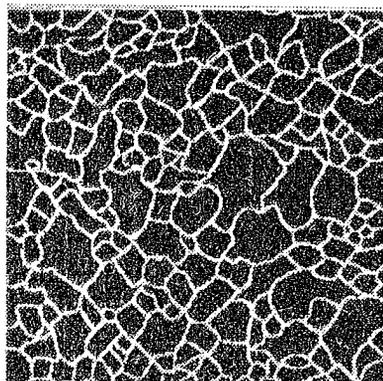
Совершенно иное поведение испытывает структура пленок алюминия, подвергнутых БТО сразу после их напыления. Так, после плазмохимических процессов травления алюминия и удаления фоторезиста на поверхности алюминия присутствуют бугры, высота которых не превышает 0,1 мкм (рис. 1ж,з; 2ж,з), что в 3,5 раза меньше, чем на пленках, не проходивших БТО после напыления. Кроме того, такие пленки более равнoзернистые, а следовательно, их состояние можно определить как более равновесное. Для подтверждения данного факта проводилось изучение морфологии пленки алюминия после БТО и последующих операций плазмохимической и длительной термической обработок. Такие исследования показали, что длительная термообработка не приводит к образованию высоких бугров на поверхности пленки и увеличению размера ее зерен, что свидетельствует о повышении ее устойчивости к последующим термическим воздействиям. Этот факт весьма важен с практической точки зрения, так как указывает на необходимость формирования омических контактов с использованием БТО сразу после



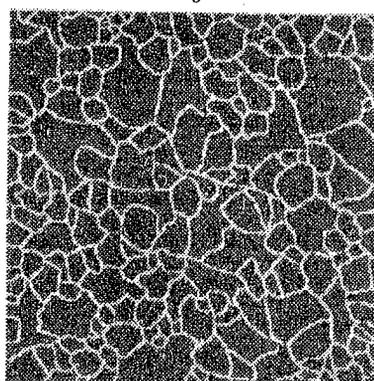
a



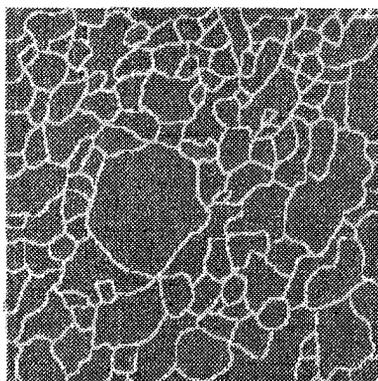
б



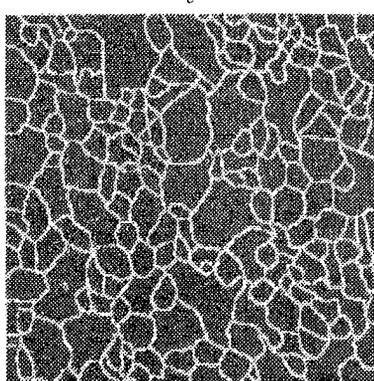
в



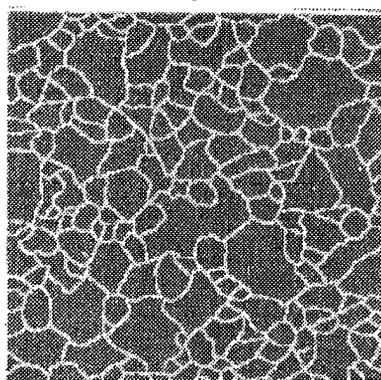
г



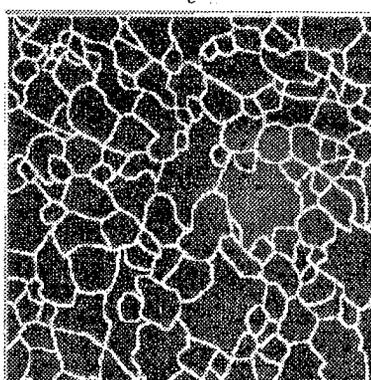
д



е



ж



з

Рис.2. Машинное представление морфологии поверхности пленки алюминия, легированной кремнием (процессы такие же, как и на рис.1). Увеличение 10000^х.

напыления пленки алюминия. Это важно и потому, что после создания как первого, так и второго уровней металлизации проводится еще целый ряд технологических операций: нанесение пленок межслойного диэлектрика, пассивация готовых приборов, сборочные операции, сопровождаемые нагревом пластин до высоких температур в течение длительного времени. Следовательно, ИМС, изготовленные с термостабильной алюминиевой металлизацией, будут обладать и большей надежностью в эксплуатации.

Таким образом, БТО пленок алюминия и его сплавов на кремнии непосредственно после напыления приводит к получению более равнозернистой структуры пленки по сравнению со структурой пленок, которые подвергались импульсной термической обработке после операций плазмохимического травления алюминия и удаления фоторезиста. Проведенные исследования показывают также, что структура пленки алюминия, подвергнутой быстрой термической обработке после напыления, устойчива к последующим длительным высокотемпературным термообработкам.

1. Пилипенко В.А., Попов Ю.П. // Электронная промышленность. 1988. Вып.5. С.3.

2. Пилипенко В.А., Лесникова В.П., Рожков В.В., Буйко Л.Д. // Электронная техника. 1984. Вып.2. С.16.

Поступила в редакцию 13.02.98.