

УДК 621.3.049.77

СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК СИЛИЦИДА ТАНТАЛА, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫМ СОИСПАРЕНИЕМ В ВАКУУМЕ

Зайцев Д.В.

Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
филиал «Минский радиотехнический колледж»,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Кусенок Е.Н. – преподаватель высшей категории дисциплин общепрофессионального и специального циклов, председатель цикловой комиссии «Микро- и нанoeлектронных технологий и систем».

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию влияния параметров процесса роста (отношения скоростей испарения кремния и тантала) и последующего гомогенизирующего отжига на электрофизические и структурно-морфологические свойства пленок $TaSi_2$, а также на внутренние напряжения, развиваемые в них.

Ключевые слова: пленка, силицид, электрические характеристики, свойства.

Общей тенденцией развития интегральных микросхем является применение силицидов тугоплавких металлов, обладающих большими потенциальными возможностями при использовании в качестве материала для низкоомных контактов, электродов затворов и межсоединений. Наибольшее распространение получили методы формирования пленок силицидов тугоплавких металлов, включающие реакции в твердой фазе между кремниевой подложкой и тонкой металлической пленкой; магнетронное распыление мишеней и электронно-лучевое соиспарение кремния и тугоплавкого металла в вакууме.

Пленки $TaSi_2$, толщиной 0,15 мкм наносились на модернизированной промышленной установке 01НЭ-7-004. В качестве подложек использовались термически окисленные пластины кремния КДБ-12 диаметром 100 мм. Давление в рабочей камере не превышало $1,33 \cdot 10^{-4}$ Па. Кремний и тантал испарялись из двух независимых электронно-лучевых испарителей, работающих в режиме автотиглей, на нагретые до 290–300 °С подложки. Температура измерялась термопарой с погрешностью +3 °С. Толщина пленок в процессе нанесения контролировалась с помощью кварцевых микровесов. Скорость испарения веществ поддерживалась постоянной с помощью системы стабилизации, состоящей из квадрупольного масс-спектрометра, соединенного обратной связью с блоками управления электронных пушек. Отношение скоростей испарения кремния и тантала (V_{Si}/V_{Ta}) изменялось в пределах 2,5–3,5. Затем пленки отжигали в среде аргона при температуре отжига, равной 900–1000 °С в течение 10–30 мин.

Качество формируемых пленок $TaSi_2$, оценивалось по результатам исследования фазового состава, морфологических свойств поверхности и вертикальных сечений, удельного сопротивления и внутренних механических напряжений.

Результаты электронно-микроскопического и электронографического анализа показали, что исходные пленки независимо от отношения V_{Si}/V_{Ta} являются аморфными с беспорядочной плотноупакованной структурой. Они имеют высокое удельное сопротивление (около 320–420 мкОм·см). Термообработка аморфных слоев при 900–1000 °С вызывает их кристаллизацию, сопровождающуюся существенным снижением удельного сопротивления (в 6 и более раз) [1].

На основании данных электронографического и рентгенодифрактометрического анализа установлено, фазовый состав пленок, сформированных при отношении $V_{Si}/V_{Ta} = 2,5$ и температура отжига, равная 900 °С, соответствует $TaSi_2$. Эти пленки характеризуются наибольшей дисперсностью и высокой однородностью поверхностных свойств, средний размер зерна составляет 30–40 нм. Повышение температуры отжига до 1000 °С обеспечивает формирование более крупнозернистых пленок, максимальный размер зерна которых достигает

250–300 нм. Увеличение отношения V_{Si}/V_{Ta} до 3,5 обуславливает образование пленок смешанного типа, состоящих, по данным электронографического и рентгенодифрактометрического анализа, из $TaSi_2$, и поликристаллического кремния. Это сопровождается появлением на поверхности характерного субмикрорельефа, обусловленного, вероятно, избыточным кремнием.

Изучение морфологических особенностей вертикального сечения выявило волнообразный характер границы раздела кремниевая подложка – пленка, что свидетельствует об активном перераспределении атомов кремния и тантала как непосредственно в пленке, так и между подложкой и пленкой. Видно также, что пленка представляет собой дисилицидную матрицу с кремниевыми включениями.

Таким образом, экспериментальные данные свидетельствуют о том, что в изучаемом диапазоне V_{Si}/V_{Ta} и температур отжига наилучшие результаты с точки зрения воспроизводимости фазового состава и однородности морфологических свойств пленок достигаются при отношении $V_{Si}/V_{Ta} = 2,5$ и температура отжига, равная 900 °С.

Для оценки влияния условий формирования на электрические характеристики пленок были исследованы зависимости удельного сопротивления от отношения V_{Si}/V_{Ta} температуры и продолжительности отжига. Анализ полученных зависимостей позволяет заключить, что основные процессы кристаллизации и формирования силицидной фазы завершаются в течение 10 мин и дальнейшее увеличение продолжительности отжига практически не приводит к изменению удельного сопротивления пленок.

Наблюдаемое снижение удельного сопротивления с ростом температуры отжига (для каждого значения V_{Si}/V_{Ta}) коррелирует с результатами анализа дисперсности пленок и может быть объяснено на основании модели барьерной проводимости поликристаллического слоя, согласно которой проводимость возрастает с увеличением размера зерна пленок. Повышение сопротивления пленок с увеличением отношения V_{Si}/V_{Ta} связано со структурными особенностями пленок и определяется избыточным содержанием кремния в исходных пленках, приводящим при последующем отжиге включений в дисилицидную матрицу пленки.

Качественное определение напряжений в пленках по радиусу кривизны пластин показывает, что рост радиуса кривизны пластин (а следовательно, уменьшение внутренних напряжений в пленках) наблюдается при увеличении отношения V_{Si}/V_{Ta} и уменьшении температуры отжига, т. е. минимальные напряжения достигаются в более крупнозернистых пленках $TaSi_2$, обогащенных кремнием. Это объясняется тем, что избыточный кремний приводит к снижению температурного коэффициента расширения подложки из чистого кремния ($3 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹) и пленки $TaSi_2$ ($(8,8-10,7) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹).

Основными свойствами пленок $TaSi_2$, (фазовым составом, морфологией поверхности, удельным сопротивлением, механическими напряжениями), определяющими возможность их использования в технологии интегральных микросхем, можно управлять, изменяя отношения V_{Si}/V_{Ta} при напылении пленок и температурно-временные условия последующего отжига. Установленные в работе зависимости дают возможность оптимизировать эти параметры, что обеспечивает наилучшее сочетание свойств пленок в каждом конкретном случае.

Список литературы

1. Турцевич, А. С. Пленки поликристаллического кремния в технологии производства интегральных схем и получения полупроводниковых приборов / А. С. Турцевич, Л. П. Ануфриев. – Мн.: Бел. наука, 2006. – 232 с. – ISBN 985-08-0687-7.