

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В СИСТЕМЕ ТИТАН-КРЕМНИЙ ПРИ БЫСТРОЙ ТЕРМООБРАБОТКЕ

В.А.Пилипенко¹⁾, В.Н.Пономарь¹⁾, В.В.Понарядов²⁾, И.В.Пилипенко²⁾, В.А.Горушко¹⁾

¹⁾ НПО «Интеграл», НИКТП «Белмикросистема», 220064, Минск, пл. Казинца, тел. 277-37-41

²⁾ Белорусский государственный университет, 220050, Минск, пр. Ф. Скорины 4, тел. 206-60-01

В данной работе представлены результаты исследования поведения структуры и фазового состава пленок дисилицида титана, сформированного методом диффузионного синтеза между пленкой титана и кремния с применением быстрой термообработки.

Введение

Создание высококачественных быстродействующих полупроводниковых приборов и сверхбольших интегральных схем требует внедрения в технологию их изготовления новых материалов. Одним из наиболее перспективных материалов современной микроэлектроники являются силициды – соединения кремния с более электроположительными элементами. Исследование процесса образования дисилицида титана с применением быстрой термообработки (БТО) для разработки одностадийного процесса его формирования является актуальной задачей как в области физики тонких пленок, физики твердого тела, так и в микроэлектронике.

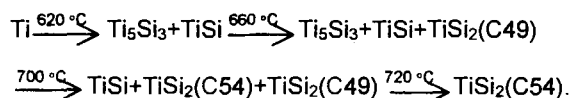
Основная часть

В работе на основе анализа спектров обратного резерфордского рассеяния и рентгеноструктурного анализа показано, что при БТО системы пленка титана-кремний с температурой выше 620°C начинается образование силицидов обогащенных металлом Ti_5Si_3 и $TiSi$. Это хорошо согласуется с общим правилом формирования силицидов, согласно которому при низких температурах обработки первыми образуются силициды, богатые металлом. При соответствующих кинетических условиях образование богатого металлом силицида продолжается пока не израсходуется весь металл. После этого начинается образовываться следующая, более богатая кремнием фаза [1]. Таким образом имеет место последовательный переход от богатого металлом силицида к силициду, обогащенному кремнием. Это означает, что совместное присутствие двух силицидов в пленке практически невозможно. В отличие от этого, при БТО, в пленке металла образуются сразу два силицида, обогащенных металлом. Следовательно, на первом этапе при БТО имеет место в основном диффузия кремния в металл и одновременное формирование двух фаз силицидов, обогащенных металлом. Такой ход диффузионного синтеза обуславливается коротким временем нагрева системы пленка титана – кремний, которую в этом случае можно рассматривать как бесконечный источник металла на бесконечном источнике кремния. В этом случае, как предсказывает теория, должна наблюдаться преимущественная диффузия кремния в металл, что и имеет место в действительности, в отличие от длительной термообработки, когда превалирует

диффузия металла в кремний.

Повышение температуры обработки вызывает увеличение толщины силицидного слоя и смещение фазового состава в сторону образования соединений с большим содержанием кремния. Так, при температуре 660°C образуются соединения, содержащие одновременно три фазы силицида Ti_5Si_3 , $TiSi$ и $TiSi_2$. Это означает, что формирование силицидов при данной температуре протекает уже за счет диффузии кремния в формируемую пленку силицида. Увеличение температуры обработки БТО до 720°C приводит к формированию дисилицида титана ($TiSi_2$) с градиентной структурой (С54). Дальнейшее увеличение температуры обработки не вызывает фазовых превращений в системе, что свидетельствует о достижении системой равновесного состояния.

Исходя из приведенных выше данных о фазовых превращениях, протекающих в пленке титана на кремнии при формировании дисилицида титана с применением БТО, фазовые переходы имеют следующую последовательность [2]:



Важной особенностью данных фазовых превращений является то, что они протекают при более низких температурах и за значительно более короткие времена, чем при длительной термической обработке. Так, стабильная фаза $TiSi_2$ при БТО формируется при температуре 700-720°C за 5 с, а при длительной термообработке - 800°C за 30 минут, т.е. температура образования на 100°C меньше, а время меньше на несколько порядков. Данный факт указывает на действие стимулирующих факторов при формировании дисилицида титана с применением БТО. Такими стимулирующими факторами, снижающими энергию активации образования различных фаз силицида титана, могут быть разрыв связей кремний-кремний и электронное возбуждение в кремнии под действием фотонного потока.

Детальное перераспределение атомов титана, кремния, кислорода и углерода в процессе БТО изучали с помощью электронной Оже-спектроскопии. Как показали данные исследования, процесс формирования силицида титана состоит в перераспределении титана, кремния, кислорода и углерода при термообработке. Как и

в случае традиционной термообработки первоначальные структурные превращения пленки титана сопровождаются диффузией атомов кислорода и углерода по границам зерен в объем пленки. С увеличением температуры и времени термообработки наблюдается увеличение размеров диффузионно-перемешанной области, приводящее к формированию силицида на границе раздела кремний-титан. На последующих этапах наблюдается преобладающая диффузия кремния, при которой происходит оттеснение кислорода и углерода растущим слоем к поверхности, сопровождающееся уменьшением общего количества углерода и кислорода в структуре за счет испарения. Большая часть титана, а можно сказать весь титан, превращается в различные фазы силицида уже на первом этапе термообработки.

Исследование микрорельефа поверхности формируемого силицида кремния методом растровой электронной микроскопии под углом 45° показало, что силицид, сформированный при температуре 620°C , имеет сильно развитый микрорельеф. Увеличение температуры обработки приводит к резкому уменьшению микрорельефа поверхности. Данный факт указывает на то, что с повышением температуры происходит выравнивание фронта диффузии при силицидообразовании, приводящее к сглаживанию поверхности формируемого силицида титана. Микрорельеф поверхности силицида, сформированного с применением БТО, значительно ниже, чем для пленок сформированных традиционным методом.

Изучение зависимости среднего размера зерна формируемого силицида титана от режимов БТО показало, что время термообработки на размер зерна практически не влияет. Основное и определяющее влияние оказывает температура

обработки. Рост зерен дисилицида титана начинается одновременно с ростом дисилицидной фазы и продолжается до полного превращения формируемого силицида титана в дисилицид титана. Средний размер зерна составляет при этом 125 нм и имеет энергию активации роста $1,2 \pm 0,1\text{ эВ}$.

Заключение

1. Применение БТО для формирования дисилицида титана позволяет проводить его синтез при температуре на 100°C ниже и за время на несколько порядков меньше, чем при длительной термообработке. Это позволяет формировать дисилицид титана в одну стадию без взаимодействия его с ниже лежащей двуокисью кремния, что очень важно в технологии СБИС.

2. В отличие от длительной термообработки в структуре формируемого силицида титана на низкотемпературной стадии БТО образуются одновременно практически все его фазовые модификации.

3. Микрорельеф поверхности дисилицида титана, полученного при быстрой термообработке, значительно менее развит, чем у дисилицида титана, полученного с применением длительной термообработки.

Список литературы

1. Мьюрарка. Силициды для БИС. – М.: Мир, 1986.
2. Пилипенко В.А., Пилипенко И.В., Пономарь В.Н., Горушко В.А. Особенности формирования силицида титана при быстрой термообработке. // Вакуумная техника и технология. Т. 10, №1. – 2000. – С. 21.

FEATURES OF THE STRUCTURE AND PHASE TRANSITIONS IN THE TITANIUM-SILICON SYSTEM DURING THE RAPID THERMAL TREATMENT

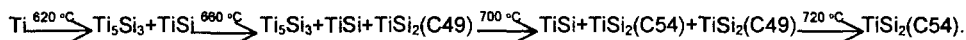
V.A.Pilipenko¹, V.N.Ponomar¹, V.V.Ponariadov², I.V.Pilipenko², V.A.Gorushko¹

¹ Integral, Belmicrosystem, Kazintsa Sq., Minsk, 220064, belms@belms.belpak.minsk.by

² Byelorussian State University, F.Scoryna 4, Minsk, 220050, AV.SSP@phys.bsu.unibel.by

In this work we observe the behaviour of structure and phase composition of disilicid titanium, which is generated by rapid thermal treatment.

It is shown, that the application of RTT for formation of disilicid titanium allows us to carry out its synthesis at temperature on 100°C below and in time on some orders less, than at long thermal treatment. It allows to form disilicid titanium in one stage without its interaction with a below laying dioxide of silicon. This thing is very important in technology of SBIC. Thus, the phase transitions have the following sequence:



In contradistinction to the long thermal treatment in the structure of disilicid titanium, which is forming by RTT, during the low-temperature stage practically all its phase updatings are formed simultaneously.

The microrelief of the disilicid titanium surface, received by the rapid thermal treatment, is considerably less advanced, than of the disilicid titanium, received with the application of the long thermal treatment.