НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ КОНТАКТНОГО СЛОЯ СИЛИЦИДА ПЛАТИНЫ ДЛЯ СИЛОВЫХ ДИОДОВ ШОТТКИ

Ф.Ф. Комаров[1)], О.В. Мильчанин[1)], Т.Б. Ковалева[1)], Я.А. Соловьев[2)], А.С. Турцевич[2)], Ч. Карват[3)]
[1)]*НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ, ул. Курчатова 7, 220064, Минск, Беларусь, (+37517)2785116*
komarovf@bsu.by, milchanin@tut.by
[2)]*ОАО «Интеграл», ул. Казинца, 121А, 220108, Минск, Беларусь*
[3)]*Люблинский технический университет, Люблин, Польша*

Методами просвечивающей электронной микроскопии и электронной дифракции, Резерфордовского обратного рассеяния, измерения сопротивлений проведены исследования структурных и электрофизических свойств контактных слоев силицидов платины, формируемых в ходе низкотемпературных термообработок (100–360 ºС) слоев Pt/Si. Исследованы основные температурно-временные зависимости процессов силицидообразования, в том числе и в зависимости от толщины нанесенных пленок платины. Установлено, что формирование фазы Pt_2Si происходит уже при 180 ºС. В температурном диапазоне 180-240 °С обнаружено формирование только фазы Pt_2Si. При температурах 200-220 °С полного перехода пленки платины в фазу силицида не наблюдается. Формирование фазы PtSi происходит при температурах выше 240 °С. Показано, что низкотемпературная термообработка более предпочтительна с позиции однородности формируемых силицидных слоев (по толщине, по размеру поликристаллических зерен).

Введение

Наиболее сильное влияние на электрические характеристики диода Шоттки имеет выбор контактного металла, от которого зависит высота барьера Шоттки. При малой величине высоты барьера диод Шоттки имеет сравнительно большую плотность обратного тока, который к тому же экспоненциально возрастает с увеличением температуры кристалла и приложенного обратного напряжения. Применение металлов с большим значением высоты барьера к кремнию позволяет значительно уменьшить обратный ток диода Шоттки [1-3]. При производстве силовых диодов Шоттки силицидам переходных металлов отводится исключительно важная роль. С одной стороны, силициды переходных металлов обладают высокой проводимостью металлического характера, высокой температурной стабильностью и большим значением высоты барьера к кремнию. Одним из распространенных материалов данного класса является силицид платины, отличающийся большой высотой потенциального барьера с кремнием n-типа проводимости (0,82 В) и легкостью получения твердофазной реакцией с кремнием. Использование силицида платины в таких изделиях силовой электроники, как диоды Шоттки позволяет получать структуры с малыми обратными токами, высокими пробивными напряжениями, и максимальной температурой эксплуатации до 175-200 °С [1].

В ряде работ [3, 4] было отмечено, что стандартный технологический режим формирования силицида платины – 550 °С при длительности 15–30 минут (выбор времени термообработки определяется толщиной исходной металлической пленки) не подходит для силовой электроники. Основным достоинством данного режима формирования является быстрота получения. Однако, в тоже время, основным и самым важным недостатком данного режима термообработки является неоднородность по толщине формируемых слоёв. Использование силицидов, полученных в описанном температурном режиме формирования, при создании силовых диодов Шоттки, где линейные размеры контактов достигают миллиметров не желательно. В связи с тем, что силицид платины может формироваться при более низких температурах [5], возможно, что при снижении температуры формирования и увеличении длительности термообработки, будет более однородное формирование силицидных слоёв, так как процесс силицидообразования будет протекать более равномерно. Также возможно использование комбинированных режимов термообработок (получение фазы Pt_2Si при низких температурах, а PtSi уже при более высоких) и/или совместно с режимом быстрого термического отжига. В данной работе представлены результаты структурных исследований контактных слоев силицида платины, формируемых в ходе низкотемпературных (100-360 °С) обработок.

Методика эксперимента

Пленки платины наносились магнетронным распылением платиновой мишени чистотой не хуже 99,95 % на установке «MRC 603» с криогенной системой откачки и предельно откачиваемым давлением менее $5 \cdot 10^{-5}$ Па. Толщина наносимых слоев платины варьировалась в диапазоне 20-80 нм. Дальнейший отжиг образцов проводился в температурном диапазоне 100–360 °С как с использованием стандартных технологических печей, так и сушильных низкотемпературных шкафов. Длительность термообработок составляла от 30 минут до 8 часов.

Структурный анализ образцов проводился с привлечением методов просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) в сочетании с электронной дифракцией (ЭД) и Резерфордовского обратного рассеяния (РОР). Для электрофизических исследований использовался 4^x-зондовый метод измерений слоевого сопротивления.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлена типичная ПЭМ-микрофотография поперечного сечения диода Шоттки в области контактного слоя Si/PtSi после стандартной термообработки используемой в

области микроэлектроники. В данном случае слои силицида платины формировали твердофазной реакцией платиновой пленки с кремнием при температуре 550 °С в среде азота в течение 30 минут. Результаты ПЭМ исследований свидетельствуют о структурной неоднородности контактного слоя. Можно отметить большой разброс толщины слоя PtSi - от 40 до 75 нм. Неровность и размытость границы раздела Si/PtSi свидетельствует о наличии напряжений и структурных дефектов в данной области. Было зарегистрировано и формирование дефектов упаковки в кремнии вблизи границы раздела. В отдельных местах обнаруживалась фаза Pt_2Si, что свидетельствует о не полном образовании моносилицида платины по всей площади контактного слоя. Таким образом, неоднородность силицидного слоя, наличие структурных дефектов на границе раздела Si/PtSi и вблизи ее приводило к резкому росту обратных токов диодов Шоттки с PtSi/Si контактом [4].

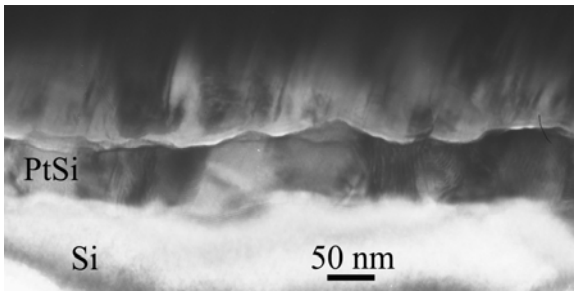

Рис. 1. ПЭМ-микрофотография поперечного сечения диода Шоттки с контактным слоев PtSi

Для отработки режима низкотемпературного способа формирования контактного слоя диода Шоттки на основе силицидов платины была изготовлена партия пластин-спутников с тонкими слоями металла (20-40 нм) на (111)-пластинах кремния n-типа проводимости. На рис. 2 и рис. 3 представлены результаты ПЭМ исследований данных образцов в зависимости от температур термообработки - от 100 до 360 °С с интервалом в 20 °С. Исходная пленка платины имеет однородную мелкозернистую поликристаллическую структуру со средним размером зерен от 5 до 30 нм (рис. 2a). Отжиг при температурах 100-180 °С не приводит к существенным изменениям в структуре образцов. Но при температуре отжига 180 °С уже наблюдается формирование отдельных зерен другой фазы – о чем свидетельствовали данные ПЭД. С повышением температуры термообработки количество новой фазы в исследуемых слоях увеличивается. При 240 °С отжиге (рис. 2d) практически весь слой металлизации состоит из фазы Pt_2Si со средним размером зерен 40-80 нм. Однако при этой температуре в слое наблюдается содержание и небольшого количества чистой платины (о чем свидетельствуют слабые дифракционные кольца от чистой платины на дифракционной картине – рис. 2d). Отжиг при температуре 260 °С приводит к полному переходу от пленки платины к слою силицида Pt_2Si. При этом формируется структурно-однородный по толщине и размеру зерен поликристаллический слой силицида с четкими межзеренными границами.

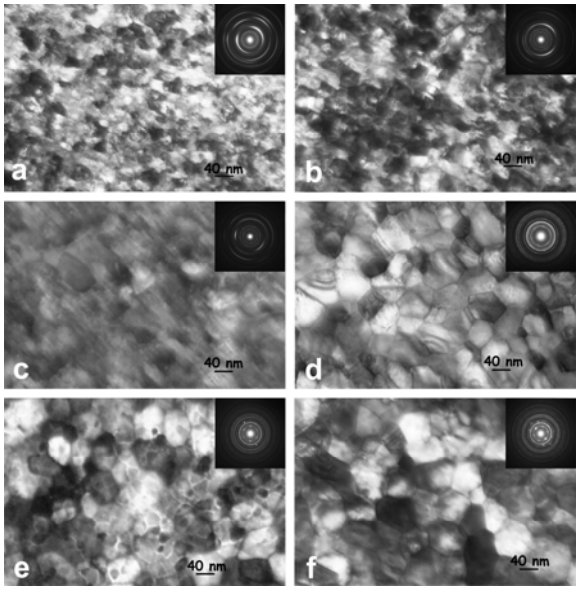

Рис. 2. Светлопольные ПЭМ-микрофотографии и картины микродифракции (во вкладках) от структуры Pt/Si после нанесения и термообработки: a – после нанесения, b - 200 ^{0}C, 480 мин; c - 220 ^{0}C, 480 мин; d - 240 ^{0}C, 240 мин; e - 260 ^{0}C, 240 мин; f - 280 ^{0}C, 240 мин

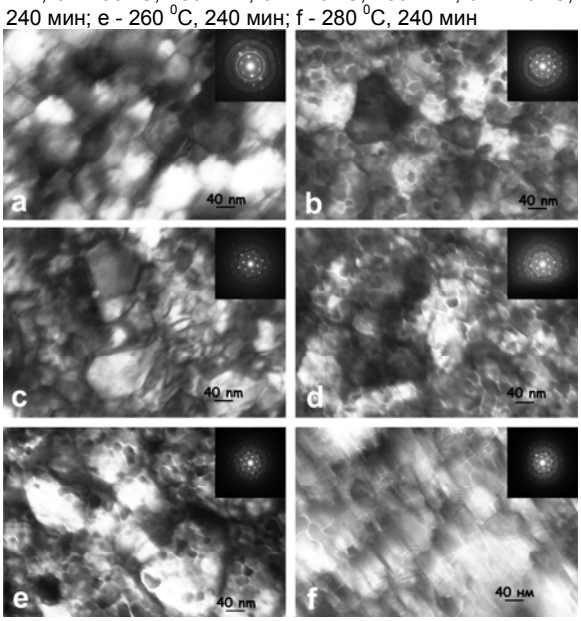

Рис. 3. Светлопольные ПЭМ-микрофотографии и картины микродифракции (во вкладках) от структуры Pt/Si после нанесения и термообработки: a – 280 ^{0}C, 120 мин, b - 300 ^{0}C, 120 мин; c - 320 ^{0}C, 120 мин; d - 340 ^{0}C, 60 мин; e - 360 ^{0}C, 30 мин; f - 360 ^{0}C, 60 мин

Отмечено формирование фазы PtSi при температурах 260 °С и выше. Однако существенное количество фазы PtSi регистрируется при температурах отжига 320 °С и выше. При этом с повышением температуры наблюдается уменьшение размеров зерен в исследуемых образцах, т.е. фаза PtSi формируется в пленку с меньшим размером поликристаллических зерен.

Для более детального анализа температурно-временных зависимостей процесса силицидообразования в системе Pt/Si по глубине слоя были

проведены РОР исследования образцов (рис. 4). Сплошными линиями на спектрах указаны расчетные формы «плато» для пленок платины и ее силицидов. Результаты хорошо согласуются с данными ПЭМ. Уширение пика от Pt и снижение ее концентрации на границе с кремнием (левая граница пика в спектрах) наблюдается уже при 180-200 °С отжиге. С увеличением температуры термообработки скорость силицидообразования увеличивается. А при температуре 260 °С формируется сплошной слой фазы Pt_2Si. Полный переход отжигаемого слоя в в силицид PtSi происходит при температуре 360 °С.

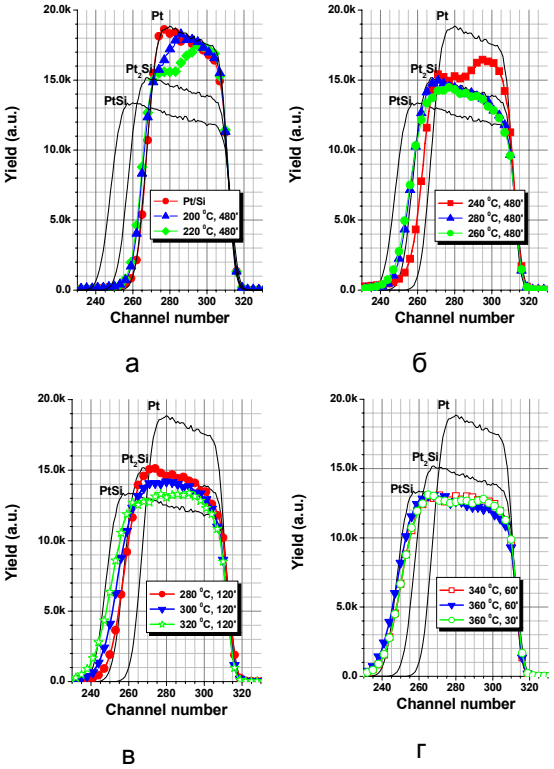

Рис. 4. РОР спектры ионов гелия с энергией 1,4 МэВ от слоев Pt/Si после осаждения и термообработок:
а – 480 мин, б – 240 мин, в – 120 мин, г – 60 and 30 мин

Зависимость изменения слоевых сопротивлений образцов от температуры термообработки представлена на рис. 5. Для температур 180-240 °С наблюдается существенное снижение слоевого сопротивления слоя металлизации. Это связано, вероятно, с формированием фазы Pt_2Si, имеющей меньшее удельное сопротивление. При этом, формируемая фаза силицида характеризуется большим размером зерен и более высоким качеством межзеренных границ. Увеличение слоевого сопротивления в слоях силицида в интервале температур 260-360 °С мы связываем с формированием фазы PtSi.

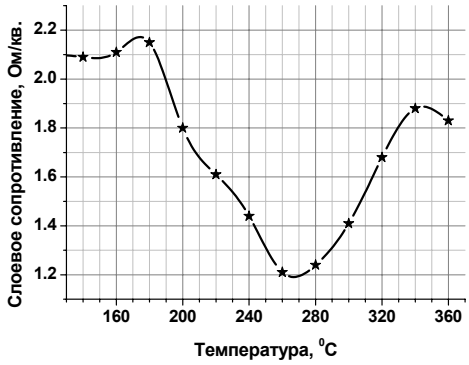

Рис. 5. Зависимость слоевого сопротивления слоев силицидов платины от температуры формирования

Заключение

В работе исследованы особенности формирования силицидов Pt_2Si и PtSi путем низкотемпературного отжига пленки платины, нанесенной на кремниевые пластины. Установлено, что процесс силицидообразования начинается при 180 ºС с формирования фазы Pt_2Si. на границе раздела Pt/Si. Отжиг при температуре 240-260 °С приводит к полному переходу от пленки платины к слою силицида Pt_2Si. При этом формируется структурно-однородный по толщине и размеру зерен поликристаллический слой силицида с четкими межзеренными границами. Полный переход слоя в фазу PtSi наблюдался при 360 °С отжиге.

Список литературы

1. Попов С. Силовые диоды Шоттки // "Электронные компоненты" – 2002. -№ 8, с. 77-81.
2. Попов С. Диоды Шоттки для преобразовательной техники // "Электронные компоненты" – 2002. – № 3, с. 35-38.
3. Баранов В.В., Соловьев Я.А., Тарасиков М.В., Фоменко Н.К. // Известия Белорусской инженерной академии. – 2003. – № 1 (15)/4. – С. 89 – 91.
4. Турцевич А.С., Ануфриев Д.Л., Соловьев Я.А., Мильчанин О.В. // Вакуумная техника и технология. - 2006. - 16, - С. 271-275.
5. Larrieu G., Dubois E., Wallart X., Baie X. // J. Appl. Phys. – 2003 - 94(12), p. 7801-7810.

LOW TEMPERATURE FORMATION OF PLATINUM SILICIDE FOR SHOTTKY DIODES CONTACT LAYER

F. Komarov[1)], O. Milchanin[1)], T. Kovalyova[1)], J. Solovjov[2)], A. Turtsevich[2)], Cz. Karwat[3)]
[1)]*Science institute of applied problems, BSU, 220064, Minsk, Kurchatova 7, (+37517)2785116.*
[2)]*Joint stock company "Integral", 220108, Minsk, Kazintsa 121A, (+37517)2122751*
[3)]*Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, Polska, e-mail:c.karwat@pollub.pl*

In the given work structural and electrophysical properties of contact layers of platinum silicides formed on silicon wafers by deposition of thin platinum layers and low temperature annealing (100-360°C) were investigated. It is shown, that process of silicide formation in Pt/Si system begins at temperatures of about 180 ºC. During heat treatment at 180-260 °C only Pt_2Si phase is revealed. Thin layers of silicides, generated at lower temperatures (< 280 °C), are more perfect in depth, and also are characterized by more homogeneous grain sizes. Full transformation of the metallic layer to the PtSi phase was observed at 360 °C.