

МАТЕРИАЛЫ

УДК 621.793

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА Si/PtSi
В ДИОДАХ ШОТКИ ДЛЯ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**А.С. ТУРЦЕВИЧ¹, Я.А. СОЛОВЬЕВ¹, Д.Л. АНУФРИЕВ¹, О.В. МИЛЬЧАНИН²

¹Унитарное предприятие "Завод Транзистор"
ул. Корженевского 16, г. Минск, 220108, Беларусь,

²НИИ прикладных физических проблем им. А.И. Севченко Белорусского государственного университета
ул. Курчатова 7, г. Минск, 220064, Беларусь

Поступила в редакцию 19 июня 2006

Исследованы структурно-морфологические особенности границы раздела Si/PtSi, сформированной твердофазной реакцией платиновой пленки с кремниевой подложкой при температуре 550 °С в среде азота. Установлено, что переходной силицидный слой содержит Pt₂Si, PtSi, а также чистую платину и характеризуется неоднородной структурой, обуславливающей неоднородное прохождение тока по площади выпрямляющего контакта. Предложена герметизация платины пленкой никеля. При этом существенно улучшаются однородность структуры и контактные свойства силицидного слоя.

Ключевые слова: диод Шоттки, силицид платины, твердофазная реакция, граница раздела.

Введение

Силициды различных металлов нашли широкое применение в изделиях твердотельной электроники в качестве материалов выпрямляющих и омических контактов, а также токопроводящих элементов интегральных схем [1, 2]. Одним из распространенных материалов данного класса является силицид платины, отличающийся большей высотой потенциального барьера с кремнием *n*-типа проводимости (0,82 В) и легкостью получения путем твердофазной реакции 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 200 °С [3].

Отличительной особенностью изделий силовой электроники является большая площадь структуры, которая может достигать десятков квадратных миллиметров, что обуславливает значительные механические напряжения структур, полученных твердофазной реакцией с кремнием при термическом воздействии. Кроме того, граница раздела PtSi/Si данных контактов характеризуется неоднородностью структуры и электрофизических свойств по площади [4–6]. В работе [4] Оже-электронной спектроскопией рентгеновской дифракции и просвечивающей электронной микроскопией установлены особенности формирования неоднородностей состава и структуры слоев PtSi в зависимости от температурных режимов отжига в азоте платиновых пленок толщиной 430 Å на кремниевых подложках ориентации (100). В работе [5] методами просвечивающей электронной микроскопией и рентгеновской спектроскопии установлены закономерности кинетики образования силицидов платины, сформированных быстрым термическим отжигом в сверхвысоком вакууме пленок платины на подложках кремния ориентации

(100). В работе [6] методами просвечивающей электронной микроскопии и сканирующей зондовой микроскопии установлено наличие неоднородностей структуры и контактных свойств силицида платины, сформированного на кремнии ориентации (111), а также исследовано влияние неоднородностей на прямые вольтамперные характеристики диодов Шоттки на их основе. Однако в реальных диодах Шоттки для силовой электроники контактные слои PtSi не используются в чистом виде, а в совокупности с другими тонкопленочными элементами, например Mo [7] или Pd [8]. Данная работа посвящена исследованию структурно-морфологических особенностей границы раздела Si/PtSi в диодах Шоттки для силовой электроники.

Методика эксперимента

Типовая структура диода Шоттки для силовой электроники с контактом из силицида платины представлена на рис. 1. Слои силицида платины формировали твердофазной реакцией платиновой пленки с кремнием при температуре 550°C в среде азота в течение 30 мин. Пленки платины наносили 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. Элементный состав пленок исследовался с помощью Оже-электронной спектроскопии при использовании спектрометра PHI-660 (Perkin Elmer, США). Фазовый состав тонких пленок определялся исходя из данных рентгеноструктурного анализа, полученных на установке ДТС-1. Структура пленок исследовалась методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) с применением электронного микроскопа H-800 (Hitachi, Япония). Морфология поверхности пленок изучалась с использованием сканирующей зондовой микроскопии по методике отображения сопротивления растекания [9, 10], а также согласно полуконтактной методике при помощи кремниевого зонда с углеродной нанотрубкой [11].

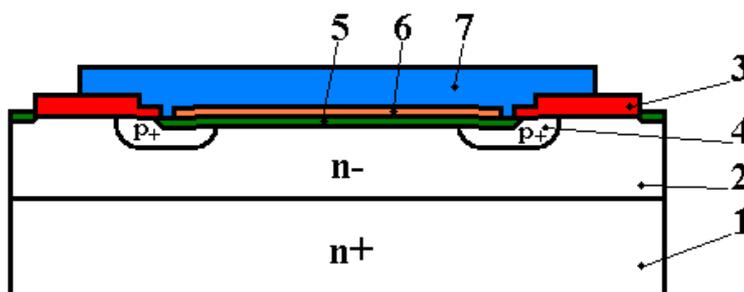


Рис. 1. Типовая структура диода Шоттки с контактным слоем из PtSi: 1 — подложка; 2 — эпитаксиальный слой; 3 — слой SiO₂; 4 — охранный слой; 5 — слой PtSi; 6 — слой Mo; 7 — слой Al-Si

Экспериментальные результаты и их обсуждение

На рис. 2 представлен профиль распределения элементов по толщине пленки, полученный Оже-электронной спектроскопией. Как видно из рис. 2, содержание кремния в силицидном слое не соответствует стехиометрическому составу ни одного из известных силицидов, что свидетельствует о неоднородном фазовом составе. Данный вывод подтверждается также рентгеноструктурным анализом, результаты которого приведены в таблице. Поскольку в напряженных структурах возможна деформация связей между атомами и, как следствие, изменение межплоскостных расстояний, в таблице представлены расчетные данные для всех ближайших к экспериментальным пикам. Точная и однозначная интерпретация экспериментальных пиков затрудняется из-за близости межплоскостных расстояний для фаз PtSi и Pt₂Si, а также Si и Pt. Однако анализ результатов позволяет утверждать, что в исследуемых образцах содержатся пики, соответствующие фазам PtSi, Pt₂Si, а также непрореагировавшей платины. Данные результаты противоречат общеизвестной кинетике образования слоев PtSi, согласно которой сначала вся платина должна перейти в субсилицид, который затем переходит в моносилицид [1]. Ана-

логичная картина описана в работе [4], где было показано, что диффузия кислорода в пленку платины препятствует ее полному переходу в силицид из-за образования окислов кремния.

Результаты ПЭМ исследований также свидетельствуют о структурной неоднородности силицидного слоя. На рис. 3 представлена типовая светлопольная ПЭМ-микрофотография поперечного сечения слоев Si/PtSi/Мо твердотельной структуры диода Шоттки. Следует отметить большой разброс толщины силицидного слоя — 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 Si/PtSi.

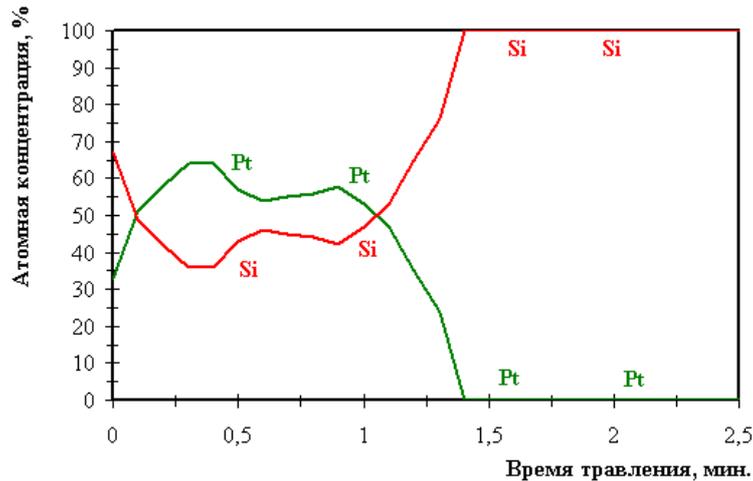


Рис. 2. Профиль распределения элементов по толщине слоя PtSi

Результаты рентгеноструктурного анализа слоев силицида платины

Экспериментальные значения		Табличные значения	
2θ, град	Межплоскостное расстояние, нм	Межплоскостное расстояние, нм	Фазовый состав
29,0	0,308	0,308	PtSi (011)
32,1	0,278	0,278	Pt ₂ Si (100)
39,9	0,226	0,226	Pt (111)
44,1	0,206	0,204	PtSi (202)
61,7	0,150	0,149	Pt ₂ Si(004)
67,3	0,139	0,139	Pt ₂ Si (220)

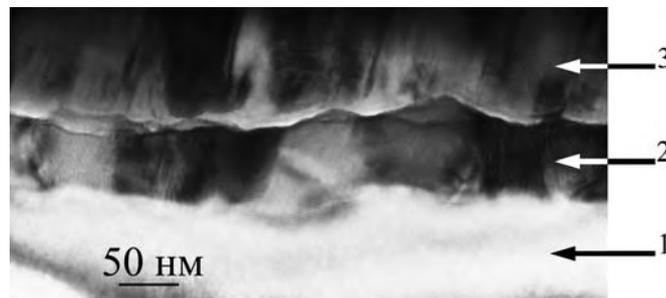


Рис. 3. Светлопольная ПЭМ-микрофотография поперечного сечения слоев Si/PtSi/Мо в диоде Шоттки: 1 — кремниевая подложка, 2 — слой силицида платины, 3 — пленка молибдена

Неоднородность структуры силицидного слоя установлена также сканирующей зондовой микроскопией (рис. 4). Как видно из рис. 4, а, на поверхности силицидного слоя существуют участки с различной работой выхода, что хорошо согласуется с результатами работы [9].

Из рис. 4,б видно, что силицидные зерна размером 15–30 нм объединяются в конгломераты размером порядка 200 нм.

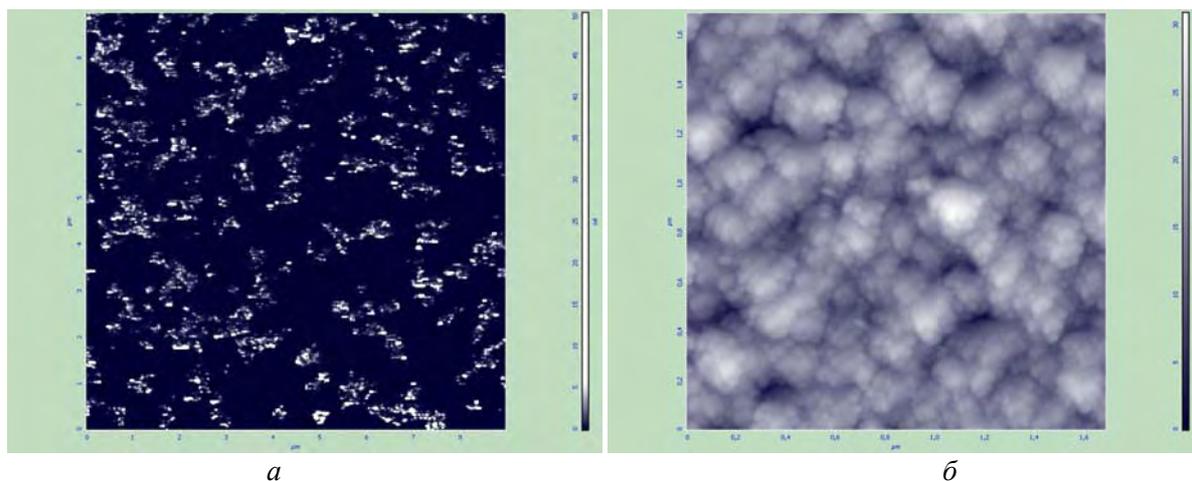


Рис. 4. Результаты исследования структуры силицидного слоя сканирующей зондовой микроскопией: а) по методике отображения сопротивления растекания (область сканирования 9×9 мкм); б) полуконтактная методика; кремниевый зонд с углеродной нанотрубкой (область сканирования $1,5 \times 1,5$ мкм)

Структурные неоднородности силицидного слоя обуславливают резкий рост обратных токов диодов Шоттки с Si/PtSi контактом (рис. 5). В области обратных смещений до 5 В экспериментальная ВАХ совпадает с теоретической, рассчитанной для такой же высоты барьера Шоттки. С увеличением обратного смещения разность между двумя кривыми увеличивается более чем на два порядка, что обусловлено наличием неоднородностей на границе раздела с кремнием [12].

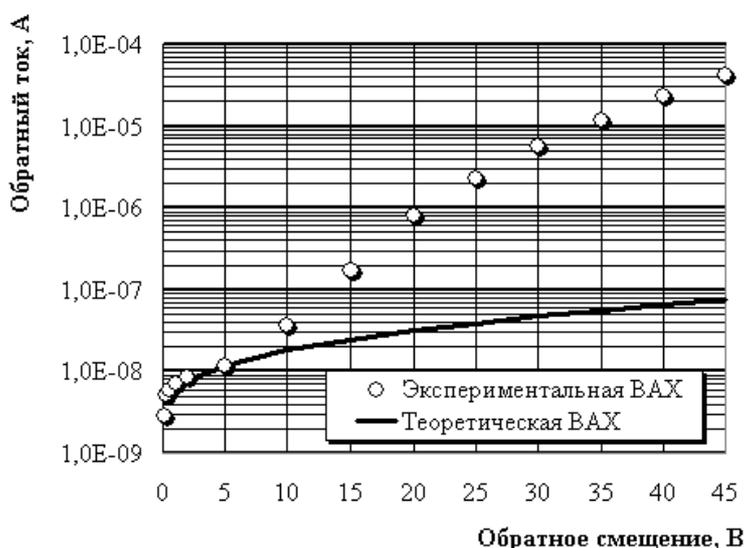


Рис. 5. Обратная ВАХ диода Шоттки с контактом из PtSi, содержащим неоднородности

Для предотвращения нежелательной диффузии кислорода в платину и обеспечения ее полного перехода в PtSi используют герметизацию наружной границы платинового слоя другим металлом: молибденом [7] либо палладием [8]. Для достижения данной цели нами было предложено наносить поверх платины слой никеля. При магнетронном распылении предпочтительнее использование мишеней из сплава Ni(7%V) [13] для изменения доменной структуры и устранения магнитных свойств никеля. В данном случае становится возможным нанесение платины и никеля на установке магнетронного напыления в одном вакуумном технологическом цикле. На рис. 6 представлена светлопольная ПЭМ-микрофотография поперечного сечения

структуры Si/PtSi/NiSi/Мо диода Шоттки. Из рис. 6 видно, что контактный слой PtSi характеризуется более однородной структурой, четкой границей раздела Si/PtSi и отсутствием фазы Pt₂Si (ср. рис. 3). Не было обнаружено формирования дефектов упаковки в кремнии вблизи границы Si/PtSi. Таким образом, герметизация платины слоем никеля позволяет после термообработки получить достаточно качественный контактный слой моносилицида платины. Результаты измерения вольтамперных характеристик также подтверждают отсутствие неоднородностей в выпрямляющих контактах.

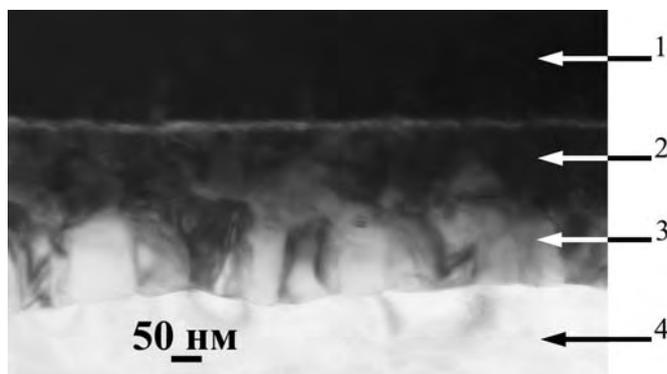


Рис. 6. Светлопольная ПЭМ-микрофотография поперечного сечения слоев Si/PtSi/NiSi/Мо в диоде Шоттки: 1 — кремниевая подложка; 2 — слой силицида платины; 3 — слой силицида никеля; 4 — пленка молибдена

Заключение

Исследованы структурно-морфологические особенности границы Si/PtSi, сформированной твердофазной реакцией пленки платины с монокристаллическим кремнием при температуре 550 °С в среде азота. Установлено, что силицидный слой содержит Pt₂Si, PtSi а также чистую платину и характеризуется неоднородной структурой, обусловленной диффузией кислорода в платину во время его формирования, что приводит к неоднородному прохождению тока по площади выпрямляющего контакта силицидного слоя с кремнием. Для исключения диффузии кислорода предложена герметизация платины пленкой никеля. При этом существенно улучшаются однородность структуры и контактные свойства силицидного слоя.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Государственного центра "Белмикронализ" и учреждения образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" к.т.н. В.А. Ухова и м.н.с. Н.Г. Циркунову за помощь в проведении исследований.

FEATURES OF FORMATION SI/PtSi BOUNDARY IN SCHOTTKY DIODES FOR POWER APPLICATION

A.S. TURTSEVICH, J.A. SOLOVJOV, D.L. ANUFRIEV, O.V. MILCHANIN

Abstract

Structure and morphology features of Si/PtSi boundary formatted by solid phase reaction of platinum film with silicon substrate at 550°C in nitrogen atmosphere are researched. Silicide layer content Pt₂Si, PtSi and also pure platinum and characterized nonuniform structure that leads to nonuniform current flow through rectifying contact square were established. Capsulation of platinum by nickel film essentially improves the structure and contact properties uniformity of silicide layer.

Литература

1. Мьюрарка Ш. Силициды для СБИС/ Пер. с англ. В.В. Баранов. М., 1986. 176 с.
2. Достанко А.П., Баранов В.В., Шаталов В.В. Пленочные токопроводящие системы СБИС. Минск, 1989. 238 с.
3. Баранов В.В., Соловьев Я.А., Тарасиков М.В., Фоменко Н.К. Диоды Шоттки на основе силицида платины // Изв. Белорус. инж. акад. 2003. № 1 (15)/4. С. 89–91.
4. Chang C.-A., Segmüller A. Huang H.-C.W., et al. // J. Electrochem. Soc. 1986. Vol. 133, № 6. P. 1256–1260.
5. Larrieu G., Dubois E., Wallart X., et al. // J. Appl. Phys. 2003. Vol. 94, № 12. P. 7801–7810.
6. Lahnor P., Seiter K., Schulz M., et al. // Appl. Phys. A. 1995. Vol. 61. P. 369–375.
7. Пат. № 4408216 США. МПК H01 L 29/48. Оpubл. 04.10.1983.
8. Пат. № 5888891 США. МПК H01 L 21/34. Оpubл. 30.03.1999.
9. Balan N., Gruzdev A., Nevsky A., Frolov V. // Books of abstracts, International conference "Micro- and nanoelectronics 2005", October 3rd–7th, 2005, Moscow, Zvenigorod, Russia. P. P1–11.
10. Циркунова Н.Г., Соловьев Я.А., Турцевич А.С. // Изв. Белорус. инж. акад. 2005. № 1 (19)/5. С. 168–169.
11. Циркунова Н.Г., Соловьев Я.А., Турцевич А.С., Борисенко В.Е. // Изв. Белорус. инж. акад. 2005. № 1 (19)/5. С. 169–170.
12. Баранов В.В., Соловьев Я.А., Кошкаргов Г.В. // Изв. Белорус. инж. акад. 2005. № 1 (19)/5. С. 101–104.
13. Пат. № 4139908ФРГ. МПК H 01 L 23/532. Оpubл. 09.06.1993.