

СТРУКТУРНЫЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ К n^+ -КРЕМНИЮ

А.Е. Беляев¹⁾, В.А. Пилипенко²⁾, В.М. Анищик³⁾, Т.В. Петлицкая²⁾, Н.С. Болтовец⁴⁾, А.В. Саченко¹⁾, Р.В. Конакова¹⁾, Я.Я. Кудрик¹⁾, А.О. Виноградов¹⁾, В.Н. Шеремет¹⁾

¹⁾Институт физики полупроводников им. В.Е.Лашкарева НАН Украины

03028, пр. Науки 41, Киев, Украина, e-mail: konakova@isp.kiev.ua

²⁾Государственный центр "Белмикрoанализ" Филиала научно-технического центра "Белмикросистемы" ОАО "ИНТЕГРАЛ", 220108, ул. Корженевского 12, Минск

³⁾Белорусский государственный университет,

220030, пр. Независимости 4, Минск, Республика Беларусь, e-mail: anishchik@bsu.by

⁴⁾Государственное предприятие НИИ «Орион»

03057, ул. Эжена Потье 8а, Киев, Украина, e-mail: bms@i.kiev.ua

Экспериментально исследованы межфазные взаимодействия в омических контактах Au-Pt-Ti-Pd- n^+ Si и Au-Pt-Pd- n^+ Si и сколы контактной металлизации до и после термообработок при 400 и 450 °С в течение 10 минут в вакууме 10^{-6} Торр. Показано, что по сравнению с исходным и прошедшим термообработку при $T=400^\circ\text{C}$ контактами обоих типов, после термообработки при $T=450^\circ\text{C}$ в них нарушается слоевая структура контактной металлизации, а на сколах возникает наноразмерная столбчатая структура, компоненты которой содержат в своем составе Pt, Au и Si. Такая конфигурация омических контактов обуславливает в них металлическую проводимость.

Введение

Многослойная контактная металлизация широко используется в технологии кремниевых дискретных приборов и СБИС [1]. С ее помощью решен ряд физикотехнологических задач, позволивший повысить надежность элементной базы, особенно микроволновых приборов, рабочие температуры которых превышают 200 °С. К таким приборам относятся кремниевые лавинно-пролетные диоды (ЛПД). Технология ЛПД предусматривает создание многослойных омических контактов, в состав которых наряду с контактообразующим слоем входят диффузионные барьеры, позволяющие сохранять слоевую структуру контактной металлизации [2-4]. При превышении рабочей температуры наблюдается ухудшение параметров ЛПД вплоть до катастрофического отказа, явление типичное не только для ЛПД, но и для других типов приборов [5, 6]. Причины отказа не всегда являются однозначными. Слишком уж многофакторный этот процесс. Тем не менее, как показали наши последние имитационные исследования температурных условий формирования омических контактов к Si, в ряде случаев удается определить граничные температурные режимы, превышение которых может приводить к разрушению контактной металлизации и последующей деградации активного элемента [7, 8].

В данной работе выполнено комплексное исследование профилей распределения компонентов омических контактов Au-Pt-Ti-Pd- n^+ Si и Au-Pt-Pd- n^+ Si и сколов контактной металлизации до и после термообработок при 400 и 450 °С в течение 10 минут в вакууме, имитирующих максимальные температурные перегрузки кремниевых ЛПД.

Образцы и методы исследования

Омические контакты Au(50 нм)-Pt(50 нм)-Ti(50 нм)-Pd(30 нм)- n^+ Si и Au(80 нм)-Pt(80 нм)-Pd(30 нм)- n^+ Si создавались послойным вакуумным термическим напылением металлов на подогретые до 300 °С подложки Si (111) с удельным сопротивлением 0,002 Ом·см.

До и после термообработки в течение 10 минут при $T=400$ и 450°C в вакууме 10^{-6} Торр анализировался элементный состав контактной металлизации полученный на электронном Оже спектрометре LAS-2000. Поверхность сколов образцов с контактной металлизацией исследовалась на растровом электронном микроскопе высокого разрешения S-4800 и Оже-микросонде JAMP-9500F.

Экспериментальные результаты и обсуждение

На рис. 1 а-с и 2 а-с приведены профили распределения элементного состава контактной металлизации Au-Pt-Pd- n^+ Si и Au-Pt-Ti-Pd- n^+ Si и вертикальные сколы этих контактных структур до и после термообработок при $T=400$ и 450°C в течение 10 минут в вакууме $\sim 10^{-6}$ Торр. Видно, что исходные образцы обоих типов контактов характеризуются типичной слоевой структурой металлизации и достаточно резкой границей раздела контактообразующий слой – Si, что подтверждается морфологическими особенностями сколов. Элементный состав исходного образца Au-Pt-Ti-Pd- n^+ Si кроме основных компонентов металлизации содержит $>10\%$ кислорода и углерода. Наличие кислорода связано с геттерными свойствами титана.

После термообработки при $T=400^\circ\text{C}$ граница раздела Pd-Si в обоих контактных структурах претерпевает изменения, связанные с образованием силицидной фазы палладия, что видно по отлечию профилей распределения Si и Pd от исходных. Однако в структуре сколов существенных изменений не наблюдается.

Кардинальным образом изменяются профили распределения компонентов и морфологические особенности сколов после термообработки при $T=450^\circ\text{C}$. При этом нарушается слоевая структура контактной металлизации, возникает протяженная область перемешивания металлических фаз и Si.

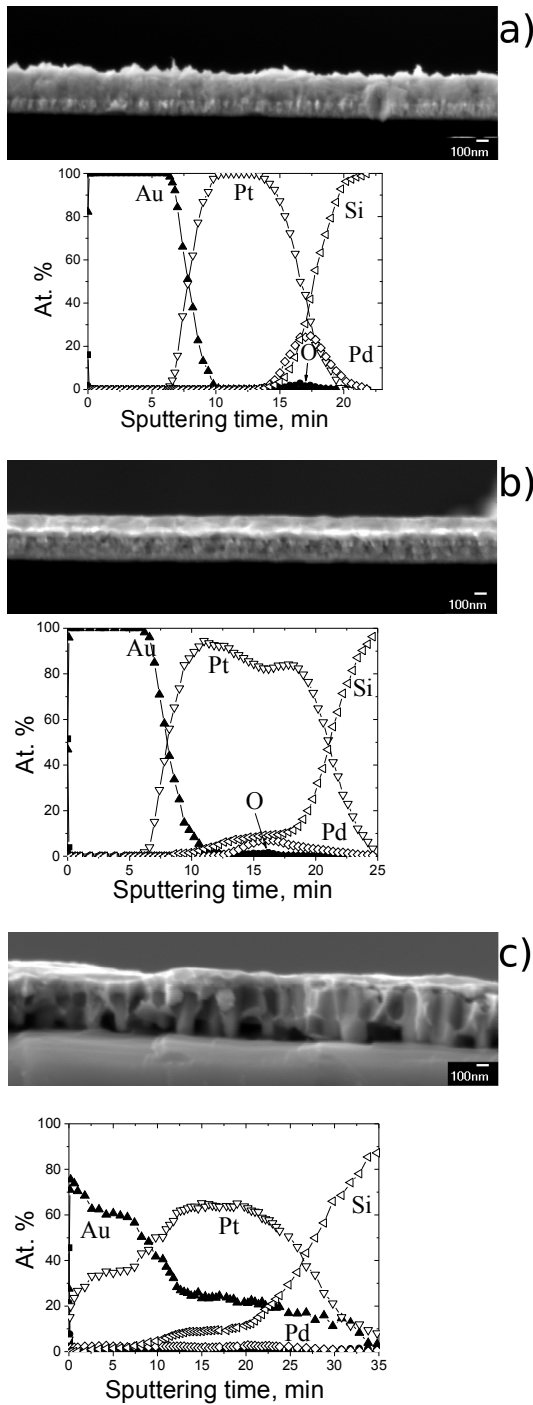


Рис. 1. Профили распределения компонентов металлизации и сколы омических контактов Au-Pt-Pd-n⁺Si: исходный образец (a), после термообработок при T=400 (b) и 450 °C (c)

Наличие "полочек" в распределениях компонентов указывает на возможность формирования ряда силицидных фаз. Это находится в соответствии с их фазовыми диаграммами и экспериментальными данными, приведенными в [9, 10]. Сколы этих контактных систем представляют собой наноразмерные столбчатые структуры, элементный состав которых, как было показано нами в [8], состоит, в основном, из Pt, Au и Si, а их линейная плотность, как это видно из рис. 1 с и 2 с, превышает 10^4 см^{-1} .

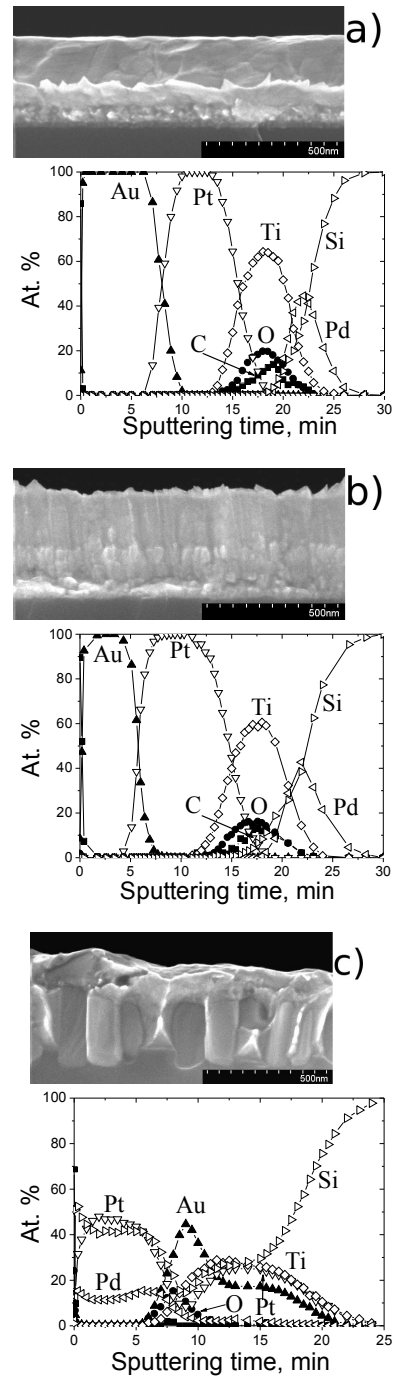


Рис. 2. Профили распределения компонентов металлизации и сколы омических контактов Au-Pt-Ti-Pd-n⁺Si: исходный образец (a), после термообработок при T=400 (b) и 450 °C (c)

Сравнение ионных срезов торцов (сколов) контактной металлизации Au-Pt-Pd-n⁺Si исходного образца (рис. 3а) и после термообработки при T=450°C (рис. 3б) указывает на характерные морфологические особенности среза после термообработки. Они заключаются в наличии развитого микрорельефа не только со стороны внешней металлизации, но особенно в области границы раздела с кремнием. В последнем случае столбчатая структура представляет собой типичные металлические шунты, обеспечивающие

прохождение тока в омическом контакте. При этом в соответствии с моделью омического контакта, предложенной в [11], удельное контактное сопротивление ρ_c омического контакта растет с ростом температуры, что является крайне неблагоприятным фактором, обуславливающим омические потери и ухудшение параметров микроволновых диодов, в том числе ЛПД.

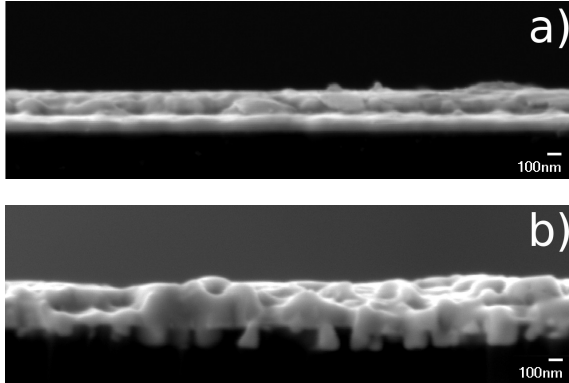


Рис. 3. Ионные срезы омических контактов Au-Pt-Pd- n^+ Si: а-исходный образец; б – после термообработки в течение 10 минут в вакууме 10^{-6} Торр при $T=450^\circ\text{C}$

Заключение

Из приведенных данных видно, что температурного воздействия 450°C в течение 10 минут на контактную металлизацию Au-Pt-Ti-Pd- n^+ Si (или Au-Pt-Pd- n^+ Si) достаточно для разрушения слоевой структуры контакта. Это необходимо учитывать как в технологии изготовления микроволновых диодов, так и при выборе теплового режима работы ЛПД с целью избежание перегрева диода в импульсном режиме.

Работа поддержана грантом №54.1/012 ДФФД-БРФФД-2013

Список литературы

1. Громов Д.Г., Мочалов А.И., Сулимин А.Д., Шевяков В.И. Металлизация ультрабольших интегральных схем.— М.: Бином, 2011.— 277 с.
2. Анищик В.М., Горушко В.А., Пилипенко В.А., Пономарь В.Н., Понарядов В.В. Физические основы быстрой термообработки. Создание многоуровневой металлизации.— Минск: БГУ, 2000.— 146 с.
3. Агеев О.А., Беляев А.Е., Болтовец Н.С., Конаякова Р.В., Миленин В.В., Пилипенко В.А. Фазы внедрения в технологии полупроводниковых приборов и СБИС.— Харьков: НТК "Институт монокристаллов", 2008.— 392 с.
4. Шухостанов А.К. Лавинно-пролетные диоды. Физика. Технология. Применение.— М.: Радио и связь, 1997.— 208 с.
5. Vashenko V.A., Sinkevitch V.F. Physical Limitations of Semiconductor Devices.— Springer, NY, 2008.— 330 p.
6. Физические основы надежности интегральных схем / под ред. Ю.Г. Миллера.— М.: Сов. Радио, 1976.— 320 с.
7. Belyaev A.E., Pilipenko V.A., Petlitskaya T.V., Turtsevich A.S., Sachenko A.V., Konakova R.V., Boltovets N.S., Korostinskaya T.V., Kudryk Ya.Ya., Vinogradov A.O., Sheremet V.N. // Materials of XIV International Conference "Physics and technology of thin films and nanosystems".— Ivano-Frankivsk, Ukraine, 2013.— P. 97
8. Belyaev A.E., Pilipenko V.A., Anishchik V.M., Petlitskaya T.V., Sachenko A.V., Konakova R.V., Boltovets N.S., Korostinskaya T.V., Kudryk Ya.Ya., Vinogradov A.O., Sheremet V.N. // SPQEO.— 2013.— Vol. 15, N2.— P. 321.
9. Мьюрарка Ш. Силициды для СБИС.— М.: Мир, 1986.— 176 с.
10. Гершинский А.Е., Ржанов А.В., Черепов Е.И. // Микроэлектроника.— 1982.— Т. 11, №2.— С. 83
11. Саченко А.В. В кн.: Физические методы диагностики в микро и наноэлектронике./ Под общей редакцией член-корр. НАНУ д.ф.м.н., проф. А.Е. Беляева и д.т.н., проф. Р.В. Конаяковой.— Харьков, ИСМА, 2011.— Гл.5.— С. 282-346.

STRUCTURAL AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF MULTILAYER OHMIC CONTACTS TO n^+ -SILICON

A.E. Belyaev¹, V.A. Pilipenko², V.M. Anishchik³, T.V. Petlitskaya², N.S. Boltovets⁴, A.V. Sachenko¹, R.V. Konakova¹, Ya.Ya. Kudryk¹, A.O. Vinogradov¹, V.N. Sheremet¹

¹V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine
41 Nauky Pr., 03028 Kyiv, Ukraine; e-mail: konakova@isp.kiev.ua

²State Center "Belmicroanalysis", Branch of the Scientific-Technical Center "Belmicrosystems" of the Public Corporation "INTEGRAL", 12 Korzhenevskiy St., 220108 Minsk, Republic of Belarus; e-mail: office@bma.bu

³Belarusian State University, Minsk, Belarus

⁴4 Nezavisimosti Pr., 220030 Minsk, Republic of Belarus; e-mail: Anishchik@bsu.by

⁴State Enterprise Research Institute "Orion", 8a Eugène Pottier St., 03057 Kyiv, Ukraine; e-mail: bms@i.kiev.ua

We studied experimentally interactions between phases in the Au-Pt-Ti-Pd- n^+ -Si and Au-Pt-Pd- n^+ -Si ohmic contacts and contact metallization cleavages, both before and after thermal annealing at a temperature of 400°C and 450°C for 10 min. in a vacuum (pressure of 10^{-4} Pa). It is shown that, contrary to the initial and annealed at 400°C contacts of both types, those annealed at 450°C have damaged layer structure of contact metallization. A nanosized columnar structure appears at metallization cleavages whose composition involves Pt, Au and Si. Such a configuration of ohmic contacts leads to their metallic conduction.