

УДК 621.382

## Осаждение металлов в нанопоры кремния при формировании стоковой области силового транзистора

А.Р. Шахмаева, П.Р. Захарова, С.А. Фейламазова

Факультет информатики и управления Дагестанского государственного технического университета, кафедра вычислительной техники

**Аннотация.** В работе исследовано нанесение металлов в нанопоры кремния, образованные в результате проведения пескоструйной обработки при формировании контакта со стоковой областью транзисторной структуры. Приведены результаты исследования подложки кремниевой структуры при осаждении в нанопоры кремния композиции "хром – никель – олово – серебро". Исследования проводились на сканирующем электронном рентгеновском микроанализаторе и рентгеновском микродифрактометре. Показано, что полученные нанопоры улучшают адгезионные свойства поверхности кремниевой подложки.

**Abstract.** In the paper drawing of metals in silicon nanosize pores formed due to sandblasting at contact with the drain region of transistor structure has been investigated. Results of research of silicon structure substrate after precipitation of the composition "chrome – nickel – tin – silver" have been shown. The scanning electronic x-ray microanalyzer and x-ray microdiffractometer were used for research. It has been shown that the received nanosize pores improve adhesive properties of the silicon substrate surface.

**Ключевые слова:** нанопора, осаждение, адгезия, кристалл, транзистор

**Key words:** nanosize pore, thickening, adhesion, crystal, crystal triode

### 1. Введение

Развитие науки и техники обусловило возникновение новой области электроники – нанoeлектроники. Объединение полупроводниковых технологий позволяет получить новые классы микроэлектронных приборов с новыми свойствами.

В настоящее время ведется активный поиск материалов и технологий для создания оптимальных средств изготовления полупроводниковых силовых приборов с учетом высоких показателей как по электрическим характеристикам, так и по надежности прибора в целом. Стремление к повышению выходных параметров силовых микроэлектронных приборов приводит к развитию принципиально новых решений и методик создания активных и пассивных элементов с наноразмерными масштабами.

Механические методы обработки полупроводниковых материалов с целью улучшения адгезионных свойств поверхности полупроводникового материала имеют некоторые существенные недостатки, основными из которых являются образование микротрещин и "напряженной поверхности", которые в дальнейшем, в процессе изготовления прибора, приводят к созданию сети трещин по поверхности полупроводника и могут вызвать даже сколы отдельных участков. При изготовлении прибора на материале с незаметными на входном контроле микротрещинами или напряжениями могут возникать и паразитные емкости в структуре кристалла изготавливаемого прибора, которые крайне отрицательно сказываются на надежности и работе готового прибора (Brodie, 1997).

Кроме механических способов обработки поверхности, способствующих улучшению адгезии, существуют и химические (с использованием жидкостных травителей). Известны способы обработки полупроводниковых материалов следующими травителями и растворами: азотная кислота с фтористоводородной кислотой, щелочные растворы (KOH, NaOH) при температуре 90-100 °C и др. Вместе с тем, такие химические способы имеют существенный недостаток: появление нежелательных примесей в кристаллической решетке полупроводника (дислокации) в результате химических реакций и, как следствие, ухудшение электрофизических свойств прибора.

Целью данного исследования является получение слоя нанопор размером 10-40 нм на поверхности обратной стороны кремниевой пластины со структурами транзисторов. Создание такого слоя необходимо для улучшения адгезии поверхности подложки к металлам при формировании стоковой области структуры кремниевого транзистора.

### 2. Эксперимент

В качестве абразивного материала для получения нанопор использовали наноматериал – карбид кремния (SiC). Процесс проводили на установке пескоструйной обработки DBS-200, где кремниевые пластины устанавливали на пластинодержателе вращающего стола при помощи вакуумного пинцета. Затем устанавливали время для обработки, включали вращающийся столик (т.е. задавали скорость

вращения стола) и в последующем включали инжекцию абразивного материала из пескоструйного сопла, одновременно задавая время включения сопла. Затем осуществляли остановку вращения стола и производили выгрузку пластин. По окончании процесса производили остановку инжекции абразива из сопла. Процесс пескоструйной обработки осуществляли при следующих технологических режимах: давление воздуха в сопле –  $0,5 \pm 0,3 \text{ кг} \cdot \text{с} / \text{см}^2$ , время –  $15 \pm 0,5 \text{ мин}$ , номинальная скорость вращения стола –  $5 \pm 4 \text{ об/мин}$ . Непрореагированный карбид кремния удалялся по стандартной методике растворения с применением соляной кислоты.

Режимы проведения процесса были обусловлены тем, что при высокой скорости вращения стола и давлении воздуха в сопле на поверхности кремниевых пластин могут возникать микротрещины и механические напряжения, которые ухудшают качество и дают разброс по толщине пластин (Hicks, 1993). При этом качество и свойства изготовленных приборов во многом определяются характеристиками введенного в нанопоры материала, возможностью воспроизводимо и контролируемо формировать стоковую область транзисторных структур. Исследования таких структур, их свойств, определение влияния на них диаметра и длины пор, вне сомнения, представляют интерес. В то время как методы получения качественных слоев металлов для формирования контактов к стоковым или коллекторным областям в научной литературе рассмотрены недостаточно.

В ходе эксперимента одну из поверхностей пластины с помощью вакуумного распыления покрывали тонким слоем металлов: хромом, никелем, оловом, серебром. В соотношениях: хром – 500-700 Å, никель – 5000-6000 Å, олово – 500-1000 Å, серебро – 4000-5000 Å. Средний размер пор составлял порядка 20 нм. Схематическое изображение единичной ячейки нанопоры представлено на рис. 1.

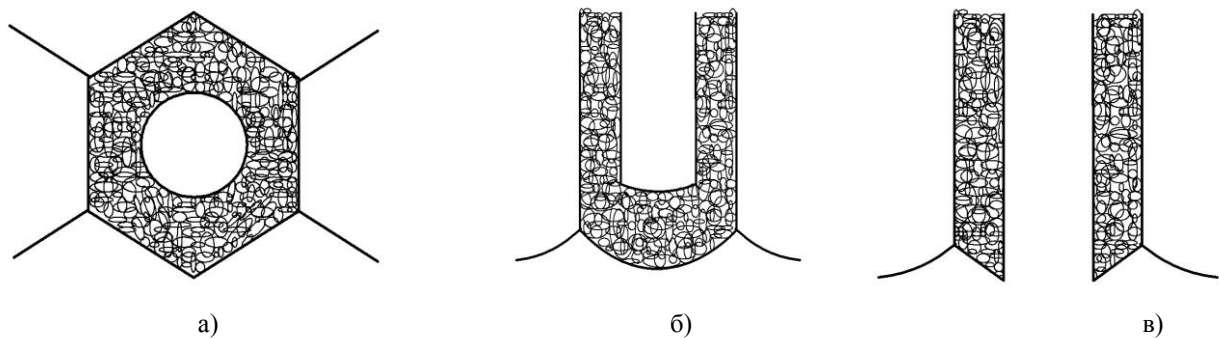


Рис. 1. Схематическое изображение единичной ячейки нанопоры: 1а – вид сверху; 1б – вид сбоку; 1в – полученные в результате эксперимента образцы пластин с заданной композицией металлов, осажденные в нанопорах на заданных условиях

В работе приведены результаты исследования введения хрома (одного из первых металлов композиции) в нанопоры кремния на сканирующем электронном микроанализаторе и рентгеновском микродифрактометре.

Для исследования элементного состава осажденного материала использовался сканирующий электронный рентгеновский микроанализатор JXA-8600S фирмы JEOL, обеспечивающий разрешение около 4 нм в режиме вторичной электронной эмиссии. При этом измерения проводились в трех зонах размером около  $5 \times 5 \text{ мкм}^2$ : одной из поверхностей пластины – 1, в геометрическом центре пластины – 2 и у другой поверхности пластины – 3 (рис. 1в), т.е. охватывались слои по всей высоте осажденного металла. Следует отметить, что данные микроанализа получены без эталонов и, следовательно, являются в определенной степени оценочными.

Из представленных данных следует: первый осажденный слой представляет собой чистый металл – хром, в пределах точности измерений 10 % содержание хрома по высоте отверстий практически идентично.

Для уточнения фазового состава и определения структуры осажденного в порах материала (аморфная, поликристаллическая) тот же образец был исследован на рентгеновском микродифрактометре типа D/max – ШС.3.00 фирмы Rigaku Corp., предназначенного для определения наличия кристаллической структуры. Набор характеристических пиков отражения приведен на рис. 2. Дальнейшая идентификация образца проводилась в двух режимах: с предварительным заданием искомого элемента и соединений и без него, т.е. среди всей возможной гаммы элементов и их соединений, содержащихся в памяти системы обработки и идентификации (около 40000). Набор проиллюстрирован на графиках "Эксперимент" и "Эталон" (рис. 2). Результаты указывают на то, что в нашем образце кремний аморфный и содержит именно кристаллический хром. При этом последний присутствует в чистом виде без примесей и окислов.

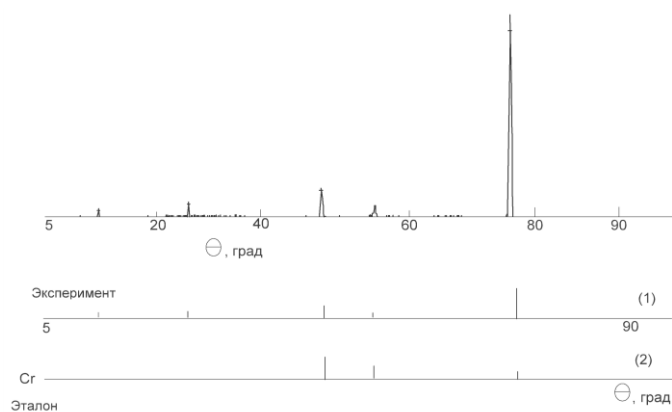


Рис. 2. Дифрактограмма анализа слоя хрома, осаждаемого в нанопоры кремния

Для проверки надежности и точности адгезии четырехслойной металлизации "хром – никель – олово – серебро" обратной стороны пластин применялся наиболее распространенный метод контроля – процарапывание металлической иглой. Контроль адгезии четырехслойной металлизации показал отличное качество адгезии, игла проскальзывала по поверхности контролируемой пластины.

При посадке кристалла на основание корпуса, в процессе сборки кристаллов транзистора, качество посадки контролировалось методом отрыва с определенным усилием и визуально под микроскопом. При проведении контроля посадки кристалла с четырехслойной металлизацией кристалл не отрывается от основания при приложении соответствующего усилия, и при приложении большего усилия разламывается сам кремний. Этим объясняется качественная посадка кристалла на основание. При визуальном контроле под микроскопом со всех сторон кристалла по периметру проступает припой на 0,5-1,0 мм от края, что показывает удовлетворительное распределение припоя по всей площади кристалла. Кроме того, контроль площади распределения припоя по основанию кристалла с помощью рентгеновского микроскопа показал 100 %-е распределение припойного слоя по площади кристалла без повреждений и трещин, что свидетельствует об улучшении термодинамических свойств прибора. Контроль посадки кристаллов на основание по базовой технологии показывает неравномерное распределение припоя по площади кристалла с содержанием пузырей, повреждений, дислокаций.

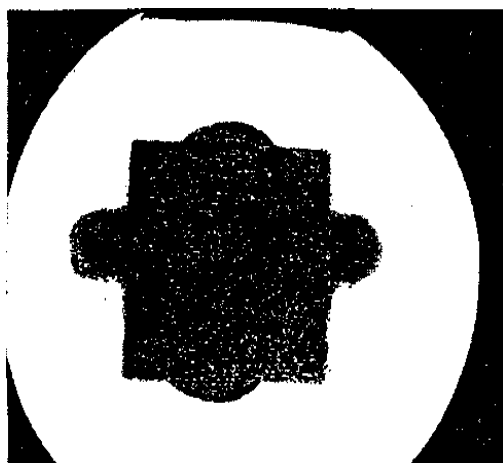


Рис. 3. Распределение припоя на основании корпуса кристалла кремниевого транзистора с применением методики напыления металлов в нанопоры.  
Снимок с электронного микроскопа SEM 400

### 3. Выводы

В работе показана возможность воспроизводимого формирования по заданной толщине на поверхности кремниевой подложки областей, в которых нанопоры равномерно заполнены металлическим хромом в кристаллической фазе. Применение данного метода позволяет совершенствовать процесс формирования контакта со стоковой областью транзисторной структуры. Предложенный метод способствует улучшению характеристик полупроводникового прибора и повышению процента выхода годных к использованию приборов.

### Литература

- Brodie I.** Vacuum microelectronics – the next ten years. *Technical Digest of IVMC'97. Kyongju, Korea*, p.1-6, 1997.  
**Hicks L.D.** Effect of quantum-well structures on the thermoelectric figure of merit. *Phys. Rev. B*, v. 47, p.16631, 1993.