

05

## **Введение ультрадисперсного порошка алмаза детонационного синтеза в каналы пористого кремния**

© В.А. Юзова, А.П. Пузырь

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет»  
Политехнический институт, Красноярск  
Институт биофизики СО РАН, Красноярск  
E-mail: yuzova@rtf.kgtu.runnet.ru

*Поступило в Редакцию 8 октября 2007 г.*

Описывается технология электрофоретического осаждения наноалмазов в каналы сложной морфологии, сформированные анодированием пластин монокристаллического кремния. Показана возможность полного заполнения длинных каналов при использовании органозолей наноалмазов детонационного синтеза с модифицированной поверхностью.

PACS: 82.45.Vp, 81.05.Rm, 81.05.Cy, 81.07.Bc

В настоящее время интенсивно исследуются композиционные нанокристаллические материалы на основе кремниевых матриц. Актуальность данных исследований связывается с перспективностью создания новых полупроводниковых приборов микро-, оптоэлектроники и микро-системной техники на основе хорошо разработанных кремниевых технологий. Нанокристаллические кремниевые матрицы с широким диапазоном геометрических параметров пор получают анодным травлением монокристаллического кремния. Геометрические размеры и морфология формируемых пор задаются технологическими режимами процесса анодирования. Внедрением в полученные поры кремниевой матрицы различных веществ можно придать новые свойства нанокристаллическим кремниевым материалам. Так, с точки зрения люминесцентных свойств очень интересен пористый кремний, модифицированный различными формами углерода. Последующая термическая обработка такого модифицированного кремния приводит к образованию кристаллитов карбида кремния SiC. В карбидизированном пористом кремнии

значительно увеличивается интенсивность фотолюминесценции и задерживается процесс деградации светоизлучающих центров [1,2]. Одним из необходимых условий является глубокое введение углерода в структуру пористого кремния.

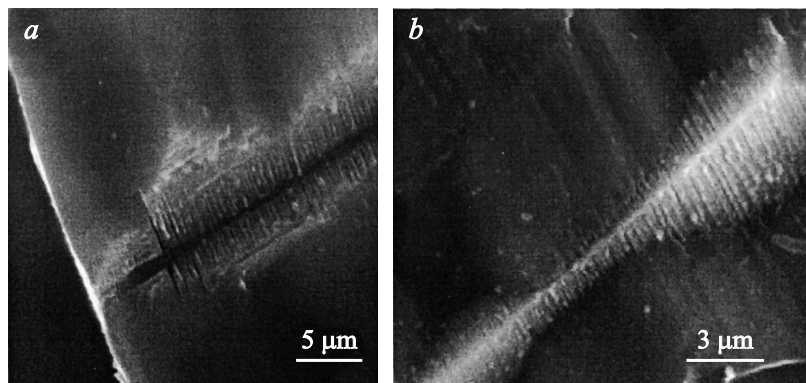
В работе [3] сообщается о попытках внедрения углерода в пористую матрицу различными методами, в частности о попытке введения в пористый кремний ультрадисперсных алмазов и фуллеренов. Однако из-за низкой повторяемости результатов, связанных с трудностью введения в поры больших по размеру агрегатов данных веществ, авторы отказались от их использования и перешли на истинные растворы (глюкоза, сахара).

В настоящей работе сообщается о возможности полного заполнения пор сложной морфологии в кремниевых матрицах модифицированными наноалмазами (МНА) детонационного синтеза.

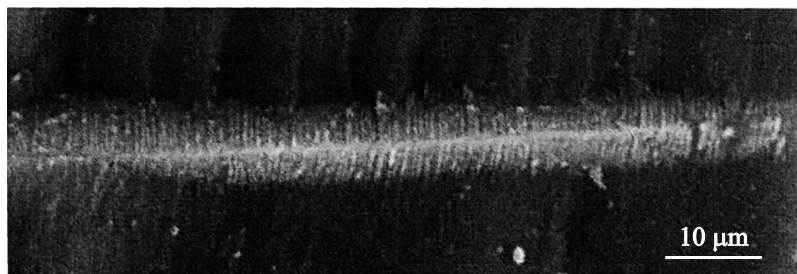
В экспериментах использовали кремниевые матрицы, представляющие собой структуру макропористый кремний (por-Si)–монокристаллический кремний (*m*-Si). Пористые слои на кремниевых монокристаллических подложках (*n*-Si (100), удельное сопротивление  $8-10 \Omega \cdot \text{cm}$ ) создавали путем анодного травления в водном растворе плавиковой кислоты (1:1). Процесс анодирования осуществляли методом жидкостного контакта Унно–Имаи [4] при плотностях тока  $j = 30-150 \text{ mA/cm}^2$  и дополнительной подсветкой электрохимической ячейки лампой накаливания мощностью 40 W.

По данным электронной микроскопии (РЭМ-100), поры имели сложную морфологию (рис. 1, *a*). Центральные каналы цилиндрической формы диаметром от 0.5 до  $1.5 \mu\text{m}$  располагались перпендикулярно поверхности матрицы. От них отходили межплоскостные травления. Глубина центральных каналов в зависимости от длительности процесса анодирования варьировалась от 10 до  $120 \mu\text{m}$ , а диаметр межплоскостных травлений достигал  $5-6 \mu\text{m}$ .

Используемые в экспериментах МНА позволяют в изопропиловом спирте без ультразвукового диспергирования приготовить устойчивые золи с содержанием частиц 5 mass.%. Ввиду высокого отрицательного  $\zeta$ -потенциала (до  $-85 \text{ mV}$ ) частиц МНА электрофоретическое осаждение проводилось на аноде без применения зарядчиков. Электрофорез осуществлялся при напряжении  $U = 30 \text{ V}$  в течение 10–20 min. На рис. 1, *b* представлен фрагмент канала матрицы, заполненный МНА.



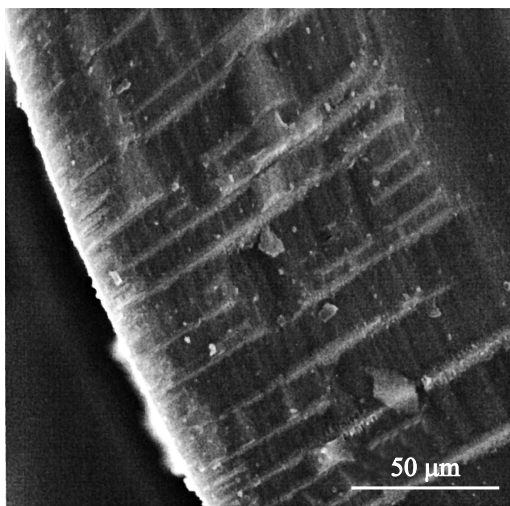
**Рис. 1.** Микрофотографии фрагментов пор в кремниевой подложке: *a* — после анодного травления, *b* — после заполнения МНА.



**Рис. 2.** Микрофотография полностью заполненной МНА поры в кремниевой подложке.

Отработанный технологический процесс обладает высокой повторяемостью и характеризуется, согласно данным микроскопии, внедрением наноалмазов по всей длине канала (рис. 2) и во все каналы кремниевой подложки (рис. 3). Наличие в каналах наноалмазов было подтверждено методом ЭПР.

Необходимо отметить, что проведение параллельных экспериментов по электрофорезу в каналы кремниевой матрицы наноалмазов, производимых в Красноярске по ТУ 3974-001-10172699-94, прошед-



**Рис. 3.** Микрофотография фрагмента кремниевой подложки с заполненными МНА каналами.

ших очистку по методу, описанному в [5], не позволило ввести их в каналы пористого кремния. Вероятно, это связано с тем, что данные наноалмазы обладают невысоким  $\xi$ -потенциалом ( $-27\text{ mV}$ ) и для проведения электрофоретического осаждения требуют применения зарядчиков (в экспериментах использовали  $\text{AlCl}_3$ ). Введение зарядчика приводит к укрупнению кластеров наноалмазов, и, несмотря на высокое используемое напряжение ( $U = 100\text{ V}$ ), такие кластеры не способны проникнуть в каналы пористого кремния.

Таким образом, показана возможность полного заполнения пор сложной морфологии в кремниевых матрицах модифицированными наноалмазами детонационного синтеза. Достижение данного результата стало возможным благодаря применению модифицированных наночастиц, получаемых по патентам России [6,7], которые обладают рядом свойств (повышенный дзета-потенциал, размерный фактор, чистота поверхности и т.д.), принципиально отличающих их от общепринятых наноалмазов.

Работа выполнена по тематическому плану Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования „Сибирский федеральный университет“. Политехнический институт (тема № 191 г/б).

Авторы благодарят за получение микрофотографий — Г.М. Зеер и В.Ф. Каргина, за измерение  $\xi$ -потенциала — Г.А. Чиганову, за проведение ЭПР — Г.Е. Селютину.

## Список литературы

- [1] *Костишко Б.М., Атажанов Ш.Р., Миков С.Н.* // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. № 16. С. 24–30.
- [2] *Сресели О.М., Горячев Д.Н., Беляков Л.В., Вуль С.П., Захарова И.Б., Алексеева Е.А.* // ФТП. 2004. Т. 38. В. 1. С. 124–127.
- [3] *Сресели О.М., Горячев Д.Н., Осипов В.Ю., Беляков Л.В., Вуль С.П., Серенков И.Т., Захаров В.И., Вуль А.Я.* // ФТП. 2002. Т. 36. В. 5. С. 604–610.
- [4] *Itai K., Unno H.* // IEEE Trans on Electron. Dev. 1984. V. ED-31. P. 297–302.
- [5] *Чиганов А.С., Чиганова Г.А., Тушко Ю.В., Ставер А.М.* Патент РФ 2004491. МКИ С01 В31/06 // БИ. 1993. В. 45–46. С. 85.
- [6] *Пузырь А.П., Бондарь В.С.* Патент RU 2252192 С2. МПК С01 В36/06 // БИ. 2005. С. 15.
- [7] *Пузырь А.П., Бондарь В.С.* Патент RU 2258671 С2. МПК С01 В36/06 // БИ. 2005. С. 23.