

В. В. БЕСОГОНОВ, И. Н. СКВОРЦОВА

## УМЕНЬШЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ СИТАЛЛОВОЙ ПОДЛОЖКИ ДО НАНОРАЗМЕРНЫХ ЗНАЧЕНИЙ

Рассматривается возможность изменения шероховатости поверхности стандартной ситалловой подложки СТ-50-1 в результате воздействия на нее CO<sub>2</sub>-лазерного излучения. Приведены режимы обработки поверхности, при которых величина выступов не превышает 20 нм, и показано, что их величина может быть уменьшена до значений, позволяющих формировать на поверхности наноструктуры. Рассмотрен вопрос временной стабильности сформированной поверхности. Контроль топологии поверхности осуществлен на сканирующем зондовом микроскопе Solver P47 Pro.

*Ключевые слова:* наноструктура, зондовая микроскопия, воздействие излучения на вещество, ситалл.

Состояние поверхности твердотельных материалов, в частности оксидов, оказывает существенное влияние на их оптические, механические, каталитические и другие характеристики. Данное обстоятельство стимулирует исследования, целью которых является разработка методов получения поверхностей с требуемыми свойствами. При выращивании пленок наноматериалов на шероховатых поверхностях полученные образцы характеризуются, как правило, неравномерной толщиной, значительно различающимися размерами зерен, случайной ориентацией кристаллитов и большими межзеренными напряжениями, что ограничивает применение пленок. Размер зерен в тонких и наноразмерных пленках составляет 10—100 нм, а размеры выступов на подложках — около 100 нм. Для преодоления этих ограничений требуется уменьшить шероховатость подложек при минимальных повреждениях приповерхностного слоя.

Для получения поверхностей с плоским рельефом используются такие методы, как механическое шлифование, механохимическое полирование, химически активированное механохимическое полирование, ионно-лучевое полирование и др. Актуальным направлением исследований для уменьшения шероховатости поверхности является использование лазера, так как этот метод, по сравнению с другими существующими, позволяет обрабатывать поверхности сложной формы, обеспечивает большую скорость обработки и простоту автоматизации процесса полирования.

В настоящей статье исследуются подвергаемые воздействию лазерного излучения образцы размером 10×15 мм, которые являются частью ситалловой подложки СТ-50-1. Стеклокерамики, называемые также ситаллами, — это широкий диапазон материалов, в которых окисный состав представляет единое целое с поликристаллической структурой, характеризующейся весьма малыми размерами (от долей до нескольких микрометров) беспорядочно

ориентированных кристаллов. Такое строение реализуется в результате многоступенчатого технологического процесса. Ситалл СТ-50-1 (типичная стеклокерамика) имеет следующий состав: 60,5 %  $\text{SiO}_2$ , 13,5 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 8,5 %  $\text{CaO}$ , 7,5 %  $\text{MgO}$ , 10 %  $\text{TiO}_2$ , где микрокристаллы рутила ( $\alpha\text{-TiO}_2$ ) и кордиерита ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ) являются основными [см. лит.]. Температуры стеклования и расплава для СТ-50-1 соответственно равны 1033 и 1743 К [см. лит.].

В ходе исследований поверхность образца подвергалась воздействию излучения импульсного  $\text{CO}_2$ -лазера. В качестве источника когерентного излучения с длиной волны  $\lambda=10,6$  мкм использовался лазерный гравер Trotec Speedy 100.

Размер области воздействия лазерного излучения составлял  $3 \times 10$  мм (задавался в программе Coral Draw). Образец был помещен в фокусе линзы, обработка поверхности производилась посредством перемещения по ней лазерного пучка при определенных значениях его мощности и скорости перемещения. При этом максимальная скорость перемещения пучка составляла 280 см/с, а максимальная мощность излучения на поверхности — 10 Вт (диаметр области воздействия в фокусе равнялся 80 мкм).



Рис. 1

Исследование полученных в ходе эксперимента образцов проводилось на сканирующем зондовом микроскопе (СЗМ) Solver P47 PRO. СЗМ Solver PRO (рис. 1) — универсальный прибор, предназначенный для измерений приповерхностных характеристик различных объектов с разрешением вплоть до атомного. Весь спектр реализуемых измерительных методик осуществляется путем программного конфигурирования.

При использовании сканирующих зондовых микроскопов исследование микрорельефа поверхности и ее локальных свойств проводится с помощью специальным образом подготовленных зондов в виде игл. Рабочая часть таких зондов (острие) имеет размеры порядка 10 нм. Характерное расстояние между зондом и поверхностью образцов составляет 0,1—10 нм. Силовое взаимодействие между зондом и поверхностью лежит в основе метода атомно-силовой микроскопии (АСМ). Для регистрации этого взаимодействия используются специальные зондовые датчики, представляющие собой упругую консоль с острым зондом на конце.

При сканировании образец крепится на подложке, которая устанавливается на предметный столик с размером области сканирования  $50 \times 50$  мкм (рис. 2). После грубого наведения осуществляется операция сканирования образца зондом в контактном и полуконтактном режимах атомно-силовой микроскопии при скорости перемещения образца 50 мкм/с с шагом 200 нм, число точек по оси  $x$  — 256, по оси  $y$  — 256.

Программное обеспечение, используемое при сканировании, — программа SMENA, работающая под управлением операционной системы DOS. При сканировании установлена функция Substract — Plane.

Неидеальность свойств пьезосканера приводит к тому, что изображение, полученное с помощью СЗМ, содержит ряд специфических искажений. Поскольку движение сканера в плоскости образца влияет на положение зонда над поверхно-

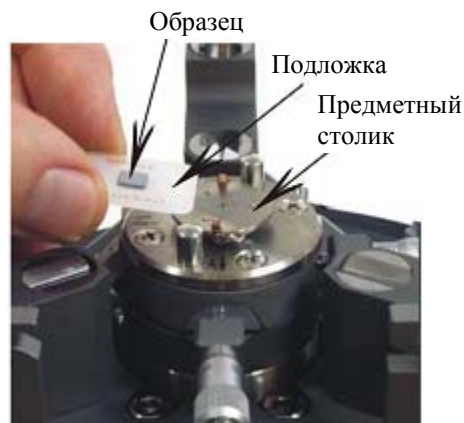


Рис. 2

стью (по оси  $z$ ), СЗМ-изображения представляют собой суперпозицию реального рельефа и некоторой поверхности второго (а часто, и более высокого) порядка.

Результаты сканирования поверхности ситалла в области воздействия на нее лазерного  $\text{CO}_2$ -излучения с использованием метода атомно-силовой микроскопии в контактном режиме представлены на рис. 3: *а* — исходная поверхность ситалла; *б—ж* — поверхность ситалла после обработки лазерным излучением; мощность излучения пучка ( $P$ ) и скорость его перемещения ( $v$ ) приводятся в процентах от их максимальных значений (10 Вт и 280 см/с соответственно).

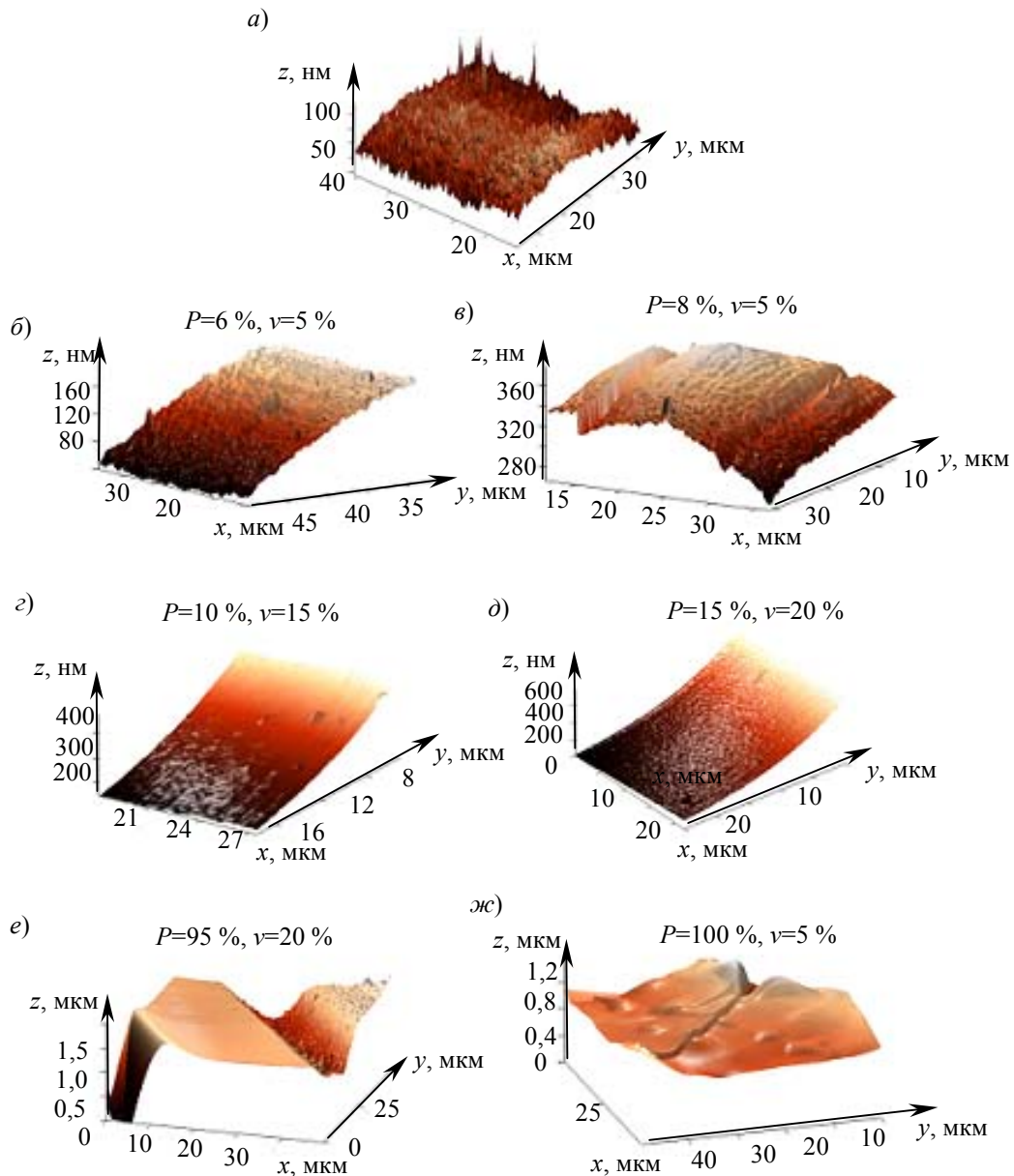


Рис. 3

Обработка образцов производилась в атмосфере, поэтому на поверхности возможны термически активированные химические реакции, результатом которых может стать изменение цвета образцов. Детальный анализ изучения причин изменения цвета поверхности в зоне обработки не производился.

Анализ рис. 3 позволяет сделать следующие выводы:

— при малой мощности лазерного излучения на оплавленной поверхности наблюдаются остатки нерасплавленных кристаллов;

— поверхность начинает оплавляться полностью при мощности излучения, составляющей 15—25 % от максимального значения;

— при мощности 25—90 % от максимального значения без применения нагрева подложки наблюдается отслоение оплавленной пленки от поверхности из-за высоких значений термонапряжений;

— при мощности 95—100 % от максимального значения поверхность чернеет, но не отслаивается.

Иными словами, степень оплавления материала зависит от плотности мощности лазерного пучка и времени воздействия. В месте воздействия происходит аморфизация тонкого слоя материала. Изменение величины выступов уменьшается в зависимости от подведенной энергии когерентного излучения.

Контрольная повторная проверка величины выступов на поверхности образцов показала стабильность обработанной поверхности после года хранения, что подтверждает возможность использования ситалловых подложек в области нанотехнологий без дополнительного контроля.

#### ЛИТЕРАТУРА

Вейко В. П., Киеу К. К. Лазерная аморфизация стеклокерамик. Основные закономерности и новые возможности изготовления микрооптических элементов // Квантовая электроника. 2007. Т. 37, № 1. С. 92—98.

#### *Сведения об авторах*

- Валерий Валентинович Бесогонов** — канд. техн. наук, доцент; Ижевский государственный технический университет, кафедра лазерных систем; E-mail: besog@udman.ru
- Ирина Николаевна Скворцова** — аспирант; Институт прикладной механики Уральского отд. РАН, Ижевск; E-mail: skvo777@mail.ru

Рекомендована кафедрой  
лазерных систем Иж ГТУ

Поступила в редакцию  
20.06.08 г.