

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 CO₂-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 % SiO_2 , 13,5 % Al_2O_3 , 8,5 % CaO , 7,5 % MgO , 10 % 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 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 3×10 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 50×50 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 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).

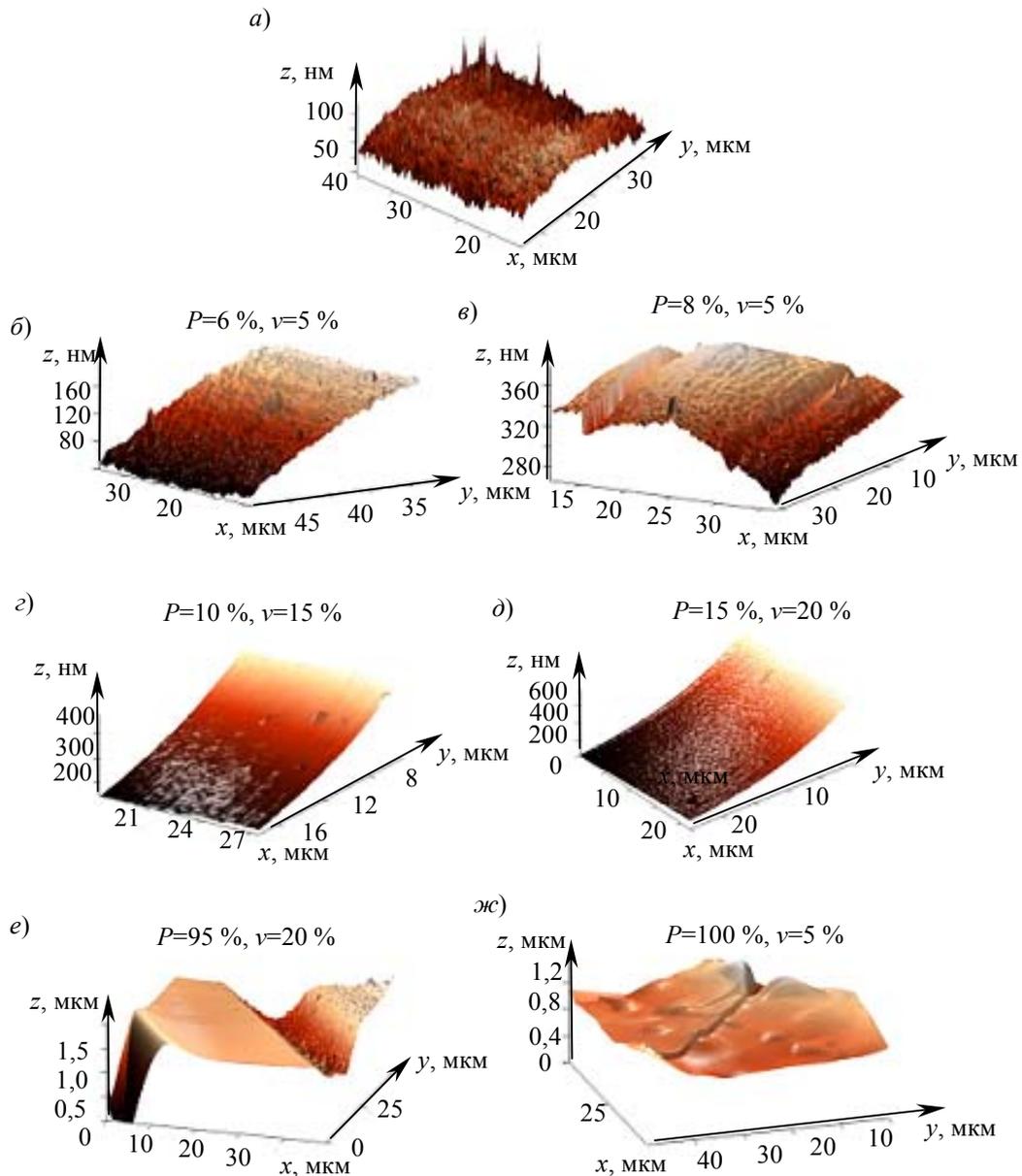


Рис. 3

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.