

УДК 537.525.7:621.762

ВЛИЯНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ НА ПАРАМЕТРЫ ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛА КВАРЦА

Р.К. Нургалиев, И.Ш. Абдуллин, В.П. Морозов

Аннотация

В статье представлены результаты исследования поверхности кристалла кварца после обработки высокочастотной низкотемпературной плазмой, а также приведены значения геометрических параметров поверхности до и после обработки. Установлено, что при обработке в течение 240 мин на поверхности проявляется блочная структура кристалла, позволяющая получить информацию о термодинамике процесса его формирования, а также оценить качество кристалла с точки зрения всевозможных его применений.

Ключевые слова: высокочастотная плазма, кварц, шероховатость, плазменная обработка, блочная структура кристаллов.

Введение

Высокочастотная (ВЧ) плазма пониженного давления является эффективным инструментом обработки различных материалов. Обработке могут подвергаться органические и неорганические материалы с различным химическим составом и внутренней структурой.

Результатом воздействия плазмы могут быть качественные изменения поверхности материала. В частности, происходит изменение скульптуры поверхности кристалла.

Особенностью плазменной обработки является то, что плазма воздействует на всю поверхность обрабатываемого изделия любой формы. В зависимости от времени обработки может происходить следующее:

- очистка поверхности от различных органических загрязнений и оксидных пленок;
- «залечивание» микротрещин, связанное с ионной бомбардировкой поверхности при ВЧ-плазменной обработке;
- перераспределение напряженных участков в структуре материала, что снижает риск возникновения центров разрушения материалов;
- изменение шероховатости поверхности за счет концентрированного ионного воздействия на вершинах микронеровностей.

При обработке поверхности ВЧ-разрядом пониженного давления бомбардировка поверхности производится ионами, обладающими энергией 10–100 эВ при плотности ионного тока на поверхность 0.5–25 А/м². При этом происходит

рекомбинация ионов на поверхность материала с выделением энергии 12.1–24.6 эВ в зависимости от вида используемого плазмообразующего газа [1, 2].

В настоящее время достаточно подробно изучено влияние ВЧ-плазмы на различные виды материалов, такие как металлы, полимеры, органические материалы (различные виды кожи, меха) и т. д. Но практически не изучено влияние плазмы на природные минералы.

С целью исследования влияния воздействия ВЧ-плазмы пониженного давления на параметры поверхности проведена обработка кристалла кварца из Геологического музея им. А.А. Штукенберга Казанского федерального университета. Образец был отобран на Астафьевском месторождении пьезокварца (Южный Урал).

Экспериментальная часть

Образцы для обработки в ВЧ-плазме были вырезаны из цельного кристалла кварца в виде брусочков размером $10 \times 10 \times 5$ мм. Одна из плоскостей была подвергнута механической полировке. Полировка производилась на установке Buehler MetaServ 250 (компания Buehler, США) полировочной пастой с размером абразивного зерна не более 1.5 мкм. На одну из граней нанесена метка для последующей привязки исследуемого участка.

Проведенный спектральный анализ показал следующий химический состав образца (%): SiO_2 – 97.510, MgO – 0.100, Fe_2O_3 – 0.470, Al_2O_3 – 0.620, Cr_2O_3 – 0.120, Cl – 0.870 (суммарно – 99.69).

Обработка производилась на плазменной установке [3, 4]. Образец устанавливался в рабочей камере перпендикулярно потоку полированной гранью в направлении струи разряда. Крепление образца осуществлялось при помощи хлопчатобумажного жгута на расстоянии 5 см от электрода.

Рабочие параметры ВЧ-плазменной установки представлены в табл. 1.

Табл. 1

Рабочие параметры ВЧ-плазменной установки

Напряжение анодное, стабилизированное U_a , кВ	4
Ток анодный I_a , А	0.55
Расход газа G , г/с	0.04
Рабочее давление в разрядной камере P , Па	26.6
Рабочий газ	аргон
Тип разряда	емкостной

Обработка производилась в 4 этапа: 30 мин, 30 мин, 90 мин и 90 мин. На всех этапах обработки параметры плазмы были одинаковыми.

Исследование геометрических параметров поверхности образца до обработки плазмой и после каждого из этапов обработки проводилось с использованием конфокального лазерного микроскопа OLYMPUS LEXT OLS4000 (компания Olympus Corporation, Япония). Исследовался участок на поверхности образца размерами 2.5×2.5 мкм. Данный микроскоп имеет в своем составе сканирующее устройство, оснащенное полупроводниковым лазером с длиной волны 405 нм. В результате сканирования поверхности формируется матрица

размерами 1024×1024 . В каждой ячейке размечено значение координаты Z (высоты) для соответствующей точки исследуемого участка. Разрешающая способность по высоте для данного прибора равна 10 нм.

Результаты сканирования сохраняются в файле с расширением *.lxt. Файл содержит таблицы с данными по значениям высоты профиля и по значению яркости поверхности в видимом диапазоне волн.

Результаты и их обсуждение

Изображения для профиля поверхности, распределение яркости изображения и текстуры по выделенной линии приведены на рис. 1–5.

Значения для параметров шероховатости поверхности образца, рассчитанные при помощи управляющей программы микроскопа, приведены в табл. 2.

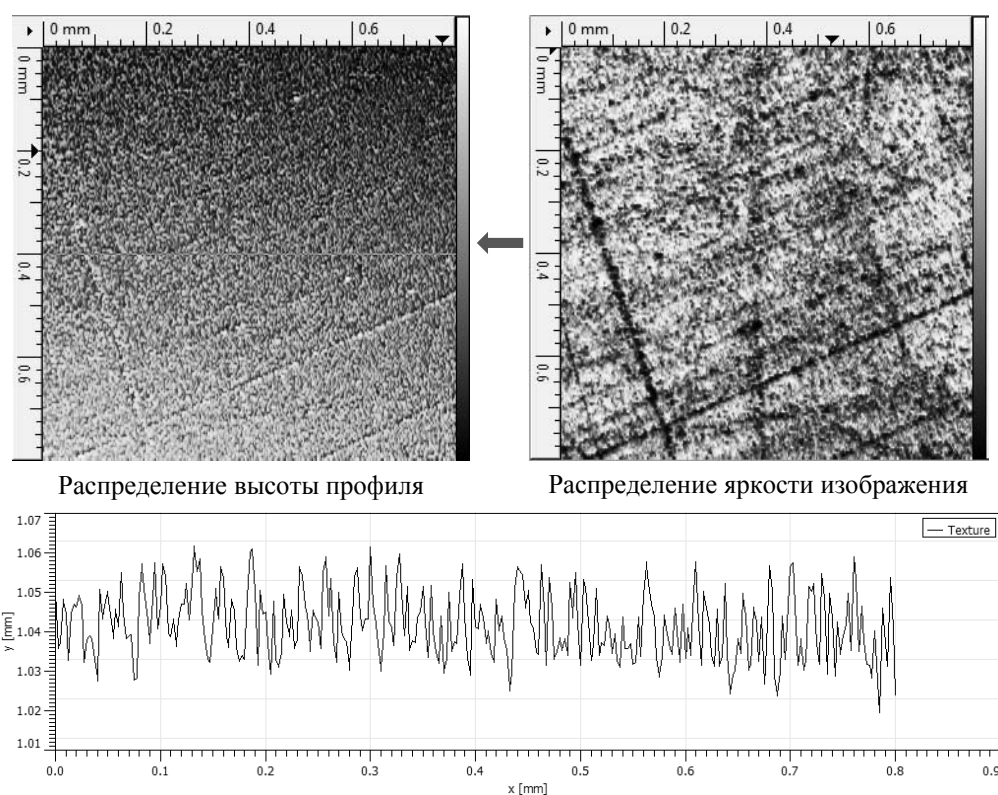


Рис. 1. До обработки плазмой

На основе анализа полученных результатов можно заключить следующее.

После первой обработки (в течение 30 мин) происходит снижение шероховатости поверхности образца. Уменьшается площадь поверхности. Происходит сглаживание неровностей поверхности.

Вторая обработка (в течение 30 мин) приводит к дальнейшему незначительному снижению шероховатости поверхности. При этом площадь поверхности остается практически неизменной.

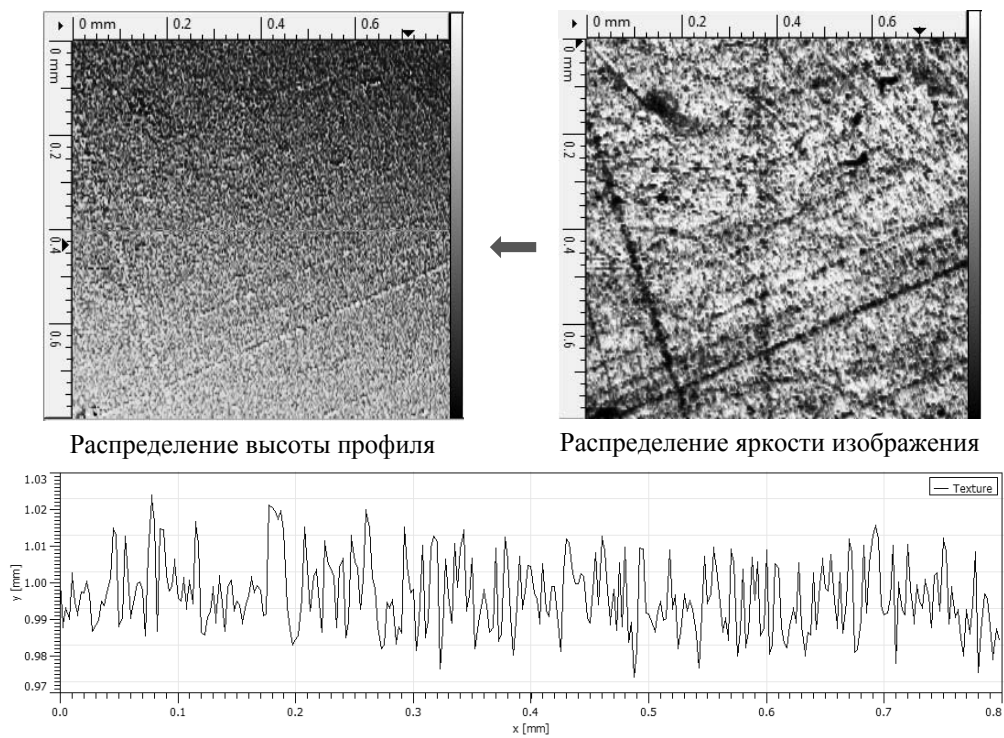


Рис. 2. Первая обработка плазмой (30 мин)

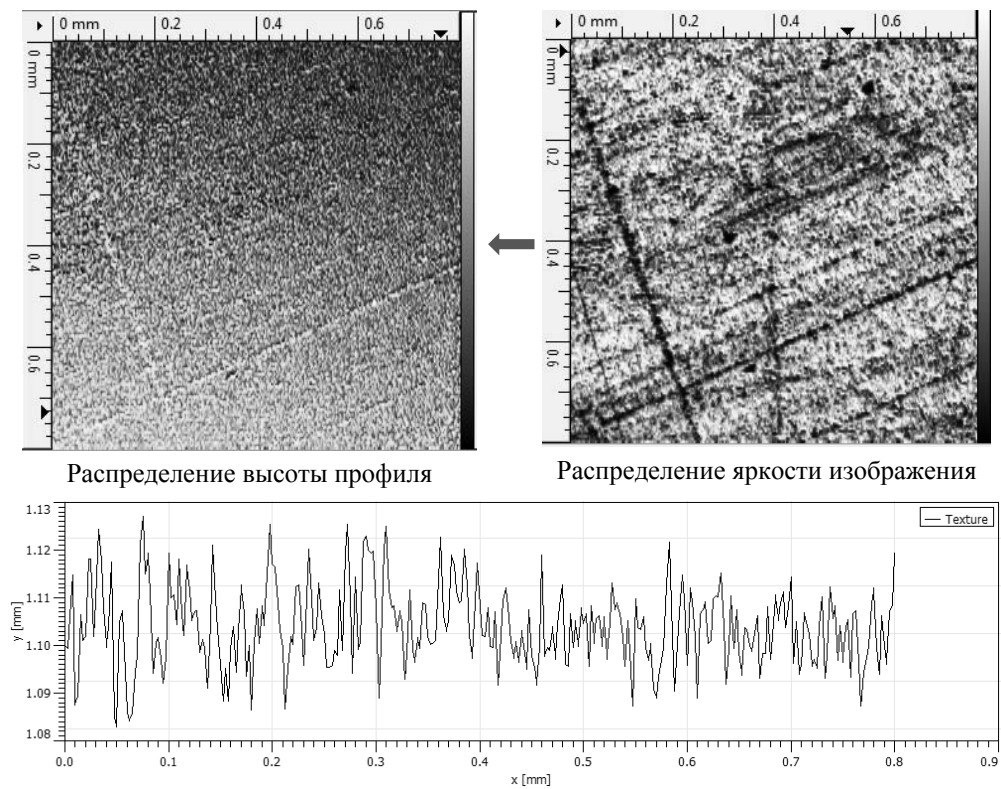


Рис. 3. Вторая обработка плазмой (+30 мин)

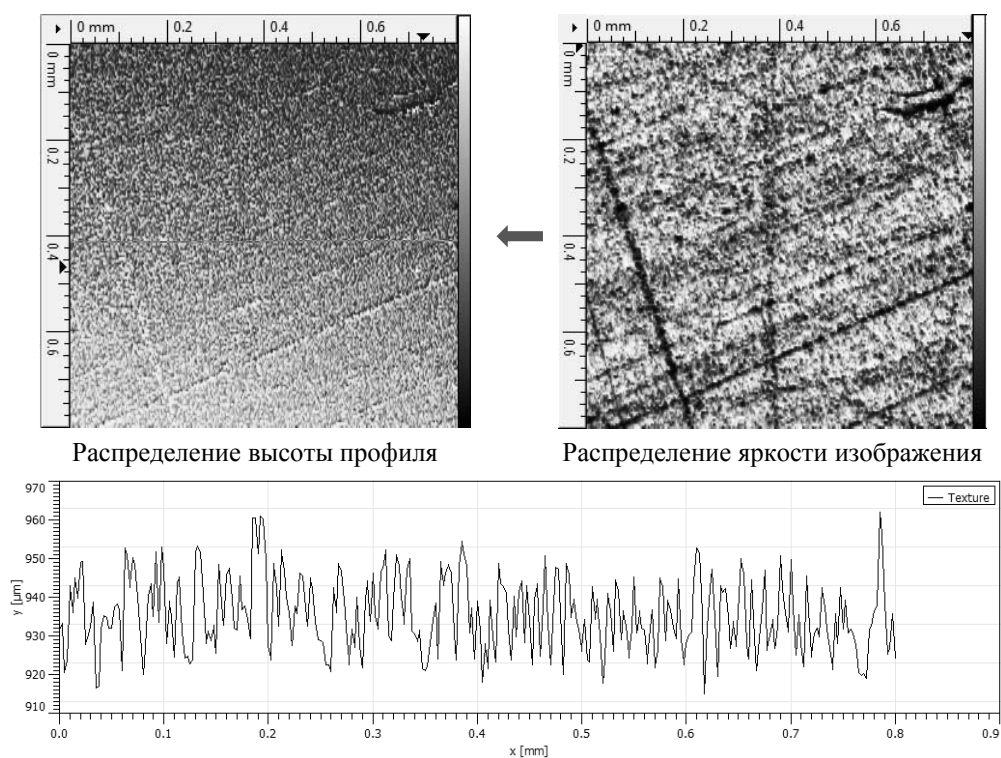


Рис. 4. Третья обработка плазмой (+90 мин)

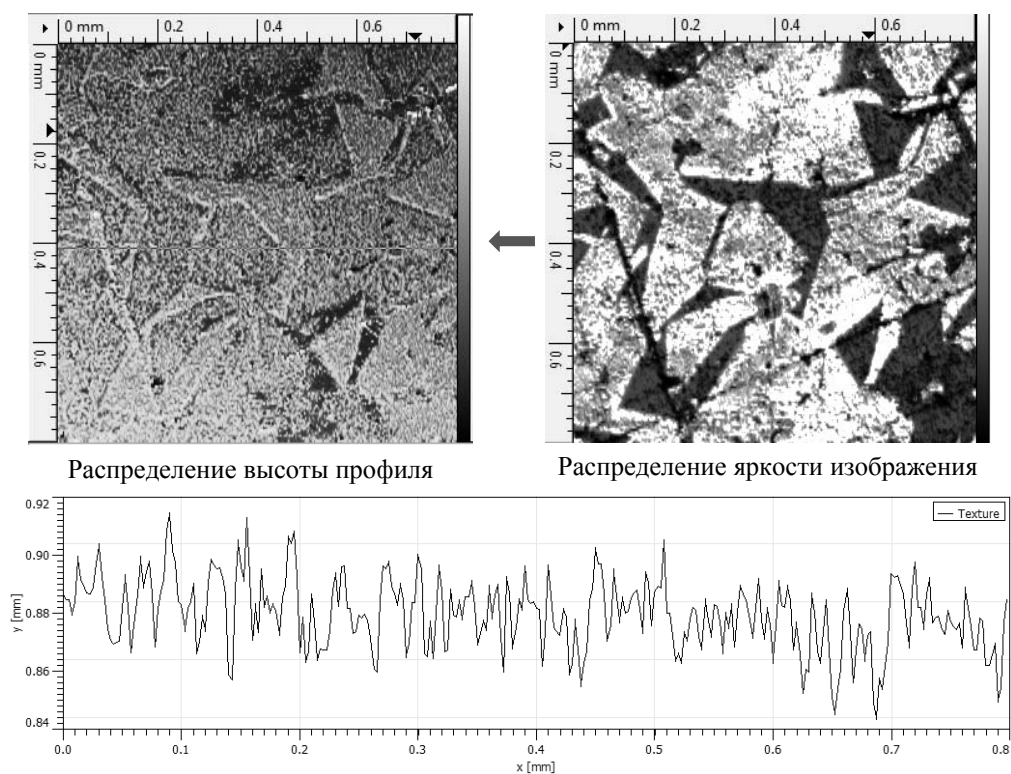


Рис. 5. Четвертая обработка плазмой (+90 мин)

Табл. 2

Геометрические параметры поверхности при обработке

Параметр	До обработки	Первая обработка	Вторая обработка	Третья обработка	Четвертая обработка
Ra – среднее арифметическое отклонение профиля, мкм	11.7	10.6	10.4	11.1	13.0
Rms – среднее квадратичное отклонение профиля, мкм	14.3	13.1	12.8	14.0	16.3
Площадь поверхности, мм ²	6.43889	6.21656	6.22555	6.35703	7.02352
Площадь проекции, мм ²	1.40800	1.40800	1.40800	1.40800	1.40800

Третья обработка (в течение 90 мин) приводит к увеличению шероховатости и увеличению площади поверхности. Это является следствием развития поверхности за счет травления плазменным потоком.

Четвертая обработка (в течение 90 мин) приводит к дальнейшему увеличению шероховатости поверхности образца. Наблюдается также увеличение площади поверхности исследуемого участка. Визуально наблюдается проявление явно выраженных участков с четкими границами.

Заключение

Полученные результаты показывают, что механизм модификации поверхности кварца отличается от модификации поверхности металлов или полимеров. На основе проведенных исследований можно выделить следующие особенности.

– Ионная полировка, снижение шероховатости происходит в течение определенного временного интервала, в данном случае – порядка 60 мин. Дальнейшая обработка приводит к увеличению шероховатости и развитию неровностей поверхности.

– При обработке более 200 мин на поверхности проявляются участки с различным уровнем травления ионным потоком. С учетом достаточной однородности химического состава образца можно предположить, что это связано с кристаллической структурой кварца, в частности его блочной структурой. В данном случае блочная структура кварца приводит к образованию участков с различным уровнем травления плазменным потоком, что выражается различной глубиной травления и образованием участков с четкими границами. Обнаруженные блоки, вероятнее всего, являются проявлением дефектов кристаллической структуры и характеризуют процессы роста кристалла в естественных условиях. По размерам блоков, их ориентации и форме можно установить термодинамические и химические условия, в которых происходило формирование кристалла. Это, в свою очередь, позволит расширить возможности для реконструкции природных процессов.

Литература

1. Абдуллин И.Ш., Желтухин В.С., Сагбиев И.Р., Шаехов М.Ф. Модификация нанослоев в высокочастотной плазме пониженного давления. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2007. – 356 с.
2. Абдуллин И.Ш., Желтухин В.С., Сагбиев И.Р., Юсупов О.Д. Взаимодействие высокочастотной плазмы пониженного давления с твердыми телами // Физика экстремальных состояний вещества – 2006: Сб. ст. – Черногловка: Ин-т проблем хим. физики РАН, 2006. – С. 253–256.
3. Wang G.J., Liu Y.W., Guo Y.J., Zhang Z.X., Xu M.X., Yang Z.X. Surface modification and characterizations of basalt fibers with non-thermal plasma // Surf. Coat. Tech. – 2007. – V. 201, No 15. – P. 6565–6568.

Поступила в редакцию
26.12.13

Нургалиев Рустам Карлович – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем сбора и обработки информации, Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия.

E-mail: Nurgaliev@mail.ru

Абдуллин Ильдар Шаукатович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов, Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия.

E-mail: abdullin_i@kstu.ru

Морозов Владимир Петрович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой минералогии и литологии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия.

E-mail: Vladimir.Morozov@kpfu.ru

* * *

INFLUENCE OF LOW-TEMPERATURE PLASMA ON THE SURFACE PARAMETERS OF CRYSTAL QUARTZ

R.K. Nurgaliev, I.Sh. Abdullin, V.P. Morozov

Abstract

The article presents an analysis of the surface of a quartz crystal after treatment with a high-frequency low-temperature plasma, and provides the values of the surface parameters before and after the treatment. It is established that when processed during 240 minutes, the surface of the crystal shows block structure, which makes it possible to get information about the thermodynamics of its formation process and also to assess the quality of the crystal from the point of view of its various applications.

Keywords: RF plasma, quartz, roughness, plasma treatment, block structure of crystals.

References

1. Abdullin I.Sh., Zheltukhin V.S., Sagbiev I.R., Shaekhov M.F. Modification of Nanolayers in Low-Pressure RF Plasma. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 2007. 356 p. (In Russian)
2. Abdullin I.Sh., Zheltukhin V.S., Sagbiev I.R., Yusupov O.D. Interaction between low-pressure RF plasma and solids. *Fizika ekstremalnykh sostoyanii veshchestva – 2006: Sbornik statei* [Physics of Extreme States of Matter – 2006: Collection of Papers]. Chernogolovka, Inst. Problem Khim. Fiziki RAN, 2006, pp. 253–256. (In Russian)

3. Wang G.J., Liu Y.W., Guo Y.J., Zhang Z.X., Xu M.X., Yang Z.X. Surface modification and characterizations of basalt fibers with non-thermal plasma. *Surf. Coat. Tech.*, 2007, vol. 201, no. 15, pp. 6565–6568.

Received
December 26, 2013

Nurgaliev Rustam Karlovich – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Automated Systems for Information Gathering and Processing, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia.

E-mail: *Nurgaliev@mail.ru*

Abdullin Ildar Shaukatovich – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Plasma-Chemical High Molecular Compounds and Nanotechnologies, Kazan National Research Technical University, Kazan, Russia.

E-mail: *abdullin_i@kstu.ru*

Morozov Vladimir Petrovich – Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Head of the Department of Mineralogy and Lithology, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

E-mail: *Vladimir.Morozov@kpfu.ru*