

# ПРИМЕНЕНИЕ ИОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОЛИРОВКИ ПОВЕРХНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО СИТАЛЛА

Н.Н. Андрианова, А.М. Борисов, В.В. Боровская  
Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ  
E-mail: andrianova\_nn@mail.ru

Многие современные технологии обработки поверхности материалов основаны на ионно-лучевых методах, одним из механизмов которых является распыление поверхности [1]. Формирование морфологии поверхности и ее эволюция при физическом распылении были и остаются предметом интенсивных экспериментальных и теоретических исследований [1-4]. Практически для всех материалов ионное облучение приводит к наноразмерному волнообразному рельефу [4,5]. Для оптических материалов такого рода данных опубликовано не слишком много. Вместе с тем, в ряде работ изучали и обсуждали возможность уменьшения шероховатости и полировки поверхности оптических стекол и кварца с помощью ионной бомбардировки [6,7].

Целью настоящей работы является исследование процесса эрозии поверхности оптического ситалла при скользящем падении ионов аргона с энергиями в десятки кэВ.

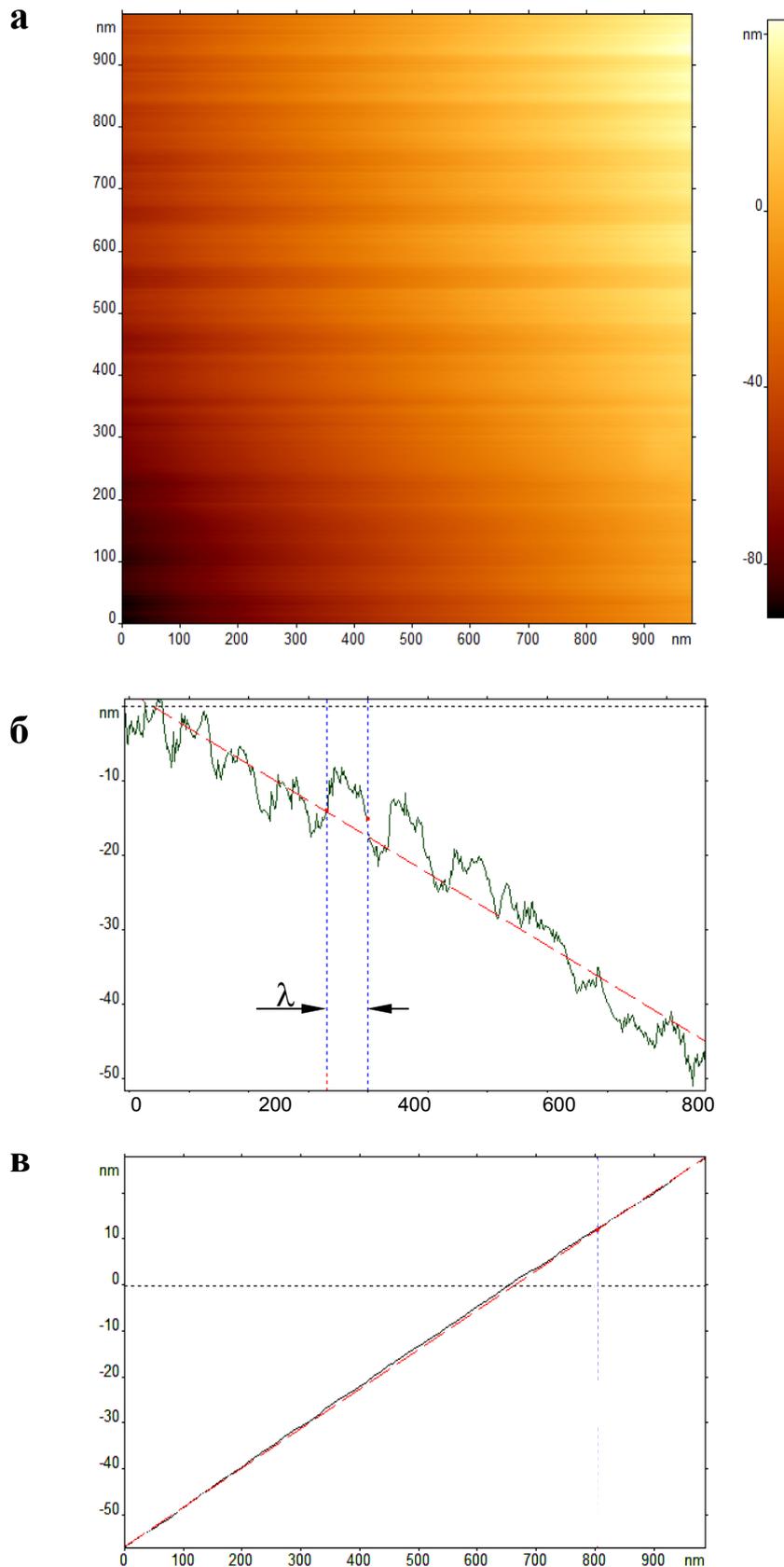
В качестве мишеней использовали образцы оптического ситалла в виде шайб диаметром 22 мм и толщиной 5 мм. Исходная шероховатость поверхности после механической полировки составляла  $R_a = 0.9 - 1.2$  нм. Очистку поверхности проводили с помощью петролейного эфира. Образцы монтировали на нагреваемом держателе мишени, позволяющем варьировать угол  $\theta$  падения ионов на образец, а также осуществлять азимутальное вращение образца. При облучении угол  $\theta$  выбирали в пределах  $75 - 87^\circ$ . Скорость азимутального вращения составляла  $\sim 1$  об./мин. Для облучения образцов ионами  $Ar^+$  энергии 10 - 30 кэВ использовали дуговой источник с продольным магнитным полем установки масс-монохроматор НИИЯФ МГУ [8]. Ионы аргона обеспечивают высокие скорости физического распыления и не приводят к нежелательным химическим реакциям на поверхности. Плотность ионного тока составляла  $\sim 0.3$  мА/см<sup>2</sup>, флюенсы облучения  $\varphi t > 10^{18}$  ион/см<sup>2</sup> ( $\varphi$  – плотность потока падающих ионов,  $t$  – время облучения). Для компенсации положительного заряда диэлектрической мишени, вносимого ионным облучением, применяли алюминиевую оправку образца с тем, чтобы использовать вторичные электроны с алюминиевой поверхности для нейтрализации поверхностного заряда. Морфологию поверхности до и после облучения исследовали с помощью зондового микроскопа FemtoScan в атомно-силовом режиме. Чувствительность зондов позволяет получать изображение поверхностей с предельным разрешением по горизонтали до 0.05 нм и по вертикали – 0.01 нм. Измерения проводили на нескольких участках поверхности с размерами поля сканирования 2x2 мкм, 1x1 мкм и 0.5x0.5 мкм. Программное обеспечение микроскопа позволяет рассчитывать

основные параметры шероховатости поверхности. Сравнение шероховатости поверхности до и после облучения проводили по среднему арифметическому значению шероховатости поверхности  $R_a$ .

Анализ литературных данных и закономерностей развития и сглаживания рельефа поверхности материалов при ионной бомбардировке позволяет выбрать наиболее перспективные режимы ионного облучения для полировки поверхностей [1,7]. Обычно для полировки используют ионы инертных газов, чтобы избежать химических взаимодействий на поверхности материалов. Немаловажным фактором с точки зрения оптимизации процесса полировки является величина энергии ионов, определяющая в значительной степени величину скорости эрозии. Поэтому энергия ионов была выбрана 10 - 30 кэВ. Чтобы минимизировать развитие под действием ионного облучения топографических элементов микронных размеров, таких, например, как различные конусообразные и пирамидальные структуры [2,3], а также глубину, на которой образуются радиационные дефекты, облучение производят при скользящем падении ионов на мишень. При этом, однако, возможно развитие нанометрического волнообразного рельефа [4-7]. В изучаемом нами случае оказалось, что в результате облучения поверхностей ситалловых образцов ионами аргона под скользящими углами формируется волнообразный рельеф с характеристической длиной волны  $\lambda$  от 30 до 100 нм и амплитудой 5-7 нм с волновым вектором перпендикулярным плоскости падения ионного пучка. Типичный пример такого рельефа, обнаруженного при исследовании в атомно-силовом микроскопе поверхности облученного образца оптического ситалла, приведен на рис.1, где также отмечена характеристическая длина волны  $\lambda$ . Развитие волнообразного рельефа может значительно увеличить шероховатость поверхности образца. В представленном на рис. 1 случае шероховатость  $R_a$  оказалась примерно в три раза больше, чем после механической обработки до облучения и составила 2.8 нм.

Для устранения развития волнообразной структуры в настоящей работе в процессе облучения производили азимутальное вращение образца вокруг оси, перпендикулярной поверхности образца. Атомно-силовая микроскопия показала на отсутствие развития регулярного рельефа поверхности. Результаты измерений шероховатости, полученные при варьировании параметров облучения (энергии, угла падения ионов, времени облучения и температуры мишени) приведены на рис. 2.

Оказалось, что определяющими факторами для сглаживания поверхности являются температура мишени и угол падения ионов. При температуре мишени  $T \approx 200^\circ\text{C}$  двукратное уменьшение шероховатости до значений  $R_a = 0.5$  нм найдено при угле падения  $\theta = 79^\circ$ . Найденное сильное влияние температуры мишени обусловлено диффузионными процессами, приводящими к сглаживанию поверхности при ионном распылении [4,5].



*Рис.1. АСМ-изображение поверхности образца оптического ситалла (а) и профили волнообразного рельефа поверхности перпендикулярно (б) и параллельно (в) плоскости падения ионов. Стрелкой отмечено направление падения ионов при  $\theta = 87^\circ$ . Пунктир – средняя линия профиля.*

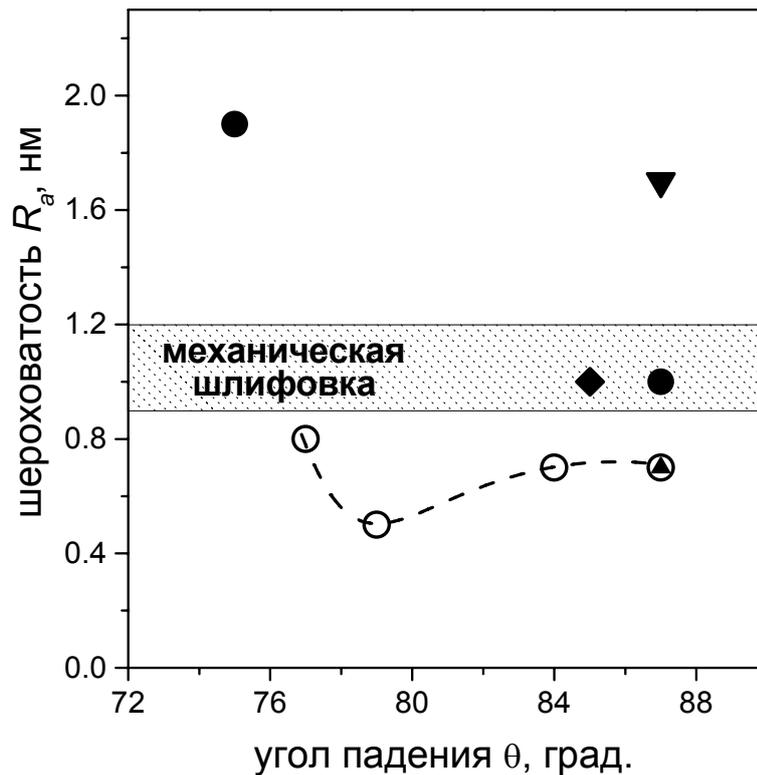


Рис.2. Зависимость шероховатости поверхности оптического ситалла от угла падения ионов на образец. Параметры облучения: (○) 30 кэВ,  $T \sim 200^\circ\text{C}$ ,  $t \sim 6$  мин., (▲) 30 кэВ,  $T \sim 200^\circ\text{C}$ ,  $t \sim 30$  мин., (▼) 30 кэВ,  $t \sim 30$  мин., (●) 20 кэВ,  $t \sim 6$  мин., (◆) 10 кэВ,  $t \sim 60$  мин.

## Выводы

Обработка оптического ситалла с начальной шероховатостью поверхности  $R_a = 0.9 - 1.2$  нм пучком ионов аргона с энергиями 10 - 30 кэВ показала, что при скользящем облучении образцов на его поверхности формируется волнообразный рельеф с характеристической длиной волны от 30 до 100 нм в зависимости от условий облучения.

Азимутальное вращение и нагрев облучаемой мишени приводит к подавлению развития волнообразной структуры на поверхности и дают эффект полировки.

1. G.Carter //J. Phys.D: Applied Phys. 2001. V.34. P. R1.
2. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой. – Под ред. Р.Бериша. Вып. II. М.:Мир, 1986.
3. Фундаментальные и прикладные аспекты распыления твердых тел: Сб. статей 1986 – 1987 гг. / Сост. Е.С.Машкова. – М.: Мир, 1989.
4. R.M.Bradley, J.M.E.Harper //J. Vac. Sci. Technol. 1998. V. A 6(4). P. 2390.
5. W.L.Chan, E.Chason // J. Appl. Phys. 2007. V. 101. P. 121301.
6. J.Vollner, B.Ziberi, F.Frost, B.Rauschenbach //Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 2009. V. 1181. P.DD13-15.
7. F.Frost, R.Fechner, B.Ziberi, J.Vollner, D.Flamm, A.Schindler //J. Phys.: Condens. Matter. 2009. V.21. P.224026.
8. E.S.Mashkova, V.A.Molchanov Medium-energy ion reflection from solids. – Amsterdam: North-Holland, 1985.