

УДК 535.31+620.187

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ СТЕКОЛ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОННОЙ И ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

М. А. Бондаренко¹, Ю. Б. Шевченко², В. П. Бойко¹, Ю. И. Коваленко¹,
И. В. Яценко¹, Г. В. Канашевич¹, В. А. Ващенко¹

¹ Черкасский государственный технологический университет,
бульв. Шевченко 460, г. Черкассы, Украина. E-mail: maXXium@rambler.ru

² Национальный авиационный университет, пр-т Космонавта Комарова 1, г. Киев, Украина.
E-mail: aramis@ck.ukrtel.net

Введение

Совершенствование современной элементной базы микрооптики и интегральной оптики заключается в подготовке химически и оптически однородных поверхностей оптических пластин с остаточными микронеровностями, которые не превышают 5 нм [1], и создании на таких поверхностях функциональных слоев и оптических элементов микрометрических размеров.

В качестве материала пластин под изделия микрооптики и интегральной оптики в оптическом производстве наибольшего распространения получили оптические стекла – кроны (марки К8, БК10, ТК21 и т. д.) и отдельные марки технических стекол (фотопластины), обладающие высокой прозрачностью в оптическом диапазоне и поддаются механической и термической обработке.

Применение традиционных методов оптического производства при изготовлении таких изделий ограничивается следующими недостатками [1]: наличием дефектного слоя и среднестатистическими микронеровностями более 5 нм, что приводит к потерям и искажению оптической информации, которая транслируется через такие изделия.

Среди современных высокоэффективных методов обработки оптических материалов наибольшего распространения получили термические методы поверхностной обработки концентрированными потоками энергии, а именно: сканирующим лазерным лучом [2] и низкоэнергетическим ($E \leq 10$ кеВ) электронным потоком ленточной формы [3]. Оба метода обладают высокой управляемостью и локальностью термического воздействия, что позволяет применять их при подготовке оптических пластин и для изготовления на их поверхностях функциональных слоев и оптических микроэлементов. Вместе с тем механизмы воздействия лазерного излучения и электронного потока на поверхность оптического стекла принципиально отличаются, что приводит к различным результатам при исследовании микрогеометрии (остаточных микронеровностей, наличия дефектного слоя, сколов, точек) поверхностей оптических стекол, обработанных этими методами.



В то же время методы оптической микроскопии (РЭМ, ПЭМ) не позволяют с точностью в единицы нанометров определять остаточный микрорельеф на поверхностях оптических стекол.

Целью данной работы является изучение возможностей атомно-силовой микроскопии в исследованиях микрогеометрии поверхностей оптических стекол, модифицированных концентрированными потоками энергии.

Методика эксперимента

В исследованиях применялись плоскопараллельные пластины из оптического стекла марок К8, БК10 круглой (диаметр 20 мм и толщина 2; 4; 6 мм) формы и прямоугольные фотопластины (25×20×1 мм).

Инструмент воздействия:

1) электронный поток ленточной формы (соответственно длина и ширина электронного потока на поверхности материала 60 и 1,5 мм). Технологический режим электронной обработки: ускоряющее напряжение 3,0 кВ; ток электронного потока 140 мА; расстояние от электронной пушки до обрабатываемой поверхности 15 мм; температура предварительного нагрева оптического стекла 540...580 °С; обработка в один проход.

2) поток лазерного излучения (диаметр пятна 200 мкм). Режим обработки: мощность излучения 15 Вт, скорость сканирования 500 мм/с, фокусное расстояние 150 мм.

Обработка проводилась электронным потоком ленточной формы на модифицированной технологической электронной установке УВН-74 (МННЦ «Микронанотехнологии и оборудование», ЧГТУ, г.Черкассы) и на лазерной установке «Diag-6» (ООО «Арамис», г.Черкассы) сканирующим лазерным лучом.

Исследования микрогеометрии поверхностей оптических пластин после обработки проводились на АСМ NT-206 [4] (ОДО «Микротестмашины», Беларусь) с использованием кремниевых зондов CSC12 [5] (Mikromasch). В состав АСМ также входили ступень микропозиционирования и встроенная видеосистема [6], которые позволили осуществлять поиск необходимого участка на поверхности образца.

Для повышения достоверности результатов исследования, измерения осуществлялись не менее чем на пяти образцах, взятых из каждой партии.

Обсуждение результатов эксперимента

В результате исследований установлено, что при обработке оптических пластин марок К8, БК10 и фотопластин ленточным электронным потоком, их остаточная микронеровность уменьшалась с 40...110 нм (К8), 80...580 нм (БК10), 69...90 нм (фотопластины) до 1,5...6,5 нм (К8), 2,5...9,6 нм (БК10), 3,7...7,1 нм (фотопластины), тогда как после обработки сканирующим лазерным лучом, значения остаточных микронеровностей составляли соответственно 3,3...7,8 нм (К8), 2,7...8,6 нм (БК10), 4,8...10,2 нм (фотопластины), рис. 1.

При этом на поверхностях пластин, обработанных сканирующим лазерным лучом наблюдалась волнистость (рис. 2).

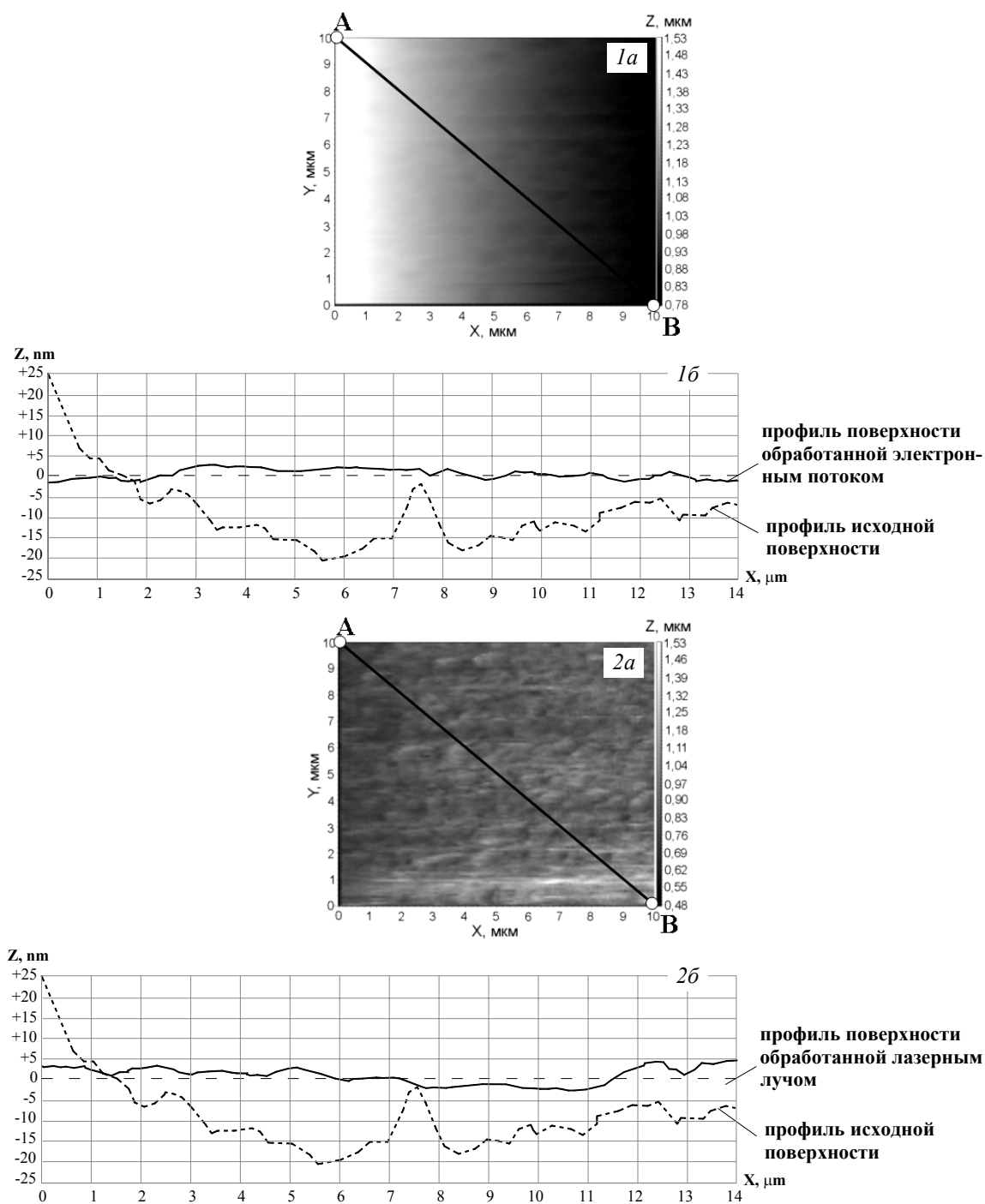


Рис. 1. Микрогеометрия (а) и профиль вдоль линии А-В (б) площадки поверхности (10×10 мкм) оптической пластины, обработанной электронным потоком (1) и сканирующим лазерным лучом (2)

Увеличение мощности лазерного излучения и/или увеличение фокусного расстояния не позволяет избежать такой волнистости ввиду характерного увеличения вязкости материала на воздухе. Дальнейшее увеличение мощности лазерного излучения при обработке оптических стекол от 15 до 25 Вт приводит к образованию на их поверхностях микротрещин (рис. 3).

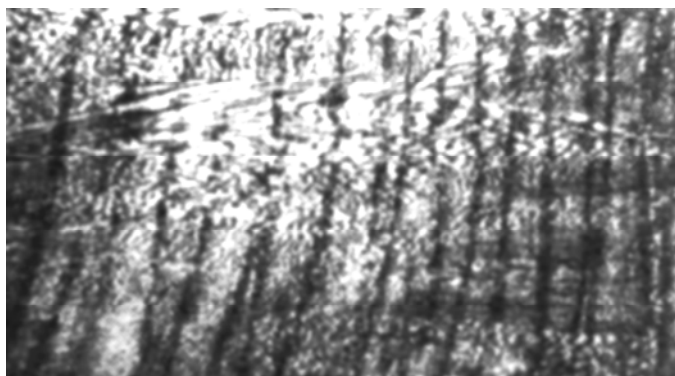


Рис. 2. Участок поверхности фотопластины с волнистостью, обработанный лазерным лучом

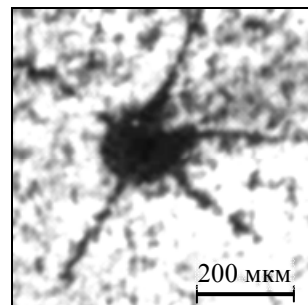


Рис.3. Микротрещины на поверхности пластины из оптического стекла К8, образующиеся в результате воздействия одиночного импульса лазерного излучения мощностью 25 Вт

Выводы

1. Методом атомно-силовой микроскопии с применением прибора NT-206 установлено уменьшение микронеровностей поверхности: для оптического стекла марки К8 от 40...110 нм до 1,5...6,5 нм (электронная обработка) и до 3,3...7,8 нм (лазерная обработка); для оптического стекла марки БК10 с 80...580 нм до 2,5...9,6 нм (электронная обработка) и до 2,7...8,6 нм (лазерная обработка); для фотопластин с 69...90 нм до 3,7...7,1 нм (электронная обработка) и до 4,8...10,2 нм (лазерная обработка).

2. Обработка оптических пластин сканирующим лазерным лучом не позволяет избежать волнистости поверхности, которая связана со специфичностью взаимодействия лазерного луча с поверхностью оптического материала, тогда как низкоэнергетическая обработка электронным потоком ленточной формы исключает возможность возникновения такой волнистости.

Литература

1. Канашевич Г. В., Котельников Д. И., Ващенко В. А. Специальные методы обработки оптического стекла / Под ред. профессора Д. И. Котельникова. Чернігів: "Сіверська думка", 2002. 215 с.
2. Веденов А. А., Гладуш Г. Г. Физические процессы при лазерной обработке материалов. М.: Энергоатомиздат, 1985. 208 с.
3. Котельников Д. И., Канашевич Г. В. Электронная обработка оптических материалов // Электронная обработка материалов. 2002. №2 (214). С.12–16.
4. Суслов А. А., Чикунов В. В., Шашолко Д. И., Чижик С. А. Атомно-силовой микроскоп NT-206: новые возможности // 6-й Белорус. Семинар по сканирующей зондовой микроскопии, г. Минск, 12–15 октября 2004 г. Сб. докл. 2004. С.123–130.
5. <http://microtm.com>
6. <http://logitech.com.ua>