УДК 539.2+621.385.833.2

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ ЛАЗЕРНОЙ ОПТИКИ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

С. А. Чижик¹, А. П. Шкадаревич², Т. А. Кузнецова¹, А. М. Курганович²

¹ Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, ул. П. Бровки 15, г. Минск, Беларусь E-mail:chizhiksa@mail.by

² НП РУП «ЛЭМТ», БелОМО, ул. Макаёнка 23, г. Минск, Беларусь

Высокие функциональные характеристики изделий современной оптики, в частности лазерной, во многом зависят от качества рабочих оптических поверхностей и их устойчивости в процессе эксплуатации. Нанометровый диапазон шероховатости, достигаемый при обработке оптических поверхностей, требует использования высокоточных методов при контроле их рельефа и локальных дефектов. В работе приведены примеры применения ACM к оценке поверхностей деталей, используемых в лазерных резонаторах, демонстрирующие комплексный характер и эффективность метода для данного класса задач. Проведен анализ дефектов рабочих поверхностей, заключающихся в разрушении многослойных покрытий, приобретенных в процессе их эксплуатации.

Объект и метод исследования

Рассматривались поверхности лазерной оптики на этапах 1) финишного полирования стекол; 2) нанесения многослойных покрытий с чередованием слоев оксид кремния – оксид циркония; 3) последующей эксплуатации в лазерном резонаторе. Многослойные тонкопленочные фильтры формировались из более чем 20 слоев с толщиной каждого слоя до 400 нм.

Особенности применения ACM в рассматриваемой задаче заключаются в необходимости осуществлять неразрушающий контроль дорогостоящих изделий оптики с высокими габаритными размерами (высота более 20 мм) без их разборки. Это потребовало оснастить базовую модель ACM HT-206 (ОДО «Микротестмашины», Беларусь) дополнительной приставкой, увеличивающей расстояние между предметным столиком и зондом ACM (рис. 1, а). Выбор дефектных участков поверхности для их последующего сканирования производился с помощью оптической системы и микропозиционера NT-206 (рис. 1, б). Сканирование производилось в контактном режиме с использованием зондов (Micromasch Co., Россия).

Результаты исследования

Финишная обработка стекол реализует высокую гладкость поверхности (рис. 2, а), при которой среднеквадратическое отклонение шероховатости на участке 32х32 мкм не превышает 2 нм. Можно отметить, что изображение латеральных сил, формируемое при контактном режиме сканирования, отображает следы обработки даже не всегда проявляющиеся на рельефе поверхности. Это связано с высокой чувствительностью консоли зонда к воздействию латеральных сил, неоднородность которых обусловлена механическим активированием поверхности при обработке даже на предыдущих незавершающих этапах действия обрабатывающего инструмента. Дефектность поверхности может формироваться на стадии полирования стекол. На рис. 2 в, г отражены образованные при полировании микротрещины глубиной до 30 нм.



Рис. 1. Оснастка ACM NT-206 для увеличения эффективности измерений: приставка для контроля деталей с повышенными габаритными размерами (а); видеосистема в совокупности с функцией микропозиционирования (б)



Рис. 2. ACM-изображения поверхности полированого стекла: а, б – бездефектный участок; в, г – участок трещинообразования; а, в – топография; б, г – изображения латеральных сил

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ 2006

После нанесения функционального многослойного покрытия на поверхности обнаруживается кластерная структура поверхности (рис. 3 а, б) с характерным латеральным размером зерен-кластеров до 50 нм и их высотой до 30 нм. Среднеквадратическое отклонение шероховатости при этом увеличивается до 8–10 нм. В целом поверхность является более однородной, так как не проявляются следы обработки. Однако при вакуумном напылении покрытий может иметь место агломерация кластеров оксида. В этом случае образуются микрокластеры с латеральным размером 1–5 мкм и высотой 100–500 нм (рис. 3 в, г). Изображение латеральных сил (рис. 3, г) демонстрирует отличительный контраст зерен выступов на поверхности на фоне базовой поверхности покрытия, которые и образуют микроагломерат. Это может свидетельствовать о том, что кластеры на поверхности имеют природу материала, отличную от базового материала поверхности покрытия. Уточнение химического состава кластеров требует дополнительных исследований.



Рис. 3. ACM-изображения поверхностей лазерной оптики с многослойным фильтром. а, б – бездефектный участок; и в, г – дефект в виде микрокластера; а, в – топография; б, г – изображение латеральных сил

Наличие данного типа дефектов на исходной поверхности может привести к катастрофическим последствиям при эксплуатации лазерной оптики. Обнаруже-

VII Международный семинар • г. Минск • 1-3 ноября 2006 г.

ны локальные разрушения покрытий типа «прожиг» в местах наличия микрокластерных скоплений оксидов. На рис. 4 представлены результаты отображения с помощью ACM характерных участков разрушения покрытий типа «прожиг». Можно предположить, что оптически прозрачные микровыступы играют роль микролинз, концентрирующих энергию лазерного луча. В областях интенсивного локального воздействия луча имеет место вспучивание и хрупкое разрушение покрытия с круговым пятном в центре разрушения (рис. 4, а). Дно дефекта имеет характер оплавленного материала с аморфной структурой (рис. 4, б). Кроме того, от центра разрушения распространяются микротрещины (рис 4, г).



Рис. 4. Различные участки разрушения оптических поверхностей после эксплуатации в лазерном резонаторе

Край кратера разрушения имеет ступенчатый характер (рис. 5). Измерение высоты ступеней позволяет оценить толщину нанесенных периодических слоев, которая составила около 400 нм (рис. 5, в). Представлены возможности метода ACM в обнаружении деффектов в начальной стадии еще до проявления их на топографии поверхности (рис. 5). Сравнение изображения топографии без признаков образования трещины как геометрического объекта (рис. 5, а) и изображения латеральных сил (рис. 5, б) с изменением локальных сил трения в местах зарождения трещин демонстрирует существенное активирование поверхностных свойств (например, увеличение работы выхода электронов), предшествующее механическому разрушению.



Рис. 5. Отображение многоступенчатого края разрушения: а – 3D-изображение топографии; б – 3D-изображение топографии с наложенным изображением контраста латеральных сил; в – профильное сечение края разрушения многослойного покрытия

Таким образом, изображения контраста могут быть эффективны в случае прогнозирования трещинообразования на самых начальных стадиях еще до разрушения поверхностных слоев.

Выводы

- Методом АСМ проведен анализ оптических поверхностей на различных этапах формирования и эксплуатации в лазерном резонаторе;
- показана эффективность комплексного ACM контроля при отработке технологии получения оптических поверхностей;
- продемонстрированы новые возможности использования изображений контраста при обнаружении эффектов разрушения покрытия на стадиях, предшествующих образованию трещин.