МЕХАНИЧЕСКАЯ ПРОФИЛОМЕТРИЯ - ЭКСПРЕССНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ЛАЗЕРНЫХ ЗЕРКАЛ

Е.Э. Мамцев, Н.М. Соловьева
Федеральное государственное унитарное предприятие научно-исследовательский институт «Полюс» им. М.Ф.Стельмаха.
E-mail: natmois12@yandex.ru

Analyzed the modern technology level of precision optical surfaces of sitall substrates production and connected with them quality of laser mirrors covers by using of the mechanical profilometry measurement method. The measure results were compared with TIS results. It's shown that used mechanical profilometry measurement method can be very effective as express measurement method for technology improvement of precision surfaces production.

Одним из важнейших этапов в процессе создания высокочувствительных измерительных приборов, например, гироскопов, является метрологический контроль прецизионных оптических поверхностей.

Требования к параметрам оптических поверхностей и характеристикам лазерных зеркал прецизионных приборов очень высоки [1,2]. Существующие и используемые в настоящее время традиционные методы обработки прецизионных поверхностей не удовлетворяют растущим требованиям к оптическим деталям для изготовления точных лазерных приборов, что приводит к необходимости поиска новых и усовершенствованию существующих методов обработки поверхностей и наличия экспрессных методов контроля.

В настоящей работе показано, что в качестве такого экспрессного метода может быть использован механический профилометр.

Достоинства этого метрологического метода заключаются в простоте связи профиля измеряемой поверхности и выходного сигнала, слабой зависимости результатов измерений от физических свойств материала поверхности, приемлемым разрешением по горизонтали для контроля оптических поверхностей.

В работе исследовалось возможность повреждения измеряемой поверхности измерительной иглой. Однако проведенный расчет показывает, что при размерах измерительной иглы 0,1х2,5 мкм и нагрузки на иглу не превышающей 5 мг, давление измерительной иглы на поверхность ситалловой подложки будет не более 20 кг/мм^2 , в то время как порог разрушения ситалла, при котором наблюдается появление дефекта размером ~ 0,5 мкм, ~ (5000÷6000) кг/мм^2 . Порог разрушения ситалловой подложки определялся с помощью микротвердомера, а отсутствие или наличие повреждений контролировалось с помощью микроскопа с соответствующим разрешением.

В настоящей работе проведен анализ состояния существующего уровня обработки прецизионных оптических поверхностей ситалловых подложек и

зависящего от него качества нанесенных на них многослойных диэлектрических зеркальных покрытий с использованием метрологического метода механической профилометрии.

Измерения проводились на профилометре Talystep [3], модернизированном фирмой Taylor-Hobson, который поверен ВНИИМС, как прибор для измерения параметров шероховатости, при перемещении алмазного зонда малого радиуса кривизны 0,1 мкм по исследуемой поверхности. В качестве образца измерений на рис. 1. приведен профиль поверхности ситалловой подложки, записанный на длине 0,32 мм.

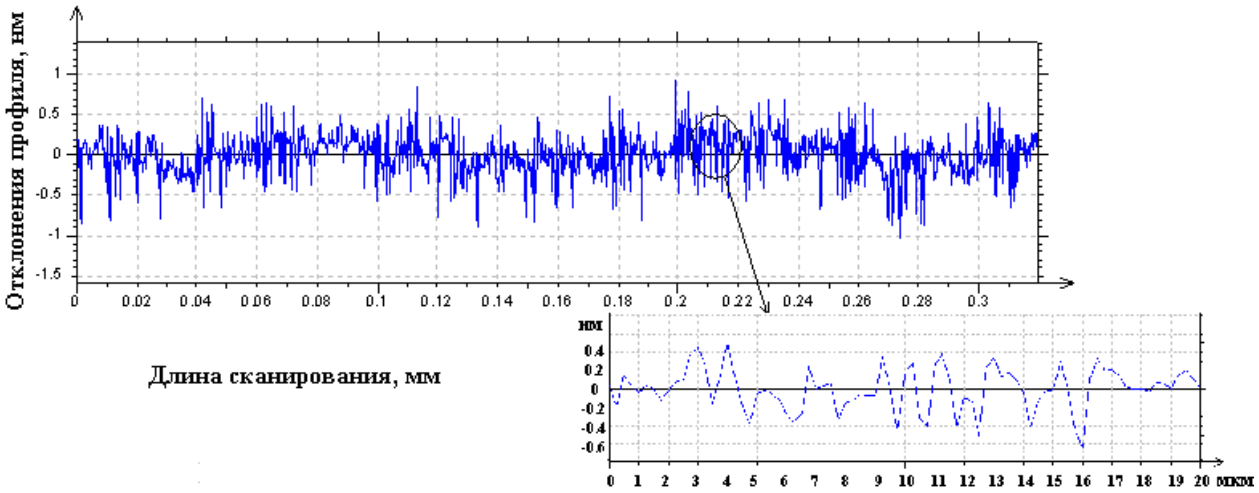

Рис.1. Отклонения профиля поверхности ситалловой подложки от среднего уровня на длине сканирования 320 мкм. Расчетная величина параметра шероховатости Rq ≈ 1,6 Å.

На нескольких поверхностях были проведены сличительные метрологические измерения профиля метрологическим методом атомно-силовой микроскопии (AFM) на измерительном оборудовании института Кристаллографии РАН (прибор фирмы ND MDT г. Зеленоград)[4]. Результаты сравнительных измерений показали достаточно хорошее совпадение и приведены в работе [5], что подтверждает достоверность полученных результатов.

В работе проведен сравнительный анализ профилей поверхностей ситалловых подложек, обработанных разными заводами-производителями – отечественными под номерами 2-7 и зарубежным под номером 1. Измерения проводились в 3-х точках поверхности каждой подложки, и результат усреднялся. Параметры шероховатости рассчитывались на опорной длине 0,08мм.

Из гистограммы рис. 2 видно, что проконтролированные в работе лучшие технологии поверхностей позволяют получить среднеквадратичную величину шероховатости (Rq) порядка 1,3 Å. Также следует, что величина Rq для различных изготовителей находится в пределах от 1,3 до 4 Å.

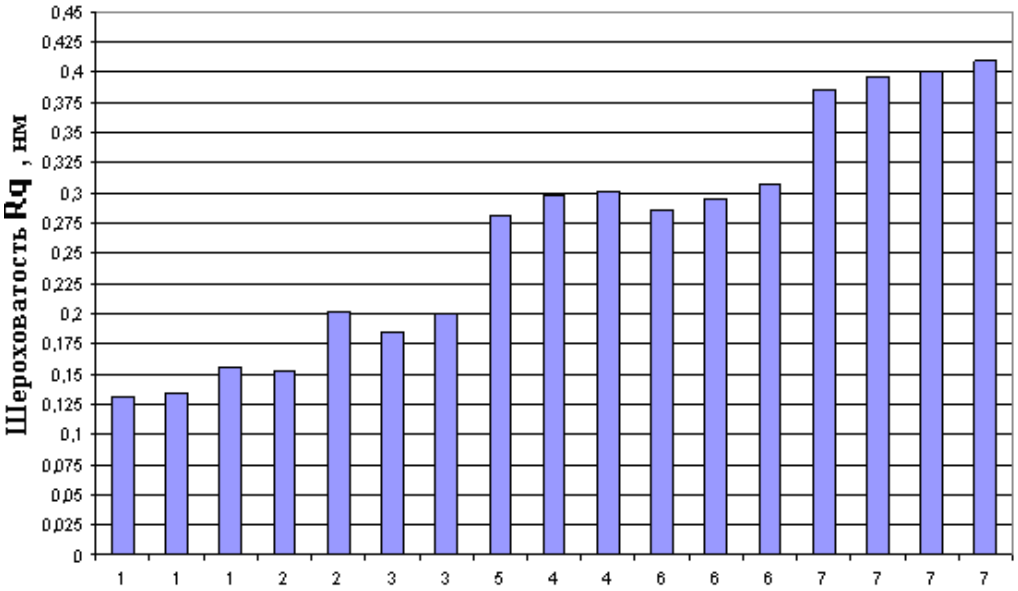

Рис.2. Значения параметра шероховатости Rq поверхностей, обработанных различными изготовителями, обозначенными цифрами: 1…7.

Вместе с тем, программное обеспечение профилометра позволяет провести спектральный анализ профилей поверхности, что дает возможность более подробного изучения процесса обработки поверхности для дальнейшего его совершенствования.

На рис. 3 приведены частотные спектры профилограмм поверхностей, обработанных изготовителями под номерами 1, 6 и 7. Для сравнения они приведены на одном графике. Из приведенного графика следует, что профилограммы подложек изготовителей 1, 6, 7 отличаются и по частотным спектрам. Здесь также лидирует зарубежный изготовитель №1.

Профили подложек изготовителей 6 и 7 имеют большую величину шероховатости в области длинных волн или меньших частот. Причиной этому может быть наличие нестабильности различных параметров во время обработки поверхности, например, вибрация станка, колебания температуры и т.д.

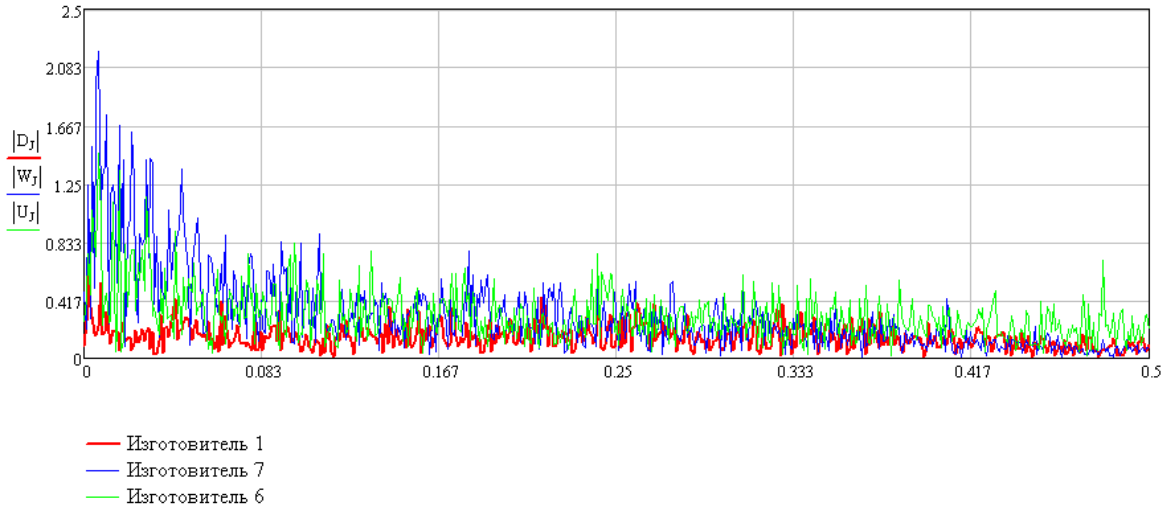

Рис. 3. Частотные спектры профилограмм подложек изготовителей № 1, 6, 7.

Далее на часть проанализированных поверхностей подложек были нанесены многослойные диэлектрические интерференционные зеркальные покрытия методом ионно-лучевого напыления. С помощью того же механического профилометра прописаны профили зеркальных поверхностей и поверхностей вне зон напыления. На рис. 4, для наглядности также в виде гистограммы, представлены результаты сравнительных измерений профилей поверхностей разных производителей. Из сравнения параметра шероховатости Rq видно, что нанесенные покрытия практически полностью повторяют профили поверхностей подложек в измеряемом диапазоне пространственных частот. Этот результат уже обсуждался в публикациях [4], а в данной работе он подтвержден путем измерения другим, более простым метрологическим методом, который может быть использован как экспресс метод в технологической цепочке обработки поверхностей.

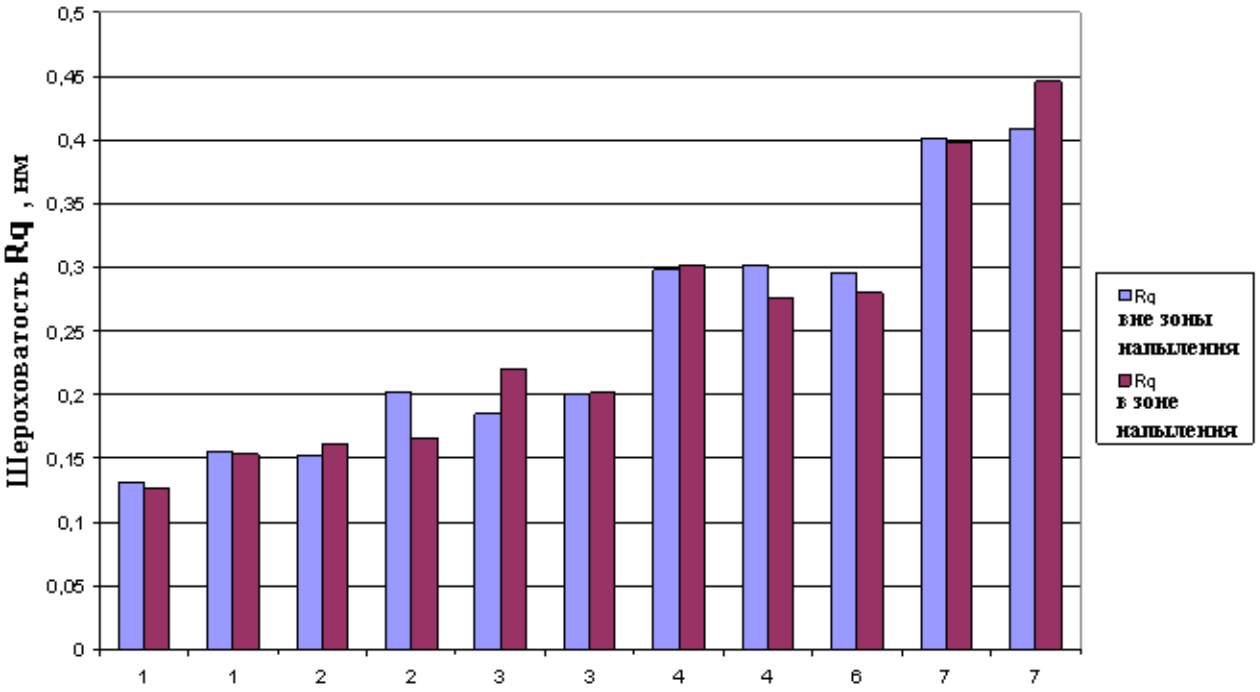

Рис. 4. Значения параметра шероховатости Rq на поверхностях подложек и нанесенных на них зеркальных покрытий (изготовители: 1-7).

Rq, нм	S, ppm
0,16± 0,02	15± 2
0,17± 0,03	20± 2
0,22± 0,03	25± 5
0,20± 0,03	34± 5
0,30± 0,03	65± 5
0,40± 0,03	140± 10
0,45± 0,03	200± 10

Таблица 2

Для подтверждения достоверности результатов измерения параметров шероховатых поверхностей и установления связи между профилем поверхности зеркал и величиной потерь на рассеяние (параметр S) на зеркалах, было проведено сопоставление параметров Rq и S на зеркалах с подложками разных изготовителей. Измерение величины интегрального рассеяния проводилось на установке, описанной в [4]. Результаты представлены в таблице 2.

Из анализа результатов, приведенных в таблице, видно, что связь между шероховатостью поверхностей подложек и рассеянием зеркал наблюдается на всех зеркалах.

Таким образом, из приведенных результатов следует, что необходимо продолжать работу над усовершенствованием технологии обработки поверхности и профилометрический метод может быть использован как экспрессный метод контроля прецизионных поверхностей и лазерных зеркал.

1. В.В. Азарова, Ю.Д. Голяев, В.Г. Дмитриев Кольцевые газовые лазеры с магнитооптическим управлением в лазерной гироскопии. Квантовая электроника, с. 30, №2, 2000.
2. Ю.Д. Голяев, А.Ю. Голяева, М.М. Назаренко, Н.В. Тихменев Труды 50-й Научной конференции МФТИ. Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук. Москва Долгопрудный – Жуковский, с. 96, 2007.
3. G. Binnig, C.F. Quate, Ch. Gerber, Phys. Rev. Lett. 56, 930-933, 1986.
4. Отчет по проекту РФФИ №07-02-13662, Суперпрецизионные оптические поверхности и тонкопленочные интерференционные зеркала для электронного приборостроения, 2008г.
5. В.В. Азарова, Н.М. Соловьева, Е.Э. Мамцев. Анализ шероховатости оптических поверхностей методами профилометрии. Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С.Попова, 65 научная сессия, посвященная Дню радио, с.79-81, 2010.