

# Моделирование процесса дифракции лазерного излучения и исследование погрешностей метода контроля высот шероховатостей субнанометрового уровня оптических поверхностей

*Д. Г. Денисов, В. Е. Карасик*

МГТУ им. Н. Э. Баумана, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, г. Москва, 105005

На сегодняшний день для диагностики высотных статистических параметров субнанометрического уровня используются различные классы оптико-электронных устройств и систем. Наибольший интерес в задачах высокоточного сертификационного контроля представляют такие перспективные приборы и системы, как динамические интерферометры, а также устройства, позволяющие оценивать среднеквадратичное значение поверхностных неоднородностей субнанометрового уровня по анализу индикатрисы рассеянного лазерного излучения.

Ключевые слова: Оптический контроль, метод дифференциального рассеяния, индикатриса рассеяния, коэффициент отражения по двум угловым координатам, поверхностные неоднородности.

*Цитирование:* Денисов, Д. Г. Моделирование процесса дифракции лазерного излучения и исследование погрешностей метода контроля высот шероховатостей субнанометрового уровня оптических поверхностей / Д. Г. Денисов, В. Е. Карасик // HOLOEXPO 2023: 20-я Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. — С. 285–286.

Для достижение высоких технологические показатели качества различных оптических деталей нового поколения, необходим не только современный подход к методам и средствам обработки деталей, но и реализация перспективных высокоточных бесконтактных методов диагностики. Особое внимание в единой технологической цепочке занимают стадии глубокой полировки, когда высотные статистические параметры профилей достигают нано – и субнанометровых уровней. Для диагностики высотных статистических параметров субнанометрового уровня на сегодняшний день применяются различные классы оптико – электронных приборов и систем. В мировой практике методы, основанные на анализе индикатрис рассеянного лазерного излучения классифицируются на [1,2]: методы полного интегрального рассеяния (TIS - Total Integrated Scattering), методы определения функции распределения коэффициента отражения по двум угловым координатам (метод определения характеристики BRDF - Bidirectional Reflectance Distribution Function), методы дифференциального рассеяния (ARS – Angle-Resolved Scattering). Анализ влияния ограничительных факторов в методе дифференциального рассеяния позволяет определить его систематическую погрешность повысив точность измерения. Для полученного выражения индикатрисы было проведено математическое моделирование процесса

рассеяния лазерного излучения с учётом аппаратных ограничений по углам подсвета и рассеяния, шумов электронного тракта и рассеяния Рэлея.

Для апробации предложенного алгоритма анализа ограничительных факторов были проанализированы численные значения параметров, приведенные в [1,2]. В качестве источника излучения использовался He-Ne лазер с длиной волны  $\lambda = 0,6328$  мкм. Рассеяние измерялось в плоскости падения ( $\varphi = 0$ ) в диапазоне углов рассеяния  $5^\circ - 85^\circ$  при угле падения  $10^\circ$  (в работе также приведено моделирование для угла падения  $50^\circ$ ). Заданные характеристики образцов приведены в [1,2]. Было проанализировано восстановление эффективной величины СКО ( $\sigma_{эфф}$ ) и высотных параметров исследуемых профилей полированных кварцевых подложек ( $\varepsilon = 2,12$ ) при экспоненциальной статистике распределения. Исходя из проведенных исследований, было выявлено, что аппаратные ограничения оказывают наибольшее влияние на восстановление  $\sigma_{эфф}$  и являются неотъемлемой частью систематической погрешности при измерении.

### Список источников

- [1] Денисов Д. Г. Анализ влияния ограничительных факторов в методе дифференциального рассеяния при контроле поверхностных неоднородностей субнанометрового уровня профилей оптических деталей //Прикладная физика. – 2022. – №. 1. – С. 89.
- [2] Азарова В. В. и др. Теория дифференциального и интегрального рассеяния лазерного излучения на поверхности диэлектрика с учетом наличия дефектного слоя //Квантовая электроника. – 2001. – Т. 31. – №. 8. – С. 740-744.

## Modeling of the laser radiation diffraction process and investigation of errors in the method of controlling the heights of roughness of the subnanometer level of optical surfaces

*D. G. Denisov, V. E. Karassik*

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

To date, various classes of optoelectronic devices and systems are used to diagnose the height statistical parameters of the subnanometer level. The greatest interest in the tasks of high-precision certification control is represented by such promising devices and systems as dynamic interferometers, as well as devices that allow estimating the RMS value of surface inhomogeneities of the subnanometer level according to the analysis of the scattered laser radiation indicatrix.

*Keywords:* Optical control, Differential scattering method, Scattering indicatrix, Reflection coefficient along two angular coordinates, Surface inhomogeneities.