Физические науки

УДК 535.4

Носков Михаил Федорович
доктор технических наук, профессор кафедры ГГЭЭС, Саяно-Шушенского филиала Сибирского Федерального Университета.
Noskov M. F.
doctor of technical sciences, professor of GGEES, Sayano-Shushenskoye branch of Siberian Federal University.
Букатов Александр Викторович
старший преподаватель кафедры ГГЭЭС, Саяно-Шушенского филиала Сибирского Федерального Университета.
Bukatov A.V.
senior lecturer of GGEES, Sayano-Shushenskoye branch of Siberian Federal University.
Овчинников Сергей Сергеевич
инженер отдела 74
Швабе-Новосибирск, Россия
Ovchinnikov S.S.
Department # 74
Schwabe-Novosibirsk

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ МИКРОРЕЛЬЕФА ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ.

METHOD OF INCREASING MEASUREMENT SENSITIVITY MICRORELIEF PERIODIC SURFASE .

Аннотация: Рассмотрен способ повышения чувствительности измерений, основанный на нелинейной фоторегистрации интерференционной картины и обработки ее при помощи программы Femtoscan.
Ключевые слова: двухлучевой микроинтерферометр; нелинейная фоторегистрация; отражательная дифракционная решетка, программа Femtoscan, чувствительность измерений.
Summery: A method of increasing the sensitivity of measurements, based on nonlinear photographic interference pattern and process it using the program Femtoscan, measurement sensitivity.
Key words: double-beam microinterferometer; nonlinear photo registration; reflective diffraction grating, the program Femtoscan.

Переход к нанотехнологиям поставил перед наукой и техникой ряд новых специфических задач, обусловленных малыми размерами элементов и структур. В нанотехнологиях как нигде актуален тезис «если нельзя измерить, то невозможно создать»[1]. Достижение предельных возможностей при измерении рельефа поверхности возможно с использованием методов растровой электронной и сканирующей зондовой микроскопии [2] в сочетании с эталонной световой интерферометрией. Преимущество световой интерферометрии состоит в том, что возможна привязка к длине световой волны.

Принцип действия любого интерферометра состоит в делении светового пучка на два при помощи полупрозрачного зеркала. Затем эти пучки направляют на эталонную и исследуемую поверхности. После этого сводят отразившиеся пучки вместе при помощи полупрозрачного зеркала. Так как длина волны света известна, то можно напрямую измерить характеристики профиля поверхности, например, высоту ступеньки дифракционной решетки. К недостаткам

интерференционных измерений относят невысокую чувствительность измерений, порядка десятых долей длины волны применяющегося излучения, что для видимого света составляет около 50 нанометров

Одним из вариантов повышения чувствительности микроинтерферометрических измерений является нелинейная фоторегистрация. Для реализации метода нелинейной фоторегистрации необходимо одновременное наличие следующих предпосылок [3]:

– вариации освещенности по полю интерференции не должны превышать 5%;

– видность картины должна быть как можно ближе к единице, или, по крайней мере, должна превышать величину 0,95;

В качестве базового прибора использовался наиболее широко распространенный микроинтерферометр МИИ-4.

Определение оптимального режима фоторегистрации состояло в следующем:

– теоретически определено, что при видности картины V=0,8 и коэффициенте контрастности фотоматериала около 4 (фотослой МИКРАТ-300 при 8 минутах проявления) расчетная резкость полос F=6 (под резкостью полос авторы понимают отношение ширины светлых и темных полос на уровне половины максимальной интенсивности);

– показано, что для фотослоя МИКРАТ-300 оптимальная величина экспозиции составляет 1,6 люкс в секунду, , и, соответственно, время экспозиции при средней освещенности интерференционного поля E=0,08 люкс, составляет 20 секунд.

Было оценено возможное смещение полос при таком относительно большом времени регистрации. Для прибора МИИ-4 и

ему подобных смещение интерференционных полос не должно превышать одной полосы за 15 минут, следовательно, за 20 секунд смещение или размытие полос не превышает 0,02 интерференционных полос.

Анализ интерферограмм показал следующее:

– наибольшая высота поверхностей профили, измеренная при линейной регистрации Rmax=6,3 нанометра при погрешности измерений 5 нанометров, то есть погрешность измерения практически равна измеряемой величине, и измерения показали только, что величина Rmax не превышает 11 нанометров, что и так примерно было известно перед сеансом контроля;

– при нелинейной фоторегистрации Rmax =5 нанометров при погрешности измерений 1 нанометр, то есть применение нелинейной фоторегистрации позволило уменьшить погрешность измерения шероховатости поверхности примерно в 5 раз. На рисунке 1слева представлена микроинтерферограммы участка поверхности, зарегистрированные в линейном (вверху) и в нелинейном режимах (внизу). Справа на этом же рисунке представлены две левых интерферограммы, обработанные при помощи программы Femtoscan.

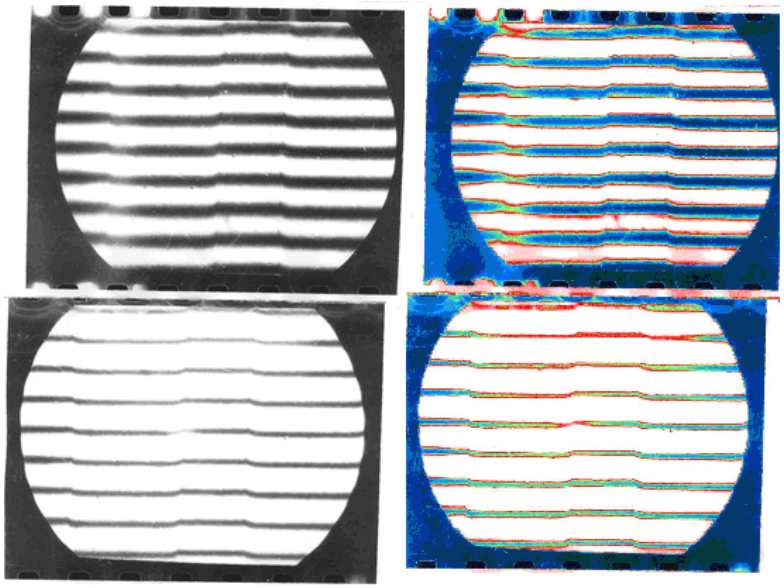


Рис. 1 Микроинтерферограмма участка поверхности металлооптического зеркала с протравленной голографической решеткой (слева) и инвертированные при помощи программы Фемто-Скан Онлайн(справа).

Авторы модернизировали наиболее широко распространенный микроскоп МИИ–4 и сначала сфотографировали в нелинейном режиме элемент дифракционной решетки, протравленный на поверхности медного зеркала, а затем обработали интерференционную картину при помощи программы Фемто-Скан Онлайн. Обработка нелинейно зарегистрированной интерференционной картины при помощи программы Фемто-Скан Онлайн позволила измерить высоту ступеньки с погрешностью до сотых долей длины волны, а именно – до 0,5 нанометров. Таким образом, наиболее распространенный прибор МИИ–4 может быть использован для измерения высоты ступенек на поверхностях с невысоким, порядка 60% коэффициентом отражения. Более подробно методика измерений описана в работах [4-8].

Литература:

1.Тодуа П.А. Метрология в нанотохнологии // Российские нанотехнологии. 2007. Том 2, вып. 1-2. – С. 61-69.

2.Заблоцкий А.В., Батурин А.С., Бормашов В.С., Кадушников Р.М., Штуркин Н.А. Компьютерное моделирование растрового электронного микроскопа для целей нанометрологии // Российские нанотехнологии. 2007. Том 2, вып. 11-12. – С. 40–48.

3.Носков М.Ф. Повышение чувствительности оптико-физических измерений путем нелинейной обработки изображений: автореф. дис. на соиск. учен. степени д.т.н. / Сибирская государственная

геодезическая академия. Новосибирск, 2007.

4. Носков М.Ф. Выделение экстремумов интерференционных картин в реальном масштабе времени // Современные наукоемкие технологии, – 2013. – № 12. – С. 151-153.

5. Носков М.Ф. Повышение отношения сигнал/шум при создании высокочувствительных интерференционных детекторов гравитационных волн // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 7. – С. 78-79.

6. Носков М.Ф., Петров П.И. Способ выделения границ интерференционных полос при фотографической регистрации интерференционных картин // Современные наукоемкие технологии. – 2007. – № 6. – С. 98-99.

7. Патент РФ № 20051361728, 21.11.2005. Носков М.Ф. Способ наблюдения многолучевой интерференционной картины в отраженном свете при помощи интерферометра Фабри-Перо // Патент России №2302612. 2007. Бюл. № 25.

8. Носков М.Ф. Повышение чувствительности оптико-физических измерений путем нелинейной обработки изображений: дис…докт. техн. наук. – Новосибирск: СГГА, 2007. – С. 127-135.

References:

1.Todua P.A. Metrologiya v nanotohnologii // Rossiyskie nanotehnologii. 2007. Tom 2, vyip. 1-2. – S. 61-69.

2.Zablotskiy A.V., Baturin A.S., Bormashov V.S., Kadushnikov R.M., Shturkin N.A. Kompyuternoe modelirovanie rastrovogo elektronnogo mikroskopa dlya tseley nanometrologii // Rossiyskie nanotehnologii. 2007. Tom 2, vyip. 11-12. – S. 40–48.

3.Noskov M.F. Povyishenie chuvstvitelnosti optiko-fizicheskih izmereniy putem nelineynoy obrabotki izobrazheniy: avtoref. dis. na soisk. uchen. stepeni d.t.n. / Sibirskaya gosudarstvennaya geodezicheskaya akademiya. Novosibirsk, 2007.

4. Noskov M.F. Vyidelenie ekstremumov interferentsionnyih kartin v realnom masshtabe vremeni // Sovremennyie naukoemkie tehnologii, 2013 . №2, vyip. 12. – S. 151-153.

5. Noskov M.F. Povyishenie otnosheniya signal/shum pri sozdanii vyisokochuvstvitelnyih interferentsionnyih detektorov gravitatsionnyih voln // Fundamentalnyie issledovaniya. 2007 . №7. – S. 78-79.

6. Noskov M.F., Petrov P.I. Sposob vyideleniya granits interferentsionnyih polos pri fotograficheskoy registratsii interferentsionnyih kartin // Sovremennyie naukoemkie tehnologii. 2007, №6, S.98-99.

7. Patent RF # 20051361728, 21.11.2005. Noskov M.F. Sposob nablyudeniya mnogoluchevoy interferentsionnoy kartinyi v otrazhennom svete pri pomoschi interferometra Fabri-Pero // Patent Rossii #2302612. 2007. Byul. # 25.

8. Noskov M.F. Povyishenie chuvstvitelnosti optiko-fizicheskih izmereniy putem nelineynoy obrabotki izobrazheniy: dis…dokt. tehn. nauk. – Novosibirsk: SGGA, 2007. – S. 127-135.