

07

©1993

## ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ФАЗОВЫЙ ГЕТЕРОДИННЫЙ МИКРОСКОП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКОГО МОДУЛЯТОРА

*Д.В.Баранов, Е.М.Золотов, К.К.Свидзинский*

Развитие оптической технологии и микроэлектроники требует разработки и создания новых прецизионных устройств бесконтактной диагностики поверхности. Для анализа неоднородностей оптических и биологических объектов в последнее время успешно используются дифференциальные фазоконтрастные микроскопы на основе различных схем гетеродинных интерферометров [1-4]. В таких микроскопах сигнальный и опорный пучки освещения сдвинуты по частоте друг относительно друга и фокусируются на исследуемую поверхность в виде двух пятен, разнесенных на расстояние, сравнимое с их размерами. Отраженный от объекта свет содержит информацию о приобретенной разности фаз, обусловленной геометрическим рельефом или неоднородностью коэффициента отражения поверхности исследуемого материала. Латеральное разрешение микроскопа зависит от размера пятен и расстояния между ними на объекте. Что касается разрешения по глубине, то оно определяется фазовой чувствительностью прибора, теоретическая величина которой может достигать  $10^{-4}$  градуса. На практике фазовая чувствительность микроскопа составляет  $0.1 \div 1^\circ$  и обусловлена шумами электронных схем, фотодетекторов, а также вибрацией оптических деталей микроскопа. Основным элементом гетеродинного интерференционного микроскопа является акустооптическая ячейка, расщепляющая падающий пучок на две компоненты со смещенными частотами. Обычно такая система характеризуется сравнительно большой протяженностью и виброчувствительностью, что ограничивает разрешающую способность микроскопа. Кроме того, применение акустооптического дефлектора предъявляет повышенные требования к стабильности частот сигналов управления ячейкой.

Настоящая работа была выполнена с целью продемонстрировать возможность создания компактного лазерного гетеродинного микроскопа, в котором брегговская акустооптическая ячейка заменена интегрально-оптической схемой разветвления и модуляции света. От такой схемы следует ожидать меньшей чувствительности к вибрациям

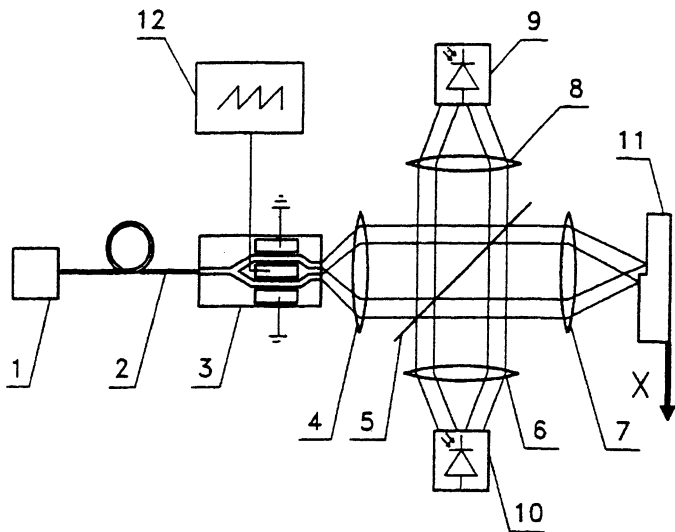


Рис. 1. Оптическая схема микроскопа: 1 — He-Ne лазер, 2 — одномодовое волокно, 3 — интегрально-оптический разветвитель, 4 — 20-кратный объектив, 5 — полупрозрачное зеркало, 6, 8 — линза, 7 — 40-кратный объектив, 9, 10 — фотодиод, 11 — исследуемая поверхность, 12 — генератор пилообразного напряжения.

и температурным перепадам. Кроме того, в интегрально-оптическом модуляторе частота модуляции и управляющее напряжение могут быть значительно снижены.

В нашем случае на базе интерференционного микроскопа Ливника была построена схема балансного интерферометра Маха-Цендера, представленная на рис. 1. В качестве модулятора-разветвителя использовалась структура, изготовленная на основе канальных Ti-диффузных волноводов в ниобате лития и представляющая собой Y-разветвитель с плавным сведением выходных каналов на интервал  $d \approx 7$  мкм. Излучение от He-Ne лазера ( $\lambda = 0.63$  мкм) вводилось в структуру через сохраняющую поляризацию одномодовое волокно, жестко состыкованное с интегрально-оптической схемой. Волноводы поддерживали основную моду как TE-, так и TM-поляризации. Суммарные оптические потери в модуляторе с учетом потерь на стыковку с волокном составляли 10 дБ для обеих поляризаций. Оптическая система, состоящая из двух объективов, фокусировала вышедшее из модулятора излучение на исследуемую поверхность в виде двух пятен размером 1.7 мкм и расстоянием между центрами 3.5 мкм. Отраженные от поверхности лучи фокусировались на сигнальный фотоприемник. Для осуществления частотного сдвига между каналами Y-разветвителя на электроды модулятора по-

давалось пилообразное напряжение с частотой  $f = 100$  кГц и амплитудой  $U = 2V_{\pi}^{\text{TE, TM}}$  [5], где  $V_{\pi}^{\text{TE, TM}}$  — напряжение на электродах, при котором разность фаз между оптическими волнами в каналах изменяется на  $180^\circ$  для ТЕ- и ТМ-поляризации соответственно. В нашем случае эти напряжения составляли:  $V_{\pi}^{\text{TE}} = 2$  В,  $V_{\pi}^{\text{TM}} = 6$  В.

Фаза основной гармоники переменного сигнала, снимаемого с сигнального фотоприемника, несет информацию о разнице оптических путей двух волн освещения, сфокусированных на исследуемую поверхность. Для определения этой фазы, изменение которой связано только с геометрическим или фазовым профилем поверхности, нами применялось синхронное детектирование с опорным сигналом, снимаемым с фотоприемника 9 (см. рис. 1). В этом случае измеряемая разность фаз  $\Delta\varphi$  между сигналами фотоприемников 9 и 10 должна соответствовать только изменению профиля поверхности, все другие фазовые добавки, накопленные одной из волн освещения относительно другой до полупрозрачного зеркала 5, должны полностью компенсироваться. Этот факт подтверждается в проведенном эксперименте, когда разность фаз  $\Delta\varphi$  имела практически стабильное значение при неподвижном образце (шумы составляли  $\approx 0.1^\circ$ ) как для ТМ-, так и для ТЕ-поляризации, хотя при использовании последней в волноводах модулятора начинает проявляться (особенно при больших оптических мощно-

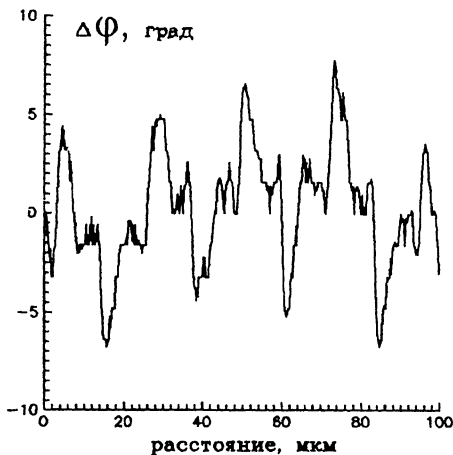


Рис. 2. Результат сканирования периодической структуры со ступенчатым профилем. По вертикальной оси отложена разность фаз между двумя волнами освещения, сфокусированными на поверхность структуры.

стях) фоторефрактивный эффект, случайным образом меняющий фазы волноводных мод в каналах модулятора. Следует отметить, что использование ТЕ-поляризации, которое дает преимущество по управляющему напряжению примерно в 3 раза, не всегда целесообразно, поскольку ввод в модулятор большой оптической мощности может привести к необратимому разрушению волноводной структуры.

Сканирование образца вдоль оси  $X$  осуществлялось прецизионным микропозиционером с шагом 0.2 мкм. Скорость перемещения составляла около одного шага в секунду. На рис. 2 приведен результат сканирования решетки на золотом зеркале с периодом 22 мкм, шириной вытравленного штриха 11 мкм и глубиной 10 нм. Как видно из рисунка, шумы при движении составляют более  $1^\circ$ , что скорее всего связано с несовершенством механического перемещения исследуемого образца. Улучшение этой части нашего микроскопа позволит добиться повышения его разрешающей способности.

Дальнейшие наши исследования будут связаны с анализом влияния параметров интегрально-оптической схемы на характеристики микроскопа. В нашем случае волноводы на выходе модулятора расположены довольно близко друг к другу, что обуславливает оптическую связь между ними. Этот факт не может не отразиться на изменении чувствительности прибора. С другой стороны, значительное разнесение волноводов уменьшит латеральное разрешение микроскопа.

Таким образом, нами показана возможность использования интегрально-оптического модулятора-делителя вместо акустооптической ячейки в двухчастотной гетеродинамической схеме конфокального микроскопа. Это позволяет существенно уменьшить габариты прибора, снизить управляющее напряжение и частоту, что в дальнейшем должно привести к значительному повышению помехозащищенности микроскопа.

В заключение авторы выражают благодарность А.А.Пелехатому, Р.Ф.Тавлыкаеву и Р.Г.Тагиеву за помощь, оказанную на начальной стадии выполнения работы.

#### Список литературы

- [1] See C.W., Vaez Iravani M., Wickramansinghe H.K. // Appl. Opt. 1985. V. 24. N 15. P. 2373-2379.
- [2] Chung H., Walpita L.M., Chang W.S.C. // Appl. Opt. 1986. V. 25. N 18. P. 3014-3017.
- [3] See C.W., Appel R.K., Simekh M.G. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 53. N 1. P. 10-12.
- [4] Золотов Е.М., Пелехатый В.М., Свидзинский К.К., Тагиев Р.Ф. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 3. С. 54-58.
- [5] Johnson L.M., Cox C.H. // J. Lightwave Techn. 1988. V.6. N1. P.109-112.

Институт общей физики РАН,  
Москва

Поступило в Редакцию  
7 июля 1993 г.