

07; 12

© 1991

ИЗМЕРЕНИЕ СМЕЩЕНИЙ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ  
СПЕКЛ-ФОТОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ЭЛЕМЕНТОВ ВОЛОКОННОЙ ОПТИКИЮ.А. Б ы к о в с к и й, Ю.Н. К у л ь ч и н,  
А.И. Л а р к и н, М.В. М а р ч е н к о,  
В.Л. С м и р н о в, В.Н. С о р о к о в и к о в

Метод спекл-фотографии благодаря простоте экспериментальной реализации и легкости интерпретации результатов успешно применяется в настоящее время для измерения перемещений, деформаций, вибраций, поворотов тел и т.д. [1-3]. Кроме того, к данному методу предъявляются менее жесткие требования механической стабильности, чем, например, к методу голографической интерпретации, который также используется для измерения изменений положения тела. Однако в ряде случаев практическое применение метода спекл-фотографии затруднено. Эти трудности могут быть связаны, например, как с плохой отражательной способностью поверхности некоторых тел, так и с потерями мощности рассеянного поверхностью излучения при проведении дистанционных измерений [1, 3, 7]. В то же время известно, что при распространении когерентного излучения в многомодовых волоконных световодах (ВС) на их выходе наблюдается характерная спекл-картина [4]. Излучаемая из ВС волна может быть легко сколламирована градиентными цилиндрическими линзами (ГЦЛ). При этом сами ВС и ГЦЛ обладают малыми массами и размерами, а излучение по волоконным световодам может передаваться на значительные расстояния без заметного ослабления. Поэтому, если ВС закрепить на поверхности изучаемого объекта, можно проводить метрологические измерения методом спекл-фотографии, и, кроме того, это позволит вынести устройство регистрации спекл-картин из технологической зоны.

Целью настоящей работы явилось исследование особенностей использования многомодовых ВС и составных волоконных трактов при измерении смещений объектов методом спекл-фотографии.

При смещении объекта в вертикальном направлении на величину  $\Delta$  относительная фаза каждой отдельной волны, участвующей в образовании отдельного спекла, остается неизменной. В этом случае картина спеклов также переместится на величину  $\Delta$ . Для измерения этой величины в плоскости регистрации дважды экспонируют фотопластинку: до и после смещения объекта. После проявления на фотопластинке получается спекл-структура, состоящая из пар сдвинутых относительно друг друга идентичных спеклов. Фурье-спектр от полученной таким образом спеклограммы будет состоять из яркого

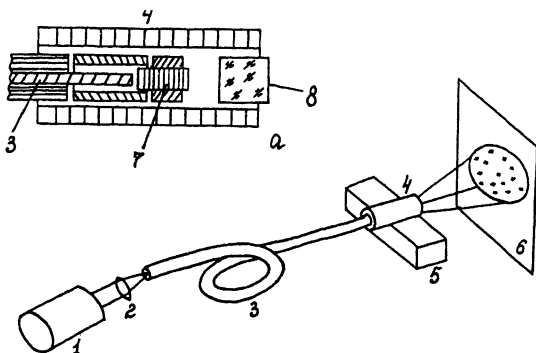


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для измерения смещений объектов с использованием волоконных световодов. а - сечение составного волоконного тракта.

центрального пятна и спекл-фона, промодулированного интерференционными полосами типа полос Юнга. Между смещением объекта и периодом интерференционных полос, как известно, существует однозначное соответствие [1-3]. В нашем случае смещение объекта может быть рассчитано по формуле

$$\Delta = \frac{\lambda F}{\Lambda}, \quad (1)$$

где  $F$  - фокусное расстояние Фурье-объектива,  $\Lambda$  - период интерференционных полос. Контраст полос может быть оценен из соотношения

$$c = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}, \quad (2)$$

где  $I_{max}$ ,  $I_{min}$  - значения интенсивности первых максимума и минимума в интерференционной картине. Нижний предел измерений смещений ограничен требованием, чтобы смещение превосходило  $0.8 \sigma$ , где  $\sigma$  - размер спеклов на спеклограмме [6]. Верхний предел измеряемых смещений определяется размером области корреляции двух идентичных спекл-структур [3].

На рис. 1 приведена схема экспериментальной установки для измерения смещений объектов с использованием волоконных световодов. Излучение  $He-Ne$  лазера 1 с длиной волны  $\lambda = 0.63$  мкм микрообъективом 2 вводится в ВС 3, выходной конец которого закрепляется на поверхности исследуемого объекта 5. Размер спеклов в плоскости регистрации спеклограммы 6 определяется диаметром

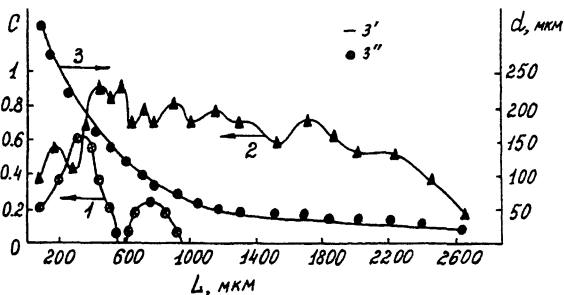


Рис. 2. Зависимость изменения контраста интерференционных полос от величины смещения объекта в случае использования многомодового кварцевого волокна (кривая 1) и составного волоконного тракта (кривая 2); величина смещения от периода интерференционных полос (кривая 3: 3' - расчет, 3'' - эксперимент).

сердцевины световода ( $2a$ ), длиной волны излучения и расстоянием до плоскости регистрации ( $L$ ) [1-5].

Для измерений смещений объектов в работе первоначально использовались многомодовые кварцевые волокна с диаметром сердцевины  $2a=200$  мкм и длиной 1.5 м. Запись спеклограммы производилась на расстоянии 30 мм от выходного торца ВС, что обеспечивало средний размер спеклов на спеклограмме  $\sim 100$  мкм. На рис. 2 (кривая 1) приведена зависимость изменения контраста интерференционных полос от величины смещения объекта. Как видно, в данном случае зависимость носит периодический характер, причем максимум наблюдается при смещениях объекта на величину размера области корреляции для используемой спекл-структуры. Минимальное смещение, при котором наблюдается образование интерференционных полос, равно  $\sim 90$  мкм, что хорошо согласуется с результатами работы [6].

Поскольку многомодовые волоконные световоды по сути представляют собой многолучевые интерферометры, обладающие высокой чувствительностью к внешним механическим воздействиям и вибрациям [8], это способно приводить к декорреляции спекл-картин, не вызванных смещением объекта. Поэтому в работе был использован составной волоконный тракт, сечение которого показано на рис. 1, а. Он состоял из одномодового ВС длиной 2.5 м, по которому излучение от лазера подводилось к отрезку многомодового градиентного ВС 7 длиной 1.5 см и диаметром сердцевины  $2a=140$  мкм. На выходе из ВС размещалась ПЛ 8 с диаметром 1.6 мм, используемая для коллимирования выходящего излучения. Все элементы согласовывались в стеклянных капиллярах и заклеивались для создания монолитного узла 4. Размеры спеклов в плоскости регистрации при этом находились в пределах от 150 до 500 мкм, что, согласно [4, 5], обусловлено неоднородным возбуждением градиентного многомодового ВС и использованием ПЛ. При таких условиях наблю-

дается значительный разброс интенсивностей спеклов. Спектральный анализ изображения полученной спекл-структуры показал, что определяющей структурой изображения является группа спеклов со средним размером  $\sim 250$  мкм. На рис. 2 (кривая 2) приведена измеренная для данного узла зависимость изменения контраста интерференционных полос. Как видно, нижний предел измерений соответствует 100 мкм, что также согласуется с результатами, приведенными в [6]. Ход зависимости носит осциллирующий характер, в котором проявляется корреляция групп спеклов с различными размерами при различных смещениях. По этой же причине не происходит падение контраста интерференционных полос до нуля. Верхний предел измерений смещений достигает значения 3 мм, что существенно превосходит значения, достигнутые с использованием только многомодового ВС. Такое поведение зависимости, по-видимому, обусловлено тем, что наиболее представительная группа спеклов со средним размером  $\sim 250$  мкм сохраняет корреляцию всей группы даже при значительных смещениях. Спеклы других размеров при этом выступают здесь как центры дифракционного рассеяния, что приводит к некоторому размытию полос, и как следствие падению их контраста при больших смещениях. Внешние воздействия на одномодовый ВС не приводили к изменениям в спекл-картине.

На рис. 2 (кривая 3) приведена рассчитанная по (1) и полученная экспериментально для случая составного волоконного тракта зависимость величины смещения от периода интерференционных полос. Как видно, наблюдается хорошее согласие расчетных и экспериментальных данных.

Таким образом, многомодовые ВС могут быть использованы для измерения смещений объектов с плохой отражательной способностью методом спекл-фотографии в диапазоне от нескольких десятков до сотен микрометров. Применение составных волоконных трактов позволяет, во-первых, расширить диапазон производимых измерений до нескольких миллиметров. Во-вторых, обеспечивает механическую стабильность системы, что предоставляет возможность для проведения измерений в сложных условиях.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Ф р а н с о н М. Оптика спеклов. М.: Мир, 1980. 171 с.
- [2] В е с т Ч. Голографическая интерферометрия. М.: Мир, 1982. 504 с.
- [3] К л и м е н к о И.С. Голография сфокусированных изображений и спекл-интерферометрия. М.: Наука, 1985. 224 с.
- [4] А б д у л а е в С.С., З а с л а в с к и й Г.М. // Квантовая электроника. 1987. Т. 14. № 7. С. 1475-1484.
- [5] Д а р с к и й А.М., М а р к о в В.Б. // Оптика и спектроскопия. 1988. Т. 65. № 3. С. 661-665.
- [6] М о s l e h y F.A., R i s e S.L., E l m i S. // Phys. lett. 1989. V. 13. N 3. P. 576-579.

- [7] Junhu M., Meiron G. // SPIE, Photo-mechanics and speckle metrology. 1987. V. 814. P. 136-140.
- [8] Волоконная оптика и приборостроение / Под ред. Бутусова М.М. Л.: Машиностроение, 1987. 328 с.

Поступило в Редакцию  
30 октября 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 2

26 января 1991 г.

Об.1

© 1991

### МОЛЕКУЛЯРНО-ПУЧКОВАЯ ЭПИТАКСИЯ (МПЭ) $GaAs$ НА $Si$ (001) ПОВЕРХНОСТИ, НАСЫЩЕННОЙ ВОДОРОДОМ

В.Г. Антипов, С.А. Никишин,  
Д.В. Синявский

Снижение температуры прогрева кремниевой подложки перед гетероэпитаксией в системе  $GaAs/Si$  является одной из задач, на решение которой направлены исследования последних лет. Применение химической обработки, обеспечивающей образование дигидридной поверхностной фазы кремния [1, 2], по-видимому [3], является одним из путей решения указанной задачи.

В данной работе приведены результаты по МПЭ арсенида галлия на кремнии без использования традиционного [4, 5] высокотемпературного ( $\geq 750$  °С) прогрева подложки непосредственно перед ростом.

Применялись стандартные  $Si$  подложки, ориентированные в направлении  $[100]$  с точностью не хуже  $(\pm 20)'$ . Предварительная химическая обработка подложек, аналогичная [2, 6], сводилась к следующей последовательности: 1) отмывка в толуоле и ацетоне; 2) окисление в кипящей  $HNO_3$ ; 3) травление в  $HF$ ; 4) формирование тонкого окисла в смеси  $HCl + H_2O_2 + H_2O$ ; 5) отмывка в воде. Операции 3 и 4 повторялись несколько раз. После отмывки в воде подложка помещалась в тефлоновый держатель, установленный на центрифуге, обеспечивавшей скорость вращения более 1000 об/мин. Во время сушки подложки на ее поверхность периодически подавались капли раствора плавиковой кислоты в этиловом спирте. Применение аналогичной обработки по данным [2] обеспечивает образование на поверхности подложки защитной фазы дигирида кремния.

Затем подложка на молибденовом держателе передавалась в камеру накопления образцов установки МПЭ ЭП-1301, в которой поддерживалось давление не более  $(5-7) \cdot 10^{-8}$  Па.