

Третий вид туннельных рекомбинаций аналогичен предыдущему, но связан с центрами захвата, ответственными за пик ТСЛ с температурой максимума 220 К, т. е. он характерен для образцов 2 типа (см. рисунок, кривые 2). Как и в предыдущем случае, кинетика затухания ТЛ при постоянной температуре не зависит от ее величины (исследовавшийся диапазон 78–180 К), от температуры предшествующего возбуждения (100–210 К) и его длительности. Спектральный состав туннельного послесвечения в образцах типа 2 характерен для введенного РЗИ.

Общим для всех трех видов туннельных процессов является то, что они происходят в основном или полностью в парах, образованных в период облучения. Последующая термоактивированная диффузия одного из компонентов проявляется в двух различных эффектах. Во-первых, интенсивность туннельной фосфоресценции, связанной с центрами захвата, ответственными за пики ТСЛ 220 и 273 К, возрастает после частичного отжига этих пиков. Во-вторых, ускорение затухания вспышки с понижением температуры хранения может быть понято, видимо, лишь в предположении, что рост температуры способствует диссоциации созданных в период возбуждения туннельно связанных донорных и акцепторных центров.

Таким образом, описанные туннельные процессы происходят в ассоциированных парах центров. Наличие туннелирования дает возможность качественно оценить долю таких близких пар. Влияние длительного высвечивания ТЛ при 78 К на светосумму пиков ТСЛ с температурами максимумов около 273 и 220 К зависит от концентрации примесей и условий синтеза, однако, как правило, понижение светосуммы не превышает 10%. В заметно большей степени ассоциированы центры, ответственные за вспышку, с центрами, обуславливающими исчезновение значительной доли светосуммы вспышки при хранении в темноте. В целом оказывается, что близкое взаиморасположение между донорными и акцепторными микродефектами, ответственными за накопление и высвечивание световой энергии в вольфрамате кальция, осуществляется не столь часто, чтобы претендовать на роль основного фактора при объяснении механизма свечения.

#### Литература

- [1] А. М. Гурвич, В. Б. Гутан, А. А. Михалёв. В сб.: Тр. ВНИИлюминофоров «Люминесцентные материалы и особо чистые вещества», вып. 12, 30. Ставрополь, 1975.
- [2] А. М. Гурвич. Изв. АН СССР, сер. физ., 45, 283, 1981.
- [3] M. Sauer, A. D. Sonder. Canad. J. Phys., 47, 463, 1969.
- [4] G. Born, A. Hofstaetter, A. Scharmann, G. Schwarz. J. Luminesc., 12, 641, 1970.
- [5] H. A. Koehler, C. Kikuchi. Phys. St. Sol. (b), 43, 423, 1971.
- [6] О. В. Кононов. ЖПС, 21, 644, 1974.
- [7] Ш. А. Вахидов, Э. М. Гасанов, В. Г. Габриелян. Изв. АН УзССР, сер. физ.-мат., 6, 68, 1972.
- [8] И. Г. Капленов. В сб.: Тр. ВНИИлюминофоров «Люминесцентные материалы и особо чистые вещества», вып. 14, 23, Ставрополь, 1976.
- [9] А. А. Михалев, Б. Н. Мелешкин, И. Г. Капленов, Л. П. Подсадная. Изв. АН СССР, сер. физ., 38, 1151, 1974.

Поступило в Редакцию 25 февраля 1982 г.

УДК 535.317.1

Опт. и спектр., 55, вып. 4, 1983

## ГЕТЕРОДИННАЯ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ

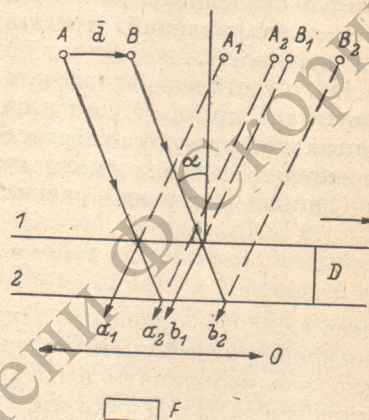
И. М. Нагибина и В. В. Хопов

Основным преимуществом гетеродинной голографической интерферометрии [1] является высокая точность измерения деформаций диффузно отражающих объектов. Очевидно, развитие этого принципа на область спекл-интер-

ферометрии позволит совместить высокую точность гетеродинной интерферометрии и простоту регистрации интерферограмм.

Частота колебаний одной из интерферирующих волн, рассеянной спекл-фотографией, может быть изменена с помощью интерферометра сдвига [2], состоящего из двух параллельных дифракционных решеток, перемещающихся друг относительно друга в направлении, перпендикулярном штрихам. Решетки идентичны, и штрихи их параллельны. При этом спекл-фотография регистрируется по схеме с маскированной апертурой [3]. При записи спекл-фотографии необходимо между экспозициями переместить фотопластинку на определенную величину, фиксируя направление перемещения.

На рисунке изображена оптическая схема описываемого устройства. Дифракционные решетки 1 и 2 строят две пары мнимых изображений соответственных элементов спекл-структуры  $A$  и  $B$ , которые были перемещены на величину  $d$ . Для определенности положим, что направление смещения фотопластинки параллельно прямой, соединяющей центры диафрагм маскированной апертуры объектива.



$A, B$  — соответственные элементы спекл-интерферограммы, 1, 2 — дифракционные решетки (штрихи перпендикулярны плоскости чертежа),  $A_1, A_2, B_1, B_2$  — мнимые изображения точек  $A$  и  $B$ , построенные дифракционными решетками 1, 2,  $\alpha$  — угол Брэгга для решеток,  $D$  — расстояние между решетками,  $a_1, a_2, b_1, b_2$  — соответственные лучи, распространяющиеся из точек  $A_1, A_2, B_1, B_2$ ,  $\vec{d}$  — вектор смещения спекл-интерферограммы между экспозициями (ориентирован перпендикулярно штрихам решеток и находится в плоскости фотопластинки), стрелкой указано направление движения решетки 1.  $O$  — объектив,  $F$  — фотоприемник.

Можно показать, что при выполнении условия

$$d = \frac{2D \sin \alpha}{\cos \alpha}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  — угол Брэгга для решеток 1 и 2,  $D$  — расстояние между решетками, точки  $A_2$  и  $B_1$  совпадут в пространстве. В плоскости фотоприемника  $F$  наблюдаются интерференционные полосы, образованные соответственными элементами  $A_2$  и  $B_1$ . Полосы, образованные точками  $A_1$  и  $B_2$ ,  $A_1$  и  $A_2$ ,  $B_1$  и  $B_2$ ,  $A_2$  и  $B_2$ ,  $A_1$  и  $B_1$ , локализируются вне плоскости изображения спекл-фотографии и не регистрируются фотоприемником.

Если дифракционная решетка 1 перемещается в направлении, указанном на рисунке стрелкой, то частоты лазерного излучения, распространяющегося от источников  $A_2$  и  $B_1$ , будут отличаться на величину

$$f = \frac{v}{T}, \quad (2)$$

где  $T$  — размер штрихов решеток,  $v$  — скорость движения решетки. Это означает, что описанная выше оптическая система позволяет реализовать принцип гетеродинной интерферометрии.

Сканирование по поверхности исследуемого объекта осуществляется перемещением спекл-фотографии относительно освещающего лазерного луча. Опорный сигнал, с которым сравнивается фаза интерференционных полос, формируется в результате регистрации нерассеянного фотопластинкой лазерного луча, также прошедшего через интерферометр сдвига.

Диапазон и погрешность измерений деформаций объекта можно оценить, используя выражение для разности фаз соответственных лучей, прошедших через интерферометр сдвига, с учетом непараллельности штрихов решеток (основная ошибка измерения определяется разъюстировкой штрихов решеток в процессе их относительного перемещения).

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \left[ -d(r_x + r_{0x}) + D(r_x + \sqrt{1 - (-2 \sin \alpha + r_x)^2 - r_y^2}) + 2 \sin \alpha y \theta - 2 \sin \alpha \frac{r_y}{r_z} (D + z) \theta \right]; \quad (3)$$

где  $r, r_0$  — единичные векторы, определяющие направление распространения соответственных лучей и освещающего света соответственно,  $y, z$  — координаты исследуемой точки на фотопластинке в системе координат, центр которой совмещен с осью относительного вращения решеток, ось  $Y$  параллельна штрихам неподвижной решетки,  $\theta$  — угол между штрихами решеток. Формула (3) выведена с точностью до членов второго порядка малости относительно  $\theta$ .

Для анализа диапазона измерения необходимо проинтегрировать (3) в некотором телесном угле, поскольку фотоприемник регистрирует излучение с различных направлений. При этом вместо  $D$  следует подставить его значение, определяемое (1).

Из теоретического расчета следует, что амплитуда сигнала снижается до уровня 0.5 при  $d=19$  мм и апертурном угле наблюдения 0.025 рад. Экспериментальная проверка работоспособности устройства производилась при наличии смещения объекта как целого до 7 мм и подтвердила теоретические предположения.

Ошибка измерения разности фаз опорного и исследуемого сигналов равна

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} 2 \sin \alpha r_y (D + z) \left( \frac{1}{r_{z\text{он}}} - \frac{1}{r_{z\text{с}}} \right) \theta, \quad (4)$$

здесь  $r_{z\text{с}}, r_{z\text{он}}$  — проекции векторов, определяющих направление распространения света, рассеянного и нерассеянного фотопластинкой. При выводе (4) учтено, что координаты исследуемой точки и положения опорного луча равны. При  $\sin \alpha = 0.25, D = 0.5$  мм,  $z = 50$  мм,  $r_y = 0.04, \theta = 10^{-3}$  рад,  $r_{z\text{он}} = 1, r_{z\text{с}} = 0.995, \Delta\varphi \approx 0.01$  2  $\pi$ .

Экспериментальное определение погрешности измерения производилось при наличии смещения объекта как целого порядка сотен микрометров. Было установлено, что устройство позволяет производить измерения с точностью до 1/30 доли интерференционной полосы.

Таким образом, метод позволяет не только реализовать преимущества гетеродинной интерферометрии при обработке спекл-фотографий, но и существенно расширить диапазон измерений по сравнению с традиционными методами.

#### Литература

- [1] R. Dändliker, B. Ineichen, F. M. Mottier. Opt. Commun., 9, 412, 1973.
- [2] P. Hariharan. Appl. Opt., 14, 2563, 1975.
- [3] D. E. Daffy. Appl. Opt., 11, 1778, 1972.

Поступило в Редакцию 7 июля 1982 г.

УДК 621.373 : 535 + 535.375

Опт. и спектр., 55, вып. 4, 1983

### МНОГОЦВЕТНЫЙ ВКР-ЛАЗЕР ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Р. В. Андреев, С. С. Гулидов, С. Б. Паперный, В. А. Серебряков  
и А. А. Тарасов

Для проведения исследований в области цветного голографического кино необходимы источники света, генерирующие импульсы одновременно на несколько длинах волн в видимой области спектра с частотой повторения до 30 Гц. Излучение таких источников должно обладать высокой пространственной и временной когерентностью для обеспечения записи голограмм протяженных объектов.