Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. LI, вып. 3, 1970 г.

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ РЕЗОЛЬВОМЕТРИЯ

Ю. И. Островский

В последние годы разработаны новые фотографические эмульсии и другие светочувствительные материалы для голографии с разрешающей способностью от сотен до нескольких тысяч линий на миллиметр. Для резольвометрического испытания таких эмульсий потребовались новые методы и соответствующие приборы, поскольку проекционные резольвометры непригодны для испытаний при пространственных частотах свыше 600—1000 линий на миллиметр.

Попытки использовать интерференционные полосы в качестве тест-объекта для резольвометрических испытаний делались и ранее [1], но они были мало эффективны из-за отсутствия в то время мощных источников достаточно когерентного излучения. Лишь позднее применение лазеров для интерференционной резольвометрии [6, 2] позволило получить на испытуемом фотослое высококонтрастные интерференционные полосы высокой яркости и тем самым удовлетворительно решить проблему испытаний эмульсий для голографии.

Пространственная частота ν интерференционных полос определяется, как известно, углами падения на испытуемый слой интерферирующих пучков света α_1 и α_2

$$\nu = \frac{\sin\alpha_1 + \sin\alpha_2}{\lambda}, \qquad (1)$$

где λ — длина волны.

При симметричном падении $\alpha_1 = \alpha_2$ и

$$\nu = \frac{2\sin\alpha}{\lambda}. \qquad (2)$$

Таким образом, максимально достижимая частота интерференционных полос, соответствующая $\alpha \to \frac{\pi}{2}$ (встречные пучки), равна $\frac{2}{\lambda}$, что для *He—Ne* лазеров с $\lambda = 633$ *нм* составляет около 3160 *лин/мм*. При интерференции пучков в среде с показателем преломления n предельная пространственная частота возрастает до $\frac{2n}{\lambda}$, т. е. для той же длины волны в желатине ($n \approx 1{,}5$) $\nu_{\text{пред}} = 4740$ *лин/мм*.

В настоящей работе рассмотрен ряд новых интерференционных резольвометрических схем и методов.

Резольвометр с зеркалом Ллойда [3] представлен на рис. 1. Пространственно когерентный пучок света от лазера расширяется телескопической системой до нужного сечения. Затем одна его половина падает на испытуемый фотослой непосредственно, а другая — после отражения от зеркала. Зеркало образует с испытуемым фотоматериалом прямой двугранный угол с ребром *O*, перпендикулярным оптической оси. Интерферирующие пучки света падают на фотоэмульсию симметрично

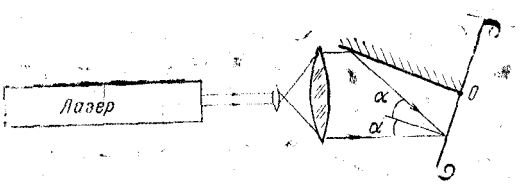


Рис. 1. Оптическая схема резольвометра с зеркалом Ллойда

под углом α, который можно плавно и непрерывно менять от 0 до 90°, поворачивая систему зеркало—фотослой вокруг оси *O*. При этом, в соответствии с формулой (2), пространственная частота интерференционных полос от нуля стремится к предельной $\frac{2}{\lambda}$. Для резольвометрического испытания эмульсии на приборе делается последовательный ряд снимков, соответствующих разным углам поворота системы и, следовательно, разным пространственным частотам интерференционных полос. Затем проявленная интерферограмма исследуется и определяется кадр, соответствующий предельно разрешимой частоте.

Интерференционные резольвометры со спектром пространственных частот. Эти приборы позволяют на одном кадре

за одну выдержку получить интерференционные полосы с дискретным или непрерывным спектром пространственных частот. При этом сокращается время испытаний и, главное, для всех частот автоматически стандартизуются условия получения резольвограммы и ее исследования. Один из таких резольвометров [4] содержит набор призм с разными преломляющими углами, каждая из которых образует участок резольвограммы со своей пространственной частотой, а вся резольвограмма содержит дискретный ряд пространственных частот.

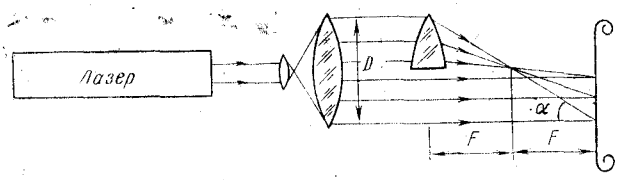


Рис. 2. Схема резольвометра с полулинзой

В ряде случаев более удобен прибор с непрерывным спектром пространственных частот (рис. 2). Часть расширенного пучка когерентного света падает на цилиндрическую полулинзу, другая — непосредственно на испытуемый фотослой, установленный на двойном фокусном расстоянии от линзы. Углы падения одного из пучков света на фотослой растут от одного края эмульсии к другому, а другой пучок на всем протяжении резольвограммы падает на нее нормально.

В соответствии с формулой (1) пространственная частота интерференционных полос меняется от нуля на оптической оси до

$$\nu_{max} = \frac{\sin \alpha_1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{\frac{D}{F}}{\sqrt{4 + \left(\frac{D}{F}\right)^2}}, \qquad (3)$$

где D — диаметр пучка; F — фокусное расстояние линзы.

В схеме, показанной на рис. 3, используются две цилиндрические полулинзы, поэтому меняется угол падения на фотослой не только одного, но и другого пучка. В результате предельная

пространственная частота полос при том же относительном отверстии $\left(\frac{D}{F}\right)$ линзы увеличивается вдвое. Для этого случая

$$\nu_{max} = \frac{2\sin\alpha}{\lambda} = \frac{2}{\lambda} \cdot \frac{\frac{D}{F}}{\sqrt{4+\left(\frac{D}{F}\right)^2}}. \qquad (4)$$

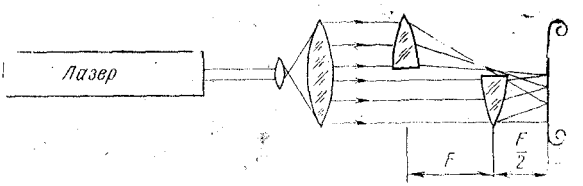


Рис. 3. Резольвометр с полулинзами, построенный по схеме симметричного падения

Кроме того, симметричное падение интерференционных пучков на любой участок резольвограммы приводит к тому, что плоскости узлов и пучностей стоячих световых волн располагаются в эмульсии нормально к ее поверхности. Известно, что эти плоскости содержат биссектрису угла, который составляют интерферирующие пучки. При таком расположении слоев почернения фотоэмульсия легче просматривается под микроскопом.

Резольвометр с изменяющимся контрастом интерференционных полос. Рассмотренные выше схемы получения интерференционных полос дают максимальный контраст, равный 1, поскольку интенсивности интерферирующих пучков по всему полю практически одинаковы, и там, где они встречаются в противофазе, происходит их полное гашение.

Схема, позволяющая получать на фотоэмульсии синусоидальный растр любого заданного контраста при непрерывном спектре пространственных частот [5], дана на рис. 4.

Пучок света от лазера падает на двупреломляющий цилиндрический объектив (исландский шпат—стекло). Оптическая сила последнего равна нулю для необыкновенных лучей ($n_e = 1{,}49$) и положительна для обыкновенных ($n_0 = 1{,}66$). В результате из объектива выходят цилиндрическая и плоская волны, поляризованные во взаимно перпендикулярных плоскостях. Поляризатор, установленный после

объектива, приводит обе волны к одной плоскости поляризации, причем соотношение их интенсивностей определяется его ориентацией относительно оптической оси кальцитовой линзы. При интерференции плоской и цилиндрической световых волн образуется синусоидальный растр с непрерывным спектром частот. Контраст интерференционных полос можно плавно менять вращением поляризатора вокруг оптической оси.

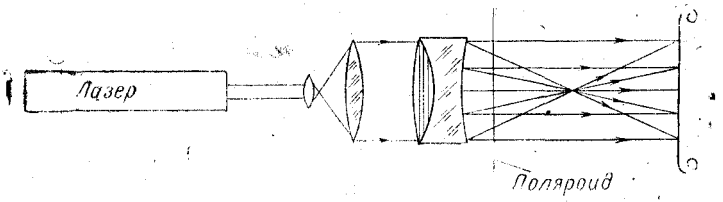


Рис. 4. Резольвометр с регулируемым контрастом полос

Резольвограмма как дифракционная решетка. Создаваемое в интерференционном резольвометре распределение освещенности на испытуемом фотослое имеет синусоидальный характер. Нелинейные свойства фотослоя приводят к тому, что распределение прозрачности в проявленной резольвограмме несколько отличается от синусоидального. Однако при правильном подборе экспозиции резольвограмму можно рассматривать как синусоидальную дифракционную решетку, которая не образует дифракционных порядков выше первого.

В работе [2] предложено судить о контрасте структуры резольвограммы по яркости создаваемых ею дифракционных порядков. Ориентировочно исследовать резольвограмму можно, рассматривая через нее яркую электрическую лампочку. Яркость дифракционных порядков, следуя ходу частотно-контрастной характеристики эмульсии, падает с увеличением пространственной частоты. Наличие дифракционных порядков свидетельствует о том, что данная частота разрешается фотослоем.

Для более детального исследования структурных свойств фотослоя необходимо измерять интенсивности нулевого и первого порядков, которые образует участок резольвограммы. По углу отклонения первых порядков определяется пространственная частота решетки, а отношение интенсивностей первого и нулевого порядков пропорционально контрасту структуры.

Увеличение пространственной частоты. Поскольку показатель преломления обычной фотоэмульсии составляет примерно 1,5, предельная пространственная частота интерференционной структуры оказывается в ней в 1,5 раза выше, чем в воздухе для тех же углов падения. Тем не менее, вследствие преломления света на границе воздух—эмульсия, пространственная частота полос и в воздухе, и в эмульсии оказывается одинаковой.

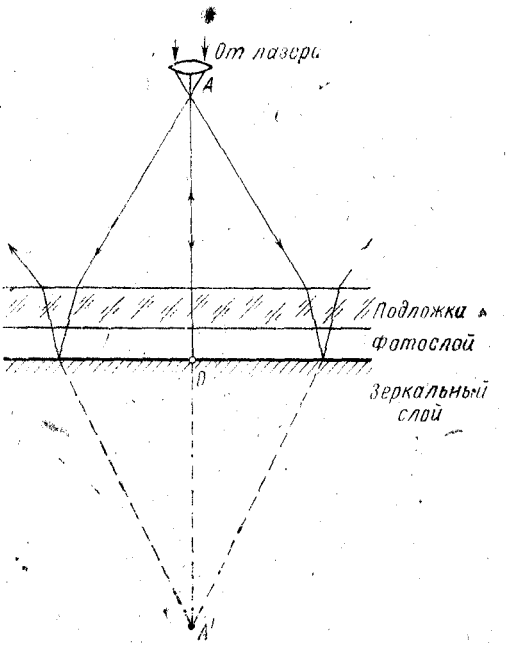


Рис. 5. Схема резольвометрического испытания фотоэмульсий при увеличенных пространственных частотах

Действительно, при переходе из воздуха в эмульсию длина волны уменьшается в 1,5 раза, но во столько же раз уменьшаются и синусы углов падения. Поэтому в соответствии с формулой (1) пространственная частота полос в эмульсии остается неизменной. Для преодоления указанной трудности интерферирующие пучки необходимо направлять с разных сторон фотослоя (например, по схеме рис. 5), аналогично

липпмановской схеме получения цветных фотографий с ртутным зеркалом. Поверхности пучностей стоячих световых волн имеют в этом случае форму гиперболоидов вращения с фокусами в точках A и A'. Пространственную частоту структуры можно вычислить по формуле

$$\nu = \frac{2\sqrt{n^2 - \sin^2\varphi}}{\lambda}. \qquad (5)$$

В центре O резольвограммы ($\varphi \approx 0$) пространственная частота структуры максимальна и равна $\frac{2n}{\lambda}$. Испытание резольвограммы можно производить, наблюдая восстановленные ею изображения.

В заключение необходимо отметить, что некоторые из рассмотренных в статье методов и приборов пригодны для определения разрешающей способности и частотно-контрастных характеристик не только фотослоев, но и некоторых оптических элементов, электронно-оптических преобразователей, микроскопов и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ащеулов А. Г., Хухрина М. Д. Интерференционная резольвометрия. «Успехи научной фотографии», т. 4, 1955.
2. Зайдель А. Н., Константинов В. Б., Островский Ю. И. Лазерная резольвометрия. Ж. научной и прикладной фотографии и кинематографии, т. 11, 1966.
3. Островский Ю. И. Интерференционный резольвометр. Авторское свид. № 199659. Бюлл. изобр. № 15, 1967.
4. Островский Ю. И. Интерференционный резольвометр. Авторское свид. № 212751. Бюлл. изобр. № 9, 1968.
5. Островский Ю. И. Интерференционный резольвометр. Авторское свид. № 212751. Бюлл. изобр. № 9, 1968.
6. Royer H. Comp. Rend. Acad. Sci., v. 261, 1965.