

самым улучшит степень однородности состава пленок, в ряде случаев может быть предпочтительнее других методов напыления благодаря своей технологичности.

Л и т е р а т у р а

- [1] Oh J.E., Lomb J.D., Shyder G., Paul, William J.A., Liu D.C. - Solid State Electronics, 1986, v. 29, N 9, p. 933-940.
- [2] Чайковский Э.Ф., Пузиков В.М., Розенберг Г.Х., Семенов А.В., Костенко А.Б. - Поверхность, 1985, № 9, с. 98-103.
- [3] Rompre W., Scheibe H.-J., Richter A., Bauer H.-D., Bewilogua K., Weissmantell C. - Thin Solid Films, 1986, v. 144, p. 77-92.
- [4] Быковский Ю.А., Дудолов А.Г., Козленков В.П. - Письма в ЖТФ, 1985, т. 11, в. 21, с. 1307-1311.
- [5] Быковский Ю.А., Сильнов С.М., Сотниченко Е.А., Шестаков Б.А. - ЖЭТФ, 1987, т. 93, в. 28, с. 500-508.
- [6] Федосеев Д.В., Новиков Н.В., Вишневский А.С., Теремичка И.Г. Алмаз. К.: Наукова думка, 1981. 75 с.
- [7] Иванова Н.Л., Голянов В.М., Долгий Д.И. ЖПС, 1984, т. 41, № 1, с. 134-138.

Московский инженерно-физический институт

Поступило в Редакцию
20 сентября 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 24

26 декабря 1988 г.

О ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ КОНТРАСТА ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ИХ НЕСТАЦИОНАРНОМ УСИЛЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ГОЛОГРАММАМИ

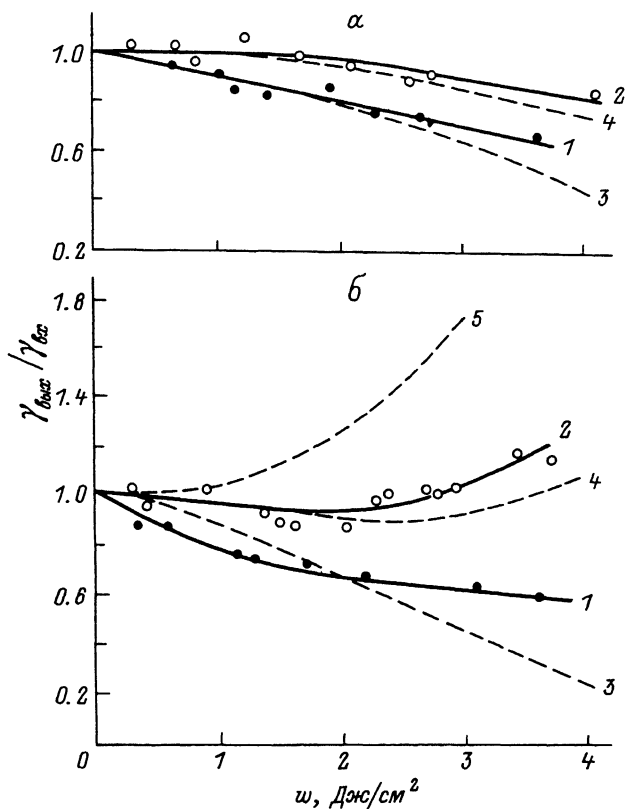
А.М. Березинская, А.М. Духовный

Возможность эффективного нестационарного взаимодействия между световыми пучками одинаковой частоты излучения в динамической голограмме (ДГ), записанной в нелинейной среде с локальным откликом, может приводить к существенному росту уровня шумов в преобразованном изображении и к снижению его контраста [1]. В этой связи представляет интерес выявление условий, при которых в процессе нестационарного усиления изображений не снижается или

увеличивается контраст последних. Рассмотрев процесс усиления диффузного светового пучка (объектный) в поле интенсивной плоской волны (опорный пучок) в среде с локальным откликом. Объектный пучок считаем состоящим из набора плоских волн, причем за шумовую волну (аналогично [1]) принимался наименьший по интенсивности компонент объектного пучка. Контраст изображения определялся как отношение интенсивностей наиболее интенсивного компонента объектного пучка I_1 к шумовой волне $I_{ш}$ ($\gamma = I_1/I_{ш}$). Для качественного рассмотрения скорости перекачки энергии из опорного в компоненты объектного пучка воспользуемся методом анализа системы связанных уравнений, описывающих процесс нестационарного усиления световых волн ДГ, основанном на оценке средней по глубине скорости движения интерференционной картины взаимодействующих пучков в начальный момент [2, 3]:

$$\bar{\omega}_k = \bar{\omega}_0 \left[1 - \frac{1}{M} \pm \left| \frac{\alpha'}{\alpha} \right| \cdot \frac{1}{M} (1 - \gamma_k) \right], \quad (1)$$

где $\bar{\omega}_k$ — средняя скорость движения интерференционной картины, образованной компонентом объектного и опорным пучками; $\bar{\omega}_0$ — средняя скорость движения интерференционной картины в случае взаимодействия двух плоских волн; M — отношение интенсивностей плоского и диффузного пучков; α и α' — коэффициенты нелинейной связи, ответственные за кросс- и интермодуляционное взаимодействие волн, γ_k — отношение интенсивностей k -го компонента объектного пучка ко всему пучку. Знак (+) в квадратной скобке соответствует случаю одинаковых знаков α и α' , а (-) необходимо употреблять при разнознаковости α и α' . В отличие от [3] в (1) учтено различие в интенсивностях компонентов объектного пучка. Как следует из (1) в случае одинаковых знаков α и α' с увеличением γ_k средняя скорость движения интерференционной картины снижается, следовательно менее интенсивные компоненты усиливаются в объектном пучке быстрее более интенсивных, что должно вести к снижению контраста усиливаемых изображений из-за опережающего роста интенсивности пространственных шумов. Однако картина резко меняется при различных знаках α и α' — здесь уже лучше усиливаются более интенсивные компоненты, что объясняется изменением направления нестационарной перекачки энергии в пределах объектного пучка, в то время как направление перекачки энергии из опорного в объектный пучок сохраняется в обоих рассматриваемых случаях. Направленность перекачки энергии из слабых в сильные компоненты объектного пучка означает, что в процессе преобразования объектного пучка ДГ отношение информационного излучения к шумовому должно увеличиваться, тем самым, обеспечивая повышение контраста преобразованного изображения. Такую направленность можно реализовать в нелинейных средах, у которых величина и знак нелинейности зависят от пространственной частоты решетки диэлектрической проницаемости. К ним относятся, например, среды с тепловой нелинейностью, у которых при больших углах схождения пучков θ , когда



Теоретическая (штриховая линия) и экспериментальная (сплошная линия) зависимости относительного изменения контраста изображения при его усилении ДГ в спирте (а) и ацетоне (б) от плотности энергии опорного пучка при $\alpha'/\alpha = 1$ (1.3); 0 (2.4-а); -0.3 (2.4-б); -1 (5) и $\gamma_1 = 10^{-2}$, $\gamma_2 = 1.25 \cdot 10^{-4}$.

звуковая волна успевает пробежать половину периода решетки за время действия импульса излучения и давление на периоде решетки Δ успевает выравняться, коэффициент нелинейной связи пропорционален температурному коэффициенту преломления $(\partial n / \partial T)_p$ при постоянном давлении, а при сравнительно небольших θ , когда звук не успевает распространиться на $\Delta / 2$ и коэффициент $\alpha \sim (\partial n / \partial T)_p$ при постоянной плотности [1]. Это позволяет создать ситуацию, когда кроссмодуляционные решетки формируются при $\rho = const$ и тогда $\alpha \sim (\partial n / \partial T)_p$, а интермодуляционные - при $\rho = const$

и $\alpha' \sim (\partial n / \partial T)_p$, что дает возможность не только изменять в широком диапазоне величину отношения α'/α , но и его знак [4]. Модельные эксперименты по усилению объектного пучка отражательной ДГ, состоящего из двух компонентов разной интенсивности, в условиях одно- и разнознаковости коэффициентов α и α' проводились в растворах красителей в этиловом спирте и ацетоне прозрачностью 40% при углах схождения попутных компонентов объектного пучка 1 и 3.5°. С учетом длительности импульсов записывающего ДГ излучения (30 нс) это давало значения $\alpha'/\alpha = 0.1$ в случае спирта и $\alpha'/\alpha = -0.3, 1$ в случае использования ацетона [6-8].

В качестве источника излучения для записи голограмм использовался одномодовый неодимовый лазер. В экспериментах измерялись коэффициенты усиления компонентов объектного пучка I_1 и I_ω , а затем сравнивались величины отношений I_1/I_ω на входе и выходе ДГ. Результаты экспериментального исследования $\gamma_{\text{вых}}/\gamma_{\text{вх}} = (I_1/I_\omega)_{\text{вых}}/(I_1/I_\omega)_{\text{вх}}$ от плотности энергии опорного пучка ω приведены на рисунке. Из рисунка следует, что в соответствие с приведенным выше качественным рассмотрением при однознаковости α' и α ($\alpha'/\alpha = 1$) в процессе усиления объектного пучка ДГ контраст γ снижается как в случае использования спирта, так и ацетона (кривые 1), при переходе к углу схождения пучков 1° (кривые 2) в случае спирта γ также снижается ($\alpha'/\alpha = 0$), хотя и менее быстро, в то время как в ацетоне ($\alpha'/\alpha = -0.3$) во всем исследованном диапазоне ω величина относительного контраста мало отличается от единицы или заметно ее превышает до значений $\gamma_{\text{вых}}/\gamma_{\text{вх}} = 1, 2$ и существенно превосходит величину $\gamma_{\text{вых}}/\gamma_{\text{вх}}$ в случае $\alpha'/\alpha = 1$. Результаты численного интегрирования системы уравнений, описывающих взаимодействие пучков неравной интенсивности в среде с тепловой нелинейностью для случая усиления объектного пучка с двумя компонентами и параметрами записи ДГ, соответствующими экспериментальным условиям (кривые 3, 4), а также при $\alpha'/\alpha = -1$ (кривая 5) показали удовлетворительное согласие с данными экспериментов. Недостаточно хорошее количественное согласие расчета и эксперимента для ацетона связано с тем, что при расчете отражательных голограмм не учитывалось самовоздействие пучков [5], определяемого величиной $\alpha'/\alpha = -0.3$. В спирте влияние самовоздействия на запись ДГ практически отсутствует из-за малости величины $\alpha'/\alpha = 0$. В целом из модельного рассмотрения процесса усиления диффузных пучков следует, что с уменьшением величины α'/α ухудшение контраста преобразованных изображений уменьшается, а при $\alpha'/\alpha < 0$ контраст остается практически неизменным или увеличивается по сравнению с исходным ($\gamma_{\text{вых}}/\gamma_{\text{вх}} \approx 1$), что должно приводить к подавлению шумов и возрастанию контраста изображений реальных объектов, усиливаемых ДГ. Проведенные эксперименты по усилению изображений объектов (диффузно рассеивающие стеклянные пластины, металлические сетки и т.п.) показали, что в этиловом спирте контраст преобразованных изображений снижается более чем в три раза,

в ацетоне мало отличается от исходного, а при использовании поглощающих газов в качестве среды для записи ДГ [9] контраст заметно увеличивается (до двух раз), что согласуется с развитыми выше представлениями.

Таким образом, для преобразования изображений с высоким контрастом и низким уровнем шумов динамическими голограммами в средах с локальным откликом целесообразно применять среды с противоположными знаками нелинейности для интер- и кроссмодуляционного взаимодействия пучков.

Л и т е р а т у р а

- [1] Березинская А.М., Духовный А.М., Стаселько Д.И. - ЖТФ, 1983, т. 53, № 3, с. 499-507.
- [2] Духовный А.М., Стаселько Д.И. - Письма в ЖТФ, 1982, т. 8, в. 16, с. 1009-1014.
- [3] Березинская А.М., Духовный А.М., Стаселько Д.И. - ЖТФ, 1983, т. 53, № 10, с. 1986-1994.
- [4] Ерохин А.И., Морачевский И.В., Файзуллов Ф.С. - ЖЭТФ, 1978, т. 74, № 4, с. 1336-1341.
- [5] Грозный А.В., Духовный А.М., Лещёв А.А. Сидорович В.Г., Стаселько Д.И. В сб.: Оптическая голография, Наука, Л., 1979, с. 92-121.
- [6] Стригун В.Л., Стаселько Д.И., Юрлова Л.А. - Изв. АН СССР, сер. физ., 1988, т. 52, № 3, с. 542-544.
- [7] Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. К.П. Мищенко и А.А. Равделя. Химия, Л., 1974, 200 с.
- [8] Ивакин Е.В. Мгновенные дифракционные решетки и некоторые вопросы нестационарной голографии. Канд. дисс., Минск, 1972.
- [9] Березинская А.М., Духовный А.М., Стаселько Д.И. - Письма в ЖТФ, 1985, т. 11, в. 15, с. 905-908.

Поступило в Редакцию
28 октября 1988 г.