

07

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САМОДИФРАКЦИИ ДЛЯ АКТИВНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО ПОЛЯ ПРИ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ В БИХРОМИРОВАННОЙ ЖЕЛАТИНЕ

Е.В. К а л я ш о в, М.В. Т ю т ч е в

При записи голограмм применяется активная стабилизация интерференционного поля ИП), которая заключается в автоматической компенсации случайной нестабильности разности фаз опорного и объектного пучков с помощью фазового корректора и цепи отрицательной обратной связи (ОС). Для получения сигнала коррекции в схему записи обычно вводятся дополнительные оптические элементы, формирующие вспомогательную интерференционную картину с низкой пространственной частотой: интерферометры, вспомогательные голограммы, микрообъективы, которые вносят в нее собственные нестабильности, что приводит к формированию ложных корректирующих сигналов. Для устранения этого недостатка в [1] было предложено для формирования сигнала обработки использовать метод непрерывной записи-считывания двумя пучками (метод самодифракции на первичной голографической структуре) в фазовых регистрирующих средах при фазовой модуляции одного из пучков. В случае голографической записи в такой регистрирующей среде, как слой бихромированной желатины (БХЖ) происходит формирование так называемого скрытого изображения (СИ) [2], которое при типичных для получения стационарных голограмм величинах влагосодержания слоя $W = 0 \dots 15\%$ имеет амплитудный характер [3, 4]. Поэтому представляло интерес провести анализ сигнала самодифракции в регистрирующей среде с амплитудным механизмом записи СИ при наличии вспомогательной фазовой модуляции одного из записываемых пучков и исследовать возможность использования этого сигнала для активной стабилизации ИП.

Рассмотрим взаимодействие записываемой объемной амплитудной решетки с двумя плоскими волнами R_0 и S_0 с волновыми векторами, лежащими в плоскости XZ , падающими симметрично относительно нормали (направленной по оси Z) под углами Брэгга θ и образующими ИП, имеющее тот же период, что и решетка, но сдвинутое по фазе относительно ее на величину ϕ в направлении оси X . Предположим, что время записи решетки СИ много больше характерного времени изменения величины ϕ . Тогда решетку можно считать стационарной. Проводя анализ с теми же допущениями, что и в работе [5], но с другими граничными условиями: $R_0 = R(0)\sqrt{I}$; $S_0 = S(0)\sqrt{I} \exp(i\phi)$ (где $I = |R_0|^2 = |S_0|^2$), получим следующее выражение для интенсивности света, прошедшего ам-

плитудную решетку (например, в направлении распространения S -волны):

$$I_s = \exp\left(\frac{-2\alpha_0}{\cos\theta}\right) \cdot [I + I \cdot \gamma_\alpha - 2 \cdot I \cdot \sqrt{\gamma_\alpha} \cdot \cos\varphi], \quad (1)$$

где $\gamma_\alpha = sh^2 \frac{\alpha_1 \cdot L}{2 \cos\theta}$, α_0 – среднее значение коэффициента поглощения среды, α_1 – величина модуляции коэффициента поглощения, L – толщина решетки. Для регистрирующей среды с локальным откликом и при наличии вспомогательной слабой фазовой модуляции одного из пучков по гармоническому закону $\varphi_d \cdot \sin \Omega t$ (где $\varphi_d \leq \frac{\pi}{20}$, Ω – частота модуляции), величину φ можно представить в виде $\varphi = \varphi + \varphi_d \cdot \sin \Omega t$, где $\varphi = \varphi_K + \varphi_{ш}$ – остаточный фазовый сдвиг между ИП и решеткой, обусловленный наличием управляемого смещения фазового корректора φ_K в схеме записи, а также действием случайных внешних возмущений $\varphi_{ш}$ разности фаз записывающих пучков, которые одновременно являются и восстанавливающими. Подставляя выражение для величины φ в (1) и выполнив преобразования тригонометрических функций, пользуясь при этом условием малости φ_d , получим:

$$I_s = \exp\left(-\frac{2\alpha_0}{\cos\theta}\right) \cdot \left\{ I + I \cdot \gamma_\alpha - 2I \cdot \sqrt{\gamma_\alpha} \left[\cos\varphi \left(1 - \frac{\varphi_d^2}{2}\right) \right]^2 + \right. \\ \left. + I_\Omega \cdot \sin \Omega t - I_{2\Omega} \cdot \cos 2\Omega t \right\}, \quad (2)$$

$$\text{где } I_\Omega = 2I \cdot \sqrt{\gamma_\alpha} \cdot \varphi_d \cdot \sin\varphi; \quad I_{2\Omega} = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \sqrt{\gamma_\alpha} \cdot \varphi_d^2 \cdot \cos\varphi.$$

Из (2) видно, что выделяя и регистрируя на частотах Ω и 2Ω сигналы U_Ω и $U_{2\Omega}$, пропорциональные соответственно интенсивностям I_Ω и $I_{2\Omega}$, можно при отключенной цепи ОС производить контроль стабильности интерференционного поля в процессе экспонирования, а при включенной цепи ОС еще и осуществлять стабилизацию ИП относительно решетки скрытого изображения. При этом наибольшая чувствительность регистрации величины φ достигается в случае, когда при $\varphi_{ш} = 0$ (условие равновесия) сигнал обработки также равен нулю (при $\alpha = 2I\sqrt{\gamma_\alpha} \cdot \varphi_d \neq 0$). Из (2) видно, что этому условию удовлетворяет сигнал U_Ω , который при замкнутой цепи ОС создает смещение фазового корректора $\varphi_K = K \cdot \alpha \cdot \sin\varphi$, где K – коэффициент преобразования интенсивности I_Ω в фазовый сдвиг φ_K . Условие устойчивого равновесия для этого случая найдем, исходя из требования: при $\varphi_{ш} \neq 0$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \varphi_{ш}} = \left(1 + \frac{\partial \varphi_K}{\partial \varphi_{ш}}\right) = (1 - K \cdot \alpha \cdot \cos\varphi)^{-1} \rightarrow 0.$$

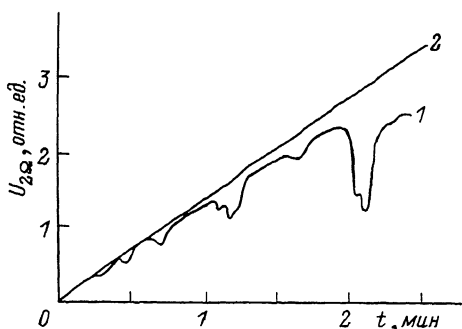
Отсюда следует, что

$$\alpha \cdot |K \cdot \cos\varphi| \gg 1. \quad (3)$$

Выполнение условия (3) по мере роста величины α после начала экспонирования обеспечивает стабилизацию ИП. Поскольку сигнал отработки пропорционален $\sqrt{2\alpha}$, то активная стабилизация ИП может начинаться при весьма малых значениях дифракционной эффективности СИ.

В эксперименте использовалась традиционная схема записи пропускающих голографических решеток. Интерференционное поле с пространственной частотой 10^3 мм^{-1} создавалось на фотопластинке с помощью двух коллимированных пучков аргонового лазера ($\lambda = 514.5 \text{ нм}$). В качестве регистрирующей среды использовались незадублированные слои БХЖ толщиной 10 мкм с влагосодержанием $\leq 15\%$, приготовленные методом лабораторного полива. В опорном пучке устанавливался фазовый модулятор, выполненный в виде зеркала, укрепленного на стержне из магнетострикционного материала, модулирующий фазу в каждой точке ИП по гармоническому закону $\varphi_d \cdot \sin \Omega t$, где $\varphi_d = \frac{\pi}{20}$; $\Omega = 55 \text{ кГц}$. Для выделения сигналов U_Ω и $U_{2\Omega}$ позади фотопластинки на продолжении оси объектного пучка устанавливался фотоприемник, соединенный с двумя синхронными усилителями, один из которых был настроен на частоту Ω , а другой — на частоту 2Ω . Сигнал U_Ω , используемый для активной стабилизации ИП, усиливался и подавался на фазовый корректор, представляющий собой зеркало, укрепленное на пьезокорректоре типа КП-1, установленное в объектном пучке. Сигнал с выхода другого синхронного детектора после усиления использовался для исследования качества голографической записи.

Исследование системы при разомкнутой цепи ОС показало, что зависимость величины отклика системы U_Ω на фазовое возмущение, имеющее временную зависимость в виде "ступеньки" φ_c , совпадает с расчетной зависимостью ($U_\Omega \sim \sqrt{2\alpha} \sin \varphi_c$). При замкнутой цепи ОС приложение подобного возмущения позволило измерить коэффициент стабилизации системы β , величина которого монотонно возрастала с момента начала записи голограммы. При значении постоянной времени интегрирования системы регистрации $\tau = 0.3 \text{ с}$ и при оптимальной для получения стационарных голограмм величине экспозиции E_0 значение $\beta = 10$, при $E = 0.1 \cdot E_0$ величина $\beta = 2$, а в случае $E = 10 \cdot E_0$ $\beta \approx 100$. Были также проведены исследования сигнала $U_{2\Omega} \sim \sqrt{2\alpha} \cdot \cos \varphi$ на выходе синхронного детектора, настроенного на частоту 2Ω . На рисунке представлены типичные временные зависимости $U_{2\Omega}(t)$ при разомкнутой (кривая 1) и замкнутой цепи обратной связи



(кривая 2), полученные с экрана запоминающего осциллографа. Видно, что при включении системы активной стабилизации происходит существенное уменьшение величины случайных флуктуаций измеряемого сигнала и повышение дифракционной эффективности первичной голографической структуры λ_a . При этом минимальная измеренная величина λ_a составила 10^{-8} .

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Frejlich J., Cescato L., Mendes G.F. // Appl. Opt. 1988. V. 27. N 10. P. 1967-1976.
- [2] Meyerhofer D. // Appl. Opt. 1971. V. 10. N 2. P. 416-421.
- [3] Баженов В.Ю., Бурькин Н.М., Васнецов М.В., Соскин М.С., Тараненко // Украинский физический журнал. 1982. Т. 27. № 12. С. 1018-1022.
- [4] Newell J.C., Solyman L., Ward A.A. // Appl. Opt. 1985. V. 24. N 24. P. 4460-4466.
- [5] Kogelnik H. // Bell Syst. Tech. J. 1969. V. 48. N 9. P. 2909-2947.

Поступило в Редакцию
10 апреля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 20

26 октября 1989 г.

06.2; 06.3; 07

ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ПЛЕНКАХ $As_2S_3<Al>C$
ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ
НЕОДНОРОДНОСТЬЮ

И.И. Попович, О.В. Лукша,
И.М. Миголинец, В.П. Иваницкий,
И.П. Шаркань, И.Д. Туряница

Применение различных методов получения аморфных пленок калькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП) и стимулированной диффузии в пленочных системах „металл ХСП“ представляет существенно больше возможностей для структурно-химического модифицирования материала по сравнению со способами введения металлов в состав стекол при закалке их из расплавов. Среди ХСП алюминий является малоизученным модификатором [1]. В то