

- [1] T a u l o r G.I. The instability of liquid surfaces when accelerated in a direction perpendicular to their planes. Proc. ROy. Soc. Lond. A 201. 1950. P. 192-196.
- [2] Исследование гидродинамической неустойчивости с помощью ЭВМ. Сборник научных трудов / Под редакцией К.И. Бабенко. Препринт ИПМ АН СССР, М., 1981.
- [3] Волченко О.И., Жидов И.Г., Клепов Б.А., Мешков Е.Е., Попов В.В., Рогачев В.Г., Толшмяков А.И. Способ моделирования нестационарных течений несжимаемой жидкости. А.с. 1026154. Бюллетень ОИПОТЗ № 24, 1983.
- [4] S w e e n e y M.A., P e r r i F.C. // J. Appl. Phys. 1981. V. 52. N 7. P. 4487-4502.

Поступило в Редакцию
20 октября 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 1
07; 12

12 января 1989 г.

АКТИВНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ КРИСТАЛЛОВ

Е.В. Каляшов, А.А. Камшилин,
А.П. Павлов, М.В. Тютчев

Для достижения высокой дифракционной эффективности (ДЭ) голографических оптических элементов (ГОЭ) необходимым условием является стабильность положения голографического поля относительно регистрирующей среды в процессе экспонирования. В работах [1, 2] предложен метод активной стабилизации голографического поля, позволяющий осуществить автоматическую компенсацию случайного изменения $\Delta\varphi$ разности фаз опорной и объектной волн с помощью цепи отрицательной обратной связи, состоящей из электронной системы и фазосдвигающего элемента - зеркала на пьезоэлектрической керамике, установленного в опорном плече голографического интерферометра. При этом величину $\Delta\varphi$ преобразуют в электрический сигнал, что обычно достигается установкой фотоприемника в интерференционное поле с низкой пространственной частотой. При записи ГОЭ пространственная частота, как правило, слишком высока для непосредственной регистрации $\Delta\varphi$, и поэтому ее понижают либо с помощью дополнительного интерферометра, либо посредством вспомогательного ГОЭ, предварительно записанного в той же голографической схеме. Для повышения чувствительности определения фазовой

нестабильности применяется принудительная, малая по амплитуде гармоническая модуляция фазы с помощью пьезозеркала [3] и регистрация сигнала на частоте модуляции. В работе [4] в качестве вспомогательного ГОЭ системы стабилизации было предложено применить динамическую голограмму, записанную в фоторефрактивном кристалле и предсказана возможность значительного повышения качества записи голограмм, время экспонирования которых $\ll 1$ мин при использовании такой системы. Применение динамической голограммы позволяет избежать технических трудностей, присущих системе стабилизации с вспомогательным ГОЭ, вызванных необходимостью создавать новый ГОЭ при каждом изменении голографической схемы и устанавливать его после проявления на прежнее место с высокой точностью. В настоящей работе приводятся результаты экспериментов по стабилизации реальной голографической установки с помощью вспомогательной динамической голограммы, регистрируемой в фоторефрактивном кристалле $Bi_{12}SiO_{20}$ (сокращенно - ВТО).

При помещении в интерференционное поле кристалла ВТО в нем происходит регистрация динамической голограммы, на которой записывающие лучи дифрагируют вследствие явления самодифракции. В результате за кристаллом в направлении, например, опорного луча распространяются как прошедший через кристалл опорный, так и продифрагировавший на динамической голограмме объектный лучи, интерферирующие между собой. Как показывает детальный анализ, в случае гармонической модуляции фазы одного из записывающих лучей на частоте Ω с амплитудой модуляции φ_d интенсивность света за кристаллом будет определяться выражением [4]:

$$I_R = R_0^2 + S_0^2 \cdot \eta + 2 R_0 \cdot S_0 \cdot \sqrt{\eta} \cdot \cos(2\gamma_0 + \rho l) \cdot \cos(\Delta\varphi + \varphi_d \cdot \sin \Omega t), \quad (1)$$

где R_0 и S_0 - амплитуды опорной и объектной волн, η - ДЭ динамической голограммы, γ_0 - угол между кристаллографической осью [001] кристалла и направлением поляризации записывающих лучей, ρ - удельная оптическая активность, l - толщина кристалла. Данное выражение получено при пренебрежении оптическим поглощением для случая чисто диффузионного механизма записи голограммы в кристалле (без приложения к нему внешнего электрического поля), в предположении, что объектный и опорный лучи освещают грань (110) кристалла так, что вектор голограммы совпадает с кристаллографической осью [110]. Такие условия соответствуют наиболее эффективному формированию динамической голограммы в кристалле ВТО.

При стабилизации голографической установки величина φ_d должна быть достаточно малой, чтобы не вызвать заметного уменьшения ДЭ регистрируемого ГОЭ: $\varphi_d \leq \frac{\pi}{10}$. Тогда выражение (1) может быть упрощено и интенсивность света за кристаллом будет иметь составляющую, промодулированную на частоте Ω :

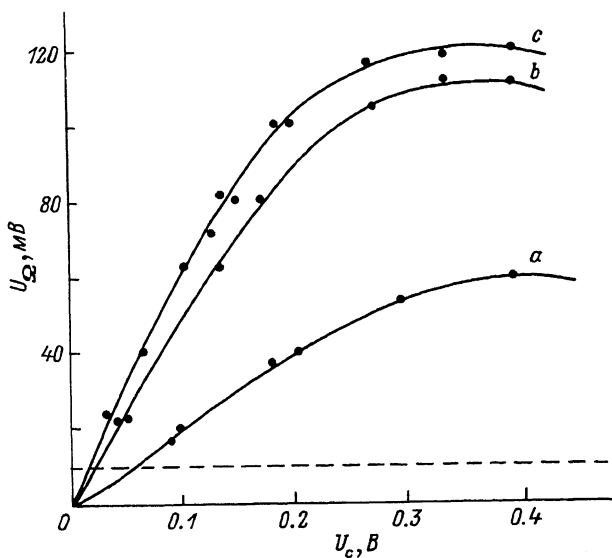


Рис. 1. Зависимость величины сигнала рассогласования на выходе синхронного детектора U_{Ω} при разомкнутой цепи обратной связи от U_c при трех значениях плотности мощности излучения на кристалле: а - 0.25 мВт/см², в - 1.0 мВт/см², с - 2.5 мВт/см².

$$I_{\Omega 2} = 2R_0 \cdot S_0 \cdot \sqrt{\eta} \cdot \varphi_2 \cdot \cos(2\gamma_0 + \rho l) \cdot \sin \Delta\varphi \quad (2)$$

и обращается в ноль, когда случайный фазовый сдвиг $\Delta\varphi = 0$. Электрический сигнал, пропорциональный I_{Ω} может быть использован для организации системы отрицательной обратной связи.

Схема стабилизированной экспериментальной установки в целом была аналогична использованной в работе (3) и предназначалась для регистрации ГОЭ на слоях бихромированной желатины. Источником излучения являлся аргоновый лазер с рабочей длиной волны $\lambda = 514.5$ нм. Кристалл ВТО устанавливался вблизи подложки ГОЭ так, что часть опорного и объектного пучков освещали кристалл. Пространственная частота динамической голограммы составляла величину ≈ 2000 мм⁻¹. Для одновременной регистрации фазовых нестабильностей служил дополнительный интерферометр низкой пространственной частоты. В одно из плеч голографической установки было введено пьезо зеркало, слабая модуляция которого на частоте $\Omega = 3.1$ кГц осуществлялась с помощью звукового генератора. Интенсивность света, прошедшего через кристалл регистрировалась фотодетектором и электрический сигнал поступал на синхронный детектор (СД), настроенный на частоту Ω . Сигнал с СД усиливался

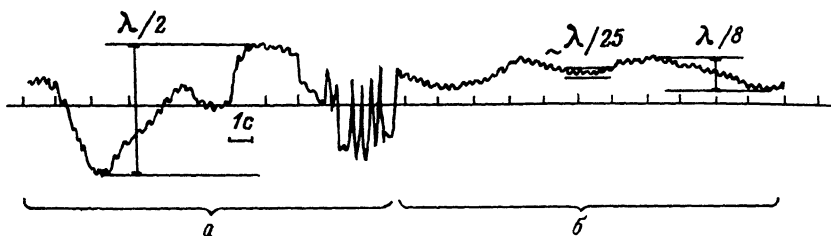


Рис. 2. Временная зависимость разности хода объектного и опорного пучков при отключенной (а) и при включенной (б) системе стабилизации.

высоковольтным усилителем и подавался на пьезозеркало для компенсации случайного фазового сдвига. Оптическая схема голографической установки располагалась на амортизированной массивной плите, имеющей частоту собственных колебаний $f_0 = 2.1$ Гц. Максимальное значение ДЭ динамической голограммы составляло около 1 %.

Для анализа чувствительности системы стабилизации к фазовым нестабильностям интерференционного поля было проведено измерение сигнала рассогласования при разомкнутой цепи обратной связи во время подачи на пьезозеркало напряжения „ступеньки“ U_c . Результаты измерений представлены на рис. 1 при трех различных значениях плотности мощности излучения. Они находятся в хорошем согласии с данными, полученными теоретически с использованием выражения (2). На этом же рисунке пунктиром показан уровень сигнала рассогласования, равный уровню полного шума устройства (включая оптический и электрический шум). Это соответствует изменению фазы отраженного от пьезозеркала света на 0.02 рад. При плотности мощности излучения, падающего на кристалл 2.5 мВт/см² время записи динамической голограммы составляло 1 с. Следовательно, минимальная скорость дрейфа разности фаз, которую начинает обрабатывать система, составляет величину 0.02 рад/с.

Эффект стабилизации при подключении системы обратной связи проиллюстрирован на рис. 2, где приведен временной ход разности фаз объектного и опорного пучков, измеренного с помощью дополнительного интерферометра: а – при отключенной системе стабилизации, б – при ее включении. Видно, что при включении системы стабилизации на порядок уменьшается величина фазовых возмущений, имеющих период $\frac{1}{f_0}$. В то же время наблюдаются медленные дрейфовые изменения разности хода пучков с амплитудой $\frac{\lambda}{8}$ и периодом около 20 с, что согласуется с оценками, полученными при исследовании разомкнутой системы.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования показали перспективность применения фоторефрактивных кристаллов

в качестве фазовочувствительных элементов для систем стабилизации голографических установок.

Л и т е р а т у р а

- [1] N e u m a n n D.B., R o s e H.W. Appl. Opt. 1967. V. 6. N 6. P. 1097.
- [2] J o h a n s o n S. et al. In Proc. Conference on Applications of Holography. New York: Pergamon Press, 1976. P. 521.
- [3] M a c Q u i g g D.R. // Appl. Opt. 1977. V. 16. N 2. P. 291-292.
- [4] K a m s h i l i n A.A., F r e j l i s h T., C e s c a t o L. // Appl. Opt. 1986. V. 25. N 14. P. 2376-2381.

Поступило в Редакцию
2 июля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 1
07; 12

12 января 1989 г.

ПОЛЯРИЗАЦИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ОТРАЖЕНИИ ОТ МНОГОСЛОЙНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ СТРУКТУР

Ю.А. А л е к с а н д р о в, А.В. В и н о г р а д о в,
Н.Н. З о р е в, И.В. К о ж е в н и к о в,
В.В. К о н д р а т е н к о, М.О. К о ш е в о й,
В.А. М у р а ш о в а, Ю.П. П е р ш и н,
А.А. Р у п а с о в, А.И. Ф е д о р е н к о,
А.С. Ш и к а н о в, М.Н. Я к и м е н к о

Появившиеся в последнее десятилетие зеркала нормального падения на основе многослойных интерференционных структур (МИС) значительно расширили возможности физических исследований в диапазоне мягкого рентгеновского (МР) излучения ($\lambda \sim 10-300 \text{ \AA}$). Наиболее характерными особенностями многослойной рентгеновской оптики являются: малые углы падения МР излучения на поверхность зеркала вплоть до нормального и спектральная селективность МИС, обусловленная интерференционным характером отражения. Наряду с этими свойствами МИС, значительный интерес для практики представляет и возможность применения их в качестве эффективных поляризаторов МР диапазона, т.е. их использование либо для получения поляризованного МР пучка, либо для исследования поляризации МР излучения от лабораторных и космических плазменных объектов [1, 2].

Поляризация МР излучения при отражении от МИС обусловлена, главным образом, тем обстоятельством, что значения коэффициентов