

ЗАПИСЬ ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЕТОК В СХЕМЕ С АКТИВНОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО ПОЛЯ

Валерий Игоревич Наливайко

Институт автоматики и электрометрии СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 1, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)333-30-92, e-mail: nalivaiko@iae.nsk.su

Марина Александровна Пономарева

Институт автоматики и электрометрии СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 1, инженер-оптик, тел. (383)333-30-92, e-mail: ponomareva@iae.nsk.su

В работе описывается модернизированная оптико-электронная система стабилизации интерференционной картины во время экспозиции голографической решетки. Представлены результаты применения системы экстремального регулирования для стабилизации интерференционного поля при записи голографических решеток высокого оптического качества. В качестве регистрирующей среды применены тонкие халькогенидные слои состава As_2S_3 . При использовании системы стабилизации наблюдается монотонный рост дифракционной эффективности решеток от времени записи и обеспечивается низкий уровень паразитного рассеяния у записанных решеток. Схема экспериментально апробирована при записи голографических решеток размером до 60×60 мм² и временем экспозиции до 30 минут. Применение схемы активной стабилизации позволит реализовать запись больших по габаритам решеток с помощью маломощных лазеров без использования дополнительных сложных систем защиты оптических схем от вибраций.

Ключевые слова: дифракционная решетка, стабилизация интерференционного поля, халькогенидные стекла.

RECORDING OF DIFFRACTION GRATINGS WITH AN ACTIVE STABILIZATION SCHEME OF INTERFERENCE FIELD

Valery I. Nalivaiko

Institute of Automation Electrometry SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, pr. Koptuga 1, Senior Researcher, phone: (383)333-30-92, e-mail: nalivaiko@iae.nsk.su

Marina A. Ponomareva

Institute of Automation Electrometry SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, pr. Koptuga 1, Engineer, phone: (383)333-30-92, e-mail: ponomareva@iae.nsk.su

The paper describes a modernized optoelectronic system for stabilizing the interference pattern during exposure of a holographic grating. The results of applying the extreme control system to stabilize the interference field when recording holographic gratings of high optical quality are presented. Thin chalcogenide layers of the composition As_2S_3 were used as the recording medium. When using the stabilization system, a monotonic increase in the diffraction efficiency of the gratings from the recording time is observed and a low level of spurious scattering is recorded for the recorded gratings. The scheme was experimentally tested when recording holographic gratings up to 60×60 mm² in size

and exposure time up to 30 minutes. The use of an active stabilization scheme will make it possible to record large-size gratings using low-power lasers without the use of additional complex systems for protecting optical circuits from vibration.

Keywords: diffraction grating, stabilization of the interference field, chalcogenide glasses.

Введение

Одной из наиболее важных проблем в процессе изготовления голографических дифракционных решеток является удержание стационарной экспонирующей интерференционной картины во время экспозиции. Это необходимо для того, чтобы получать воспроизводимые результаты. Любое возмущение в виде оптической разности хода экспонирующих пучков волн в процессе записи приводит к уменьшению эффективной глубины модуляции из-за снижения контраста интерференционной картины. Активная стабилизация интерференционного поля позволяет проводить запись дифракционных решеток лазерными источниками малой мощности в течение длительного времени. Кроме этого возможна запись решеток с большой рабочей площадью.

Для голографии необходимы материалы, обеспечивающие большой диапазон изменения показателя преломления Δn при фазовой регистрации изображений. Халькогенидные стекла являются такими материалами, которые обеспечивают высокий фазовый контраст при использовании тонких слоев. Динамический диапазон изменения показателя преломления $\Delta n/n$, например, состава As_2S_3 , обычно составляет порядка 5% при $n = 2,5$ на $\lambda = 632$ нм. Кроме этого, халькогенидные стекла в виде слоев успешно используются в качестве фоторезистов с применением селективного травления [1-7], что позволяет изготавливать рельефные решетки. Как показали предварительные исследования, значение динамического диапазона изменения показателя преломления зависит от однородности состава пленки, которая определяется, в частности, постоянством скорости напыления [8, 9].

Цель работы заключалась в разработке оптимальной оптико-электронной схемы стабилизации и получении дифракционных решеток с низким уровнем паразитного рассеяния.

Методы и материалы

Голографическая схема записи решеток со стабилизацией интерференционного поля представлена на рис.1. Световой пучок от лазера (L_1) с длиной волны $\lambda = 532$ нм расширяется с помощью телескопической системы (T) и затем разделяется на два пучка с помощью делителя (BS). Один из пучков после делителя падает на зеркало, закрепленное на пьезокорректоре (PM), а второй пучок – на фиксированное зеркало (M). После отражения от зеркал оба пучка пересекаются в плоскости на халькогенидном слое, покрывающем подложку (S). Контрольная решетка располагается или на подложке, или за ней. Также в схеме присутствует полупроводниковый лазер (L_2) с длиной волны $\lambda = 650$ нм и фотодетектор (PhD) для неразрушаемого онлайн-контроля эффективности записываемой решетки.

В отличие от известных схем стабилизации [10-17], в нашем случае в качестве контрольного сигнала для блока стабилизации использовалась нулевая интерференция первого и второго порядков дифракции контрольной решетки в отраженном свете. Это обеспечило более высокий контраст интерференции и стабильность работы системы в целом. Контрольный сигнал усиливается ФЭУ (*PMT*) и обрабатывается электронным блоком стабилизации (*SS*). При изменении интенсивности контрольного сигнала блок стабилизации осуществляет перемещение зеркала *PM* для возврата интерференционных полос в исходное состояние.

Опто-электронная схема стабилизации интерференционного поля работает на принципе экстремального регулирования. Блок-схема системы представлена на рис.2. Подаваемое на пьезокорректор (5) управляющее постоянное напряжение промодулировано с частотой 10 кГц с помощью генератора опорного напряжения (6). Фазочувствительный детектор (3), получая на вход усиленный контрольный сигнал интерференционной картины от ФЭУ, формирует на выходе сигнал ошибки, содержащий информацию о сдвиге интерференционной картины. Значение постоянной составляющей управляющего напряжения пропорциональна второй производной сигнала ошибки и изменяет скорость возврата полос в начальное состояние. Первая производная сигнала ошибки определяет направление реверса смещения зеркала. Таким образом, обеспечивается стабилизация интерференционного поля, экспонирующего регистрирующую среду.

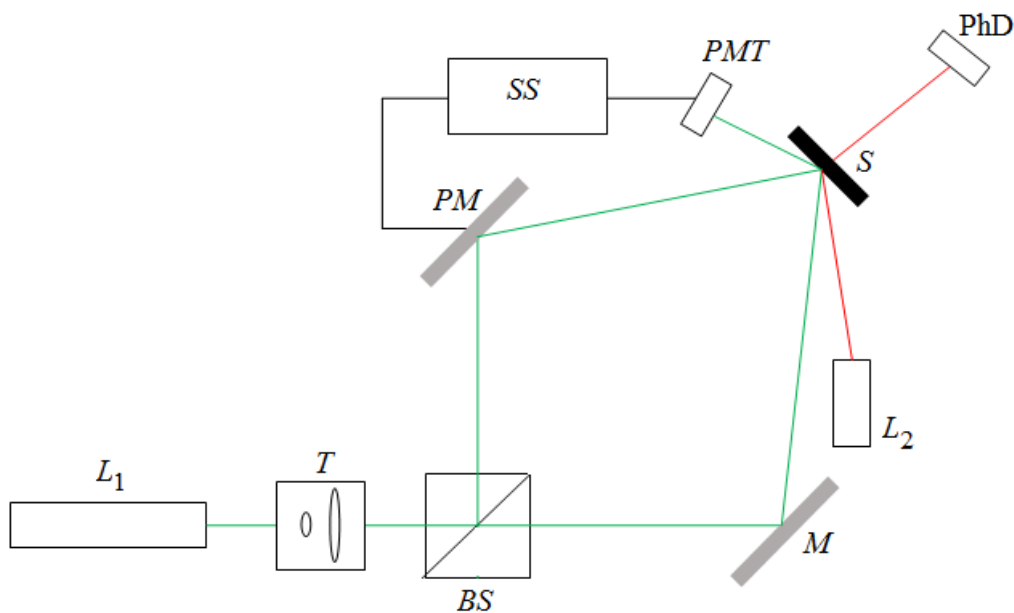


Рис. 1. Схема стабилизированного интерферометра для записи решеток и контроля эффективности

В качестве регистрирующего материала использовались тонкие слои халькогенидных стеклообразных полупроводников состава As_2S_3 . Технология автоматизации процессов напыления [8], применяемая на установке вакуумного

напыления УВН-71ПЗ, позволила получить слои с высоким динамическим диапазоном изменения показателя преломления при экспонировании, достигающим 10 процентов от абсолютной величины показателя преломления.

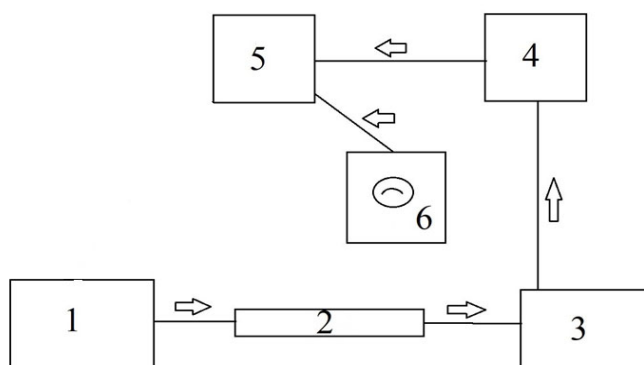


Рис. 2. Опто-электронная схема стабилизации:

1–ФЭУ; 2– узкополосный усилитель; 3– фазочувствительный детектор; 4– усилитель постоянного тока; 5 – пьезокорректор; 6– генератор опорного напряжения

Экспериментальные результаты

Апробация системы стабилизации проводилась при записи голографических решеток с периодом 0,5 мкм и 2 мкм. Максимальное время записи решеток составляло 28 минут. На рис. 3 представлен опытный образец с контрольной решеткой, записанной в той же схеме записи, но без стабилизации и на подложке из покровного оксидного стекла толщиной 50 мкм. Контрольная решетка располагалась поверх регистрирующего халькогенидного слоя и контроль осуществлялся в отраженном свете для исключения помех, обусловленных переотражениями в подложках.

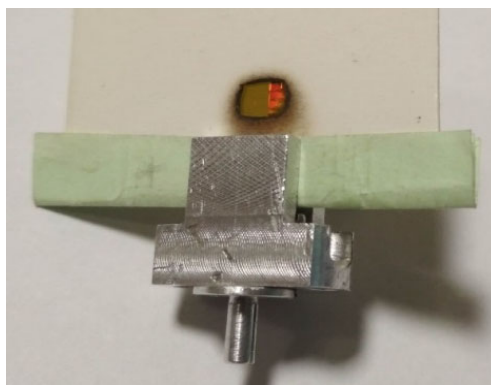


Рис. 3. Опытный образец с контрольной и записываемой решетками

Эффект работы схемы стабилизации представлен на графиках изменения дифракционной эффективности записываемых решеток в процессе экспонирова-

ния (рис. 4). При записи без стабилизации (рис. 4, а) из-за смещения интерференционных полос, вызванного внешними возмущениями, картина дифракционной эффективности осциллирует. При записи со стабилизацией (рис. 4, б) наблюдается монотонное нарастание эффективности до максимума. Однако сравнение фазовых решеток с помощью оптического интерференционного микроскопа не позволило обнаружить различие в структуре полос.

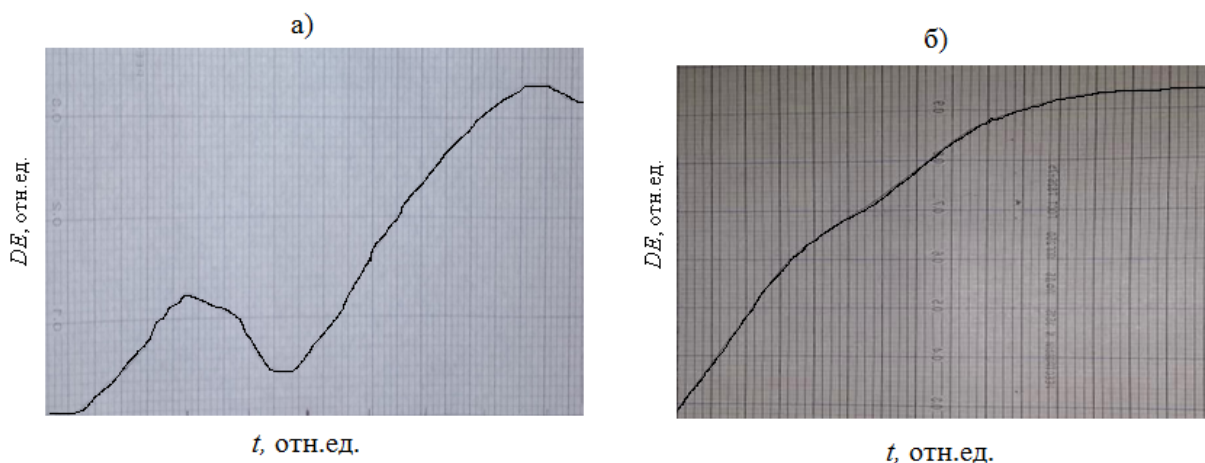


Рис. 4. Поведение зависимости дифракционной эффективности DE решеток от времени записи t :

а) – без стабилизации; б) – со стабилизацией

Приведенная в работе схема стабилизации интерференционных полос использовалась нами ранее при записи высококачественных отражательных дифракционных решеток для вакуумного ультрафиолета с длиной волны от 50 нм и выше размером $60 \times 60 \text{ мм}^2$ и временем записи до 30 минут. Уровень паразитного рассеяния составлял $5 \cdot 10^{-6}$ [18-20].

Заключение

Для получения низкого значения паразитного рассеяния отражающих рельефных решеток на уровне $5 \cdot 10^{-6}$ применена электронно-оптическая схема активной стабилизации интерференционного поля записи, основанная на принципе экстремального регулирования. Схема экспериментально апробирована при записи голографических решеток размером до $60 \times 60 \text{ мм}^2$ и временем записи до 30 минут. Применение схемы активной стабилизации позволит реализовать запись больших решеток с помощью маломощных лазеров без использования дополнительных систем защиты оптических схем от вибраций.

Благодарности

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки № гос. рег. АААА-А17-117053110007-0.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Наливайко В.И., Юрьев Г.С., Гольденберг Б.Г., Пономарева М.А. Получение фазовых структур в оптических материалах // Поверхность. – 2003. – № 11. – С. 52-55.
2. Tanaka K., Shimakawa K. Amorphous Chalcogenide Semiconductors and Related Materials. – NY.: Springer, 2011. – 242 p.
3. Zakery A., Elliott S.R. Optical Nonlinearities in Chalcogenide Glasses and their Applications. – NY.: Springer, 2007. – 199 p.
4. Finsterbusch K., Baker N. J., Ta'eed V. G., Eggleton B. J., Choi D.-Y., Madden S., Luther-Davies B. Higher-order mode grating devices in As₂S₃ chalcogenide glass rib waveguides // J. Opt. Soc. Am. B. – 2007. – V. 24. – No. 6. – P.1283-1290.
5. Ho N., Laniel J. M., Vallee R., Villeneuve A. Creation of microchannels in a photosensitive As₂S₃ slab waveguide // J. Opt. Soc. Am. B. – 2002. - V. 19. - No. 4 – P.875-880.
6. Ródenas A., Martin G., Arezki B., Psaila N., Jose G., Jha A., Labadie L., Kern P., Kar A., Thomson R. Three-dimensional mid-infrared photonic circuits in chalcogenide glass// Opt. Lett. – 2012. – V.37 – No.3 – P.392-394.
7. Singh P. K., Dwivedi D. K. Chalcogenide glass: Fabrication techniques, properties and applications // Ferroelectrics – 2017. – V. 520. – Iss. 1. – P. 256-273.
8. Наливайко В.И., Пономарева М.А. Автоматизированное напыление аморфных халькогенидных слоев // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 8 : Национальн. конф. с междунар. участ. «СибОптика-2019». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. – С. 64–68.
9. Пономарева М.А., Наливайко В.И. Халькогенидные стекла для оптических элементов фотоники // Фундаментальные проблемы оптики. XI Междунар. конф. «ФПО-2019»: сб. материалов. – Санкт-Петербург – 2019. – С. 334-336.
10. Nilsson L.-E., Ahlen H. Stabilization of The exposing interference pattern in holographic grating Production // Proc. SPIE. – 1980. – V. 0240. – P.22–26.
11. Oliveira I., Bertasso F. B., Georges M., Frejlich J. Accurate $\pi/2$ -phase shifting setup for a stabilized interference pattern of light fringes // Optik – 2019 – V. 178. – P. 879–883.
12. Sio L. D., Caputo R., Luca A. D., Veltri A., Umeton C., Sukhov A. V. In situ optical control and stabilization of the curing process of holographic gratings with a nematic film–polymer-slice sequence structure// Appl. Opt. – 2006. – V. 45. – N. 16. – P. 3721–3727.
13. Ott D. B., Divliansky I. B., SeGall M. A., Glebov L. B. Stabilization system for holographic recording of volume Bragg gratings using a corner cube retroreflector // Appl. Opt. – 2014. –V. 53. – No. 6. P. 1039-1046.
14. Sio L., Veltri A., Umeton C. Holographic grating designed for the stability control of an active interferometric setup // J. of Nonlin. Opt. Phys. & Mat. – 2011. – V. 20. – No. 1. – P. 15–21.
15. Sio L., Veltri A., Tedesco A., Caputo R., Umeton C., Sukhov A. V. Characterization of an active control system for holographic setup stabilization// Appl. Opt. – 2008. – V. 47. – Iss. 10. – P. 1363-1367.
16. Neumann D. B., Rose H. W. Improvement of recorded holographic fringes by feedback control // Appl. Opt. – 1967. – V. 6. – P. 1097-1104.
17. MacQuigg D. R. Hologram fringe stabilization method // Appl. Opt. – 1977. – V.16. – Iss. 2. – P. 291-292.
18. Черемисин А.А., Наливайко В.И., Границкий Л.В., Заграбчук С.Ф. Широкодиапазонный космический спектрограф для мониторинга атмосферы Земли // Оптика атмосферы и океана. – 1998. – Т.11. – № 9.– С.978–983
19. Mikhalchenko A.A., Kartaev E.V., Kuzmin V.I., Nalivaiko V.I., Chubakov P.A. Determination of temperature in a plasma jet emanating from a plasma torch with sectioned inter-electrode insert from the molecular emission spectrum of nitrogen //Thermophysics and Aeromechanics. – 2011. – Т. 18. – № 4. – С. 629-641.

20. Сергачев Д.В., Кузьмин В.И., Картаев Е.В., Наливайко В.И. Лазерно-оптическая диагностика частиц в технологиях плазменного напыления и лазерной наплавки // Известия вузов. Физика. – 2014. – Т. 57. – № 10-3. – С. 254-258.

© В. И. Наливайко, М. А. Пономарева, 2020