

Интерференционно-голографическая диагностика материалов

И. Г. Даденков, А. А. Станкевич, Е. В. Ивакин, А. Л. Толстик

Белорусский государственный университет, Минск, e-mail: dadenkov.ivan@gmail.com

Рассмотрены способы измерения теплофизических свойств вещества на основе методов голографической интерферометрии и записи динамических решеток. Особенностью реализованного метода голографической интерферометрии является использование кристалла силиката висмута в качестве регистрирующей среды с временем жизни решеток на уровне секунд. Интерференция последовательных оптических сигналов, прошедших через нагретый участок воздуха, позволила оценить изменение показателя преломления и рассчитать изменение температуры. Вторым методом является запись динамических решеток в теллуриде свинца при разных температурах этого материала. На основании зарегистрированных кинетик релаксации тепловых решеток определена зависимость коэффициента температуропроводности от температуры.

Ключевые слова: голография, динамические решетки, голографическая интерферометрия, температуропроводность, силлениты, теллурид свинца.

Введение

Интерференционно-голографические методы позволяют получать достаточно большой объем информации об объектах и широко используются для контроля различных критически важных деталей и диагностики разнообразных материалов. Особый интерес представляет голографическая интерферометрия в реальном времени, позволяющая контролировать свойства объектов, которые могут изменяться с течением времени. Среди многообразия интерференционно-голографических методов диагностики можно выделить метод голографической интерферометрии с использованием перезаписи голограмм в реальном времени и метод динамических решеток в условиях импульсной записи. Например, при последовательной двухимпульсной записи голограммы объекта восстановление голограммы непрерывным лазерным излучением позволяет наблюдать интерференцию между двумя изображениями объекта, полученными в разные моменты времени. Для измерения нелинейно-оптических и термооптических параметров различных материалов перспективно использование метода динамических решеток. Кинетика дифрагированного сигнала позволяет измерить время жизни записанной решетки и рассчитать кинетические характеристики материала.

В настоящей работе продемонстрированы возможности интерференционно-голографических методов на примере нагретого потока воздуха и пленки теллурида свинца.

1. Определение температуры методом голографической интерферометрии

Голографические интерферометры зачастую являются более универсальными по сравнению с обычными лазерными интерферометрами, поскольку позволяют исследовать предметы различной формы. Следующим преимуществом голографической интерферометрии перед классической является отсутствие необходимости принимать во внимание оптические aberrации. В то же время недостатком голографической интерферометрии является достаточно сложный анализ

голографических интерференционных картин. Весьма эффективным оказалось использование фоторефрактивных кристаллов при построении голографических интерферометров.

Реализация голографического интерферометра происходила при помощи схемы Лейта-Упатниекса, в которой в качестве объекта использовался воздух, нагретый пламенем свечи. Запись происходила в кристалле силиката висмута импульсами второй гармоники Nd:YAG лазера, следующими с частотой 5 Гц и 10 Гц, а считывание - непрерывным He-Ne лазером, падающим на кристалл в соответствии с условием Брэгга. Таким образом в кристалле записывалась динамическая решетка с временем жизни в несколько секунд [1]. Регистрация дифрагированного излучения проводилась ПЗС-камерой, обеспечивающей запись до 20 кадров в секунду.

При стационарных условиях горения свечи в открытом помещении устанавливаются ламинарные потоки горячего воздуха и в фоторефрактивном кристалле записывается динамическая голограмма, которая постоянно обновляется.

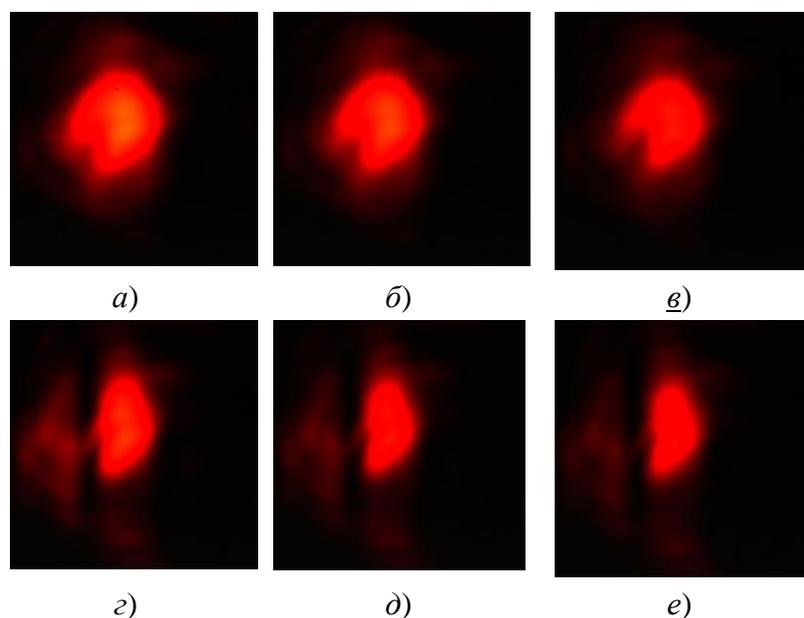


Рис. 1. – Зарегистрированные изображения дифрагированного пучка в условиях стационарной записи голограммы (*a – в*), при внесении возмущений в фазовый объект (*г – е*); частота следования импульсов 5 Гц.

При считывании такой голограммы излучением гелий-неонового лазера наблюдается слегка деформированный пучок (рис. 2, *a – в*). Видно уменьшение размера пучка на каждой последующей картинке, что объясняется релаксацией динамической решетки (в данном эксперименте частота следования лазерных импульсов 5 Гц). Если внести дополнительное возмущение (турбулентность) в воздушные потоки, идущие от свечи, то имеет место интерференция между первоначальным и возмущенным изображениями. Эффект интерференции проявляется в появлении вертикальной темной полосы на фоне светового пучка, что иллюстрируется на рисунке 2, *г – е*.

Спустя несколько импульсов, имеет место перезапись динамической голограммы и вертикальная темная полоса стирается. В этом случае, как и в предыдущих, также

заметен эффект релаксации динамической решетки, проявляющийся в уменьшении размера изображения на последующих кадрах.

Благодаря наличию на интерферограмме темной полосы можно сделать вывод о наличии определенного фазового сдвига, вызванного изменением температуры воздуха в области пламени. Проведенные оценки позволили определить величину фазового сдвига и, как следствие, рассчитать изменение температуры.

2. Методика определения температуропроводности методом динамических решеток

Транспортные эффекты в термоэлектриках на основе PbTe интенсивно исследуются ввиду перспективности применения этих материалов в возобновляемой энергетике [2]. В последнее время внимание специалистов привлекает теллурид свинца, легированный индием, обладающий рядом положительных эксплуатационных качеств.

Существенным фактором в работе термоэлектриков на основе теллурида свинца является зависимость их термоэлектрических свойств от температуры. Одной из причин является зависимость параметров теплопереноса от температуры.

Традиционные методы являются контактными, т. е. требуют подсоединения к поверхности образца источников тепла и датчиков температуры. Они не подходят для диагностики твердых тел малого размера или толщины. В то же время измерение температуропроводности можно выполнить, используя разнообразные оптические методы, которые обладают рядом принципиальных преимуществ. Бесконтактный характер оптических измерений позволяет производить локальное исследование материалов, в том числе слоистых, таких как тонкая пленка на подложке.

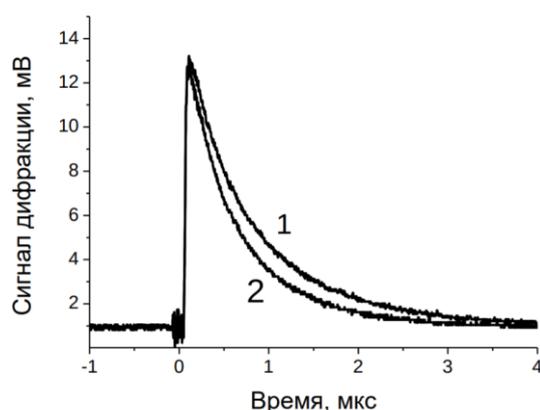


Рис. 2. – Кинетики затухания сигнала дифракции при температуре объёмного образца 95 °C (1) и 40 °C (2).

В данной работе измерения температуропроводности образцов $\text{Pb}_{0,9995}\text{In}_{0,0005}\text{Te}$ проводились методом динамических решеток, но в котором модуляция мощности возбуждения материала происходит не во времени, а в пространстве [3]. Метод основан на записи дифракционной решетки в образце за счет термооптических эффектов на поверхности образца, возбуждаемого интерференционным полем двух когерентных пучков света от импульсного лазера на длине волны 532 нм в полосе поглощения исследуемого материала. Излучение непрерывного лазера на длине волны 635 нм также

направлялось в зону возбуждения для формирования дифракционного сигнала и его детектирования с временным разрешением.

На рис. 2 представлены осциллограммы дифрагированного сигнала, при периоде записанной решетки равном 5 мкм. Видно увеличение времени релаксации решетки при повышении температуры. На основе измеренных кинетик были определены времена жизни тепловой решетки и температуропроводность образца. Так, при температуре $T = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$ время релаксации тепловой решетки $\tau = 2,91$ мкс и температуропроводность $\chi = 1,36 \times 10^2\text{ см}^2/\text{с}$ (1), при температуре $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ имеем $\tau = 2,18$ мкс и $\chi = 1,80 \times 10^2\text{ см}^2/\text{с}$ (2). Исследования проводились для записанных динамических решеток с периодами 5 мкм и 12,5 мкм.

Заключение

Таким образом, голографические методы исследования вещества позволяют реализовать контроль за температурными характеристиками различных материалов и измерять теплофизические характеристики. К преимуществам этих методов можно отнести бесконтактность и возможность контроля параметров в реальном времени.

Литература

1. Даденков И. Г., Толстик А. Л., Миксюк Ю. И., Саечников К. А. Фотоиндуцированное поглощение и импульсная запись динамических голограмм в кристаллах силиката висмута. Оптика и спектроскопия. 2020. Т. 128, выпуск 9, С. 1290–1295. DOI: 10.21883/OS.2020.09.49867.90-20
2. Lubomirsky I., Stafsudd O. Rev. Sci. Instrum. 2012. Vol. 83. 051101-1 – 051101-18.
3. Roger J. P., Lepoutre F., Fournier D., Voccaro A. C. Thermal Diffusivity Measurement of Micron-Thick Films by Mirage Detection. Thin Solid Films. 1987. Vol. 155. P. 165–174.

Interference-holographic diagnostics of materials

I. G. Dadenkov, A. A. Stankevich, E. V. Ivakin, A. L. Tolstik

¹*Belarusian State University, Minsk, e-mail: dadenkov.ivan@gmail.com*

This paper presents the methods of measuring the thermophysical properties based on holographic interferometry and dynamic grating techniques. The distinguishing feature of the realized holographic interferometry method is the use of a bismuth silicate crystal as a recording medium with the lifetime of gratings coming to several seconds. Interference of the sequential optical signals transmitted through the heated region of the air enables one to estimate changes in the refractive index and to calculate the temperature variations. The second method proposed is associated with recording of dynamic gratings in lead telluride at different temperatures of this material. The recorded kinetics of relaxation of the thermal gratings allows for determination of the heat diffusivity as a function of temperature.

Key words: holography, dynamic gratings, holographic interferometry, heat diffusivity, sillenites, lead telluride.