

Нелокальность фотоотклика при записи голограмм на толстослойных регистрирующих средах

О. В. Андреева, Н. В. Андреева, Е. П. Быков

Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрена нелокальность фотоотклика регистрирующих сред со скрытым изображением различной физической природы, используемых для записи трехмерных голограмм. Проанализированы результаты, полученные при исследовании сред толщиной порядка миллиметра — полимерных на основе ФХ/ПММА и нанопористых с галогенидами серебра.

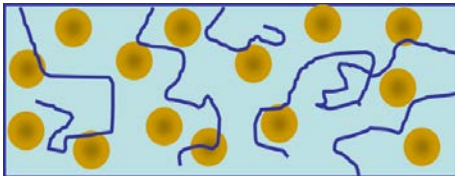

Ключевые слова: трехмерные голограммы, толстослойные регистрирующие среды, фотоотклик, нанопористые серебросодержащие среды, нелокальность, разрешение.

Цитирование: Андреева, О. В. Нелокальность фотоотклика при записи голограмм на толстослойных регистрирующих средах / О. В. Андреева, Н. В. Андреева, Е. П. Быков // НОЛОЕХРО 2021 : XVIII Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. — С. 248–250.

Фотоотклик среды — результат воздействия на среду излучения видимого диапазона — объединяет комплекс параметров, характеризующих свойства регистрирующей среды. Понятие нелокальности отклика среды при регистрации голограмм впервые было введено в динамической голографии ещё в 70-х годах XX-го века и детально рассмотрено в работе [1]. Нелокальность наблюдалась при записи голограмм на электрооптических кристаллах (толстослойные регистрирующие среды) и связана со сдвигом зарегистрированной голограммы-решетки под воздействием внешнего электрического управляющего поля относительно регистрируемого интерференционного поля. При этом отсутствие сдвига зарегистрированной голограммы-решетки относительно регистрируемого интерференционного поля характеризует регистрирующую среду как среду с локальным откликом.

Для статических голограмм понятие нелокальности применяется к любому светочувствительному элементу среды, который изменяет свое положение относительно геометрии образца в процессе воздействия излучения и постэкспозиционной обработки. Вопросы нелокальности отклика среды на световое воздействие рассматривались в ряде работ, обсуждаемых в обзоре [2], которые посвящены изучению записи голограмм-решеток на полимерных светочувствительных средах состава: твердый раствор красителя фенантренхинона (ФХ) в полимерной матрице полиметилметакрилата (ПММА). В этом случае смещение отдельных элементов среды, обеспечивающих формирование голограммы (светочувствительной молекулы ФХ и его фотопродукта), обусловлены движением элементов каркаса (молекул, макромолекул ПММА) и диффузией самих элементов (молекул ФХ и его фотопродукта) при стабильных внешних условиях. В этом случае амплитуда смещения и его направление являются случайными величинами и ведут не к сдвигу интерференционных полос (как в динамической голограмме), а к их размытию и снижению контраста зарегистрированной интерференцион-

Табл. 1. Сравнение параметров толстослойных (толщиной ≈ 2 мм) регистрирующих сред для записи голограмм

Среда	ФХ/ПММА Фенантренхинон в ПММА	AgHal/НПСМ Галогенидосеребряная нанопористая среда
Каркас	Полимер, ПММА	Нанопористая силикатная матрица (размер пор ≤ 20 нм)
Светочувствительный элемент	Молекула ФХ (< 1 нм)	Частица AgHal (< 20 нм)
Схема среды		
Нелокальность диффузионная	30–70 нм	< 20 нм
Нелокальность тепловая	В зависимости от условий эксперимента — до единиц мкм [5]	В зависимости от условий эксперимента: \approx на 2–3 порядка меньше, чем в ФХ/ПММА

ной картины. Такой вид нелокальности принято называть «диффузионной» нелокальностью [2]. Величина такой нелокальности, согласно опубликованным экспериментальным данным [2], составляет десятки нм, что почти на два порядка превышает размер молекулы ФХ. Учитывая данный факт, следует иметь в виду, что разрешающую способность среды следует оценивать не по физическому размеру светочувствительного элемента (молекулы ФХ), а по величине его нелокальности при получении голограмм на данной пространственной частоте.

Как показали проведенные эксперименты [3] следует учитывать и то, что при экспонировании среды ФХ/ПММА происходит нагрев образца, приводящий к случайному смещению элементов среды друг относительно друга, что определяется как «тепловая» нелокальность [3, 4]. Величина тепловой нелокальности зависит от условий проведения эксперимента и может значительно превышать величину диффузионной нелокальности (табл. 1).

Таким образом, в настоящее время при получении статических голограмм рассматривают два типа нелокальности фотоотклика регистрирующих сред: диффузионная нелокальность и тепловая нелокальность, которые определяют разрешающую способность образцов светочувствительной среды.

Этот подход может быть использован для оценки разрешения сред с различной физической природой светочувствительности. Интерес в этом отношении представляют галогенидосеребряные нанопористые регистрирующие среды со скрытым изображением [5]. Свойства такой среды определяет светочувствительная композиция на основе галогенидов серебра с желатином, сформированная в свободном объеме пор, как показано на схеме в табл. 1.

В традиционных галогенидосеребряных материалах на подложке с желатиновой матрицей разрешение определяют, ориентируясь на размер частиц галогенидов серебра и способ

постэкспозиционной обработки. Однако, для получения голограмм толщина таких материалов ограничена величиной ≈ 10 мкм (такие среды называют тонкослойными). Это связано с тем, что экспонированные частицы за время постэкспозиционной водной химико-фотографической обработки претерпевают значительное смещение, что приводит к ухудшению качества получаемых голограмм.

При проявлении (и других процессах обработки водными растворами) подвижность светочувствительных частиц — элементов галогенидосеребряных нанопористых регистрирующих сред ограничена размерами пор силикатного каркаса. То есть размер пор определяет диффузионную нелокальность такой среды. Следует отметить, что в такой среде тепловой нелокальностью можно пренебречь практически при любой мощности воздействующего излучения ввиду высокой прозрачности каркаса и чрезвычайно низкого поглощения светочувствительной композиции. Таким образом разрешающая способность образцов такой среды определяется не размером отдельных частиц галогенидов серебра, а размером пор силикатного каркаса.

В заключение отметим, что в практических ситуациях, связанных с получением голограмм на толстослойных регистрирующих средах, разрешающая способность материала обусловлена, как правило, не столько физическим размером светочувствительного элемента, сколько нелокальностью отклика на световое воздействие, величина которого зависит как от структуры среды, так и от условий получения голограмм. Очень важно, что эти условия можно оптимизировать и стремиться к достижению теоретического предела.

Список источников

- [1] **Винецкий, В. Л.** Динамическая самодифракция когерентных световых пучков / В. Л. Винецкий, Н. П. Кухтарев, С. Г. Одулов, М. С. Соскин // УФН. — 1979. — Том 129. — № 1. — С. 113–137.
- [2] **Вениаминов, А. В.** Голографические полимерные материалы с диффузионным проявлением: принципы, компоновка, исследования и применения / А. В. Вениаминов, В. В. Могильный // Оптика и спектроскопия. — 2013. — Том 115. — № 6. — С. 143–167.
- [3] **Manukhin, B. G.** [Reversible and irreversible alterations of the optical thickness of PO/PMMA volume recording media samples. Part I: Experiment](#) / B. G. Manukhin, S. A. Chivilikhin, I. J. Schelkanova, N. V. Andreeva, D. A. Materikina, O. V. Andreeva // Applied Optics. — 2017. — Vol. 56. — № 26. — P. 7351–7357.
- [4] **Андреева, О. В.** Физические основы и специфические особенности процессов записи и считывания объемных голограмм при использовании полимерного материала «Диффен» / О. В. Андреева, Н. В. Андреева, Е. П. Быков. — СПб. : Университет ИТМО, 2021. — 55 с.
- [5] **Андреева, О. В.** Нанопористые силикатные матрицы для голографии и биомедицины / О. В. Андреева, Е. П. Быков, А. О. Исмагилов, А. Н. Pandya, И. Ю. Шелканова, Н. В. Андреева // Оптика и спектроскопия. — 2021. — Том 129. — № 4. — С. 418.