

Оптическая когерентная томография полного поля на основе акустооптической фильтрации интерференционных изображений

А. С. Мачихин,* А. В. Висковатых,† В. Э. Пожар‡
*Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН
 Россия, 117342, Москва, ул. Бутлерова, д. 15*

Представлена новая схема оптического когерентного микроскопа полного поля с регистрацией в спектральной области, где используется широкополосный источник света, а перестройка по спектру обеспечивается акустооптическим фильтром изображений в канале регистрации интерферометра Майкельсона. Экспериментально показана применимость схемы для анализа распределения свойств объектов по глубине.

PACS: 42.25.Hz, 42.79.Jq, 42.30.Wb.

УДК: 681.787.

Ключевые слова: оптическая когерентная микроскопия, акустооптическая фильтрация изображений, интерферометр Майкельсона.

В настоящее время оптическая когерентная томография (ОКТ) является одним из основных методов исследования внутренней структуры оптически прозрачных объектов в биомедицине и неразрушающем контроле материалов [1]. Ее отличают бесконтактность, высокое пространственное разрешение, достаточно высокая скорость регистрации данных, возможность (в некоторых вариантах) работы в полном поле. Метод ОКТ базируется на интерференционной схеме регистрации, позволяющая зарегистрировать либо автокорреляционную функцию путем механического сканирования по глубине образца (ОКТ во временной области (ВО)), либо спектр интенсивности сигнала (ОКТ в спектральной области (СО)), и дальнейшем пересчете этих измеренных функций в распределение коэффициента отражения по глубине образца. Методы ОКТ СО не требуют механического сканирования и обеспечивают большую чувствительность по сравнению с системами ОКТ ВО.

Наиболее распространенная схема ОКТ СО полного поля основана на использовании перестраиваемого источника света (рис. 1а), в котором в качестве спектрального элемента используется оптоволоконный фильтр Фабри–Перо или акустооптический (АО) фильтр с оптоволоконным сопряжением [2]. Высокое спектральное разрешение ($\sim 0,1$ нм) этих фильтров требует высокой яркости источника, а большое количество регистрируемых спектральных изображений (~ 1000) не позволяет для многих приложений получить достаточно высокую скорость регистрации.

В докладе представлена оригинальная схема ОКТ СО, где используется широкополосный источник света, а перестройка по спектру обеспечивается АО фильтром изображений [3], осуществляющим спектральную фильтрацию интерферирующих пучков в канале регистрации (рис. 1б). При спектральной по-

лосе ~ 1 нм число спектральных каналов составляет 100–150, что позволяет сократить время регистрации примерно на порядок и повысить интенсивность на фотоприемнике, что обеспечивает приемлемую чувствительность даже при работе в полном поле.

С помощью экспериментальной установки, собранной по представленной на рис. 1б схеме, в диапазоне длин волн 800–900 нм были зарегистрированы 100 спектральных интерференционных изображений тестового объекта. В качестве него использовалось плоское зеркало, которое располагали последовательно в шести разных положениях по глубине. На рис. 2а–2е приведены рефлектограммы $I(x, z)$, отображающие распределение величины отраженного сигнала I по глубине z вдоль оси x . Значение в каждой точке изображения вычислено путем преобразования Фурье от спектра сигнала в этой точке и отображается градациями яркости. Положение отражающей плоскости достаточно точно соответствует положению референтного зеркала в каждой серий измерений. (Пространственное разрешение в эксперименте составляло 2 мкм.) Интенсивность отраженного сигнала плавно падает по глубине, что согласуется с теоретическими оценками [1]. Аналогичные измерения были проведены для других тест-объектов известной формы и полученные рефлектограммы (рис. 2з, ж) качественно соответствуют ожидаемым.

Проведенные эксперименты демонстрируют принципиальную применимость описанной оптической схемы для задач анализа распределения свойств оптически прозрачных (томография) и непрозрачных (профилометрия) объектов по глубине. Основными достоинствами схемы являются увеличение светосилы и быстродействия, отсутствие сложных и дорогостоящих перестраиваемых источников света, возможность работы в режиме видеоспектрометра (при блокировании опорного канала).

*E-mail: aalexanderr@mail.ru

†E-mail: aviskovatich@mail.ru

‡E-mail: v_pozhar@rambler.ru

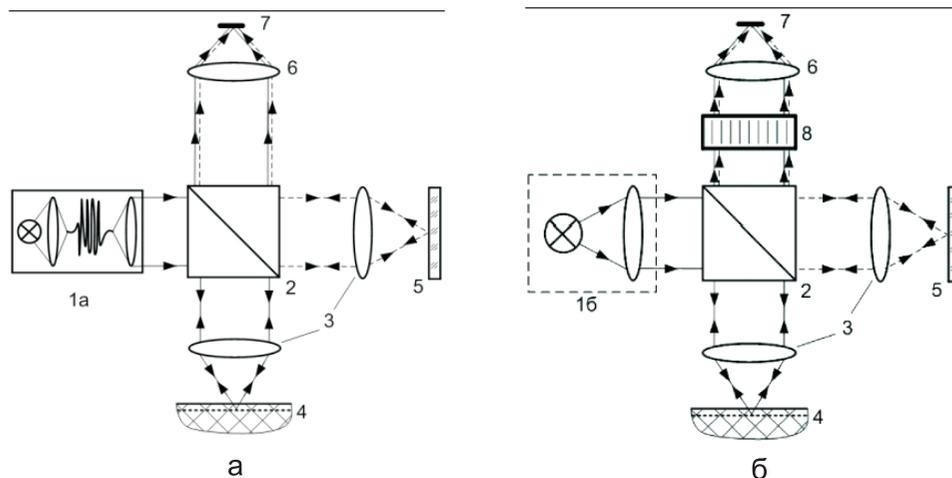


Рис. 1: Оптические схемы ОКМ СО: а) на основе перестраиваемого источника света в осветительном канале; б) разработанная на основе перестраиваемого АО фильтра изображений в канале регистрации. 1а — перестраиваемый источник света, 1б — широкополосный источник света, 2 — светоделитель, 3 — микрообъективы, 4 — анализируемый слой исследуемого объекта, 5 — опорное зеркало, 6 — выходной объектив, 7 — видеокамера, 8 — АО фильтр изображений

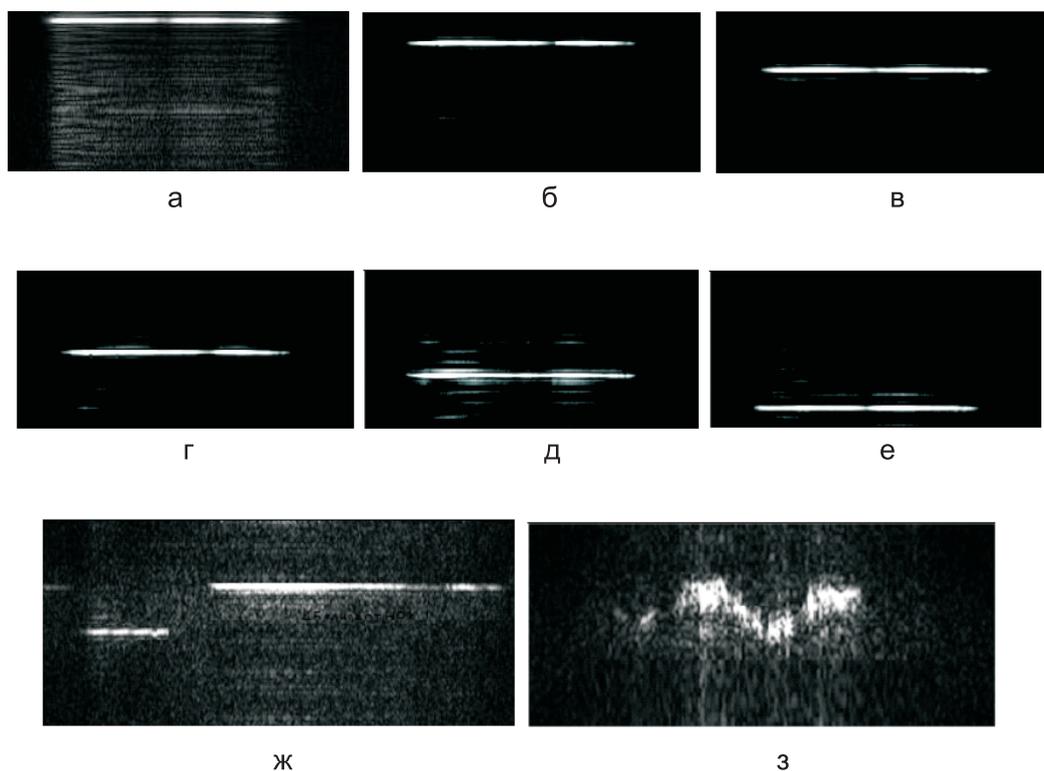


Рис. 2: Рефлектограммы, полученные при использовании в качестве тест-объекта: 1) плоского зеркала, при различных положениях НРХ а) 10 мкм; б) 30 мкм; в) 50 мкм; г) 70 мкм; д) 90 мкм; е) 110 мкм; 2) двух плоских зеркал, образующих ступеньку величиной 30 мкм (ж); 3) царапины глубиной ~ 25 мкм на металлической поверхности (з)

[1] Handbook of optical coherent tomography. (Edited by Bouma B., Tearney G. N. Y. 2002).

[2] Povaňay B. et al. Opt. Express, **14**, P.7661. (2006).

[3] Висковатых А.В. и др. Письма ЖТФ, **40**. №4. С. 33. (2014).

Full-field optical coherent tomography based on acousto-optic filtration of interference images

A. S. Machikhin^a, A. V. Viskovatykh^b, V. E. Pozhar^c

Scientific and Technological Center of Unique Instrumentation RAS

Moscow 117342, Russia

E-mail: ^aaalexanderr@mail.ru, ^baviskovatich@mail.ru, ^cv_pozhar@rambler.ru

A new scheme of full-field optical coherent microscope with data registration in spectral domain is described. It is based on utilization of the wide-band light source and spectral tuning by the imaging acousto-optic filter installed in the registration channel of Michelson interferometer. The experimental results are presented. It is shown that this scheme is applicable for the analysis of the object properties with rather high lateral and axial resolution.

PACS: 42.25.Hz, 42.79.Jq, 42.30.Wb.

Keywords: optical coherent tomography, acousto-optic spectral imaging, Michelson interferometer.

Сведения об авторах

1. Мачихин Александр Сергеевич — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, тел.: (495) 333-24-31, e-mail: aalexanderr@mail.ru.
2. Висковатых Александр Владимирович — канд. тех. наук, заведующий лабораторией; тел.: (495) 333-24-31, e-mail: aviskovatich@mail.ru.
3. Пожар Витольд Эдуардович — докт. физ.-мат. наук, заведующий отделом; тел.: (495) 333-24-31, e-mail: v_pozhar@rambler.ru.