

## РАСЧЁТ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ КАРТИНЫ, ФОРМИРУЕМОЙ ПЕРЕНОСЯЩИМИ ИЗОБРАЖЕНИЯ СВЕТОВЫМИ ПУЧКАМИ ПОСЛЕ ДИФРАКЦИИ НА АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЕ В ОДНООСНОМ КРИСТАЛЛЕ

А.С. Мачихин<sup>1,2</sup>, Л.И. Бурмак<sup>1</sup>, В.Э. Пожар<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, Москва, Россия,

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет "МЭИ", Москва, Россия,

<sup>3</sup>Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Москва, Россия

### Аннотация

Рассмотрена схема оптической когерентной микроскопии полного поля на основе интерферометра Майкельсона с широкополосным источником света и акустооптической спектральной фильтрацией излучения в приемном канале. Для этой схемы приведены основные соотношения для расчета интерференционной картины, формируемой переносящими изображения световыми пучками после дифракции на акустической волне в одноосном кристалле. Представлены результаты численного моделирования и их сравнение с экспериментальными данными.

**Ключевые слова:** акустооптическое взаимодействие, спектральная фильтрация изображения, оптическая когерентная микроскопия, видность интерференционной картины.

**Цитирование:** Мачихин, А.С. Расчёт интерференционной картины, формируемой переносящими изображения световыми пучками после дифракции на акустической волне в одноосном кристалле / А.С. Мачихин, Л.И. Бурмак, В.Э. Пожар // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41, № 2. – С. 169-174. – DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-2-169-174.

### Введение

Оптическая когерентная микроскопия (ОКМ) с регистрацией в спектральной области (ОКМ СО) в настоящее время широко используется для неинвазивной диагностики биологических объектов (например, в офтальмологии и дерматологии) и неразрушающего контроля технических изделий и материалов (например, при анализе деформаций и дефектоскопии) [1, 2]. Этот метод позволяет получить распределение коэффициента отражения по глубине образца путем пересчета спектральной зависимости интенсивности света на фотоприемнике, измеренной при перестройке рабочей длины волны интерферометра.

ОКМ СО выгодно отличают отсутствие подвижных частей, возможность работы в полном поле, высокая производительность и другие достоинства [3]. Для спектральной перестройки в методе ОКМ СО используется либо перестраиваемый в широком диапазоне длин волн источник света и последовательная во времени регистрация спектральных изображений [4], либо широкополосный источник света с пространственным разложением в спектр сигнала на выходе интерферометра и регистрация его линейкой фотоприемников [5]. Еще одним вариантом реализации спектральной перестройки является акустооптическая (АО) фильтрация интерферирующих световых пучков, переносящих изображения, в выходном канале интерферометра [6]. Как показано в [7], этот подход позволяет создавать мультимодальные аналитические системы, так как допускает исследование объекта не только в режиме ОКМ, но и методами широкополосной (световой) и спектральной микроскопии. Такие мультимодальные системы необходимы при изучении динамических процессов и в случаях, когда перемещение исследуемого объекта с одной установки на другую для последовательного анализа не представляется возможным.

В системах ОКМ СО с АО-фильтрацией на выходе интерферометра используется широкополосный источник излучения, из спектра которого АО-монохроматором выделяется узкая спектральная составляющая. Ширина  $\delta\lambda$  этой составляющей определяет длину когерентности  $\lambda_0^2/\delta\lambda$  ( $\lambda_0$  – рабочая длина волны интерферометра). Применение широкополосного источника позволяет избежать спекл-шумов в интерферограммах в отличие от схем ОКМ СО на основе перестраиваемых лазерных источников высококогерентного излучения.

Для реализации такого подхода АО-фильтрация одновременно опорного и объектного световых пучков не должна искажать интерференционную картину. Амплитудные и пространственно-спектральные искажения, сдвиг частоты, объемность взаимодействия, расходимость, снос, переотражения звуковой волны и другие особенности АО-дифракции [8, 9] накладывают ограничения на качество передаваемого изображения [10, 11] и требуют учета при проектировании систем ОКМ СО на ее основе.

В настоящей работе впервые проведен теоретический расчет интерференционной картины, формируемой двумя световыми пучками, переносящими изображения, после их брэгговской дифракции на одной акустической волне в одноосном кристалле.

### Оптическая схема

Схема ОКМ СО со спектральной фильтрацией интерферирующих пучков, переносящих изображения, представляет собой интерферометр Майкельсона с АО-монохроматором в выходном канале (рис. 1). В ней излучение широкополосного источника 1 коллимируется объективом 2, делится светоделителем 3 и направляется в опорное и объектное плечи интерферометра. Микрообъективы 4 фокусируют излучение на плоском зеркале 5 и исследуемом образце 6, затем собирают его после отражения от 5 и 6, формируя

опорный и объектный пучки. Эти пучки сводятся вместе светоделителем 3 и направляются в приемный канал, где осуществляется их спектральная фильтрация АО-монохроматором 7 и фокусировка объективом 8 на матричном приемнике излучения 9. Для восстановления трехмерной структуры исследуемого образца производится перестройка монохроматора по длине волны  $\lambda_0$  и запись серии спектральных интерференционных изображений  $I_{\lambda_0}(x, y)$ .

АО-монохроматор 7 содержит АО-ячейку, представляющую собой кристалл, и два скрещенных поляризатора, между которыми она расположена. В АО-ячейке пьезопреобразователем возбуждается ультразвуковая волна частотой  $f$ , на которой линейно поляризованный световой пучок дифрагирует с изменением направления поляризации на ортогональную. Недифрагированное излучение отрезается выходным поляризатором. Центральная длина волны полосы пропускания АО-ячейки  $\lambda_0$  связана с частотой ультразвука  $f$  как [10]:

$$\lambda_0 = F(\theta, \gamma) v \Delta n / f, \tag{1}$$

где  $v$  – скорость ультразвука;  $\Delta n = n_e - n_o$  – разность показателей преломления для обыкновенно ( $n_o$ ) и необыкновенно ( $n_e$ ) поляризованных волн;  $F(\theta, \gamma)$  – коэффициент, зависящий от геометрии АО-взаимодействия (ориентации световой  $\theta$  и звуковой волн  $\gamma$ ).

Для получения интерференционных изображений на различных длинах волн  $\lambda_0$  на пьезопреобразователе последовательно подаются соответствующие им частоты управляющего сигнала  $f$ .

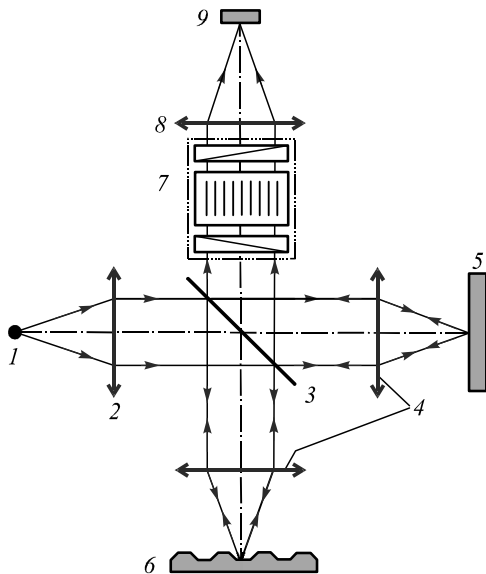


Рис. 1. Схема интерферометра Майкельсона с АО-фильтрацией интерферирующих пучков, переносящих изображения, в приемном канале

### Расчет интерференционной картины

В интерферометре Майкельсона интенсивность интерференционной картины, образованной опорной и объектной волнами с выделяемым АО-монохроматором узкополосным (квазимонохроматическим) спектром излучения  $S(k)$  ( $k = 2\pi/\lambda$  – волновое

число), максимум которого приходится на длину волны  $\lambda_0 = 2\pi/k_0$ , описывается выражением:

$$I(x, y) = I_1(x, y) + I_2(x, y) + 2\sqrt{I_1(x, y)I_2(x, y)}V(\Delta(x, y))\cos(k_0\Delta(x, y)), \tag{2}$$

где  $I_1(x, y)$ ,  $I_2(x, y)$  – распределение интенсивности, создаваемое пучками из опорного и объектного каналов. Оптическая разность хода  $\Delta(x, y)$  неоднородна по сечению светового пучка и определяется разностью оптических длин объектного  $L_S(x, y)$  и опорного  $L_R(x, y)$  плеч:

$$\Delta(x, y) = 2[L_R(x, y) - L_S(x, y)]. \tag{3}$$

Оптическая длина объектного плеча  $L_S(x, y)$  в случае отражающих непрозрачных объектов описывает их геометрический профиль. Ширина интерференционных полос определяется длиной волны излучения  $\lambda_0$  и углом сведения интерферирующих волн. Для получения интерференционных полос конечной ширины плоское зеркало в опорном плече наклоняют на небольшие углы  $\alpha$  и  $\beta$  вокруг осей  $x$  и  $y$  [12]:

$$L_R(x, y) = L_0 + \alpha x + \beta y + z_R, \tag{4}$$

где  $L_0$  – оптическая длина пути, одинаковая для обоих плеч,  $z_R$  – начальное смещение опорного зеркала вдоль оптической оси, которое вводится в схему для того, чтобы избежать наложения автокорреляционных составляющих обратного преобразования Фурье на полезный сигнал [13].

Функция видности  $V$ , служащая мерой контраста интерференционных полос и являющаяся одним из основных показателей качества интерференционной картины, определяется формой спектра регистрируемого излучения  $S(k)$  и может быть рассчитана по формуле [14]:

$$V(\Delta(x, y)) = \frac{\left| \int_{-\infty}^{\infty} S(k) \exp(ik\Delta(x, y)) dk \right|}{\int_{-\infty}^{\infty} S(k) dk}, \tag{5}$$

где  $S(k) = S_0(k)T(k)$ ;  $S_0(k)$  – спектр излучения источника света;  $T(k)$  – функция пропускания АО-фильтра, задаваемая выражением [8]:

$$T = (\Gamma L)^2 \frac{\sin^2\left(L\sqrt{\Gamma^2 + (\Delta k / 2)^2}\right)}{\left(L\sqrt{\Gamma^2 + (\Delta k / 2)^2}\right)^2}, \tag{6}$$

где  $L$  – длина АО-взаимодействия, определяется длиной пьезопреобразователя; параметр  $\Gamma \sim \sqrt{P}$  зависит от мощности ультразвуковой волны  $P$  и для достижения 100 % эффективности дифракции мощность устанавливается из условия  $\Gamma L = \pi/2$ ;  $\Delta k$  – волновая расстройка.

Ненулевая волновая расстройка  $\Delta k$  неизбежно возникает при АО-фильтрации световых пучков в пределах поля зрения оптической системы, предшествующей АО-монохроматору. Это объясняется тем,

что условию Брэгга (синхронизма)  $k_i + q = k_d$  ( $k_i, k_d$  – волновые векторы падающей и дифрагированной волн,  $q$  – волновой вектор акустической волны) точно удовлетворяет только луч, идущий из центра поля зрения в направлении синхронизма  $\theta_1 = \theta_{s1}, \theta_2 = \theta_{s2}$ . Остальные лучи имеют ненулевую волновую расстройку  $\Delta k$ , которая для геометрии дифракции  $e \rightarrow o$  задается формулой [11]:

$$\Delta k = kn_0 \left( \sqrt{(\xi(\theta_1) - \eta)^2 + 2\eta\xi(\theta_1)(1-A) - 1} \right), \quad (7)$$

где  $A = \cos(\theta_1 - \gamma_1) - \cos \theta_1 \cos \gamma_1 (1 - \cos(\theta_2 - \gamma_2))$ ;  $\gamma_1, \gamma_2$  – углы распространения акустической волны  $q$ ;  $\eta = \lambda_0 / (\Lambda n_o)$  – безразмерный спектральный параметр, определяющий связь длин волн света  $\lambda_0$  и звука  $\Lambda$ ;  $\xi(\theta_1) = \xi_0 / \sqrt{\cos^2 \theta_1 + \xi_0^2 \sin^2 \theta_1}$ ;  $\xi_0 = n_e / n_o$ . Аналогичные формулы для случая дифракции  $o \rightarrow e$  получены в [15]. Наличие волновой расстройки  $\Delta k \neq 0$  для всех направлений, кроме одного ( $\theta_1 = \theta_{s1}, \theta_2 = \theta_{s2}$ ), удовлетворяющего условию синхронизма, приводит к тому, что функция пропускания  $T$  приобретает зависимость от пространственных координат  $(x, y)$ , что необходимо учитывать при вычислении видности  $V$ . Вид функции пропускания  $T(\theta_1, \theta_2)$  АО-монохроматора существенно зависит от геометрии АО-взаимодействия.

Следует отметить, что для передачи изображений, как правило, используется широкоугольная геометрия АО-взаимодействия в полярной плоскости  $Y = 0$ , для которой  $\theta_2 = \gamma_2 = 0$  (рис. 2). В этом случае углы распространения света  $\theta_1$  и звука  $\gamma_1$  однозначно связаны между собой [10].

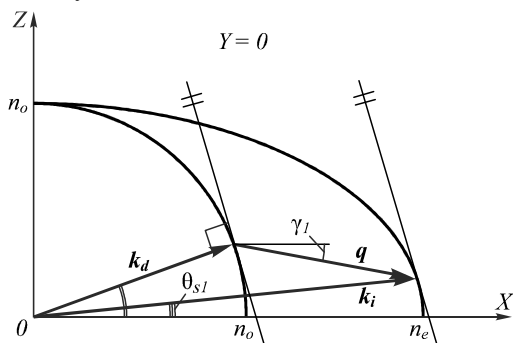


Рис. 2. Волновая диаграмма широкоугольного АО-взаимодействия в полярной плоскости

Ширина функции пропускания АО-фильтра  $\delta\lambda$ , выраженная в единицах длины волны, зависит от выделяемой длины волны  $\lambda_0$  [9]:

$$\delta\lambda = \lambda_0^2 F(\theta, \gamma) / L \Delta n. \quad (8)$$

С учетом зависимости функции пропускания  $T$  АО монохроматора от пространственных координат  $(x, y)$  и от выделяемой длины волны  $\lambda_0 = 2\pi/k_0$  выражение (5) для функции видности принимает вид:

$$V(\Delta(x, y), k_0) = \left| \frac{\int_{-\infty}^{\infty} S_0(k) T(k, k_0, x, y) \exp(ik\Delta(x, y)) dk}{\int_{-\infty}^{\infty} S_0(k) T(k, k_0, x, y) dk} \right|. \quad (9)$$

Совокупность формул (2)–(9) позволяет рассчитать интерференционную картину  $I_{\lambda_0}(x, y)$  в схеме интерферометра Майкельсона с АО-фильтрацией интерферирующих пучков в приемном канале.

### Экспериментальная установка

Для проверки результатов моделирования на базе интерферометра Линника МИИ-4 была собрана экспериментальная установка по схеме, показанной на рис. 1. В качестве широкополосного источника использовалась галогенная лампа. В приемном канале был установлен монохроматор на основе широкоугольной АО-ячейки ( $\theta_1 = 73,6^\circ, \gamma_1 = -7,1^\circ, \theta_2 = \gamma_2 = 0^\circ$ ) из одноосного кристалла  $\text{TeO}_2$ . Основные параметры монохроматора: диапазон перестройки – 450-750 нм, угловая апертура –  $3^\circ \times 3^\circ$ , длина преобразователя –  $L = 12$  мм.

Для иллюстрации на рис. 3 представлены спектр излучения используемого источника  $S(\lambda)$  и функция пропускания АО-монохроматора  $T(\lambda)$  при настройке его на различные длины волн  $\lambda_0$ , а на рис. 4 – вычисленные по формуле (9) зависимости видности интерференционной картины  $V$  от оптической разности хода  $\Delta$  для тех же длин волн  $\lambda_0$ . Как показывает расчет, с увеличением длины волны  $\lambda_0$  видность, в значительной степени определяющая качество интерференционной картины, снижается.

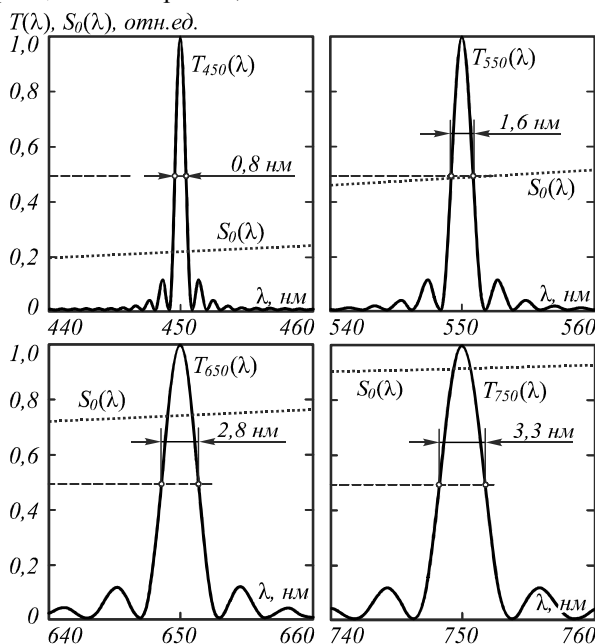


Рис. 3. Нормированные спектр излучения используемого источника света  $S_0(\lambda)$  и функция пропускания АО-фильтра  $T_{\lambda_0}(\lambda)$

### Эксперимент

В качестве тест-объекта для моделирования и экспериментов использовалась мира с прямоугольным профилем с периодом 100 мкм и высотой  $h = 9,7$  мкм (рис. 5a). Начальное смещение опорного зеркала  $z_R = 25$  мкм, углы наклона опорного зеркала  $\alpha = 0,3^\circ, \beta = 0,7^\circ$ . Ввиду малости углов  $\alpha$  и  $\beta$  в сравнении с угловой апертурой АО-фильтра функция пропускания

АО фильтра  $T$  для опорного и объектного интерферирующих пучков принималась одинаковой.

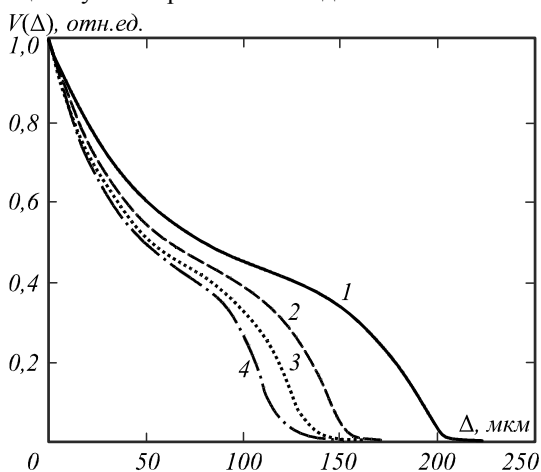


Рис. 4. Теоретическая зависимость видности  $V$  интерференционной картины от оптической разности хода  $\Delta$  при настройке фильтра на длину волны 450 нм (1), 550 нм (2), 650 нм (3), 750 нм (4)

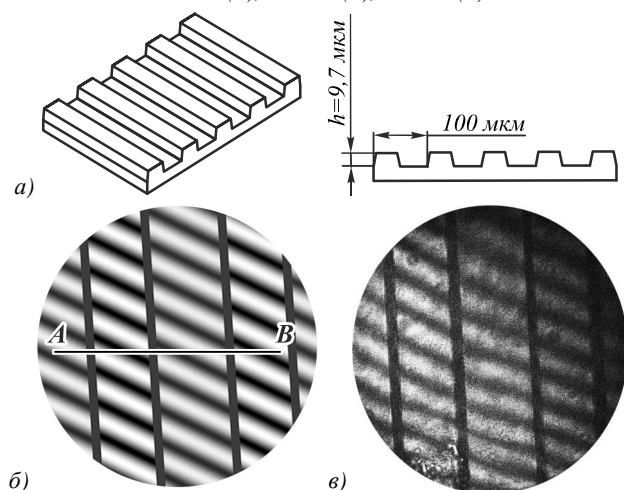


Рис. 5. Исследуемый объект (а), смоделированное (б) и экспериментально полученное (в) интерференционные изображения на длине волны  $\lambda_0 = 550$  нм

На рис. 5б, в представлены два интерференционных изображения мира на длине волны 550 нм: рассчитанное согласно (2)–(9) и экспериментально полученное. Вертикальные темные полосы соответствуют наклонным боковым граням ступенек мира, так как отраженное от них излучение не попадает в апертуру микробиоъектива. При расчете не учитывались aberrации оптической системы, хроматические aberrации АО-фильтра и шумы изображения, что обуславливает некоторое отличие расчетного и экспериментального изображений.

На рис. 6 сопоставлены профили поверхности тест-объекта, вычисленные вдоль отрезка  $AB$  (рис. 5б) в результате обработки серии из 300 спектральных интерферограмм в диапазоне 450–750 нм с постоянным шагом по частоте  $\lambda^{-1}$ : синтезированных расчетным путем (сверху) и экспериментально полученных (снизу). Обработка данных заключалась в вычислении вертикального профиля коэффициента отражения

света в каждой точке отрезка  $AB$  путем применения обратного преобразования Фурье к спектральным зависимостям интенсивности  $I(k)$ .

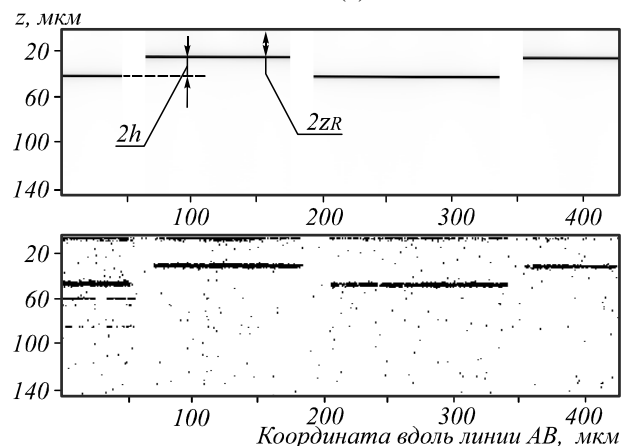


Рис. 6. Вычисленные в результате численного моделирования (сверху) и по данным экспериментального измерения (снизу) профили тест-объекта

### Заключение

В настоящей работе впервые приведены основные соотношения для вычисления интерференционной картины, формируемой световыми пучками, переносщими изображения, после их спектральной АО-фильтрации. Показано, что характеристики АО-фильтра влияют непосредственно на качество интерференционной картины и должны быть учтены при ее расчете. Так, например, контраст интерференционных полос (видность) этой картины определяется функцией пропускания фильтра  $T(\theta_1, \theta_2, \lambda)$ , которая зависит от геометрии АО-взаимодействия (углов распространения света  $\theta$  и звука  $\gamma$ , длины  $L$  акустооптического взаимодействия). Результаты теоретического расчета подтверждаются данными экспериментов.

Интерференционные схемы на основе АО-фильтрации излучения в приемном канале выгодно отличаются устойчивостью к внешним засветкам, программное управление, произвольная спектральная адресация и другие достоинства. При соответствующей доработке представленного аналитического описания формирования интерферограмм указанный подход может найти применение не только в схемах ОКМ СО, но и в схемах цифровой голографической микроскопии и других интерференционных системах для анализа амплитудно-фазовой структуры объектов.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантов Президента МК-199.2017.8 и РФФИ 16-07-00393.

### Литература

1. **Usler, G.H.** “Coherence radar” and “spectral radar” – new tools for dermatological diagnosis / G.H. Usler, M.W. Lindner // Journal of Biomedical Optics. – 1998. – Vol. 3(1). – P. 21-31. – DOI: 10.1117/1.429899.
2. **Stifter, D.** Beyond biomedicine: a review of alternative applications and developments for optical coherence tomogra-

- phy / D. Stifter // Applied Physics B. – 2007. – Vol. 88(3). – P. 337-357. – DOI: 10.1007/s00340-007-2743-2.
3. Optical Coherence Tomography: Technology and Applications / Ed. by W. Drexler and J.G. Fujimoto. – 2<sup>nd</sup> ed. – Springer International Publishing Switzerland, 2015. – 2571 p. – ISBN: 978-3-319-06418-5.
  4. **Považay, B.** Full-field time-encoded frequency-domain optical coherence tomography / B. Považay, A. Unterhuber, B. Hermann, H. Sattmann, H. Arthaber, W. Drexler // Optics Express. – 2006. – Vol. 14(17). – P. 7661-7669. – DOI: 10.1364/OE.14.007661.
  5. **Fercher, A.F.** Optical coherence tomography – principles and applications / A.F. Fercher, W. Drexler, C.K. Hitzenberger, T. Lasser // Reports on Progress in Physics. – 2003. – Vol. 66(2). – P. 239-303. – DOI: 10.1088/0034-4885/66/2/204.
  6. **Висковатых, А.В.** Комбинированная оптическая когерентная и спектральная микроскопия на основе перестраиваемых акустооптических фильтров изображений / А.В. Висковатых, А.С. Мачихин, В.Э. Пожар, В.И. Пустовойт, Д.А. Висковатых // Письма в ЖТФ. – 2014. – Т. 40, № 4. – С. 33-41.
  7. **Machikhin, A.S.** Acousto-optical tunable filter for combined wide-band, spectral and optical coherence microscopy / A.S. Machikhin, V.E. Pozhar, A.V. Viskovatykh, L.I. Burmak // Applied Optics. – 2015. – Vol. 54(25). – P. 7508-7513. – DOI: 10.1364/AO.54.007508.
  8. Оптические волны в кристаллах / А. Ярив, П. Юх; пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 616 с.
  9. Физические основы акустооптики / В.И. Балакшиев, В.Н. Парыгин, Л.Е. Чирков. – М.: Радио и связь, 1985. – 280 с.
  10. **Pozhar, V.** Image aberrations caused by light diffraction via ultrasonic waves in uniaxial crystals / V. Pozhar, A. Machikhin // Applied Optics. – 2012. – Vol. 51(19). – P. 4513-4519. – DOI: 10.1364/AO.51.004513.
  11. **Мачихин, А.С.** Передача изображений при широкоугольном акустооптическом взаимодействии / А.С. Мачихин, В.Э. Пожар // Квантовая электроника. – 2010. – Т. 40, № 9. – С. 837-841.
  12. **Лычагов, В.В.** Низкокогерентная интерферометрия слоистых структур в полихроматическом свете с цифровой записью и обработкой интерферограмм / В.В. Лычагов, В.П. Рябухо, А.Л. Кальянов, И.В. Смирнов // Компьютерная оптика. – 2010. – Т. 34, № 4. – С. 511-524.
  13. **Dhalla, A.-H.** Complete complex conjugate resolved heterodyne swept-source optical coherence tomography using a dispersive optical delay line / A.-H. Dhalla, J.A. Izatt // Biomedical Optics Express. – 2011. – Vol. 2(5). – P. 1218-1232. – DOI: 10.1364/BOE.2.001218.
  14. Оптика: Учеб. пособие для вузов / Е.И. Бутиков; под ред. Н.И. Калитеевского. – М.: Высшая школа, 1986. – 512 с.
  15. **Мачихин, А.С.** Пространственно-спектральные искажения изображения при дифракции обыкновенно поляризованного светового пучка на ультразвуковой волне / А.С. Мачихин, В.Э. Пожар // Квантовая электроника. – 2015. – Т. 45, № 2. – С. 161-165.

#### Сведения об авторах

**Мачихин Александр Сергеевич**, 1984 года рождения, в 2007 году окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана, канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник Научно-технологического центра уникального приборостроения РАН (НТЦ УП РАН), ассистент МЭИ. Область научных интересов: машинное зрение, видеоспектрометрия, акустооптика, спектроскопия. E-mail: [aalexanderr@mail.ru](mailto:aalexanderr@mail.ru).

**Бурмак Людмила Игоревна**, аспирант НТЦ УП РАН. Область научных интересов: акустооптика, интерферометрия, обработка изображений. E-mail: [burmakliu@yandex.ru](mailto:burmakliu@yandex.ru).

**Пожар Витольд Эдуардович**, 1958 года рождения, в 1981 году окончил Московский физико-технический институт (МФТИ), докт. физ.-мат. наук, зав. отделом НТЦ УП РАН, профессор кафедры физико-технических проблем метрологии МИФИ. Область научных интересов: акустооптика, спектральные методы, фотоника. E-mail: [v\\_pozhar@rambler.ru](mailto:v_pozhar@rambler.ru).

ГРНТИ: 29.31.26.

Поступила в редакцию 30 декабря 2016 г. Окончательный вариант – 9 февраля 2017 г.

### CALCULATION OF THE INTERFERENCE PATTERN FORMED BY IMAGE-CARRYING LIGHT BEAMS DIFFRACTED BY AN ACOUSTIC WAVE IN A UNIAXIAL CRYSTAL

A.S. Machikhin<sup>1,2</sup>, L.I. Burmak<sup>1</sup>, V.E. Pozhar<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Scientific and Technological Center of Unique Instrumentation, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,

<sup>2</sup> National Research University "MPEI", Moscow, Russia,

<sup>3</sup> National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia

#### Abstract

A scheme of full-field optical coherence microscopy based on a Michelson interferometer with wideband light source and acousto-optic spectral filtration in the output channel is studied. Mathematical formulas for calculating the interference pattern formed by image-carrying light beams diffracted by an acoustic wave in a uniaxial crystal are derived for this scheme. Results of numerical modeling and its comparison with experimental data are given.

**Keywords:** acousto-optic interaction, image spectral filtration, optical coherence microscopy, interference pattern visibility.

**Citation:** Machikhin AS, Burmak LI, Pozhar VE. Calculation of the interference pattern formed by image-carrying light beams diffracted by an acoustic wave in a uniaxial crystal. Computer Optics 2017; 41(2): 169-174. DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-2-169-174.

*Acknowledgements:* The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grant 16-07-00393) and RF President's Grant MK-199.2017.8.

### References

- [1] Usler GH, Lindner MW. "Coherence radar" and "spectral radar" – new tools for dermatological diagnosis. *Journal of Biomedical Optics* 1998; 3(1): 21-31. DOI: 10.1117/1.429899.
- [2] Stifter D. Beyond biomedicine: a review of alternative applications and developments for optical coherence tomography. *Applied Physics B* 2007; 88(3): 337-357. DOI: 10.1007/s00340-007-2743-2.
- [3] Drexler W, Fujimoto JG, eds. *Optical Coherence Tomography: Technology and Applications*. Springer International Publishing Switzerland; 2015. ISBN: 978-3-319-06418-5.
- [4] Považay B, Unterhuber A, Hermann B, Sattmann H, Arthaber H, Drexler W. Full-field time-encoded frequency-domain optical coherence tomography. *Optics Express* 2006; 14(17): 7661-7669. DOI: 10.1364/OE.14.007661.
- [5] Fercher AF, Drexler W, Hitzenberger CK, Lasser T. Optical coherence tomography – principles and applications. *Reports on Progress in Physics* 2003; 66(2): 239-303. DOI: 10.1088/0034-4885/66/2/204.
- [6] Viskovatykh AV, Machikhin AS, Pozhar VE, Pustovoit VI, Viskovatykh DA. Combined optical-coherence and spectral microscopy based on tunable acousto-optic filters of images. *Technical Physics Letters* 2014; 40(2): 157-160. DOI: 10.1134/S106378501402028X.
- [7] Machikhin AS, Pozhar VE, Viskovatykh AV, Burmak LI. Acousto-optical tunable filter for combined wide-band, spectral and optical coherence microscopy. *Applied Optics* 2015; 54(25): 7508-7513. DOI: 10.1364/AO.54.007508.
- [8] Yariv A, Yeh P. *Optical Waves in Crystals*. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons Inc.; 1984.
- [9] Balakshii VI, Paryigin VN, Chirikov LE. *Physical principles of acousto-optics* [In Russian]. Moscow: "Radio i svyaz" Publisher; 1985.
- [10] Pozhar V, Machihin A. Image aberrations caused by light diffraction via ultrasonic waves in uniaxial crystals. *Applied Optics* 2012; 51(19): 4513-4519. DOI: 10.1364/AO.51.004513.
- [11] Machihin AS, Pozhar VE. Image transformation caused by wide-angle acousto-optic interaction. *Quantum Electronics* 2010; 40(9): 837-841. DOI: 10.1070/QE2010v040n09AB-EH014371.
- [12] Lychagov VV, Ryabukho VP, Kalyanov AL, Smirnov IV. Low-coherence interferometry of stratified structures using polychromatic light and digital interferogram recording and processing [In Russian]. *Computer Optics* 2010; 34(4): 511-524.
- [13] Dhalla A-H, Izatt JA. Complete complex conjugate resolved heterodyne swept-source optical coherence tomography using a dispersive optical delay line. *Biomedical Optics Express* 2011; 2(5): 1218-1232. DOI: 10.1364/BOE.2.001218.
- [14] Bytikov EI. *Optics: Textbook for high schools* [In Russian]. Moscow: "Vusshaya Shkola" Publisher; 1986.
- [15] Machihin AS, Pozhar VE. Spatial and spectral image distortions caused by diffraction of an ordinary polarized light beam by an ultrasonic wave. *Quantum Electronics* 2015; 45(2): 161-165. DOI: 10.1070/QE2015v045n02ABEH015385.

### Authors' information

**Alexander Sergeevich Machikhin** (b. 1984) graduated from Bauman Moscow State Technical University (BMSTU) in 2007, Candidate in Physics & Maths, Leading Researcher in Scientific and Technological Center of Unique Instrumentation of Russian Academy of Sciences (STC UI RAS), assistant of Electrical Engineering and Introspectivity department at National Research University MPEI. Research interests: machine vision, spectral imaging, acousto-optics. E-mail: [aalexanderr@mail.ru](mailto:aalexanderr@mail.ru).

**Ludmila Igorevna Burmak**, postgraduate student in STC UI RAS. Research interests: acousto-optics, interferometry, image processing. E-mail: [burmakliu@yandex.ru](mailto:burmakliu@yandex.ru).

**Vitold Eduardovich Pozhar** (b. 1958) graduated from Bauman Moscow State Technical University (MIPT) in 1981, Doctor in Physics & Maths, Chief of Department in STC UI RAS, professor of Physical and Technical Problems department in Metrology at National Research Nuclear University MEPhI. Research interests: acousto-optics, spectral analysis, photonics. E-mail: [v\\_pozhar@rambler.ru](mailto:v_pozhar@rambler.ru).

*Received December 30, 2016. The final version – February 9, 2017.*