

Спектральные линзы для выделения кровеносных сосудов на коже

М.М. Хамза
Самарский национальный
исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Самара, Россия
mohammed.mohee.1986@gmail.com

В.А. Бланк
Самарский национальный
исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Институт систем обработки
изображений - филиал ФНИЦ
«Кристаллография и фотоника»
РАН
Самара, Россия
veronika_blank@mail.ru

В.В. Подлипов
Самарский национальный
исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Институт систем обработки
изображений - филиал ФНИЦ
«Кристаллография и фотоника»
РАН
Самара, Россия
podlipnovvv@yandex.ru

Аннотация—В данной работе рассмотрена спектральная дифракционная линза для выделения кровеносных сосудов на коже. Для экспериментальных исследований используется камера Basler acA1920-40um с интерфейсом USB 3.0, CMOS-матрицей Sony IMX249 и частотой 41 кадр в секунду при разрешении 2,3 Мпикс, объективом которой выступает спектральная дифракционная линза, осуществляющая формирование изображения с соответствующими длинами волн 735 и 835 нм в области сенсора камеры. В качестве входного объектива выступает стандартный объектив 25мм, типа C-mount, в фокусе которого расположена щелевая диафрагма с размером щели 15 мкм. В работе также используется прикладное программное обеспечение, которое используется для решения задач спектрального анализа.

Ключевые слова— кровеносные сосуды на коже, гиперспектрометр, гиперкуб, спектральный анализ, спектральная линза.

1. ВВЕДЕНИЕ

Целью данного исследования является представление и оценка новой, портативной и простой в использовании технологии визуализации для исследования кровеносных сосудов на коже, основанной на применении спектральной дифракционной линзы с использованием стандартной цифровой камеры технического зрения.

Технологии визуализации внутренних структур тканей и кожных покровов в медицине могут давать важные знания о здоровье тканей, органов, кровеносной системы, наличие вторичных послеоперационных осложнений или проблем, связанных с сахарным диабетом. Примерами соответствующих областей исследований и клинической значимости для оценки микроциркуляции кожи являются разработка лекарств, в которых необходимо знать вазоактивные эффекты на микроциркуляторное русло, и состояния кожи, например, вызванные раздражением и аллергическими механизмами. Другие примеры можно найти в заживлении ран, мониторинге кожного трансплантата и физиологических aberrациях, таких как феномен Рейно, где диагностика все еще обычно основывается только на субъективных методах наблюдения, поскольку независимые от пользователя технологии еще не получили применения в клинической практике.

Поэтому разработка новых методов, позволяющих правильно и на ранней стадии диагностировать микрососудистые нарушения, ведущие к потенциально

серьезным состояниям, представляет общий интерес для многих исследовательских групп, занимающихся неинвазивными измерениями патологических состояний тканей кожи. Инструментальным методом, наиболее тесно связанным со стандартной визуальной оценкой, является оптическая спектроскопия [1], которая анализирует характеристики длины волны видимого света (от 400 до 650 нм), отраженного от кожи. При наличии соответствующего оборудования доступны и другие диапазоны длин волн, включая инфракрасный и ультрафиолетовый диапазоны, невидимые невооруженным глазом [2].

Неинвазивные дистанционные методы оптического наблюдения имеют преимущества и могут использоваться *in vivo*. Оптические методы в отличие от ультразвуковых, например, могут иметь более высокое разрешение, достигающее долей миллиметра. Одним из таких методов является оптическая когерентная томография, основанная на интерферометрии [3]. Однако, высокая стоимость ограничивает применение этой технологии в широкой практике. Для разработки новых, универсальных и дешевых технологий исследования может быть применены знания гиперспектрального зондирования кожи и тканей. [4].

На основе известных сведений о наиболее высоком контрастном выделении сосудов кожи от остальных тканей, можно указать что наибольший интерес представляют длины волн в диапазоне 550-850 нм. В данном диапазоне также возможен анализ содержание кислорода в крови с использованием анализа спектральных каналов в области длин волн 750 и 550 нм [5]. Изготовление спектральных дифракционных линз для указанных длин волн, таким образом, позволит проводить визуализацию и одновременный расчет разностного нормализованного индексного изображения для повышения контраста выделения сосудов

Способ расчета спектральных дифракционных линз (СДЛ) был подробно описан в [6], поэтому в рамках данной работы, мы не будем подробно его описывать.

Спектральная дифракционная линза для выделения сосудов на коже была изготовлена методом прямой лазерной записи на станции лазерной записи CLWS-2014 по фоторезисту ФП-3535, который был предварительно нанесен на кварцевую подложку методом центрифугирования толщиной 6 мкм. При этом высота формируемого микрорельефа составила около 4мкм.

Для удобства изготовления диаметр линзы был ограничен диаметром 12 мм, фокусное расстояние $f = 70$ мм, было выбрано из соображения удобства при проведении экспериментальных исследований. На рис. 1а показано изображение микрорельефа СДЛ для разделения длин волн 735 нм и 835 нм, которые были получены в оптическом микроскопе.

На рис. 1б представлено изображение участка микрорельефа, где хорошо видна, в том числе, и тонкая структура СДЛ.

На рис. 1в представлена профилограмма, полученная по линии симметрии линзы в профилометре Tencor.

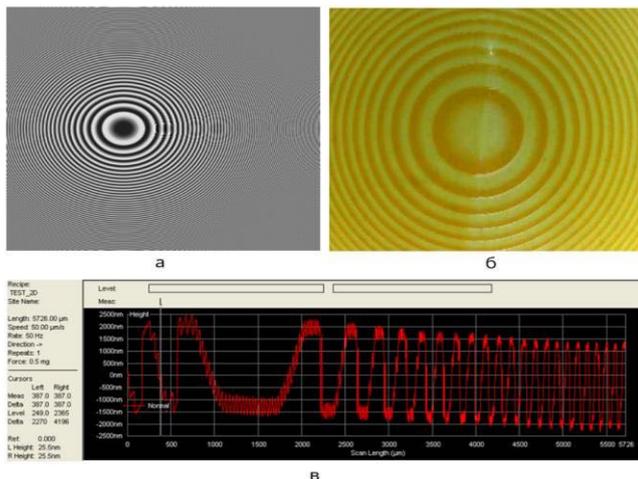


Рис. 1. Фазовая функция СДЛ (735 нм, 835 нм) (а), внешний вид центрального участка СДЛ (735 нм, 835 нм) с тонкой структурой под оптическим микроскопом (б), профилограмма СДЛ (735 нм, 835 нм), полученная вдоль линии симметрии линзы в профилометре Tencor

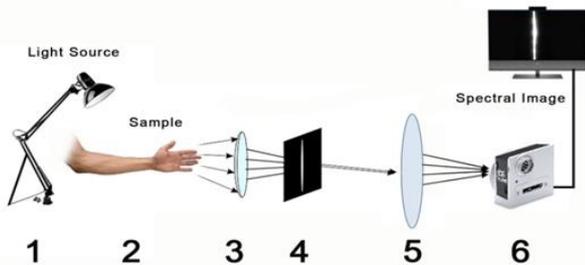


Рис. 2. Оптическая схема эксперимента: 1 – источник освещения, 2 – объект, 3 – линза, 4 – щелевая диафрагма, 5 – СДЛ, 6 – камера Basler acA 1920-40um

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СДЛ

Перед этим экспериментальным испытанием было одобрено исследование предплечья здорового 35-летнего испытуемого. Предплечье было освещено при помощи галогеновой лампы 1. При помощи линзы 3 формировалось изображение объекта 2 в плоскости щелевой диафрагмы 4 шириной 200 мкм, после чего СДЛ 5 формировала спектральное изображение на светочувствительной матрице камеры Basler acA 1920-40um. Основной принцип пользовательской оптической систе-

мы визуализации более точно показан на рис. 2, где ключевым элементом для получения необходимых гиперспектральных изображений была гиперспектральная (HIS) камера на основе изготовленной СДЛ со спектральным диапазоном светочувствительного сенсора 400 - 1000 нм Basler acA 1920-40um. Оптическая установка была закреплена во время сканирования на расстоянии 1,2 м от исследуемого образца.

За счет относительно небольшого расстояния до объекта расстояние между СДЛ и плоскостью регистрации составило 80 мм, где располагалась светочувствительная матрица камеры. На светочувствительной матрице регистрировались два порядка в -1 для длины волны 735 нм, в +1 для длины волны 835 нм.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для подтверждения работоспособности спектральной линзы для выделения кровеносных сосудов на коже изготовлена лабораторная установка. В рамках эксперимента была установлена щелевая диафрагма шириной отверстия 0,2 мм (200 мкм) в непрозрачном экране, через которую было осуществлено сканирование участка. В результате такого эксперимента на светочувствительной матрице зарегистрированы спектральные изображения, на основе которых при помощи специальной программы, были восстановлены изображения на длинах волн 735 нм и 835 нм. Это доказывает возможность использования такой линзы в качестве основы для выделения кровеносных сосудов на коже.

БЛАГОДАРНОСТИ

Результаты исследования были получены в рамках выполнения государственного задания ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] O'Doherty, J. Sub-epidermal imaging using polarized light spectroscopy for assessment of skin microcirculation / J. O'Doherty, J. Henricson, C. Anderson, M.J. Leahy, G.E. Nilsson, F. Sjöberg // *Skin Research and Technology*. – 2007. – Vol. 13(4). – P. 472-473.
- [2] Attas, M. Visualization of cutaneous hemoglobin oxygenation and skin hydration using near-infrared spectroscopic imaging / M. Hewko, J. Payette, T. Posthumus, M. Sowa, H. Mantsch // *Skin Research and Technology*. – 2001. – Vol. 7(4). – P. 238-245.
- [3] Проскурин, С.Г. Визуализация кровеносных сосудов при помощи оптической когерентной томографии / С.Г.Проскурин, С.В. Фролов // *Медицинская техника*. – 2012. – Т. 3, № 273. – С. 9-14.
- [4] Lu, G. Medical hyperspectral imaging: a review / G. Lu, B. Fei // *Journal of biomedical optics*. – 2014. – Vol. 19(1). – P. 1-23.
- [5] Bjorgan, A. Estimation of skin optical parameters for real-time hyperspectral imaging applications / A. Bjorgan, M. Milanic, L.L. Randeberg // *Journal of biomedical optics*. – 2014. – Vol. 19(6). – P. 1-11.
- [6] Soifer, V.A. Methods for computer design of diffractive optical elements / L.L. Doskolovich, D.L. Golovashkin, N.L. Kazanskiy, S.I. Kharitonov, S.N. Khonina, V.V. Kotlyar, V.S. Pavelyev, R.V. Skidanov, V.S. Solovyev, G.V. Uspleniev, A.V. Volkov. – N.Y.: Wiley-Interscience, 2001. – 784 p.