

СЕКЦИЯ 1. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 535.2:616-71

ФОТОМЕТРЫ С ЭЛЛИпсоИДАЛЬНЫМИ РЕФЛЕКТОРАМИ

Безуглый М.А.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Киев, Украина*

Фотометрия в своем приборном исполнении использует всю номенклатуру оптических систем, преобразующие свойства которых в достаточной мере описаны и изучены. Причем, в независимости от типа фотометра, энергетические либо визуализирующие особенности оптических систем являются основой проведения исследований с требуемой точностью.

В последнее время широкое распространение получили средства для оптической диагностики рассеивающих объектов. Данный класс приборов востребован для определения шероховатости поверхностей, а также при исследовании оптических свойств рассеивающих (мутных) сред, биологических тканей и жидкостей. Как правило, типология проводимых измерений позволяет выделить отражательную, фотометрию, фотометрию на пропускание, а также фотометрию и на отражение, и на пропускание. Очевидно, что главным определяющим фактором является прогнозируемые способности объекта исследования к прониканию (рассеянию вперед) или отражению (рассеянию назад). Следует отметить, что в зависимости от параметров падающего оптического излучения (для данного класса приборов, как правило, лазерного) зарегистрированный световой поток содержит компоненты, характеризующие топографию поверхности, свойства границы раздела и рассеивающие свойства в квази-однородном слое.

Применение эллипсоидальных рефлекторов для технических [1] и биомедицинских [2] целей в качестве ядра фотометрической головки фотометра целесообразно с позиций повышенной достоверности зарегистрированной информации и эффективности последующей интерпретации.

В данной работе проанализированы типовые схемы фотометров с эллипсоидальными рефлекторами, работающие как в отраженном, так и проходящем, а также отраженном и проходящем свете. Указаны конструктивные особенности их исполнения с упором на основной элемент – отражатель в виде усеченного по фокальным плоскостям эллипсоида вращения. При этом внутренняя поверхность эллипсоида является зеркальной.

В работе проанализированы основные методы, которые позволяют получить полостной

эллипсоид из металла. Также рассмотрены особенности групповых технологических процессов изготовления фотометров с комплексной деталью – эллипсоидальным рефлектором.

В качестве базовой схемы для изготовления макета измерительного средства было выбрано техническое решение, экспериментальная апробация элементов которого была проведена в рамках [3, 4].

Очевидно, что спектральный диапазон работы данных фотометров может быть вплоть до 2 мкм и выше, и зависит только от параметров лазерного источника. На данный момент авторами преимущественно используется характеристическая длина волны 632,8 нм при номинальной мощности 2 мВт. Это объясняется, во-первых, применительно к биологическим объектам – диагностическим окном, а во-вторых чувствительностью матрицы ПЗС камеры.

В качестве количественной оценки зарегистрированных световых потоков используется сравнительный относительный метод ПЗС-фотометрии [1]. Получаемое пространственное распределение, как результат взаимодействия оптического излучения с исследуемым объектом, может быть охарактеризовано также путем зонного и секторного анализа [5] в случае контроля шероховатой поверхности.

В биомедицинском приложении, когда в большей степени «работает» не поверхность, а рассеивающая неоднородная среда, необходимо применение одной из существующих математических моделей, которые описывают распространение света в биологической ткани.

Как известно, ключевыми при оптической биомедицинской диагностике есть определяемые параметры (коэффициент рассеяния, коэффициент поглощения, фактор анизотропии рассеяния) биологической ткани на основе измеренных и вычисленных коэффициентов диффузного, коллимированного, а также полного отражения/пропускания. Причем, как свидетельствуют многие авторы [6], необходимо и достаточно для конкретной модели измерить только три из шести указанных величин.

При использовании фотометров с эллипсоидальными рефлекторами преимущественно имеют дело с регистрацией полного пропуска-

ния, диффузного пропускания и отражения, а также коллимированного пропускания. Некоторые типы фотометров [4] имеют конструкцию, обеспечивающую возможность регистрации, помимо указанных, еще и коллимированного отражения. Как видим, разрабатываемый класс фотометров позволяет получить более чем необходимую информацию для определения оптических параметров биологической среды.

С точки зрения функциональных возможностей и конструктивных особенностей рассматриваемых измерительных средств рассмотрены наиболее применимые модели взаимодействия лазерного излучения с биологической тканью, причем по некоторым из них (для инверсного Монте-Карло на отражение и пропускание [1] и трех-поточковой модели на отражение от подкладки [7]) получены вполне приемлемые результаты.

Поскольку практический интерес представляют не только интегральные потоки оптического излучения, которые позволяет собрать эллипсоидальное зеркало с внутренней отражающей поверхностью, а и потоки, которые можно выделить посредством анализа полученного пространственного распределения рассеянной лучистости, и которые отвечают дифференцированно за процессы взаимодействия света в поверхности, приповерхностным слоем и n -ым количеством слоев самого анализируемого объекта (например, кожи), авторами рассмотрена возможность использования механизма трассировки луча в фотометре. Данный процесс функционально целесообразно разделить на: отслеживание траектории движения фотона в биологической среде и на взаимодействие с рефлектором. Причем предварительный анализ распространения лучей внутри эллипсоида [1] показал необходимость абберационной оценки вклада отдельных частей эллипсоида по отношению к направляющим косинусам падающего луча.

В рамках данных исследований разработан программно-аппаратный комплекс, который позволяет осуществлять трассировку лучей в фотометре с эллипсоидальными рефлекторами, описанном в [3, 4]. Основными графическими результатами моделирования являются относительные распределения рассеянного биологической тканью излучения на входе и выходе их ткани, а также в обеих фокальных плоскостях верхнего и нижнего эллипсоидов. Авторами проведен сравнительный анализ процесса трассировки луча в системе «многослойная биологическая ткань + эллипсоидальный рефлектор» для численного и реального экспериментов для различных биологических тканей и параметров рефлектора.

Обозначим, что «биологичность» численного

эксперимента достигается путем определения оптических параметров конкретного образца исследуемой ткани методом инверсного Монте-Карло в реальном эксперименте и их подстановкой в модель трассировки луча, осуществленной методом прямого Монте-Карло. При этом изучены параметры используемой ПЗС матрицы в контексте исходных данных (в основном количества запускаемых фотонов) для процесса прямого моделирования.

Предопределенными в разработанном программно-аппаратном комплексе являются возможности моделирования падающего излучения в виде бесконечно-тонкого пучка, гауссового распределения, а также равномерного коллимированного потока конечного сечения.

Перспективными авторами считают исследование с применением фотометров с эллипсоидальными рефлекторами на других спектральных линиях. Также не до конца выясненным остаются вопросы абберационного анализа работы фотометрической головки и обоснования выбора ее конструктивных параметров.

1. Безуглый М.А., Ботвиновский Д.В., Зубарев В.В., Коцур Я.О. Метод фотометрического зеркального эллипсоида вращения для исследования шероховатости поверхности // Методы и приборы контроля качества – 2011. – № 27. – С. 77-83.
2. Безуглый М.А., Ярыч А.В., Ботвиновский Д.В. О возможности применения зеркального эллипсоида вращения для определения оптических свойств биологических тканей // Оптика и спектроскопия – 2012. – № 113(1). – С. 101–107.
3. Bezuglyi M.A., Pavlovets N.V. Optical biometry of biological tissues by ellipsoidal reflectors // Proc. OSA-SPIE – 2013. – 8798.
4. Bezuglyi M.A., Bezuglaya N.V. Ellipsoidal reflectors in biomedical diagnostic // Proc. SPIE – 2013. – 9032.
5. Зубарев В.В., Коцур Я.А., Безуглый М.А. Определение шероховатости поверхностей с помощью зеркального эллипсоида вращения // Сб. «Новые направления развития приборостроения» Материалы 5-й Международная студенческая научно-техническая конференция, 18 – 20 апреля 2012 г. – Минск, БНТУ. – 2012. – С. 25.
6. Тучин В.В. Оптическая биомедицинская диагностика. Т.1. – М.: Физматлит. – 2007. – 560 с.
7. Безуглая Н. В., Безуглий М.А., Чмирь Ю.В. Пространственная потоковая биометрия сред эллипсоидальными рефлекторами // Электроника и связь: научно-технический журнал. – 2014. – Т. 19. – № 6(83). – С. 87-93.