

ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ
В ЛАБОРАТОРИЯХ

УДК 535.2+535.3

УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКИХ ОБРАЗЦОВ

© 2019 г. В. И. Юсупов, Н. В. Минаев, А. П. Свиридов

Поступила в редакцию 22.04.2019 г.

После доработки 22.04.2019 г.

Принята к публикации 23.04.2019 г.

DOI: 10.1134/S0032816219050276

Распространение света в большинстве природных материалов определяется тремя параметрами: коэффициентом поглощения, коэффициентом рассеяния и средним косинусом угла рассеяния (фактор анизотропии). К ним добавляют феноменологическую фазовую функцию рассеяния или, другими словами, плотность вероятности угла рассеяния. Развитие экспериментальных методов измерения оптических характеристик имеет большое значение для физики, химии, материаловедения, биологии и медицины (см., например, [1, 2]). Для получения трех оптических параметров необходимо провести три независимых измерения интенсивности светового поля и, используя математическую модель, решить обратную задачу. Широкое применение получил метод интегрирующих сфер [3]. С помощью двух интегрирующих сфер можно одновременно измерить интенсивности диффузно отраженного, диффузно прошедшего и коллимированного света [4] и однозначно решить обратную задачу в предположении определенной фазовой функции рассеяния.

Нами предложена компактная установка, которая позволяет определять спектры оптических характеристик различных образцов в диапазоне от 200 до 1100 нм (рис. 1а). Основу установки составляют (рис. 1г) две интегрирующие сферы 1, 2 диаметром 75 мм, покрытые изнутри стандартным диффузно рассеивающим материалом. Сферы установлены строго соосно с коллиматорами 5, 6. Образец 7 с помощью специального держателя 8 (рис. 1б) устанавливался между сферами (рис. 1д) и освещался параллельным пучком света диаметром 4.8 мм от источника 3 белого света, сформированным коллиматором 5. В качестве источника света использовался широкополосный галогеновый источник HL-2000 (Ocean Optics, США) с выходом через кварцевое оптическое волокно. Отраженный от передней поверхности образца и обратно рассеянный свет собирался интегрирующей сферой 1, а диффузно прошедший через образец свет — интегрирующей сферой 2.

Свет, прошедший через образец без отклонения, попадал на коллиматор 6. С помощью спектрометра USB4000 (Ocean Optics, США) с диапазоном длин волн от 200 до 1100 нм измерялись спектры излучений в двух сферах и на выходе коллиматора 6. Полученные данные позволяют рассчитать спектры диффузного рассеяния Rd , диффузного пропускания Td и коллимированного пропускания Tc :

$$Rd = \frac{I_1}{I_{10}}, \quad Td = \frac{I_2}{I_{10}}, \quad Tc = \frac{I_3}{I_{30}}, \quad (1)$$

где I_1 — интенсивность в сфере 1 с образцом; I_{10} — интенсивность в сфере 1, когда ее выходное отверстие закрыто стандартной заглушкой с диффузно рассеивающим покрытием; I_2 — интенсивность в сфере 2 с образцом, когда ее выходное отверстие закрыто стандартной заглушкой; I_3 — интенсивность на выходе коллиматора 6 с образцом; I_{30} — интенсивность на выходе коллиматора 6 без образца.

При измерении спектра коллимированного света без образца I_{30} для ослабления излучения перед коллиматором 6 устанавливался нейтральный фильтр NGG 10 (Altechna, Литва) 9, снижающий интенсивность прошедшего света. После чего полученные значения пересчитывались с учетом спектра пропускания нейтрального фильтра 9. На рис. 1в в качестве примера представлены полученные спектры Rd и Td для сухого и влажного образца полимерного скаффолда из полилактида [4].

От некоторых других систем (например, [3]), позволяющих определять оптические характеристики материалов, предложенная установка отличается компактностью, универсальностью (возможностью оценки одновременно Rd , Tc и Td) и, что особенно важно, возможностью измерения спектральных зависимостей.

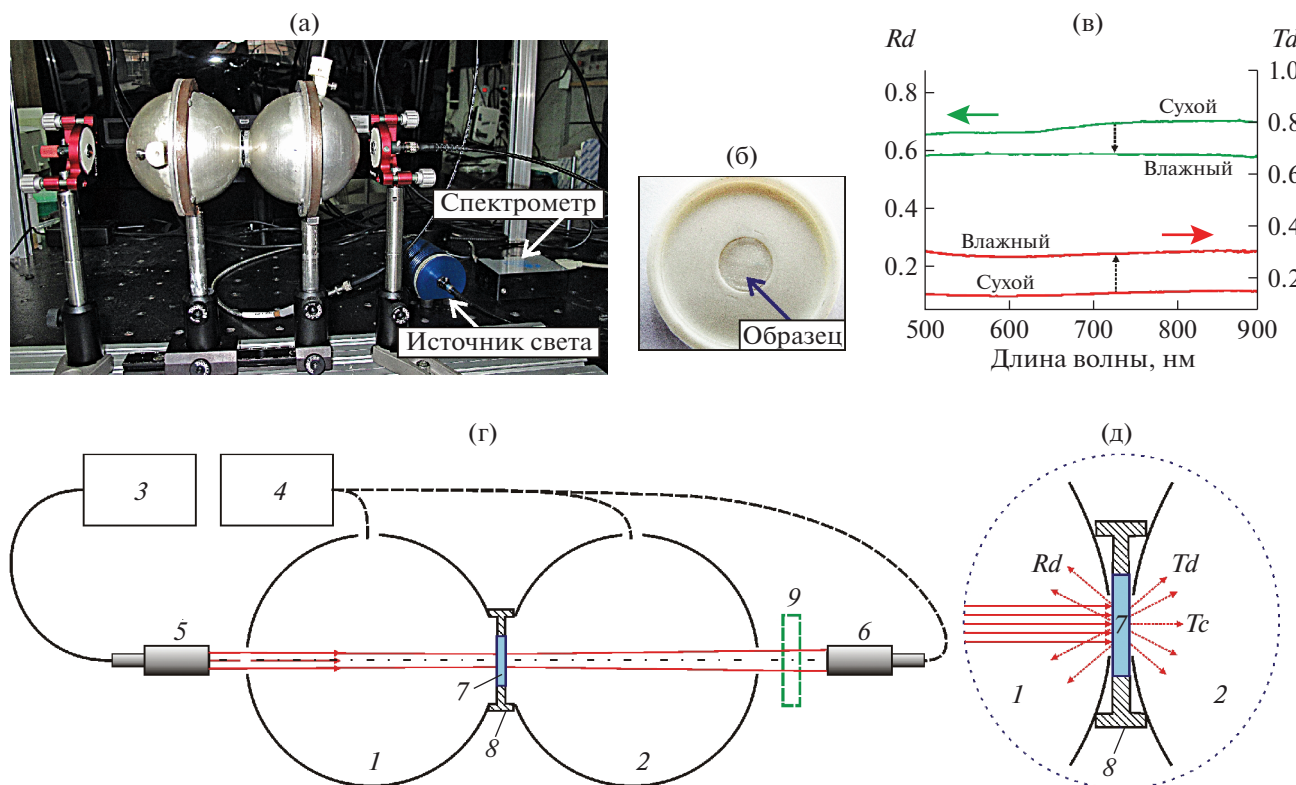


Рис. 1. а — общий вид установки по определению оптических характеристик образцов; б — держатель с полимерным образцом; в — пример полученных спектров R_d и T_d для сухого и влажного образцов полимера; г — схема установки; д — схема расположения образца в увеличенном масштабе (стрелками условно показаны диффузные, отраженные и диффузно прошедшие через образец лучи, по интенсивностям которых рассчитываются спектры диффузного рассеяния R_d , диффузного пропускания T_d и коллимированного пропускания T_c). 1, 2 — интегрирующие сферы; 3 — источник широкополосного света; 4 — спектрометр; 5, 6 — коллиматоры; 7 — образец; 8 — держатель образца; 9 — нейтральный фильтр.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках исполнения работ по Государственному заданию ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН в части разработки оптических методов и грантов РФФИ 17-02-00832 и 17-02-01248 в части лазерного воздействия на биообъекты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Beek J.F., Blokland P., Posthumus P., Aalders M., Pickering J.W., Sterenborg H.J.C.M., Van Gemert M.J. // *Physics in medicine and biology*. 1997. V. 42. № 11. P. 2255.
2. Иванов С.Н., Локтионов Е.Ю., Протасов Ю.Ю. // *ПТЭ*. 2010. № 3. С. 91.
3. Адуев Б.П., Нурмухаметов Д.Р., Зееков А.А., Никитин А.П., Нелюбина Н.В., Белокуров Г.М., Каленский А.В. // *ПТЭ*. 2015. № 6. С. 60. <https://doi.org/10.7868/S0032816215050018>
4. Yusupov V.I., Sviridov A.P., Zhigarkov V.S., Shubnyy A.G., Vorobieva N.N., Churbanov S.N., Minaev N.V., Timashev P.S., Rochev Y.A., Bagratashvili V.N. // *Proc. SPIE*. 2018. V. 10716. P. 107161U. <https://doi.org/10.1117/12.2315006>

Адрес для справок: Россия, 108840, Москва, Троицк, ул. Пионерская, 2, Институт фотонных технологий ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН. Тел. +79151862495. E-mail: iouss@yandex.ru (Юсупов В.И.)