

## СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ РЕФРАКТОМЕТР ДЛЯ ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН 375–1150 нм

© 2011 г. В. И. Соколов, М. С. Китай, Г. В. Мишаков, С. И. Молчанова,  
В. Я. Панченко, И. В. Соколова

Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН,  
отделение перспективных лазерных технологий  
Россия, 142190, Троицк Московской обл., ул. Пионерская, 2

Поступила в редакцию 25.05.2010 г.

Спектроскопический рефрактометр предназначен для измерения показателя преломления  $n_\lambda$  жидких и твердых сред на любой длине волны  $\lambda$  в диапазоне от 375 до 1150 нм с точностью  $\pm 5 \cdot 10^{-5}$ . Он может быть использован, в частности, для определения  $n_\lambda$  мономеров, композиций и полимеров, применяемых при создании интегрально-оптических волноводов для телекоммуникационной области спектра вблизи 850 нм.

Многоволновые рефрактометры [1–3] позволяют измерять показатель преломления сред только на нескольких фиксированных длинах волн в у.ф., видимом и ближнем и.к.-диапазонах. В то же время для идентификации чистых химических веществ, контроля оптических стекол, исследования областей аномальной дисперсии и т.д. часто требуется знать показатель преломления на произвольной длине волны в этих областях спектра.

Спектроскопический рефрактометр создан на основе промышленно выпускаемого рефрактометра Аббе ИРФ-454Б2М [4]. Для этого в последнем были удалены призмы Амичи и осветительная призма, а вместо окуляра для визуальных наблюдений установлена цифровая камера-окуляр (КО) DCM500. Освещение образца, устанавливаемого на измерительную призму (ИП) рефрактометра, осуществляется от монохроматора (М) МДР41 с использованием многожильного волоконно-оптического кабеля (ВОК). Ширина спектра освещающего монохроматического излучения не превышала  $\Delta\lambda = 1$  нм.

ВОК состоял из 12 световедущих жил, каждая диаметром 0.6 мм. На торце ВОК, который подсоединялся к выходной щели монохроматора, жилы располагались на линии, параллельной щели, а на торце, обращенном к рефрактометру, — на линии, параллельной ребру измерительной призмы. Это обеспечивало увеличение плотности мощности освещающего монохроматического света и повышение резкости границы света и тени. Блок-схема рефрактометра приведена на рис. 1.

Показатель преломления  $n_\lambda$  вещества на спектроскопическом рефрактометре определяется следующим образом. Монохроматор выделяет из спектра лампы Л излучение с длиной волны  $\lambda$  и спектральной шириной  $\Delta\lambda$ . Это излучение на-

правляется на исследуемый объект, расположенный на измерительной призме ИП рефрактометра Р, через ВОК, причем для измерения  $n_\lambda$  жидкостей на призму рефрактометра устанавливается специальная кювета. КО передает изображение перекрестья, границы света и тени, отсчетного штриха и шкалы  $n_D$  на монитор персонального компьютера ПК. Отсчет по шкале  $n_D$  пересчитывается в угол  $\beta$ , который предельный луч образует с нормалью к выходной грани измерительной призмы, с использованием соотношения [1]

$$\sin\beta = \pm n_D \cos\alpha \mp \sqrt{N_D^2 - n_D^2} \sin\alpha, \quad (1)$$

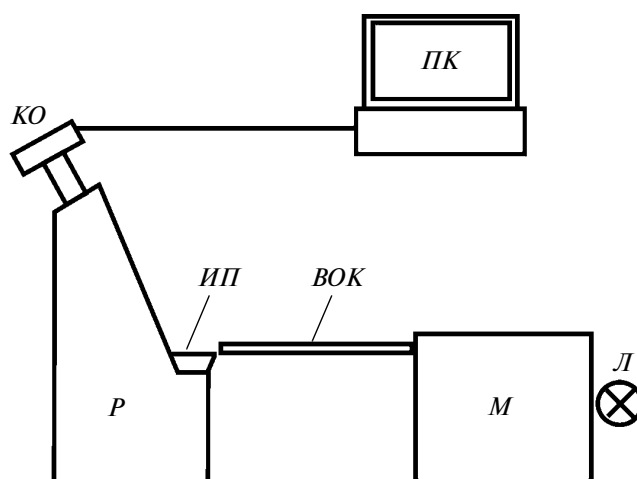
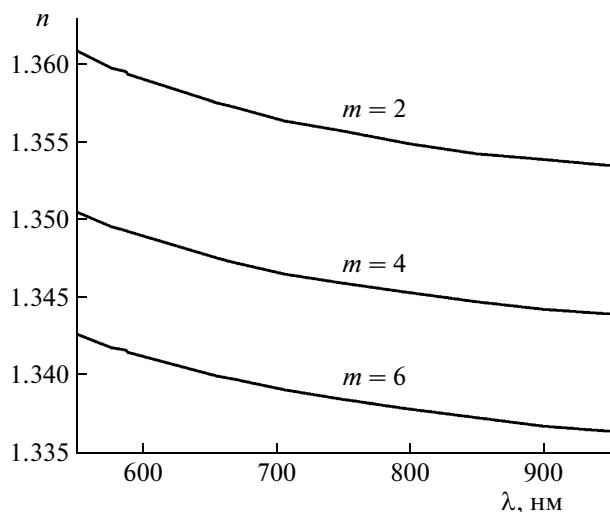


Рис. 1. Блок-схема рефрактометра. КО — камера-окуляр DCM500; М — монохроматор МДР41; Р — рефрактометр; ИП — измерительная призма; ВОК — волоконно-оптический кабель; Л — лампа; ПК — персональный компьютер.



**Рис. 2.** Дисперсионные зависимости  $n(\lambda)$  фторсодержащих акриловых мономеров гомологического ряда  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COO}-\text{CH}_2-(\text{CF}_2)_m-\text{H}$ , где  $m = 2, 4, 6$ , в телекоммуникационном диапазоне длин волн вблизи 850 нм.

где  $N_D$  – показатель преломления измерительной призмы на длине волны 589.3 нм,  $\alpha$  – преломляющий угол призмы.

С учетом найденного угла  $\beta$  и дисперсионной зависимости  $N_\lambda$  материала призмы показатель преломления исследуемого вещества на длине волны  $\lambda$  определяется по формуле [1]

$$n_\lambda = \sqrt{N_\lambda^2 - \sin^2 \beta} \sin \alpha \pm \sin \beta \cos \alpha. \quad (2)$$

Верхний и нижний знаки в формулах (1), (2) соответствуют случаям, когда выходящий из измерительной призмы предельный луч отклоняется в сторону преломляющего угла призмы или в противоположную сторону соответственно. Дисперсионная зависимость  $N_\lambda$  материала измерительной призмы рефрактометра ИРФ-454Б2М была измерена на спектроскопическом гониометре ГС-5 методом наименьшего отклонения. Угол призмы составил  $\alpha = 61^\circ 59' 19''$ .

Точность измерения показателя преломления  $\pm 5 \cdot 10^{-5}$  на спектроскопическом рефрактометре

достигается, в частности, за счет уменьшения спектральной ширины освещающего монохроматического излучения до  $\Delta\lambda \leq 1$  нм, которая определяется шириной раскрытия щелей монохроматора. Отметим, что в рефрактометре DSR- $\lambda$  [3], который имеет точность  $\pm 5 \cdot 10^{-5}$ ,  $\Delta\lambda$  определяется шириной спектра используемых светодиодов и составляет 9–18 нм. В рефрактометрах DR-M2 и DR-M4 [3], имеющих точность  $\pm 2 \cdot 10^{-4}$ ,  $\Delta\lambda$  определяется шириной спектра пропускания интерференционных светофильтров и равна 2–10 нм.

С использованием созданного спектроскопического рефрактометра были измерены дисперсионные зависимости  $n(\lambda)$  фторсодержащих акриловых мономеров гомологического ряда  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COO}-\text{CH}_2-(\text{CF}_2)_m-\text{H}$ , где  $m = 2, 4, 6$ , в телекоммуникационном диапазоне длин волн вблизи 850 нм (рис. 2). Данные мономеры могут быть использованы для создания полимерных интегрально-оптических волноводов с разницей показателей преломления между световедущей жилой и оболочкой до  $\Delta n = 0.017$ .

**Технические характеристики.** Спектроскопический рефрактометр предназначен для измерения показателя преломления  $n_\lambda$  жидких и твердых сред на любой длине волны  $\lambda$  в диапазоне от 375 до 1150 нм с точностью  $\pm 5 \cdot 10^{-5}$ . Диапазон измерений  $n_\lambda$  составляет: 1.3604–1.7657 при  $\lambda = 375$  нм, 1.2–1.7 при  $\lambda = 589.3$  нм, 1.0927–1.6666 при  $\lambda = 1150$  нм.

Работа поддержана грантом РФФИ 09-07-00348-а.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Йоффе Б.В.* Рефрактометрические методы химии. Л.: Химия, 1983.
2. *Лейкин М.В., Молочников Б.И., Морозов В.Н., Шакарян Э.С.* Отражательная рефрактометрия. Л.: Машиностроение, 1983.
3. Многоволновые рефрактометры производства фирм Schmidt-Haensch (<http://www.schmidt-haensch.com>) и Atago (<http://www.atago.net>).
4. *Исхаков Б.О., Гатауллин Г.А., Молочников Б.И. и др.* // Опт.-мех. пром-сть. 1979. № 8. С. 24; <http://www.baigish.ru/>