

Ю. Д. ДЕМАРИН, А. П. КИРЬЯНОВ, С. С. МАРКИАНОВ, В. П. МОЛЧАНОВ  
(Москва)

### ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЙ ПОЛЯРИМЕТР

При изучении оптической активности вещества применяют нулевые поляриметры [1]. Однако интересны, в частности, в дальней инфракрасной области спектра и ненулевые приборы интерференционного типа. Они обладают большой светосилой и представляют собой интерферометр с поляризационным устройством.

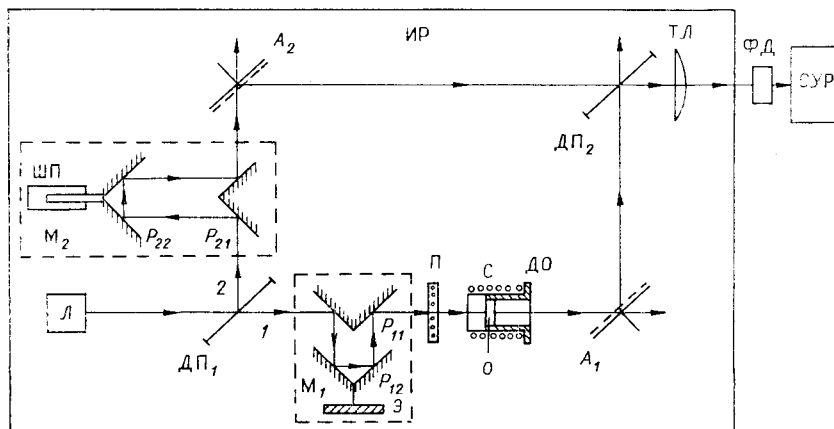
Принципиальная схема интерференционного поляриметра дана на рисунке. Основой служит интерферометр Рождественского (ИР) [2]. Параллельный поток излучения от источника  $L$  может быть как монохроматическим, так и широкополосным, если для снятия спектра применяют фурье-метод [3]. На входе и выходе из прибора установлены диэлектрические делители потока  $ДП_1$  и  $ДП_2$  под углом  $45^\circ$  к оси потока, разделяющие его на различные пучки, поступающие со входа интерферометра в отдельные его плечи.

Поляризационное устройство помещено в плечо 1. Оно состоит из поляризаторов  $P$  и  $A_1$  и расположенного между ними образца  $O$ , а также поляризационного зеркала  $A_2$  в плече 2. Поляризаторами служат проволочные решетки, период которых много меньше длины волны [4]. Поляризатор  $P$  составляет угол  $90^\circ$ , а поляризаторы  $A_1$  и  $A_2$  — угол  $45^\circ$  с осью потока волн. Образец  $O$  в виде пластины из оптически активного вещества на держателе ДО помещен на пути прошедшего сквозь поляризатор  $P$  потока волн внутри соленоида  $C$ , создающего на образце магнитное поле, направленное вдоль нормали к образцу и вдоль оси потока волн (геометрия Фарадея).

Излучение в образце испытывает амплитудное ослабление  $a_v$  и поворот  $\Theta_v$  плоскости поляризации волн, являющиеся, вообще говоря, функциями волнового числа  $v$  и внешних условий. Зеркала  $A_1$  и  $A_2$  отражают на делитель  $ДП_2$  потоки волн с одинаковой поляризацией, когда электрический вектор волны колеблется вдоль проволочек решеток. На делителе  $ДП_2$  пучки смешиваются и интерферируют, а затем тefлоновой линзой (ТЛ) направляются на фотодетектор (ФД), подключенный к системе усиления и регистрации (СУР) сигнала. Регистрация его с приемлемым отношением сигнала  $S$  к шуму  $N$  ( $S/N > 1$ ) обеспечивается применением методов синхронного детектирования сигнала и фазовой модуляции потока излучения. Кроме того, при регистрации монохроматического излучения желателен выбор оптимальной разности  $\Delta$  оптических путей для интерферирующих пучков, а для фурье-метода нужно ее закономерное изменение так, чтобы интерферограмма или сигнал с фотодетектора оказывались функцией  $I(\Delta)$ .

Фазовый модулятор  $M_1$  помещают в плечо 1 интерферометра перед поляризатором  $P$ , а модулятор  $M_2$  разности оптических путей  $\Delta$  — в плечо 2 перед зеркалом  $A_2$ . Модуляторы выполнены идентично из двух угольных отражателей, обеспечивающих неизменным направление потока волн вне модуляторов. Отражатели  $P_{11}$  и  $P_{12}$  крепятся на пути волн жестко, а  $P_{21}$  и  $P_{22}$  перемещаются перпендикулярно оси потока волн в плечах интерферометра. Отражатель  $P_{12}$  в модуляторе  $M_1$  колеблется электродинамиком  $\mathcal{E}$  с частотой 700 Гц и амплитудой 15 мкм [5], а отражатель  $P_{22}$  в модуляторе  $M_2$  перемещается шагами с помощью шагового привода (ШП) [6].

Интерференционный сигнал зависит от ориентации главных направлений отражения и пропускания волн проволочными решетками, так как отражение и пропускание волн с различными поляризациями в диэлектрических делителях различны. Положение, когда проволочки решеток лежат в плоскостях, параллельных плоскостям делителей, обозначим индексом  $s$ , а при повороте их в своей плоскости на



$90^\circ$  — индексом  $p$ . Тогда гармоники  $I_{ab}(\nu, \Delta)$  сигнала с фотодетектора при регистрации монохроматических волн с волновым числом  $\nu$  на частоте модуляции при некоторой разности  $\Delta$  оптических путей для четырех различных положений зеркал  $A_1$  и  $A_2$  (направления проволочек их одинаковы) и поляризатора  $\Pi$  по отношению к плоскостям делителей определяются в виде

$$\begin{pmatrix} I_{ss}I_{ps} \\ I_{sp}I_{pp} \end{pmatrix}_{\nu, \Delta} = \begin{pmatrix} A_s \tau_s \cos \Theta & A_p \tau_s \sin \Theta \\ A_s \tau_p \sin \Theta & A_p \tau_p \cos \Theta \end{pmatrix} a_\nu I_\nu \sin(2\nu\Delta + \varphi_0) + I_{\text{шм}}, \quad (1)$$

а интерферограмма  $I_{ab}(\Delta)$  получается интегрированием (1) по  $\nu$ :

$$I_{ab}(\Delta) = \int_0^{\nu_m} d\nu I_{ab}(\nu, \Delta). \quad (2)$$

Здесь  $I_\nu$  — спектральная интенсивность потока на входе прибора;  $A_{s, p}$  — аппаратная функция, зависящая от коэффициентов отражения и пропускания делителей и зеркал для поляризованных волн;  $\tau_{s, p}$  — амплитудный коэффициент пропускания делителя ДП;  $I_{\text{шм}}$  — шумовой сигнал на выходе СУР;  $\varphi_0$  — начальный сдвиг фаз для пучков;  $\nu_m$  — максимальное волновое число в спектре сигнала.

Применяя обратное Фурье-преобразование  $\mathcal{F}^{-1}[I_{ab}(\Delta)]$  к интерферограмме (2) в Фурье-методе, получаем спектр (1) сигнала [3]. Измерения спектров (1) при хорошем отношении  $S/N \gg 1$  дают спектр  $\Theta_\nu$  вращения плоскости поляризации для достаточно тонкого оптически активного образца

$$\Theta_\nu = \text{arctg} \left[ \left( \frac{I_{sp}}{I_{ss}} \right)_\nu \left( \frac{I_{ps}}{I_{pp}} \right)_\nu \right]^{1/2} \quad (3)$$

с разрешением, не хуже характерного для метода Фурье, или при использовании монохроматического излучения.

Качество спектрального прибора наряду с разрешением  $\delta\nu$  оценивают пороговой чувствительностью, ограниченной шумами приемной системы и оцениваемой наименьшей наблюдаемой величиной  $\delta\Theta$  поворота  $\Theta_\nu$  плоскости поляризации в образце. Вопрос сводится, по сути, к оценке отношения шума  $N$  к сигналу  $S$  [7]. В согласии с (1) для  $I_{ps}$  или  $I_{sp}$  получаем, пренебрегая для волн с разными поляризациями различием в пропускании и отражении,

$$\delta\Theta \simeq 2P_{\text{пор}}\Delta f^{1/2}/I_\nu, \quad (4)$$

для монохроматического излучения или в методе Фурье

$$\delta\Theta \simeq 2P_{\text{пор}}\Delta f^{1/2}/(R^{1/2}\delta I_\nu) \quad (5)$$

с учетом свойственного для него выигрыша Фелжетта [3]. Здесь  $P_{\text{пор}}$  — пороговая мощность приемной системы в полосе пропускания  $\Delta f$  ее низкочастотной части;  $\delta I_\nu$  — спектральная интенсивность излучения в полосе разрешения  $\delta\nu$ ;  $R$  — разрешающая способность интерферометра при использовании Фурье-метода [3].

В частности, принимая  $P_{\text{пор}}\Delta f^{1/2} = 1$  пВт для детектора  $n$  — InSb, мощность  $\delta I_\nu = 20$  пВт и  $R = 100$ , получим даже при использовании широкополосного излучателя ПРК-4 [8] весьма обнадеживающую оценку для  $\delta\Theta \simeq 10^{-5}$  рад  $\simeq 2$  угл. с. Применение лазеров мощностью  $I_\nu \simeq 50$  мВт в области  $\nu = 30$  см $^{-1}$  ( $\lambda = 337$  мкм) позволяет иметь  $\delta\Theta \simeq 4 \cdot 10^{-9}$  рад  $\simeq 0,001$  угл. с, обеспечивая хорошую перспективу для поляризметрических исследований.

Таким образом, интерференционные поляриметры могут быть весьма эффективными для поляриметрии в дальней ИК-области волн.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кизель В. А., Пермогоров В. А. Фотоэлектрический спектрополяриметр // Оптика и спектроскопия. — 1961. — Т. 10, вып. 4.
2. Захарьевский А. Н. Интерферометры. — М.: Оборонгиз, 1952.
3. Белл Р. Дж. Введение в Фурье-спектроскопию. — М.: Мир, 1975.
4. Ирисова Н. А. Метрика субмиллиметрового диапазона // Вестн. АН СССР. — 1968. — № 10.
5. Игошин Ф. Ф., Кирьянов А. П., Можаяев В. В. и др. Фазовая модуляция в субмиллиметровом интерферометре Майкельсона // Радиотехника и электроника. — 1974. — Т. 19, № 1.
6. Великов Л. В., Витвинни Е. А., Иванникова Г. Е. и др. Резонансное поглощение субмиллиметровых волн в монокристаллах ортоферрита иттрия // ФТТ. — 1980. — Т. 22, вып. 12.
7. Карташов А. И., Эцин И. Ш. Методы измерения малых изменений разности фаз в интерференционных устройствах // УФН. — 1972. — Т. 106, вып. 4.
8. Филиппов О. К., Уханов Е. В. Высокотемпературное черное тело для дальней инфракрасной области спектра // ПТЭ. — 1967. — № 6.

Поступило в редакцию 22 октября 1986 г.