

Оценка температурной погрешности калибровки инфракрасных  
спектрометров и спектрофотометров с помощью эталона Фабри-  
Перо из германия

**В.Ф. Королёв, О.Я. Шмелёв**

Проблемная лаборатория молекулярной акустики, Московская  
государственная академия приборостроения и информатики,  
т. 269-43-00, e-mail: [shmelyoff@newmail.ru](mailto:shmelyoff@newmail.ru)

*Показана необходимость температурной стабилизации эталонов Фабри-Перо из германия, используемых для калибровки инфракрасных спектрометров и спектрофотометров. Рассчитана погрешность, возникающая в калибровке при изменении температуры. Предложен метод контроля практической разрешающей способности и воспроизводимости шкалы волновых чисел спектральных приборов путем поддержания и регулировки температуры эталона с требуемой точностью.*

Evaluation of temperature error in calibration of infra-red spectrometers  
with the Fabri-Perot germanium etalon

**V.F. Korolyoff, O.Ya. Shmelyoff**

*Moscow State Academy of Instrument Engineering and Computer Science, Problem Laboratory of Molecular Acoustics. Stromynka 20, Moscow, Russia, e-mail: [shmelyoff@newmail.ru](mailto:shmelyoff@newmail.ru).*

*The necessity of temperature stabilization of the Fabri-Perot germanium etalon used for calibration of infra-red spectrometers is shown. The calibration error caused by etalon temperature drift is evaluated. The method of monitoring of a practical resolution and reproducibility of wave numbers scale of spectral gears is suggested. The method requires adjustment of temperature of etalon with a certain exactitude.*

Метрология: Приложение к журналу "Измерительная техника", 2004, № 9, с.29-31.

УДК 681.118:535.243

При проведении физических исследований в инфракрасной области спектра большое значение имеют средства и методы градуировки шкалы волновых чисел спектрометров и спектрофотометров с помощью эталона Фабри-Перо [1,3]. Используются эталоны Фабри-Перо и для контроля практической разрешающей способности спектральных приборов [2]. В работе [1] рассматриваются особенности калибровки шкал волновых чисел с помощью плоскопараллельной пластинки (ПП) из германия Ge (толщина 0,024655 см) и эталона Фабри-Перо с разделителями, выполненными из кварца, и зеркалами из Ge (область дисперсии 18,16 см<sup>-1</sup>). В той же работе предлагается калибровать шкалу волновых чисел исходя из совпадения интерференционных максимумов пропускания и реперных спектров поглощения химических веществ, линии поглощения которых предполагаются хорошо известными. Однако ни в работе [1], ни в работе [2], не обсуждается роль изменений температуры эталона и влияние этих изменений на результаты измерений. Между тем температуры эталонов играют весьма существенную роль.

Хорошо известно, что максимумы пропускания для монохроматического пучка на длине волны  $\lambda$  при прохождении через плоскопараллельную пластинку (ПП) определяются как

$$k \cdot \frac{l}{2} = nL \quad , \quad (1)$$

где  $k$  – порядок максимума интерференции,  $n$  – показатель преломления материала эталона. Следует отметить, что для ПП из Ge

$$n = f(l, T) \quad , \quad (2)$$

где  $T$  – температура. Длина  $L$ , в свою очередь, тоже является функцией температуры.

Подсчитаем, как изменится область свободной дисперсии ПП из Ge при изменении температуры от  $T$  до значения  $T+\Delta T$ . Из соотношения (1) с учетом (2) имеем:

$$\Delta k = 2nL \left( -\frac{1}{L^2} \right) \Delta L + \frac{2L}{L} \left( \frac{\partial n}{\partial L} \right) \Delta L + \left( \frac{\partial n}{\partial T} \right) \Delta T + \frac{2n}{L} \cdot \frac{\partial L}{\partial T} \Delta T. \quad (3)$$

Полагая  $\Delta k=1$  и учитывая, что  $L = \frac{1}{n}$ , имеем для истинного  $\Delta v_R$

расстояния между максимумами полос интерференции:

$$\Delta n_R = \Delta n_0 \left[ 1 - \frac{2nL}{L} \left( \frac{1}{n} \cdot \frac{\partial n}{\partial T} + \frac{1}{L} \cdot \frac{\partial L}{\partial T} \right) \Delta T \right], \quad (4)$$

где  $\Delta v_0$  – может быть получено из хорошо известного выражения для разности максимумов в случае, когда  $n$  является только функцией  $\lambda$  и соответствует условию  $T=\text{const}$ . Для Ge имеются достаточно надежные данные, касающиеся величин, входящих в (4). Для  $T=23^\circ\text{C}$ ,  $P=1$  атм. и  $\lambda=10$  мкм:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{L} \cdot \frac{\partial L}{\partial T} &= 5,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}, \\ n &= 4,0016145, \\ \frac{\partial n}{\partial T} &= 3,9 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Приведенные значения (5) позволяют вычислить  $\Delta v_R$  с достаточно большой степенью точности. Однако, мы не будем этого делать, а проведём оценочные расчёты, основываясь на порядках величин, входящих в (4).

Сдвиг соседних максимумов  $d$ , возникающий вследствие изменения температуры  $\Delta T$  определится как:

$$d = \Delta n_0 - \Delta n_R = \frac{2nL}{I} \left( \frac{1}{n} \cdot \frac{\partial n}{\partial T} + \frac{1}{L} \cdot \frac{\partial L}{\partial T} \right) \Delta T \cdot \Delta n_0 \quad (6)$$

Таким образом, для  $\Delta T = 1^\circ\text{C}$  и  $\Delta v_0 \approx 5 \text{ см}^{-1}$  (толщина ПП  $\approx 250$  мкм) имеем:  $d = 2 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \text{ см}^{-1} = 10^{-1} \text{ см}^{-1}$ .

Если производится калибровка при  $T$  и  $T + \Delta T$ , то сдвиг для  $k$  – максимумов будет:

$$\Delta_k = k \Delta n_0 - k \Delta n_R = k \Delta n_0 \cdot \frac{2nL}{I} \cdot \left( \frac{1}{n} \cdot \frac{\partial n}{\partial T} + \frac{1}{L} \cdot \frac{\partial L}{\partial T} \right) \Delta T. \quad (7)$$

Для полученного выше значения ( $\Delta T = 1^\circ\text{C}$ )  $d = 10^{-1} \text{ см}^{-1}$ , в случае когда  $k=100$  имеем  $\Delta_k = 10 \text{ см}^{-1}$ . Таким образом, оценки показывают, что для калибровки шкалы волновых чисел с помощью ПП из Ge необходимым требованием является температурная стабилизация эталонов с точностью не хуже, по крайней мере,  $\pm 0,1^\circ\text{C}$  (для случаев измерений, когда  $k \leq 100$ ). В подобном случае ошибка за счет температурных эффектов (при  $k \leq 100$ ) будет не более  $1 \text{ см}^{-1}$ .

Вышеприведенные расчёты указывают на необходимость температурной стабилизации ПП, используемых для калибровки ИК спектрометров и спектрофотометров, а также при определении их реальной разрешающей способности.

Таким образом, если измерять температуру с погрешностью не более  $0,01^\circ\text{C}$  (например, с помощью кварцевого термометра

[4]), и регулировать с погрешностью не хуже, по крайней мере,  $0,02^{\circ}\text{C}$  (с помощью терморегулятора [5]), можно построить прибор с регулируемой областью свободной дисперсии для определения с помощью одной пластинки практической разрешающей способности и воспроизводимости шкалы волновых чисел спектральных приборов.

#### Литература

1. Найденов А.С. Тр. метрол. ин.-тов СССР, ВНИИ метрол., 1979, 236/296, 17.
2. Курский А.Н., Пентин Ю.А., Ульянова О.Д., Журнал прикладной спектроскопии, 1982, т.37, №4, 676.
3. Edwin, R.P., M.T. Dudermeel and M. Lamare, Appl. Opt., 1978, т.17, 1066.
4. Шмелёв О.Я., Прокопьев В.И. Приборы и техника эксперимента 1985, N 5, с.209-210.
5. Баклагин А.С., Шмелёв О.Я. Приборы и техника эксперимента 1983, N 5, с.156-159.