

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ

(19) **ВУ** (11) **5256**

(13) **С1**

(51)<sup>7</sup> **G 01N 21/41**



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(54)

**РЕФРАКТОМЕТР**

(21) Номер заявки: а 19981040

(22) 1998.11.17

(46) 2003.06.30

(71) Заявитель: Белорусский националь-  
ный технический университет (ВУ)

(72) Автор: Тузков Юрий Фадеевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский на-  
циональный технический университет  
(ВУ)

(57)

Рефрактометр, содержащий лазер, фотоприемник и отражатель с приводом, отличающийся тем, что выполнен с возможностью совмещения лучей, вышедшего из лазера и отраженного, и включает экстремальную систему регулирования и систему обработки информации, а отражатель дополнительно снабжен компенсирующим приводом, причем первый вход экстремальной системы регулирования соединен с фотоприемником, первый выход - с компенсирующим приводом отражателя, а второй вход и второй выход соединены соответственно с выходом и входом системы обработки информации.

(56)

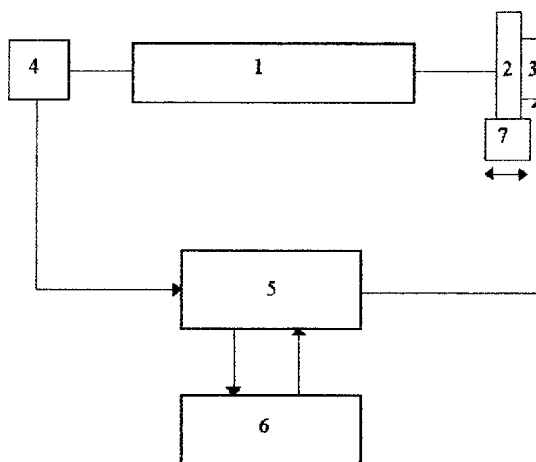
US 5394420 A, 1995.

Мищенко Ю.В. Измерительная техника. – 1998. - № 4. - С. 25-31.

JP 05215676 A, 1993.

US 4571082 A, 1986.

SU 1498192 A1, 1994.



Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для прецизионных измерений показателя преломления воздуха.

**ВУ 5256 С1**

# ВУ 5256 С1

Известен рефрактометр (Мищенко Ю.В. Лазерный интерференционный рефрактометр для контроля абсолютного показателя преломления воздуха / Измерительная техника. - 1998. - № 4. - С. 25-31), оптическая схема которого включает четыре интерференционных канала. Два из которых построены по схеме Жамена и образуют основу традиционного интерференционного рефрактометра-газоанализатора. Два других канала построены по схеме Майкельсона, выполняют вспомогательные функции и служат для отслеживания изменений измерительной базы рефрактометра. Однако, по признанию самого автора, для обеспечения необходимой точности измерений размер кювет, входящих в оптическую схему данного рефрактометра, должен быть не менее 30 см, а размер самой оптической части - 60 см. К тому же вся оптическая часть содержит 36 деталей, большинство из которых требует высокой точности изготовления и юстировки. Все вышесказанное приводит к высокой стоимости рефрактометра и большим его габаритным размерам.

Наиболее близким к предлагаемому является рефрактометр (US 5394240, МПК G 01B 11/02), содержащий лазер, линзу и первый нелинейный кристалл, расположенные вдоль оптической оси лазера, линзу и отражатель, расположенные последовательно на оси излучения, выходящего из первого нелинейного кристалла. Отражатель смонтирован на приводе. Вдоль отраженного луча расположены полуволновая пластинка, линза, второй нелинейный кристалл, линза, фильтр и фотоприемник. Фотоприемник электрически соединен с памятью и компьютером.

Лазерное излучение проходит сквозь первый нелинейный кристалл, после чего образовавшаяся вторая гармоника вместе с основной волной направляются отражателем на второй нелинейный кристалл.

Разность оптических путей  $\Delta L$ , пройденных второй гармоникой, распространяющейся после преобразования первым нелинейным кристаллом, и световой волной, преобразованной во вторую гармонику вторым нелинейным кристаллом, определяется по формуле:

$$\Delta L = L(n_2 - n_1) = (n_2 - 1)L/A, \quad (1)$$

где  $L$  - геометрическая длина перемещения отражателя;

$n_1$  и  $n_2$  - показатели преломления воздуха для основной волны и второй гармоники соответственно;

$$A = (n_2 - 1)/(n_2 - n_1).$$

Число интерференционных полос пропорционально перемещению отражателя. Изменяя фазу интерференционного сигнала и зная величину перемещения отражателя, определяют величину показателя преломления воздуха.

Основным недостатком данного устройства является низкая точность измерения показателя преломления воздуха. Согласно (1), показатель преломления воздуха для второй гармоники равен:

$$n_2 = \frac{\Delta L \cdot A}{L} + 1. \quad (2)$$

Фаза  $\varphi$  интерференционного сигнала связана с разностью оптических путей соотношением:

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_2} \cdot \Delta L, \quad (3)$$

где  $\lambda_2$  - длина световой волны (в данном случае длина волны второй гармоники, поэтому в обозначении добавлен индекс 2).

С учетом (3) выражение (2) принимает вид:

$$n_2 = \frac{\varphi \cdot \lambda_2 \cdot A}{2\pi \cdot L} + 1. \quad (4)$$

Ошибка определения показателя преломления, обусловленная неточностью определения величин фазы интерференционного сигнала и геометрической длины перемещения отражателя, равна:

# BY 5256 C1

$$\delta n_2 = \frac{\lambda_2 \cdot A}{2\pi \cdot L} \cdot \delta\varphi + \frac{\varphi \cdot \lambda_2 \cdot A}{2\pi \cdot L^2} \cdot \delta L. \quad (5)$$

С учетом (1) соотношение (3) можно переписать в виде:

$$\varphi = (n_2 - 1) \frac{2\pi \cdot L}{\lambda} \cdot \frac{1}{A}. \quad (6)$$

Тогда (5) примет вид:

$$\delta n_2 = \frac{\lambda_2 \cdot A}{2\pi \cdot L} \cdot \delta\varphi + (n_2 - 1) \frac{\delta L}{L}. \quad (7)$$

Как указано в описании прототипа, фаза интерференционного сигнала анализировалась с разрешением  $1^\circ$ , отражатель перемещался на расстояния от 43 до 64 см, перемещение отражателя измерялось с точностью 0,05 мм, коэффициент  $A = 65,592$ .

Таким образом, для оценки  $\delta n_2$  можно принять следующие значения:

$$\delta\varphi = \frac{\pi}{180} \text{ рад};$$

$$\delta L = 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$L = 0,5 \text{ м};$$

$$\lambda_2 = 0,532 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

$n_2 = 1,000278$  (Иващенко П.А, Калинин Ю.А, Морозов Б.Н Измерение параметров лазеров. - М.: Издательство стандартов, 1982. - С. 125).

Подставив эти значения в (7), получим:

$$\delta n_2 = \frac{0,532 \cdot 10^{-6} \cdot 65,592}{2\pi \cdot 0,5} \cdot \frac{\pi}{180} + (1,000278 - 1) \frac{0,05 \cdot 10^{-3}}{0,5} = 0,2278 \cdot 10^{-6}. \quad (8)$$

Кроме того, необходимость разделения падающего и отраженного лучей приводит к большим габаритным размерам рефрактометра.

Заявляемое изобретение направлено на повышение точности измерения показателя преломления воздуха и уменьшение габаритных размеров рефрактометра.

Для решения этих задач рефрактометр, содержащий лазер, фотоприемник и отражатель с приводом, выполнен с возможностью совмещения лучей, вышедшего из лазера и отраженного, и включает экстремальную систему регулирования и систему обработки информации, а отражатель дополнительно снабжен компенсирующим приводом, причем первый вход экстремальной системы регулирования соединен с фотоприемником, первый выход - с компенсирующим приводом отражателя, а второй вход и второй выход соединены соответственно с выходом и входом системы обработки информации.

Показатель преломления воздуха определяют по формуле:

$$n = \frac{U_x}{\Delta U} \cdot \frac{1}{L} \cdot \lambda / 2, \quad (9)$$

где  $U_x$  - сигнал на компенсирующем приводе отражателя;

$\Delta U$  - сигнал, соответствующий изменению оптической длины между лазером и отражателем на  $\lambda/2$ ;

$L$  - геометрическая длина перемещения отражателя;

$\lambda$  - длина волны излучения лазера.

Ошибка определения показателя преломления, обусловленная неточностью определения величин напряжения на компенсирующем приводе отражателя и геометрической длины перемещения отражателя, равна:

$$\delta n_2 = \lambda / 2 \cdot \left( \frac{\delta U_x}{\Delta U \cdot L} + \frac{\delta(\Delta U) \cdot U_x}{(\Delta U)^2 \cdot L} + \frac{U_x \cdot \delta L}{\Delta U \cdot L^2} \right) = \lambda / 2 \cdot \left( \frac{\delta U_x \cdot \Delta U + \delta(\Delta U) \cdot U_x}{(\Delta U)^2 \cdot L} + \frac{U_x \cdot \delta L}{\Delta U \cdot L^2} \right) \approx \lambda / 2 \cdot \frac{1}{L} \cdot \left( \frac{\delta(\Delta U)}{\Delta U} + \frac{\delta L}{L} \right) \quad (10)$$

Для цифровых приборов, используемых при измерении постоянных напряжений, погрешность измерений, согласно (Авдеев Б.Я., Антонюк Е.М., Душин Е.М. и др. Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов / Под ред. Е.М. Душина - 6-е изд., перераб. и доп. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. - С. 393), равна;

# BY 5256 C1

$$\frac{\delta(\Delta U)}{\Delta U} = 2,5 \cdot 10^{-3}\% \quad (11)$$

Для цифровых приборов, используемых при измерении линейных размеров и расстояний, погрешность измерений для расстояний  $10\text{-}10^7$  мм, согласно (Авдеев Б.Я., Антонюк Е.М., Душин Е.М. и др. Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов / Под ред. Е.М. Душина - 6-е изд., перераб. и доп. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. - С. 456), равна:

$$\frac{\delta \Delta L}{\Delta L} = 5 \cdot 10^{-3}\% \quad (12)$$

С учетом (11) и (12) соотношение (10) принимает вид:

$$\delta n = 7,5 \cdot 10^{-5} \lambda \quad (13)$$

При  $\lambda = 0,532 \cdot 10^{-6}$  м  $\delta n$  будет иметь значение:

$$\delta n = 3,99 \cdot 10^{-11} \quad (14)$$

Заявляемое изобретение обеспечивает получение нескольких технических результатов. Приведенные выше расчеты свидетельствуют о возможности значительного повышения точности измерения показателя преломления воздуха. Исключение из оптической схемы четырех линз, двух нелинейных оптических кристаллов, фильтра и полуволновой пластинки уменьшает габаритные размеры и стоимость рефрактометра. Совмещение лучей, вышедшего из лазера и отраженного, уменьшает поперечный габаритный размер рефрактометра не менее чем в два раза.

Сущность изобретения поясняется принципиальной схемой рефрактометра.

Рефрактометр содержит лазер 1, отражатель 2, закрепленный на компенсирующем приводе 3, фотоприемник 4, экстремальную систему регулирования (ЭСР) 5, систему обработки информации (СОИ) 6. Отражатель 2 с компенсирующим приводом 3 смонтированы на приводе 7. Зеркала лазера 1 и отражатель 2 образуют линейный трехзеркальный резонатор. Изменение длины оптического пути за счет перекрещения отражателя приводит к модуляции интенсивности лазерного излучения, причем полный цикл модуляции происходит при изменении длины оптического пути на  $\lambda/2$  (Крылов К.И., Прокопенко В.Т., Митрофанов А.С. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении. - Л.: Машиностроение, 1978. - С. 234). Первый вход ЭСР 5 соединен с фотоприемником 4, первый выход ЭСР 5 соединен с компенсирующим приводом 3, второй вход и второй выход ЭСР 5 соединены с выходом и входом СОИ 6.

Работа рефрактометра осуществляется следующим образом. С помощью ЭСР 5 отражатель 2 удерживается в положении, соответствующем сигналу минимальной интенсивности на фотоприемнике 4. В качестве ЭСР может быть использована любая, известная в настоящее время. Отражателем может служить сферическое зеркало или уголкового отражатель. При перемещении отражателя 2 с помощью привода 7 на расстояние  $L$  ЭСР 5 компенсирует это перемещение путем изменения напряжения на компенсирующем приводе 3. В качестве компенсирующего привода обычно используется пьезокерамика. Однако диапазон перемещений пьезокерамики ограничен, поэтому необходимо использовать следующий алгоритм измерений. Когда напряжение на компенсирующем приводе 3 изменяется на  $\Delta U$ , соответствующее изменению длины оптического пути на  $\lambda/2$ , СОИ 6 вырабатывает сигнал для ЭСР 5 для ступенчатого изменения напряжения на компенсирующем приводе 3 на величину  $\Delta U$ , отражатель 2 перемещается на  $\lambda/2$ , ЭСР 5 автоматически "привязывается" к соседнему минимуму интенсивности излучения лазера и одновременно в СОИ 6 вырабатывается декрементный или инкрементный импульс в зависимости от знака изменения напряжения. Число импульсов соответствует изменению длины оптического пути на такое же число  $\lambda/2$ . Таким образом, сигнал на компенсирующем приводе 3 определяется по формуле  $U_x = m \cdot \Delta U + \Delta U_x$ , где  $m$  - число импульсов,  $\Delta U_x$  - дробная часть сигнала на компенсирующем приводе 3, принимающая значения в интервале  $0 \leq U_x < \Delta U$ .