



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2015132851, 06.08.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
06.08.2015

Дата регистрации:  
06.04.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 06.08.2015

(43) Дата публикации заявки: 09.02.2017 Бюл. № 4

(45) Опубликовано: 06.04.2017 Бюл. № 10

Адрес для переписки:

620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 106,  
ФГБУН ИЭФ УрО РАН

(72) Автор(ы):

**Осипов Владимир Васильевич (RU),  
Орлов Альберт Николаевич (RU),  
Каширин Владимир Ильич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт электрофизики  
Уральского отделения Российской академии  
наук (ИЭФ УрО РАН) (RU)**

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 121590 U1 27.10.2012. US  
7903243 B2 08.03.2011. US 2013155394 A1  
20.06.2013. WO 2015065995 A1 07.05.2015. US  
7233391 B2 09.06.2007.

(54) **Оптическое устройство для измерения показателя преломления прозрачных твердых веществ малой толщины и небольших размеров**

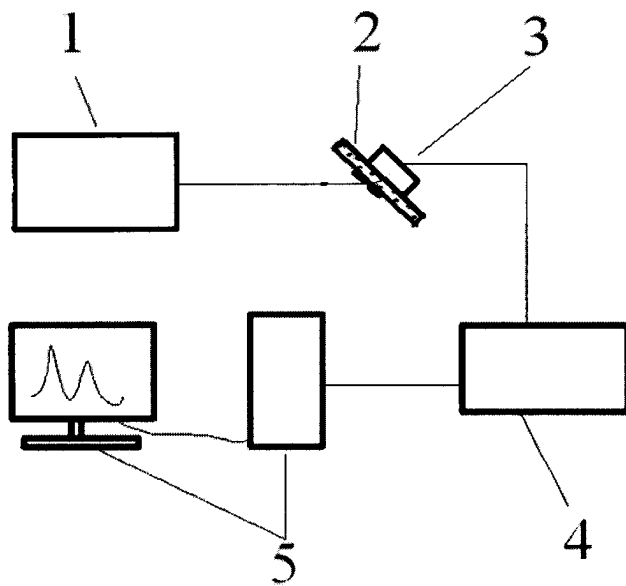
(57) Реферат:

Изобретение относится к рефрактометрам. Оптическое устройство для измерения показателя преломления прозрачных твердых веществ образцов с толщиной 0,2-1 мм. и размером 5-12 мм, содержит: блок со сменными лазерными диодами, излучающими в диапазоне длин волн 400-1100 нм, устройство для формирования узкого пучка лучей шириной от 60-120 мкм, образец в виде плоскопараллельной пластины,

дополнительный прозрачный оптический элемент, установленный с исследуемым образцом под одним и тем же углом падения, систему регистрации величины смещения светового луча, представляющую собой ПЗС-матрицу с разрешением 2592x1944 пикселей и больше. Технический результат заключается в сокращении времени и увеличении точности измерений показателя преломления света. 3 ил.

**RU 2 615 662 C 2**

**RU 2 615 662 C 2**



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2015132851, 06.08.2015**(24) Effective date for property rights:  
**06.08.2015**Registration date:  
**06.04.2017**

Priority:

(22) Date of filing: **06.08.2015**(43) Application published: **09.02.2017** Bull. № 4(45) Date of publication: **06.04.2017** Bull. № 10

Mail address:

**620016, g. Ekaterinburg, ul. Amundsena, 106,  
FGBUN IEF UrO RAN**

(72) Inventor(s):

**Osipov Vladimir Vasilevich (RU),  
Orlov Albert Nikolaevich (RU),  
Kashirin Vladimir Ilich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe  
uchrezhdenie nauki Institut elektrofiziki  
Uralskogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk  
(IEF UrO RAN) (RU)**(54) **OPTICAL DEVICE FOR MEASURING REFRACTIVE INDEX OF TRANSPARENT SOLIDS WITH SMALL THICKNESS AND SMALL SIZE**

(57) Abstract:

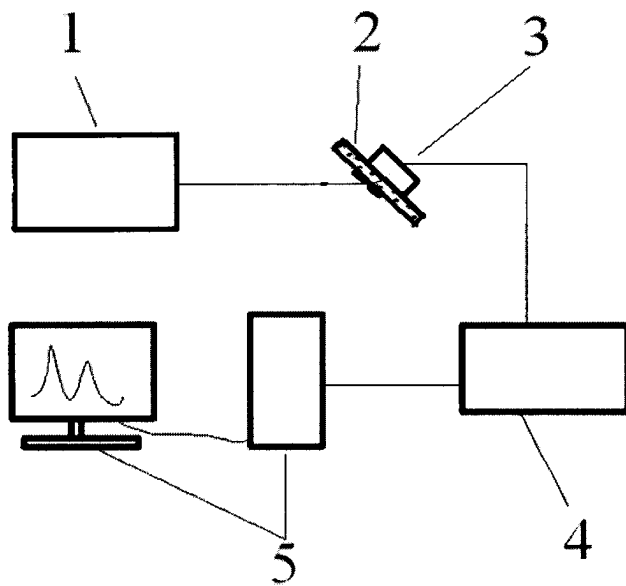
FIELD: physics.

SUBSTANCE: optical device for measuring the refractive index of the transparent solid samples with the thickness of 0.2-1 mm. and the size of 5-12 mm, comprises: a unit with replaceable laser diodes emitting in the wavelength range of 400-1100 nm, a device for forming a narrow ray beam with the width of 60-120 microns, a pattern in the form of a plane-parallel plate,

an additional transparent optical element installed with the sample at one and the same incidence angle, a system for registering the displacement value of the light beam, which is a CCD-matrix with the resolution of 2592x1944 pixels and more.

EFFECT: reducing time and increasing measurement accuracy of the refractive light index.

3 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к оптике и может быть использовано в качестве рефрактометра для измерения показателя преломления различных прозрачных и полупрозрачных твердых веществ, в частности - оптической керамики.

5 Экспериментальные образцы оптической керамики из новых наноматериалов после механической обработки обычно имеют толщину 0.5-1 мм с большими значениями показателя преломления (порядка 2) и малыми поперечными размерами 8-12 мм [1], что накладывает ограничения при выборе методов измерения дисперсии.

В нашей стране и за рубежом рефрактометры для измерения показателя преломления веществ ( $n$ ) с  $n \sim 2.0$  в диапазоне длин волн 400-1100 нм ввиду их специфики и 10 ограниченного применения серийно не выпускаются. Аналогами данного изобретения являются рефрактометры ИРФ-456, ИРФ-454 Б2М и DR-M4 для измерения показателя преломления на фиксированных длинах волн.

Рефрактометр ИРФ-456, устройство и принцип действия которого описаны в работе [2], предназначен для непосредственного измерения показателей преломления жидких 15 и твердых тел. Рефрактометр может быть применен в медицине, в химической, фармацевтической, пищевой промышленности и других областях. Измеряемые показатели преломления должны находиться в диапазоне 1.3-1.5.

Рефрактометр ИРФ-454 Б2М с подсветкой, производства Казанского оптико-механического завода, имеет диапазон измеряемых показателей преломления только 20 от 1.2 до 1.7 [3].

Для многоволновых Аббе-рефрактометров DR-M4 японской фирмы ATAGO [4] диапазон измерения показателя преломления значительно выше и составляет 1.5164-1.9164 (для  $\lambda=450$  нм), 1.4700-1.8700 (для  $\lambda=589$  нм), 1.4558-1.8557 (для  $\lambda=680$  нм), 1.4304-1.8303 (для  $\lambda=1.100$  нм).

25 Как можно заметить, с помощью известных приборов невозможно определить показатели преломления веществ с  $n \geq 1.83$  в ближней ИК-области, а длины волн можно установить только дискретно.

Хотя метод смещения луча плоскопараллельной пластиной и рассматривается наряду с другими в числе прочих методик для определения показателя преломления, но к 30 настоящему моменту описание серийных приборов и патентов для определения показателя преломления методом смещения луча от плоскопараллельной пластины авторами не обнаружено, за исключением [5]. Также можно отметить работу Смирновой Л.С. [6], где представлен аналогичный способ регистрации лучей при определении показателя преломления, но для клиновидных, толстых образцов и при нормальном 35 падении луча на образец.

Таким образом, за прототип к настоящему изобретению можно принять оптическое устройство, описанное в [5], где показатель преломления твердого материала определяется методом смещения лазерного луча при его наклонном падении на 40 поверхности плоскопараллельной пластины.

Сущность изобретения по [5] состоит в следующем. Узкий пучок лучей света от источника излучения под определенным углом направляется на плоскопараллельную пластину и, преломляясь на ней, смещается на некоторое расстояние параллельно самому себе относительно своего первоначального направления; измерению подлежит 45 величина смещения пучка лучей. Для повышения точности измерений используются дополнительный прозрачный оптический элемент (эталон) с известными показателем преломления и геометрическими размерами, а также точная система с шаговым двигателем с дискретностью шага менее 0,05 мкм, используемая для формирования и сканирования узких пучков лучей. Для непрерывного изменения длины волны

используется монохроматор, работающий в диапазоне длин волн от 200 до 1200 нм. Размер измерительного пучка в поперечном сечении  $s < 1$  мм. Таким образом, изобретение-прототип позволяет измерять показатель преломления оптической керамики из  $\text{Nd:Y}_2\text{O}_3$  с точностью  $\Delta n = \pm 0.004$ .

5 Недостатками установки по [5] являются: длительность времени измерений (около одного часа), необходимость использования высокоточного электрического привода и монохроматора, усложняющих устройство и существенно увеличивающих его геометрические размеры.

10 Задачей настоящего изобретения является создание оптического устройства для определения показателя преломления прозрачных твердых материалов с оптической плотностью выше 1.83 при  $\lambda = 1100$  нм на образцах малой толщины (0.3-1.0 мм) и небольших поперечных размеров (5-8 мм) на фиксированных длинах волн в диапазоне от 400 до 1100 нм, позволяющее сократить время измерений до 2-3 мин и обеспечить точность определения показателя преломления  $\Delta n = \pm 0.004$ .

15 Поставленная задача достигается с помощью оптического устройства, в состав которого входят следующие основные части: блок диодных лазеров с фиксированными длинами волн в диапазоне спектра 400-1100 нм; механическое устройство, формирующее узкий световой пучок шириной 80-90 мкм; высокочувствительная ПЗС-матрица с высоким разрешением, например,  $2592 \times 1944$  пикселей; специализированная программа, производящая обработку снимка узких пучков в цифровом формате и оптимизирующая  
20 полученные данные; дополнительная прозрачная плоскопараллельная пластина (эталон) с известными показателем преломления и геометрическими размерами. Описанное устройство основано на методе смещения луча плоскопараллельной пластиной.

25 Отличительными особенностями настоящего изобретения от прототипа являются: использование в качестве источника излучения вместо монохроматора с лампой накаливания - лазерных диодов, вместо детекторов излучения типа ФЭУ - ПЗС-матрицы высокого разрешения, а вместо механического сканирования узких пучков лучей -  
программная обработка зафиксированных снимков в цифровом формате.

30 Устройство для формирования узкого (60-120 мкм) измерительного светового пучка лучей и дополнительный прозрачный оптический элемент (эталон) с известными показателем преломления и геометрическими размерами для определения точного угла падения луча на плоскопараллельную пластину используются в предлагаемой заявке без каких-либо изменений.

35 Одновременная регистрация на ПЗС-матрице трех сигналов (опорного, эталонного и измеряемого) делают совершенно излишней точную систему сканирования оптического сигнала щелью шириной 10-30 мкм посредством шагового двигателя с величиной дискретного шага порядка 0,05 мкм.

40 Для смены длины волны излучения поочередно устанавливаются разные диодные лазеры, излучающие на длинах волн в диапазоне от 400 до 1100 нм; для регистрации световых пучков применена ПЗС-матрица, чувствительная в видимой и ближней ИК-области спектра. Спектральный диапазон измерений определяется спектральным диапазоном чувствительности ПЗС-матрицы.

45 Указанные отличия в предлагаемом оптическом устройстве позволяют измерять показатели преломления  $n \geq 1.83$  (при 1100 нм) прозрачных твердых веществ малой толщины (0,2-1 мм) и небольших размеров (5-12 мм), в широком диапазоне длин волн (400-1100 нм) за 2-3 мин вместо 60.

Сущность заявляемого изобретения поясняется блок-схемой усовершенствованной измерительной установки (фиг. 1), схемой расположения пучков лучей на ПЗС-матрице

(фиг. 2) и оптической схемой преломления луча на плоскопараллельной пластине (фиг. 3).

На фиг. 1 представлена блок-схема установки: 1 - блок со сменными лазерными диодами, излучающими на разных длинах волн; 2 - блок с образцом и/или эталоном; 3 - ПЗС-матрица; 4 - преобразователь сигналов; 5 - компьютер. На фиг. 2 - схема расположения на изображении следов от пучков лучей, где 6 - опорный пучок, 7 - пучок, отклоненный эталонным образцом, 8 - пучок, отклоненный исследуемым образцом. На фиг. 3 изображена оптическая схема распространения лазерного луча через плоскопараллельную пластину.

Для определения показателя преломления  $n$  образца на основе блока с лазерными диодами и ПЗС-матрицы был собран комплексный прибор, блок-схема которого показана на фиг. 1. Лазерное излучение, сформированное в виде узкого пучка лучей, под определенным углом (см. фиг. 1 и 3) направляется на исследуемый образец и дополнительный прозрачный оптический элемент (эталон - 2). Далее пучок лучей преломляется исследуемым и эталонным образцами, смещается ими на разные расстояния (см. фиг. 2) и попадает на ПЗС-матрицу высокого разрешения, изображения с которой через преобразователь сигналов (4) поступают через USB-разъем на компьютер, где фиксируются в виде цифровых снимков.

Полученные с ПЗС-матрицы данные на экране компьютера (5) представляются в виде изображения четырех линий (см. фиг. 2). Высота падающего пучка лучей выбирается так, чтобы его верхняя и нижняя части, проходя мимо плоскопараллельных пластин образца и эталона, распространялись далее без преломления и формировали на ПЗС-матрице два следа опорного пучка (6).

При падении луча на образец под углом  $i$  (см. фиг. 3) происходит преломление луча до угла  $j$ . Выходя из образца, луч вновь преломляется и принимает направление, параллельное первоначальному. При этом преломленный луч смещается вдоль нижней плоскости образца на расстояние  $X$ .

Измерив по исследуемому образцу смещение  $X$  (расстояние между линиями 6 и 8 на фиг. 2), можно определить показатель преломления по следующей формуле

$$n = \frac{\sin i}{\sin \left[ \arctg \left( \operatorname{tg} i - \frac{X}{d} \right) \right]}, \quad (1)$$

где  $n$  - показатель преломления материала,  $i$  - угол между падающим лучом и нормалью к поверхности образца,  $X$  - смещение луча от первоначального положения,  $d$  - толщина образца.

Из формулы (1) следует, что показатель преломления  $n$  можно вычислить, экспериментально, измерив угол падения  $i$ , толщину образца  $d$  и величину смещения  $X$ .

Точность определения показателя преломления исследуемого образца сильно зависит от точности нахождения угла падения  $i$ . Непосредственное измерение угла падения является отдельной сложной задачей и требует использования точных дорогостоящих оптических приборов, например, типа гониометр. Однако для этой цели применен дополнительный простой оптический элемент, эталон - плоскопараллельная прозрачная пластина из стекла марки К8 с известным показателем преломления и толщиной 1 мм. В качестве эталона можно использовать любое другое твердое прозрачное вещество с показателем преломления  $n$  больше 1,5, так как меньшее значение не обеспечивает заявленную точность при определении показателей преломления порядка 2. Зная

показатель преломления  $n$ , толщину  $d$  эталона и экспериментально определив на нем величину смещения  $X$  луча (расстояние между линиями 6 и 7 на фиг. 2) посредством численного решения уравнения (1) можно найти угол падения  $i$ , по которому затем вычислить искомое значение показателя преломления исследуемого образца.

5 Исследуемый образец и дополнительная прозрачная плоскопараллельная пластина устанавливаются под одним и тем же углом падения  $i$  либо поочередно в держатель образцов, либо вместе параллельно друг к другу. Во втором случае процедура измерений значительно упрощается и ускоряется.

С помощью специальной программы производится попиксельное сканирование 10 зарегистрированного изображения пучков лучей (их следов) и анализируется распределение интенсивности в поперечных сечениях пучков отклоненных лучей. Затем методом усреднения находят для эталонного и измеряемого пучков лучей положение координат  $X$ , входящих в расчетную формулу (1), и посредством численного решения уравнения (1) по известному значению показателя преломления  $n$  эталона определяется 15 угол  $i$  падения пучка лучей на эталон и образец. По найденному углу  $i$  и координате  $X$  смещения луча, преломленного образцом, по формуле (1) вычисляется показатель преломления  $n$  исследуемого материала.

Определенный таким образом показатель преломления для образца из оксида иттрия с неодимом при использовании полупроводникового лазера (650 нм) составил 1.934, 20 что соответствует в пределах ошибок измерений значению в работе [5]. Таким образом, заявляемое оптическое устройство позволило определить показатель преломления оптической керамики из  $\text{Nd:Y}_2\text{O}_3$  с точностью не ниже  $\Delta n = \pm 0.004$ , упростить конструкцию и ускорить измерения в 30 раз.

Заявляемое оптическое устройство может быть применено и для других целей, 25 например, для определения клиновидности плоскопараллельных пластин при известном их показателе преломления.

Источники информации

1. Багаев С.П., Осипов В.В., Иванов М.Г., Соломонов В.И. и др. Высокопрозрачная 30 керамика на основе  $\text{Nd}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ . // Фотоника. - 2007. - №5. - с. 24-29.

2. Иоффе Б.В. / Рефрактометрические методы химии, 3 изд., перераб., Л., Химия, 1983.

3. <http://kazan-omz.ru/list/Laboratornye-pribory-1891/Refraktometr-laboratornyi-IRF-454B2M.html>.

4. Многоволновые Аббе рефрактометры DR-M4. /<http://www.atago.ru/stationary/abbe.html>.

5. Осипов В.В., Орлов А.Н., Каширин В.И., Лисенков В.В. / Оптическое устройство для измерения показателя преломления прозрачных твердых веществ малой толщины и небольших размеров методом параллельного смещения светового луча. Патент 40 №2492449.

6. Смирнова Л.А. / Способ определения показателя преломления клиновидных образцов. Патент №2032166,

#### (57) Формула изобретения

45 Оптическое устройство для определения показателя преломления прозрачных твердых веществ образцов с толщиной от 0,2 до 1 мм и размером от 5 до 12 мм, содержащее источник излучения, устройство для формирования узкого пучка лучей шириной 60-120 мкм, образец в виде плоскопараллельной пластины и дополнительный прозрачный оптический элемент с известными показателем преломления и



геометрическими размерами, установленный с исследуемым образцом под одним и тем же углом падения либо поочередно в держатель образцов, либо вместе параллельно друг к другу, систему регистрации величины смещения светового луча, отличающаяся тем, что в качестве источника излучения используется блок со сменными лазерными диодами, излучающими в диапазоне длин волн 400-1100 нм, а в системе регистрации и обработки данных применяется ПЗС-матрица с разрешением 2592x1944 пикселей и больше.

10

15

20

25

30

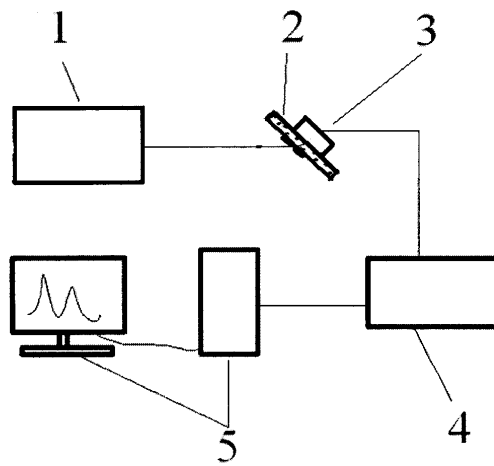
35

40

45

МПК G01N21/41

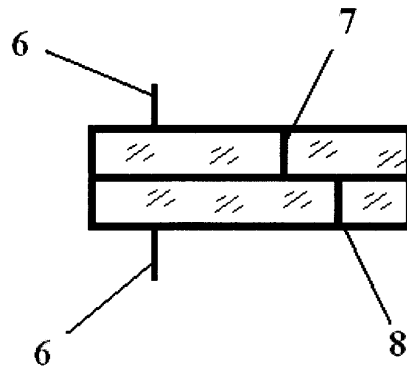
Оптическое устройство для измерения показателя преломления прозрачных твердых веществ малой толщины и небольших размеров



Фиг. 1

МПК G01N21/41

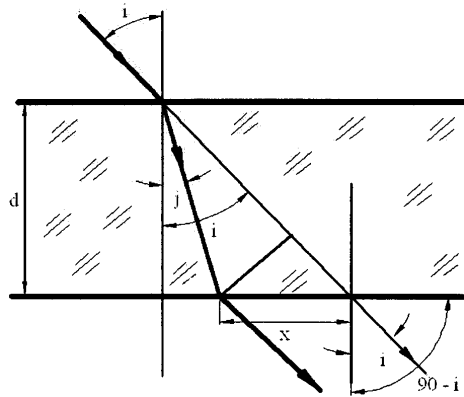
Оптическое устройство для измерения показателя преломления прозрачных твердых веществ малой толщины и небольших размеров



Фиг. 2

МПК G01N21/41

Оптическое устройство для измерения показателя преломления прозрачных твердых веществ малой толщины и небольших размеров



Фиг. 3