

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 188623

Опτικο-электрический преобразователь ультразвуковых волн

Патентообладатель: *федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики" (Университет ИТМО) (RU)*

Авторы: *Бобцов Алексей Алексеевич (RU), Бойков Владимир Иванович (RU), Бушуев Александр Борисович (RU), Быстров Сергей Владимирович (RU), Литвинов Юрий Володарович (RU)*

Заявка № 2018145662

Приоритет полезной модели 20 декабря 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 18 апреля 2019 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 20 декабря 2028 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01H 9/00 (2019.02)

(21) (22) Заявка: 2018145662, 20.12.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
20.12.2018

Дата регистрации:
18.04.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 20.12.2018

(45) Опубликовано: 18.04.2019 Бюл. № 11

Адрес для переписки:

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр.,
49, Университет ИТМО, ОИС и НТИ

(72) Автор(ы):

Бобцов Алексей Алексеевич (RU),
Бойков Владимир Иванович (RU),
Бушуев Александр Борисович (RU),
Быстров Сергей Владимирович (RU),
Литвинов Юрий Володарович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский
национальный исследовательский
университет информационных технологий,
механики и оптики" (Университет ИТМО)
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2551394 C2, 20.05.2015. RU
2274856 C1, 20.04.2006. RU 2643232 C1,
31.01.2018. US 6128092 A, 03.10.2000. US
2018146303 A1, 24.05.2018.

(54) Оптико-электрический преобразователь ультразвуковых волн

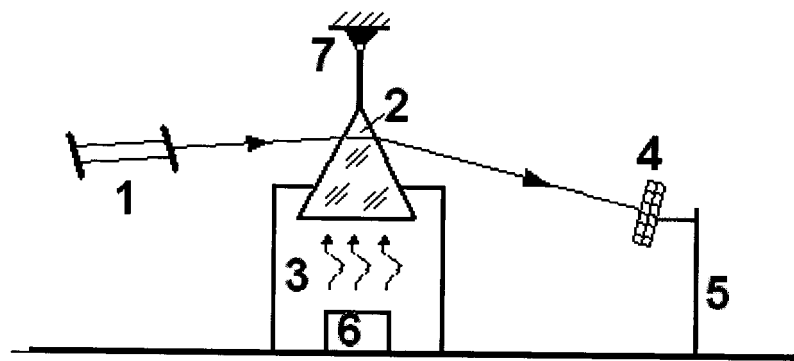
(57) Реферат:

Использование: для измерения ультразвуковых колебаний в жидкости. Сущность полезной модели заключается в том, что в водяной емкости с излучателем ультразвуковых колебаний установлена с возможностью колебаний частично погруженная оптически прозрачная треугольная призма, выполненная из монодисперсного пористого стекла с размерами пор, по крайней мере, на порядок меньше длины волны излучения осветителя, которое пропускают через призму. Под действием ультразвукового капиллярного эффекта жидкость проникает в поры призмы и изменяет ее показатель преломления. Кроме того, под действием ультразвуковых волн призма находится

в состоянии колебаний. Излучение, преломленное призмой, воспринимается светочувствительным элементом. Чем больше амплитуда колебаний, тем меньше времени сечение преломленного луча перекрывает светочувствительный элемент, тем меньше его ток, то есть преобразователь работает в обратной шкале. Действие капиллярного эффекта смещает центр колебаний луча со светочувствительного элемента, еще больше уменьшая ток через него. Технический результат: повышение чувствительности преобразования амплитуды ультразвуковых колебаний в жидкости в электрический сигнал, снимаемый со светочувствительного устройства. 1 з.п. ф-лы, 2 ил.

RU 188 623 U1

RU 188 623 U1



Фиг. 1

RU 188623 U 1

RU 188623 U 1

Полезная модель относится к измерительной технике и может быть использована для измерения ультразвуковых колебаний в жидкости.

Известен оптико-электрический преобразователь ультразвуковых волн, используемый в индикаторе ультразвука (патент RU №2312312, МПК G01H 9/00, дата приоритета 19.04.2005, дата публикации 27.10.2006), содержащий лицевую панель, прозрачный электрод, слой коллоидной суспензии частиц в диэлектрической жидкости, который помещен между электродами и в котором комплексный показатель преломления коллоидных частиц отличен от комплексного показателя преломления диэлектрической жидкости, второй электрод - пьезопластинка с проводящим покрытием, внешняя сторона которой через диод соединена с прозрачным электродом. Суть преобразований в аналоге заключается в том, что измеряемые ультразвуковые колебания воспринимаются пьезопластинкой, под действием пьезоэлектричества которой в результате электрофореза изменяется показатель преломления зеркального узла, заполненного электрооптической жидкостью. Выходной информацией преобразователя является изменение цвета отраженного луча света, падающего на зеркальный узел. Недостатком преобразователя являются большие потери полезной информации в результате большой цепочки преобразований ультразвуковых колебаний. При измерении ультразвуковых колебаний с малой амплитудой это приводит к высокой погрешности измерений.

Известен оптико-электрический преобразователь механических волн (патент RU №2551394, МПК G01H 9/00, G01M 7/02, дата приоритета. 18.07.2013, дата публикации 20.05.2015), по совокупности существенных признаков выбранный за прототип, который содержит осветитель, водяную емкость с зеркальным узлом и стойку, поддерживающую светочувствительный элемент, причем осветитель установлен на демпфере под углом к вертикали, световые лучи от которого падают на зеркальный узел, находящийся в водяной емкости, и отражающиеся от него на светочувствительный элемент, установленный на зигзагообразной текстолитовой стойке и имеющий нижнюю поверхность, из расчета площади световых лучей (зайчика), отраженного от зеркального узла при отсутствии механических волн. Недостатком прототипа является потеря полезной информации при измерении ультразвуковых колебаний малой амплитуды и высокой частоты, приводящая к динамическим погрешностям измерений. Первичным чувствительным элементом ультразвуковых колебаний является водяная емкость. Выходным параметром прототипа являются колебания «зайчика» проходящего луча на светочувствительном элементе. Максимум интенсивности отраженного света будет при отсутствии колебаний, когда «зайчик» неподвижен. Когда измеряемые колебания имеют малую амплитуду и высокую частоту, то для существенного перемещения «зайчика» необходимо преодолеть инерционность системы «водяная емкость-вода-зеркальный узел», коэффициент передачи которой по амплитуде на рабочей частоте мал, что приводит к динамическим погрешностям. Система преобразований имеет зону нечувствительности, когда входной сигнал есть, а «зайчик» на светочувствительном элементе остается практически неподвижным. Недаром, в прототипе указывается, что для повышения точности необходимо снижать уровень воды в водяной емкости, тем самым уменьшая инерционность водяной массы. Однако это приводит к невозможности измерения колебаний с большой амплитудой, поскольку зеркальный узел перестает свободно плавать в воде и касается дна водяной емкости. Возможно повышение чувствительности преобразователя путем увеличения расстояния от зеркального узла до светочувствительного элемента, когда при прочих равных условиях амплитуда выходных угловых колебаний «зайчика» будет больше. Но такое решение приводит к

увеличению габаритов преобразователя.

Технический результат заключается в снижении динамической ошибки преобразования при измерении ультразвуковых колебаний в жидкости за счет повышения чувствительности системы, преобразующей измеряемую величину в

5 выходную величину.

Этот технический результат достигается тем, что оптико-электрический преобразователь ультразвуковых волн содержит осветитель, на оптической оси которого последовательно установлены оптический узел, размещенный в водяной емкости, и светочувствительный элемент, установленный на стойке, и имеющий чувствительную

10 поверхность, из расчета площади световых лучей (зайчика), прошедшего через

оптический узел при отсутствии измеряемых волн, при этом в водяной емкости под оптическим узлом установлен источник ультразвуковых волн, а оптический узел из прозрачного капиллярно-пористого материала с размерами пор, по крайней мере, на

15 порядок меньше длины волны излучения осветителя. Этот же технический результат достигается тем, что оптический узел выполнен в форме треугольной призмы.

По сравнению с прототипом полезная модель имеет новую совокупность существенных признаков, то есть отвечает критерию новизны.

Сущность полезной модели заключается в том, что источник ультразвуковых волн, установленный в водяной емкости, не только раскачивает оптический узел, но и за счет

20 ультразвукового капиллярного эффекта изменяет одновременно его показатель преломления для проходящего излучения. Центр колебаний «зайчика» смещается относительно центра светочувствительного элемента, и энергия, им принимаемая за период колебаний, уменьшается больше чем в прототипе. Тем самым повышается чувствительность преобразователя.

Сущность полезной модели поясняется Фиг. 1-2, где:

на фиг. 1 представлена конструкция оптико-электрического преобразователя и введены следующие обозначения:

1 - осветитель, 2 - оптический узел, 3 - водяная емкость, 4 - светочувствительный элемент, 5 - стойка, 6 - источник ультразвуковых колебаний, 7 - подвес.

Преобразователь содержит осветитель 1, на оптической оси которого

30 последовательно установлены оптический узел 2, размещенный в водяной емкости 3, и светочувствительный элемент 4, установленный на стойке 5, и имеющий чувствительную поверхность, из расчета площади световых лучей (зайчика), прошедшего через оптический узел 2 при отсутствии измеряемых волн, источник ультразвуковых

35 волн 6 установлен в водяной емкости 3 под оптическим узлом 2, который выполнен в форме треугольной призмы из прозрачного капиллярно-пористого материала с размерами пор, по крайней мере, на порядок меньше длины волны излучения осветителя 1, и установлен на подвесе 7 с возможностью колебаний в водяной емкости 3;

на фиг. 2 представлены сечения преломленного луча оптического узла 2 в плоскости

40 светочувствительного элемента 4, где 8 и 9 - крайние положения сечений радиусом R_2 луча при его колебаниях относительно центра C_1 чувствительного элемента 4, D - амплитуда колебаний центра сечений луча, 10 - неподвижное сечение чувствительного элемента 4 с радиусом R_2 и центром C_1 , 11 и 12 - крайние положения сечений преломленного луча при его колебаниях относительно смещенного центра C_2 , ΔD -

45 величина смещения центра колебаний сечений преломленного луча из-за действия ультразвукового капиллярного эффекта.

Перед началом преобразований производят юстировку оптической части системы, включающей осветитель 1, оптический узел в форме призмы 2, и светочувствительный

элемент 4. Для этого включают осветитель 1 и подбирают угол его наклона так, чтобы его луч, пройдя через призму 2, попал на светочувствительный элемент 4. Когда пятно или «зайчик» преломленного луча попадет на светочувствительный элемент 4, электрический измерительный прибор (на фиг. 1 не показан), подключенный к светочувствительному элементу 5, покажет наличие электрического тока. Затем юстировкой светочувствительного элемента 4 добиваются максимального значения тока измерительного прибора. В простом случае реализации преобразователя с круглым сечением преломленного луча 8 или 9 с радиусом R_2 , сечение чувствительной поверхности 10 светочувствительного элемента 4 также выбирают круглым с радиусом $R_1=R_2$. При полном перекрытии сечением 8 или 9 преломленного луча сечения 10 светочувствительного элемента 4 будет передаваться максимальная энергии излучения осветителя 1 светочувствительному элементу 4, и измерительный прибор покажет максимальную силу тока.

В рабочем режиме включается источник ультразвуковых волн 6 в водяной емкости 3. Под действием волн, возникающих в жидкости, раскачивается призма 2. Луч преломленного излучения от осветителя 1 также начинает колебаться относительно центра C_1 сечения 10 светочувствительного элемента 4, занимая крайние положения 8 и 9. Чем больше амплитуда колебаний, тем меньше энергии за период колебаний получает светочувствительный элемент 4, так как уменьшается площадь перекрытия сечений луча и светочувствительного элемента. Следовательно, тем меньше ток измерительного прибора. Таким образом, преобразование входного сигнала - амплитуды ультразвуковых колебаний в выходной - ток измерительного прибора происходит в обратной шкале.

Одновременно с колебаниями призмы 2 из-за кавитации под основанием призмы 4 происходит заполнение ее пор жидкостью в силу ультразвукового капиллярного эффекта. Заполнение пор происходит дискретно, микроскопические капельки жидкости в порах перемежаются микроскопическими пузырьками воздуха. Чем больше интенсивность ультразвуковых волн, тем больше в порах жидкости и меньше воздуха. Так как размеры пор по крайней мере на порядок меньше длины волны проходящего излучения, то явления интерференции и дифракции на проходящее через призму 2 излучение, практически не сказываются, и призма 2 может считаться практически однородным оптическим телом с изменяющимся показателем преломления. При увеличении амплитуды ультразвука показатель преломления призмы 2 увеличивается, и центр колебаний сечений луча из точки C_1 смещается в точку C_2 на расстояние ΔD , нарушается симметричность колебаний относительно центра C_1 сечения 10 светочувствительного элемента 4. Крайние сечения преломленного луча занимают положения 11 и 12. В этом случае за период колебаний площадь пересечений сечения 10 светочувствительного элемента 4 и сечений 11 и 12 луча уменьшается дополнительно к уменьшению площади пересечений из-за увеличения амплитуды колебаний ультразвука. Тем самым, при одной и той же амплитуде D колебаний центра сечения луча чувствительность преобразования увеличивается.

Призма 2 выполнена из монодисперсного пористого стекла с размером пор (максимум распределения размеров) 40 нм, что в 10-17,5 раза меньше длины волны излучения рабочего диапазона (оптический диапазон видимого спектра 400-700 нм). Пористое стекло получают по известной технологии путем выщелачивания натрий-бор-силикатной основы с образованием пористой матрицы, содержащей до 95-98 вес. % SiO_2 . Суммарный объем пор в таком стекле составляет примерно 25-30%. При заполнении пор только воздухом эквивалентный показатель преломления системы стекло-воздух $n=1,35$, при

заполнении пор водой эквивалентный показатель преломления $n=1,37$. В качестве осветителя может быть использован монохроматический лазер с длиной волны в диапазоне 400-700 нм.

Эффективность вклада ультразвукового капиллярного эффекта можно оценить следующим образом. Рассчитаем площади взаимного пересечения сечений луча и сечений светочувствительного элемента 4 за период их колебаний. Из планиметрии известна формула [<http://www.abakbot.ru/online-2/73>] площади $S=S_1+S_2$ пересечения двух окружностей с радиусами R_1 и R_2 и с расстоянием D между их центрами, где

$$S_1 = \frac{R_1^2(F_1 - \sin(F_1))}{2}, S_2 = \frac{R_2^2(F_2 - \sin(F_2))}{2},$$

$$F_1 = 2 \arccos \frac{R_1^2 - R_2^2 + D^2}{2R_1D}, F_2 = 2 \arccos \frac{R_2^2 - R_1^2 + D^2}{2R_2D}.$$

Предположим, что колебания центра сечений луча 8 и 9 имеют синусоидальный характер, тогда расстояние между их центрами будет изменяться по формуле $D(\varphi) = a \cdot |\sin(\varphi)| + \Delta D$, где φ - текущий угол поворота луча, за период $\varphi = 2\pi$ рад, a - амплитуда колебаний. Подстановка $D(\varphi)$ в выражение для площади пересечения и интегрирование в программной среде «Маткад» от $\varphi=0$ до $\varphi=2\pi$ дает следующие результаты площади пересечений $S(2\pi)$, сведенные в таблицу.

Таблица оценки эффективности ультразвукового капиллярного эффекта

Амплитуда	Без ультразвукового капиллярного эффекта $\Delta D = 0$	С ультразвуковым капиллярным эффектом $\Delta D = 0.2$	Сравнительное повышение чувствительности %
a	$S(2\pi)$	$S(2\pi)$	
0	19.74	17.25	-
0.5	15.76	13.32	15.5
1.0	11.97	9.67	19.2
1.8	6.81	5.08	25.4

В таблице амплитуда колебаний центра луча a и смещения ΔD заданы в относительных единицах длины, как и радиусы сечений $R_1=R_2=1$. Видно, что смещение центра колебаний из-за ультразвукового капиллярного эффекта на 20% относительно амплитуды колебаний луча, повышает чувствительность преобразования на 15.5-25.4% (в зависимости от амплитуды колебаний).

Таким образом, по сравнению с прототипом в полезной модели снижается динамическая погрешность преобразований при сохранении габаритов преобразователя, что позволяет уменьшить ошибки измерения интенсивности ультразвуковых колебаний в жидкости.

(57) Формула полезной модели

1. Оптико-электрический преобразователь ультразвуковых волн, содержащий осветитель, на оптической оси которого последовательно установлены оптический

узел, размещенный в водяной емкости, и светочувствительный элемент, установленный на стойке и имеющий чувствительную поверхность, из расчета площади световых лучей (зайчика), прошедшего через оптический узел при отсутствии измеряемых волн, отличающийся тем, что источник ультразвуковых волн установлен в водяной емкости

5 под оптическим узлом, который выполнен из прозрачного капиллярно-пористого материала с размерами пор, по крайней мере, на порядок меньше длины волны излучения осветителя.

2. Оптико-электрический преобразователь ультразвуковых волн по п. 1, отличающийся тем, что оптический узел выполнен в форме треугольной призмы.

10

15

20

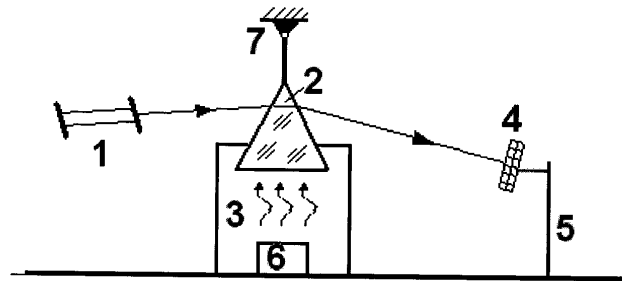
25

30

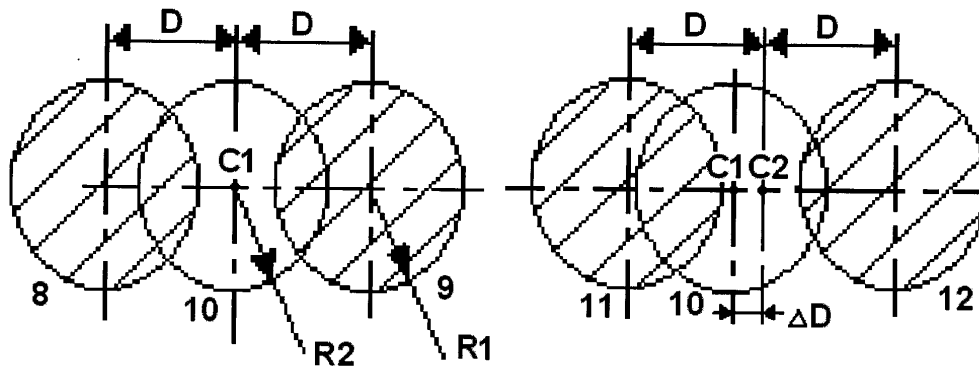
35

40

45



Фиг. 1



Фиг. 2