



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G02B 5/28 (2006.01)
G01J 3/26 (2006.01)
G01B 9/02 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2012110608/28, 20.03.2012

(24) Effective date for property rights:
20.03.2012

Priority:

(22) Date of filing: 20.03.2012

(43) Application published: 27.09.2013 Bull. № 27

(45) Date of publication: 10.05.2014 Bull. № 13

Mail address:

630108, g.Novosibirsk, ul. Plakhotnogo, 10, FGBOU
VPO "Sibirskaja gosudarstvennaja geodezicheskaja
akademija" (FGBOU VPO "SGGA")

(72) Inventor(s):

Chesnokov Vladimir Vladimirovich (RU),
Chesnokov Dmitrij Vladimirovich (RU),
Mikhajlova Dar'ja Sergeevna (RU),
Syrneva Aleksandra Sergeevna (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Sibirskaja
gosudarstvennaja geodezicheskaja akademija"
(FGBOU VPO "SGGA") (RU)

(54) **INTERFERENCE MULTIBEAM LIGHT FILTER (VERSIONS)**

(57) Abstract:

FIELD: physics, optics.

SUBSTANCE: light filter comprises translucent flat plate with thin-film coat applied on its one surface. In compliance with first version, light filter comprises radiation input optical prism with its flat face secured on said thin-film coat nearby plate end. Prism and film refractive indices are larger than that of the plate. In compliance with second version, plate end is skewed at acute angle to thin-film coat surface. Radiation is input to said film via said skewed end. Film refractive

indices are larger than that of the plate. Radiation input in said film propagates therein at the angle to film surface nearby the plate smaller than that of full inner reflection but larger than that of the film second surface. Plate end remote from radiation input can be composed of cylindrical or spherical lens.

EFFECT: higher resolution and larger dispersion area.

6 cl, 3 dwg

RU 2 515 134 C 2

RU 2 515 134 C 2

Изобретение относится к оптике, к оптическим устройствам, основанным на использовании явлений полного внутреннего отражения и интерференции световых потоков, в том числе устройствам оптических фильтров, применяемых в научных исследованиях и технике для спектрального анализа и монохроматизации света.

5 Решается проблема создания светофильтров, обладающих высокой разрешающей способностью, то есть узкой полосой пропускания, с одновременным обеспечением широкой свободной спектральной области.

В качестве аналога взяты известные устройства типа эталонов Фабри-Перо [Скоков И.В. Многолучевые интерферометры в измерительной технике. - М.: Машиностроение, 10 1989], содержащие прозрачную плоскую пластину, на противостоящие поверхности которой нанесены полупрозрачные зеркальные покрытия. По принципу действия эталоны являются оптическими резонаторами со стоячей световой волной. При пропускании через эталон коллимированного оптического излучения между 15 зеркальными покрытиями вследствие многократных отражений возникает многолучевая интерференционная картина, излучение проходит эталон только на тех длинах волн спектра, на которых между пластинами возникает резонанс, то есть укладывается целое число полуволн. Ширина формируемой эталоном полосы спектра проходящего излучения определяется во многом коэффициентом отражения зеркальных покрытий; при использовании металлических покрытий этот коэффициент порядка 0,9 и меньше.

20 Преимуществом интерферометров Фабри-Перо над светофильтрами других типов, например дифракционными, является их большая светосила; недостатком аналога являются значительные потери световой энергии на зеркалах, что приводит к 25 значительной ширине спектральной полосы пропускания при малых порядках интерференции, то есть к недостаточно высокой разрешающей способности устройства при использовании его в качестве светофильтра, а при больших порядках интерференции, при которых светофильтр имеет непревзойденно большую разрешающую способность, резко уменьшается область дисперсии (свободная спектральная область).

В качестве прототипа взят интерференционный многолучевой интерферометр Люммера-Герке [Борн М., Вольф Э. Основы оптики. - М.: Гл. ред. физ-мат. лит. Наука. 30 1970 г. - 856 с]. Интерферометр представляет собой длинную плоскопараллельную пластинку из стекла или кристаллического кварца. Пучок света от источника, лежащего на продольной оси пластинки, входит в нее через призму, укрепленную на одном из 35 концов пластинки, и падает на внутреннюю поверхность последней под углом, немного меньшим угла полного внутреннего отражения. Траектория пучка внутри пластинки представляет собой ломаную линию; из пластинки выходит с обеих ее сторон ряд световых пучков, начинающихся в местах падения пучка пластины изнутри на ее 40 внешнюю сторону. Так как угол падения луча на внутреннюю поверхность ненамного меньше угла полного внутреннего отражения, лучи преломляются на граничной поверхности и выходят в воздушную среду под скользящими углами к поверхности. Отраженные от поверхности внутрь лучи продолжают распространяться по пластине, подобно распространению света в световоде. Вышедшие из пластины лучи собираются линзой и образуют интерференционную картину в ее фокальной плоскости. В связи с 45 большим количеством интерферирующих лучей разрешающая способность интерферометра очень высокая.

Недостатком прототипа является малая свободная спектральная область, что объясняется большим отношением толщины пластины к длине волны света и высокими 50 порядками интерференции света.

Задачей, решаемой настоящим изобретением, является создание оптического фильтра,

обладающего узкой спектральной полосой пропускания и одновременно широкой свободной спектральной областью.

Задача решается тем, что в интерференционном многолучевом светофильтре, содержащем плоскую прозрачную пластину с тонкопленочным прозрачным покрытием одной ее поверхности и оптическую призму ввода излучения, в соответствии с изобретением оптическая призма закреплена плоской гранью на тонкопленочном покрытии вблизи конца пластины, причем показатели преломления призмы и пленки больше показателя преломления пластины.

Предлагается также вариант интерференционного многолучевого светофильтра, содержащий плоскую прозрачную пластину с тонкопленочным прозрачным покрытием одной ее поверхности, в котором в соответствии с изобретением один конец пластины скошен под острым углом к поверхности тонкопленочного покрытия, причем показатель преломления пленки больше показателя преломления пластины, тогда как излучение вводится в пленку через скошенный конец пластины.

Предлагается также, что введенное в прозрачную пленку излучение распространяется в ней под углом к поверхности пленки, граничащей с пластиной, меньшим угла полного внутреннего отражения, но большим угла полного внутреннего отражения второй поверхности пластины.

Предлагается также, что удаленный от места ввода излучения конец пластины выполнен в виде цилиндрической или сферической линзы.

Изобретение поясняется с помощью фиг.1-3.

Фиг.1 - схема хода лучей в продольном сечении интерференционного многолучевого светофильтра по изобретению. Здесь 1 - тонкопленочное прозрачное покрытие прозрачной плоской пластины 2, 3 - призма ввода излучения в тонкопленочное покрытие, 4 - входящий луч света, 5 - выходящий пучок света, Л - линза, f - фокусное расстояние линзы, б - фокальная точка, n_0 , n_1 , n_2 , n_3 - показатели преломления окружающей среды, тонкопленочного покрытия, пластины, призмы, соответственно; θ_1 и θ_2 - угол падения луча на поверхность тонкопленочного прозрачного покрытия изнутри и угол преломления луча на границе между тонкопленочным прозрачным покрытием и пластиной.

Фиг.2 - схема хода лучей в продольном сечении варианта интерференционного многолучевого светофильтра по изобретению. Здесь 7 - прозрачная пластина со скошенным краем, 8 - поверхность скошенного края, 9 - первый отраженный луч.

Фиг.3 - схема хода лучей в продольном сечении интерференционного многолучевого светофильтра, содержащего встроенную линзу. Здесь 10 - прозрачная пластина, 11 - цилиндрическая или сферическая линза.

В соответствии с фиг.1 входящее коллимированное излучение падает на грань призмы 3, отражается от второй грани и проходит в тонкослойное покрытие 1. Далее луч проходит покрытие, падает под углом θ_1 на границу раздела покрытие-пластина, отражается под тем же углом и преломляется под углом θ_2 :

$$\sin \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1. \quad (1)$$

Отраженный луч по ломаной траектории распространяется внутри тонкопленочного покрытия, при каждом падении на границу раздела покрытие-пластина луч отражается и преломляется. Коэффициент отражения может быть высоким в связи с близостью угла падения к углу полного внутреннего отражения на границе. При падении луча на границу тонкопленочного покрытия с внешней средой луч испытывает полное

внутреннее отражение, так как выполняется условие:

$$\theta_1 > \theta_{\text{кр}} = \arcsin(n_0 / n_1), \quad (2)$$

где $\theta_{\text{кр}}$ - угол полного внутреннего отражения.

5 Преломленные лучи собираются линзой Л и фокусируются в точку фокуса, так как они взаимно параллельны и интерферируют. При условии равенства разности фаз между соседними лучами величине, кратной 2π рад, наблюдается максимум при интерференции. Для световых лучей разной длины волны максимумы интерференции располагаются в фокальной плоскости линзы на разных расстояниях от оптической

10 оси линзы, что позволяет, поставив в фокальной плоскости диафрагму со щелью или линейку фотодиодов, разделить световые потоки с различными длинами волн. В случае варианта интерферометра на фиг.2 излучение вводится через скошенный под острым углом край пластины 7. Поверхность 8 скошенного края должна быть плоской и полированной. Пройдя пластину, которая для падающего света аналогична

15 призме 3 на фиг.1, световой луч попадает в тонкопленочное покрытие 1, в дальнейшем ход лучей аналогичен рассмотренному при описании фиг.1. Отличием является наличие отраженного от границы раздела луча 9 при первом проходе этой границы падающим лучом 4. В случае, показанном на фиг.3, удаленный от места ввода излучения конец пластины

20 10 выполнен в виде цилиндрической или сферической положительной линзы 11, преломленные лучи этой линзой, как линзой Л на фиг.1, фокусируются; при такой конструкции интерферометра оптическая схема упрощается, нет необходимости в специальной линзе Л. Рассмотренное устройство отличается от прототипа тем, что световедущая часть

25 устройства выполнена в виде двухкомпонентной конструкции; тонкопленочное покрытие может иметь толщину много меньше, чем в случае интерферометра Люммера-Герке, что позволяет увеличить свободный спектральный диапазон интерферометра на несколько порядков. Кроме того, излучение выходит из покрытия только через одну его поверхность, что вдвое увеличивает интенсивность вышедшего излучения.

30 Существенно уменьшается длина интерферометра при одинаковых значениях разрешающей способности.

Разность фаз δ между соседними лучами в тонкопленочном покрытии, если пренебречь фазовым сдвигом, испытываемым светом при полном внутреннем отражении, определяется формулой:

$$35 \delta = \frac{4\pi h}{\lambda_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2 \sin^2 \theta_2} \quad (3)$$

Порядок интерференции m определяется числом волн в оптическом пути, проходимым лучом за шаг излома траектории в тонкопленочном покрытии толщиной h , и формулой:

$$40 m = \frac{\delta}{2\pi} = \frac{2h}{\lambda_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2 \sin^2 \theta_2}. \quad (4)$$

Здесь λ_0 - длина волны света в свободном пространстве. Учитывая, что $\theta_2 \rightarrow 0$, можно по методике, предложенной в книге [Основы оптики, см. выше], получить формулу для свободной спектральной области:

45

$$\Delta\lambda_0 \approx \frac{\lambda_0^2}{2h} \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{\left| n_1^2 - n_1 \lambda_0 \frac{\partial(n_1 - n_2)}{\partial\lambda_0} - n_2^2 \right|} \approx \frac{\lambda_0^2}{2hK}, \quad (5)$$

где К - слабо зависящий от длины волны коэффициент, близкий по величине к показателю преломления тонкопленочного покрытия.

Разрешающая сила интерференционного фильтра определяется с учетом (5) формулой:

$$\frac{\lambda_0}{\delta\lambda} \approx 0,7 \frac{lK}{\lambda_0 \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}, \quad (6)$$

где l - расстояние по пластине между входом и выходом луча в тонкопленочное покрытие, $\delta\lambda$ - спектральная полоса пропускания фильтра. При использовании тонкопленочного покрытия толщиной порядка длины волны, как следует из (5), можно иметь $\Delta\lambda_0 \approx \lambda_0$, при этом разрешающая сила интерферометра не зависит от толщины покрытия и остается такой же высокой, как у интерферометра Льюмера-Герке.

Особенностью многолучевого интерферометра по изобретению является тот факт, что при малой толщине тонкопленочного покрытия, сравнимой с длиной волны света, волна в нем распространяется, как в оптическом волноводе, и имеет модовую структуру. Это обстоятельство требует ввода излучения в тонкопленочное покрытие под таким углом, чтобы обеспечивалось совпадение направления луча в покрытии и направления моды.

Для изготовления устройства по изобретению используются материалы и технология, применяемые в оптической промышленности. Для призмы можно использовать сапфир ($n=1,75$) или стекло ТФ ($n=1,7-1,9$), для тонкопленочного покрытия и пластины - стекло ТФ и плавный кварц. Важным является изготовление оптических поверхностей призм и пластины с высокой степенью плоскостности.

Приведенные объяснения показывают, что выполнение поставленной задачи может быть обеспечено описанными техническими решениями.

Техническим результатом изобретения является создание светофильтра, обладающего высоким разрешением, большой областью дисперсии.

Изобретение может использоваться в оптике и оптоэлектронике - в качестве узкополосного светофильтра, в качестве диспергирующего устройства монохроматоров и спектрометров.

Формула изобретения

1. Интерференционный многолучевой светофильтр, содержащий плоскую прозрачную пластину с тонкопленочным прозрачным покрытием одной ее поверхности и оптическую призму ввода излучения, отличающийся тем, что оптическая призма закреплена плоской гранью на тонкопленочном покрытии вблизи конца пластины, причем показатели преломления призмы и пленки больше показателя преломления пластины.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что введенное в прозрачную пленку излучение распространяется в ней под углом к поверхности пленки, граничащей с пластиной, меньшим угла полного внутреннего отражения, но большим угла полного внутреннего отражения второй поверхности пленки.

3. Устройство по п.1, отличающееся тем, что удаленный от места ввода излучения конец пластины выполнен в виде цилиндрической или сферической линзы.

4. Интерференционный многолучевой светофильтр, содержащий плоскую прозрачную пластину с тонкопленочным прозрачным покрытием одной ее поверхности,

отличающийся тем, что один конец пластины скошен под острым углом к поверхности тонкопленочного покрытия, причем показатель преломления пленки больше показателя преломления пластины, тогда как излучение вводится в пленку через скошенный конец пластины.

5 5. Устройство по п.4, отличающееся тем, что введенное в прозрачную пленку излучение распространяется в ней под углом к поверхности пленки, граничащей с пластиной, меньшим угла полного внутреннего отражения, но большим угла полного внутреннего отражения второй поверхности пленки.

10 6. Устройство по п.4, отличающееся тем, что удаленный от места ввода излучения конец пластины выполнен в виде цилиндрической или сферической линзы.

15

20

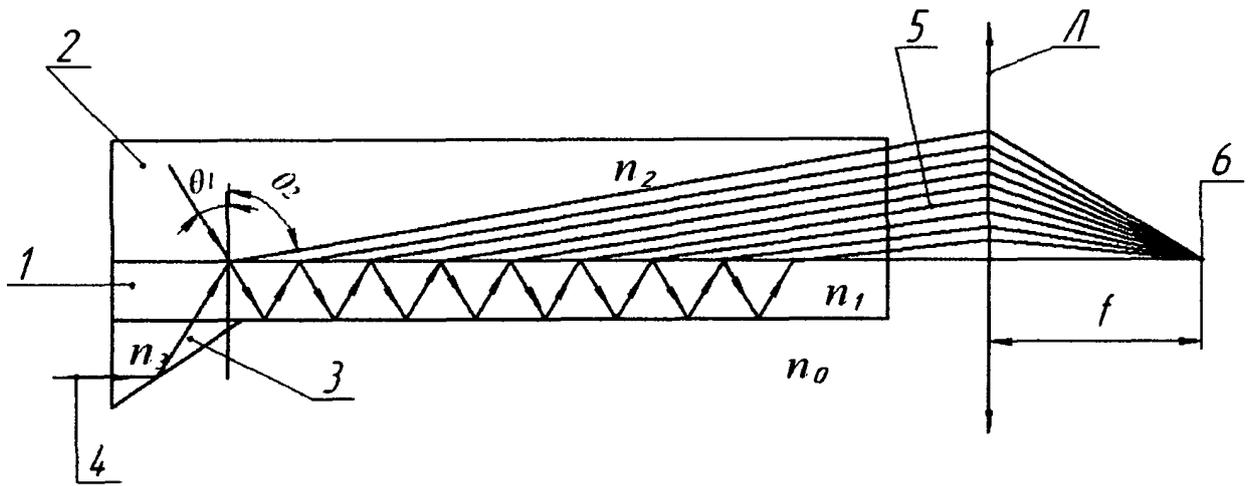
25

30

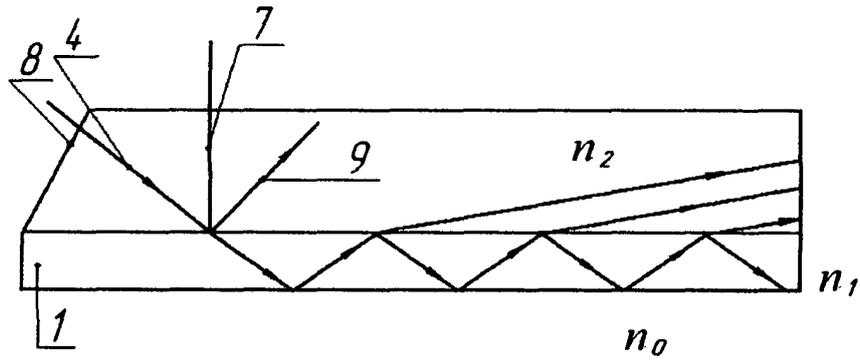
35

40

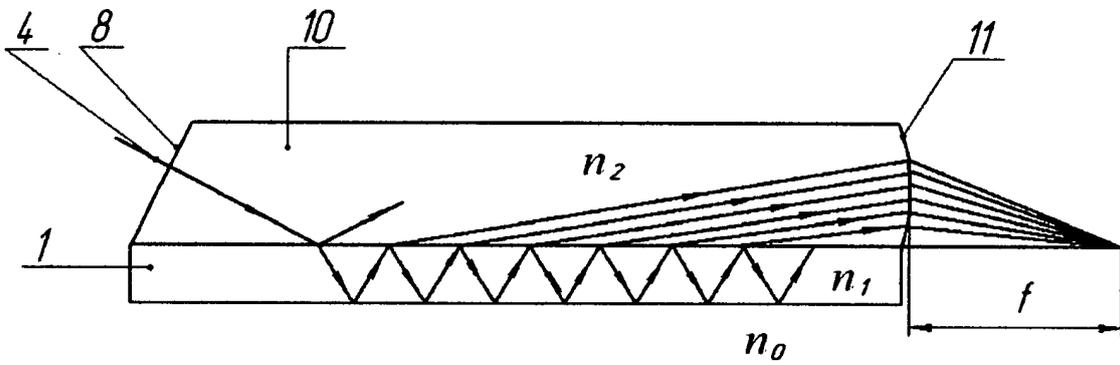
45



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3