

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 629 580**

51 Int. Cl.:

G01J 3/18 (2006.01)
G01J 3/14 (2006.01)
G01J 3/22 (2006.01)
G01J 3/02 (2006.01)
G01J 3/28 (2006.01)
G01J 3/12 (2006.01)
A61B 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.02.2015** **PCT/DE2015/200066**
87 Fecha y número de publicación internacional: **08.10.2015** **WO15149759**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.02.2015** **E 15714403 (1)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.04.2017** **EP 2943760**

54 Título: **Espectrómetro**

30 Prioridad:

31.03.2014 DE 102014206061
05.01.2015 DE 102015200034

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.08.2017

73 Titular/es:

MICRO-EPSILON OPTRONIC GMBH (100.0%)
Lessingstrasse 14
01465 Dresden-Langebrück, DE

72 Inventor/es:

OTTO, TOBIAS

74 Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 629 580 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Espectrómetro

- 5 La invención se refiere a un espectrómetro que comprende una combinación de al menos una rejilla y al menos un prisma.

Para los análisis de luz de banda ancha los espectrómetros de luz blanca clásicos combinan al menos una óptica de colimación, una óptica de dispersión y una óptica de focalización con un detector que habitualmente hoy en día es un sensor de imagen de líneas o de matriz (véase la figura 1). Todas las ópticas a su vez constan de al menos un elemento. Como elementos de colimación o focalización se utilizan habitualmente lentes pero también se conocen otras variantes. Para conseguir la dispersión necesaria se utilizan tanto prismas como rejillas, individualmente o combinados. Los espectrómetros que utilizan una combinación de prisma y rejilla como elementos dispersivos se conocen por el documento de patente de Estados Unidos US2010/0014082 A1 o el documento de patente de Estados Unidos US2012/0242988 A1.

La óptica de dispersión sirve para conseguir una dispersión angular D , es decir, la modificación de la dirección de propagación de la luz en función de la longitud de onda. En conjunción con la óptica de focalización la luz dividida (espectro) se reproduce en distintos puntos del detector. Esto último permite la transformación de la función de intensidad a lo largo del espectro reproducido en una señal analógica utilizándose una relación lineal entre la intensidad luminosa y la corriente fotoeléctrica. La señal analógica en muchas aplicaciones reales se digitaliza mediante sistemas de cómputo, por ejemplo, un PC o dispositivo FPGA etc. tras haberse leído y evaluado.

La función característica de reproducción del espectrómetro depende mucho del tipo y de la disposición de los elementos ópticos. Si primeramente se consideran sólo los elementos ópticos más sencillos y sólo el elemento dispersivo fundamental se pueden distinguir dos tipos: los espectrómetros de prisma y los de rejilla. En el primer caso la estructura es siempre transmisiva, mientras que el segundo caso también son posibles conjuntos reflexivos (véase la figura 2).

La dispersión angular de un espectrómetro de prisma se debe a la dependencia de la longitud de onda del índice de refracción n del material del prisma. Utilizando la ley de refracción de Snell, para un ángulo de incidencia en el prisma α , un ángulo de refracción asociado γ , un ángulo de salida del prisma β , una longitud de onda λ y un ángulo de prisma ε la desviación de un rayo en el prisma resulta:

$$\sin(\beta) = n(\lambda) \left(\varepsilon - \arcsin \left(\frac{\sin(\alpha)}{n(\lambda)} \right) \right)$$

Fórmula 1: Ecuación de desviación de un prisma

$$D = \frac{d\beta}{d\lambda} = \frac{\sin(\varepsilon)}{\cos(\gamma) \cos(\beta)} \frac{dn}{d\lambda}$$

Fórmula 2: Ecuación de dispersión de un prisma

La dispersión angular del espectrómetro de rejilla se obtiene de la ecuación de la rejilla y para un ángulo de desviación β , un orden de difracción μ y una constante de la rejilla g resulta:

$$D = \frac{d\beta}{d\lambda} = \frac{\mu}{g \cos(\beta)}$$

Fórmula 3: Ecuación de dispersión de una rejilla

Si se analizan las fórmulas 2 y 3 en cuanto a la función de dispersión resulta clara inmediatamente la relación no lineal entre la longitud de onda y la desviación. Si se utiliza una rejilla, de acuerdo con la definición elegida, resulta una relación lineal entre la dispersión y la longitud de onda y, por tanto entre la posición en la imagen y la longitud de

onda, sólo en un intervalo pequeño alrededor de un ángulo $\beta=0$. Debido a los múltiples parámetros no lineales involucrados si se utiliza un prisma el diseño para conseguir una relación lineal entre la dispersión y la longitud de onda resulta todavía más complicado. Mediante una combinación adecuada de los componentes ópticos, sin embargo, se puede conseguir que el sistema en su conjunto produzca una imagen aproximadamente lineal con respecto a la longitud de onda; véase, por ejemplo, el documento de patente de Estados Unidos US6661513 de 2003 de Granger.

Para algunas aplicaciones no resulta ventajosa una relación de dispersión lineal en función de la longitud de onda. Existen varios procedimientos de medición, por ejemplo, la medición de distancia cromática confocal y el procedimiento interferométrico de luz blanca en los que la magnitud de medición o las señales asociadas no están codificadas de forma natural como función lineal de la longitud de onda. Si la imagen en el espectrómetro no está adaptada a esta relación, las señales se tienen que convertir antes de su evaluación definitiva con un mayor o menor consumo de recursos. Este paso intermedio tiene dos inconvenientes fundamentales; por un lado hacen falta recursos adicionales y por otro lado casi siempre se introducen errores adicionales. Incluso si se consigue un reescalado sin errores pueden existir limitaciones en cuanto a las magnitudes de medición. Un ejemplo fundamental de esto es el procedimiento interferométrico de luz blanca. En este, la frecuencia máxima medible resulta limitada por el criterio de reproducción de Nyquist y, por tanto, la máxima variación del número de onda circular, k , entre elementos detectores adyacentes. Un reescalado posterior no puede modificar nada lo anterior.

Diferentes invenciones intentan resolver este problema de una forma análoga a una linealización en función de la longitud de onda utilizando componentes ópticos adicionales o combinando rejillas y prismas. Una de las propuestas iniciales se recoge en el artículo de W.A. Taub "Constant-dispersion prism spectrometer for channeled spectra", publicado en JOSA, Vol. 7, Issue 9 pág. 1779-1791, (1990). La idea básica es combinar una rejilla y un prisma, prisma-rejilla, y la utilización de las distintas relaciones de dispersión para compensar la no linealidad. La propuesta se basa, sin embargo, en la dispersión del material del prisma que, al menos para prismas de poca dispersión, resulta tener un efecto menor que el efecto de la función de transferencia angular de la rejilla. Una aplicación más reciente de la linealización en función del número de onda circular se describe en el documento de patente de Estados Unidos US6816258 de 2004 de Hutchin. Esta invención utiliza un prisma-rejilla de transmisión para la linealización pudiéndose integrar la rejilla en varios lados del prisma. El documento de patente de Estados Unidos US7929134 de 2011 de Hu y otros es un ejemplo de una estructura similar que, sin embargo, se basa en la separación espacial de la rejilla y del prisma. El documento de patente Estados Unidos US2012024298 de 2012 de Saxer y otros describe una solución sofisticada que también persigue una linealización en función del número de onda circular. Adicionalmente, la estructura tiene un diseño tan flexible que resulta posible modificar las características del espectrómetro durante su utilización.

Un requisito mínimo para la no linealidad residual máxima a conseguir de un espectrómetro k -lineal (100%/m para m elementos detectores) lo formuló Gelikonov y col. en el artículo "Linear-wavenumber spectrometer for high speed spectral domain optical coherence tomography", publicado en Optics and Spectroscopy, 2009, Vol. 106, nº 3, pág. 459-465. Los autores aclaran que la dificultad del objetivo crece, entre otras cosas, cuando se utilizan detectores con gran número de elementos de detección (píxeles). En las aplicaciones descritas se utilizaron primeramente escasamente 256 elementos, después se utilizaron 512 y ahora 1024 o 2048 elementos no son la excepción. En combinación con la posición central y la anchura del intervalo de longitudes de onda utilizado el requisito relativo a la no linealidad residual puede volverse crítico enseguida.

Los análisis de la función característica de reproducción, sin embargo, pueden constituir sólo una parte de la valoración global de un espectrómetro. En muchas aplicaciones además hay factores de valoración adicionales que no son despreciables. Si bien para aplicaciones industriales la cuestión del precio del sistema resulta de una importancia inmediata otros factores se hacen evidentes sólo en una segunda reflexión. Uno de dichos factores es la eficiencia del espectrómetro, es decir, qué fracción de la luz recibida registra el detector. Esto determina fundamentalmente la potencia necesaria de la fuente de luz o, en caso de que ésta no se pueda elegir, la sensibilidad del detector. Ambos componentes tienen un impacto en el diseño y en el precio del sistema. Un factor que tampoco hay que despreciar es el espacio que ocupa el sistema. Precisamente si se utilizan varios o muchos espectrómetros esta cuestión no ha de despreciarse. En la disposición clásica los elementos adicionales ópticos necesarios para la k -linealización aumentan los requisitos de espacio de forma notable. Una aplicación concreta, la del documento de patente Estados Unidos US8102537 de 2012 de Akishiba renuncia, en favor de la ganancia de espacio, completamente incluso, a la k -linealización óptica y hace una corrección mediante reescalado del espectro. Este sistema que está diseñado claramente para su uso industrial pone muy de manifiesto la importancia del espacio que ocupa el espectrómetro.

La forma clásica de optimizar la combinación de rejilla y prisma se caracteriza por que en un primer paso se determinan unas ecuaciones de los componentes más o menos simplificadas. El grado de simplificación se elegía y se elige en función de la disponibilidad de información y teniendo en cuenta la capacidad de cálculo disponible. De las ecuaciones de los componentes se determina, en función de la disposición de los componentes prevista, una ecuación del sistema y conjuntamente con los parámetros libres se procede a su simulación y optimización. A partir de resultado de este proceso se pueden derivar a continuación los valores óptimos de los parámetros libres. Estos valores definen globalmente el mínimo absoluto en cuanto al valor objetivo, por ejemplo, la no k-linealidad residual de la dispersión. En la mayoría de los casos los valores determinados sólo se pueden conseguir con mucha dificultad o ni siquiera eso. Por lo tanto, finalmente habría que recurrir a componentes comerciales cuyas funciones características se aproximen todo lo posible a los parámetros óptimos determinados; véase el artículo de Gelikonov y col, el de Hu y col. "Fourier domain optical coherence tomography with a linear-in-wavenumber spectrometer", publicado en Optics Letters 2007, Vol. 32, nº 24, pág. 3525-3527.

Haciendo una consideración más detenida de las aplicaciones conocidas de los diseños clásicos resulta claro que, por lo que consta a los inventores, la línea de diseño sigue siendo la de los elementos transmisivos. Aunque el uso de rejillas de reflexión nunca se ha excluido no se conocen espectrómetros k-lineales con rejillas de reflexión. La ventaja fundamental de una rejilla de transmisión está fundamentada en que los rayos de entrada y de salida se separan automáticamente. Así, se pueden colocar los otros componentes ópticos, sin gran consumo de recursos, según la dirección de los rayos, por delante o por detrás. Se tienen que asumir, sin embargo, inconvenientes económicos. Por un lado, las rejillas de transmisión, al menos en el intervalo del infrarrojo cercano, resultan comparativamente caras y por otro lado los diseños comerciales solo ofrecen unas pocas variantes en cuanto a sus parámetros técnicos. Por el contrario, las rejillas de reflexión son claramente más económicas y sus diseños comerciales ofrecen más variedad. Sin embargo, sólo tienen una buena eficiencia cuando funcionan en configuración Littrow o en una muy parecida. Esta configuración se caracteriza precisamente para las rejillas de reflexión por que los rayos de entrada y de salida se superponen. La separación de los rayos parecería que solo es posible a primera vista si el funcionamiento se desvía bastante de la configuración de Littrow o si se utiliza un divisor de haz de rayos adicional. Ambas soluciones, sin embargo, repercuten muy negativamente en la eficiencia del espectrómetro y tienen poca importancia en la práctica, véanse los documentos de patente de Estados Unidos US6661513 de 2003 de Granger, US6816258 de 2004 de Hutchin y US7929134 de 2011 de Hu.

El objetivo de la invención que se describe a continuación se puede resumir, grosso modo, en satisfacer los requisitos descritos anteriormente y evitar las limitaciones adicionales. Se trataría de encontrar una manera que permitiera diseñar un espectrómetro lo más compacto posible que cumpliera las condiciones siguientes. En primer lugar, la k-linealización debería ser óptica y cumplir el criterio formulado por Gelikonov y col. Para ese caso se previeron 2048 píxeles en el detector. En segundo lugar la cantidad de los elementos ópticos necesarios se habría de minimizar. Además los requisitos de espacio y el consumo de recursos de ajuste se deberían minimizar y en último término también reducir los costes de los componentes. Adicionalmente, la estructura global debería diseñarse de la forma más robusta posible para evitar alteraciones térmicas.

Si uno considera los requisitos impuestos en su totalidad y conjuntamente con las soluciones conocidas resulta claro que algunos requisitos, en particular la alta compacidad y una k-linealización suficiente, aparentemente son mutuamente excluyentes o al menos repercuten negativamente uno en otro. La alta cantidad de elementos sensibles del detector agrava esta problemática. Por ello, para conseguir el objetivo planteado hay que apartarse bastante de las soluciones conocidas en algunos aspectos.

El objetivo anterior se consigue con un espectrómetro con las características de la reivindicación 1.

Las configuraciones ventajosas del espectrómetro se recogen en las reivindicaciones dependientes.

Para una medición particularmente precisa y segura la rejilla puede posicionarse u orientarse de modo que pueda funcionar según la configuración de Littrow.

De forma también ventajosa la disposición de las lentes para focalizar los rayos de luz en un detector se puede aprovechar de cara a ajustar la k-linealidad.

De forma también ventajosa con el espectrómetro se puede conseguir «plegar» la trayectoria de los rayos preferiblemente mediante un espejo de plegado.

El diseño del espectrómetro de acuerdo con la invención parte de la solución clásica, es decir, de una combinación

de rejilla y prisma ventajosa que pueda cumplir los exigentes requisitos de k-linealidad. Casi obligatoriamente las soluciones solo se localizan en la proximidad del óptimo global de las configuraciones razonables que, entre otras cosas, se caracterizan por un ángulo no despreciable entre la rejilla y la superficie del prisma. Como se ha descrito anteriormente se elige normalmente una estructura con una rejilla de transmisión. Debido a la reorientación de los rayos necesaria para la división espectral resultan así distancias ópticas notables entre los componentes implicados. Una reducción de las distancias geométricas, por lo tanto, sólo resulta posible con ayuda de componentes ópticos adicionales, por ejemplo, un espejo de plegado y, consecuentemente, va en perjuicio de la solución del objetivo impuesto. La invención supera los desafíos mencionados introduciendo dos modificaciones fundamentales. En primer lugar, se sustituye la rejilla de transmisión por una de reflexión y el prisma se coloca de modo que los rayos lo puedan atravesar dos veces. Así, el punto de funcionamiento definido nítidamente correspondiente a la reflexión total en un lado interno del prisma se aprovecha para garantizar la separación entre la trayectoria de entrada y la de salida de los rayos de la rejilla. Consecuentemente la rejilla de reflexión se puede orientar de modo que funcione en la configuración de Littrow y no haya que sufrir pérdidas relevantes de eficiencia. El prisma que los rayos atraviesan después de la rejilla por segunda vez, como característica distintiva de la invención, se puede colocar consecuentemente muy cerca de la rejilla, hasta inclusive estar en contacto con ella. En segundo lugar, para la focalización, el sistema de lentes que sería en cualquier caso necesario se puede aprovechar para optimizar la k-linealidad. Este paso resulta necesario puesto que el uso del conjunto rejilla de reflexión y prisma aunque permita guiar los rayos muy eficiente y compactamente según la consideración clásica del artículo de Gelikonov, no satisface por sí solo los requisitos de k-linealidad. La fracción de linealidad necesaria no asumida por el conjunto principal se consigue aprovechando específicamente las distorsiones de las lentes de refocalización.

Existen varias posibilidades de configurar y perfeccionar la presente invención de formas ventajosas. Por un lado se remite a las reivindicaciones dependientes y por otro a la siguiente descripción de ejemplos de realización de los conceptos de la invención haciendo referencia a las figuras. A la vez que se describen los ejemplos de realización preferidos de los conceptos de la invención haciendo referencia a las figuras se explican también en general las configuraciones y perfeccionamientos preferidos de dichos conceptos. En cuanto a las figuras muestran:

- la figura 1: una representación esquemática de un espectrómetro habitual
- la figura 2: una representación esquemática de las trayectorias de rayos típicas de un prisma y una rejilla y
- la figura 3: una representación esquemática de un ejemplo de realización de un espectrómetro de acuerdo con la invención.

La figura 1 muestra una representación esquemática de un diseño de espectrómetro habitual con una óptica de colimación, una óptica de dispersión y una óptica de focalización con un detector y una fuente de luz.

La figura 2 muestra una representación esquemática de las trayectorias de los rayos de un prisma y de una rejilla con las relaciones angulares correspondientes a los rayos incidentes y salientes.

La figura 3 muestra una representación esquemática de un ejemplo de realización de un espectrómetro de acuerdo con la invención. Resumidamente el haz de rayos incidente colimado incide con un ángulo definido en la primera superficie del prisma de modo que después de recorrer una primera trayectoria dentro del prisma 2 se ve reflejado en la segunda superficie del prisma 3 con reflexión total. Después de recorrer una segunda trayectoria dentro del prisma 2 todos los rayos salen por la tercera superficie lateral e inciden en la rejilla de reflexión 1. En ella los rayos del haz se difractan en función de la longitud de onda respectiva e inciden con un ángulo distinto al ángulo de salida previo de nuevo en la tercera superficie lateral del prisma 2; después de recorrer una tercera trayectoria dentro del prisma 2 los rayos vuelven a salir por la segunda superficie del prisma 3. A continuación atraviesan el sistema de lentes que focaliza el haz de rayos en función de su longitud de onda en el detector. En conjunto, la combinación de rejilla-prisma primero hace posible una k-linealización aún insuficiente y sólo conjuntamente con la óptica de focalización se consigue ya una buena corrección.

En cuanto a una mayor compacidad la estructura de la invención tiene también otra ventaja en comparación con las combinaciones habituales de rejilla y prisma (véase, por ejemplo, los documentos de patente de Estados Unidos US6661513, US6816258, US7929134 etc.) al mantener unas distancias geométricas claramente menores entre los componentes individuales. Esto se debe, entre otras cosas, a que las trayectorias ópticas necesarias recorridas dentro de la combinación de rejilla y prisma se superponen. Dicha menores distancias necesarias tienen un efecto positivo en las dimensiones necesarias de los elementos adicionales. En total, incluso si se utilizan componentes de catálogo solo harán falta componentes ópticos bastante pequeños, por ejemplo, lentes. Estos pueden adquirirse habitualmente a buen precio lo que reduce los costes totales del espectrómetro.

Adicionalmente la compacidad o la forma del espectrómetro se pueden aumentar o adaptar más, aparte de las

características de la invención descritas, mediante un plegado concreto de las trayectorias de los rayos. La figura 3 ilustra una manera a modo de ejemplo en la que se usa un espejo de plegado 4.

En la práctica, para la configuración concreta y la implementación de la invención se puede partir de un sistema conocido, con el que a continuación se hará una comparación. El espectrómetro correspondiente se diseñó para representar 2048 píxeles y tiene una altura, incluyendo la carcasa, de aproximadamente 9 cm con una superficie de aproximadamente 340 cm². La reproducción resulta lineal en función del número de onda circular. El sistema óptico se basa en la combinación de rejilla de transmisión y prisma separados espacialmente y está optimizado en cuanto a sus dimensiones. El sistema nuevo desarrollado de acuerdo con la invención y descrito anteriormente necesita para una representación equivalente de 2048 píxeles una superficie reducida de aproximadamente 130 cm² y una altura de aproximadamente 4 cm tan sólo. Esto corresponde a un volumen reducido hasta menos de un 20% del volumen de partida habiéndose de interpretar la comparación con cierta cautela porque las formas de las superficies son distintas.

Aunque la implementación preferida de la invención es un espectrómetro compacto con una característica lineal en función del número de onda circular la invención no está limitada a este caso de aplicación. En otra forma de realización de la invención la linealidad puede no ser en función del número de onda circular sino de la longitud de onda. Esto en principio también se puede conseguir directamente utilizando una rejilla adecuada pero entonces se sufren las limitaciones ya mencionadas en cuanto a la falta de linealidad y a los ángulos de entrada y salida necesarios. Para reducir la no linealidad en el estado de la técnica se utilizan habitualmente elementos ópticos adicionales, por ejemplo, prismas, que sólo se ven atravesados por los rayos una vez. Utilizando la configuración de la invención, es decir, aprovechando la reflexión total en el prisma y el paso de los rayos a través de él varias veces se pueden construir espectrómetros mucho más compactos. Como se ha descrito anteriormente, de lo anterior resultan habitualmente ventajas adicionales en cuanto a la variedad de componentes y al precio.

Aunque en la combinación de rejilla y prisma se persigue normalmente la linealidad en función del número de onda circular o de la longitud de onda esto no es razonable en todas las aplicaciones. Un ejemplo conocido es el de los sistemas de medición cromáticos confocales cuya función característica de distancia no es lineal ni en función de la longitud de onda ni del número de onda circular. Habitualmente en dichos sistemas se utilizan espectrómetros que tienen una función característica de variación aproximadamente lineal con la longitud de onda. Para ello, se utilizan sobre todo estructuras sencillas de rejilla de reflexión o de transmisión conjuntamente con ópticas de reproducción. Con una función característica del espectrómetro más favorable se podría reducir también en este caso el consumo de recursos del postprocesamiento. Simultáneamente aumenta habitualmente también la calidad de la resolución, por ejemplo, la no linealidad de los valores de medición se ve reducida.

Para conseguir una característica lineal en función de la distancia al objeto se tienen que diseñar los sistemas cromáticos confocales del espectrómetro de otra manera. Una característica lineal en función del número de onda circular resultaría claramente mejor que la solución descrita anteriormente, lineal en función de la longitud de onda, pero no es la configuración óptima todavía. Por el contrario, la no linealidad de la relación de dispersión se tendría que considerar en el cabezal de medición en función del intervalo de longitud de onda utilizado y compensarse mediante un diseño adecuado de la relación de dispersión en el espectrómetro. Por lo que consta a los inventores no existe en el mercado un sistema que presente esta solución. Esto viene justificado posiblemente por los costes de los componentes adicionales necesarios y por el mayor tamaño del espectrómetro. Posiblemente simplemente se deba a que la relación coste-utilidad no es aceptable. Utilizando la configuración de acuerdo con la invención se puede mejorar esta relación.

En función de cómo sea de complejo el diseño de la corrección de la dispersión del espectrómetro puede ser útil evitar el contacto directo o la integración de la rejilla y prisma. Así se puede dejar un ángulo de separación entre la rejilla y el prisma sin que se sacrifique la característica fundamental de la reflexión total en el prisma. El ángulo adicional aumenta la flexibilidad a la hora de optimizar la no linealidad pagando como precio un mayor consumo de recursos para el ajuste.

Aparte de las realizaciones descritas de la invención se puede utilizar la solución también en cualquier circunstancia en la que la combinación de rejilla y prisma se haya venido utilizando y en la que el paso de los rayos por el prisma fuera único. El precio y el tamaño del espectrómetro tienen normalmente bastante importancia para aplicaciones industriales. Aunque no se adapten los sistemas existentes, de cara a la producción de nuevos espectrómetros industriales la invención ofrece ventajas claras en estos sentidos.

En cuanto a otros diseños ventajosos del espectrómetro según la invención se remite, para evitar las repeticiones, a

la parte general de la descripción así como a las reivindicaciones adjuntas.

Finalmente, hay que mencionar, precisamente, que los ejemplos de realización descritos anteriormente del espectrómetro de acuerdo con la invención sólo sirven para aclarar los conceptos técnicos reivindicados pero no los
5 limitan a dichos ejemplos de realización de la invención.

Lista de números de referencia

- 1: Rejilla, rejilla de reflexión
- 10 2: Prisma
- 3: Lado, segunda superficie del prisma
- 4: Espejo de plegado

REIVINDICACIONES

1. Espectrómetro que comprende una combinación de al menos una rejilla (1) y al menos un prisma (2), aprovechándose para conseguir un espectrómetro compacto, la reflexión total en al menos un prisma (2) 5 utilizándose como rejilla (1) una rejilla de reflexión (1), en el que el/los, al menos uno, prisma/s están colocados de modo que lo/s atraviese/n los rayos de luz dos veces aprovechándose el punto de funcionamiento correspondiente a la reflexión total en un lado interno del prisma para garantizar la separación de las trayectorias entre los rayos de entrada y de salida del prisma siendo la característica del espectrómetro lineal en función del número de onda circular o compensando el espectrómetro la relación no lineal debida a la dispersión entre la longitud de onda y el 10 punto focal de un sistema de medición cromático confocal de modo que la característica total resulta lineal en función de la distancia al objeto o siendo la función característica del espectrómetro de variación lineal con la longitud de onda.
2. Espectrómetro según la reivindicación 1 caracterizado por que la rejilla (1) está colocada u orientada 15 de modo que pueda funcionar según la configuración de Littrow.
3. Espectrómetro según la reivindicación 1 o 2 caracterizado por que la fracción de la función característica del espectrómetro deseada no conseguida con el conjunto rejilla-prisma se consigue aprovechando específicamente las distorsiones de las lentes que los rayos atraviesan a continuación. 20
4. Espectrómetro según la reivindicación 1, 2 o 3 caracterizado por que en el espectrómetro se produce el pliegue de las trayectorias de los rayos, preferiblemente mediante un espejo de plegado.

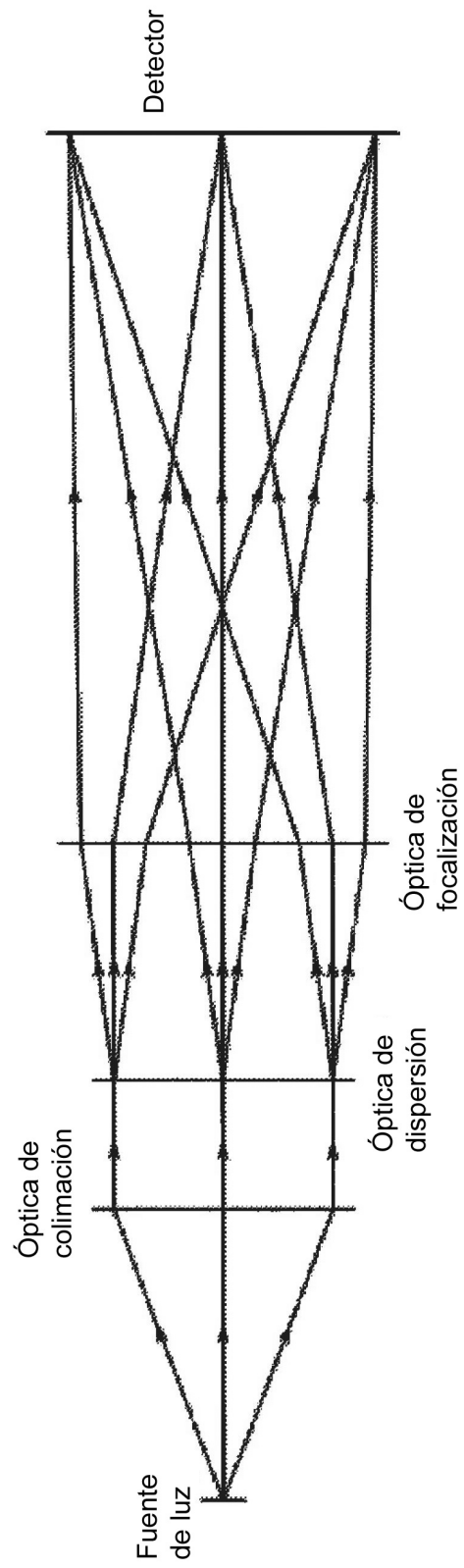


Fig. 1

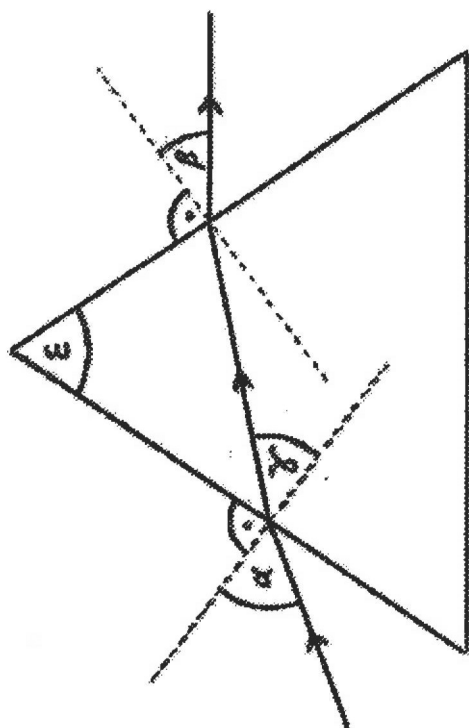
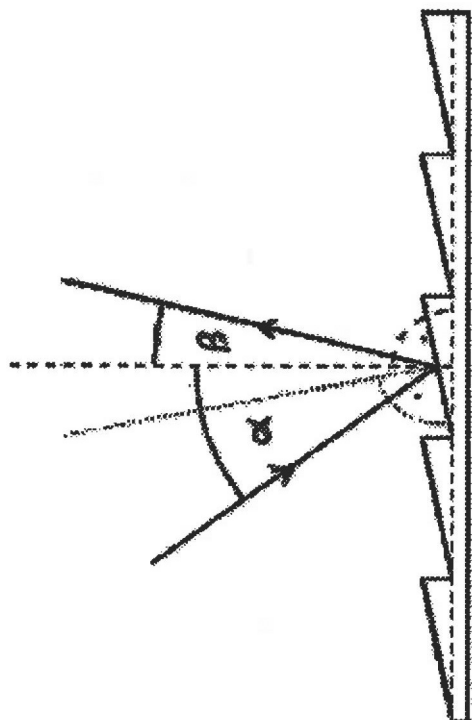


Fig. 2

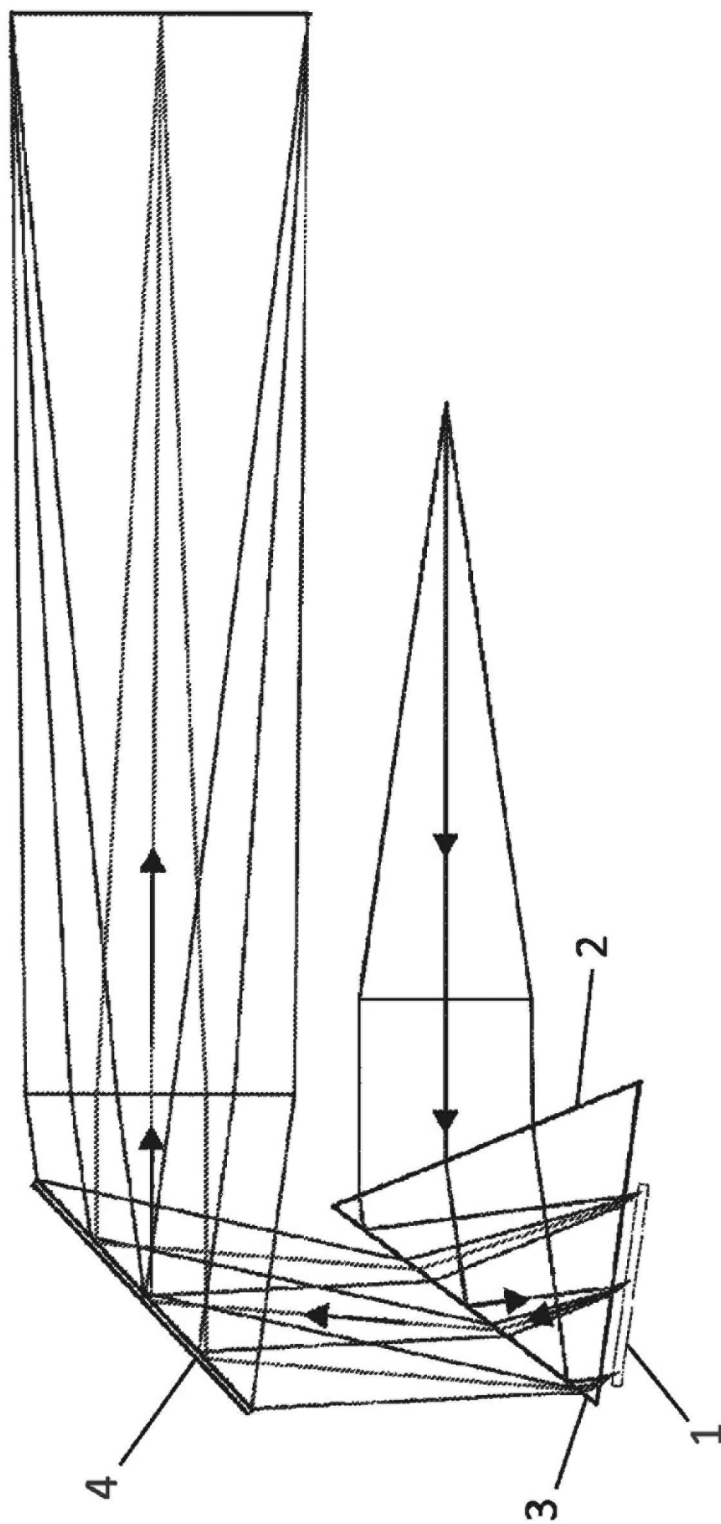


Fig. 3