

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 377 528**

51 Int. Cl.:  
**G02B 23/04** (2006.01)  
**G02B 27/10** (2006.01)  
**G01B 9/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06732983 .9**  
96 Fecha de presentación: **05.04.2006**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1866690**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **19.12.2007**

54 Título: **Aparato y método para combinar ópticamente al menos tres haces de luz**

30 Prioridad:  
**05.04.2005 EP 05075805**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**28.03.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**28.03.2012**

73 Titular/es:  
**NEDERLANDSE ORGANISATIE VOOR  
TOEGEPAST- NATUURWETENSCHAPPELIJK  
ONDERZOEK  
SCHOEMAKERSTRAAT 97  
2628 VK DELFT, NL**

72 Inventor/es:  
**VOSTEEN, Lieven Lambert Amir y  
BOKHOVE, Hendrik**

74 Agente/Representante:  
**Durán Moya, Carlos**

ES 2 377 528 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**

Aparato y método para combinar ópticamente al menos tres haces de luz

5 La invención se refiere a un aparato tal como se expone en el preámbulo de la reivindicación 1 y a un método tal como se expone en el preámbulo de la reivindicación 15. Más en particular, la invención se refiere a un aparato para combinar ópticamente al menos tres haces de luz de manera que los componentes de los haces interfieren destructivamente en una salida nula.

10 El documento US 5.113.284 da a conocer una disposición de telescopio que combina la luz de una serie de telescopios.

15 Un aparato para combinar ópticamente al menos tres haces de luz se puede aplicar, por ejemplo, en una disposición de telescopio que se dispone para hacer que la luz que proviene de una dirección principal interfiera destructivamente en una salida nula. Esto se puede utilizar para observar la luz recibida desde una dirección diferente cuando una fuente de luz dominante se encuentra presente en dicha dirección principal. En astronomía, por ejemplo, la luz de un planeta puede ser observada cerca de una estrella haciendo que la luz de la estrella interfiera destructivamente.

20 Para asegurar la interferencia destructiva de la luz de la dirección principal es deseable utilizar un bucle de control para ajustar las longitudes de la trayectoria óptica para los diferentes haces en relación unos respecto a los otros. Las longitudes de la trayectoria óptica controlables se disponen frente a los combinadores de haces donde se combinan los haces. El bucle de control asegura que antes de que entren en los combinadores de haces, los haces tienen fases relativas para la luz de la dirección principal de manera que esta luz interferirá destructivamente en la trayectoria nula.

25 En una posible configuración del bucle de control, el bucle de control contiene separadores de haces para separar las partes de seguimiento de las franjas de los haces antes de que se combine el resto de los haces. Los haces de seguimiento de las franjas separadas se combinan de manera que interfieren al menos parcialmente de manera constructiva. La intensidad medida de los haces de seguimiento de las franjas que interfieren constructivamente depende de la relación de fase entre los haces para la luz de la dirección principal. Esta intensidad medida se utiliza para determinar si los haces tienen la relación de fase adecuada para una interferencia destructiva en la trayectoria nula y, en caso contrario, cómo cambiar la longitud de la trayectoria óptica para alcanzar la relación de fase adecuada.

30 No obstante, esta posible configuración tiene el inconveniente de que requiere un control estricto de las propiedades de la parte de las trayectorias de los haces más allá del punto donde se separan los haces de seguimiento de las franjas, dado que estas propiedades afectan la luz. Esta parte del sistema óptico debe ser extremadamente estable o se debe mantener estable a expensas de un complejo sistema metrológico. Esto hace que dicha configuración sea pesada, cara y compleja.

35 Entre otros, es un objeto de la invención dar a conocer un aparato en el que se puede utilizar una configuración menos compleja para asegurar la interferencia destructiva en la trayectoria nula.

40 La invención da a conocer un aparato según la reivindicación 1. De acuerdo con la invención, al menos uno de los haces de seguimiento de las franjas no se separa antes de que el haz empiece a combinarse sino únicamente después o al mismo tiempo que la primera combinación de haces para ser utilizados en la trayectoria nula en un separador-combinador óptico que combina un par de haces para utilizar en la trayectoria nula.

45 La parte crítica de la trayectoria de los haces que puede afectar perjudicialmente el bucle de control es la parte de la trayectoria de los haces desde donde se separan las trayectorias de seguimiento de las franjas hasta donde todas las trayectorias de haces se han combinado en la trayectoria nula. Mediante el desplazamiento de un punto en el que se separa el haz de seguimiento de las franjas a una ubicación en la que al menos dos haces se combinan en la trayectoria nula o ya se han combinado en la trayectoria nula, se reduce la longitud de la trayectoria crítica. De esta manera, al menos dos trayectorias de haces se separan en trayectorias de franja a la vez, de manera que no quedan partes de trayectoria de franja separadas por estas trayectorias de franja que podrían presentar diferencias con efectos perjudiciales sobre la anulación.

50 Preferentemente, una tercera trayectoria de haz se une a la trayectoria nula después de que una trayectoria de franja se haya separado de la misma. Esto reduce la complejidad. Preferentemente esta tercera trayectoria de haz se une a la trayectoria nula en un punto en el que otros haces ya se han combinado en la trayectoria nula y su trayectoria de franja se une a las trayectorias de franja cuando las trayectorias de franja de otros haces ya se han combinado. Esto minimiza las diferencias en la trayectoria crítica. Más preferentemente, el separador en la tercera trayectoria de haz se ubica de manera simétrica en relación a un separador combinador para las otras trayectorias de haces, de manera que las distancias desde dicho separador combinador hasta los combinadores en los que se combina la tercera trayectoria de haces se combina con la trayectoria nula y las trayectorias de franja es igual a la

distancia entre el separador para el tercer haz y los combinadores.

Dicha disposición simétrica tiene la ventaja de que la anulación se puede llevar a cabo fácilmente utilizando la luz en bandas de longitud de onda relativamente amplias. Además, se reduce el riesgo de cambios perjudiciales en las trayectorias críticas.

Estos y otros objetivos y aspectos ventajosos de la invención se describirán por medio de ejemplos no limitativos de realizaciones.

La figura 1 muestra de manera esquemática un aparato de combinación de haces.

La figura 2 muestra una aplicación para telescopios.

La figura 3 muestra las relaciones de fase.

La figura 4 muestra un par de disposiciones de anulación.

La figura 5 muestra un circuito de control.

La figura 6 muestra cuatro separadores de haz como una unidad.

La figura 7 muestra una disposición para combinar más de tres haces.

La figura 1 muestra de manera esquemática un aparato combinador de haces para combinar haces de luz desde tres trayectorias -10a-c-. El aparato comprende desplazadores de fase acromáticos -11a,-b-, líneas de retardo óptico controlable -12a,b-, separadores/combinadores de haces -14a-d-, seguidores de franjas -16a-c-, un circuito de control -18- y un detector de señales -19-.

Las trayectorias de los haces -10a,b- de un primer y segundo haces contienen cada una de ellas una disposición en serie respectiva de un desplazador de fase acromático -11a,b- y una línea de retardo óptico controlable -12a,b- en la entrada del aparato (una disposición similar se puede presentar en la trayectoria del tercer haz para mejorar la simetría, pero no es estrictamente necesario).

Los separadores/combinadores de haces -14a-d- sirven para separar los haces de las trayectorias de haces -10a-c- y combinar la luz separada de diversos haces en cuatro conjuntos diferentes de relaciones de fase en haces a cuatro salidas diferentes respectivamente. Una salida alimenta un haz combinado en una trayectoria nula hacia el detector de señales -19-. En esta salida la relación de fase es tal que las partes principales de los componentes de diferentes trayectorias de haces -10a-c- interfieren destructivamente entre sí ("se anulan" entre sí). Las otras tres salidas alimentan los haces combinados a los seguidores de franja -16a-c-. Las relaciones de fase respectivas en estas salidas son tales que los componentes de diferentes trayectorias de haces -10a-c- que van a la dirección principal interfieren al menos parcialmente de manera constructiva.

Los seguidores de franja -16a-c- son sensores para detectar información sobre una intensidad de la combinación de haces incidentes. La información sobre la intensidad en las salidas a los seguidores de franja -16a-c- se utilizará para controlar las longitudes de las trayectorias en las líneas de retardo óptico controlable -12a,b- y/o en los desplazadores de fase acromáticos -11a,b- para asegurar la anulación de la parte principal de la luz de las trayectorias de haces -10a-c-. Este proceso de control es vulnerable a las perturbaciones en ciertas trayectorias de haces críticas que inician en las posiciones en las que la luz de los seguidores de franja se separa de la trayectoria que discurre hasta la salida del haz nulo y terminan en las posiciones en las que la luz de los haces se combina para suministrar a las salidas. En el aparato de la figura 1, las trayectorias de haces críticas son las trayectorias internas -13a-d- entre los separadores/combinadores -14a-d-.

Un primer separador/combinador de haces -14a- se ubica en las trayectorias -10a,c- del primer y tercer haz. Una primera trayectoria interna combinada -13a- para los haces desde la primera y tercera trayectorias de haces -10a,c- discurre desde este primer separador/combinador -14a- hacia la salida nula. Una trayectoria desde la trayectoria -10b- de un segundo haz se une a esta primera trayectoria interna a un segundo separador/combinador -14c-. El haz para la salida a la trayectoria nula se forma en el segundo separador/combinador -14c-. Además, el segundo separador/combinador -14c- genera una combinación de fase diferente del haz combinado a partir de la primera trayectoria interna -13a- y la luz de la segunda trayectoria de haz -10b- en una salida a un seguidor de franja -16c-.

El primer separador/combinador de haces -14a- separa la luz de las trayectorias -10a,c- del primer y tercer haces, a una segunda trayectoria interna de haces combinados -13b-. La segunda trayectoria interna discurre hasta un tercer separador/combinador -14b-. Una trayectoria desde la trayectoria -10b- de un segundo haz se une a esta segunda trayectoria interna -13b- en un tercer separador/combinador -14b-. El tercer separador/combinador -14b- genera una salida de combinaciones del haz combinado a partir de una segunda trayectoria interna -13b- y una luz a partir de la segunda trayectoria de haces -10b- a los seguidores de franjas -16a,b-.

Un cuarto separador/combinador -14d- (que funciona únicamente como separador) separa la luz de la segunda trayectoria de haces -10b- en luz que es dirigida al segundo y tercer separadores/combinadores -14b,c-, a lo largo de la trayectorias tercera e interna -13c,d-.

En la realización preferente de la figura 1 todas las trayectorias internas -13a-d- tienen la misma longitud (o longitudes a través de medios activos ópticamente). Esto tiene el efecto de que la expansión o contracción común de las longitudes de la trayectoria no tendrán ningún efecto en las relaciones de fase en las salidas y, por tanto, no resultarán en errores de anulación durante el control de las longitudes de las trayectorias ópticas de las líneas de retardo óptico controlable -12a,b-.

No obstante, la invención no está limitada a longitudes iguales o, en efecto, a longitudes ópticas iguales. En una realización diferente puede haber una diferencia de longitud de la trayectoria óptica entre, por una parte, las trayectorias internas -13a,d- que llevan al segundo separador combinador -14c- y, por otra parte, las trayectorias internas -13b,c- que llevan al tercer separador combinador -14b-. Esto no afecta a las relaciones de fase relativas en los diferentes haces de salida. De esta manera, se pueden llevar a cabo relaciones de fase independientes de la longitud de onda. En este caso se cumple la condición

$$La=Ld \text{ y } Lb=Lc$$

En este caso, La es la longitud de la primera trayectoria interna -13a-, desde el primer separador/combinador -14a- a la salida nula en el segundo separador combinador -14c-. Ld es la longitud de la cuarta trayectoria interna -13d- desde el cuarto separador/combinador -14d- donde la luz de la segunda trayectoria de haces -10b- se separa hacia la salida nula en el segundo separador combinador -14b-. Lb es la longitud de la segunda trayectoria interna -13b-, desde el primer separador/combinador -14a- al tercer separador combinador -14b- donde se forman los haces de salida a los dos seguidores de franja. Lc es la longitud de la tercera trayectoria interna -13c-, desde el cuarto separador/combinador -14d- al tercer separador combinador -14b-. En la realización preferente La, Lb, Lc y Ld son todas iguales, pero en la realización alternativa La puede diferir de Lb siempre que se cumpla la condición anterior. Esto asegura el funcionamiento en una amplia banda de longitudes de onda.

En otra realización puede existir una diferencia en la longitud de la trayectoria entre la segunda trayectoria de haces -10b-, por una parte, y la primera y tercera trayectorias de haces -10a-c-, por otra parte, siendo compensada la diferencia en la longitud de las trayectorias utilizando, de manera correspondiente, diferentes longitudes internas de trayectoria para aquellas trayectorias internas -13a-d- que son utilizadas por la luz desde la segunda trayectoria de haces -10b- en comparación con aquellas trayectorias internas que no lo son. En este caso una condición mantiene que

$$La-Ld = Lb-Lc$$

Además, por supuesto, en la medida en que la dependencia de la longitud de onda con las relaciones de fase se puede tolerar (es decir, dependiendo del ancho de banda óptico, por ejemplo en el caso de un sistema de banda estrecha) las longitudes pueden ser todas diferentes.

Además, aunque se ha mostrado una realización preferente en la que ningún componente adicional excepto los separadores/combinadores -14a-d- son parte de las trayectorias críticas -13a-d-, se debe apreciar que se pueden incluir componentes adicionales. Por ejemplo, se pueden incluir los desplazadores de fase acromáticos en la trayectoria crítica para afectar las diferencias entre las relaciones de fase o se pueden incluir lentes etc. para afectar la formación de los haces.

El detector de señales -19- puede ser de cualquier tipo. Típicamente, el detector de señales -19- comprende una fibra óptica (no mostrada) para recibir el haz desde la trayectoria nula. Debido a la disposición de los separadores/combinadores de haces -14a-d-, únicamente un único haz nulo combinado necesita ser acoplado a dicha fibra. La fibra, a su vez, se puede acoplar a cualquier tipo de sensor, por ejemplo, un sensor espectroscópico (para determinar la longitud de onda) y un detector de intensidad. etc. En una realización se puede utilizar alguna forma de modulación de haces en combinación con un detector sincronizado para detectar pequeñas intensidades.

El circuito de control -18- tiene entradas acopladas a las salidas del primer, segundo y tercer seguidores de franja -16a-c- y salidas acopladas a las entradas de control de las líneas de retardo óptico controlable -12a,b-. En funcionamiento, el circuito de control -18- utiliza las señales de salida de los seguidores de franja -16a-c- para generar señales de control para las líneas de retardo óptico controlable -12a,b-. El circuito de control -18- calcula las señales de control de manera que los componentes de los haces interfieren destructivamente en el detector de señales -19-. En una realización alternativa, el circuito de control -18- puede controlar los desplazadores de fase acromáticos -11a,b- para este propósito, en lugar de, o además de controlar las líneas de retardo óptico controlable -12a,b-. Esto se puede utilizar para llevar a cabo la anulación sobre una banda de longitud de onda aumentada. Preferentemente, en esta realización, los seguidores de franja -16a-c- proporcionan las respectivas detecciones de intensidad de la luz de las bandas de longitud de onda respectivas y el circuito de control -18- se dispone para

controlar la anulación para cada una de dichas bandas de longitud de onda.

La figura 2 ilustra una aplicación para telescopios, en la que un aparato -22- del tipo mostrado en la figura 1 recibe los haces -A-C- desde tres telescopios -20a-c-. Los telescopios -20a-c- están separados una distancia considerable, por ejemplo, más de diez metros. Los haces -A-C- de los telescopios -20a-c- se combinan en el aparato -22-, de manera que la radiación recibida por los telescopios -20a-c- desde una cierta dirección resulta en una interferencia de luz destructiva derivada de los haces -A-C- en el detector de señales -19-. La finalidad de esta configuración es que la radiación recibida desde direcciones ligeramente diferentes no interfiere destructivamente. La intensidad del haz en el detector de señales -19- es una función de la posición que tiene mínimos (ceros) y máximos como una función de la dirección desde la que llega la radiación a los telescopios -20a-c-.

Esto hace posible detectar la radiación de un objeto cerca de objetos con una radiación mucho mayor, asegurando que una dirección de la radiación que resulta en una interferencia destructiva coincida con la dirección del objeto mucho más fuerte.

En esta aplicación, el circuito de control -18- controla los retardos proporcionados mediante las líneas de retardo óptico controlable -12a,b- de manera que la interferencia destructiva tiene lugar en el detector de señales -19- para la radiación desde la dirección de la radiación más fuerte.

La figura 3 muestra las relaciones de fase nominales -30a-c- entre los haces en los seguidores de franja -16a-c- y una relación de fase nominal -32- en el detector de señales -19- para la radiación desde la dirección desde la que la radiación debe interferir destructivamente (anulación) en el detector de señales -19- (la dirección nula en lo siguiente). Los desplazadores de fase acromáticos -11a,b- están diseñados de manera que las relaciones de fase mostradas tienen lugar substancialmente independientemente de la longitud de onda. Tal como se puede observar, la suma de los tres vectores de fase -A-C- en el detector de señales -19- es cero, tal como se requiere para la interferencia destructiva. Los vectores de fase sucesivos -A-C- en los seguidores de franja -16a-c- están separados sesenta grados, con una diferencia de fase nominal  $\Phi_1 \Phi_2 \Phi_3$  entre el primer vector de fase y el retardado de ciento veinte grados. Como resultado, tiene lugar principalmente la interferencia constructiva en estos seguidores de franja -16a-c-.

En la práctica, las desviaciones entre las intensidades de los diferentes haces y las diferencias de fase pueden resultar en una anulación imperfecta. El circuito de control -18- controla las relaciones de fase de los haces de manera que se consigue la anulación. En la realización mostrada, las líneas de retardo óptico controlable -12a,b- se utilizan para ajustar las diferencias de fase para conseguir una anulación mejorada. De manera alternativa, se pueden utilizar los desplazadores de fase acromáticos -11a,b- en lugar, o además, de las líneas de retardo óptico. Para seleccionar las señales de control de fase, el circuito de control -18- utiliza las señales de entrada desde los seguidores de franja -16a-c- y, opcionalmente, las señales de detección de la intensidad para los haces individuales (si se realiza una compensación de las diferencias de intensidad).

Muchas maneras de seleccionar las señales de control de fase son posibles. El principio subyacente es que se utiliza un modelo matemático que predice la intensidad de haz nulo hacia el detector de señales -19- y las intensidades en los seguidores de franja -16a-c- como una función de intensidades y fases de haces entrantes respectivos. Los valores de fase que son consistentes con las mediciones de al menos las intensidades del seguidor de franja se estiman de manera eficaz y se determinan las señales de control para llevar a cabo los desplazamientos de fase relativos de los haces entrantes que el modelo predice que llevarán a la anulación en la salida nula.

Dadas al menos las intensidades medidas desde los seguidores de franja, el circuito de control -18- determina de manera eficaz si, según el modelo matemático, la combinación medida de intensidades en los seguidores de franja -16a-c- (y opcionalmente la intensidad de haz) se corresponde con un valor nulo para la intensidad del haz nulo hacia el detector de señales -19-. En caso contrario, el circuito de control -18- determina cómo se deben cambiar las fases relativas para conseguir un valor nulo según el modelo matemático y cambia las fases hasta que el modelo matemático predice un valor nulo. Esto se puede realizar para una única banda de longitud de onda de interés o para una serie de bandas proporcionando una dependencia de la longitud de onda controlable con respecto a las fases relativas, por ejemplo controlando tanto las diferencias relativas entre las longitudes de las trayectorias ópticas de los haces entrantes como los desplazamientos de fase acromáticos de dichos haces entrantes. En este último caso, se utilizan preferentemente una serie de señales de salida de los seguidores de franja para las bandas de longitudes de onda respectivas y las combinaciones de la longitud de la trayectoria óptica y el desplazamiento acromático de la fase de los haces entrantes se controlan en consistencia con la anulación combinada en longitudes de onda en cada banda.

Se mostrarán realizaciones en las que se utilizan fórmulas matemáticas aproximadas, pero se debe entender que son posibles muchas soluciones para llevar a cabo el ajuste de fase consistente con el modelo, con o sin la representación explícita del modelo en el circuito de control. También se debe entender que, dado el enfoque inventivo básico, los expertos en la materia serán capaces de anotar por sí mismos las fórmulas matemáticas requeridas para la condición de anulación y las propiedades medidas para implementar el circuito de control -18-.

En una realización simple, en la que se supone que las intensidades de los haces entrantes son iguales, y en la que existen pequeñas desviaciones de la relación de fase nominal que llevaría a la anulación en la salida nula (diferencias de fase de ciento veinte grados en dicha salida nula y, por supuesto, una correspondiente pero diferente diferencia de fase en la entrada), las siguientes relaciones matemáticas mantienen aproximadamente las intensidades combinadas en los seguidores de franja:

$$I_1 = I ( 4 - \Delta\Phi_2 2 3^{1/2} )$$

$$I_2 = I ( 4 - \Delta\Phi_3 2 3^{1/2} )$$

$$I_3 = I ( 4 - \Delta\Phi_1 2 3^{1/2} )$$

En este caso,  $I_{1-3}$  son las intensidades en los respectivos seguidores de franja -16a-c-,  $I$  es la intensidad de los haces de entrada y  $\Delta\Phi_1 \Delta\Phi_2 \Delta\Phi_3$  son las desviaciones a partir de las diferencias de la fase nominal entre los haces. La intensidad en cada seguidor de franja -16a-c- depende de la desviación  $\Delta\Phi_1 \Delta\Phi_2$  o  $\Delta\Phi_3$  a partir del valor nominal de la diferencia de fase  $\Delta\Phi_1 \Delta\Phi_2 \Delta\Phi_3$  entre el primer haz y el retardado en el seguidor de fase -16a-c- en las relaciones de fase de la figura 3 (diferencias de fase CB, BA y AC respectivamente en las relaciones de fase -30a-c-). Estas desviaciones de fase están relacionadas mediante  $\Delta\Phi_1 \Delta\Phi_2 \Delta\Phi_3$ .

En esta realización simple, el circuito de control -18- controla las longitudes de trayectoria y/o el desplazamiento de fase acromático de los haces entrantes de manera que las desviaciones de fase que se derivan de las intensidades del seguidor de franja se hacen cero. Si las desviaciones de fase fueran constantes, esto, en principio, podría realizarse determinando las desviaciones requeridas una vez a partir de  $I_1, I_2$  e  $I_3$  para una o más bandas de longitud de onda y ajustando las longitudes de la trayectoria óptica y/o del desplazamiento de fase acromático en consecuencia. En la práctica,  $I_1, I_2$  e  $I_3$  se miden repetidamente y las longitudes de la trayectoria óptica y/o el desplazamiento de fase acromático se ajustan iterativamente de manera que las desviaciones de fase se hacen cero. El ajuste iterativo no requiere que las longitudes de la trayectoria óptica y/o el desplazamiento de fase acromático se determinen y adapten perfectamente en una etapa.

En la práctica, a menudo ocurre que existen diferencias relevantes entre las amplitudes de los haces entrantes. En una realización, éstas se eliminan regulando las intensidades de al menos dos de los haces antes de que se combinen. No obstante, se prefiere compensar estas diferencias ajustando las fases relativas de manera que la suma de los haces en la salida nula se hace cero. Se puede observar que esto requiere al menos tres haces: con dos haces, la anulación es posible únicamente si las amplitudes son iguales. Utilizar la fase para compensar las amplitudes es ventajoso debido a que obvia la necesidad de elementos de reducción de la amplitud adicionales.

En la realización en la que las diferencias de intensidad son compensadas, se proporciona la información sobre las intensidades de los haces entrantes al circuito de control -18- además de las intensidades del haz del seguidor de franja. Un modelo matemático conjunto para las intensidades de haz del seguidor de franja y la intensidad del haz nulo se utiliza posteriormente para seleccionar los valores de control de fase. En una realización simple esto se puede basar en las siguientes fórmulas matemáticas. Para conseguir la anulación, las desviaciones a partir de las diferencias de fase nominal en la salida nula (ciento veinte grados) deben satisfacer

$$\Delta\Phi_{11} = (\Delta I_B - 2 \Delta I_C) / ( I_A * 2 * 3^{1/2} )$$

$$\Delta\Phi_{31} = -(2\Delta I_B - \Delta I_C) / ( I_A * 2 * 3^{1/2} )$$

En este caso,  $I_A, I_B$  e  $I_C$  son las intensidades de los diferentes haces entrantes y  $\Delta I_B = I_B - I_A$  y  $\Delta I_C = I_C - I_A$  son las desviaciones entre las intensidades de los haces.  $\Delta\Phi_{11}$  se refiere a la diferencia de fase entre el haz de entrada con intensidad  $I_B$  y el haz de entrada con intensidad  $I_A$  y es la desviación de la diferencia de fase a partir de la diferencia de fase nominal que sería necesaria para conseguir la anulación en la salida nula si las intensidades del haz fueran iguales.  $\Delta\Phi_{31}$  se refiere de manera similar a la diferencia de fase entre el haz de entrada con intensidad  $I_A$  y el haz de entrada con intensidad  $I_C$ . Se debe observar que estas desviaciones se pueden calcular a partir de las mediciones de las intensidades de los haces entrantes  $I_A, I_B$  e  $I_C$ .

La expresión entre las desviaciones de fase y las intensidades de los haces del seguidor de franja es ahora

$$I_1 = I_A ( 4 - (\Delta\Phi_2 - \Delta\Phi_{21}) 2^{3/2} )$$

$$I_2 = I_B ( 4 - (\Delta\Phi_3 - \Delta\Phi_{31}) 2^{3/2} )$$

$$I_3 = I_C ( 4 - (\Delta\Phi_1 - \Delta\Phi_{11}) 2^{3/2} )$$

5 Las expresiones para las intensidades  $I_{1,3}$  en cada seguidor de franja -16a-c- es proporcional a la intensidad del haz con la fase media en la relación de fase en el seguidor de franja -16a-c- (ver figura 3). Estas expresiones son similares a las del caso en el que las intensidades de haz son iguales, excepto que las expresiones dependen de las diferentes intensidades de haz  $I_A$ ,  $I_B$  e  $I_C$ . Aunque puede aparecer como si, por el contrario, las expresiones no dependen de las diferencias de intensidad, se debe observar que una mayor dependencia de estas intensidades existe a través de  $\Delta\Phi_{11}$  etc.

10 Para controlar las longitudes de la trayectoria óptica y/o los desplazamientos de fase acromáticos se ajustan preferentemente según los valores de  $\Delta\Phi_1 - \Delta\Phi_{21}$ , etc. que se derivan de las intensidades del seguidor de franja, utilizando las intensidades del haz entrante  $I_A$ ,  $I_B$  e  $I_C$ . Preferentemente, esto se realiza iterativamente, utilizando al menos repetidas mediciones de  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  hasta que se han establecido las diferencias de fase requeridas para la anulación, es decir, de manera que  $\Delta\Phi_1 - \Delta\Phi_{21} = 0$ , etc.

15 Se debe apreciar que se pueden utilizar muchos mecanismos de regulación alternativos. En un ejemplo típico, el circuito de control -18- calcula los valores de error  $\Delta\Phi_3$  y  $\Delta\Phi_1$  según las expresiones para 11-3 y utiliza estos valores de error calculados para generar señales de realimentación respectivas. Estos valores de error se pueden integrar y se pueden suministrar señales proporcionales a los valores de error integrados como señales de control, con un signo de manera que se corrige el retardo a efectos de reducir el valor de error. De esta manera, se lleva a cabo un bucle de realimentación integrante. No obstante, se debe entender que se pueden utilizar otros tipos de bucles de control de realimentación, tal como bucles de realimentación proporcionales, bucles PI (proporcionales + integrales), etc.

20 Tal como se puede observar, el mecanismo de control descrito es susceptible a errores si tienen lugar desviaciones independientes en las trayectorias críticas entre el punto en el que los haces del seguidor de franja se separan y los puntos en los que se originan los haces nulos combinados o los haces del seguidor de franja. En la configuración de la figura 1, estas trayectorias críticas son las cuatro trayectorias internas -13a-d- entre las superficies de los separadores combinadores -14a-d-. La disposición de la figura 1 minimiza las longitudes de estas trayectorias críticas y las hace de igual longitud de manera que todas las desviaciones en las trayectorias críticas tienden a ser iguales, lo que reduce la sensibilidad a desviaciones.

25 Se debe observar que este proceso requiere la entrada de las diferencias de intensidad entre los haces entrantes. Preferentemente, el aparato contiene sensores para determinar estas intensidades, por ejemplo en la forma de separadores de haz en las trayectorias de los haces entrantes, con detectores en una trayectoria separada. Preferentemente, durante el ajuste iterativo de la fase se utilizan mediciones repetidas de  $I_A$ ,  $I_B$  e  $I_C$ , pero se debe observar que, alternativamente, se pueden utilizar las mismas mediciones  $I_A$ ,  $I_B$  e  $I_C$  en las determinaciones iterativas.

30 Aunque se han descrito fórmulas específicas, se debe observar que la invención no depende de estas fórmulas específicas. El principio básico es que el retardo óptico y/o el desplazamiento de fase acromático se ajusta hasta que las intensidades medidas del seguidor de franja son consistentes con los parámetros de un modelo que predice que la intensidad en la salida nula se ha anulado. Se puede utilizar cualquier modelo. El modelo puede ser implícito en el algoritmo de control, sin utilizar fórmulas explícitas, el modelo se puede expresar de manera diferente del ejemplo dado anteriormente. De manera similar, se puede utilizar cualquier estrategia de adaptación.

35 La invención se ha descrito para una disposición simétrica preferente, que lleva a fórmulas simples para las correcciones de fase. No obstante, se debe entender que la invención no está limitada a dicha disposición simétrica. Se pueden utilizar disposiciones menos simétricas, que pueden llevar a relaciones de fase que difieren de las de la figura 3. Es una cuestión sencilla (aunque laboriosa) derivar fórmulas que expresan las intensidades en los seguidores de franja -16a-c- como una función de los errores de fase para dichas disposiciones. Se pueden derivar expresiones similares para la trayectoria nula, que define la corrección de fase óptima. Con dichas fórmulas se pueden utilizar las mediciones del seguidor de franja para controlar las longitudes de la trayectoria óptica. Por tanto, sin desviarse de la invención se pueden utilizar diferentes combinaciones de fase en los seguidores de franja, por ejemplo, debido a que se añaden desplazadores de fase en las trayectorias internas -13a-c-.

Como otro ejemplo, se puede utilizar una disposición en la que se combina un gran número de haces. Como en el caso de los tres haces, esto implica la combinación de haces en una trayectoria nula a un detector de señales, en cuya trayectoria nula los haces interfieren destructivamente, y en las trayectorias de seguidores de franja en las que los haces interfieren al menos parcialmente de manera constructiva, de manera que la intensidad resultante del seguidor de franja es alguna función de los errores de fase entre los haces. A partir de las intensidades medidas del seguidor de franja y la relación conocida entre estas intensidades y las señales de control de los errores de fase se derivan en retardos ópticos en los diferentes haces.

En este ejemplo, se deben llevar a cabo un número proporcionalmente mayor de combinaciones para conseguir el haz nulo. Al menos parte de estas combinaciones tienen lugar en una disposición en serie de combinadores (en consecuencia, en la figura 1 la serie de combinaciones tiene lugar en los separadores/combinadores -14a,c-). Según la invención al menos algunas de las trayectorias del seguidor de franja se separan dentro de esta disposición en serie y, preferentemente, en los separadores-combinadores de esta disposición en serie (en consecuencia en la figura 1 ambos separadores/combinadores -14a,c- de la disposición en serie también se utilizan para separar las trayectorias de seguidores). Esto minimiza las longitudes de las trayectorias críticas.

Además, los separadores para separar trayectorias de haces entre las trayectorias de seguidor de franja y trayectorias nulas, y los combinadores para combinar las trayectorias de seguidor de franja y/o los separadores combinadores para estos propósitos que se encuentran fuera de dicha serie de combinadores para la trayectoria nula (separadores/combinadores -14b,d- en la figura 1) se ubican preferentemente de manera que las trayectorias de haces que no discurren toda la longitud de la serie de combinadores tienen combinadores que se corresponden con aquellos en la serie a distancias que corresponden entre los separadores/combinadores en la serie. Lo mismo se aplica preferentemente a los combinadores en la parte de las trayectorias de seguidor de franja que se encuentran fuera de la serie. De esta manera, se minimizan las trayectorias críticas y preferentemente se igualan ópticamente, con el efecto de que las desviaciones en las trayectorias críticas tiene un mínimo efecto perjudicial sobre la capacidad de control de los errores de fase.

Se debe observar que la realización de la figura 1 tiene la propiedad ventajosa de que cada vez todos los haces se combinan en haces de seguidores de franja para controlar los errores de fase. Esto asegura una sensibilidad máxima. Además, se debe observar que estos haces se combinan cada vez con las mismas diferencias de fase sucesivas de sesenta grados, pero en diferentes sucesiones de fase. Esto optimiza aún más la sensibilidad. No obstante, se debe entender que para el propósito de controlar la anulación, se pueden utilizar otras combinaciones u otras diferencias de fase sucesivas.

Se debe observar que en las realizaciones, las trayectorias -10a-c- de los diferentes haces al detector de señales -19- no son completamente intercambiables entre sí. La primera y segunda trayectorias -10a,b- pasan cada una a través de un separador de haces en la transmisión y uno en la reflexión. La tercera trayectoria -10c-, por otra parte, pasa a través de dos separadores de haz en la reflexión. Esto puede elevar la intensidad y las diferencias de polarización pueden ser difíciles de corregir.

En otra realización esto se soluciona añadiendo más separadores de haces en las trayectorias de los haces. Se añaden un primer y segundo separadores de haces adicionales en la reflexión en la trayectoria -10a,b- de los primer y segundo haces y se añade un tercer separador de haces en la transmisión en la trayectoria -10c- del tercer haz. De esta manera, la trayectoria de cada uno de los haces al detector de señales -19- discurre a través de dos separadores de haz en la reflexión y un separador de haces en la transmisión. Esto elimina los problemas debidos a la asimetría.

No obstante, se debe observar que se pierde parte de la intensidad del haz. En otra realización esta intensidad se utiliza añadiendo otra disposición de combinadores.

La figura 4 muestra una disposición doble de combinadores. Se utilizan dos disposiciones -20a,b- similares a las de la figura 1 (por el bien de la claridad no se muestra el circuito de control -18-). Se han añadido separadores de haces -40a-c- adicionales a la cabeza de las trayectorias de haces -10a-c-. Se disponen separadores de haces -40a,b- adicionales para el primer y segundo haces en la reflexión en las trayectorias -10a,b- del primer y segundo haces, para suministrar parte del primer y del segundo haces a la primera disposición -20a-. Se dispone un separador de haz -40c- adicional para el tercer haz en la transmisión de la trayectoria -10c- del tercer haz, para suministrar parte del tercer haz a la primera disposición -20a-. De esta manera, para cada uno de los haces, las trayectorias al detector de señales -19- de la primera disposición -20a- contienen dos separadores de haz en la reflexión y uno en la transmisión. Esto elimina los problemas debidos a la asimetría.

Las partes de los haces que no pasan a la primera disposición -20a- se pasan a una segunda disposición -20b- similar. No obstante, se debe observar que el detector de señales -19- de la segunda disposición se ubica de manera diferente en comparación con la primera disposición. Como resultado, para cada uno de los haces, las trayectorias al detector de señales -19- de la primera disposición -20a- contienen un separador de haces en la reflexión y dos en la transmisión. Esto elimina los problemas debidos a la asimetría.



Para obtener un mapa de transmisión complementario en un detector de señales -19- ubicado de manera diferente, el desplazador de fase acromático -11a-c- de las dos disposiciones -20a,b- actúa de manera diferente. En la primera disposición -20a-, los primer y segundo haces se desplazan con relación al tercer haz más de ciento veinte grados hacia adelante y hacia atrás respectivamente. Por el contrario, en la segunda disposición -20a-, el primer y segundo haces se desplazan más de ciento veinte grados hacia atrás y hacia adelante respectivamente. Para propósitos de simetría, se incluyen desplazadores de fase ficticios -11c- en la trayectoria -10c- del tercer haz. De manera similar, las líneas de retardo óptico -12c- se añaden en esta trayectoria -10c-. Preferentemente, las líneas de retardo óptico -12a,b- en las trayectorias del primer y segundo haces de la primera disposición -20a- se controlan dependiendo de las señales de salida de los seguidores de franja -16a-c- en dicha primera disposición -20a- para llevar a cabo la anulación. Preferentemente, las líneas de retardo óptico -12a,b- en las trayectorias del primer y segundo haces de la segunda disposición -20b- se controlan dependiendo de las señales de salida de los seguidores de franja -16a-c- en dicha segunda disposición -20b- para llevar a cabo la anulación. No obstante, sin desviarse de la invención, se pueden controlar otras combinaciones de líneas de retardo óptico -12a-c- en las tres trayectorias.

Se debe observar que, preferentemente, los desplazadores de fase acromáticos de las dos disposiciones se seleccionan de manera que los diferentes haces se combinan en relaciones de fase mutuamente diferentes en el haz nulo (por ejemplo, con el primer y segundo haces 120 grados hacia delante y hacia atrás del tercer haz en una disposición y 120 grados hacia atrás y hacia adelante del tercer haz en la otra disposición). De esta manera, se pueden llevar a cabo diferentes sensibilidades para la luz recibida desde diferentes direcciones espaciales. En este caso, las respectivas señales de detección de las disposiciones se pueden restar (por ejemplo, en un ordenador de procesamiento de señales no mostrado) para eliminar las señales de fondo.

La figura 4 también muestra los sensores de intensidad de haz -44a-c- para detectar las intensidades de los diferentes haces antes de que los haces se pasen al primer separador/combinador de haces -14a-c- para formar el haz nulo y los haces de seguidor de franja. Los sensores -44a-c- tienen salidas acopladas al circuito de control (no mostrado). Los circuitos de control se disponen para utilizar las señales de salida provenientes de los sensores para controlar la anulación de manera que las diferencias de intensidad entre los haces se compensan en la trayectoria nula mediante las diferencias de fase, tal como se ha descrito anteriormente.

Espejos parcialmente transmisores acoplan parte de la intensidad de los haces a los sensores de intensidad de los haces -44a-c-. Preferentemente, los espejos parcialmente transmisores están ubicados entre los desplazadores de fase acromáticos -11a-c- y las líneas de retardo óptico controlable -12a-c-, por una parte, y los separadores/combinadores -14a-c-, por otra parte. Los sensores de intensidad del haz -44a-c- están acoplados al circuito de control (no mostrado) para su utilización en la determinación de la longitud de la trayectoria óptica y/o las señales de control de desplazamiento de fase. Cuando se detecta la intensidad del haz tras los desplazadores de fase acromáticos -11a-c- y las líneas de retardo óptico controlable -12a-c-, se corrige la diferencia en la transmisión entre estos desplazadores de fase acromáticos -11a-c- y las líneas de retardo óptico controlable -12a-c-.

La figura 5 muestra de manera esquemática una realización de un circuito de control para controlar la anulación. En esta realización, se proporcionan seguidores de franja -17a-c- con una serie de salidas para generar las señales de detección para bandas de diferentes longitudes de onda (por ejemplo, para bandas de dos longitudes de onda, una señal "en banda" para una banda de longitud de onda de interés para el detector de señales y una "fuera de banda" para una banda de longitud de onda diferente en la que los haces contienen densidad de energía significativa). De manera similar, se proporcionan sensores -44a-c- con una serie de salidas para generar señales de detección para bandas de longitudes de onda diferentes. En la realización, se proporciona una serie de circuitos de realimentación -50a,b-, cada uno para generar señales de realimentación para las líneas de retardo óptico -12a,b- desde las señales de salida del seguidor de franja en una banda de longitud de onda respectiva. Los circuitos sumadores -52- suman las señales de realimentación para cada línea de retardo óptico -12a,b- y suministran las señales sumadas a las líneas de retardo óptico.

Se utiliza un circuito de realimentación rápido para un circuito de realimentación que utiliza señales de seguidor de franja para longitudes de onda fuera de banda y un circuito de realimentación más lento se utiliza para el circuito de realimentación que utiliza señales de seguidor de franja en banda. De esta manera, es posible el seguimiento rápido y estable con un ajuste fino a partir de las señales en banda. No obstante, se debe apreciar que la invención no está limitada a esta forma de control. De manera alternativa, se pueden utilizar señales únicas de salida de seguidor de franja.

El circuito de control -18- se puede implementar como un ordenador programado adecuadamente, con entradas para recibir muestras de señales de salida del seguidor de franja y salidas para suministrar valores de señal de control a las líneas de retardo óptico -12a,b- y/o uno o más desplazadores de fase acromático. En relaciones alternativas, se pueden utilizar circuitos electrónicos dedicados para generar señales de control en tiempo continuo para procesar electrónicamente las señales de entrada de los seguidores de franja -16a-c-.

En la realización de la figura 1, los separadores de haces -14a-d- se muestran de manera esquemática. En la práctica, cada separador de haces -14a-d- se puede llevar a cabo utilizando, por ejemplo, un cubo separador de haces. De manera alternativa, cada separador de haces -14a-d- se puede llevar a cabo utilizando una placa

separadora de haces.

Se debe observar que la invención no está limitada a la disposición de separadores/combinadores de haces mostrados en la figura 1. Efectos similares se pueden llevar a cabo con disposiciones alternativas.

5 La figura 6 muestra otra realización en la que los cuatro separadores de haces se llevan a cabo como una unidad, comprendiendo un material transparente -60- (por ejemplo, cuarzo o ZnSe para aplicaciones de infrarrojos) con la intervención de capas semireflectantes -62a,b- (llevadas a cabo, por ejemplo, mediante revestimientos) y capas exteriores reflectantes -64a,b-. En esta realización, la función del primer y tercer separadores de haces -14a-,c- de la figura 1 se lleva a cabo mediante una primera capa semireflectante -62a- y la función del segundo y cuarto separadores de haces -14b,d- de la figura 1 se lleva a cabo mediante una segunda capa semireflectante -62b-.

15 Al igual que en la realización de la figura 1, cada haz -A-C- se pasa a las cuatro salidas del detector de señales -19- y los seguidores de franja -16a-c- respectivamente. A diferencia de la figura 1, parte de las trayectorias críticas se doblan internamente mediante capas reflectantes exteriores -64a,b-, de manera que cada capa semireflectante -62a,b- se utiliza dos veces para separar y combinar haces. Esto minimiza el número de capas separadoras/combinadores diferentes, lo que reduce el riesgo de desviaciones que afecten el control de las longitudes de trayectoria óptica.

20 Cada haz se pasa una vez por medio de dos reflexiones en capas semireflectantes -62a,b- dos veces por medio de una combinación de reflexión y transmisión y una vez por medio de dos transmisiones. Las trayectorias críticas para las desviaciones en el bucle de control (es decir, las trayectorias entre los puntos en los que los haces de seguidor de franja se separan y los puntos en los que surgen los haces finales combinados) se encuentran enteramente dentro de la unidad y todas tienen la misma longitud. Estas trayectorias críticas tienen longitudes mínimas debido a que la primera y la última combinación de haces y la separación tienen lugar en los mismos puntos en las capas semireflectantes -62a,b-.

30 La figura 7 muestra una vista superior de una realización con la que se pueden combinar hasta ocho haces en un haz nulo y una serie de haces de seguidor de franja. Esta realización contiene una disposición cuadrada con entradas y salidas de haces a lo largo de los lados del cuadrado. La disposición comprende separadores/combinadores en un número de planos separadores/combinadores -70-, -72a-c-, -76- (planos mostrados como líneas en la vista superior) y espejos en los planos de espejo -74a,b-. Un primer plano separador/combinador -70- se dispone a lo largo de una primera diagonal del cuadrado. Los segundos planos separadores/combinadores -72a-c- se disponen perpendicularmente al primero plano separador/combinador -70- en una serie de posiciones equidistantes. La anchura sobre la que se disponen los separadores/combinadores en los segundos planos separadores combinadores -72a-c- es tal que se afecta dos trayectorias de haces desde los lados del cuadrado.

40 Los planos de espejo -74a,b- se disponen en paralelo con los segundos planos separadores/combinadores -72a-c- en ambos lados de la serie a la misma distancia que las distancias entre los segundos planos separadores/combinadores -72a,b-. Las anchuras sobre las que se proporcionan los espejos son tales que dos trayectorias de haces se reflejan desde los lados del cuadrado. Separadores/combinadores adicionales se ubican en planos separadores combinadores -76a,b- adicionales en las esquinas del cuadrado y cruzan un haz. Aunque se muestran planos continuos, se debe entender que los separadores/combinadores necesitan estar presentes únicamente en los cruces de las trayectorias de los haces pero, de manera alternativa, se pueden utilizar los separadores/combinadores que se extienden sobre múltiples trayectorias de haces. En el funcionamiento, los haces que contienen partes separadas de todos los haces se combinan en diferentes combinaciones de fase para formar respectivos haces de salida en cada salida. Las trayectorias de los haces se muestran mediante líneas discontinuas con flechas indicando las direcciones de los haces.

50

## REIVINDICACIONES

1. Aparato para combinar ópticamente haces de luz, proporcionando el aparato al menos tres trayectorias de haces (10a-c) y medios para combinar las trayectorias de haces, **caracterizado porque** las al menos tres trayectorias de haces (10a-c) se combinan parcialmente en una trayectoria nula y se combinan parcialmente en trayectorias de seguidor de franja para controlar la anulación en la trayectoria nula, comprendiendo el aparato
- desplazadores de fase controlable (12a,b) en respectivas trayectorias de haces (10a-c);
  - dichos medios para combinar comprendiendo una serie de combinadores de haces (14a-d) ubicados en las trayectorias de los haces (10a-c) tras los desplazadores de fase controlable (12a,b), dispuestos para combinar de manera sucesiva más trayectorias de haces (10a-c) en la trayectoria nula;
  - separadores de haces (14a-d) para separar las trayectorias de los haces (10a-c) en la trayectoria nula y las trayectorias de seguidor de franja, al menos un primer separador de haces (14a-d) estando ubicado entre un principio y un final de dicha serie o siendo combinado con uno de los combinadores de haces (14a-d) en un separador-combinador (14a-d);
  - sensores de seguidor de franja (16a-c) ubicados en las trayectorias de seguidor de franja, cada uno con una salida para generar una señal de seguidor de franja;
  - un circuito de control (18) con entradas acopladas a las salidas del seguidor de franja (16a-c) y salidas acopladas a los desplazadores de fase controlable (12a,b), y dispuestos para generar señales de control para los desplazadores de fase controlable (12a,b) a partir de las señales de seguidor de franja para controlar la anulación.
2. Aparato, según la reivindicación 1, en el que un segundo separador de haces (14b) es parte de un separador-combinador que está ubicado en una trayectoria de seguidor de franja desde el primer separador de haces (14a,d) y está dispuesto para separar dicha trayectoria de seguidor de franjas en dos subtrayectorias, el segundo de los separadores de haces (14b) combina un haz de seguidor de franja combinado desde el primer separador de haces (14a,c) en relaciones mutuamente diferentes con un haz de seguidor de franja adicional en las subtrayectorias.
3. Aparato, según la reivindicación 2, en el que un tercer separador de haces (14a,d) está ubicado para proporcionar trayectorias de haces separados al segundo separador de haces (14b) y a otro de los combinadores de haces adicional (14c) en dicha serie.
4. Aparato, según la reivindicación 3, en el que el primer, segundo y tercer separadores de haces (14a-d), y el más alejado de los combinadores de haces (14c) se disponen de manera que una primera diferencia de longitud de trayectoria óptica, entre una primera trayectoria interna (13a) desde el primer separador de haces al más alejado de los combinadores de haces (14c) y una segunda trayectoria interna (13d) desde el tercer separador de haces al combinador de haces más alejado (14c), iguala sustancialmente una segunda diferencia de longitud de trayectoria óptica entre una tercera trayectoria interna (13b) desde el primer separador de haces (14a) al segundo separador de haces (14b) y desde una tercera trayectoria interna (13c) desde el tercer separador de haces (14d) al segundo separador de haces (14b).
5. Aparato, según la reivindicación 3, en el que la primera y segunda diferencias de longitud de la trayectoria óptica son ambas sustancialmente cero.
6. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada trayectoria tiene un mismo primer número de separadores de haces (14a-d) y un mismo segundo número de combinadores (14a-d) desde una entrada de la trayectoria del haz a una salida de la trayectoria nula.
7. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los desplazadores de fase (12a,b) comprenden elementos de retardo óptico para proporcionar una longitud de trayectoria óptica controlable en las trayectorias de haces (10a-c) respectivas, estando dispuesto el circuito de control para controlar la longitud de la trayectoria óptica.
8. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los desplazadores de fase comprenden desplazadores de fase acromáticos controlables (11a-c) para proporcionar un desplazamiento de fase acromático controlable en las trayectorias de haces respectivas (10a-c), estando dispuesto el circuito de control (18) para controlar los desplazamientos de fase acromáticos.
9. Aparato, según la reivindicación 8, en el que los desplazadores de fase comprenden elementos de retardo óptico (12a,b) para proporcionar una longitud de trayectoria óptica controlable en las trayectorias de haces respectivas (10a-c), estando dispuestos los sensores de seguidor de franja (16a-c) para detectar las intensidades respectivas

para una serie de bandas de longitudes de onda, estando dispuesto el circuito de control para controlar el desplazamiento de fase acromático y las longitudes de trayectoria óptica que afectan la anulación para al menos dos bandas de longitud de onda a la vez.

5 10. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende detectores de intensidad (44a-d) acoplados al menos a tres trayectorias de haces (10a-c) antes de los combinadores (14a-d) en serie y tras los desplazadores de fase (12a,b), con las salidas de los detectores acopladas al circuito de control (18), estando dispuesto el circuito de control (18) para controlar los desplazamientos de fase que dependen de las señales de dichas salidas del detector.

10 11. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una disposición adicional de desplazadores adicionales de fase controlable (12a,b), una serie adicional de combinadores de haces (14a-d), separadores adicionales de haces (14a-d) y sensores adicionales de seguidor de franja (16a-c), dispuestos para generar un haz nulo adicional bajo el control de señales de sensores adicionales de seguidor de franja (16a-c),  
 15 comprendiendo el aparato, además, separadores adicionales de haces (40a-c) para separar los haces entre la primera y la segunda disposición, pasando una primera trayectoria de haces (10a-c) por un primer separador adicional de haces (40a-c) en la reflexión y en la transmisión hasta uno de los combinadores iniciales de haces en dicha serie y demás series respectivamente, en el que la primera trayectoria de haces (10a-c) pasa en la transmisión y en la reflexión respectivamente, una segunda de las trayectorias de haces (10a-c) pasando a través de un  
 20 segundo separador adicional de haces (40a-c) en la transmisión y en la reflexión hasta uno de los combinadores de haces inicial en dicha serie y en demás series, respectivamente, en el que la segunda de las trayectorias de haces (10a-c) pasa en la reflexión y en la transmisión respectivamente.

25 12. Aparato, según la reivindicación 11, que comprende detectores de intensidad (44a-d) acoplados al menos a tres trayectorias de haces (10a-c) antes de los combinadores en serie y tras los desplazadores de fase, con las salidas de los detectores acopladas al circuito de control (18), estando dispuesto el circuito de control (18) para controlar los desplazamientos de fase dependiendo de las señales de dichas salidas de los detectores (44a-d).

30 13. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los sensores de seguidor de franja (16a-c) tienen salidas para las señales de seguimiento de franjas para una primera y segunda bandas de longitudes de onda, estando dispuesto el circuito de control (18) para controlar las longitudes de las trayectorias ópticas en una escala de tiempo relativamente más rápida utilizando las señales de seguimiento de franja para la primera banda de longitud de onda y en una escala de tiempo relativamente más lenta utilizando las señales de seguimiento de franja para la segunda banda de longitud de onda.

35 14. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende al menos tres disposiciones ópticas (20a-c), en posiciones espaciales mutuamente diferentes, estando dispuesta cada una de las disposiciones ópticas para dirigir la luz recibida desde un mismo rango de direcciones espaciales en su respectiva posición espacial a una de las trayectorias de los haces (10a-c) respectivas.

40 15. Método de combinación de al menos tres haces de luz entrantes (10a-c), **caracterizado porque** los haces de luz (10a-c) son combinados parcialmente en un haz nulo y parcialmente en haces de seguimiento de franja, comprendiendo el método

- 45 - la combinación sucesiva de más haces de luz en el haz nulo en una serie de combinadores de haces (14a-d);
- la separación de parte de la luz de los haces de luz entrantes en los haces de seguimiento de franja, teniendo lugar dicha separación al menos parcialmente entre un inicio y un final de dicha serie o en dicho inicio;
- 50 - la detección de la información de la intensidad utilizando sensores de seguidores de franja (16a-c) situados en las trayectorias de seguidores de franja;
- el control de las líneas de retardo óptico controlable y/o los elementos de desplazamiento de fase en una parte de una trayectoria de los haces de luz entrantes que precede la combinación en dicha serie, dependiendo de  
 55 dicha información para controlar la anulación del haz nulo.



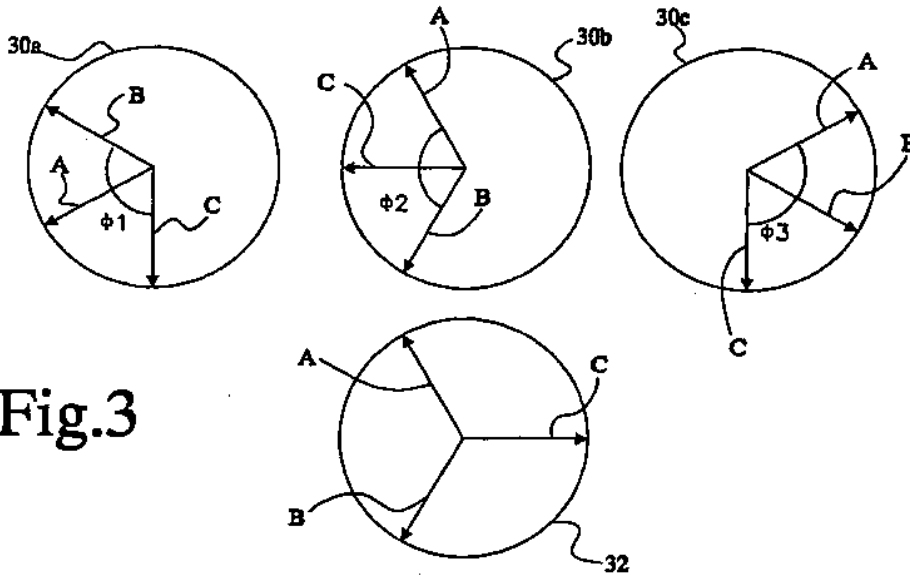


Fig.3

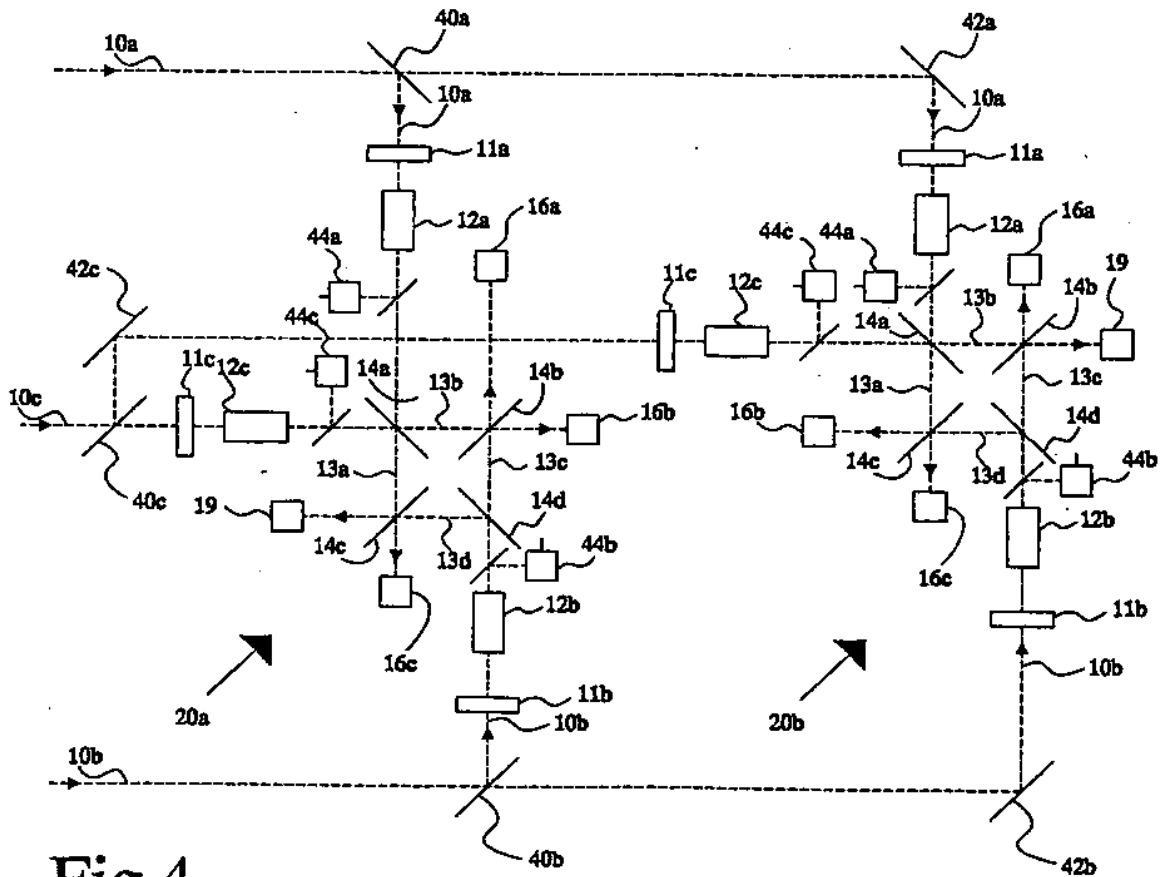


Fig.4

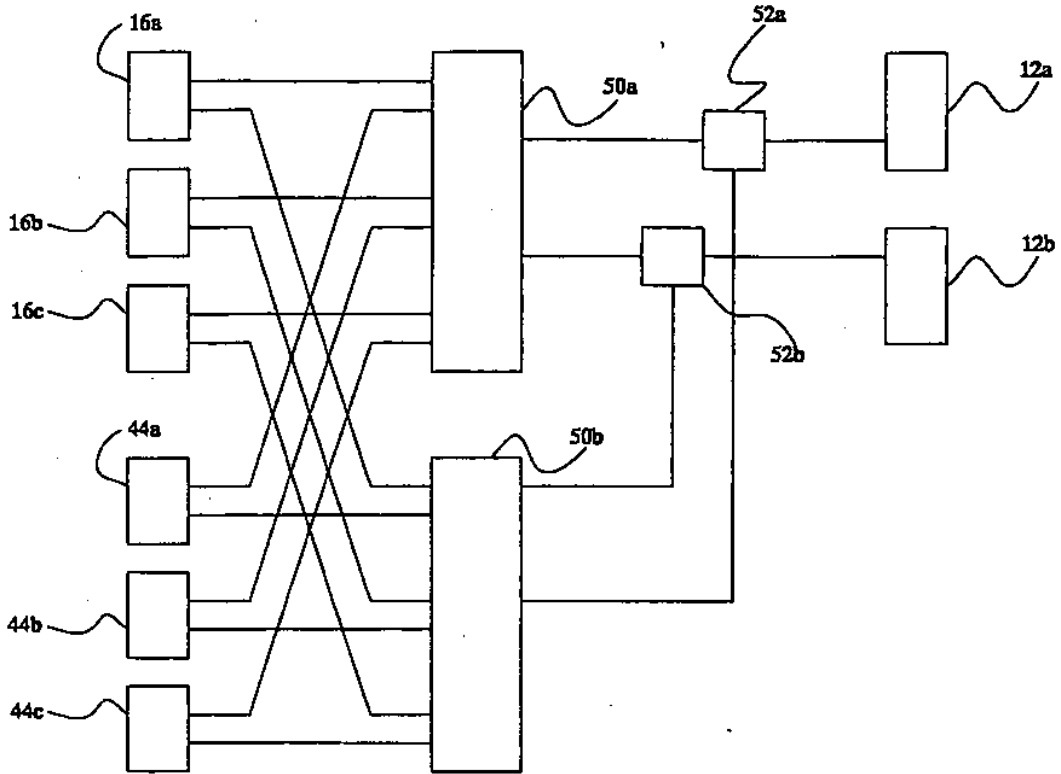


Fig.5

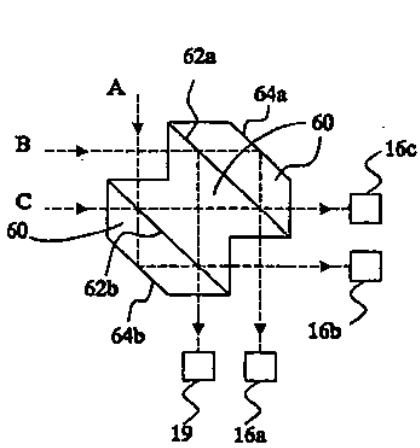


Fig.6

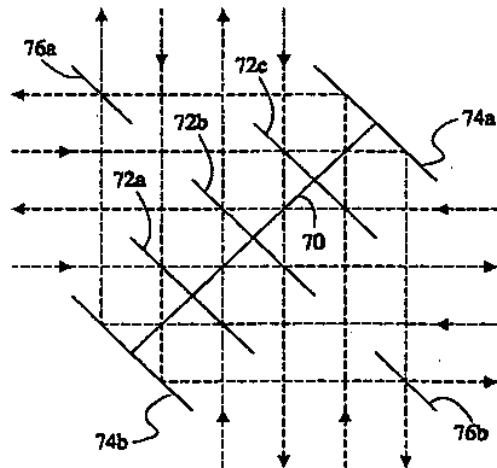


Fig.7