

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 026 766**

51 Int. Cl.:

G01R 31/28 (2006.01)

G01R 31/311 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.06.2020 PCT/DE2020/100521**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.04.2021 WO21078318**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.06.2020 E 20740227 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2025 EP 4049048**

54 Título: **Procedimiento de prueba a nivel de oblea para chips optoelectrónicos**

30 Prioridad:

25.10.2019 DE 102019007516

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

12.06.2025

73 Titular/es:

**JENOPTIK OPTICAL SYSTEMS GMBH (100.00%)
Göschwitzer Strasse 25
07745 Jena, DE**

72 Inventor/es:

**GNAUSCH, TOBIAS;
GRUNDMANN, ARMIN;
KADEN, THOMAS;
JANUNTS, NORIK;
BÜTTNER, ROBERT y
KARRAS, CHRISTIAN**

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 3 026 766 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

Procedimiento de prueba a nivel de oblea para chips optoelectrónicos

5 La invención se refiere a un procedimiento con el que puede someterse a prueba al mismo tiempo la funcionalidad de componentes o circuitos eléctricos y ópticos de un chip a nivel de oblea en un probador de obleas. Un procedimiento de este tipo se conoce según su género del documento US 2011/0279812 A1.

10 La invención se sitúa en el campo de la comprobación y cualificación de chips con circuitos integrados de manera c, los denominados PIC (Circuitos Integrados Fotónicos), a nivel de oblea. A diferencia de los circuitos integrados convencionales, puramente eléctricos, denominados IC (circuitos integrados), los PIC también integran funcionalidades ópticas además de los circuitos eléctricos.

15 En la fabricación de IC, por ejemplo, por medio de tecnología CMOS, tienen lugar pruebas y mediciones en distintas etapas de producción, para, por un lado, monitorizar el proceso y, por otro, realizar un control de calidad. A este respecto, una prueba establecida es la prueba eléctrica a nivel de oblea después de la fabricación de la oblea. En este caso, se determinan los chips funcionales y no funcionales, se registran en un mapa de obleas y, con ello, se determina el rendimiento. Los chips funcionales también se denominan Known Good Dies (KGD). Cuando la oblea se separa en chips individuales, se separan los chips no funcionales. El aparato de prueba necesario para la prueba de nivel de obleas está disponible en forma de probadores de obleas y comprobadores de obleas con módulos de contacto asociados (también conocidos como tarjetas de prueba). Por medio del módulo de contacto se conectan las interfaces del lado del aparato del comprobador de obleas con las interfaces individuales de los chips de la oblea fijada sobre el probador de obleas. En principio, el módulo de contacto puede diseñarse de modo que entre en contacto con un solo chip o con varios chips al mismo tiempo. Tampoco es absolutamente necesario que los chips estén todavía en el material compuesto de oblea para el contacto. Para hacer contacto simultáneamente con varios chips de una oblea o también con un chip tras otro, han de presentar los chips únicamente una posición fija y definida uno con respecto a otro.

25 Los aparatos de prueba para someter a prueba chips puramente electrónicos (chip semiconductor con IC) se han optimizado y diversificado durante décadas, con el fin de poder calificar grandes volúmenes de IC muy diversos con un alto rendimiento para la optimización de costes.

30 Por regla general, la fabricación de los PIC se realiza con los mismos procesos semiconductores establecidos, por ejemplo, la tecnología CMOS. Los volúmenes de fabricación de los PIC muy bajos hasta ahora en comparación con la fabricación de IC conducen a que, por regla general, en una fábrica de semiconductores se realicen solo pruebas para la caracterización del proceso, sin embargo, ninguna prueba funcional de los PIC. La caracterización funcional es responsabilidad del cliente final y a menudo se lleva a cabo en chips aserrados. Los aparatos de prueba utilizados emplean módulos de contacto eléctricos y ópticos independientes uno de otro, separados y no están optimizados con respecto al rendimiento.

35 La comprobación de los PIC a nivel de oblea requiere el acoplamiento y desacoplamiento de la luz dentro y fuera del plano de los PIC, por regla general, por medio de acopladores de rejilla integrados como puntos de acoplamiento, tal como se describe en la literatura técnica "Grating Couplers for Coupling between Optical Fibers and Nanophotonic Waveguides" (D. Taillaert y col., Japanese Journal of Applied Physics, vol. 45, n.º 8A, 2006, pág. 6071-6077). Los acopladores de rejilla (Grating Couplers) pueden ser un componente funcional en el chip o estructuras de sacrificio en la oblea, por ejemplo, en la zanja de trazado o en chips adyacentes.

40 De manera correspondiente al estado de la técnica, se utilizan sistemas basados en fibra óptica para la prueba a nivel de oblea, tal y como se describe en la literatura técnica: "Test-station for flexible semiautomatic wafer-level silicon photonics testing" (J. De Coster y col., 21th IEEE European Test Symposium, ETS 2016, Amsterdam, Países Bajos, 23-27 de mayo, 2016. IEEE 2016, ISBN 978-1-4673-9659-2). Estos incluyen un módulo óptico basado en fibra óptica que acopla y desacopla la luz dentro y fuera de los puntos de acoplamiento del chip a través de fibras ópticas individuales. Para garantizar un acoplamiento óptico repetible, las fibras ópticas han de ajustarse con precisión submicrométrica con los puntos de acoplamiento a una distancia de hasta unos pocos micrómetros. Esto solo es posible con la ayuda de elementos de ajuste de alta precisión, por ejemplo, en combinación con hexápodos y elementos piezoeléctricos. Por otro lado, antes de cada acoplamiento óptico individual, ha de realizarse un proceso de alineación activo, que requiere mucho tiempo y está diseñado para lograr la máxima eficacia de acoplamiento.

45 Con ello, los actuales sistemas de pruebas a nivel de oblea se caracterizan por

- contacto secuencial y que requiere mucho tiempo de todos los puntos de acoplamiento óptico de un chip uno tras otro, es decir, el contacto paralelo de todos los puntos de acoplamiento óptico de un chip no es posible o solo es posible en una medida muy limitada, el contacto paralelo de varios chips no es posible en absoluto.
- soluciones especiales del lado del aparato, de modo que los probadores de obleas convencionales solo puedan adaptarse mediante modificaciones complejas y costosas y, a continuación, ya no puedan utilizarse para la prueba a nivel de oblea de IC o solo de forma limitada o tras una costosa reconversión.

- módulos electrónicos y ópticos separados, no unidos entre sí de forma fija, es decir, ambos han de fijarse y ajustarse por separado.

Del documento US 2006/0109015 A1 mencionado anteriormente se conoce un módulo de contacto optoelectrónico (módulo de prueba) para probar chips (objeto por examinar, DUT 140) con entradas y salidas eléctricas y ópticas. El módulo de contacto representa una interfaz entre un aparato de prueba (ATE) y el objeto por probar (*device under test*, de manera abreviada DUT) y está diseñado con contactos eléctricos (*electrical probes*), contactos ópticos (*optical probes*), elementos ópticos y combinaciones de los mismos, con el fin de conducir señales desde el DUT y hacia el DUT, y redistribuir estas señales para una interfaz con el aparato de prueba.

Con respecto a las entradas y salidas ópticas, se divulga que estas se crean mediante elementos ópticos que se encuentran en la placa de contacto y/o en la placa de redistribución y se sintonizan con diversos mecanismos de acoplamiento, por ejemplo, radiación libre, radiación cuasi-libre o guía ondas. Como elementos ópticos adecuados para ello, se especifican elementos difractivos y elementos refractivos. También se indica que pueden disponerse un fotodetector o una fuente de luz directamente en la interfaz con el DUT, que representan entonces la entrada o salida óptica en la placa de contacto.

Además, el documento US 2006/0109015 A1 mencionado anteriormente enseña que para los diseños de acoplamiento óptico mediante conexiones de haz libre o haz casi libre, en los que la señal óptica pasa a través de un espacio libre entre el elemento óptico y la interfaz con el DUT, la señal óptica se enfoca o colima, para conseguir una alta eficacia de acoplamiento de la señal transmitida. En consecuencia, el acoplamiento de la señal está sujeto, en este caso, al concepto de acoplar la señal lo más completamente posible.

Según un ejemplo de realización del documento US 2006/0109015 A1 mencionado anteriormente, las líneas de señales ópticas y las líneas de señales eléctricas (red de distribución óptica y eléctrica) se implementan en placas de redistribución separadas. Se propone conducir las señales eléctricas del DUT a las zonas de borde de la placa de contacto, de modo que las señales eléctricas se acoplen por encima de la zona de borde en la primera placa de redistribución dispuesta por encima de la placa de contacto. Por ello, se puede formar una abertura en la primera placa de redistribución, en la que solo se redistribuyen las señales eléctricas, a través de la cual las señales ópticas se introducen en una segunda placa de redistribución separada dispuesta por encima de esta.

En resumen, en el documento US 2006/0109015 A1 mencionado anteriormente se muestra una pluralidad de ideas sobre cómo un módulo de contacto, que se divide en una placa de contacto y una placa de redistribución debido, por ejemplo, al desgaste de los contactos mecánicos para la transmisión de señales eléctricas, podría equiparse adicionalmente con líneas de señales ópticas. A este respecto, se ignora por completo el hecho de que las tolerancias posibles para el contacto mecánico de las entradas y salidas eléctricas del módulo de contacto con el DUT no pueden transferirse a las entradas y salidas ópticas.

Mientras que la transmisión de una señal eléctrica constante solo requiere un contacto mecánico de las agujas presentes en el módulo de contacto con las placas de contacto (almohadillas de contacto) presentes en el DUT, que puede garantizarse dentro de una tolerancia de posición comparativamente grande de algunos μm en las tres direcciones espaciales, la calidad de la transmisión de la señal óptica ya se ve afectada por una desviación mucho menor de una posición objetivo que se encuentra en el intervalo de sub- μm .

Si, como se describe en el documento US 2006/0109015 A1 mencionado anteriormente, la eficacia de acoplamiento de la señal óptica se optimiza colimando o enfocando el haz óptico, todo el módulo de contacto ha de ajustarse con gran precisión en el intervalo de sub- μm . De lo contrario, la repetibilidad de la medición dependiente del ajuste no es suficiente para las aplicaciones descritas. Esto, a su vez, tiene como consecuencia que el módulo de contacto no puede utilizar las tolerancias de ajuste típicas para el contacto eléctrico en el intervalo de unos pocos micrómetros en las direcciones X, Y y Z en los probadores de obleas eléctricos convencionales. Se requieren soluciones especiales para probadores de obleas complejas y costosas, entre otras cosas con diversos elementos de ajuste, como por ejemplo, elementos piezoeléctricos y ejes lineales o hexápodos, para ajustar el módulo de contacto con alta precisión al DUT.

Otro punto crítico es que, para un ajuste eléctrico limpio de las agujas, se ajusta una denominada sobremarcha de normalmente varios $10 \mu\text{m}$ en dirección Z, es decir, tras el contacto inicial de las agujas con las almohadillas de contacto eléctrico, el módulo de contacto se desplaza una cantidad adicional en dirección Z para garantizar un contacto eléctrico fiable. Por regla general, el desgaste y la deformación de las agujas se compensan ajustando la sobremarcha durante el funcionamiento. En el caso de una simple colimación o focalización del haz óptico, como se describe en el documento US 2006/0109015 A1 mencionado anteriormente, la distancia de trabajo en dirección Z solo puede fluctuar sin embargo en el intervalo de los micrómetros para un acoplamiento repetible. Con ello, este tipo de acoplamiento óptico no es compatible con los procedimientos de contacto eléctrico establecidos.

El documento 2011/0279812 A1 divulga un módulo de contacto para probar chips con entradas y salidas eléctricas y ópticas. El chip está alojado en un soporte móvil con el que puede alinear este de forma aproximada hacia el módulo de contacto. La alineación aproximada se realiza mediante sensores que controlan la posición del chip o las marcas de ajuste del chip. La alineación precisa del chip se realiza en dos etapas de procedimiento. En la primera etapa de procedimiento, se comprueba si las entradas y salidas eléctricas están en contacto con el módulo

de contacto. Para ello, el chip se aspira con el módulo de contacto, de modo que las entradas y salidas eléctricas del chip entran en contacto con los contactos eléctricos del módulo de contacto. Mediante una señal de prueba se comprueba que el contacto sea correcto y, en caso de contacto erróneo, se corrige mediante una alineación aproximada repetida. En la segunda etapa de procedimiento se realiza la alineación con las entradas y salidas ópticas. Las entradas y salidas ópticas del chip pueden recibir o emitir rayos enfocados o colimados con apertura y posición focal adaptadas. Las entradas y salidas ópticas del módulo de contacto disponen de ópticas variables con las que se pueden generar rayos enfocados perpendicularmente a la superficie de las entradas y salidas ópticas, en donde pueden adaptarse la posición focal axial y lateral y la apertura de los rayos. Para la adaptación, la óptica variable dispone de al menos un elemento óptico con distancia focal variable y/o al menos un elemento óptico que pueda moverse. La adaptación axial de la posición focal se realiza basándose en mediciones de distancia mediante sensores de distancia adicionales o de mediciones de intensidad por medio de una señal de prueba óptica. La adaptación lateral de la posición focal se realiza basándose en mediciones de intensidad, en las que un haz de prueba ya enfocado en la superficie del chip se mueve en un movimiento relativo de exploración con respecto a las entradas y salidas ópticas, hasta que el haz de prueba se acopla de manera óptima en las entradas y salidas ópticas. El tiempo necesario para ello puede reducirse, realizando en primer lugar el movimiento relativo de exploración con un diámetro focal ampliado del haz de prueba. Tras la alineación fina, se realiza la prueba del chip mediante secuencias de señales de prueba eléctricas y ópticas especiales, donde se pueden almacenar y reutilizar partes del ajuste aproximado y preciso, cuando se comprueban varios chips del mismo tipo.

Para probar chips electrónicos a nivel de oblea, se sabe por experiencia que por medio de una primera cámara se determina la posición espacial de las puntas de las agujas y con una segunda cámara se determina la posición espacial de los centros de las almohadillas de contacto de un chip. A partir de la posición relativa, derivada de esto, de las puntas con respecto a las almohadillas de contacto, se generan señales de control con las que se controla una mesa de posicionamiento y se posicionan los centros de las almohadillas de contacto verticalmente debajo de las puntas, antes de que las agujas de contacto entren en contacto con las almohadillas de contacto. En el documento WO 2019/029765 A se describe otro procedimiento para probar chips optoelectrónicos dispuestos sobre una oblea.

El objetivo de la invención es encontrar un procedimiento para probar chips optoelectrónicos dispuestos sobre una oblea con interfaces eléctricas en forma de almohadillas de contacto y, para ello, interfaces ópticas dispuestas de manera fija en forma de elementos de desviación ópticos con un ángulo de acoplamiento específico, basado en procedimientos probados para probar chips electrónicos.

Este objetivo se consigue con un procedimiento para probar chips optoelectrónicos dispuestos sobre una oblea, con interfaces eléctricas en forma de almohadillas de contacto y, para ello, interfaces ópticas dispuestas de manera fija en forma de elementos de desviación ópticos. Los elementos de desviación ópticos presentan un ángulo de acoplamiento específico.

A este respecto, la oblea se aloja en una mesa de posicionamiento que puede ajustarse en las direcciones x, y y z de un sistema de coordenadas cartesianas y puede girarse alrededor del eje z. Está presente un módulo de contacto, que dispone de interfaces eléctricas e interfaces ópticas asignadas a los chips y que puede ajustarse y puede girar con respecto a la mesa de posicionamiento.

En una primera etapa de ajuste, la oblea se aproxima al módulo de contacto, de modo que las interfaces eléctricas presentes en el módulo de contacto en forma de agujas están dispuestas en una primera posición de ajuste, verticalmente por encima de los centros de las almohadillas de contacto de uno primero de los chips. En esta primera posición de ajuste, el módulo de contacto está dispuesto en dirección z a una distancia de ajuste mayor que la longitud libre de las agujas con respecto al primero de los chips, de modo que las agujas no entran en contacto con las almohadillas de contacto durante las siguientes etapas de ajuste.

A partir de esta primera posición de ajuste, se realiza en otras etapas de ajuste la alineación relativa de los elementos de desviación ópticos con las interfaces ópticas existentes en el módulo de contacto. Las almohadillas de contacto están dimensionadas de modo que las trayectorias de ajuste necesarias en las etapas de ajuste adicionales solo son tan grandes como para que la aguja entre en contacto con las almohadillas de contacto tras un descenso final.

En un campo de exploración más pequeño que el tamaño de las almohadillas de contacto, la mesa de posicionamiento se desvía primero en dirección x e y con respecto a la primera posición de ajuste hasta una segunda posición de ajuste. Mientras tanto, se conduce una señal óptica a través de al menos una de las interfaces ópticas del módulo de contacto y uno de los elementos de desviación ópticos. La segunda posición de ajuste se alcanza cuando la señal óptica se acopla con una intensidad máxima. A continuación, el primero de los chips se desvía a través de una trayectoria de ajuste hacia una tercera posición de ajuste en dirección x-y, después de calcular la trayectoria de ajuste a partir de la trayectoria de aproximación y el ángulo de acoplamiento del elemento de desviación óptico correspondiente.

A continuación, la mesa de posicionamiento se aproxima al módulo de contacto en dirección z en una trayectoria de aproximación hasta una distancia de trabajo óptica, estando las agujas en contacto con las almohadillas de contacto con una fuerza de presión predeterminada.

Para probar el chip optoelectrónico, ahora se conducen señales eléctricas u ópticas a través de las interfaces en cada caso asignadas entre sí. Ventajosamente se guarda como desplazamiento una diferencia de posición resultante de la primera posición de ajuste y de la segunda posición de ajuste del primero de los chips y se considera para el ajuste de otros de los chips, después de que estos se hayan colocado en una primera posición de ajuste con respecto al módulo de contacto.

5 Para tener en cuenta el desgaste de las puntas de las agujas, en particular, es ventajoso cuando se supervisa la distancia de trabajo óptica a la que las agujas están en contacto con las almohadillas de contacto con una fuerza de presión predeterminada y se corrige la tercera posición de ajuste en caso de modificaciones de la fuerza de presión.

10 Al determinar la modificación de la distancia de trabajo óptica a largo plazo durante la vida útil del módulo de contacto, ventajosamente para la realización del procedimiento es posible sustituir las agujas del módulo de contacto por otras agujas nuevas, cuando la distancia de trabajo óptica sea inferior a una distancia mínima predeterminada.

15 Al irradiar de forma ventajosa las señales ópticas en la respectiva interfaz durante el acoplamiento, se compensan en particular las tolerancias de posición de las interfaces ópticas de los chips entre sí.

Es aún más ventajoso que las señales ópticas conducidas a través de las interfaces en cada caso asignadas entre sí presenten una distribución en forma de sombrero de copa de su intensidad de radiación durante el acoplamiento.

20 A continuación, se explica la invención con más detalle mediante ejemplos de realización y con ayuda de dibujos. Para ello, muestra:

La Figura 1a un chip dispuesto en una primera posición de ajuste (posición nominal) con respecto al módulo de contacto,

25 la Figura 1b el chip dispuesto en una segunda posición de ajuste con respecto al módulo de contacto y

la Figura 1c el chip dispuesto en una tercera posición de ajuste (posición máxima del acoplamiento óptico) con respecto al módulo de contacto.

30 Con un procedimiento según la invención, se prueban chips 1 optoelectrónicos dispuestos sobre una oblea con interfaces eléctricas en forma de almohadillas 1.1 de contacto e interfaces ópticas dispuestas de manera fija para ello en forma de elementos 1.1 de desviación ópticos, por ejemplo, acopladores de rejilla o espejos, con un ángulo α de acoplamiento específico. El ángulo α de acoplamiento específico representa un ángulo que forma una señal óptica o su haz principal con una perpendicular al chip 1. Normalmente es superior a 0° e inferior a 25° . Un valor habitual para el ángulo α de acoplamiento específico se encuentra, por ejemplo, en $11,6^\circ$ y se refiere a las fibras de vidrio utilizadas para el acoplamiento en la aplicación final del chip con el correspondiente biselado.

35 A este respecto, al igual que un procedimiento del estado de la técnica, se aloja una oblea en una mesa 3 de posicionamiento que puede ajustarse en las direcciones x, y y z de un sistema de coordenadas cartesianas con respecto a un módulo 2 de contacto y puede girar alrededor del eje z. El módulo 2 de contacto dispone, además de las interfaces 2.1 eléctricas asignables a los chips 1, también de interfaces 2.2 ópticas asignables a estos. Las interfaces eléctricas y las interfaces ópticas de los chips 1 se fabrican en el compuesto de obleas con diferentes tecnologías y en diferentes etapas de procedimiento, de modo que, aunque presentan en cada caso entre sí solo tolerancias de posición bajas, las disposiciones formadas por las interfaces eléctricas están sujetas a desviaciones de tolerancia comparativamente grandes en comparación con las disposiciones formadas por las interfaces ópticas, en particular, con respecto a diferentes obleas.

40 En una primera etapa de ajuste, la oblea se aproxima al módulo 2 de contacto, de modo que las interfaces eléctricas presentes en el módulo 2 de contacto en forma de agujas 1.1 se disponen en una primera posición de ajuste (posición nominal), verticalmente por encima de los centros de las almohadillas 1.1 de contacto de uno primero de los chips 1. Durante el ajuste, el módulo de contacto presenta una distancia de ajuste a en dirección z mayor que la longitud l libre de las agujas 2.1 con respecto al chip 1, de modo que no pueda producirse ningún contacto entre las puntas de aguja de las agujas 2.1 y las almohadillas 1.1 de contacto. Véase para ello la **figura 1a**, en donde en este caso por simplicidad, al igual que en las demás figuras, se ha omitido la representación del ajuste en dirección y. En consecuencia, las trayectorias de ajuste durante las etapas de ajuste individuales solo se muestran como trayectorias de ajuste en dirección x.

55 El desarrollo de esta primera etapa de ajuste se realiza ventajosamente según una rutina fija conocida en la práctica. A este respecto, una cámara mide las agujas 2, enfocando las puntas de aguja, y una segunda cámara mide las almohadillas 1.1 de contacto del chip 1. Ambas cámaras se han referenciado previamente entre sí a través de una normal. Esto permite calcular con precisión, a continuación, la posición óptima (posición nominal) de las agujas 2 con respecto a las almohadillas 1.1 de contacto y, por lo tanto, el posicionamiento del módulo 2 de contacto con respecto al chip 1. En la mayoría de los casos, esto se hace mediante regresión y extrapolación de los valores medidos. Además, para cada aguja 2 encontrada se espera una almohadilla 1.1 de contacto como contraparte. Por lo general, el usuario no puede intervenir en esta rutina. Además, en la mayoría de los casos no se pueden utilizar estructuras alternativas, como marcas de ajuste, etc., para el posicionamiento. Las cámaras no solo corrigen la posición x-y y la rotación alrededor del eje z, sino que también determinan la posición z.

65

Los expertos saben que, debido a las tolerancias de posición de las puntas de aguja una con respecto a otra y los centros de las almohadillas 1.1 de contacto uno con respecto a otro, no pueden disponerse todas las puntas de aguja exactamente por encima de los centros de las almohadillas 1.1 de contacto al mismo tiempo, por lo que finalmente se ajusta una posición en la que la desviación media es mínima. Sin embargo, la tolerancia de posición de las interfaces eléctricas una con respecto a otra es insignificante en comparación con la tolerancia de posición de la disposición de las interfaces eléctricas con respecto a la disposición de las interfaces ópticas de un chip 1, lo que se debe, en particular, a que las interfaces eléctricas y las interfaces ópticas se fabrican sucesivamente con tecnologías diferentes.

Dado que la fabricación de las interfaces eléctricas o bien la fabricación de las interfaces ópticas para todos los chips de una oblea se realiza en cada caso en un desarrollo de procedimiento, la desviación de posición entre las disposiciones de las interfaces eléctricas y las disposiciones de las interfaces ópticas de los chips individuales de una oblea es, al menos aproximadamente, la misma.

Después de que se haya alineado la disposición de los contactos eléctricos del chip 1 (agujas 2.1) con los contactos eléctricos del módulo 2 de contacto (almohadillas 1 de contacto), la posición real de las interfaces ópticas del chip con respecto a las interfaces ópticas en el módulo 2.2 de contacto se desvía de la posición teórica por diversas causas, véase la **figura 1a**.

En primer lugar, la posición de las interfaces ópticas en el chip 1 se desvía de su posición teórica en las direcciones x, y, z y alrededor de la dirección z de forma estadísticamente variable en cada oblea, mientras que las desviaciones alrededor de la dirección x y alrededor de la dirección y pueden considerarse invariables debido a la orientación de la mesa 3 de posicionamiento tras la fijación de la posición del chip 1 y, por lo tanto, de la oblea (desviaciones sistemáticas).

En segundo lugar, existe una desviación de la posición de las interfaces ópticas en el módulo 2.2 de contacto con respecto a la posición teórica en relación con las agujas 2.1, dependiendo de la precisión de montaje del módulo óptico, que es parte integrante del módulo de contacto. Esto no solo afecta a las desviaciones de posición en las direcciones x, y y z, sino también a las inclinaciones alrededor de la dirección z, así como alrededor de la dirección x y alrededor de la dirección y. Los 6 parámetros son desviaciones sistemáticas debidas al montaje.

Y en tercer lugar, a lo largo de la vida útil del módulo 2 de contacto se producen desviaciones variables. El motivo es el desgaste mecánico y, por lo tanto, la deformación de las puntas de aguja, así como posibles deformaciones y la modificación que resulta de esto en el resultado de ajuste.

Mediante la medición de la cámara, la mesa 3 de posicionamiento corrige de facto la posición de todo el módulo 2 de contacto con respecto al chip/oblea, modificando así también, debido al ángulo de acoplamiento específico del elemento de desviación óptico respectivo, en particular, de un acoplador de rejilla, la posición de la disposición de las interfaces ópticas del módulo 2.2 de contacto con respecto a la disposición de las interfaces ópticas del chip 1.

En otras etapas de ajuste se realiza ahora la alineación relativa de las interfaces ópticas del primer chip 1 con respecto a las interfaces ópticas existentes en el módulo de contacto.

Partiendo de la base de que las agujas 2.1, como interfaces eléctricas en el módulo 2 de contacto, están alineadas de forma óptima con los centros de las almohadillas 1.1 de contacto, como interfaces eléctricas en el chip 1, existe un margen para ajustar las interfaces ópticas del chip 1 con respecto a las del módulo de contacto, que viene determinado por el tamaño de las almohadillas 1.1 de contacto, ya que para la transmisión eléctrica de la señal es suficiente que exista un contacto mecánico entre la punta de aguja y la almohadilla de contacto.

En una primera etapa de ajuste adicional, se realiza la alineación relativa de las interfaces ópticas del chip y del módulo de contacto entre sí, desviando la mesa de posicionamiento en un campo de exploración más pequeño que el tamaño de las almohadillas de contacto, en dirección x e y, con respecto a la primera posición de ajuste, a una segunda posición de ajuste (exploración de trama), tal y como se muestra en la figura 1b mediante la primera trayectoria $\Delta x1$ de ajuste. Mientras tanto, se conduce una señal óptica a través de al menos una de las interfaces ópticas del módulo de contacto y del primer chip. La segunda posición de ajuste se alcanzó cuando la señal óptica se acopla con una intensidad máxima. Véase para ello la **figura 1b**.

A continuación, en una segunda etapa de ajuste adicional, la mesa de posicionamiento se desvía en dirección x e y hasta una tercera posición de ajuste, como se ha mostrado en la **figura 1c** mediante la segunda trayectoria $\Delta x2$ de ajuste. La trayectoria de ajuste de la segunda a la tercera posición de ajuste se calcula a partir de la trayectoria Δz de aproximación y el ángulo α de acoplamiento del acoplador de rejilla correspondiente, antes de que la mesa de posicionamiento se aproxime en dirección z hacia el módulo de contacto en la trayectoria Δz de aproximación hasta la distancia b de trabajo óptica, estando las agujas en contacto con las almohadillas de contacto con una fuerza de presión constante predeterminada. Esto se consigue seleccionando una distancia de trabajo óptica menor que la longitud libre de las agujas l. La diferencia se denomina sobrerrecorrido o sobremarcha.

Con el sobrerrecorrido se garantiza un contacto eléctrico seguro entre las agujas y las almohadillas de contacto (baja resistencia de contacto). Tras el primer contacto ligero de las agujas con las almohadillas de contacto, la oblea se desplaza unos 10 μm hacia arriba en dirección z. Con ello se consiguen dos cosas. Por un lado, esto fuerza el

roce de las agujas sobre la almohadilla de contacto, lo que rompe la superficie oxidada y se consigue un contacto reproducible y de baja impedancia. Por otro lado, el sobrerrecorrido genera una presión de apriete constante de las agujas, ya que las agujas se flexionan en consecuencia debido a la trayectoria de ajuste adicional y ejercen una fuerza de presión sobre la almohadilla de contacto. Esta fuerza de presión varía en función del tipo de aguja utilizada, pero se puede calcular aproximadamente en unos 3 g por aguja. Normalmente, el sobrerrecorrido se indica en múltiplos de MIL (1 mil americano = 1/1000 pulgada = 0,0254 mm).

En un módulo de contacto, en el que la disposición de la aguja tiene una posición fija con respecto a las interfaces ópticas, el valor del sobrerrecorrido ha de tenerse en cuenta durante el ajuste final del chip, de modo que, en estado de contacto, se garantice una distancia de trabajo óptica entre las interfaces ópticas del módulo de contacto y el chip, en la que se produzca un acoplamiento máximo de las señales ópticas.

Para ajustar la distancia b de trabajo óptica, el chip se lleva a la tercera posición de ajuste. En esta se alcanza el estado de ajuste final, en el que tanto las interfaces eléctricas como las ópticas del chip y del módulo de contacto están alineadas de la mejor manera posible entre sí, es decir, se garantiza la mejor capacidad de medición posible de los flujos de señales ópticas (posición máxima del acoplamiento óptico), en donde se proporciona también el flujo de señales eléctricas. A continuación, para comprobar el chip, se conducen señales eléctricas u ópticas a través de las interfaces en cada caso asignadas entre sí.

La trayectoria de ajuste desde la primera posición de ajuste (posición nominal) hasta la tercera posición de ajuste (posición máxima del acoplamiento óptico) representa un desplazamiento (*offset*) (representado en la figura 1c como $\Delta x_1 + \Delta x_2$ y Δz), que se guarda de forma ventajosa y se tiene en cuenta al ajustar todos los demás chips de esta oblea. Es decir, la posición nominal de la mesa de posicionamiento se corrige en función de este desplazamiento. Sin embargo, esto requiere un desplazamiento correspondiente de las agujas sobre las almohadillas de contacto, lo cual es aún aceptable.

Este procedimiento solo ha de realizarse una vez por oblea o incluso a intervalos más largos.

Además, pueden observarse este valor de desplazamiento (valor *offset*) y sus modificaciones a lo largo del tiempo, lo que permite obtener información sobre el desgaste y la modificación asociada en las agujas.

Para aumentar la precisión de la determinación del desplazamiento, la exploración de la trama también puede realizarse en varios chips de la oblea antes de comenzar la comprobación de todos los chips de la oblea y se pueden promediar los resultados.

El sobrerrecorrido necesario puede variar a lo largo de la vida útil del módulo de contacto debido al “rodaje” o al desgaste de las agujas, lo que reduce la distancia de trabajo.

La monitorización directa de la distancia de trabajo óptica es importante para garantizar las propiedades de acoplamiento óptico definidas entre el módulo de contacto y el chip (capacidad de medición) y para evitar colisiones entre las interfaces ópticas del módulo de contacto y los chips (distancia de tan solo 10-100 μm durante el funcionamiento).

Para ello, se puede utilizar un sensor de distancia integrado en el módulo de contacto, por ejemplo, un sensor de distancia capacitivo. Este permite controlar la distancia de trabajo óptica real. En combinación con un control activo, la distancia de trabajo puede reajustarse activamente en dirección z mediante el desplazamiento de la mesa de posicionamiento y, si es necesario, se puede programar una parada de emergencia para evitar que se supere una distancia de trabajo mínima, por ejemplo, para evitar colisiones por un manejo incorrecto por parte del operador.

Por lo general, es normal que se produzca una modificación en la posición de las puntas de aguja durante la primera puesta en funcionamiento del módulo de contacto (comportamiento de rodaje). Esto puede anticiparse mediante una simulación de contacto múltiple antes de ajustar un primer chip (envejecimiento previo), con lo que se puede reducir el valor del desplazamiento que se debe ajustar.

Habitualmente, todas las interfaces ópticas de los chips, representadas por acopladores de rejilla, presentan ángulos de acoplamiento con el mismo valor angular y la misma orientación, de modo que una modificación en la distancia Δb de trabajo óptica da como resultado una misma modificación ΔX relativa en la posición de acoplamiento óptima para todas las interfaces ópticas.

Por lo general, la modificación de la distancia Δb de trabajo óptica se encuentra en el intervalo $<50 \mu\text{m}$. Si se modificara la distancia de trabajo óptica, por ejemplo, en $10 \mu\text{m}$ y el ángulo α de acoplamiento fuera de $11,6^\circ$ en el plano $x-z$, se produciría una modificación de la posición ΔX de acoplamiento óptima de $2 \mu\text{m}$ en dirección x . Si se modificara la distancia Δb de trabajo óptica en $20 \mu\text{m}$, se produciría una modificación en la posición de acoplamiento óptima en dirección x de ΔX de $4 \mu\text{m}$. Esto puede compensarse con la corrección descrita anteriormente, es decir, la mesa de posicionamiento se corrige en dirección x mediante un comando de control, suponiendo que las agujas siguen haciendo contacto con las almohadillas de contacto con suficiente seguridad.

Los requisitos de precisión de las etapas de ajuste pueden reducirse, si las señales ópticas que se conducen a través de las interfaces en cada caso asignadas entre sí para comprobar el chip eclipsan en cada caso la interfaz de acoplamiento.

5 Las señales ópticas presentan ventajosamente una distribución en forma de sombrero de copa de su intensidad de radiación, cuando inciden en la interfaz de acoplamiento.

Lista de símbolos de referencia

	1	Chip
5	1.1	Almohadilla de contacto
	1.2	Elemento de desviación óptico
	2	Módulo de contacto
10	2.1	Aguja
	2.2	Interfaz óptica en el módulo de contacto
15	3	Mesa de posicionamiento
	Δz	Trayectoria de aproximación
	α	Ángulo de acoplamiento
20	a	Distancia de ajuste
	b	Distancia de trabajo óptica
25	l	Longitud libre de la aguja
	Δx_1	Primera trayectoria de ajuste
	Δx_2	Segunda trayectoria de ajuste
30		

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para probar chips (1) optoelectrónicos dispuestos sobre una oblea, con interfaces eléctricas en forma de almohadillas (1.1) de contacto e interfaces ópticas dispuestas para ello de manera fija en forma de elementos (1.2) de desviación ópticos, con un ángulo (α) de acoplamiento específico,
- en el que la oblea se recibe por medio de una mesa (3) de posicionamiento, que puede ajustarse en las direcciones x, y y z de un sistema de coordenadas cartesianas con respecto a un módulo (2) de contacto y puede girar alrededor del eje z, en donde el módulo (2) de contacto presenta interfaces eléctricas en forma de agujas (2.1) asignadas a la almohadilla (1.1) de contacto e interfaces (2.2) ópticas asignadas a los elementos (1.2) de desviación ópticos, y
- en una primera etapa de ajuste, la oblea se aproxima al módulo (2) de contacto, de modo que las agujas (2.1), en una primera posición de ajuste, están dispuestas verticalmente por encima de los centros de las almohadillas (1.1) de contacto de uno primero de los chips (1), en donde el módulo (2) de contacto presenta una distancia (a) de ajuste mayor que una longitud (l) libre de las agujas (2.1) con respecto al primero de los chips (1) en dirección z,
- en otras etapas de ajuste se realiza la alineación relativa de los elementos (1.2) de desviación ópticos con las interfaces (2.2) ópticas presentes en el módulo (2) de contacto,
- a continuación, la mesa (3) de posicionamiento se aproxima al módulo (2) de contacto en dirección z en una trayectoria (Δz) de aproximación hasta una distancia (b) de trabajo óptica, en la que las agujas (2.1) están en contacto con las almohadillas (1.1) de contacto con una fuerza de presión predeterminada y,
- a continuación, se conducen señales eléctricas u ópticas a través de las interfaces en cada caso asociadas entre sí, **caracterizado por que**,
- la alineación relativa de los elementos (1.2) de desviación ópticos con respecto a las interfaces (2.2) ópticas presentes en el módulo (2) de contacto se realiza desviando en primer lugar la mesa (3) de posicionamiento en un campo de exploración más pequeño que el tamaño de las almohadillas (1.1) de contacto con respecto a la primera posición de ajuste en las direcciones x e y hasta una segunda posición de ajuste, mientras se conduce una señal óptica a través de al menos una de las interfaces ópticas del módulo (2.2) de contacto y uno de los elementos (1.2) de desviación ópticos, en donde se asume la segunda posición de alineación cuando la señal óptica se acopla con una intensidad máxima, y
- a continuación, el primero de los chips (1) se desvía a lo largo de una trayectoria de ajuste hasta una tercera posición de ajuste en dirección x-y, en donde se calculó la trayectoria de ajuste a partir de la trayectoria (Δz) de aproximación y del ángulo (α) de acoplamiento del elemento (1.2) de desviación óptico correspondiente, antes de que la mesa (3) de posicionamiento se aproxime al módulo (2) de contacto en dirección z en la trayectoria (Δz) de aproximación hasta la distancia (b) de trabajo óptica.
2. Procedimiento para probar chips (1) optoelectrónicos dispuestos sobre una oblea según la reivindicación 1, **caracterizado por que** una diferencia de posición resultante de la primera posición de ajuste y de la segunda posición de ajuste del primero de los chips (1) se guarda como desplazamiento y se considera para el ajuste de otros de los chips (1) después de que estos se hayan colocado en una primera posición de ajuste con respecto al módulo (2) de contacto.
3. Procedimiento para probar chips (1) optoelectrónicos dispuestos sobre una oblea según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** se controla la distancia (b) de trabajo óptica, en la que las agujas (2.1) están en contacto con las almohadillas (1.1) de contacto con una fuerza de presión predeterminada y se corrige la tercera posición de ajuste en caso de modificaciones de la fuerza de presión.
4. Procedimiento para probar chips (1) optoelectrónicos dispuestos sobre una oblea según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** la modificación de la distancia (b) de trabajo óptica se determina a largo plazo durante el período de utilización del módulo (2) de contacto y las agujas (2.1) del módulo (2) de contacto se sustituyen por nuevas agujas (2.1) para la realización del procedimiento, si la distancia (b) de trabajo óptica queda por debajo de una distancia mínima predeterminada.
5. Procedimiento para probar chips (1) optoelectrónicos dispuestos sobre una oblea según una de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** las señales ópticas conducidas a través de las interfaces en cada caso asignadas entre sí eclipsan a estas cuando se acoplan en una de las interfaces.
6. Procedimiento para probar chips (1) optoelectrónicos dispuestos sobre una oblea según una de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** las señales ópticas conducidas a través de las interfaces en cada caso asignadas entre sí presentan una distribución en forma de sombrero de copa de su intensidad de radiación, cuando se acoplan en una de las interfaces.

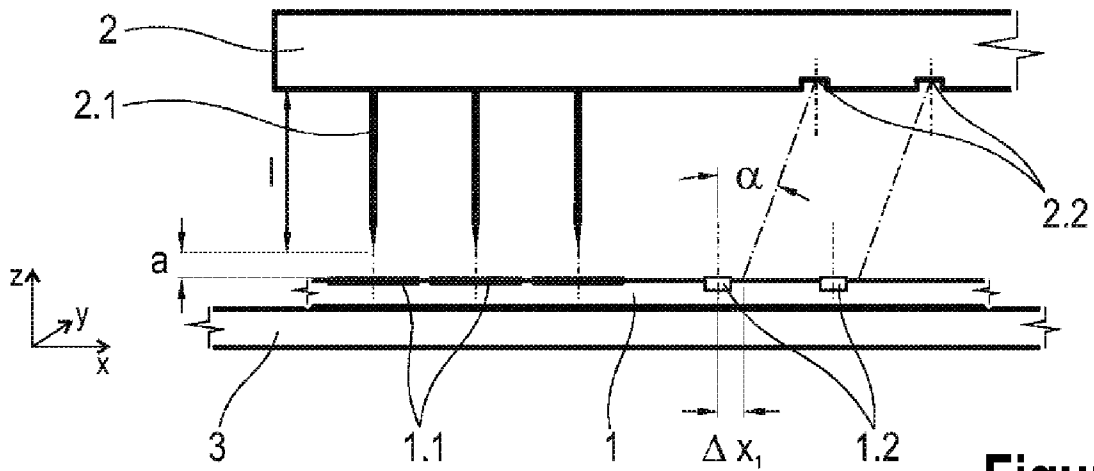


Figura 1a

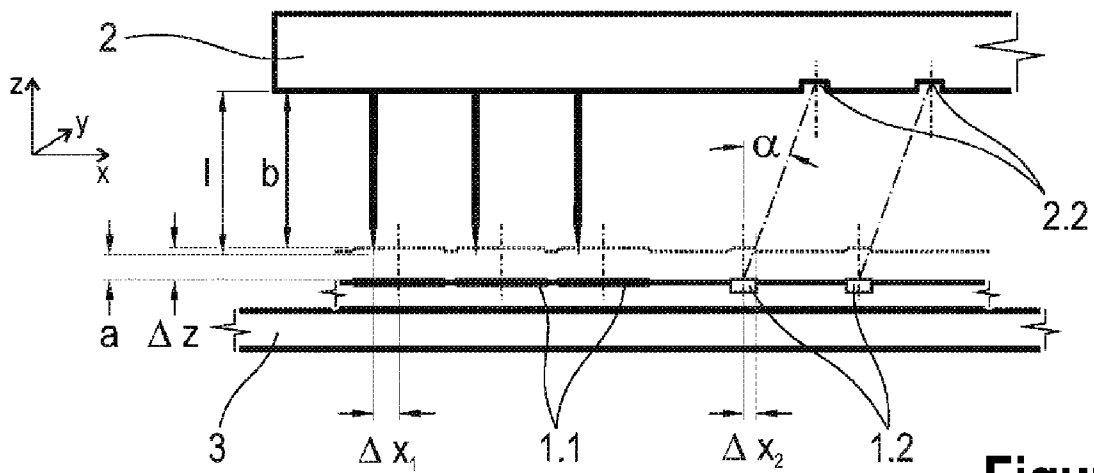


Figura 1b

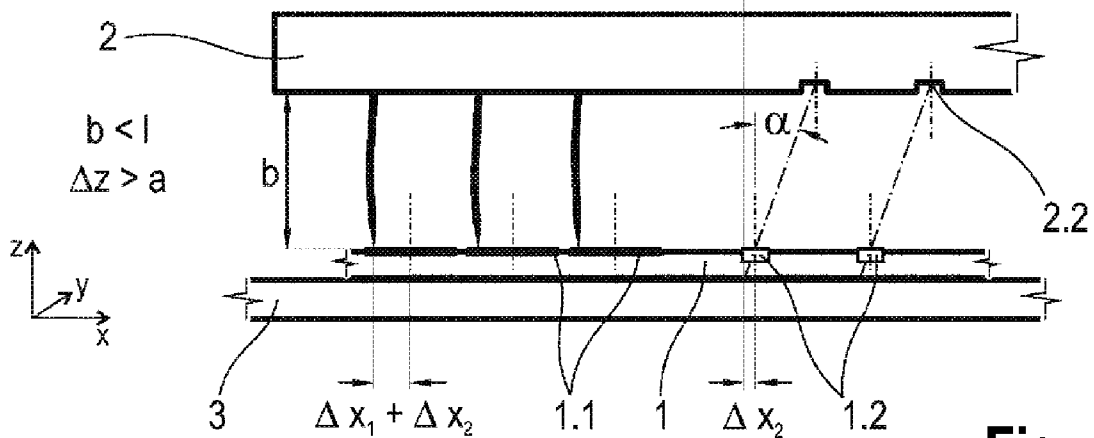


Figura 1c