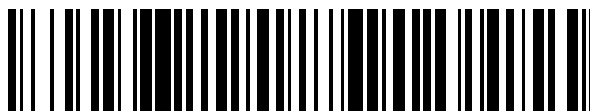


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 728 101**

51 Int. Cl.:

H01L 21/28 (2006.01)

H01L 21/268 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.04.2014 PCT/US2014/035084**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.10.2015 WO15163863**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.04.2014 E 14889954 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.04.2019 EP 3134914**

54 Título: **Formación de contactos óhmicos en semiconductores de banda prohibida ancha**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.10.2019

73 Titular/es:
**UNITED SILICON CARBIDE INC. (100.0%)
7 Deer Park Drive Suite E.
Monmouth Junction, NJ 08852, US**

72 Inventor/es:
HOSTETLER, JOHN L.

74 Agente/Representante:
IZQUIERDO BLANCO, María Alicia

ES 2 728 101 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

Formación de contactos óhmicos en semiconductores de banda prohibida ancha

5 CAMPO DE LA DIVULGACIÓN

[0001] La presente divulgación está relacionada con el campo del procesamiento de obleas semiconductoras de banda prohibida ancha y la formación de contactos óhmicos, y con los dispositivos que se fabrican usándolos.

10 ANTECEDENTES

[0002] Los contactos que se forman en materiales semiconductores de banda prohibida ancha que muestran un comportamiento óhmico y una resistencia de barrera baja se forman, normalmente, depositando capas metálicas y aplicando posteriormente un proceso de templado/difusión a alta temperatura ($>800^{\circ}\text{C}$) en un horno durante un periodo de tiempo de varios minutos o más. El impacto de contar con un paso a alta temperatura que calienta todos los componentes de la oblea o lámina implica que todos los contactos óhmicos deben hacerse antes de que se forme cualquier elemento de superficie que sea funcional y sensible a la temperatura, lo cual limita en gran medida el orden de los procesos y la libertad para diseñar y formar dispositivos a partir de semiconductores de banda prohibida ancha. El procedimiento habitual con siliciuro de metal que utiliza un horno de difusión de estado sólido ha mantenido alejados durante décadas a los dispositivos de carburo de silicio de las líneas habituales de fabricación de obleas. Es muy necesario hallar un proceso que sólo caliente el área o la zona destinada al contacto óhmico y que no afecte a otros elementos o componentes sensibles a la temperatura.

[0003] En el caso de los materiales semiconductores de banda prohibida ancha, como el carburo de silicio y el nitruro de galio, por lo general no existe un metal con una función de trabajo lo suficientemente baja como para crear una barrera lo suficientemente baja para obtener contactos de emisión termiónica. Por consiguiente, se requieren contactos óhmicos de tunelización de emisión de campo en los que la estructura de banda del carburo de silicio muy cerca de la superficie se altere de tal modo que los electrones puedan penetrar a través de una fina barrera eléctrica en vez de saltar sobre la barrera como en el caso de los contactos de emisión termiónica. En el caso habitual de formar un siliciuro metálico en un horno de difusión de estado sólido, los átomos de silicio se dispersan y se forman aleaciones con los átomos metálicos. El silicio dispersado modifica la estructura de banda del material de carburo de silicio para crear un contacto óhmico con unos valores de resistividad señalados de $1 \times 10^{-5} \text{ Ohm-cm}^2$.

[0004] Otro método para formar un contacto óhmico de tunelización con el carburo de silicio consiste en 'dopar' mucho la región semiconductor cerca de la superficie, lo cual provoca los cambios deseados en la banda prohibida para los contactos de tunelización. Normalmente, el dopaje del sustrato está limitado por el 'proceso de crecimiento de bola o monocristales' ('boule growth process', en inglés) a $\sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ en el caso de los sustratos conductores de banda prohibida ancha. De este modo, para obtener un alto nivel de dopaje (por ejemplo, $\gg 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$), normalmente se utiliza la implantación de iones o el crecimiento epitaxial, de manera que ambos requieren hornos de alta temperatura ($> 800^{\circ}\text{C}$) y limitan o restringen enormemente el orden de los procesos y la libertad de diseño para formar dispositivos a partir de semiconductores de banda prohibida ancha. Además, tanto la implantación de iones como el crecimiento epitaxial limitan la capacidad de incorporar dopantes hasta alrededor de 2 órdenes de magnitud por debajo del límite de solubilidad. Finalmente, la formación del contacto óhmico se completa tras la posterior deposición de metales en la superficie semiconductor altamente dopada.

[0005] Otro método para formar un contacto óhmico de tunelización con el carburo de silicio consiste en dopar altamente la región semiconductor cerca de la superficie mediante dopaje láser. El dopaje láser es un proceso en el que el ambiente por encima de la superficie semiconductor se controla mediante una ampolla sellada, de manera que se introduce en la ampolla un gas dopante altamente concentrado. Un pulso láser incide en la ampolla a través de una ventana y funde la superficie del semiconductor, momento en el que el gas dopante altamente concentrado se dispersa por la superficie fundida del semiconductor y se activa tras solidificarse. Usando el dopaje láser se han alcanzado niveles dopantes cercanos al límite de solubilidad. Se han documentado resistividades de contactos óhmicos del orden de $1 \times 10^{-5} \text{ Ohm-cm}^2$ para el carburo de silicio cuando los metales se depositan después de un tratamiento láser.

[0006] Resulta altamente deseable hacer más fina una oblea semiconductor mediante procesos estándares de esmerilado y pulido a fin de reducir la resistencia eléctrica creada por el sustrato que tiene una conductividad eléctrica limitada debido a los niveles de dopaje limitados que están disponibles en los procesos de crecimiento monocristal (o 'crecimiento de bola'). Sin embargo, la capacidad para formar con precisión elementos en la parte superior a través de procesos fotolitográficos, deposición de materiales y grabado se ve muy limitada cuando la lámina u oblea se hace tan fina que alcanza un punto de excesiva fragilidad y deformación. Unir obleas semiconductoras 'adelgazadas' a portadores o vehículos de obleas es un enfoque habitual para contrarrestar una deformación o combadura excesivas y permitir que los procesos de la superficie o parte superior se completen con precisión, pero este proceso entraña pasos y retos adicionales. Por consiguiente, resulta deseable llevar a cabo el proceso de 'adelgazamiento' de obleas después o casi después de completar todos los elementos de superficie, de manera que no sea necesario el uso de un portador de obleas. Asimismo, resulta deseable que, tras el

adelgazamiento de las obleas, no se utilicen procesos de altas temperaturas que pongan en riesgo la integridad estructural de la oblea adelgazada o las características funcionales adquiridas. Además, resulta deseable que la producción de semiconductores de alto volumen cuente con un proceso de contactos óhmicos que no requiera el uso de ampollas selladas y presurizadas.

[0007] US 2008/099769 A1 desvela la producción de un circuito integrado que incluye un contacto eléctrico en el carburo de silicio mediante la irradiación y absorción de un pulso láser en un sustrato de carburo de silicio.

[0008] EP 3010036 A1 desvela un método para fabricar un dispositivo semiconductor emitiendo un rayo láser a un sustrato de carburo de silicio.

RESUMEN

[0009] Los contactos óhmicos de baja resistencia se forman con un carburo de silicio semiconductor de banda prohibida ancha (por ejemplo, carburo de silicio-4H, carburo de silicio-6H y carburo de silicio-3C) usando pulsos láser. La formación de contactos óhmicos puede realizarse durante cualquier paso o etapa del procesamiento de una oblea semiconductor, incluso después de completarse todos los elementos de la superficie o parte superior y/o después de hacer más fina la oblea ('adelgazamiento' de la oblea). Un proceso ejemplar se basa en la interacción directa del rayo láser con el cristal semiconductor de carburo de silicio y, en una realización, puede llevarse a cabo sin ningún tipo de procesamiento previo de la superficie semiconductor antes de la irradiación láser con la que se establece el contacto óhmico. Además, el proceso no requiere la formación de siliciuros metálicos o el uso de un vehículo o portador de obleas.

[0010] En la formación de muchos dispositivos semiconductores, y especialmente en la electrónica de potencia, puede procesarse un lado (esto es, el lado o parte superior) de un sustrato semiconductor para formar u obtener la función principal de un dispositivo, y el otro lado (esto es, el lado o parte posterior) puede utilizarse como terminal eléctrico. La geometría vertical puede permitir que el lado posterior esté vinculado a un disipador térmico y sirva de vía de conducción térmica para el enfriamiento y, por consiguiente, puede ser útil para los dispositivos que generan cantidades importantes de calor. En algunas formas, el procesamiento del lado superior puede conllevar un crecimiento epitaxial, el grabado o marcado de estampados en el sustrato y/o las capas epitaxiales, la implantación modelada de iones, la deposición dieléctrica modelada y/o la deposición modelada de metales. Con estos dispositivos verticales, puede resultar ventajoso que el sustrato sea lo más fino posible a fin de minimizar la resistencia eléctrica y reducir la impedancia térmica. El proceso de adelgazamiento puede requerir un esmerilado y pulido y puede realizarse cuando el procesamiento del lado superior esté completo o casi completo. Una vez que se ha adelgazado o se ha hecho más fino el lado posterior, puede tratarse la superficie del sustrato del lado posterior para ayudar a crear un contacto óhmico con una resistencia eléctrica baja.

[0011] El tratamiento de la superficie del sustrato para obtener contactos óhmicos se realiza mediante un láser. En una de estas realizaciones, la superficie del sustrato puede quedar intacta tras el esmerilado y el pulido, de manera que queda una mera superficie de carburo de silicio. La superficie semiconductor puede irradiarse con un láser pulsado, de manera que la longitud de onda del láser y la anchura del pulso se seleccionan de modo que la superficie semiconductor se funde. La longitud de onda también puede seleccionarse de manera que funde una superficie pero no se absorbe la energía suficiente en la superficie opuesta para no afectar a la segunda superficie o a las características de esta. Puede habilitarse un chorro de gas inerte para que inunde la superficie irradiada con láser a fin de minimizar la exposición de la superficie al oxígeno del ambiente.

[0012] Debido a la acción del pulso láser, la superficie desnuda de carburo de silicio puede calentarse y provocar la desorción del silicio -del carburo de silicio- en el ambiente, pues la temperatura de sublimación del silicio se produce a una temperatura más baja que la del carbono cuando se irradia con una energía fotónica inferior a la banda prohibida del carburo de silicio. Un mayor calentamiento provoca el derretimiento o fusión de la superficie semiconductor. Cuando se solidifica tras el pulso láser, puede crearse una capa grafitica policristalina rica en carbono que tiene propiedades de banda prohibida estrecha para producir contactos óhmicos eficientes después de depositar otros metales tras el procesamiento con láser. Si la longitud de onda del láser, la duración de los pulsos y la fluencia incidente son suficientes, la fina capa grafitica inducida mediante láser puede crear contactos óhmicos con unos valores de resistividad de 1×10^{-5} Ohm-cm².

[0013] La compleción o finalización de la formación de contactos óhmicos se consigue depositando metales para el contacto eléctrico y la fijación de la oblea mediante procesos industriales habituales. Las capas metálicas pueden incluir una capa de adherencia, como Ti, seguida de una barrera de difusión, como W, TiW, Pt o Ni, seguida de un revestimiento de Au, Ag o Cu.

[0014] Se deposita una película metálica ópticamente fina en la superficie semiconductor desnuda para controlar la reflectividad del suelo o base y el sustrato pulido, que pueden sufrir daños y presentar rugosidad debido al proceso de adelgazamiento, lo cual da lugar a variabilidades en el proceso. El grosor de la película metálica ópticamente fina debería ser el suficiente y menor que la profundidad de penetración del rayo láser en el metal, de manera que pueda depositarse la suficiente energía láser en la superficie de carburo de silicio de abajo a fin de conseguir el

derretimiento del carburo de silicio y poder formar la capa grafitica rica en carbono.

[0015] En una realización, la superficie semiconductora desnuda de carburo de silicio puede someterse a una implantación de iones con átomos dopantes después del adelgazamiento. Después, el calentamiento mediante láser puede provocar el derretimiento del material del carburo de silicio, la activación dopante y la creación de una capa grafitica en la superficie de carburo de silicio sometida a una implantación de iones.

[0016] En una realización, la superficie semiconductora desnuda de carburo de silicio que ha sido sometida a una implantación de iones con átomos dopantes después del adelgazamiento se somete a un proceso láser de dos pasos, en el que la irradiación es un pulso o pulsos de insuficiente fluencia para fundir la superficie de carburo de silicio, pero que es suficiente para paliar mediante recocido el daño de la implantación de iones; a esto le sigue una irradiación de un pulso o pulsos con la suficiente fluencia para fundir la superficie de carburo de silicio y crear la capa grafitica -rica en carbono- en la superficie sometida a una implantación de iones.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS ILUSTRACIONES

[0017]

La Figura 1A (FIG. 1A) es un diagrama de una lámina u oblea semiconductor de banda prohibida ancha ejemplar que está compuesta de un sustrato y múltiples capas planas.

La Figura 1B es un diagrama de una oblea ejemplar con los dispositivos electrónicos completados sobre el lado superior de la oblea.

La Figura 1C es un diagrama de una oblea ejemplar con el lado posterior adelgazado tras haberse completado los elementos del lado superior.

La Figura 2A es un diagrama de una oblea ejemplar con los dispositivos electrónicos completados montados en un plato de vacío.

La Figura 2B es un diagrama de una oblea ejemplar con un rayo láser que incide en el lado posterior de la oblea y una corriente de gas inerte sobre una zona o área irradiada.

La Figura 2C es un diagrama de una formación ejemplar de una capa grafitica rica en carbono tras la irradiación de un pulso o pulsos láser y el desplazamiento de un rayo láser a una nueva ubicación.

La Figura 2D es una vista superior de una superficie de oblea ejemplar que muestra los posibles patrones o estampados, que son la irradiación láser y la formación de capas grafiticas.

La Figura 2E es un diagrama de una oblea ejemplar con los metales del lado posterior depositados para completar la formación del contacto óhmico.

La Figura 3A es un diagrama de una oblea ejemplar con los dispositivos electrónicos completados montados en un plato de vacío que muestra una superficie posterior en la que se ha depositado una capa metálica ópticamente fina.

La Figura 3B es un diagrama de una oblea ejemplar con un rayo láser que incide en el lado posterior de la oblea con una capa metálica ópticamente fina y una corriente de gas inerte sobre una zona o área irradiada.

La Figura 3C es un diagrama de una oblea ejemplar que muestra la formación de una capa grafitica rica en carbono bajo una capa metálica ópticamente fina tras la irradiación de un pulso o pulsos láser y el desplazamiento de un rayo láser a una nueva ubicación.

La Figura 4A es un diagrama de una oblea ejemplar con los dispositivos electrónicos completados montados en un plato de vacío que muestra una superficie posterior con una región sometida a una implantación de iones.

La Figura 4B es un diagrama de una oblea ejemplar con un rayo láser que incide en el lado posterior de la oblea con una región sometida a una implantación de iones y una corriente de gas inerte sobre una zona o área irradiada.

La Figura 4C es un diagrama de una oblea ejemplar que muestra la formación de una capa grafitica rica en carbono en una región sometida a una implantación de iones tras la irradiación de un pulso o pulsos láser y el desplazamiento de un rayo láser a una nueva ubicación.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0018] La presente divulgación puede entenderse mejor tomando como referencia la descripción detallada que se ofrece a continuación, que debe tenerse en cuenta junto con las figuras y los ejemplos adjuntos, los cuales forman parte de la presente divulgación. Debe entenderse que esta divulgación no se limita a los dispositivos, métodos, aplicaciones, condiciones o parámetros específicos que se describen y/o se muestran en el presente documento, y que la terminología que se utiliza en el presente documento sirve para describir las realizaciones particulares solo a modo de ejemplo y no pretende limitar las realizaciones reivindicadas. Asimismo, tal y como se utilizan en la especificación, incluidas las reivindicaciones anexas, las formas singulares 'un', 'una', 'el' y 'la' incluyen sus respectivos plurales, y las referencias a un valor numérico particular incluyen al menos dicho valor particular, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Tal y como se utiliza en el presente documento, el término 'varios/as' significa 'más de uno/a'. Cuando se ofrece un rango o intervalo de valores, este incluye todo desde un

valor particular y/o hasta el otro valor particular. De manera similar, cuando los valores se expresan como aproximaciones, mediante el uso de la locución adverbial 'alrededor de', debe entenderse que el valor particular conforma otra realización. Todos los rangos o intervalos son inclusivos y pueden combinarse.

5 **[0019]** Cabe señalar que algunas características de la divulgación que, por motivos de claridad, se describen en el presente documento en realizaciones separadas también pueden proporcionarse en combinación con una única realización. A la inversa, diversas características de la divulgación que, por motivos de brevedad, se describen en una única realización también pueden proporcionarse de forma separada o usando cualquier otra combinación. Asimismo, las referencias a los valores indicados en rangos o intervalos incluyen todos los valores dentro de ese rango. Tal y como se muestran y se describen en el presente documento, los números de referencia comunes que se utilizan para describir o calificar los elementos o características de las diversas realizaciones denotan elementos o características iguales o similares.

15 **[0020]** Cuando se forman dispositivos semiconductores a partir de sustratos semiconductores o semiaislantes, hay dos tipos de dispositivos: laterales y verticales. Normalmente, un dispositivo lateral se forma cuando todos los contactos eléctricos del dispositivo están en un sitio (por ejemplo, el lado superior) de una oblea y todo el dispositivo funciona sobre ese lado de una forma lateral y el flujo de corriente se produce del mismo modo. Por el contrario, en un dispositivo vertical la corriente fluye verticalmente a través del sustrato y un lado (por ejemplo, el lado trasero o posterior) del sustrato funciona como un contacto eléctrico que puede conectarse a un disipador térmico para un proceso de enfriamiento. Normalmente, los dispositivos laterales se fabrican en sustratos semiaislantes, mientras que los dispositivos verticales se fabrican en sustratos semiconductores. Las realizaciones que se describen en el presente documento se aplican a ambos tipos de dispositivos, pero son particularmente beneficiosas para los dispositivos verticales, especialmente los dispositivos que generan mucho calor, como los dispositivos electrónicos (o la electrónica de potencia), en los que están presentes altos voltajes y corrientes. En el caso de un dispositivo vertical en un sustrato semiconductor, si el sustrato es lo suficientemente grueso, puede tener dos efectos negativos. Un efecto es que, cuando la corriente pasa a través del sustrato, actúa como una pérdida resistiva y genera calor no deseado. El segundo efecto es que, en la mayoría de dispositivos, la principal generación de calor se produce en las capas cercanas al lado superior y este calor debe conducirse hacia afuera a través del sustrato. En estas realizaciones, cuanto mayor sea el sustrato, más larga será la vía o camino de conducción del calor y mayor será la temperatura del dispositivo. Ambos efectos resultan desaconsejables y, por consiguiente, resulta ventajoso esmerilar el sustrato hasta obtener el valor más fino posible sin que esto afecte al rendimiento de la oblea o el dispositivo. En las realizaciones desveladas, puede usarse un método para formar contactos óhmicos en superficies semiconductoras de carburo de silicio después de adelgazar o hacer más fino el sustrato y este método se describe con más detalle más abajo. En las realizaciones desveladas, el sustrato puede estar compuesto o incluir carburo de silicio, como, por ejemplo, carburo de silicio-4H, carburo de silicio-6H o carburo de silicio-3C.

40 **[0021]** La Figura 1A muestra una oblea ejemplar que contiene múltiples capas planas, de manera que 100 es un sustrato semiconductor con una conductividad de tipo 1 y un grosor inicial d_1 que puede estar en un rango de 350-500 μm . Las capas 101, 102 y 103 representan múltiples capas creadas mediante cualquier número de procesos industriales semiconductores habituales para la creación de un dispositivo electrónico. Las múltiples capas no se limitan a cuatro, y pueden abarcar cualquier número de capas que sea necesario para obtener dispositivos electrónicos. Algunos ejemplos de procesos aditivos son -pero no se limitan a- los siguientes: crecimiento epitaxial, implantación de iones, deposición o crecimiento de películas dieléctricas, y deposición de metales o semimetales. Asimismo, en algunas realizaciones pueden usarse procesos de sustracción, como el grabado, el esmerilado o pulido, la molienda de iones y la extracción general de material, junto con el posterior estampado o grabado y la superposición entre capas, para formar u obtener dispositivos electrónicos. La Figura 1B representa un dispositivo semiconductor completado 104 en el que se han llevado a cabo todos los procesos del lado o parte superior para crear diversos dispositivos electrónicos verticales en el sustrato 100. Posteriormente, los dispositivos 104 pueden separarse mediante aserrado, rayado o ruptura, o mediante corte por láser a través del sustrato 100 hasta los dispositivos individuales. Estos dispositivos electrónicos pueden incluir -pero no se limitan a- los siguientes: transistores de efecto de campo de juntura o unión (o JFETs), transistores de efecto de campo metal-óxido-semiconductor (o MOSFETs), diodos de barrera de unión (o JBSs), transistores bipolares de puerta aislada (o IGBTs), tiristores GTO, transistores de unión bipolar (o BJTs), diodos PiN y diodos Schottky PiN fusionados (o MPSs).

55 **[0022]** El proceso de adelgazamiento del sustrato sigue al procesamiento del dispositivo 104 y se representa en la Figura 1C. El adelgazamiento del sustrato puede incluir adelgazar o hacer más fino el lado posterior del sustrato 105 mediante esmerilado y/o pulido para eliminar el material 100c, de manera que el grosor final del sustrato es la distancia d_2 . El grosor d_2 del sustrato adelgazado 100b puede estar entre 50 μm y 150 μm , pero puede ser cualquier distancia inferior a d_1 .

65 **[0023]** Refiriéndonos ahora a la Figura 2A, en la que la oblea se ha girado respecto a la vista que se muestra en las Figuras 1A-1C, tras el proceso de adelgazamiento, la oblea puede colocarse en un plato de vacío 200, de manera que los dispositivos procesados 104 coinciden con la superficie del plato de vacío y de manera que la superficie expuesta del lado posterior de la oblea 105 mira hacia arriba. El plato de vacío puede proporcionar el vacío suficiente a la oblea para que esta se aplane lo suficiente para una irradiación uniforme de un rayo láser.

Refiriéndonos a la Figura 2B, una corriente de gas inerte 202, como nitrógeno, argón o helio, puede incidir en la oblea en la que está presente la irradiación láser. La oblea no tiene por qué estar en una cámara o ampolla cerrada, pero puede estar presente el gas inerte suficiente para reducir las posibilidades de oxidación de la región irradiada. Después, la superficie posterior expuesta (es decir, no cubierta con ninguna capa u otro material) del sustrato 105 puede irradiarse localmente con un rayo láser focalizado 201 con una sección transversal circular con un diámetro d_3 , tal y como se observa en la Figura 2B. El rayo láser puede estar compuesto de un pulso o diversos pulsos con una longitud de onda, una duración de pulsos y una fluencia suficientes como para calentar y fundir el material de carburo de silicio. En una realización, el proceso de calentamiento y derretimiento por láser crea una fina capa sobre la superficie 105 que contiene una capa gráfica 203, refiriéndonos ahora a la Figura 2C, definida o delimitada por el área de incidencia del rayo láser con la estructura de banda deseada para ayudar en la formación de contactos óhmicos después de que se depositen más metales de revestimiento. Una vez que se forma la capa gráfica en la posición actual del rayo láser, el rayo se desplaza a la siguiente ubicación y el proceso se repite hasta que se haya irradiado el patrón o el área deseada final, tal y como se observa en la Figura 2C.

[0024] La forma de la capa gráfica circular definida o delimitada mediante irradiación láser puede modelarse o estamparse para cubrir todo el lado posterior de la oblea 105 con regiones superpuestas, tal y como se observa en la Figura 2D(a), que es una vista superior de 100b, o como un patrón de áreas o zonas circulares separadas por cualquier distancia, tal y como se observa en la Figura 2D(b). Se puede crear cualquier patrón utilizando el área definida por la sección transversal del rayo láser en la superficie 105 deteniéndose y repitiendo el proceso y desplazando el rayo láser o la etapa de vacío, y todas estas realizaciones están contempladas dentro del alcance de la presente divulgación.

[0025] En una realización, en la que el sustrato está compuesto de carburo de silicio-4H, el pulso láser -o los diversos pulsos- utilizado para formar la capa gráfica puede tener unas longitudes de onda de entre 315 nm y 400 nm, de manera que el espacio de tiempo de los pulsos es de entre 50 y 200 ns. Una fluencia de incidencia de 5-10 J/cm² puede ser suficiente para formar la deseada capa gráfica y formar los contactos óhmicos. Dentro del alcance de la presente divulgación se contemplan cualesquiera otras combinaciones de longitudes de onda, anchuras de pulsos e intervalos de fluencia.

[0026] Refiriéndonos ahora a la Figura 2E, la finalización o compleción de la formación de contactos óhmicos puede realizarse mediante una posterior deposición de una pila metálica multicapa 204 para obtener contactos eléctricos y la fijación de la oblea utilizando prácticas industriales estándares. Las capas o revestimientos metálicos óhmicos pueden incluir la deposición de una capa de adherencia, como titanio, seguida de una barrera de difusión, como tungsteno, platino o níquel, y puede seguir una capa o revestimiento de oro, plata o cobre.

[0027] Se deposita una película metálica ópticamente fina 106 en la superficie semiconductor desnuda 105 antes de la irradiación de un rayo láser, tal y como se observa en la Figura 3A. En una realización, la superficie desnuda de carburo de silicio se deja después de esmerilarla solamente con una rueda abrasiva ordinaria sin pulirla más con una grava más fina. El esmerilado de la superficie de carburo de silicio provoca daños en la estructura semiconductor cristalina y altera la absorción de la luz láser y, de este modo, también el inicio del derretimiento cuando se irradia con un pulso láser. El basto proceso de esmerilado puede producir variabilidad en la absorción a lo largo de la superficie del sustrato y también de oblea a oblea. Refiriéndonos ahora a la Figura 3B, para controlar la absorción del pulso láser en esta realización, puede depositarse una película metálica ópticamente fina 300 hasta un grosor menor que la profundidad de penetración de la luz láser en el metal, de manera que pueda depositarse la suficiente energía láser en la superficie de carburo de silicio a fin de conseguir el derretimiento del carburo de silicio y poder formar la capa gráfica 203 en la superficie 105, tal y como se observa en la Figura 3C. En el caso del carburo de silicio-4H, puede usarse una luz láser con una longitud de onda de entre alrededor de 315 nm y 400 nm, y películas metálicas que están compuestas de aluminio, titanio, níquel, tantalio, tungsteno o paladio, de manera que el grosor de la película metálica puede ser de menos de 100 nm. Tras la irradiación de un pulso láser, o diversos pulsos láser, cualquier material restante de la película metálica ópticamente fina puede eliminarse mediante un proceso estándar de grabado húmedo o de plasma, exponiendo la capa gráfica antes de una posterior metalización del lado trasero para la formación de contactos óhmicos.

[0028] En una realización, la superficie semiconductor desnuda de carburo de silicio 105 puede someterse a una implantación de iones con átomos dopantes después del esmerilado y el adelgazamiento, tal y como se observa en la Figura 4A, lo cual crea una capa 400 de semiconductor dañado y un exceso de átomos dopantes intersticiales. Refiriéndonos ahora a la Figura 4B, se produce la posterior irradiación de la superficie 400 con un pulso láser, o diversos pulsos láser, con la longitud de onda, la duración de pulsos y la fluencia suficientes como para fundir el material de carburo de silicio y provocar la activación dopante simultánea. Refiriéndonos ahora a la Figura 4C, el resultado es la creación de una capa gráfica rica en carbono sobre la superficie sometida a una implantación de iones. Cuando el sustrato es carburo de silicio-4H, la implantación de iones de nitrógeno o fósforo para un material de tipo n, o aluminio o boro para un material de tipo p, puede implementarse cuando puedan usarse energías iónicas habituales de entre 40 y 150 keV y dosis de 1E14 a 5E16 iones/cm². En esta realización, en el caso de un sustrato de carburo de silicio-4H, el láser utilizado para formar la capa gráfica puede tener una longitud de onda de entre 315 nm y 400 nm, de manera que el espacio de tiempo -o anchura temporal- de los pulsos es de entre 50 y 200 ns. Una fluencia de incidencia de 5-10 J/cm² puede ser suficiente para formar la deseada capa gráfica en la capa 400 y

formar los contactos óhmicos. Dentro del alcance de la presente divulgación se contemplan cualesquiera otras combinaciones de longitudes de onda, anchuras de pulsos e intervalos de fluencia.

5 **[0029]** En una realización, la superficie semiconductor desnuda de carburo de silicio puede someterse a una implantación de iones, o a diversas implantaciones de iones, después del adelgazamiento de la oblea. Posteriormente, la superficie implantada puede irradiarse mediante un proceso láser de dos pasos, en el que la primera irradiación es un pulso, o pulsos, de insuficiente fluencia para fundir la superficie de carburo de silicio, pero que tiene la suficiente fluencia para reparar el daño a los cristales debido a la implantación de iones y el esmerilado. En el segundo paso, la superficie se irradia con un pulso -o pulsos- láser con la suficiente fluencia para fundir la superficie de carburo de silicio y crear la capa gráfica -rica en carbono- en la superficie sometida a una implantación de iones. Cuando el sustrato es carburo de silicio-4H, la implantación de iones de nitrógeno o fósforo para un material de tipo n, o aluminio o boro para un material de tipo p, puede implementarse cuando puedan usarse energías iónicas habituales de entre 40 y 150 keV y dosis de $1E14$ a $5E16$ iones/cm². En esta realización, en el caso de un carburo de silicio-4H, el láser utilizado para formar la capa gráfica puede tener una longitud de onda de entre 315 nm y 400 nm, de manera que el espacio de tiempo -o anchura temporal- de los pulsos es de entre 50 y 200 ns. Una fluencia de incidencia de $1-5$ J/cm² es suficiente para reparar el cristal dañado sin que haya un derretimiento. El posterior paso de fundido o derretimiento de la superficie de carburo de silicio normalmente utiliza una fluencia láser de $5-10$ J/cm² que es suficiente para formar la deseada capa gráfica para los contactos óhmicos. Dentro del alcance de la presente divulgación se contemplan cualesquiera otras combinaciones de longitudes de onda, anchuras de pulsos e intervalos de fluencia.

25 **[0030]** En una realización, la superficie semiconductor desnuda de carburo de silicio puede someterse a una implantación de iones, o a diversas implantaciones de iones, después del adelgazamiento de la oblea. Posteriormente, la superficie implantada puede irradiarse mediante un proceso láser de tres pasos, en el que la primera irradiación es un pulso, o pulsos, de insuficiente fluencia para fundir la superficie de carburo de silicio, pero que tiene la suficiente fluencia para reparar el daño a los cristales debido a la implantación de iones y el esmerilado. En el segundo paso, la superficie se irradia con un pulso -o pulsos- láser con la suficiente fluencia para fundir la superficie de carburo de silicio y crear la capa gráfica -rica en carbono- en la superficie sometida a una implantación de iones. En esta realización, tras tratar con láser las superficies y someterlas a una implantación de iones, se deposita una capa metálica ópticamente fina hasta un grosor menor que la profundidad de penetración de la luz láser en el metal. Después, la capa metalizada se somete a una tercera irradiación, de manera que pueda depositarse la suficiente energía láser en la superficie de carburo de silicio a fin de conseguir el derretimiento del carburo de silicio y poder formar la capa gráfica. En esta realización, pueden obtenerse contactos óhmicos con unos valores de resistividad de 5×10^{-6} Ohm-cm². En el caso del carburo de silicio-4H, la implantación de iones de nitrógeno o fósforo para un material de tipo n, o aluminio o boro para un material de tipo p, puede implementarse cuando puedan usarse energías iónicas habituales de entre 40 y 150 keV y dosis de $1E14$ a $5E16$ iones/cm². En esta realización, en el caso de un carburo de silicio-4H, el láser utilizado para formar la capa gráfica puede tener una longitud de onda de entre 315 nm y 400 nm, de manera que el espacio de tiempo -o anchura temporal- de los pulsos es de entre 50 y 200 ns. Una fluencia de incidencia de $1-5$ J/cm² es suficiente para reparar el cristal dañado sin que haya un derretimiento. El posterior paso de fundido o derretimiento de la superficie de carburo de silicio normalmente utiliza una fluencia láser de $5-10$ J/cm² que es suficiente para formar la deseada capa gráfica para los contactos óhmicos. En el caso del tercer tratamiento con láser, después de depositar la película metálica ópticamente fina en la superficie tratada con láser y sometida a implantación de iones, una fluencia típica de $3-7$ J/cm² es suficiente para formar la deseada capa gráfica para contactos óhmicos que alcanzan una resistividad de 5×10^{-6} Ohm-cm². Dentro del alcance de la presente divulgación se contemplan cualesquiera otras combinaciones de longitudes de onda, anchuras de pulsos e intervalos de fluencia.

50 **[0031]** En una realización, la superficie semiconductor desnuda de carburo de silicio puede someterse a una implantación de iones, o a diversas implantaciones de iones, después del adelgazamiento de la oblea. Posteriormente, la superficie implantada se irradia mediante un proceso láser de dos pasos, en el que la primera irradiación es un pulso, o pulsos, de insuficiente fluencia para fundir la superficie de carburo de silicio, pero que tiene la suficiente fluencia para reparar el daño a los cristales debido a la implantación de iones y el esmerilado. En esta realización, tras tratar con láser las superficies y someterlas a una implantación de iones, se deposita una capa metálica ópticamente fina hasta un grosor menor que la profundidad de penetración de la luz láser en el metal. Después, la capa metalizada puede someterse a una segunda irradiación láser, de manera que pueda depositarse la suficiente energía láser en la superficie de carburo de silicio a fin de conseguir el derretimiento del carburo de silicio y poder formar la capa gráfica. En esta realización, pueden obtenerse contactos óhmicos con unos valores de resistividad de 5×10^{-6} Ohm-cm². En el caso del carburo de silicio-4H, la implantación de iones de nitrógeno o fósforo para un material de tipo n, o aluminio o boro para un material de tipo p, puede implementarse cuando puedan usarse energías iónicas habituales de entre 40 y 150 keV y dosis de $1E14$ a $5E16$ iones/cm². En esta realización, en el caso de un carburo de silicio-4H, el láser utilizado para formar la capa gráfica puede tener una longitud de onda de entre 315 nm y 400 nm, de manera que el espacio de tiempo -o anchura temporal- de los pulsos es de entre 50 y 200 ns. Una fluencia de incidencia de $1-5$ J/cm² es suficiente para reparar el cristal dañado sin que haya un derretimiento. En el caso del segundo tratamiento con láser, después de depositar la película metálica ópticamente fina en la superficie tratada con láser y sometida a implantación de iones, una fluencia típica de $3-7$ J/cm² es suficiente para formar la deseada capa gráfica para obtener contactos óhmicos que alcanzan una resistividad de 5×10^{-6} Ohm-cm².

Dentro del alcance de la presente divulgación se contemplan cualesquiera otras combinaciones de longitudes de onda, anchuras de pulsos e intervalos de fluencia.

REIVINDICACIONES

1. Un método que comprende:

- 5 depositar una película metálica ópticamente fina (300) sobre la superficie inferior (105) de un sustrato (100) de una lámina u oblea semiconductor, de manera que la oblea semiconductor comprende el sustrato y al menos una capa (101; 102; 103) situada en la superficie superior del sustrato, de manera que el sustrato está compuesto de un material de banda prohibida ancha ('wide bandgap material', en inglés) y de manera que la superficie inferior del sustrato está expuesta;
- 10 irradiar la superficie inferior (105) del sustrato (100) y la película metálica ópticamente fina (300) con un primer rayo láser, de manera que el primer rayo láser tiene la energía suficiente para modificar una banda prohibida -o brecha energética- del material de banda prohibida ancha a fin de producir una capa grafitica (203) en la superficie inferior (105) del sustrato (100); y
- 15 depositar una capa metálica en la superficie inferior (105) del sustrato (100) para crear un contacto óhmico en el área de la capa grafitica (203), de manera que el material de banda prohibida ancha es carburo de silicio.
2. El método de la reivindicación 1, que además comprende -antes de irradiar la superficie inferior (105) del sustrato (100)- esmerilar o pulir la superficie inferior (105) del sustrato (100) para 'adelgazar' o hacer más fino el sustrato (100).
- 20 3. El método de la reivindicación 1, de manera que el material de banda prohibida ancha es carburo de silicio-4H.
4. El método de la reivindicación 1, de manera que la película metálica ópticamente fina (300) se deposita hasta un grosor menor que la profundidad de penetración del primer rayo láser en la película metálica ópticamente fina (300).
- 25 5. El método de la reivindicación 1, de manera que la película metálica ópticamente fina (300) es una película metálica de aluminio, una película metálica de titanio, una película metálica de níquel, una película metálica de tantalio, una película metálica de tungsteno o una película metálica de paladio.
- 30 6. El método de la reivindicación 1, de manera que el grosor de la película metálica ópticamente fina (300) es menor que 100 nm.
7. El método de la reivindicación 1, que además comprende -después de irradiar la superficie inferior (105) del sustrato (100) y antes de depositar la capa metálica en la superficie inferior (105) del sustrato (100)- eliminar los restos de película metálica ópticamente fina (300) de la superficie inferior (105) del sustrato (100).
- 35 8. El método de la reivindicación 1, de manera que el primer rayo láser tiene una longitud de onda de entre 315 nm y 400 nm.
- 40 9. El método de la reivindicación 1, de manera que el primer rayo láser tiene una energía fotónica por debajo de la banda prohibida (o 'bandgap') del material de banda prohibida ancha.
10. El método de la reivindicación 2, que además comprende: después de esmerilar o pulir la superficie inferior (105) del sustrato (100) y antes de irradiar la superficie inferior (105) del sustrato (100) con el primer rayo láser, someter la superficie inferior (105) del sustrato (100) a una implantación de iones con átomos dopantes.
- 45 11. El método de la reivindicación 10, de manera que el primer rayo láser tiene una longitud de onda, una duración de pulsos y una fluencia suficientes como para fundir el material de banda prohibida ancha y provocar la activación simultánea de los átomos dopantes.
- 50 12. El método de la reivindicación 1, de manera que, antes de irradiar la superficie inferior (105) del sustrato (100) con el primer rayo láser, se irradia la superficie inferior (105) del sustrato (100) con un segundo rayo láser, de manera que el segundo rayo láser no tiene la energía suficiente para alterar la banda prohibida del material de banda prohibida ancha, y de manera que el segundo rayo láser tiene la energía suficiente para reparar el daño de los cristales del material de banda prohibida ancha.
- 55 13. El método de la reivindicación 12, de manera que el segundo rayo láser tiene una fluencia incidente de entre 1 J/cm² y 5 J/cm², y de manera que el primer rayo láser tiene una fluencia incidente de entre 3 J/cm² y 7 J/cm².
- 60 14. El método de la reivindicación 1, de manera que el hecho de irradiar la superficie inferior (105) del sustrato (100) incluye irradiar la superficie inferior (105) del sustrato (100) con el primer rayo láser usando diversos pulsos láser.
- 65 15. El método de la reivindicación 14, de manera que cada uno de los diversos pulsos láser tiene una anchura de pulso temporal de entre 50 y 200 ns.

16. El método de la reivindicación 1, de manera que el material de banda prohibida ancha es carburo de silicio-6H.

17. El método de la reivindicación 1, de manera que el material de banda prohibida ancha es carburo de silicio-3C.

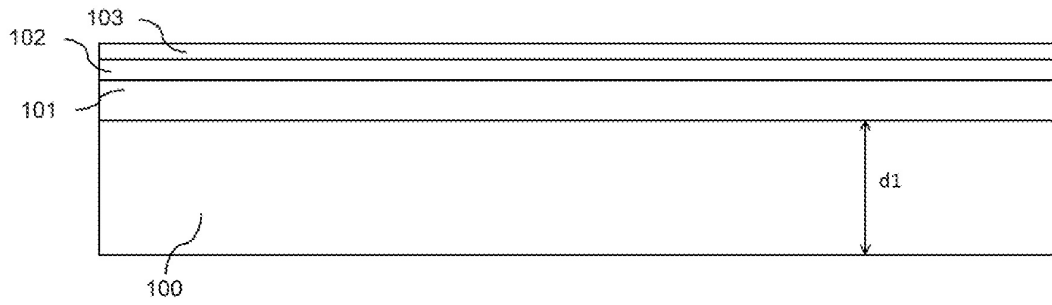


FIG. 1A

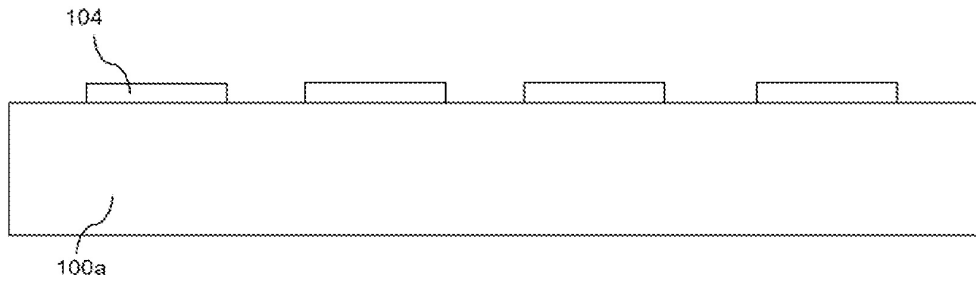


FIG. 1B

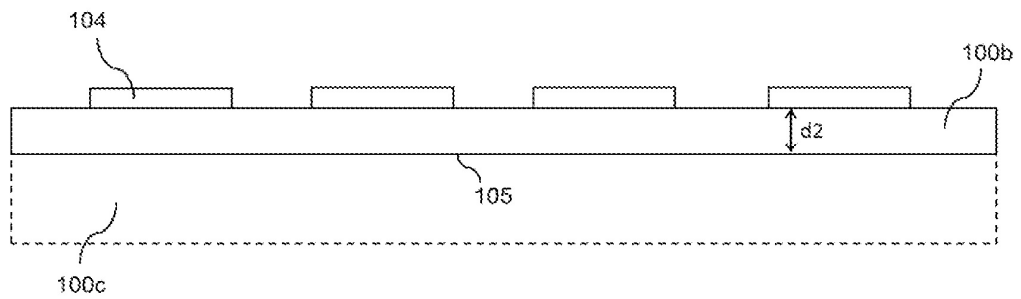


FIG. 1C

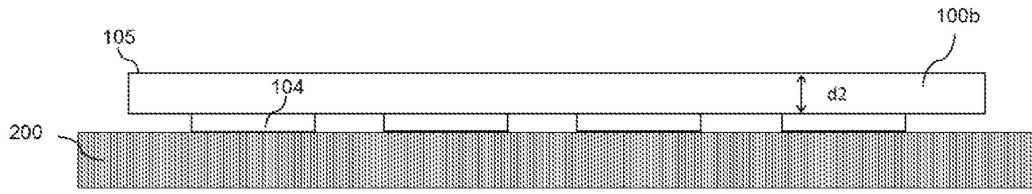


FIG. 2A

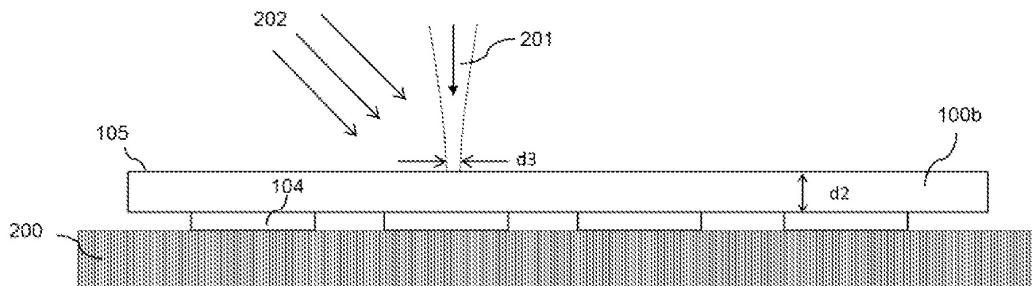


FIG. 2B

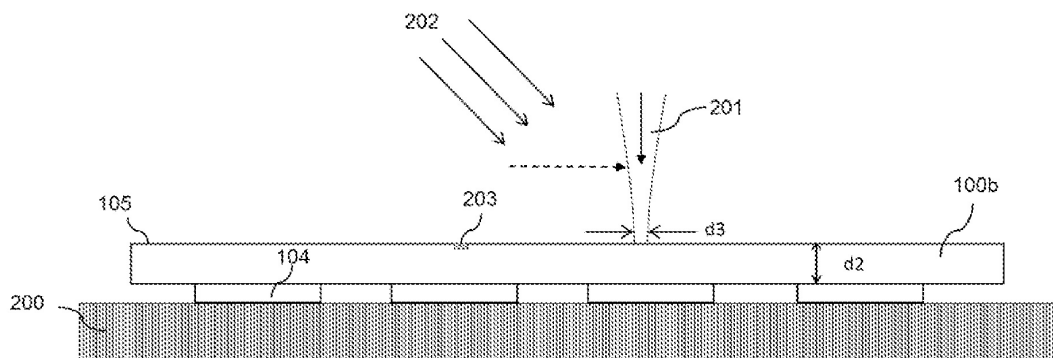


FIG. 2C

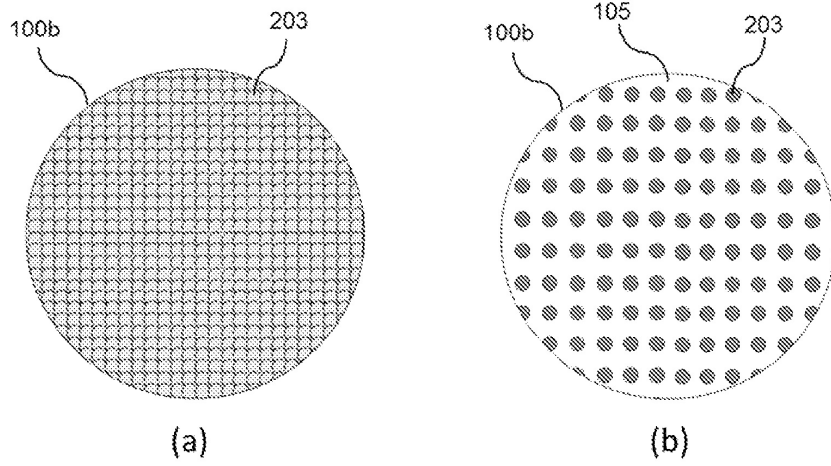


FIG. 2D

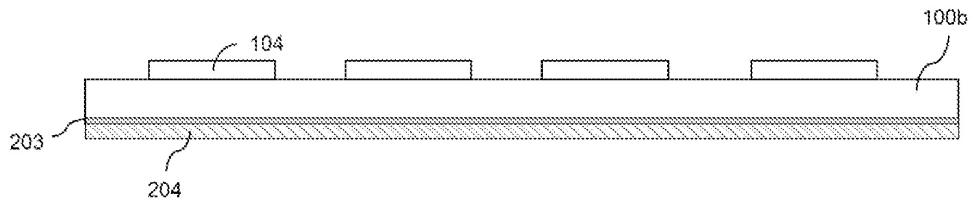


FIG. 2E

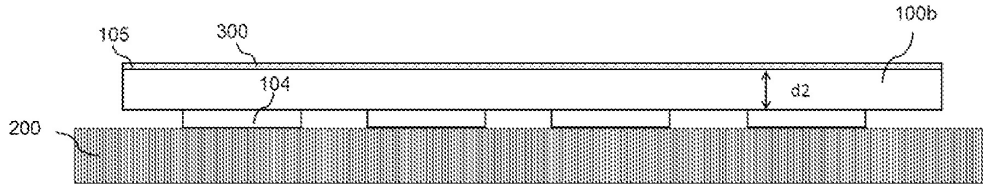


FIG. 3A

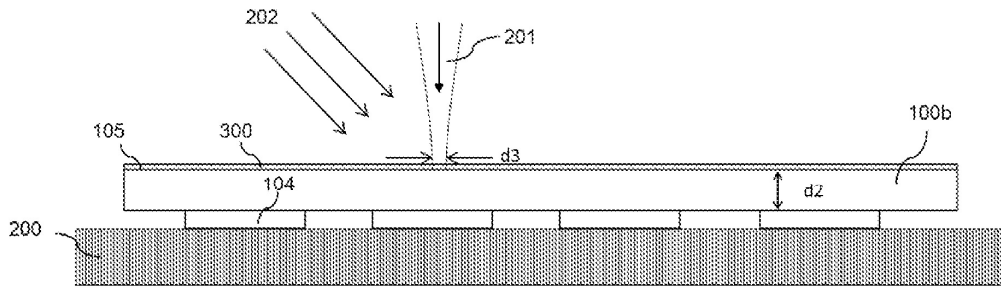


FIG. 3B

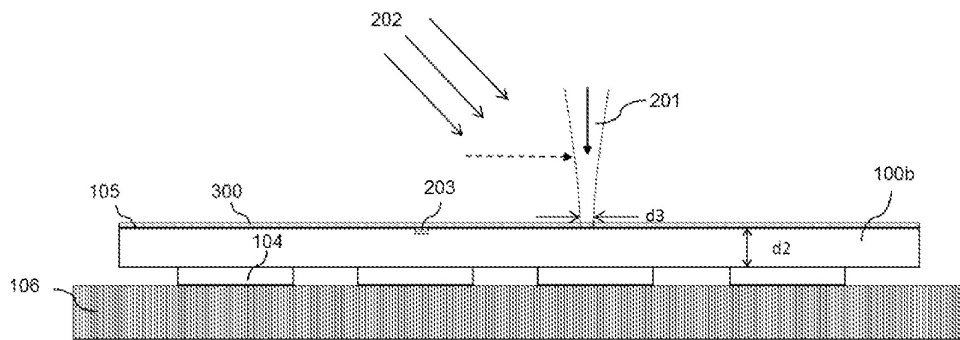


FIG. 3C

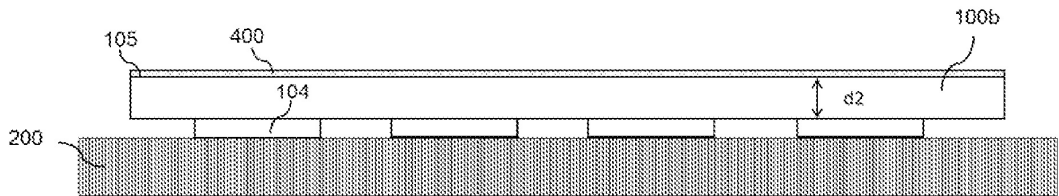


FIG. 4A

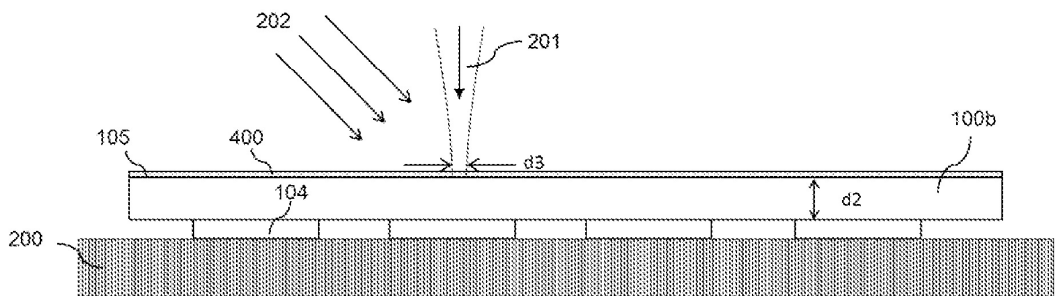


FIG. 4B

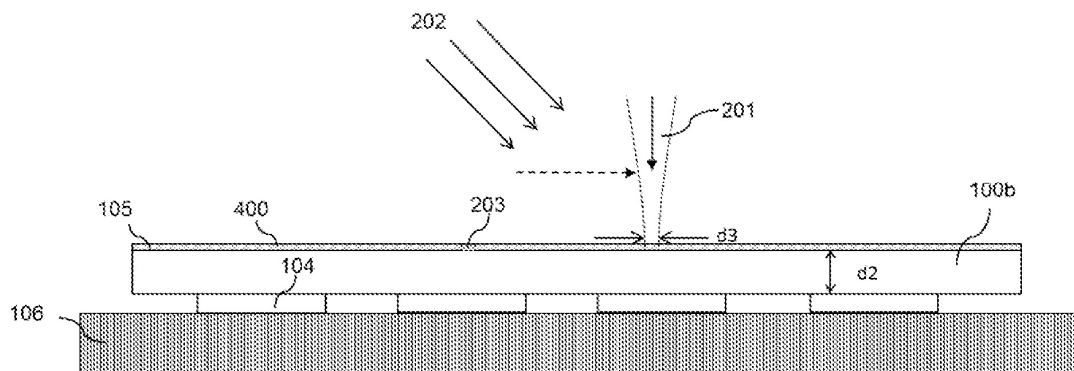


FIG. 4C