

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 803 026**

51 Int. Cl.:

**H01L 31/048** (2014.01)

**B32B 17/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.12.2015** **E 15199938 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.04.2020** **EP 3182466**

54 Título: **Encapsulación de módulo fotovoltaico**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**22.01.2021**

73 Titular/es:

**OXFORD PHOTOVOLTAICS LIMITED (100.0%)**  
**Oxford Industrial Park, Unit 7-8, Mead Road**  
**Yarnton OX5 1QU, GB**

72 Inventor/es:

**WATTS, JIM y**  
**SEBASTIEN, THOMAS**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 803 026 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

Encapsulación de módulo fotovoltaico

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un procedimiento de encapsulamiento de un módulo fotovoltaico y un módulo fotovoltaico.

10 **Antecedentes de la invención**

Un dispositivo fotovoltaico, o celda solar, es un dispositivo que convierte la energía de la luz directamente en electricidad por el efecto fotovoltaico. Por lo tanto, un sistema fotovoltaico convencional comprende una matriz de módulos fotovoltaicos, donde cada módulo fotovoltaico comprende múltiples dispositivos fotovoltaicos integrados entre sí y encapsulados para proporcionar protección contra daños mecánicos y el clima. La figura 1 ilustra esquemáticamente (es decir, es una representación simplificada que no está a escala) un ejemplo de una matriz fotovoltaica que comprende múltiples módulos fotovoltaicos, con cada módulo fotovoltaico que comprende múltiples dispositivos fotovoltaicos.

La figura 2 ilustra esquemáticamente una vista despiezada de un ejemplo de módulo fotovoltaico convencional que comprende múltiples celdas solares de silicio. En un módulo fotovoltaico convencional de este tipo, se intercalan múltiples celdas solares de silicio entre una lámina posterior aislante y una lámina frontal transparente mediante el uso de materiales adhesivos encapsulantes, tal como polietileno-acetato de vinilo (EVA, por sus siglas en inglés) o butiral de polivinilo (o PVB, por sus siglas en inglés), con un sellador de borde (por ejemplo, poliisobutileno, siliconas y resinas epoxi/acrílicas) depositadas alrededor de la periferia para proporcionar cierta protección contra la entrada de humedad. Los componentes de tal módulo fotovoltaico convencional se aseguran juntos en un procedimiento de laminación que consiste en apilar los componentes, aplicar un vacío para eliminar cualquier aire y otros volátiles, la aplicación de presión para garantizar un buen contacto superficial y adhesión entre las diferentes capas, y calentar los componentes, típicamente a temperaturas de alrededor de 160 °C durante 15 a 30 minutos, para fundir las capas de material encapsulante y el sellador de borde para asegurar todo en su lugar. Para completar el módulo, un marco de metal luego se ensambla típicamente alrededor de los bordes del módulo para aumentar la estabilidad mecánica y facilitar el montaje del módulo, y se une una caja de conexión a una superficie exterior del módulo (típicamente la cara externa de la lámina posterior) que proporciona una conexión eléctrica a través de la estructura laminada con los dispositivos fotovoltaicos contenidos dentro del módulo.

Si bien los procedimientos y materiales de encapsulación usados para los módulos fotovoltaicos convencionales de primera generación están destinados para proporcionar cierta protección contra la entrada de humedad, esto es en gran medida para evitar la corrosión de los conectores eléctricos (por ejemplo, trazas/cables/cintas conductoras) que ensartan dispositivos fotovoltaicos dentro del módulo y para evitar la delaminación inducida por la humedad, ya que los dispositivos fotovoltaicos basados en silicio no son particularmente sensibles a la humedad. En consecuencia, el uso de capas superiores e inferiores de material encapsulante junto con un sellador de borde se ha aceptado como suficiente para los módulos fotovoltaicos convencionales. Por el contrario, algunos de los materiales fotovoltaicos de segunda y tercera generación son muy sensibles a los efectos de la humedad, de manera que incluso los materiales selladores de muy baja permeabilidad a la humedad y difusividad usados en los módulos fotovoltaicos convencionales no proporcionan protección suficiente contra la humedad para evitar la degradación de estos materiales fotovoltaicos dentro de la vida útil requerida de un módulo.

Por ejemplo, una clase de materiales fotovoltaicos que ha atraído un interés significativo han sido las perovskitas. Los materiales de este tipo forman una estructura cristalina  $ABX_3$  que se ha encontrado que muestra una apertura de banda favorable, un alto coeficiente de absorción y largas longitudes de difusión, lo que hace que dichos compuestos sean ideales como un absorbente en dispositivos fotovoltaicos. Los primeros ejemplos del uso de materiales de perovskitas en aplicaciones fotovoltaicas se informan por Kojima, A. y otros, 2009. Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells. Journal of the American Chemical Society, 131(17), pp.6050-1 en el que se usaron perovskitas de haluro metálico híbrido orgánico-inorgánico como el sensibilizador en celdas fotoelectroquímicas a base de electrolitos líquidos. Kojima y otros informan que la eficiencia de conversión de energía solar más alta obtenida (o eficiencia de conversión de energía, PCE) fue de 3,8 %, aunque en este sistema los absorbentes de perovskita decayeron rápidamente y las celdas disminuyeron su rendimiento después de solo 10 minutos.

Posteriormente, Lee, M.M. y otros, 2012. Efficient hybrid solar cells based on meso-superstructured organometal halide perovskites. Science (New York, N.Y.), 338(6107), pp.643-7 informaron una "celda solar meso-superestructurada" en la que el electrolito líquido se reemplazó por un conductor de agujero de estado sólido (o material de transporte de agujero, HTM), spiro-MeOTAD. Lee y otros informaron un aumento significativo en la eficiencia de conversión lograda, mientras que también lograron una estabilidad de celda muy mejorada como resultado de evitar el uso de un solvente líquido. En los ejemplos descritos, las nanopartículas de perovskitas  $CH_3NH_3PbI_3$  asumen el papel del sensibilizador dentro de la celda fotovoltaica, al inyectar electrones en un andamio

de TiO<sub>2</sub> mesoscópico y agujeros en el HTM de estado sólido. Tanto el TiO<sub>2</sub> como el HTM actúa como contactos selectivos a través de los que se extraen los portadores de carga producidos por la fotoexcitación de las nanopartículas de perovskitas.

5 El trabajo adicional descrito en el documento WO2013/171517 divulgó cómo el uso de perovskitas de aniones mixtos como un sensibilizador/absorbente en dispositivos fotovoltaicos, en lugar de perovskitas de un solo anión, da como resultado dispositivos fotovoltaicos más estables y altamente eficientes. En particular, este documento divulga que la estabilidad superior de las perovskitas de aniones mixtos se destaca por el hallazgo de que los dispositivos exhiben un blanqueamiento de color insignificante durante el procedimiento de fabricación del dispositivo, mientras que  
10 también exhiben una eficiencia de conversión de energía solar total de más del 10 %. En comparación, las perovskitas de un solo anión equivalentes son relativamente inestables, con blanqueo que ocurre rápidamente cuando se fabrican películas a partir de las perovskitas de haluro único en condiciones ambientales.

Más recientemente, el documento WO2014/045021 describió dispositivos fotovoltaicos de heterounión plana (PHJ, por sus siglas en inglés) que comprenden una película delgada de un absorbente de perovskita fotoactivo dispuesto entre capas de tipo n (transporte de electrones) y tipo p (transporte de agujeros). Inesperadamente, se descubrió que se podían obtener buenas eficiencias de dispositivo mediante el uso de una película delgada compacta (es decir, sin porosidad efectiva/abierto) de la perovskita fotoactiva, en oposición al requisito de un compuesto mesoporoso, lo que demuestra que los absorbentes de perovskita pueden funcionar a altas eficiencias en  
15 arquitecturas de dispositivos simplificadas. El documento WO 2011/008905 A1 divulga un procedimiento para sellar un dispositivo fotónico de acuerdo con la técnica anterior.

Si bien los materiales de perovskitas muestran un potencial significativo para proporcionar energía solar a un costo mucho más bajo que las tecnologías tradicionales, se ha demostrado que son extremadamente sensibles a la degradación inducida por la humedad, lo que afecta tanto la estabilidad a corto como a largo plazo de los dispositivos fotovoltaicos que hacen uso de materiales de perovskitas fotoactivos.  
25

### **Sumario de la presente invención**

30 Con el fin de proporcionar una protección suficiente contra la entrada de humedad, los inventores han reconocido que la unión con fritada de vidrio puede proporcionar sellos herméticos que excluyen tanto la humedad como el gas y, por lo tanto, podrían proporcionar una ruta para la encapsulación de módulos fotovoltaicos que proporcionará protección suficiente a los materiales fotoactivos sensibles a la humedad. Sin embargo, los presentes inventores también han reconocido que los enfoques convencionales para la unión con fritada de vidrio tienen limitaciones que son particularmente problemáticas para una serie de aplicaciones fotovoltaicas. En particular, la unión con fritada de vidrio requiere típicamente temperaturas de unión mayores a 300 °C, y a menudo temperaturas superiores a 450 °C; sin embargo, los materiales fotoactivos que son particularmente sensibles a la humedad, como las perovskitas, también sufrirán una degradación significativa/catastrófica a tan altas temperaturas.

40 Además, los presentes inventores han reconocido que, para una serie de aplicaciones previstas de materiales fotoactivos tales como las perovskitas, los enfoques convencionales de unión con fritada de vidrio no son capaces de enlazar/abarcarse la distancia que debe cubrirse para encapsular dispositivos dentro de un módulo. En particular, para una serie de aplicaciones previstas de materiales fotoactivos de perovskitas, la distancia entre las superficies unidas del módulo estarán en el intervalo de 50 µm a 800 µm, mientras que la unión con fritada de vidrio convencional típicamente proporciona una abertura de 5 µm a 30 µm entre las superficies unidas. Si bien es posible depositar una costura más gruesa/más profunda/cordón de fritada de vidrio para unir a través de aberturas más amplias, los enfoques convencionales de unión con fritada de vidrio requerirían un calentamiento significativo de la fritada depositada para fundir el volumen de fritada de vidrio lo suficiente como para formar un sello hermético consistente, y dicho calentamiento dañaría los componentes sensibles al calor.  
45

50 Por lo tanto, los presentes inventores han desarrollado un procedimiento para encapsular un módulo fotovoltaico que supera estos problemas. En particular, estos procedimientos permiten la formación de un sello hermético entre las láminas frontal y posterior de un módulo que están separadas por distancias relativamente grandes (por ejemplo, distancias superiores a 50 µm), mientras que también evitan exponer los dispositivos fotovoltaicos que deben estar contenidos dentro del módulo a la exposición a temperaturas que dañarían los materiales fotoactivos (por ejemplo, para materiales de perovskitas, temperaturas inferiores a 160 °C y preferentemente inferiores a 100 °C). El objeto de la presente invención se define en las reivindicaciones 1 y 11.  
55

60 De acuerdo con un primer aspecto, se proporciona un procedimiento para encapsular un módulo fotovoltaico que comprende una pluralidad de dispositivos fotovoltaicos. El procedimiento comprende formar una pared de vidrio compacto que se extiende desde una periferia de una superficie de una primera lámina de vidrio hasta una periferia de una superficie opuesta de una segunda lámina de vidrio, lo que ubica la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos dentro de un volumen encerrado por la primera lámina de vidrio, la segunda lámina de vidrio y la pared de vidrio compacto, en el que la pared de vidrio compacto se forman a partir de una pluralidad de hileras de fritada de vidrio, y se sella el volumen encerrado de vidrio compacto al usar unión con fritada de vidrio asistida por láser. Preferentemente, la pared de vidrio compacto se forma a partir de una pluralidad de hileras de fritada de vidrio que se  
65

transforman individualmente en vidrio compacto por calentamiento en un horno o estufa. Preferentemente, la distancia extendida por la pared es de 50  $\mu\text{m}$  o mayor, con mayor preferencia entre 150  $\mu\text{m}$  y 1.000  $\mu\text{m}$ , y aún con mayor preferencia entre 200  $\mu\text{m}$  y 800  $\mu\text{m}$ .

5 La pared de vidrio compacto rodea preferentemente el volumen encerrado y es continua. La pared de vidrio compacto puede resaltar sustancialmente de forma perpendicular con relación a la superficie de la primera lámina de vidrio y a la superficie opuesta de la segunda lámina de vidrio.

10 La etapa de formar una pared de vidrio compacto puede comprender cualquiera de formar la pared de vidrio compacto en la primera lámina de vidrio; y formar una primera pared de vidrio compacto de altura parcial en la primera lámina de vidrio y una segunda pared de vidrio compacto de altura parcial en la segunda lámina de vidrio. El procedimiento puede comprender cualquiera de formar una pared de vidrio compacto en la primera lámina de vidrio y posteriormente usar unión con fritas de vidrio asistida por láser para fusionar la pared de vidrio compacto a la segunda lámina de vidrio; y formar una primera pared de vidrio compacto de altura parcial en la primera lámina de vidrio, formar una segunda pared de vidrio compacto de altura parcial en la segunda lámina de vidrio, y posteriormente mediante el uso de unión con fritas de vidrio asistida por láser para fusionar la primera pared de vidrio compacto de altura parcial en la primera lámina de vidrio a la segunda altura parcial de vidrio compacto en la segunda lámina de vidrio.

20 La etapa de formar la pared de vidrio compacto en la primera lámina de vidrio puede comprender (i) depositar una hilera de pasta de fritas de vidrio alrededor de una periferia de la superficie de la primera lámina de vidrio; y transformar la pasta de fritas de vidrio en vidrio compacto por calentamiento de la primera lámina de vidrio en un horno o estufa. La etapa de formar una pared de vidrio compacto en la primera lámina de vidrio puede comprender además repetir la etapa (i) al menos una vez. La etapa de formar una pared de vidrio compacto en la primera lámina de vidrio puede comprender, además, al menos una vez, depositar una hilera adicional de pasta de fritas de vidrio sobre la pared de vidrio compacto; y transformar la hilera adicional de la pasta de fritas de vidrio en vidrio compacto por calentamiento de la primera lámina de vidrio en un horno o estufa, lo que aumenta de esta manera la altura de la pared de vidrio compacto.

30 La etapa de etapa de sellar el volumen encerrado mediante el uso de unión con fritas de vidrio asistida por láser puede comprender proporcionar pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente en la pared de vidrio compacto; alinear la primera lámina de vidrio con la segunda lámina de vidrio de manera que la pared de vidrio compacto esté en contacto con la periferia de la segunda lámina de vidrio; y mediante el uso de unión con fritas de vidrio asistida por láser fusionar la pared de vidrio compacto provisto en la primera lámina de vidrio a la segunda lámina de vidrio al dirigir un láser a la pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente. La etapa de proporcionar pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente sobre la pared de vidrio compacto puede comprender depositar pasta de fritas de vidrio en la pared de vidrio compacto e implementar el acondicionamiento térmico de la pasta de fritas de vidrio, preferentemente en el que acondicionamiento térmico se implementa por calentamiento en un horno o estufa.

40 La pluralidad de dispositivos fotovoltaicos puede ubicarse en la primera lámina de vidrio después de la etapa de proporcionar pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente en la pared de vidrio compacto; o la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos puede ubicarse en la segunda lámina de vidrio antes de la etapa de unión de la pared de vidrio compacto formada en la primera lámina de vidrio a la periferia de la segunda lámina de vidrio.

45 La etapa de sellar el volumen encerrado mediante el uso de unión con fritas de vidrio asistida por láser puede comprender proporcionar pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio; alinear la primera lámina de vidrio con la segunda lámina de vidrio de manera que la pared de vidrio compacto esté en contacto con la pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente proporcionada alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio; y mediante el uso de unión con fritas de vidrio asistida por láser fusionar la pared de vidrio compacto proporcionada en la primera lámina de vidrio a la segunda lámina de vidrio al dirigir un láser a la pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente.

50 La etapa de proporcionar la pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio puede comprender depositar pasta de fritas de vidrio alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio e implementar acondicionamiento térmico de la pasta de fritas de vidrio, preferentemente en el que el acondicionamiento térmico es implementado por calentamiento en un horno o estufa. La etapa de proporcionar pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio puede comprender depositar pasta de fritas de vidrio en una ubicación alrededor de una periferia de la segunda lámina de vidrio que corresponde con la ubicación de la pared de vidrio compacto formada alrededor de la periferia de la primera lámina de vidrio.

60 La pluralidad de dispositivos fotovoltaicos puede entonces ubicarse en la primera lámina de vidrio después de la etapa de formar una pared de compacto alrededor de la periferia de la primera lámina de vidrio; o la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos puede ubicarse en la segunda lámina de vidrio después de la etapa de proporcionar pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio. La etapa de formar una primera pared de vidrio compacto de altura parcial en la primera lámina de vidrio puede comprender (i)

depositar una hilera de pasta de fritada de vidrio alrededor de una periferia de la superficie de la primera lámina de vidrio; y transformar la pasta de fritada de vidrio en vidrio compacto por calentamiento de la primera lámina de vidrio en un horno o estufa. La etapa de formar una segunda pared de vidrio compacto de altura parcial en la segunda lámina de vidrio puede comprender entonces (ii) depositar una hilera de pasta de fritada de vidrio alrededor de una periferia de la superficie opuesta de la segunda lámina de vidrio; y transformar la pasta de fritada de vidrio en vidrio compacto por calentamiento de la segunda lámina de vidrio en un horno o estufa. La etapa de formar una pared de vidrio compacto puede comprender además repetir una o ambas etapas (i) y (ii) al menos una vez.

La etapa de formar una primera pared de vidrio compacto de altura parcial en la primera lámina de vidrio puede comprender, al menos una vez, depositar una hilera adicional de pasta de fritada de vidrio sobre la primera pared de vidrio compacto de altura parcial; y transformar la hilera adicional de la pasta de fritada de vidrio en vidrio compacto por calentamiento de la primera lámina de vidrio en un horno o estufa, lo que aumenta de esta manera la altura de la primera pared de vidrio compacto de altura parcial. La etapa de formar una segunda pared de vidrio compacto de altura parcial en la segunda lámina de vidrio puede comprender, al menos una vez, depositar una hilera adicional de pasta de fritada de vidrio sobre la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial; y transformar la hilera adicional de la pasta de fritada de vidrio en vidrio compacto por calentamiento de la segunda lámina de vidrio en un horno o estufa, lo que aumenta de esta manera la altura de la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial.

La etapa de etapa de sellar el volumen encerrado mediante el uso de unión con fritada de vidrio asistida por láser puede comprender proporcionar pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente en una de la primera pared de vidrio compacto de altura parcial y la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial; alinear la primera lámina de vidrio con la segunda lámina de vidrio de manera que la primera pared de vidrio compacto de altura parcial en contacto con la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial; y mediante el uso de unión con fritada de vidrio asistida por láser para fusionar la primera pared de vidrio compacto de altura parcial a la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial al dirigir un láser a la pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente.

La etapa de proporcionar pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente en una de la primera pared de vidrio compacto de altura parcial y la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial puede comprender depositar pasta de fritada de vidrio sobre una de la primera pared de vidrio compacto de altura parcial y la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial, e implementar acondicionamiento térmico de la pasta de fritada de vidrio, preferentemente en la que el acondicionamiento térmico se implementa por calentamiento en un horno o estufa.

El procedimiento puede comprender, además, antes de sellar el volumen encerrado mediante el uso de unión con fritada de vidrio asistida por láser, ubicar la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos en una de la primera lámina de vidrio y la segunda lámina de vidrio y luego laminar el módulo fotovoltaico para unir la primera lámina de vidrio y la segunda lámina de vidrio juntas mediante el uso de al menos una capa de un material encapsulante. La etapa de laminar el módulo fotovoltaico puede comprender aplicar calor y presión suficientes para fundir al menos una capa de un material encapsulante, y enfriar el módulo fotovoltaico lo suficiente para solidificar el material encapsulante fundido.

El procedimiento puede comprender, además, después de ubicar la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos en una de la primera lámina de vidrio y la segunda lámina de vidrio, aplicar una capa de material encapsulante sobre la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos, ubicar la otra de la primera lámina de vidrio y la segunda lámina de vidrio sobre la capa de material encapsulante y aplicar calor y presión suficientes para fundir la capa de material encapsulante. La etapa de ubicar la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos en una de la primera lámina de vidrio y la segunda lámina de vidrio puede comprender formar la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos en una superficie de la primera lámina de vidrio y la segunda lámina de vidrio. La etapa de ubicar la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos en una de la primera lámina de vidrio y la segunda lámina de vidrio puede comprender colocar la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos en una de la superficie de la primera lámina de vidrio y la superficie opuesta de la segunda lámina de vidrio.

El procedimiento puede comprender además aplicar una primera capa de material encapsulante en una de la superficie de la primera lámina de vidrio y la superficie opuesta de la segunda lámina de vidrio, ubicar la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos en la primera capa de material encapsulante, aplicar una segunda capa de material encapsulante sobre la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos, ubicar la otra de la primera lámina de vidrio y la segunda lámina de vidrio sobre la segunda capa de material encapsulante, y aplicar calor y presión suficientes para fundir la primera y la segunda capas de material encapsulante.

La pared de vidrio compacto puede formarse a partir de una primera pasta de fritada de vidrio, y la etapa de sellar el volumen encerrado mediante el uso de unión con fritada de vidrio asistida por láser puede hacer uso de una segunda pasta de fritada de vidrio, en la que la primera pasta de fritada de vidrio y la segunda pasta de fritada de vidrio son iguales o diferentes. De acuerdo con un segundo aspecto, se proporciona un módulo fotovoltaico que comprende una pared de vidrio compacto que se extiende desde una periferia de una superficie de una primera lámina de vidrio hasta una periferia de una superficie opuesta de una segunda lámina de vidrio; y una pluralidad de dispositivos fotovoltaicos ubicados dentro de un volumen encerrado por la primera lámina de vidrio, la segunda lámina de vidrio y la pared de vidrio compacto; en la que la pared de vidrio compacto está formada a partir de una pluralidad de hileras de fritada de

vidrio; en la que la distancia extendida por la pared de vidrio compacto es de 50  $\mu\text{m}$  o mayor. Preferentemente, la pared de vidrio compacto está fusionada a la superficie de la primera lámina de vidrio y a la superficie opuesta a la segunda lámina de vidrio. Preferentemente, la distancia extendida por la pared está entre 150  $\mu\text{m}$  y 1.000  $\mu\text{m}$ , y con mayor preferencia está entre 200  $\mu\text{m}$  y 800  $\mu\text{m}$ .

5 Preferentemente, la pared de vidrio compacto resalta sustancialmente de forma perpendicular con relación a la superficie de la primera lámina de vidrio y a la superficie opuesta de la segunda lámina de vidrio. El grosor de la pared de vidrio compacto puede ser inferior a 5 mm, y preferentemente está entre 1 mm y 3 mm.

10 El módulo fotovoltaico puede comprender además al menos una capa de material encapsulante dispuesto entre la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos y una de la primera lámina de vidrio y la segunda lámina de vidrio. El módulo fotovoltaico puede comprender entonces una primera capa de material encapsulante dispuesto entre la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos y la primera lámina de vidrio y una segunda capa de material encapsulante dispuesto entre la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos y la segunda lámina de vidrio.

15 Opcionalmente, uno o más de la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos son dispositivos fotovoltaicos de unión múltiple, y la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos se unen entonces preferentemente a la primera lámina de vidrio y a la segunda lámina de vidrio por al menos una capa de material encapsulante.

20 Opcionalmente, una o ambas de la primera lámina de vidrio y la segunda lámina de vidrio comprenden una lámina de vidrio reforzada con calor o totalmente templada y cada uno de la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos comprende un dispositivo fotovoltaico de película delgada.

25 Opcionalmente, la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos se forma directamente sobre una de la superficie de la primera lámina de vidrio y la superficie opuesta de la segunda lámina de vidrio, y una capa de material encapsulante dispuesto entre preferentemente entre la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos y el otro de la superficie de la primera lámina de vidrio y la superficie opuesta de la segunda lámina de vidrio.

30 Preferentemente, al menos una de la primera lámina de vidrio y la segunda lámina de vidrio se proporciona de agujeros pasantes que se extienden desde una superficie exterior hasta el volumen encerrado, y el módulo fotovoltaico comprende además uno o más conectores eléctricos que pasan a través de cada uno de los agujeros pasantes, y uno o más materiales selladores dispuestos dentro de cada uno de los agujeros pasantes y llenan cualquier espacio vacío entre los lados del agujero pasante y el conector eléctrico, y que comprende preferentemente un primer material sellador dispuesto en un extremo interno/distal del agujero pasante adyacente al volumen encerrado y un segundo material sellador dispuesto en el extremo externo/proximal del agujero pasante adyacente a la superficie externa del módulo.

### **Breve descripción de los dibujos**

40 La presente invención se describirá más particularmente a manera de ejemplo solo con referencia a los dibujos acompañantes, en los cuales:

La figura 1 ilustra esquemáticamente un ejemplo de una matriz fotovoltaica que comprende múltiples módulos fotovoltaicos, con cada módulo fotovoltaico que comprende múltiples dispositivos fotovoltaicos;

45 La figura 2 ilustra esquemáticamente una vista despiezada de un ejemplo de módulo fotovoltaico convencional que comprende múltiples celdas solares;

La figura 3a ilustra esquemáticamente una sección transversal de un ejemplo de un módulo fotovoltaico que se ha encapsulado al usar los procedimientos descritos en la presente memoria;

La figura 3b ilustra esquemáticamente una sección transversal de un ejemplo adicional de un módulo fotovoltaico que se ha encapsulado al usar los procedimientos descritos en la presente memoria;

50 La figura 4a ilustra esquemáticamente un ejemplo de un dispositivo fotovoltaico de unión múltiple;

La figura 4b ilustra esquemáticamente un ejemplo de un dispositivo fotovoltaico de película delgada;

Las figuras 5a a 5c ilustran esquemáticamente una implementación etapa a etapa de un ejemplo del procedimiento de encapsular un módulo fotovoltaico como se describe en la presente memoria;

55 Las figuras 6a a 6c ilustran esquemáticamente una implementación etapa a etapa de un ejemplo alternativo del procedimiento de encapsular un módulo fotovoltaico descrito en la presente memoria; y

Las figuras 7a a 7c ilustran esquemáticamente una implementación etapa a etapa de un ejemplo alternativo más adicional del procedimiento de encapsular un módulo fotovoltaico descrito en la presente memoria.

### **Descripción detallada**

#### **Definiciones**

65 El término "fotovoltaico" se refiere a la generación de electricidad como resultado de la exposición a la luz. Por lo tanto, el término "dispositivo fotovoltaico" se refiere a un dispositivo que convierte la energía de la luz directamente en electricidad por el efecto fotovoltaico, y es sinónimo del término "celda solar".

El término "módulo fotovoltaico", como se usa en la presente memoria, se refiere entonces a una unidad que comprende múltiples dispositivos fotovoltaicos integrados entre sí y encapsulados para proporcionar protección contra daños mecánicos y el clima. Por lo tanto, un módulo fotovoltaico es un ensamble envasado y conectado de múltiples dispositivos fotovoltaicos en los que los dispositivos fotovoltaicos son la unidad funcional más pequeña.

5 El término "encapsulación", como se usa en la presente memoria, se refiere al encerrado de uno o más objetos de manera que estén rodeados por todos los lados.

10 El término "frita de vidrio", como se usa en la presente memoria, se refiere a vidrios de punto de fusión a baja temperatura finamente pulverizados que cuando se calientan se ablandarán y fluirán para formar un sello o un recubrimiento. Las fritas de vidrio se usan para unir vidrio a otros vidrios, cerámicas o metales. Para garantizar un sellado sin tensión, el coeficiente de expansión térmica (CTE, por sus siglas en inglés) de la frita de vidrio necesita coincidir estrechamente con el de los materiales que se van a unir. La frita de vidrio siempre se aplica como una pasta o tinta en lugar de como un polvo. El término "pasta de frita de vidrio", como se usa en la presente memoria, por lo tanto, se refiere a una sustancia viscosa que comprende la frita de vidrio, y uno o más materiales adicionales que se seleccionan para lograr propiedades adecuadas para la pasta. Por ejemplo, una pasta de frita de vidrio típicamente comprende una frita de vidrio mezclada con un aglutinante para formar una pasta, uno o más solventes para sintonizar/ajustar la viscosidad de la pasta y uno o más materiales de carga para sintonizar/ajustar el coeficiente de expansión térmica (CTE) de la frita de vidrio. Las pastas de frita de vidrio se pueden aplicar mediante una variedad de técnicas (serigrafía, raspado médico, dispensación de tobera, etc.).

20 El término "lámina", como se usa en la presente memoria, se refiere a una amplia pieza plana de material, tal como metal o vidrio, en la que cada una de las superficies amplias de la lámina se refiere en la presente memoria como una "cara" de la lámina, y cada una de las superficies estrechas de la lámina se refieren en la presente memoria como un "borde" de la lámina

25 El término "pared", como se usa en la presente memoria, se refiere a un objeto o una estructura que se proyecta sustancialmente de forma vertical (es decir, perpendicularmente) con relación a la superficie sobre la que se proporciona el objeto o estructura. El término "hilera", como se usa en la presente memoria, se refiere a una capa de material horizontal continua (es decir, con relación a la proyección vertical de la pared) en una pared.

30 El término "fusionar", como se usa en la presente memoria, se refiere a un procedimiento que da como resultado que dos o más objetos se unan o combinen para ser efectivamente una sola entidad (es decir, unirse). El término "sinterizar", como se usa en la presente memoria, se refiere a un procedimiento mediante el cual un material pulverizado se une en una masa sólida o porosa por medio de calentamiento (y usualmente también compresión) sin licuefacción.

35 El término "fotoactivo", como se usa en la presente memoria, se refiere a una región, capa o material que es capaz de responder a la luz fotoeléctricamente. Por lo tanto, una región, capa o material fotoactivo es capaz de absorber la energía transportada por los fotones en la luz que luego resultan en la generación de electricidad (por ejemplo, al generar pares de electrones o excitones).

40 El término "perovskita", como se usa en la presente memoria, se refiere a un material con una estructura cristalina tridimensional relacionada con la de  $\text{CaTiO}_3$  o un material que comprende una capa de material, cuya capa tiene una estructura relacionada con la de  $\text{CaTiO}_3$ . La estructura de  $\text{CaTiO}_3$  puede ser representada por la fórmula  $\text{ABX}_3$ , en la que A y B son cationes de diferentes tamaños y X es un anión. En la celda unitaria, los cationes A están en (0,0,0), los cationes B están en (1/2, 1/2, 1/2) y los aniones X están en (1/2, 1/2, 0). El catión A es usualmente más grande que el catión B. El experto apreciará que cuando A, B y X varían, los diferentes tamaños de iones pueden causar que la estructura del material de perovskita se distorsione de la estructura adoptada por  $\text{CaTiO}_3$  a una estructura distorsionada de menor simetría. La simetría también será menor si el material comprende una capa que tiene una estructura relacionada con la de  $\text{CaTiO}_3$ . Los materiales que comprenden una capa de material de perovskita se conocen bien. Por ejemplo, la estructura de materiales que adoptan la estructura tipo  $\text{K}_2\text{NiF}_4$  comprende una capa de material de perovskita. El experto apreciará que un material de perovskita puede representarse mediante la fórmula  $[\text{A}][\text{B}][\text{X}]_3$ , en la que [A] es al menos un catión, [B] es al menos un catión y [X] es al menos un anión. Cuando la perovskita comprende más de un catión A, los diferentes cationes A pueden distribuirse en los sitios A de manera ordenada o desordenada. Cuando la perovskita comprende más de un catión B, los diferentes cationes B pueden distribuirse en los sitios B de manera ordenada o desordenada. Cuando la perovskita comprende más de un anión X, los diferentes aniones X pueden distribuirse en los sitios X de manera ordenada o desordenada. La simetría de una perovskita que comprende más de un catión A, más de un catión B o más de un catión X, a menudo será menor que la de  $\text{CaTiO}_3$ .

60 Como se menciona en el párrafo anterior, el término "perovskita", como se usa en la presente memoria, se refiere a (a) un material con una estructura cristalina tridimensional relacionada con la de  $\text{CaTiO}_3$  o (b) un material que comprende una capa de material, en la que la capa tiene una estructura relacionada con la de  $\text{CaTiO}_3$ . Aunque ambas categorías de perovskita pueden usarse en los dispositivos de acuerdo con la invención, en algunas circunstancias es preferente usar una perovskita de la primera categoría, (a), es decir, una perovskita que tiene una

estructura cristalina tridimensional (3D). Dichas perovskitas típicamente comprenden una red 3D de celdas unitarias de perovskita sin ninguna separación entre capas. Las perovskitas de la segunda categoría, (b), por otro lado, incluyen perovskitas que tienen una estructura en capas bidimensional (2D). Las perovskitas que tienen una estructura en capas 2D pueden comprender capas de celdas unitarias de perovskita que están separadas por moléculas (intercaladas); un ejemplo de dicha perovskita en capas 2D es [2-(1-ciclohexenil)etilamonio]<sub>2</sub>PbBr<sub>4</sub>. Las perovskitas en capas 2D tienden a tener altas energías de unión al excitón, lo que favorece la generación de pares de electrones unidos (excitones), en lugar de portadores de carga libre, bajo fotoexcitación. Los pares de electrones unidos pueden no ser lo suficientemente móviles como para alcanzar el contacto tipo p o tipo n donde luego pueden transferir (ionizar) y generar carga libre. En consecuencia, para generar carga libre, se debe superar la energía de unión al excitón, lo que representa un costo energético para el procedimiento de generación de carga y da como resultado un voltaje más bajo en una celda fotovoltaica y una eficiencia más baja. Por el contrario, las perovskitas que tienen una estructura cristalina 3D tienden a tener energías de unión al excitón mucho más bajas (del orden de la energía térmica) y, por lo tanto, pueden generar portadores libres directamente seguido de la fotoexcitación. En consecuencia, el semiconductor de perovskita empleado en los dispositivos y procedimientos de la invención es preferentemente una perovskita de la primera categoría, (a), es decir, una perovskita que tiene una estructura cristalina tridimensional. Esto es particularmente preferente cuando el dispositivo optoelectrónico es un dispositivo fotovoltaico.

El material de perovskita empleado en las realizaciones de la presente invención es uno que es capaz de absorber luz y, de esta manera, generar portadores de carga libre. Por lo tanto, la perovskita empleada es un material de perovskita que absorbe la luz. Sin embargo, la persona experta apreciará que el material de perovskita también podría ser un material de perovskita que sea capaz de emitir luz, al aceptar carga, tanto electrones como agujeros, que posteriormente se recombinan y emiten luz. Por lo tanto, la perovskita empleada puede ser una perovskita emisora de luz.

Como la persona experta apreciará, el material de perovskita empleado en las realizaciones de la presente invención puede ser una perovskita que actúa como un semiconductor de transporte de electrones de tipo n cuando se foto-dopa. Alternativamente, puede ser una perovskita que actúa como un semiconductor de transporte de agujeros de tipo p cuando se foto-dopa. Por lo tanto, la perovskita puede ser de tipo n o de tipo p, o puede ser un semiconductor intrínseco. En realizaciones preferentes, la perovskita empleada es una que actúa como un semiconductor de transporte de electrones de tipo n cuando se foto-dopa. El material de perovskita puede exhibir transporte de carga ambipolar y, por lo tanto, actuar tanto como semiconductor de tipo n como de tipo p. En particular, la perovskita puede actuar tanto como semiconductor de tipo n como de tipo p, en dependencia del tipo de unión formada entre la perovskita y un material adyacente.

Típicamente, el semiconductor de perovskita usado en las realizaciones de la presente invención es un material fotosensibilizante, es decir, un material que es capaz de realizar tanto la fotogeneración como el transporte de carga.

El término "que consiste esencialmente en" se refiere a una composición que comprende los componentes en los que consiste esencialmente, así como también otros componentes, con la condición de que los otros componentes no afecten materialmente las características esenciales de la composición. Típicamente, una composición que consiste esencialmente en ciertos componentes comprenderá más de o igual al 95 % en peso de aquellos componentes o más de o igual al 99 % en peso de aquellos componentes.

#### **Estructura del módulo**

Las figuras 3a y 3b ilustran cada una esquemáticamente ejemplos de un módulo fotovoltaico 100 que comprende una pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 que se han encapsulado entre una primera lámina de vidrio 102 y una segunda lámina de vidrio 103 mediante el uso de los procedimientos descritos en la presente memoria. En particular, en ambas figuras 3a y 3b, el módulo fotovoltaico 100 comprende una pared de vidrio compacto/a granel 104 que se extiende desde una periferia de una superficie 102a de una primera lámina de vidrio 102 hasta una periferia de una superficie opuesta 103a de una segunda lámina de vidrio 103, y la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 están ubicados dentro de un volumen encerrado 190 por el primer vidrio 102, la segunda lámina de vidrio 103 y la pared de vidrio compacto 104, en el que la distancia (D) entre la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103 es de 50  $\mu\text{m}$  o mayor. La altura de/profundidad de/distancia (D) extendida por la pared 104 es por lo tanto de 50  $\mu\text{m}$  o mayor. Preferentemente, la distancia (D) entre la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103, y, por lo tanto, la altura de/profundidad de/distancia (D) extendida por la pared 104, está entre 50  $\mu\text{m}$  y 1.300  $\mu\text{m}$ , está con mayor preferencia entre 150  $\mu\text{m}$  y 1.000  $\mu\text{m}$ , y aún con mayor preferencia está entre 200  $\mu\text{m}$  y 800  $\mu\text{m}$ .

La pared de vidrio compacto 104 es ininterrumpida/continua. Además, un primer extremo de la pared de vidrio compacto 104 se fusiona a la superficie 102a de la primera lámina de vidrio 102 y un segundo extremo de la pared de vidrio compacto 104 se fusiona a la superficie opuesta 103a de la segunda lámina de vidrio 103. Por lo tanto, la pared de vidrio compacto/a granel 104 forma un recinto/barrera, de manera que la primera lámina de vidrio 102, la segunda lámina de vidrio 103 y la pared de vidrio compacto/a granel 104 cooperan/se combinan para encerrar el espacio/volumen 190 definido entre ellas. Preferentemente, la pared de vidrio compacto 104 resalta sustancialmente

de forma perpendicular con relación a la superficie 102a de la primera lámina de vidrio 102 y a la superficie opuesta 103a de la segunda lámina de vidrio 103.

La pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 están unidos/fijados a una o ambas de la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103 dentro del volumen encerrado 190 por la primera lámina de vidrio 102, la segunda lámina de vidrio 103 y la pared de vidrio compacto 104. Por lo tanto, la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 está unidos/fijados a una cara interna de una o ambas de la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103, mientras que la pared de vidrio compacto 104 resalta sustancialmente perpendicularmente entre la cara interna de la primera lámina de vidrio 102 (es decir, la superficie 102a) y la cara interna de la segunda lámina de vidrio 103 (es decir, la superficie 103a). Se debe señalar que las ilustraciones esquemáticas dadas en las figuras no muestran ninguna de las interconexiones que estarían presentes entre al menos algunos de los dispositivos fotovoltaicos 101. Con respecto a esto, cuando se configura completamente dentro de un módulo, algunos o todos los dispositivos fotovoltaicos 101 dentro del módulo 100 serán 'encadenados' juntos por interconexiones eléctricas que se extienden entre el electrodo positivo de un dispositivo fotovoltaico y el electrodo negativo de un dispositivo fotovoltaico adyacente.

En los módulos fotovoltaicos que se han encapsulado mediante el uso de técnicas y materiales convencionales, el sellador de borde que sella la periferia del módulo es típicamente al menos 10 mm de ancho/espesor, ya que dichos grosores son necesarios para reducir el riesgo de que la humedad pueda penetrar a través del sellador de borde dentro de la vida útil mínima requerida del módulo. Por el contrario, en un módulo fotovoltaico que se ha encapsulado mediante el uso de los procedimientos descritos en la presente memoria, el sello hermético proporcionado por la pared de vidrio compacto/a granel 104 proporciona que el ancho (W) de la pared de vidrio compacto 104 pueda ser inferior a 5 mm para maximizar el área superficial disponible dentro del módulo 100 para dispositivos fotovoltaicos 101, denominada 'abertura activa' del módulo. Los procedimientos descritos en la presente memoria aumentan de esta manera el área activa global por módulo y, en consecuencia, aumentan la generación de densidad de energía por módulo. Preferentemente, el ancho (W) de la pared de vidrio compacto 104 está entre 1 mm y 3 mm para proporcionar un equilibrio óptimo entre el área superficial disponible dentro del módulo 100 y la resistencia mecánica de la unión entre la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103.

Para maximizar el área superficial disponible dentro del módulo 100, la pared de vidrio compacto 104 se extiende desde una periferia de la superficie 102a de la primera lámina de vidrio 102 hasta una periferia de la superficie opuesta 103a de la segunda lámina de vidrio 103. Con respecto a esto, en dependencia de la precisión del procedimiento de deposición, puede ser necesario que la pared de vidrio compacto/a granel 104 se forme alrededor de la periferia de las láminas de vidrio hasta 2 mm del borde de una lámina de vidrio. Sin embargo, incluso si se requiere dicha abertura/borde desnudo entre el borde de una lámina de vidrio y la pared de vidrio compacto 104, el área superficial global del módulo consumido por este sello de borde se reduciría significativamente en comparación con el área superficial consumida por técnicas convencionales de sellado de borde. A manera de ejemplo, para un módulo que tiene un tamaño de 1 m x 1,5 m, una reducción en el ancho del sello de borde de un típico 12 mm a 5 mm (es decir, una abertura de 2 mm y una pared de vidrio compacto de 3 mm de ancho) puede aumentar el área activa disponible del módulo de 96,04 % del área total al 98,34 %, lo que lleva a un aumento del 2,3 % en la densidad de generación de energía.

En las realizaciones ilustradas, la segunda lámina de vidrio 103 se proporciona con uno o más agujeros pasantes 103b que se extienden desde una cara externa de la segunda lámina de vidrio 103 al volumen encerrado 190 dentro del módulo 100. Uno o más conectores eléctricos 105 pasan a través de cada uno de los agujeros pasantes 103b, con cada conector eléctrico 105 que contacta un cable de lengüeta (no mostrado) conectado a uno o más de la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101. Luego se une/fija una caja de conexión 106 a una superficie exterior del módulo 100 sobre uno o más de los agujeros pasantes 103b, con el conector eléctrico 105 conectado a la caja de conexión 106. Preferentemente, la caja de conexión 106 está unida/fijada a una cara externa del módulo 100 por un material sellador (no mostrado).

En una realización alternativa, la primera lámina de vidrio 102 podría estar proporcionada de uno o más agujeros pasantes que se extienden desde una cara externa de la primera lámina de vidrio 102 hasta el volumen encerrado 190 dentro del módulo 100. El uno o más conectores eléctricos 105 pasarían luego a través de cada uno de los agujeros pasantes en la primera lámina de vidrio 102 y se conectarían a una caja de conexión 106 unida/fijada a la cara externa de la primera lámina de vidrio 102.

Uno o más materiales selladores están dispuestos dentro de cada uno de los agujeros pasantes 103b, al llenar cualquier vacío entre los lados del agujero pasante 103b y el conector eléctrico 105. Preferentemente, el uno o más materiales selladores comprenden tanto un primer material sellador 107 dispuesto en un extremo interno/distal del agujero pasante 103b adyacente al volumen encerrado 190 como un segundo material sellador 108 dispuesto en el extremo externo/proximal del agujero pasante 103b adyacente a la superficie exterior del módulo 100. En particular, el uso de un primer material sellador 107 y un segundo material sellador 108 para sellar un agujero pasante 103b proporciona que el primer material sellador 107 dispuesto en un extremo interno/distal del agujero pasante 103b se pueda seleccionar a modo de ser compatible con los materiales fotovoltaicos/fotoactivos usados en los dispositivos (es decir, ser inertes con respecto a estos materiales), mientras que el segundo material sellador 108 puede

seleccionarse libremente de aquellos materiales que proporcionan la mejor barrera contra el vapor de humedad. Además, el uso de un primer material sellador 107 y un segundo material sellador 108 para sellar un agujero pasante 103b permite seleccionar materiales selladores de diferentes resistencias mecánicas (módulo de tracción), lo que sería beneficioso para proporcionar protección para los conectores eléctricos potencialmente delicados 105 que pasan a través de cada uno de los agujeros pasantes 103b.

En el ejemplo de la figura 3a, la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 son relativamente gruesos y tienen una profundidad de entre 150  $\mu\text{m}$  y 1.000  $\mu\text{m}$ . Por ejemplo, este sería típicamente el caso de un módulo fotovoltaico 100 en el que la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 son dispositivos fotovoltaicos de unión múltiple/en tándem que comprenden cada uno una subcelda de perovskita y una subcelda de silicio. Como se ilustra esquemáticamente en la figura 4a, en tales dispositivos fotovoltaicos de unión múltiple/en tándem, la subcelda de silicio 101a típicamente tendría un espesor/profundidad de 150  $\mu\text{m}$  a 750  $\mu\text{m}$ , mientras que el espesor/profundidad de la subcelda de perovskita 101b sería alrededor de 1  $\mu\text{m}$  a 1,5  $\mu\text{m}$  (no mostrado a escala). Por lo tanto, estos dispositivos fotovoltaicos de unión múltiple/en tándem, incluido el cable de lengüeta, tendrían un espesor/profundidad total de alrededor de entre 150  $\mu\text{m}$  y 1.000  $\mu\text{m}$ , y típicamente entre 200  $\mu\text{m}$  y 800  $\mu\text{m}$ . En consecuencia, en este ejemplo, la distancia (D) entre la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103, y por lo tanto la altura de/profundidad de/distancia (D) extendida por la pared 104, será de al menos 150  $\mu\text{m}$ , típicamente estará entre 150  $\mu\text{m}$  y 1.000  $\mu\text{m}$ , y más típicamente estará entre 200  $\mu\text{m}$  y 800  $\mu\text{m}$ .

En el ejemplo de la figura 3a, la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 están unidos/fijados a la primera lámina de vidrio 102 y a la segunda lámina de vidrio 103. En particular, la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 se fijan a las caras internas de cada una de la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103 mediante el uso de las respectivas capas primera y segunda de material intercapa/encapsulante 109, 110. Por ejemplo, las capas primera y segunda de material intercapa/encapsulante 109, 110 podrían comprender cualquiera de un adhesivo termoplástico/termofusible y un adhesivo termoestable/reticulante. En particular, las capas primera y segunda de material intercapa/encapsulante 109, 110 podrían comprender cada una de polietileno-acetato de vinilo (EVA), butiral de polivinilo (PVB), poldimetilsiloxano (PDMS, por sus siglas en inglés), poliisobutileno (PIB, por sus siglas en inglés), poliolefina, poliuretano termoplástico (TPU, por sus siglas en inglés), poliuretano, epoxi, silicona o un ionómero, etc.

En el ejemplo de la figura 3a, la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 se uniría/fijaría a la primera lámina de vidrio 102 y a la segunda lámina de vidrio 103 mediante un procedimiento de laminación. En particular, este procedimiento de laminación implicaría aplicar una primera capa de material intercapa/encapsulante en una de la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103 y posteriormente ubicar la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 en la primera capa de material intercapa/encapsulante. Luego se aplicaría una segunda capa de material intercapa/encapsulante sobre/por encima de la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101, y la otra de la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103 apiladas sobre/por encima de la segunda capa de material intercapa/encapsulante antes de aplicar presión y calor a los componentes apilados para fundir la primera y la segunda capa de material intercapa/encapsulante 109, 110 de manera que fluyan juntas y se conviertan en una masa sólida cuando se enfrían. De esta manera, la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 se laminan entre las dos capas de material encapsulante 109, 110, y las capas de material encapsulante 109, 110 actúan para unir la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103 entre sí.

En una realización alternativa del ejemplo de la figura 3a, la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 podría fijarse a las caras internas de cada una de la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103 mediante un procedimiento de laminación al usar solo una sola capa de material intercapa/encapsulante. Por ejemplo, en esta realización alternativa, el procedimiento de laminación implicaría ubicar la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 en una de la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103, al aplicar una capa de material intercapa/encapsulante sobre/por encima de la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101, y luego apilar la otra de la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103 sobre/por encima de la capa de material intercapa/encapsulante antes de aplicar presión y calor a los componentes apilados. En esta realización, la capa de material intercapa/encapsulante se extendería más allá de la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 de manera que el procedimiento de laminación haría que la capa de material intercapa/encapsulante se fundiera y se adhiriera a la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101, a la superficie interna de la lámina de vidrio apilada por encima de la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101, y hacia la superficie interna de la lámina de vidrio ubicada debajo de la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 que no está cubierta por la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101.

En el ejemplo de la figura 3b, la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 son relativamente delgados, que tienen una profundidad de entre 1  $\mu\text{m}$  y 2  $\mu\text{m}$ ; sin embargo, una o ambas de la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103 comprenden una lámina de vidrio reforzado con calor/endurecido/templado que tiene una distorsión de onda de rodillo 112. La distorsión de onda de rodillo es la onda periódica o corrugaciones impartidas al vidrio a medida que se ablanda durante un procedimiento de reforzamiento por calor o templado debido al leve hundimiento del vidrio entre los rodillos usados para transportar el vidrio a través de una estufa. Mientras que el grado de distorsión de onda de rodillo presente en una lámina de vidrio templado o reforzado con calor generalmente dependerá del radio de los rodillos usados para transportar el vidrio a través de la estufa, la distorsión de onda de rodillo típicamente produce una variación de pico a valle en el perfil de la superficie (es decir, la altura

total del perfil, Rt) de entre 0,1 mm (100 µm) y 0,5 mm (500 µm). En consecuencia, en este ejemplo, la distancia (D) entre la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103, y por lo tanto la altura de/profundidad de/distancia (D) extendida por la pared 104, será de al menos 150 µm, típicamente estará entre 150 µm y 1.000 µm, y más típicamente estará entre 200 µm y 800 µm. Por ejemplo, al menos una lámina de vidrio templado o reforzado con calor típicamente se usaría en un módulo fotovoltaico destinado a aplicaciones fotovoltaicas integradas en edificios (BIPV, por sus siglas en inglés). Para tales aplicaciones, los dispositivos fotovoltaicos usados en el módulo típicamente comprenderían un dispositivo fotovoltaico de película delgada como el ilustrado esquemáticamente en la figura 4b.

En el ejemplo de la figura 3b, la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 están unidos/fijados tanto a la primera lámina de vidrio 102 como a la segunda lámina de vidrio 103. En particular, la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 se fijan a la cara interna de la segunda lámina de vidrio 103 al formarse en la cara interna de la segunda lámina de vidrio 103. Con respecto a esto, los dispositivos fotovoltaicos 101 se forman en la cara interna de la segunda lámina de vidrio 103 al depositar secuencialmente cada una de las capas que forman los dispositivos 101 sobre una cara de la segunda lámina de vidrio 103. Luego se aplica una capa de un material intercapa/encapsulante 111 sobre la parte superior de los dispositivos fotovoltaicos 101 previstos en la cara interna de la segunda lámina de vidrio 103 y la primera lámina de vidrio 102, se apila sobre/por encima de la capa de material intercapa/encapsulante 111 antes de aplicar presión y calor a los componentes apilados. Por ejemplo, la capa de material intercapa/encapsulante 111 podría comprender cualquiera de un adhesivo termoplástico/termofusible y un adhesivo termoestable/reticulante. En particular, la capa de material intercapa/encapsulante 111 podría comprender cualquiera de polietileno-acetato de vinilo (EVA), butiral de polivinilo (PVB), polidimetilsiloxano (PDMS), poliisobutileno (PIB), poliolefina, poliuretano termoplástico (TPU), poliuretano, epoxi, silicona o un ionómero, etc.

En los ejemplos ilustrados en las figuras 3a y 3b, la laminación de los componentes apilados del módulo, que incluyen una o dos capas de material intercapa/encapsulante, no solo une/fija la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 a uno o ambos de la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103, pero también actúan para unir la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103 entre sí para proporcionar integridad mecánica para el módulo 100.

En los ejemplos ilustrados en las figuras 3a y 3b, uno o más de la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 puede comprender una región fotoactiva que comprende un material de perovskita fotoactiva. En tales dispositivos, el material de perovskita se configura para funcionar como un absorbente de luz/fotosensibilizador dentro de la región fotoactiva. Además, el material de perovskita en la región fotoactiva también puede configurarse para proporcionar transporte de carga. Con respecto a esto, los materiales de perovskitas son capaces de actuar no solo como un absorbente de luz (es decir, fotosensibilizador) sino también como un material semiconductor de tipo n, tipo p o intrínseco (tipo i) (transportador de carga). Por lo tanto, el material de perovskita puede asumir los roles de absorción de luz y transporte de carga de largo alcance. El material de perovskita fotoactivo tiene preferentemente una estructura cristalina tridimensional. El material de perovskita fotoactivo tiene preferentemente la fórmula general (I):



en la que [A] es al menos un catión monovalente, [B] es al menos un catión inorgánico divalente, y [X] es al menos un anión haluro o pseudohaluro.

### **Procedimiento de encapsulación**

Ahora se describirá un procedimiento para encapsular un módulo fotovoltaico 100 que comprende una pluralidad de dispositivos/celdas fotovoltaicas 101 como se divulga en la presente memoria. El procedimiento comprende formar una pared de vidrio compacto 104 que se extiende desde la periferia de una superficie 102a de una primera lámina de vidrio 102 hasta la periferia de una superficie opuesta 103a de una segunda lámina de vidrio 103, la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 está ubicada dentro de un volumen 190 encerrado por el primer vidrio 102, la segunda lámina de vidrio 103 y la pared de vidrio compacto 104, en la que la pared de vidrio compacto 104 está formada por una pluralidad de hileras de frita de vidrio. El volumen encerrado 190 se sella luego al usar unión con frita de vidrio asistida por láser. La unión con frita de vidrio asistida por láser comprende usar un rayo láser para calentar localmente y, de esta manera, fundir una frita de vidrio para fusionar dos superficies de vidrio.

La pared de vidrio compacto 104 está formada de modo que sea ininterrumpida/continua. Además, los procedimientos de formación de la pared 104 y/o sellado de la pared 104 aseguran que un primer extremo de la pared de vidrio compacto 104 se fusione a la superficie 102a de la primera lámina de vidrio 102 y un segundo extremo de la pared de vidrio compacto 104 se fusione a la superficie opuesta 103a de la segunda lámina de vidrio 103. Por lo tanto, la pared de vidrio compacto/a granel 104 forma un recinto/barrera, de manera que la primera lámina de vidrio 102, la segunda lámina de vidrio 103 y la pared de vidrio compacto/a granel 104 cooperan/se combinan para encerrar el espacio/volumen 190 definido entre ellas. Preferentemente, la pared de vidrio compacto 104 resalta sustancialmente de forma perpendicular con relación a la superficie 102a de la primera lámina de vidrio 102 y a la superficie opuesta 103a de la segunda lámina de vidrio 103.

La pared de vidrio compacto 104 está formada a partir de una pluralidad de hileras/costuras de frita de vidrio. Con respecto a esto, la pluralidad de hileras/costuras de frita de vidrio se transformará individualmente en vidrio compacto/a granel por calentamiento en un horno/estufa.

- 5 La distancia (D) entre la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103, y por lo tanto la altura de/profundidad de/distancia (D) extendida por la pared 104, será de al menos 50  $\mu\text{m}$ , típicamente estará entre 150  $\mu\text{m}$  y 1.000  $\mu\text{m}$ , y más típicamente estará entre 200  $\mu\text{m}$  y 800  $\mu\text{m}$ .

**Formación de pared de vidrio**

10 En una primera realización, la etapa de formación de una pared de vidrio compacto/a granel 104 puede comprender formar la pared de vidrio compacto 104 en la primera lámina de vidrio 102. En este caso, la etapa de usar la unión con frita de vidrio asistida por láser para sellar el volumen encerrado 190 comprenderá entonces usar la unión con frita de vidrio asistida por láser para unir/fusionar la pared de vidrio compacto 104 a la superficie opuesta 103a de la  
15 segunda lámina de vidrio 103.

Por lo tanto, la etapa de formación de una pared de vidrio compacto alrededor de la periferia de la primera lámina de vidrio puede comprender aplicar/dispensar/depositar una hilera/costura de pasta de frita de vidrio alrededor de una periferia de la primera lámina de vidrio, y transformar la hilera/costura de pasta de frita de vidrio en un vidrio compacto por calentamiento de la primera lámina de vidrio en un horno/estufa. Con respecto a esto, una pasta de frita de vidrio típicamente comprende frita de vidrio y uno o más materiales adicionales. Por ejemplo, el uno o más materiales adicionales puede comprender cualquiera de un aglutinante, uno o más solventes y uno o más materiales de carga.

25 La etapa de transformar la pasta de frita de vidrio en vidrio compacto por calentamiento de la primera lámina de vidrio en un horno/estufa puede entonces comprender acondicionar térmicamente la pasta de frita de vidrio. El acondicionamiento térmico comprende someter la pasta de frita de vidrio depositada a un perfil de temperatura-tiempo que prepara la pasta de frita de vidrio para la fusión/unión. Como mínimo, el acondicionamiento térmico elimina algunos de los uno o más materiales adicionales para que la pasta de frita de vidrio acondicionada  
30 térmicamente pueda fundirse para formar vidrio compacto sin huecos/inclusiones. En particular, donde la pasta de frita de vidrio incluye un aglutinante y/o uno o más solventes, el procedimiento de acondicionamiento térmico típicamente comprende una primera etapa de calentamiento de la pasta de frita de vidrio a una primera temperatura que es suficiente para evaporar el uno o más solventes (lo que seca, de esta manera, la pasta de frita de vidrio), seguida de una segunda etapa de calentamiento de la pasta de frita de vidrio a una segunda temperatura que sea  
35 suficiente para quemar cualquiera de los materiales aglutinantes.

En dependencia del contenido específico de la pasta de frita de vidrio y la aplicación para la que se ha usado, el acondicionamiento térmico de la pasta de frita de vidrio puede comprender además una tercera etapa en la que se sinteriza la pasta de frita de vidrio, en un procedimiento denominado "acristalamiento" o "pre-fusión". Por lo tanto,  
40 esta tercera etapa típicamente comprendería calentar la pasta de frita de vidrio a una tercera temperatura que sea suficiente para reducir significativamente la viscosidad de la frita de vidrio, de manera que las partículas de polvo de frita de vidrio hayan comenzado a cambiar de forma y a formar una adhesión inicial entre sí y a la superficie sobre la que se ha depositado la frita de vidrio, proporcionar un grado de estabilidad mecánica que puede mantener la forma de la frita de vidrio tal como se depositó.

45 Para garantizar que la pared de vidrio compacto 104 esté a una altura/profundidad suficiente para cubrir la distancia requerida entre la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103, la etapa de formar una pared de vidrio compacto 104 alrededor de la periferia de la primera lámina de vidrio 102 puede comprender repetir  
50 secuencialmente las etapas de aplicar/dispensar/depositar una hilera de pasta de frita de vidrio alrededor de una periferia de la primera lámina de vidrio 102 y transformar la pasta de frita de vidrio en vidrio compacto por calentamiento de la primera lámina de vidrio 102 en un horno/estufa. Estas etapas se repetirán entonces secuencialmente hasta que la pared de vidrio compacto 104 tenga suficiente altura/profundidad. Por lo tanto, la etapa de formar una pared de vidrio compacto 104 alrededor de la periferia de la primera lámina de vidrio 102 puede comprender, al menos una vez, aplicar/dispensar/depositar una hilera adicional de pasta de frita de vidrio sobre la  
55 pared de vidrio compacto 104, y transformar la hilera adicional de la pasta de frita de vidrio en vidrio compacto por calentamiento de la primera lámina de vidrio 102 en un horno/estufa, y de esta manera aumentar la altura de la pared de vidrio compacto 104.

60 En una segunda realización, la etapa de formar una pared de vidrio compacto 104 puede comprender formar una primera pared de vidrio compacto de altura parcial en la primera lámina de vidrio 102 y formar una segunda pared de vidrio compacto de altura parcial en la segunda lámina de vidrio 103. En este caso, la etapa de usar unión con frita de vidrio asistida por láser para sellar el volumen encerrado 190 comprenderá entonces usar unión con frita de vidrio asistida por láser para unir la primera pared de vidrio compacto de altura parcial en la primera lámina de vidrio 102 a la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial en la segunda lámina de vidrio 103. Por lo tanto, la primera pared de vidrio compacto de altura parcial y la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial se unirán/fusionarán para formar la pared de vidrio compacto 104. Por lo tanto, la primera pared de vidrio compacto de  
65

altura parcial comprende una primera parte del vidrio compacto de la pared y la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial comprende una segunda parte del vidrio compacto de la pared.

5 La etapa de formar una primera pared de vidrio compacto de altura parcial en la primera lámina de vidrio puede comprender entonces aplicar/dispensar/depositar una hilera de pasta de frita de vidrio alrededor de una periferia de la superficie de la primera lámina de vidrio; y transformar la pasta de frita de vidrio en vidrio compacto por calentamiento de la primera lámina de vidrio en un horno/estufa.

10 La etapa de formar una segunda pared de vidrio compacto de altura parcial en la segunda lámina de vidrio puede comprender aplicar/dispensar/depositar una hilera de pasta de frita de vidrio alrededor de una periferia de la superficie opuesta de la segunda lámina de vidrio; y transformar la pasta de frita de vidrio en vidrio compacto por calentamiento de la segunda lámina de vidrio en un horno/estufa.

15 Para garantizar que la pared de vidrio compacto 104 esté a una altura/profundidad suficiente para cubrir la distancia requerida entre la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103, la etapa de formar una primera pared de vidrio compacto de altura parcial alrededor de la periferia de la primera lámina de vidrio 102 puede comprender repetir secuencialmente las etapas de aplicar/dispensar/depositar una hilera de pasta de frita de vidrio alrededor de una periferia de la primera lámina de vidrio 102 y transformar la pasta de frita de vidrio en vidrio compacto por calentamiento de la primera lámina de vidrio 102 en un horno/estufa. Alternativamente, o, además, la  
20 etapa de formar una segunda pared de vidrio compacto de altura parcial alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio 103 puede comprender repetir secuencialmente las etapas de aplicar/dispensar/depositar una hilera de pasta de frita de vidrio alrededor de una periferia de la segunda lámina de vidrio 103 y transformar la pasta de frita de vidrio en vidrio compacto por calentamiento de la segunda lámina de vidrio 103 en un horno/estufa. Estas etapas se pueden repetir secuencialmente hasta que la primera pared de vidrio compacto de altura parcial y la  
25 segunda pared de vidrio compacto de altura parcial sean de suficiente altura/profundidad para asegurar que la pared de vidrio compacto 104 sea de suficiente altura/profundidad.

Por lo tanto, la etapa de formar una primera pared de vidrio compacto de altura parcial en la primera lámina de vidrio 102 puede comprender, al menos una vez, aplicar/dispensar una hilera adicional de pasta de frita de vidrio sobre la  
30 primera pared de vidrio compacto de altura parcial; y transformar la hilera adicional de la pasta de frita de vidrio en vidrio compacto por calentamiento de la primera lámina de vidrio 102 en un horno/estufa, y de esta manera aumentar la altura de la primera pared de vidrio compacto de altura parcial. Alternativamente, o además, la etapa de formar una segunda pared de vidrio compacto de altura parcial en la segunda lámina de vidrio 103 puede comprender además, al menos una vez, aplicar/dispensar una hilera adicional de pasta de frita de vidrio sobre la  
35 segunda pared de vidrio compacto de altura parcial; y transformar la hilera adicional de la pasta de frita de vidrio en vidrio compacto por calentamiento de la segunda lámina de vidrio 103 en un horno/estufa, lo que aumenta de esta manera la altura de la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial.

#### **Sellado del módulo**

40 En realizaciones en las que la unión con frita de vidrio asistida por láser se usa para unir/fusionar la pared de vidrio compacto 104 a la superficie opuesta 103a de la segunda lámina de vidrio 103, la etapa de sellar el volumen encerrado 190 mediante el uso de unión con frita de vidrio asistida por láser puede comprender proporcionar una pasta de frita de vidrio acondicionada térmicamente en la pared de vidrio compacto 104, alinear la primera lámina de  
45 vidrio 102 con la segunda lámina de vidrio 103 de manera que la pared de vidrio compacto 104 esté en contacto con la periferia de la segunda lámina de vidrio 103, y dirigir un rayo láser a la pasta de frita de vidrio acondicionada térmicamente para fusionar/unir la segunda lámina de vidrio 103 a la pared de vidrio compacto 104 provisto en la primera lámina de vidrio 102. El rayo láser se calentará localmente y, de esta manera, fundirá la pasta de frita de vidrio acondicionada térmicamente para fusionar la pared de vidrio compacto 104 a la segunda lámina de vidrio 103  
50 y sellar de esta manera el volumen encerrado 190.

La etapa de proporcionar pasta de frita de vidrio acondicionada térmicamente en la pared de vidrio compacto 104 puede comprender entonces aplicar/dispensar/depositar una hilera/costura de pasta de frita de vidrio sobre la pared de vidrio compacto 104 e implementar el acondicionamiento térmico de la pasta de frita de vidrio, preferentemente  
55 en el que el acondicionamiento térmico se implementa por calentamiento en un horno/estufa. Por lo tanto, la pasta de frita de vidrio acondicionada térmicamente comprende una pasta de frita de vidrio que se ha sometido a un perfil de temperatura-tiempo que prepara la pasta de frita de vidrio para fusión/unión. Como se detalla anteriormente, como mínimo, el acondicionamiento térmico elimina algunos de los uno o más materiales adicionales para que la pasta de frita de vidrio acondicionada térmicamente pueda fundirse para formar vidrio compacto sin huecos/inclusiones. Típicamente, este acondicionamiento térmico de la pasta de frita de vidrio comprende una  
60 primera etapa de calentar la pasta de frita de vidrio a una primera temperatura que es suficiente para evaporar uno o más solventes (lo que seca, de esta manera, la pasta de frita de vidrio), seguida de una segunda etapa de calentamiento de la pasta de frita de vidrio a una segunda temperatura que sea suficiente para quemar el aglutinante.

65

Alternativamente, la etapa de sellar el volumen encerrado 190 mediante el uso de unión con fritas de vidrio asistida por láser puede comprender proporcionar pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio 103, alinear la primera lámina de vidrio 102 con la segunda lámina de vidrio 103 de manera que la pared de vidrio compacto 104 esté en contacto con la pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente proporcionada alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio 102, y dirigir un rayo láser a la pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente para fusionar la segunda lámina de vidrio 103 a la pared de vidrio compacto 104 provisto en la primera lámina de vidrio 102 y sellar de esta manera el volumen encerrado 190.

En esta realización, la etapa de proporcionar pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio 103 puede comprender aplicar/dispensar/depositar una hilera de pasta de fritas de vidrio en una posición/ubicación alrededor de una periferia de la segunda lámina de vidrio 103 que corresponde con la posición/ubicación de la pared de vidrio compacto 104 formada alrededor de la periferia de la primera lámina de vidrio 102. Esta etapa puede comprender además implementar el acondicionamiento térmico de la pasta de fritas de vidrio, preferentemente en la que el acondicionamiento térmico se implementa por calentamiento en un horno/estufa.

En realizaciones alternativas en las que se usa la unión con fritas de vidrio asistida por láser para fusionar/unir la primera pared de vidrio compacto de altura parcial en la primera lámina de vidrio 102 a la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial en la segunda lámina de vidrio 103, la etapa de la etapa de sellar el volumen encerrado mediante el uso de unión con fritas de vidrio asistida por láser puede comprender proporcionar una pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente en una de la primera pared de vidrio compacto de altura parcial y la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial, alinear la primera lámina de vidrio con la segunda lámina de vidrio de manera que la primera pared de vidrio compacto de altura parcial en contacto con la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial, y usar unión con fritas de vidrio asistida por láser para unir la primera pared de vidrio compacto de altura parcial a la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial al dirigir un láser (es decir, un rayo láser/radiación láser) a la pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente.

En esta realización, la etapa de proporcionar pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente en una de la primera pared de vidrio compacto de altura parcial y la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial puede comprender aplicar/dispensar pasta de fritas de vidrio sobre una de la primera pared de vidrio compacto de altura parcial y la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial, e implementar el acondicionamiento térmico de la pasta de fritas de vidrio, preferentemente en el que el acondicionamiento térmico se implementa por calentamiento en un horno/estufa.

En las realizaciones descritas anteriormente, la pared de vidrio compacto 104 puede formarse a partir de una primera pasta de fritas de vidrio, mientras que la pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente usada para implementar la unión con fritas de vidrio asistida por láser puede ser una segunda pasta de fritas de vidrio. La primera pasta de fritas de vidrio y la segunda pasta de fritas de vidrio pueden ser iguales o diferentes.

#### **Localización de dispositivos fotovoltaicos**

En realizaciones en las que la etapa de sellar el volumen encerrado 190 mediante el uso de unión con fritas de vidrio asistida por láser comprende proporcionar pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente en la pared de vidrio compacto 104, la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 puede ubicarse en la primera lámina de vidrio 102 después la etapa de proporcionar pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente en la pared de vidrio compacto 104 (y antes de la laminación y sellado del módulo). La ubicación de los dispositivos fotovoltaicos 101 en la primera lámina de vidrio 102 después del acondicionamiento térmico de la pasta de fritas de vidrio evita exponer los dispositivos 101 a las temperaturas usadas durante el acondicionamiento térmico de la pasta de fritas de vidrio. Alternativamente, la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 puede ubicarse en la segunda lámina de vidrio 103 antes de la etapa de unión de la pared de vidrio compacto 104 formada en la primera lámina de vidrio 102 a la periferia de la segunda lámina de vidrio 103. La ubicación de los dispositivos fotovoltaicos 101 en la segunda lámina de vidrio 103 en lugar de la primera lámina de vidrio 102 también proporciona que los dispositivos 101 no estarán expuestos a las temperaturas usadas durante el acondicionamiento térmico de la pasta de fritas de vidrio depositada en la primera lámina de vidrio 102.

En realizaciones en las que la etapa de sellar el volumen encerrado 190 mediante el uso de unión con fritas de vidrio asistida por láser comprende proporcionar pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio 103, la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 puede ubicarse en la primera lámina de vidrio 102 después de la etapa de formar una pared de compacto 104 alrededor de la periferia de la primera lámina de vidrio 102 (y antes de la laminación y sellado del módulo). La ubicación de los dispositivos fotovoltaicos 101 en la primera lámina de vidrio 102 después de la formación de la pared de vidrio compacto 104 evita exponer los dispositivos 101 a las temperaturas requeridas para transformar la fritas de vidrio en vidrio compacto. Alternativamente, la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 puede ubicarse en la segunda lámina de vidrio 103 después de la etapa de proporcionar pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio 103. La ubicación de los dispositivos fotovoltaicos 101 en la segunda lámina de vidrio 103 en lugar de la primera lámina de vidrio 102 después del acondicionamiento térmico de la pasta de fritas

de vidrio evita exponer los dispositivos 101 a las temperaturas requeridas para acondicionar térmicamente al menos de forma parcial la pasta de fritada de vidrio.

En realizaciones en las que la etapa de sellar el volumen encerrado 190 mediante el uso de unión con fritada de vidrio asistida por láser comprende proporcionar pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente en una de una primera pared de vidrio compacto de altura parcial y una segunda pared de vidrio compacto de altura parcial, la pluralidad de los dispositivos fotovoltaicos 101 pueden ubicarse en la primera lámina de vidrio 102 o en la segunda lámina de vidrio 103 después de la etapa de formar una pared de vidrio compacto de altura parcial sobre la lámina de vidrio respectiva. Si la pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente para usarse en la etapa de unión con fritada de vidrio asistida por láser se proporciona en la primera pared de vidrio compacto de altura parcial, entonces la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 puede ubicarse en la primera lámina de vidrio 102 después de que se ha proporcionado la pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente en la primera pared de vidrio compacto de altura parcial o se pueden ubicar en la segunda lámina de vidrio 103. Alternativamente, si la pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente para usarse en la etapa de unión con fritada de vidrio asistida por láser se proporciona en la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial, entonces la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 puede ubicarse en la segunda lámina de vidrio 103 después de que se ha proporcionado la pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente en la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial o se pueden ubicar en la primera lámina de vidrio 102

### **Etapas adicionales**

En realizaciones en las que la pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente que se usa para implementar la unión con fritada de vidrio asistida por láser se proporciona en la pared de vidrio compacto 104 formado en la primera lámina de vidrio 102, el procedimiento puede comprender, además, antes de unir la pared de vidrio compacto 104 a la periferia de la segunda lámina de vidrio 103, corrugar la periferia de la segunda lámina de vidrio 103. De manera similar, en realizaciones en las que la pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente que se usa para implementar la unión con fritada de vidrio asistida por láser se proporciona alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio 103, el procedimiento puede comprender, además, antes de proporcionar la pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio 103, corrugar la periferia de la segunda lámina de vidrio 103. El procedimiento también puede comprender, además, antes de formar la pared de vidrio compacto/a granel 104 alrededor de la periferia de la primera lámina de vidrio 102, corrugar la periferia de una primera lámina de vidrio 102.

En realizaciones en las que la etapa de formar una pared de vidrio compacto 104 comprende formar una primera pared de vidrio compacto de altura parcial en la primera lámina de vidrio 102 y formar una segunda pared de vidrio compacto de altura parcial en la segunda lámina de vidrio 103, el procedimiento puede además comprender, antes de formar la primera pared de vidrio compacto de altura parcial en la primera lámina de vidrio 102, corrugar la periferia de la primera lámina de vidrio 102. De manera similar, el procedimiento puede comprender, además, antes de formar una segunda pared de vidrio compacto de altura parcial en la segunda lámina de vidrio 103, corrugar la periferia de la segunda lámina de vidrio 103.

En cualquiera de estas etapas de corrugar, la etapa de corrugar puede implementarse mediante el uso de un procedimiento de eliminación de borde, como rectificado, arenado, grabado láser, grabado químico, etc. Por lo tanto, cualquiera de estas etapas de corrugar también puede eliminar cualquier recubrimiento aplicado al vidrio antes de la encapsulación. Esto puede ser particularmente relevante en realizaciones en las que los dispositivos fotovoltaicos 101 se forman directamente en una cara interna ya sea de la primera lámina de vidrio 102 o la segunda lámina de vidrio 103 como cara de la lámina de vidrio en la que se forman los dispositivos, puede proporcionarse con uno o más recubrimientos superficiales que serían perjudiciales para la formación de un enlace/sello hermético entre las dos láminas de vidrio. A manera de ejemplo, como se ilustra en la figura 3b, la cara interna de la lámina de vidrio sobre la cual se forman los dispositivos puede proporcionarse con un recubrimiento superficial de una capa de un óxido conductor transparente (TCO, por sus siglas en inglés) 113 tal como el óxido de indio dopado con estaño (ITO, por sus siglas en inglés), óxido de estaño dopado con flúor (FTO, por sus siglas en inglés), etc., que se usa para proporcionar un electrodo para cada uno de los dispositivos formados posteriormente en la lámina de vidrio.

### **Ejemplos**

Ahora se describirán ejemplos del procedimiento de encapsulación de un módulo fotovoltaico con referencia a las figuras 5a a 5c, 6a a 6c y 7a a 7c. En particular, las figuras 5a a 5c ilustran esquemáticamente una implementación etapa a etapa de un ejemplo del procedimiento de encapsular un módulo fotovoltaico como se describe en la presente memoria.

En la etapa (i) de la figura 5a, se deposita/aplica una hilera/costura de una primera pasta de fritada de vidrio 120a alrededor de la periferia de la primera lámina de vidrio 102. Por ejemplo, la hilera de la primera pasta de fritada de vidrio 120a podría depositarse por procedimientos tales como serigrafía, dispensación de tobera, etc. En la etapa (ii), la primera lámina de vidrio 102 se coloca entonces en un horno/estufa y se calienta para transformar la primera pasta de fritada de vidrio 120a proporcionada alrededor de la periferia de la primera lámina de vidrio 120 en una pared

de vidrio compacto 104. Para hacerlo, se usa un horno/estufa para implementar el acondicionamiento térmico y la fusión de la primera pasta de fritada de vidrio 120a. En la etapa (iii) de la figura 5a, se deposita/aplica una hilera/costura adicional de la primera pasta de fritada de vidrio 120b sobre la pared de vidrio compacto 104 que se ha formado alrededor de la periferia de la primera lámina de vidrio 102. En la etapa (iv) de la figura 5a, la primera lámina de vidrio 102 se coloca nuevamente en un horno/estufa y se calienta para transformar la hilera/costura adicional de la primera pasta de fritada de vidrio 120b proporcionada en la pared de vidrio compacto 104 en vidrio más compacto mediante la aplicación de un perfil de tiempo-temperatura que es adecuado para el acondicionamiento térmico y la fusión de la primera pasta de fritada de vidrio 120. La aplicación y el procesamiento térmico de una hilera/costura adicional de la primera pasta de fritada de vidrio 120b sobre la pared de vidrio compacto 104 aumenta de esta manera la altura de/profundidad global de (D) la pared de vidrio compacto 104.

En la etapa (i) de la figura 5b, se deposita/aplica una línea/costura de una segunda pasta de fritada de vidrio 130 alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio 103. En la etapa (ii), la segunda lámina de vidrio 103 se coloca entonces en un horno/estufa y se calienta para acondicionar térmicamente la segunda pasta de fritada de vidrio 130. En la etapa (iii) de la figura 5b, se aplica una primera capa de material intercapa/encapsulante 109 a la cara de la segunda lámina de vidrio 103 dentro del área unida por la hilera/costura de la segunda pasta de fritada de vidrio 130. En la etapa (iv) de la figura 5b, la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 se ubican luego en la segunda lámina de vidrio 103 al colocar la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 en la primera capa de material intercapa/encapsulante 109. En la etapa (v) de la figura 5b, se aplica una segunda capa de material intercapa/encapsulante 110 sobre la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101.

En la etapa (i) de la figura 5c, la primera lámina de vidrio 102 sobre la cual se ha formado la pared de vidrio compacto 104 se alinea con la segunda lámina de vidrio 103 de manera que la pared de vidrio compacto 104 está en contacto con la segunda pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente 130 proporcionada alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio 103. En la etapa (ii) de la figura 5c, los componentes apilados del módulo 100 se someten a un procedimiento de laminación en el que se aplica presión y calor a los componentes apilados para fundir la primera y segunda capa de material intercapa/encapsulante 109, 110 de manera que fluyen juntos y se convierten en una masa sólida cuando se enfrían. En la etapa (iii) de la figura 5c, un rayo láser se dirige a la segunda pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente 130, y se mueve a lo largo de todo la hilera/costura de la segunda pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente 130 para fundir la segunda pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente 130 para fusionar/unir la segunda lámina de vidrio 103 a la pared de vidrio compacto 104 proporcionada en la primera lámina de vidrio 102. La unión entre la pared de vidrio compacto 104 y cada una de la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103 forma, por lo tanto, un sello hermético alrededor de toda la periferia del módulo 100. En la etapa (iii) de la figura 5c, el rayo láser se dirige a la segunda pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente 130 a través de la segunda lámina de vidrio 103, de modo que el rayo láser no tenga que pasar a través de la pared de vidrio compacto 104 formada en la primera lámina de vidrio 102.

Para implementar la unión con fritada de vidrio asistida por láser, el vidrio a través del cual se dirige el rayo láser debe ser virtualmente transparente a la longitud de onda del láser para maximizar la cantidad de energía láser que alcanza la pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente 130. El rayo láser y la fritada de vidrio también deben seleccionarse de modo que la fritada de vidrio absorberá la longitud de onda de la luz láser y convertirá la energía en calor suficiente para derretir la fritada de vidrio.

Las figuras 6a a 6c ilustran esquemáticamente una implementación etapa a etapa de un ejemplo del procedimiento alternativo de encapsulación de un módulo fotovoltaico descrito en la presente memoria.

En la etapa (i) de la figura 6a, se deposita/aplica una hilera/costura de una primera pasta de fritada de vidrio 120a alrededor de la periferia de la primera lámina de vidrio 102. En la etapa (ii), la primera lámina de vidrio 102 se coloca entonces en un horno/estufa y se calienta para transformar la hilera/costura de una primera pasta de fritada de vidrio 120a proporcionada alrededor de la periferia de la primera lámina de vidrio 102 en una pared de vidrio compacto 104. En la etapa (iii) de la figura 6a, se deposita/aplica una hilera/costura adicional de la primera pasta de fritada de vidrio 120b sobre la pared de vidrio compacto 104 que se ha formado alrededor de la periferia de la primera lámina de vidrio 102. En la etapa (iv) de la figura 6a, la primera lámina de vidrio 102 se coloca nuevamente en un horno/estufa y se calienta para transformar la hilera/costura adicional de la primera pasta de fritada de vidrio 120b proporcionada en la pared de vidrio compacto 104 en vidrio compacto mediante la aplicación de un perfil de tiempo-temperatura que es adecuado para el acondicionamiento térmico y la fusión de la primera pasta de fritada de vidrio 120. La aplicación y el procesamiento térmico de una hilera/costura adicional de la primera pasta de fritada de vidrio 120b sobre la pared de vidrio compacto 104 aumenta de esta manera la altura de/profundidad global de (D) la pared de vidrio compacto 104.

En la etapa (v) de la figura 6a, la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 se ubican luego en la primera lámina de vidrio 102 al colocar la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 en la primera lámina de vidrio 102 dentro del área unida por la pared de vidrio compacto 104. En la etapa (vi) de la figura 6a, se aplica una capa intermedia/encapsulante 109 sobre la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101.

En la etapa (i) de la figura 6b, se deposita/aplica una línea/costura de una segunda pasta de fritada de vidrio 130 alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio 103. En la etapa (ii) de la figura 6b, la segunda lámina de vidrio 103 se coloca entonces en un horno/estufa y se calienta para acondicionar térmicamente la segunda pasta de fritada de vidrio 130.

5 En la etapa (i) de la figura 6c, la primera lámina de vidrio 102 sobre la cual se ha formado la pared de vidrio compacto 104 se alinea con la segunda lámina de vidrio 103 de manera que la pared de vidrio compacto 104 está en contacto con la segunda pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente 130 proporcionada alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio 103. En la etapa (ii) de la figura 6c, los componentes apilados del módulo 100 se someten entonces a un procedimiento de laminación en el que se aplica presión y calor a los componentes apilados para fundir la capa de material intercapa/encapsulante 109 de manera que la capa de material intercapa/encapsulante se adhiere a la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 y a las superficies internas de los dos vidrios que no están cubiertos por la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101. En la etapa (iii) de la figura 6c, un rayo láser se dirige a la segunda pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente 130, y se mueve a lo largo de todo la hilera/costura de la segunda pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente 130, para fundir la segunda pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente 130 para fusionar/unir la segunda lámina de vidrio 103 a la pared de vidrio compacto 104 proporcionada en la primera lámina de vidrio 102. La unión entre la pared de vidrio compacto 104 y cada una de la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103 forma, por lo tanto, un sello hermético alrededor de toda la periferia del módulo 100. En la etapa (iii) de la figura 6c, el rayo láser se dirige a la segunda pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente 130 a través de la segunda lámina de vidrio 103 para que el rayo láser no tenga que pasar a través de la pared de vidrio compacto 104 formada en la primera lámina de vidrio 102.

25 Las figuras 7a a 7c ilustran esquemáticamente una implementación etapa a etapa de otro ejemplo del procedimiento alternativo de encapsulación de un módulo fotovoltaico descrito en la presente memoria.

En la etapa (i) de la figura 7a, se deposita/aplica una hilera/costura de una primera pasta de fritada de vidrio 120a alrededor de la periferia de la primera lámina de vidrio 102. En la etapa (ii), la primera lámina de vidrio 102 se coloca entonces en un horno/estufa y se calienta para transformar la hilera/costura de una primera pasta de fritada de vidrio 120a proporcionada alrededor de la periferia de la primera lámina de vidrio 102 en una primera pared de vidrio compacto de altura parcial 104a. En la etapa (iii) de la figura 7a, se deposita/aplica una hilera/costura adicional de la primera pasta de fritada de vidrio 120b sobre la primera pared de vidrio compacto de altura parcial 104a que se ha formado alrededor de la periferia de la primera lámina de vidrio 102. En la etapa (iv) de la figura 7a, la primera lámina de vidrio 102 se coloca nuevamente en un horno/estufa y se calienta para transformar la hilera/costura adicional de la primera pasta de fritada de vidrio 120b proporcionada en la primera pared de vidrio compacto de altura parcial 104a en vidrio compacto mediante la aplicación de un perfil de tiempo-temperatura que es adecuado para el acondicionamiento térmico y la fusión de la primera pasta de fritada de vidrio 120. La aplicación y el procesamiento térmico de una hilera/costura adicional de la primera pasta de fritada de vidrio 120b sobre la primera pared de vidrio compacto de altura parcial 104a aumenta de esta manera la altura de/profundidad global de la primera pared de vidrio compacto de altura parcial 104a.

45 En la etapa (v) de la figura 7a, la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 se ubican luego en la primera lámina de vidrio 102 al colocar la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 en la primera lámina de vidrio 102 dentro del área unida por la primera pared de vidrio compacto de altura parcial 104a. En la etapa (vi) de la figura 6a, se aplica una capa intermedia/encapsulante 109 sobre la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101.

En la etapa (i) de la figura 7b, se deposita/aplica una línea/costura de una primera pasta de fritada de vidrio 120c alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio 103. En la etapa (ii), la segunda lámina de vidrio 103 se coloca entonces en un horno/estufa y se calienta para transformar la hilera/costura de una primera pasta de fritada de vidrio 120c proporcionada alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio 103 en una segunda pared de vidrio compacto de altura parcial 104b. En la etapa (iii) de la figura 7b, se deposita/aplica entonces una hilera/costura adicional de la primera pasta de fritada de vidrio 120d sobre la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial 104b que se ha formado alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio 103. En la etapa (iv) de la figura 7b, la segunda lámina de vidrio 103 se coloca nuevamente en un horno/estufa y se calienta para transformar la hilera/costura adicional de la primera pasta de fritada de vidrio 120d proporcionada en la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial 104b en vidrio compacto mediante la aplicación de un perfil de tiempo-temperatura que es adecuado para el acondicionamiento térmico y la fusión de la primera pasta de fritada de vidrio 120. La aplicación y el procesamiento térmico de una hilera/costura adicional de la primera pasta de fritada de vidrio 120d sobre la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial 104b aumenta de esta manera la altura de/profundidad global de la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial 104b.

65 En la etapa (v) de la figura 7b, se deposita/aplica una línea/costura de una segunda pasta de fritada de vidrio 130 sobre la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial 104b. En la etapa (vi) de la figura 7b, la segunda lámina de vidrio 103 se coloca entonces en un horno/estufa y se calienta para acondicionar térmicamente la segunda pasta de fritada de vidrio 130.

En la etapa (i) de la figura 7c, la primera lámina de vidrio 102 sobre la que se ha formado la primera pared de vidrio compacto de altura parcial 104a se alinea con la segunda lámina de vidrio 103 de manera que la primera pared de vidrio compacto de altura parcial 104a está en contacto con la segunda pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente 130 proporcionada en la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial 104b. En la etapa (ii) de la figura 7c, los componentes apilados del módulo 100 se someten entonces a un procedimiento de laminación en el que se aplica presión y calor a los componentes apilados para fundir la capa de material intercapa/encapsulante 109 de manera que la capa de material intercapa/encapsulante se adhiere a la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101 y a las superficies internas de los dos vidrios que no están cubiertos por la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos 101. En la etapa (iii) de la figura 7c, un rayo láser se dirige a la segunda pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente 130, y se mueve a lo largo de toda la hilera/costura de la segunda pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente 130, para fundir la segunda pasta de fritada de vidrio acondicionada térmicamente 130 para fusionar/unir la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial 104b formada en la segunda lámina de vidrio 103 a la primera pared de vidrio compacto de altura parcial 104a proporcionada en la primera lámina de vidrio 102. La unión entre la pared de vidrio compacto 104 y cada una de la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103 forma, por lo tanto, un sello hermético alrededor de toda la periferia del módulo 100.

En los ejemplos descritos anteriormente con respecto a las figuras 5a a 5c, 6a a 6c y 7a a 7c, el procedimiento comprende la formación secuencial de dos líneas/costuras de vidrio compacto, una encima de la otra, alrededor de la periferia de la primera lámina de vidrio 102 y/o la segunda lámina de vidrio. Sin embargo, la formación de la pared de vidrio compacto 104 podría comprender solo la formación de una sola línea de vidrio compacto, o la formación secuencial de varias (es decir, más de dos) líneas de vidrio compacto, una encima de la otra. La formación de una pluralidad de líneas de vidrio compacto, una encima de la otra, aumenta la altura de la pared de vidrio compacto 104. Por lo tanto, es preferente que la pared de vidrio compacto 104 esté formada por al menos dos líneas depositadas de vidrio compacto para asegurar que la pared tenga una altura suficiente como para proporcionar una abertura entre la primera lámina de vidrio 102 y la segunda lámina de vidrio 103.

Se apreciará que los elementos individuales descritos anteriormente puedan usarse solos o en combinación con otros elementos mostrados en los dibujos acompañantes o descritos en la descripción y que los elementos mencionados en el mismo pasaje entre sí o en el mismo dibujo que el otro no necesitan ser usados en combinación uno con el otro.

Además, aunque la invención se ha descrito en términos de realizaciones preferentes como se expuso anteriormente, debe entenderse que estas realizaciones son solo ilustrativas. Los expertos en la técnica serán capaces de hacer modificaciones y alternativas a la vista de la divulgación que están contempladas que caen dentro del ámbito de las reivindicaciones anexas. Por ejemplo, los expertos en la técnica apreciarán que, si bien las realizaciones específicas de la invención descritas anteriormente se refieren a la encapsulación de un módulo fotovoltaico que comprende una pluralidad de dispositivos fotovoltaicos ubicados entre dos láminas de vidrio, los procedimientos descritos en la presente memoria son igualmente aplicables a la encapsulación de cualquier dispositivo que sea sensible a la humedad y que podría dañarse por la alta temperatura típicamente usada en los procedimientos convencionales de unión con fritada de vidrio.

## REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para encapsular un módulo fotovoltaico que comprende una pluralidad de dispositivos fotovoltaicos, comprendiendo el procedimiento:
- 5 formar una pared de vidrio compacto que se extiende desde una periferia de una superficie de una primera lámina de vidrio hasta una periferia de una superficie opuesta de una segunda lámina de vidrio, la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos se ubica dentro de un volumen encerrado por la primera lámina de vidrio, la segunda lámina de vidrio y la pared de vidrio compacto, en el que la pared de vidrio compacto se forma a partir de una pluralidad de hileras de frita de vidrio; y
- 10 sellar el volumen encerrado mediante el uso de unión con frita de vidrio asistida por láser.
2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la pared de vidrio compacto se forma a partir de una pluralidad de hileras de frita de vidrio que se transforman individualmente en vidrio compacto por calentamiento en un horno o estufa.
- 15 3. El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la distancia extendida por la pared es de 50  $\mu\text{m}$  o mayor, está preferentemente entre 150  $\mu\text{m}$  y 1.000  $\mu\text{m}$ , y con mayor preferencia está entre 200  $\mu\text{m}$  y 800  $\mu\text{m}$ .
- 20 4. El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el procedimiento comprende cualquiera de:
- formar una pared de vidrio compacto en la primera lámina de vidrio y posteriormente usar la unión con frita de vidrio asistida por láser para fusionar la pared de vidrio compacto a la segunda lámina de vidrio; y
- 25 formar una primera pared de vidrio compacto de altura parcial en la primera lámina de vidrio, formar una segunda pared de vidrio compacto de altura parcial en la segunda lámina de vidrio, y posteriormente usar la unión con frita de vidrio asistida por láser para fusionar la primera pared de vidrio compacto de altura parcial en la primera lámina de vidrio a la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial en la segunda lámina de vidrio.
- 30 5. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende:
- suministrar la primera y la segunda láminas de vidrio;
- formar una pared de vidrio compacto en la primera lámina de vidrio al i) depositar una hilera de pasta de frita de vidrio alrededor de una periferia de la superficie de la primera lámina de vidrio, y transformar la pasta de frita de vidrio en vidrio compacto al calentar la primera lámina de vidrio en un horno o estufa;
- 35 opcionalmente, aumentar la altura de la pared de vidrio compacto al repetir i) al menos una vez;
- proporcionar una hilera de pasta de frita de vidrio acondicionada térmicamente en una de la pared de vidrio compacto formada en la primera lámina de vidrio o alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio;
- ubicar una pluralidad de dispositivos fotovoltaicos en la primera lámina de vidrio después de la etapa de proporcionar la pasta de frita de vidrio acondicionada térmicamente en la pared de vidrio compacto; o en la segunda lámina de vidrio; o en la primera lámina de vidrio después de la etapa de formar una pared de vidrio compacto alrededor de la periferia de la primera lámina de vidrio; o en la segunda lámina de vidrio después de la etapa de proporcionar la pasta de frita de vidrio acondicionada térmicamente alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio;
- 40 alinear la primera lámina de vidrio con la segunda lámina de vidrio de manera que la pasta de frita de vidrio acondicionada térmicamente proporcionada en la pared de vidrio compacto formada en la primera lámina de vidrio esté en contacto con la periferia de la segunda lámina de vidrio, o la pared de vidrio compacto formada en la primera lámina de vidrio esté en contacto con la pasta de frita de vidrio acondicionada térmicamente proporcionada alrededor de la periferia de la segunda lámina de vidrio; y
- 45 aplicar la unión con frita de vidrio asistida por láser para fusionar la pared de vidrio compacto formada en la primera lámina a la segunda lámina de vidrio al dirigir un láser a la pasta de frita de vidrio acondicionada térmicamente.
- 50 6. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende:
- suministrar la primera y la segunda láminas de vidrio;
- formar una primera pared de vidrio compacto de altura parcial en la primera lámina de vidrio al i) depositar una hilera de pasta de frita de vidrio alrededor de una periferia de la superficie de la primera lámina de vidrio, y transformar la pasta de frita de vidrio en vidrio compacto al calentar la primera lámina de vidrio en un horno o estufa;
- 55 formar una segunda pared de vidrio compacto de altura parcial en la segunda lámina de vidrio al ii) depositar una hilera de pasta de frita de vidrio alrededor de una periferia de la superficie opuesta de la segunda lámina de vidrio, y transformar la pasta de frita de vidrio en vidrio compacto al calentar la segunda lámina de vidrio en un horno o estufa;
- 60 opcionalmente, repetir uno o ambos de i) y ii) al menos una vez;
- proporcionar una hilera de pasta de frita de vidrio acondicionada térmicamente en una de la primera pared de vidrio compacto de altura parcial y la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial;
- 65 localizar una pluralidad de dispositivos fotovoltaicos en una de la primera lámina de vidrio y la segunda lámina de vidrio;

- 5 alinear la primera lámina de vidrio con la segunda lámina de vidrio de manera que la primera pared de vidrio compacto de altura parcial esté en contacto con la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial; aplicar la unión con fritas de vidrio asistida por láser para fusionar la primera pared de vidrio compacto de altura parcial a la segunda pared de vidrio compacto de altura parcial al dirigir un láser a la pasta de fritas de vidrio acondicionada térmicamente.
7. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, en el que se aplica una capa de material encapsulante sobre la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos.
- 10 8. Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 5 o 6, en el que se aplica una primera capa de material encapsulante en una de la superficie de la primera lámina de vidrio y la superficie opuesta de la segunda lámina de vidrio; la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos se ubica luego en la primera capa de material encapsulante; y se aplica una segunda capa de material encapsulante sobre la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos.
- 15 9. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7 u 8 en el que después de la etapa de alinear la primera y segunda láminas de vidrio, el módulo fotovoltaico se somete a un procedimiento de laminación.
- 20 10. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que la pared de vidrio compacto se forma a partir de una primera pasta de fritas de vidrio, y la etapa de sellar el volumen encerrado mediante el uso de la unión con fritas de vidrio asistida por láser hace uso de una segunda pasta de fritas de vidrio, en la que la primera pasta de fritas de vidrio y la segunda pasta de fritas de vidrio son iguales o diferentes.
- 25 11. Un módulo fotovoltaico que comprende:  
una pared de vidrio compacto que se extiende desde una periferia de una superficie de una primera lámina de vidrio hasta una periferia de una superficie opuesta de una segunda lámina de vidrio; y  
una pluralidad de dispositivos fotovoltaicos ubicados dentro de un volumen encerrado por la primera lámina de vidrio, la segunda lámina de vidrio y la pared de vidrio compacto;  
en el que la pared de vidrio compacto se forma a partir de una pluralidad de hileras de fritas de vidrio; y  
30 en el que la distancia extendida por la pared de vidrio compacto es de 50  $\mu\text{m}$  o mayor, está preferentemente entre 150  $\mu\text{m}$  y 1.000  $\mu\text{m}$ , y con mayor preferencia está entre 200  $\mu\text{m}$  y 800  $\mu\text{m}$ .
- 35 12. Un módulo fotovoltaico de acuerdo con la reivindicación 11, en el que la pared de vidrio compacto se fusiona a la superficie de la primera lámina de vidrio y a la superficie opuesta a la segunda lámina de vidrio.
- 40 13. Un módulo fotovoltaico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 o 12, en el que el grosor de la pared de vidrio compacto es inferior a 5 mm, y preferentemente está entre 1 mm y 3 mm.
- 45 14. Un módulo fotovoltaico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, en el que uno o más de la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos son dispositivos fotovoltaicos de unión múltiple, y preferentemente en el que la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos se une a la primera lámina de vidrio y a la segunda lámina de vidrio por al menos una capa de material encapsulante.
15. Un módulo fotovoltaico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, en el que una o ambas de la primera lámina de vidrio y la segunda lámina de vidrio comprenden una lámina de vidrio reforzada con calor o totalmente templada y cada uno de la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos comprende un dispositivo fotovoltaico de película delgada, y preferentemente en el que la pluralidad de dispositivos fotovoltaicos se forman directamente sobre una de la superficie de la primera lámina de vidrio y la superficie opuesta de la segunda lámina de vidrio.

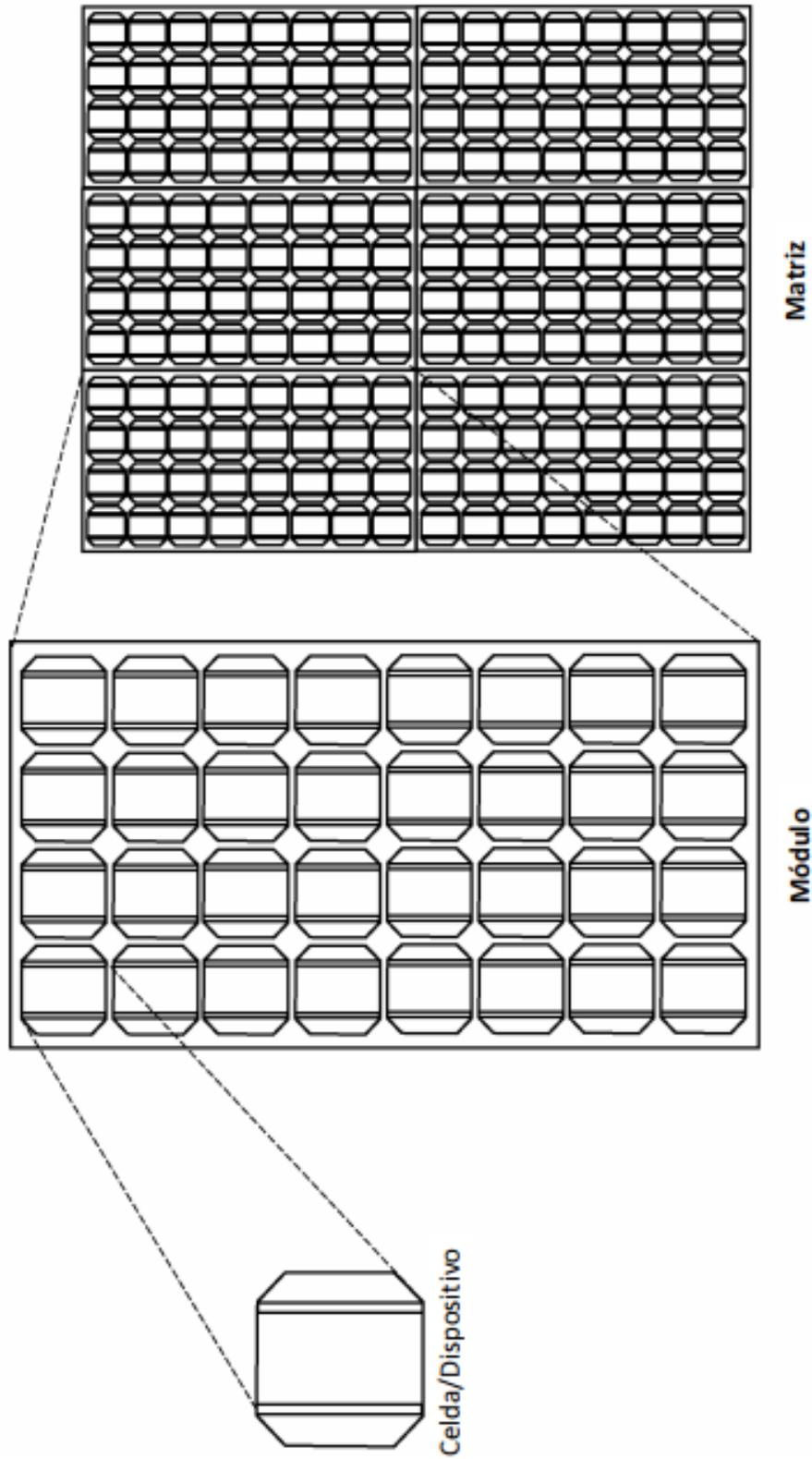
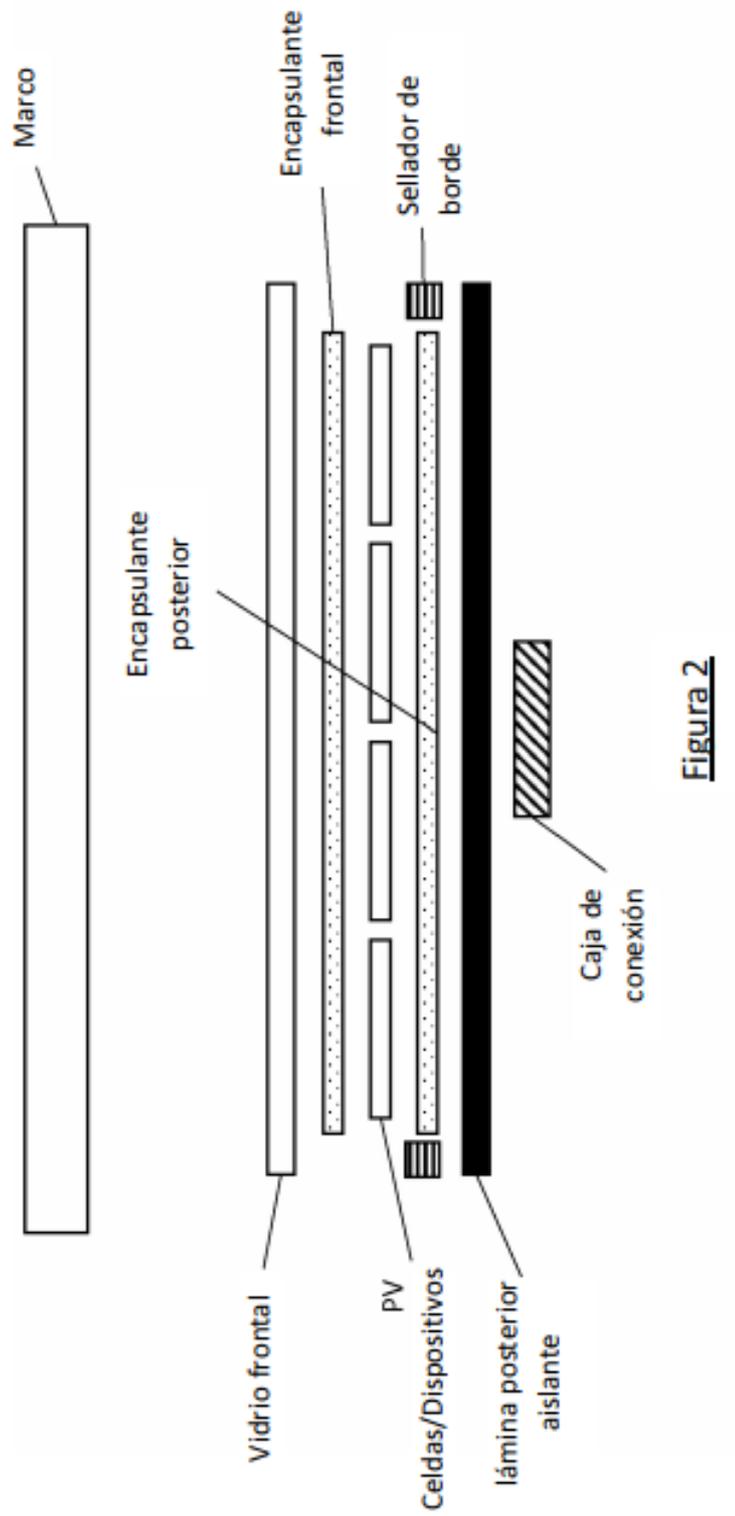


Figura 1



**Figura 2**



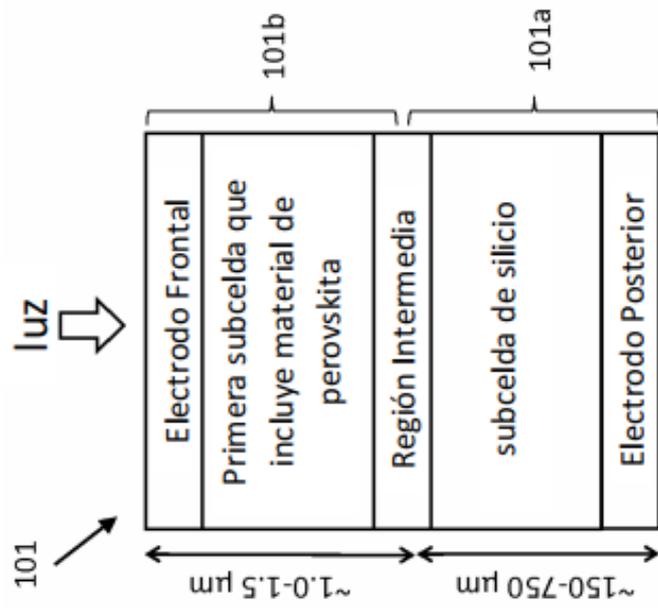


Figura 4a

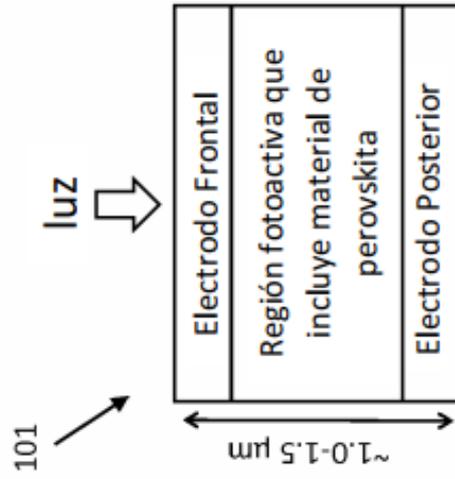


Figura 4b

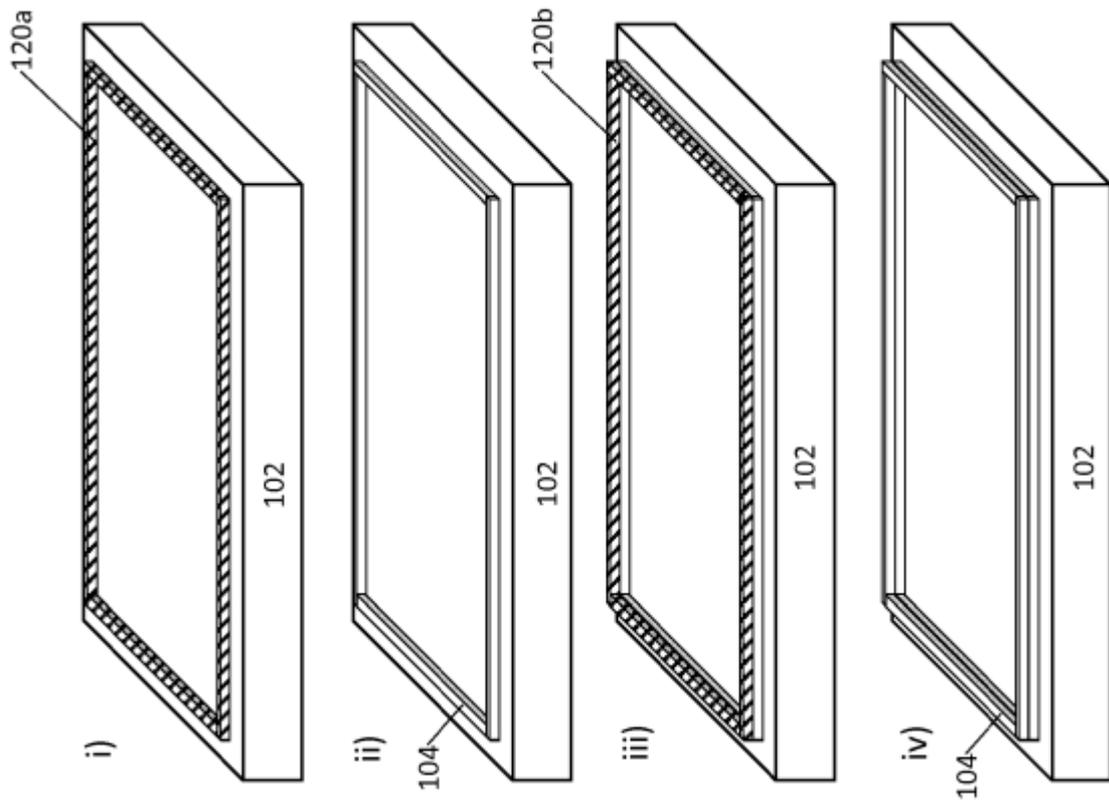
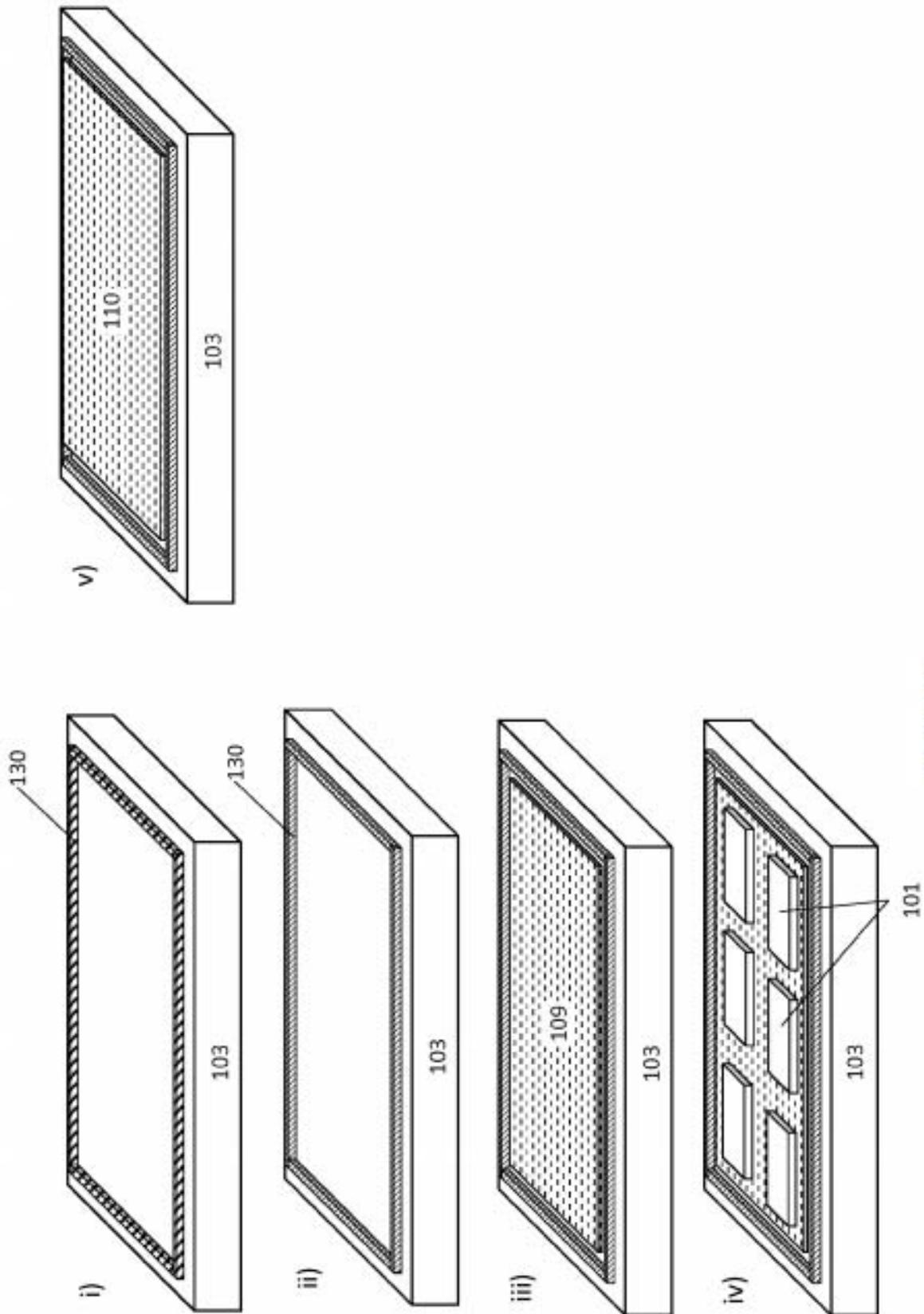


Figura 5a



**Figura 5b**

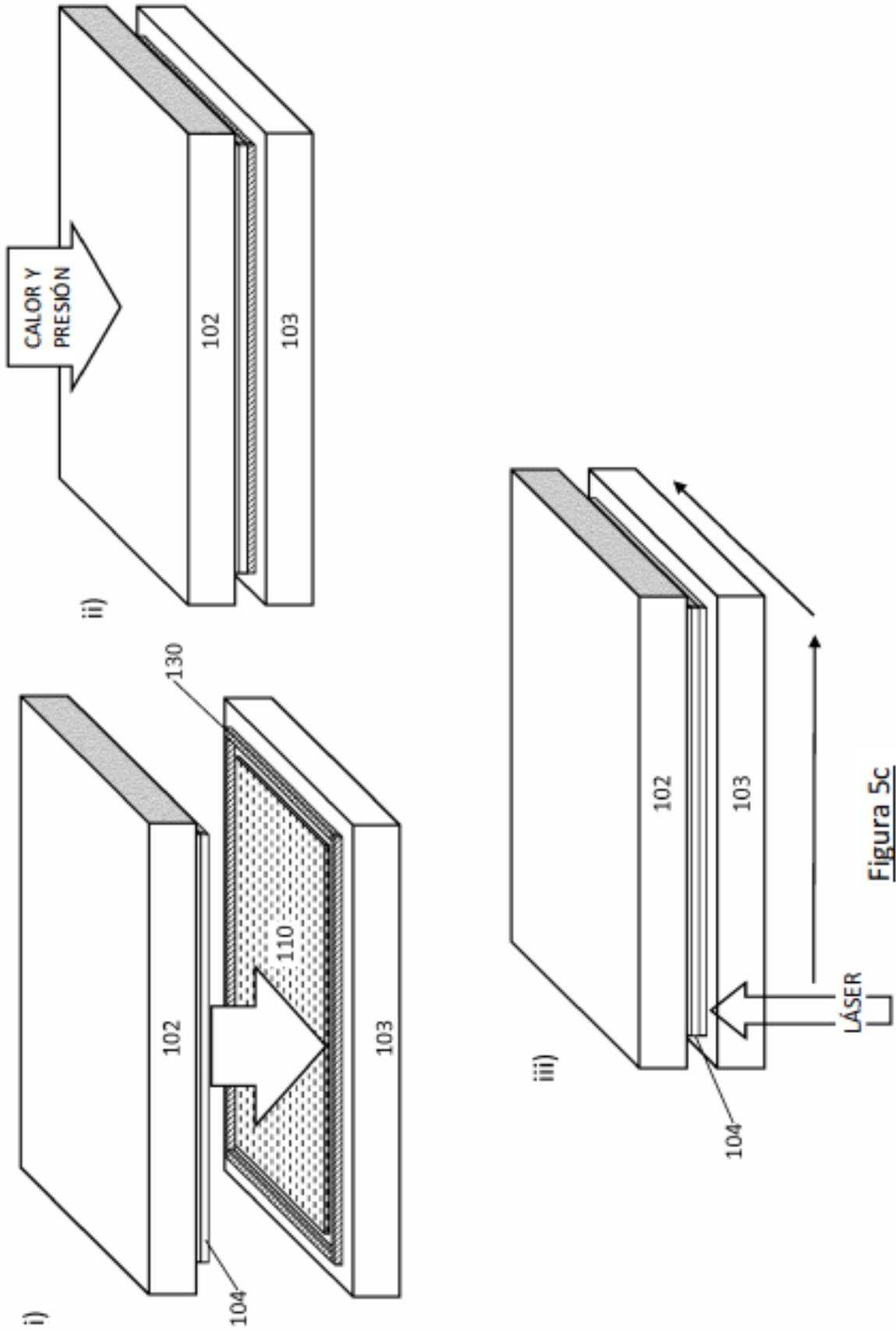


Figura 5c

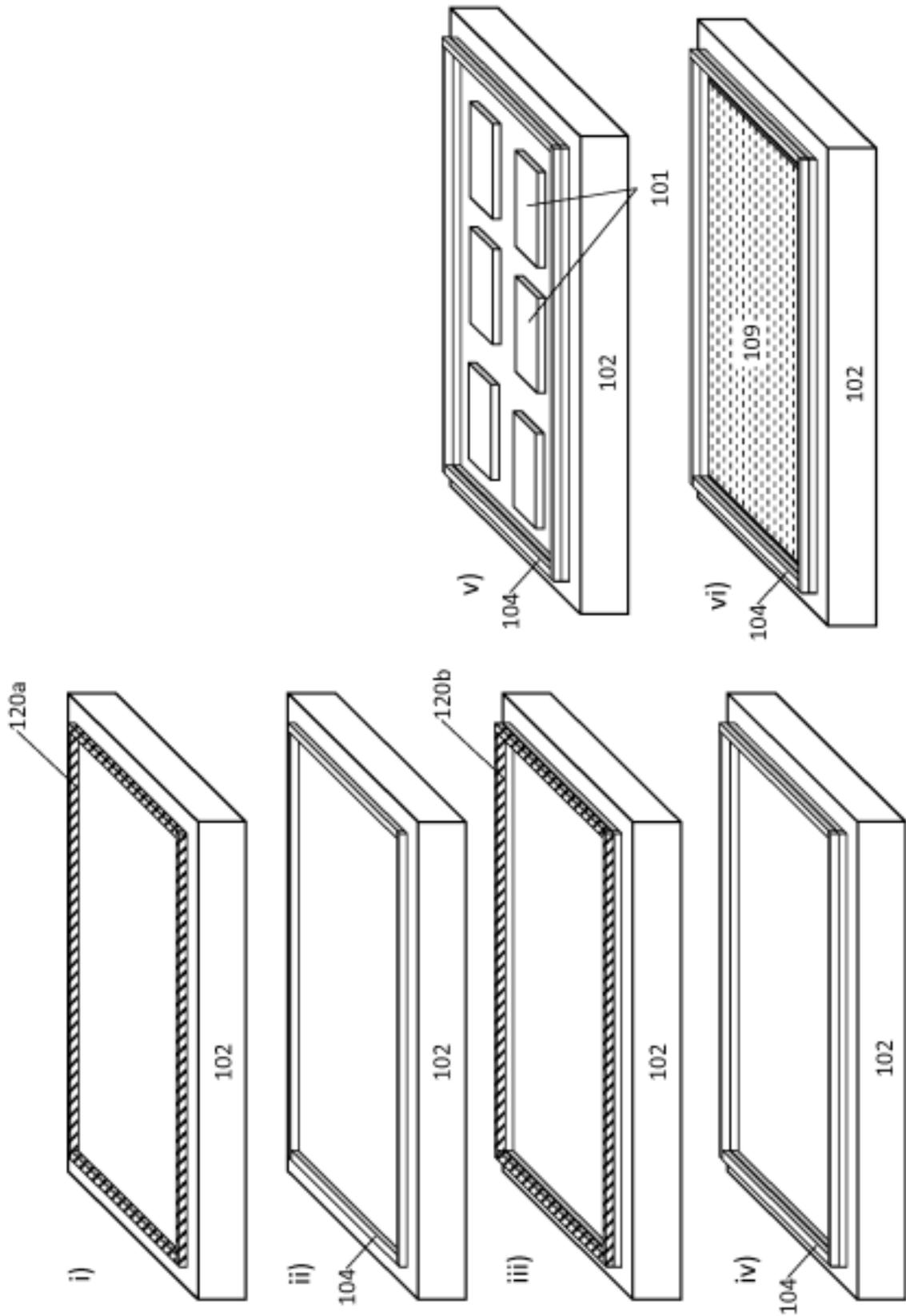


Figura 6a

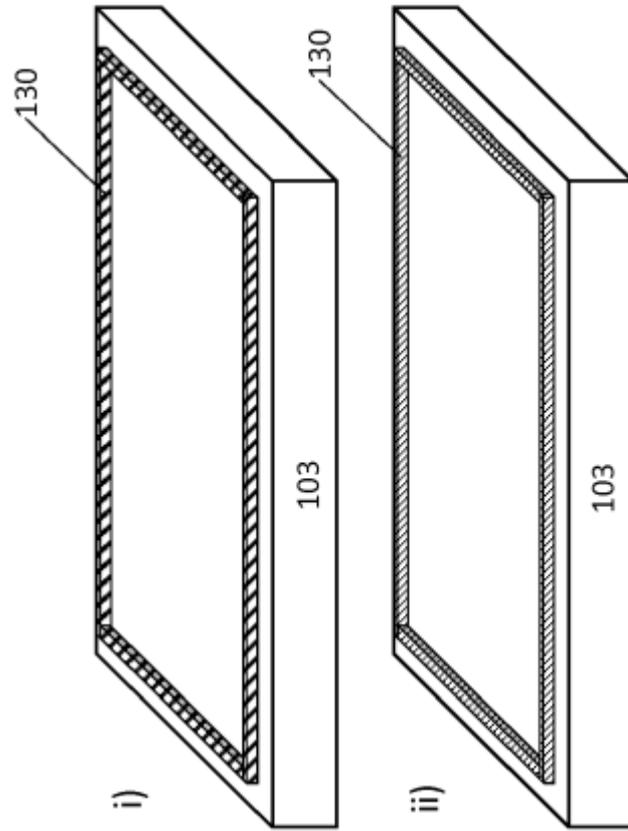


Figura 6b

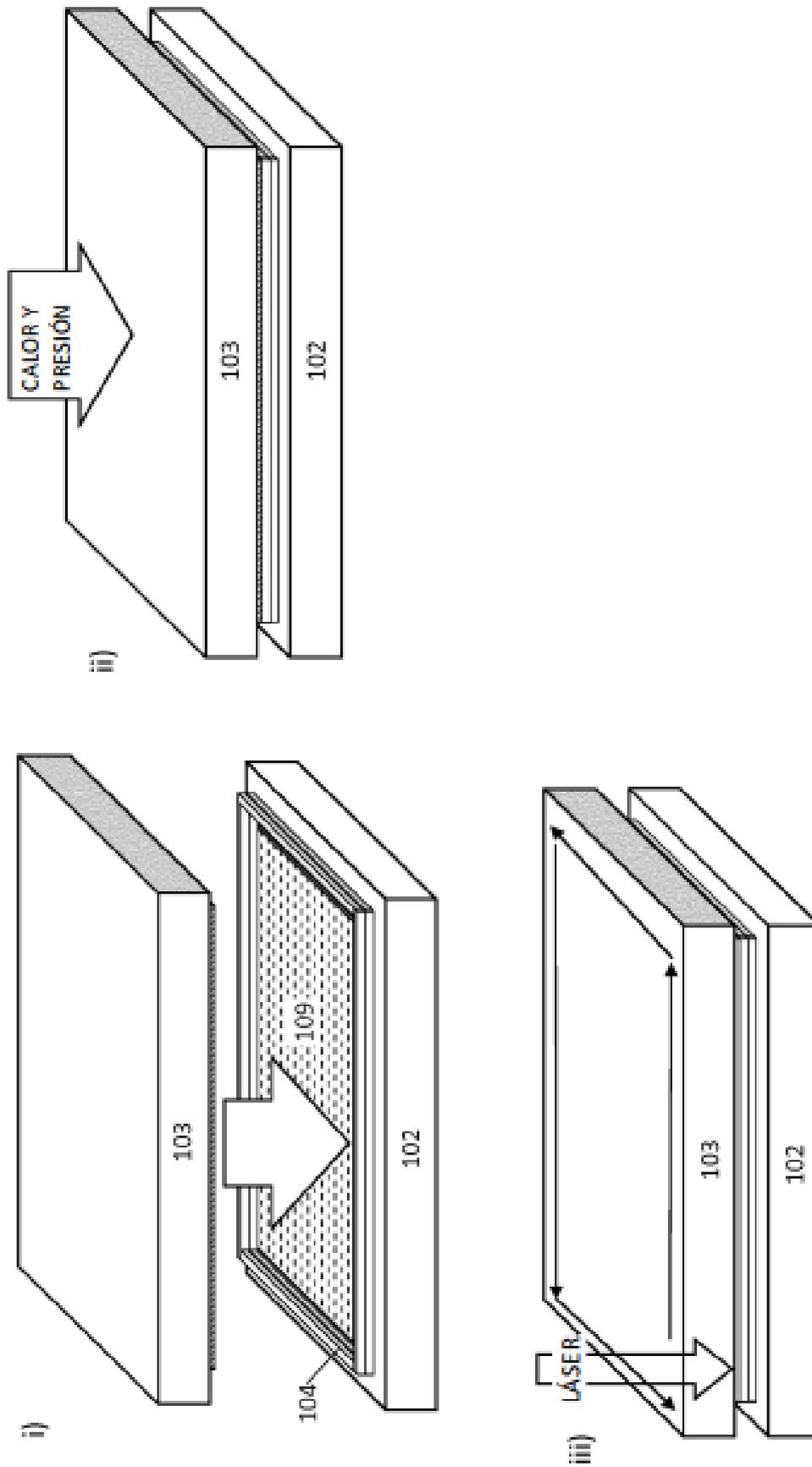


Figura 6c

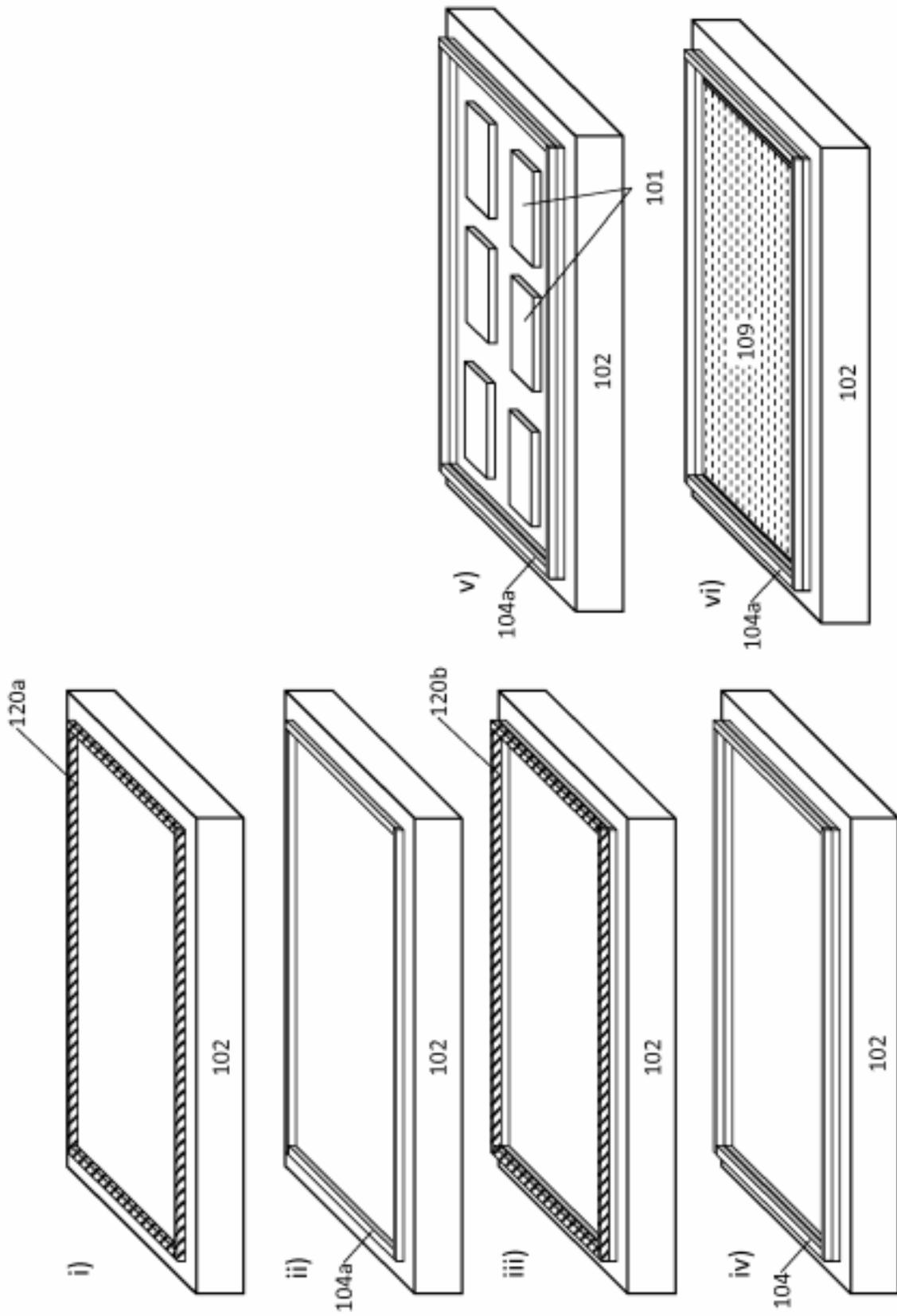


Figura 7a

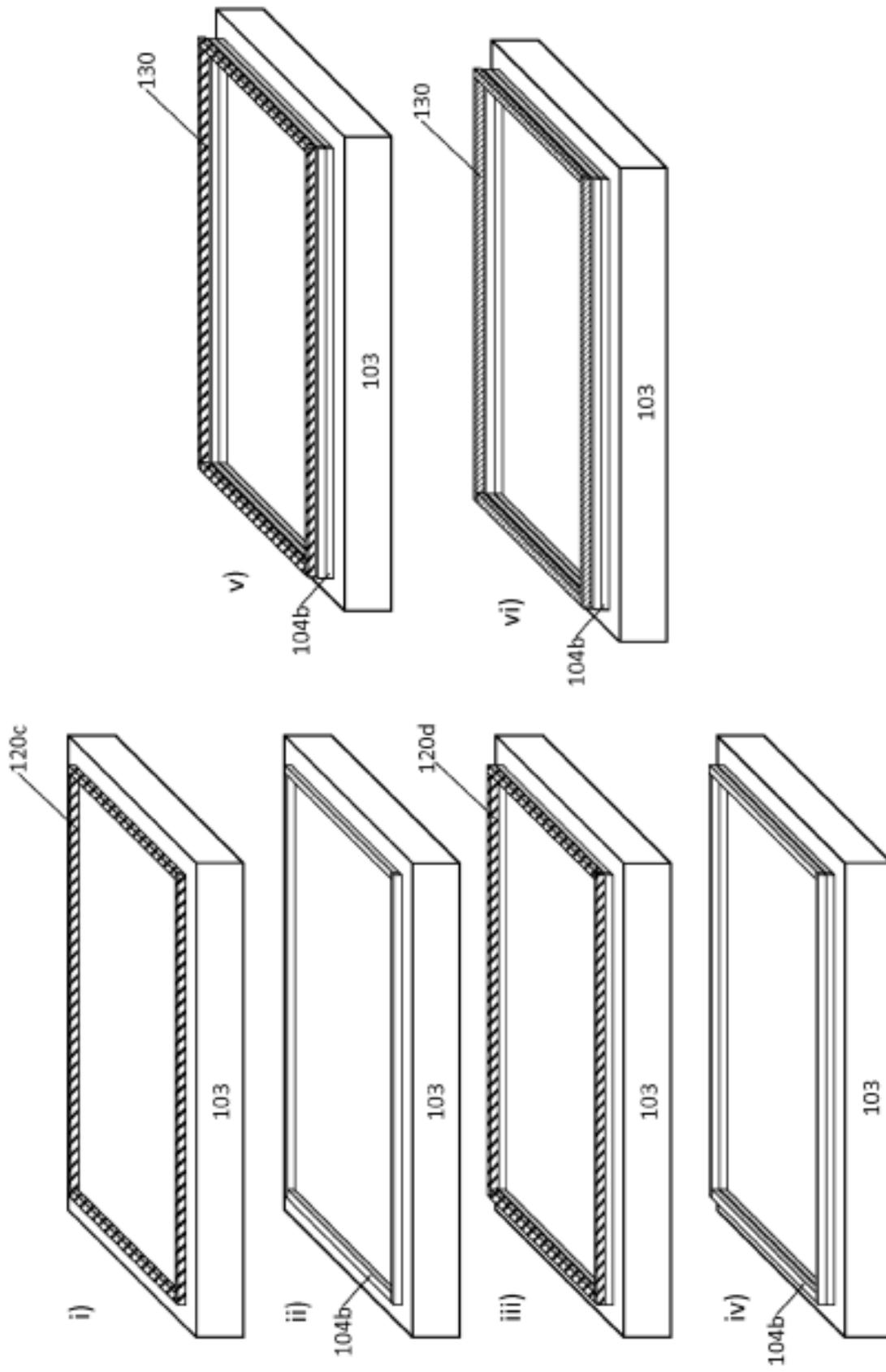


Figura 7b

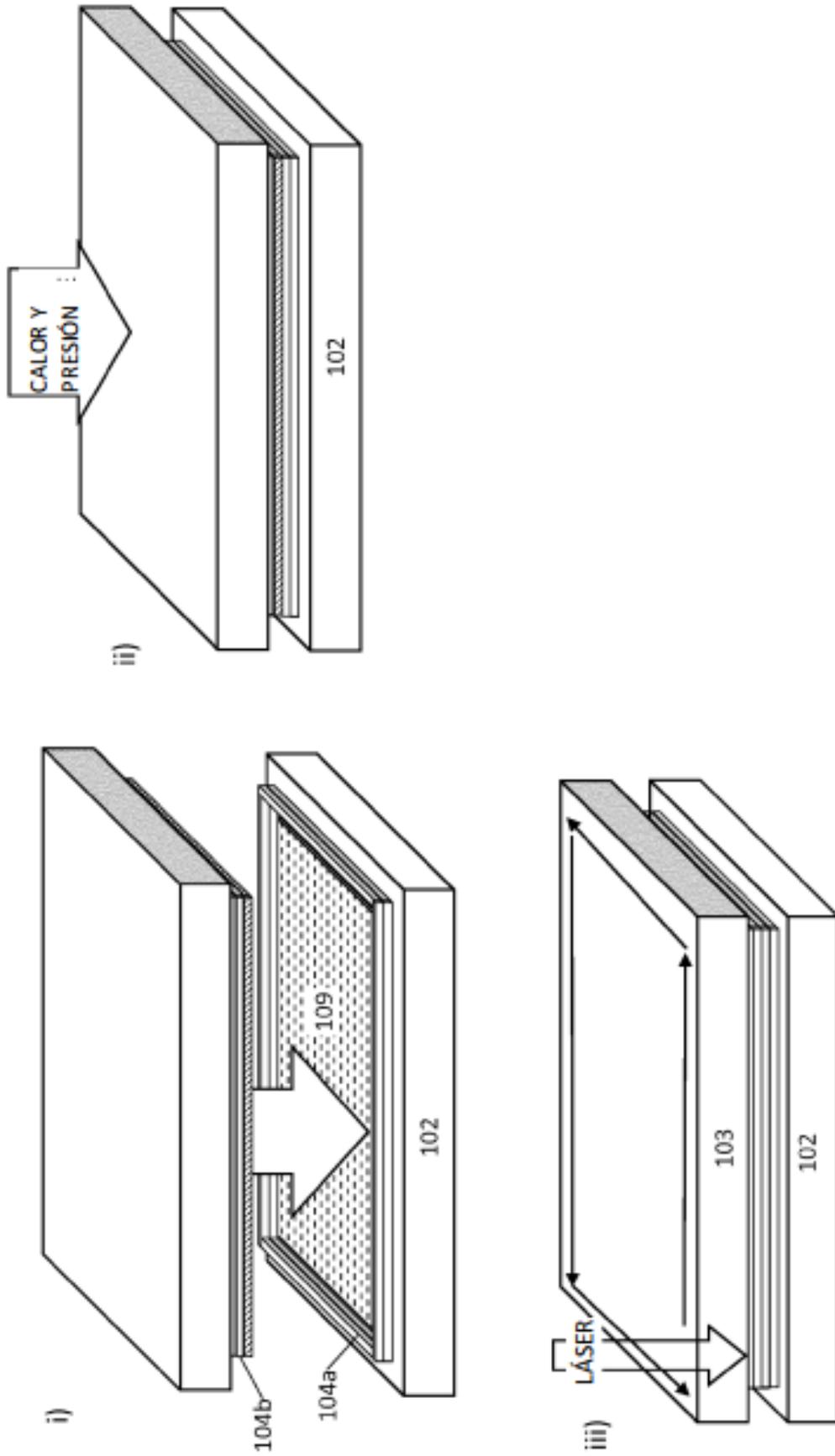


Figura 7c