

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 733 013**

51 Int. Cl.:

H01L 23/373 (2006.01)

H01L 23/427 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.01.2013** **PCT/EP2013/050217**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.07.2013** **WO13104620**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.01.2013** **E 13700512 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.04.2019** **EP 2803085**

54 Título: **Dispositivo de gestión térmica pasivo**

30 Prioridad:

10.01.2012 FR 1250240

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

27.11.2019

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
Bâtiment le Ponant D, 25 rue Leblanc
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**GAVILLET, JÉRÔME y
DIJON, JEAN**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 733 013 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

Dispositivo de gestión térmica pasivo

5 Campo técnico y técnica anterior

La presente invención se refiere a un dispositivo de gestión térmica pasivo, que puede usarse, por ejemplo, para el enfriamiento de componentes electrónicos.

10 Un número creciente de funcionalidades están confinadas en los sistemas electrónicos. Se busca simultáneamente reducir el tamaño de estos componentes. Esta tendencia conduce a una disipación de calor creciente por unidad de volumen (o de masa) de componente.

15 Los medios tradicionales de enfriamiento, como la convección de aire ya sea natural o forzada, no son suficientes para evacuar este calor.

Además de la mayor cantidad de calor a evacuar, se plantea el problema de la evacuación del calor en modo transitorio, cuando el flujo de calor es relativamente alto y la duración de la carga es relativamente corta.

20 Se ha considerado integrar microcanales dentro de los componentes, asociados con un sistema externo y activo de circulación de un fluido caloportador. Esta técnica es relativamente eficaz para extraer el calor limitando al mismo tiempo la resistencia térmica a los contactos. El sistema externo y activo está formado, por ejemplo, por una microbomba. Ahora bien, esta técnica ofrece un cierto espacio necesario, además, pueden plantearse problemas de fiabilidad con el tiempo y se requiere un mantenimiento.

25 La implementación de fluidos refrigerantes tiene la ventaja de usar un calor latente de vaporización durante un cambio de fase, como suplemento de un enfriamiento convectivo muy eficaz. Esto conduce a una mayor disipación de potencia térmica manteniendo al mismo tiempo la temperatura de superficie relativamente baja y uniforme. Por ejemplo, para una unión de microchip a 85 °C, la ebullición en vaso de un fluido caloportador tipo fluorocarbono FC72 permite disipar flujos de calor del orden de 50 W/cm², mientras que un radiador enfriado al aire solo puede disipar una potencia de 0,1 W/cm², con dimensiones equivalentes. Sin embargo, la disipación de calor por cambio de fase sigue siendo limitada para las altas cargas térmicas. De hecho, el umbral máximo de disipación por ebullición o evaporación depende de las propiedades termofísicas del fluido caloportador, del régimen hidrodinámico de la fluencia bifásica y de las condiciones de energía de superficie y sigue siendo limitado por el flujo de calor crítico que conduce a una desecación irreversible de la superficie y a la caída espontánea de la transferencia de calor a través de ella.

40 El documento US 2006/0231970 describe un material de interfaz térmica destinado a disponerse entre una fuente de calor y un dispositivo de disipación de calor. El material incluye nanotubos de carbono incrustados en una matriz de un material de cambio de fase, como la parafina. Los nanotubos de carbonos se extienden de manera discreta y longitudinalmente entre la fuente de calor y el dispositivo de disipación del calor. Los extremos de los nanotubos sobresalen de las superficies del material de interfaz térmica y están en contacto con la fuente de calor y el dispositivo de disipación térmica, formando un recorrido de conducción térmica entre la fuente de calor y el dispositivo de disipación del calor. La transferencia térmica entre la fuente y el dispositivo de disipación térmica se hace principalmente a través de los nanotubos. Cuando el material de cambio de fase pasa del estado sólido al estado líquido bajo el efecto del calor emitido por la fuente, el mismo rellena el espacio entre la fuente de calor y el dispositivo de disipación térmica y asegura una interfaz térmica entre la fuente de calor y el dispositivo de disipación térmica.

50 El documento US2008/174963 describe un dispositivo de intercambio térmico que implementa un cambio de fase líquido/vapor, incluyendo el mismo unas redes de nanotubos y un líquido presente entre los nanotubos; el líquido se evapora gracias al calor transmitido por los nanotubos.

55 El material de interfaz térmica tiene un espesor del orden del micrómetro para ofrecer una cierta flexibilidad. Este material permite una evacuación eficaz del calor en régimen nominal, es decir, cuando el flujo de calor es relativamente bajo y la duración de la carga es relativamente larga. Sin embargo, en régimen transitorio, cuando el flujo de calor es relativamente alto y la duración de la carga es relativamente corta, este material ya no permite una gestión térmica eficaz.

Exposición de la invención

60 Por consiguiente, un objetivo de la presente invención es ofrecer un dispositivo de gestión térmica pasivo eficaz para evacuar el calor tanto en régimen nominal como en régimen transitorio.

65 El objetivo de la presente invención se alcanza mediante un dispositivo de gestión térmica que incluye unas células que contienen un material de cambio de fase sólido/líquido, estando las paredes de las células formadas por unos nanotubos de carbono, formando los nanotubos un cortocircuito térmico entre la fuente de calor y el disipador térmico.

Gracias a su muy buena conductividad térmica, los nanotubos aseguran una evacuación del calor en régimen nominal por conducción. En régimen transitorio, el material de cambio de fase mediante paso del estado sólido al estado líquido asegura la absorción temporal del calor. Preferentemente, el tamaño de las células es relativamente pequeño, de modo que las paredes de nanotubos de las células permiten distribuir de manera controlada y predefinida el calor en el corazón del material de cambio de fase.

En régimen nominal, la evacuación del calor se hace, por lo tanto, principalmente por conducción por medio de los nanotubos y en régimen transitorio, el almacenamiento del calor se hace principalmente por cambio de fase, luego su evacuación se hace por conducción por medio de los nanotubos.

De manera muy ventajosa, los nanotubos están en contacto entre sí, de modo que las paredes de las células sean de material denso, ofreciendo una mejor conductividad térmica en el sentido lateral y un volumen disponible para el material de cambio de fase mayor.

La presente invención tiene entonces por objeto un dispositivo de gestión térmica que incluye una primera cara destinada a estar en contacto con una fuente caliente (FC) y una segunda cara opuesta a la primera destinada a estar en contacto con una fuente fría, al menos una red de células rellenas con un material de cambio de fase sólido/líquido dispuesto entre la primera y la segunda cara, incluyendo las células unas paredes formadas por nanotubos de carbono, extendiéndose dichos nanotubos sustancialmente de la primera a la segunda cara y conectando térmicamente la primera cara a la segunda cara.

Preferentemente, las paredes de las células forman un tabique lateral continuo.

De manera muy ventajosa, las paredes de las células están formadas por los nanotubos en contacto para formar un material denso.

La dimensión transversal de cada célula es preferentemente inferior o igual a la distancia del frente de fusión, siendo la distancia del frente de fusión del orden de $\sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot \Delta T \cdot t}{L}}$, siendo k la conductividad térmica del material de cambio de fase, siendo L el calor latente de fusión del material de cambio de fase, siendo ΔT la diferencia de temperatura entre la temperatura de la pared de una célula durante una sobrecarga térmica y la temperatura de cambio de fase del material de cambio de fase y siendo t el tiempo.

En un modo de realización, el dispositivo incluye un soporte provisto de al menos una cavidad y una cubierta que obtura dicha cavidad, incluyendo dicha cavidad una red de células de nanotubos de carbono rellenas con material de cambio de fase.

Ventajosamente, un material conductor térmico dúctil puede interponerse entre la cubierta y la red de células o entre el fondo de la cavidad y la red de células.

En un ejemplo de realización, la red de células es solidaria con la cubierta.

En otro ejemplo de realización, la red de células es solidaria con el fondo de la cavidad.

El dispositivo de gestión térmica según la invención puede incluir varias cavidades.

Por ejemplo, el área de la o las cavidades está comprendida entre 1000 μm^2 y 10 cm^2 .

El soporte puede tener un espesor comprendido entre 0,5 mm y 1 mm, preferentemente igual a 750 μm , y la o las cavidades 16 pueden tener una profundidad comprendida entre 50 μm y 500 μm .

La presente invención tiene igualmente por objeto un sistema electrónico que incluye al menos un componente electrónico que forma una fuente de calor, al menos un dispositivo de evacuación del calor que forma una fuente fría y al menos un dispositivo de gestión térmica según la invención, estando el componente electrónico en contacto térmico con la primera cara del dispositivo de gestión térmica y estando el dispositivo de evacuación del calor en contacto térmico con la segunda cara.

La presente invención tiene igualmente por objeto un procedimiento de fabricación de un dispositivo de gestión térmica según la invención, que incluye las etapas:

- a) definición del patrón de la red de células en un sustrato por depósito de resina y litografía de la misma,
- b) depósito de una capa de catalizador,
- c) retirada de la resina,
- d) crecimiento de los nanotubos de carbono, por depósito químico en fase de vapor,
- e) rellenado de las células con el material de cambio de fase.

El catalizador puede ser hierro o un sistema bicapa de aluminio e hierro.

Ventajosamente, el procedimiento de fabricación incluye una etapa de compactación de nanotubos de carbono por inmersión en una solución de alcohol de la red de células y secado al aire.

5 El procedimiento de fabricación puede incluir, previamente a las etapas a) a d), las etapas de realización de una o varias cavidades en un soporte, recibiendo dicha o dichas cavidades una red de células y después de la etapa d) de cierre de la o de las cavidades con una cubierta.

10 El sustrato puede estar formado por el fondo de la o de las cavidades, las etapas a) a d) pueden tener lugar entonces en el fondo de la o de las cavidades.

Ventajosamente, el procedimiento de fabricación puede incluir una etapa de depósito de una capa de material conductor térmico dúctil en el fondo de la o de las cavidades destinada a orientarse hacia el interior de la cavidad.

15 El sustrato puede estar formado por la cubierta y las etapas a) a d) pueden tener lugar entonces en la cubierta. Ventajosamente, el procedimiento de fabricación puede incluir una etapa de depósito de una capa de material conductor térmico dúctil sobre una cara de cubierta destinada a orientarse hacia el interior de la cavidad.

20 Breve descripción de los dibujos

La presente invención se comprenderá mejor con la ayuda de la descripción que va a seguir y de los dibujos adjuntos, en los que:

- 25 - las figuras 1A y 1B son unas vistas en corte longitudinal y transversal, respectivamente, de una representación esquemática de un ejemplo de realización de un dispositivo de gestión térmica según la invención,
- la figura 1C es una vista en corte longitudinal de otro ejemplo de dispositivo de gestión térmica en contacto con varias fuentes calientes,
- las figuras 2A y 2B son unas representaciones esquemáticas de un ejemplo de etapas de realización del dispositivo según la invención,
- 30 - las figuras 2A' y 2B' son unas representaciones esquemáticas de otro ejemplo de etapas de realización del dispositivo según la invención,
- las etapas 3A a 3E son unas representaciones esquemáticas de etapas de realización de la red de células de nanotubos de carbono,
- 35 - las figuras 4A a 4D son unas representaciones gráficas de la densidad de superficie de potencia almacenable en función de la frecuencia de las cargas térmicas para cuatro diferentes materiales de cambio de fase, siendo el espesor de material de cambio de fase diferente para cada representación gráfica,
- las figuras 5A a 5C son unas representaciones gráficas de la profundidad media de penetración térmica en función de la frecuencia de las cargas térmicas en cuatro diferentes materiales de cambio de fase, en el cobre y en los
- 40 nanotubos de carbono.

Descripción detallada de modos de realización particulares

45 Se puede ver, representado esquemáticamente en las figuras 1A y 1B, un ejemplo de realización de un dispositivo de gestión térmica 2 dispuesto en una fuente caliente FC y una fuente fría FF.

Por ejemplo, la fuente caliente FC es un sistema electrónico y la fuente fría FF es un radiador de aletas.

50 El dispositivo de forma sustancialmente plana incluye una primera cara 4 destinada a estar en contacto con la fuente caliente FC y una segunda cara 6 opuesta a la primera cara 4 y destinada a estar en contacto con la fuente fría.

55 El dispositivo incluye un soporte 14 conductor térmico, por ejemplo, de silicio monocristalino, en el que se realiza una pluralidad de cavidades 16 que desembocan en una de las caras del soporte 14. Cada una de las cavidades 16 contiene una red de células 8 de nanotubos de carbono y material de cambio de fase. Cada cavidad 16 está cerrada con una cubierta 18. La primera cara 4 está formada por la cubierta 18 y la segunda cara 6 por el fondo del soporte 14.

60 El dispositivo incluye, igualmente, situadas entre sus dos caras 4, 6, varias redes de células 8 alojadas en unas cavidades 16. Las células están delimitadas por unas paredes 10 laterales cerradas. Las paredes 10 se extienden sustancialmente según la dirección del flujo térmico F esquematizado por una flecha. El dispositivo incluye igualmente un material de cambio de fase 12 dispuesto en las células. Las paredes 10 están realizadas en nanotubos de carbono, que presentan un coeficiente de conductividad térmica muy alto, comprendida, por ejemplo, entre $6 \text{ W.cm}^{-1}.\text{K}^{-1}$ a $20 \text{ W.cm}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

65 Cada extremo de la red de células 8, en la dirección de los nanotubos de carbono, está en contacto térmico con el fondo de la cavidad 16 y la cubierta 18. Por ejemplo, la longitud de los nanotubos se aproxima por lo tanto a la

profundidad de las cavidades 16. En un ejemplo ventajoso, un material conductor térmico que ofrece una cierta ductilidad, por ejemplo, un metal como el titanio, el cobre, el oro... está dispuesto entre la cubierta 18 y los nanotubos de carbono para asegurar un buen contacto térmico, ofreciendo al mismo tiempo una cierta tolerancia en la realización de los nanotubos.

5 Como lo veremos a continuación, los nanotubos pueden realizarse directamente en la cubierta 18 mediante crecimiento en una cara de la misma o en la cavidad 16, mediante crecimiento en el fondo de la misma. Alternativamente, se puede considerar realizar un conjunto independiente formado por una red de células de nanotubos de carbono y de material de cambio de fase sólido. Este conjunto es manejable y un conjunto se dispondría
10 en cada una de las cavidades.

De manera muy ventajosa, las paredes 10 están realizadas de tal modo que los nanotubos colapsan y forman un material denso en el que los nanotubos están en contacto por su superficie lateral.

15 Entonces, se reduce el espesor de las paredes, lo que aumenta el volumen de las células y, por lo tanto, el volumen disponible para el material de cambio de fase. Además, se aumenta igualmente la conductividad térmica de las paredes.

Por ejemplo, el factor de compactación está comprendido entre 2 y 10 en función de la densidad inicial de las paredes.

20 En la figura 1B, se puede ver un detalle del dispositivo de la figura 1A en corte transversal y, en particular, una vista desde arriba de una red de células en forma de nido de abeja. Sin embargo, esta forma no es exclusiva y una red en forma de células cuadradas o rectangulares no va más allá del alcance de la presente invención. La estructura en nido de abeja presenta la ventaja de ofrecer una isotropía térmica en el plano.

25 En el ejemplo representado, las células tienen todas el mismo tamaño, sin embargo, se podrían prever células de diferentes tamaños y/o diferentes formas dentro del mismo dispositivo de gestión térmica pasivo.

30 Preferentemente, la sección de las células se elige de modo que, en régimen transitorio, se derrita todo el material de cambio de fase, lo que permite optimizar el tamaño del dispositivo y la cantidad de material de cambio de fase implementado.

35 El material de cambio de fase se elige de modo que pase del estado sólido al estado líquido durante una sobrecarga térmica de la fuente caliente FC. Por ejemplo, para un componente electrónico, su temperatura de operación, llamada temperatura nominal, es del orden de 90 °C, la temperatura de cambio de fase sólido/líquido del material de cambio de fase es entonces superior a 90 °C. En la tabla de más abajo, se dan unos ejemplos de material de cambio de fase adaptados para una aplicación de este tipo. Las temperaturas de cambio de fase se recogen en la segunda columna.

PCM	T (°C)	J/g	Densidad (Kg/m ³)	KJ/cm ³	Calor específico (J/g.K)	ΔV (%)	Conductividad térmica (W/Km)	Difusividad (m ² /s)
Eritriol	118	340	1480	0,5	1,38	13,8 %	2,64	1,29E-06
PlusICE X180	180	301	1330	0,4	1,38	9,0 %	0,99	5,41E-07
A164	164	306	1500	0,5	1,38	10,0 %	0,20	9,66E-08
H110	110	243	2145	0,5	2,41	10,0 %	0,45	8,70E-08

40 En la figura 1C, se puede ver otro ejemplo de realización del dispositivo de gestión térmica según la invención. El mismo está destinado a estar en contacto con varias fuentes calientes FC. Además, unas interconexiones 19 TSV ("Through-Silicon Via" en terminología anglosajona, "vía a través del silicio") se realizan entre las fuentes calientes, por ejemplo, mediante dispositivos microelectrónicos de tipo *microchip* y el dispositivo de intercambio térmico.

45 Ahora vamos a explicar el funcionamiento del dispositivo de intercambio térmico de la figura 1A. El funcionamiento de la figura 1C es similar al de la figura 1A.

50 En régimen nominal: la carga corresponde al funcionamiento normal de la fuente de calor FC. El flujo de calor es relativamente bajo, por ejemplo, inferior a 1 W/cm² y la duración de carga es relativamente alta, por ejemplo, superior a 10 segundos. El calor se transmite a la fuente fría FF por las paredes de la red de células 8 en nanotubos por conducción. La temperatura del dispositivo de gestión térmica es entonces inferior a la temperatura de cambio de fase del material de cambio, que permanece por lo tanto en estado sólido: el almacenamiento térmico en el material de cambio de fase no se activa entonces en régimen nominal.

55 En régimen transitorio: la carga corresponde al funcionamiento anormal de la fuente de calor FC. El flujo de calor es relativamente alto, superior a 1 W/cm², y la duración de carga es relativamente corta, por ejemplo, inferior a 10 segundos. El flujo térmico conduce a un incremento local de la temperatura, de modo que el material de cambio pasa

al estado líquido: se activa el almacenamiento térmico. El calor se transmite al material de cambio de fase por las paredes de nanotubos que rodea el material de cambio de fase.

5 Al final del régimen transitorio, el material de cambio 10 se solidifica devolviendo su calor latente al sistema que se disipa por conducción hacia la fuente fría, la temperatura se vuelve simultáneamente inferior a la del cambio de fase y el dispositivo de gestión térmica está de nuevo disponible para el siguiente régimen transitorio. Se desactiva el almacenamiento térmico.

10 En el ejemplo de funcionamiento descrito, el régimen nominal y el régimen transitorio tienen lugar en diferentes instantes, sin embargo, se puede considerar que tengan lugar simultáneamente, por ejemplo, en el caso de que el dispositivo esté en contacto con varias fuentes calientes. El dispositivo según la invención permite gestionar térmica y simultáneamente cargas térmicas nominales y/o transitorias.

15 En las figuras 4A a 4D, se puede ver representada la densidad de superficie de potencia almacenable DS en kW/cm² por diferentes materiales de cambio de fase para diferentes espesores de material de cambio de fase en función de la frecuencia de las cargas térmicas en Hz, lo que representa su capacidad de almacenamiento.

Se considera una temperatura nominal del componente que hay que enfriar del orden de 90 °C.

20 La densidad de superficie de potencia almacenable es el producto de la densidad de superficie de energía almacenable por la frecuencia de la sobrecarga térmica.

25 La densidad de superficie de energía almacenable es la suma del calor latente disponible en un espesor H de material de cambio de fase y del calor sensible disponible para el mismo material de cambio de fase en el intervalo de temperatura: $T_{\text{máx}} - T_{\text{nominal}}$, donde $T_{\text{máx}}$ es la temperatura máxima alcanzada por el componente durante una sobrecarga térmica.

Para todas las representaciones gráficas de las figuras 4A a 4D, $T_{\text{máx}} - T_{\text{nominal}} = 10$ °C.

30 Para la figura 4A, H = 50 µm, para la figura 4B, H = 100 µm, para la figura 4C, H = 500 µm y para la figura 4D, H = 1 mm.

Los materiales considerados son:

35 I: Eritriol cuya temperatura de fusión es 118 °C;
II: PlusICEX180® fabricado por PCMprocess cuya temperatura de fusión es 180 °C;
III: A164® fabricado por PCMprocess cuya temperatura de fusión es 164 °C;
IV: H110® fabricado por PCMprocess cuya temperatura de fusión es 110 °C.

40 La densidad de superficie de potencia almacenable es el producto de la densidad de superficie de energía almacenable por la frecuencia de la sobrecarga térmica. La misma se presenta en las curvas de más abajo para un intervalo de temperatura $T_{\text{máx}} - T_{\text{MCP}}$ de 10 °C y diversos espesores de materiales de cambio de fase.

Se constata:

45 - que un espesor de 50 µm de material de cambio de fase puede almacenar aproximadamente 0,3 kW/cm² a 100 Hz, 3 kW/cm² a 1 kHz, 30 kW/cm² a 10 kHz y 300 kW/cm² a 100 kHz;
- que un espesor de 100 µm de material de cambio de fase puede almacenar 2 veces la potencia almacenable con un espesor de 50 µm;
50 - que un espesor de 500 µm de material de cambio de fase puede almacenar 10 veces la potencia almacenable con un espesor de 50 µm;
- que un espesor de 1000 µm de material de cambio de fase puede almacenar 20 veces la potencia almacenable con un espesor de 50 µm.

55 En las figuras 5A a 5C se representa la evolución de la profundidad de penetración térmica en µm en función de la frecuencia de la carga térmica en régimen transitorio.

60 La profundidad de penetración térmica es la profundidad hasta la que el material de cambio de fase pasa al estado líquido. Al conocer esta profundidad, es posible optimizar el tamaño de las células, de modo que la cantidad de material de cambio de fase corresponda al almacenamiento del calor en el caso de una sobrecarga térmica.

A escala del material de cambio de fase contenido en una célula, el calor se conduce dentro del material de cambio de fase. La cinética del transporte del calor dentro del material de cambio de fase depende entonces de las condiciones de temperatura en las paredes de las células y de las propiedades físicas del material de cambio de fase

$$s(t) = \sqrt{2 \frac{\lambda \Delta T}{L} t} \quad (I)$$

donde $s(t)$ es la posición del frente de cambio de fase (o profundidad de penetración térmica) en el instante t ,
 λ es la conductividad térmica del material de cambio de fase en W/k.m,
 ΔT la diferencia de temperatura entre las paredes de la célula y el material de cambio de fase no transformado,
 L el calor latente de cambio de fase del material de cambio de fase en J/m³.

A escala del dispositivo de almacenamiento, el calor se conduce a lo largo de las paredes de nanotubos de carbono. La cinética del transporte depende entonces del flujo de calor incidente, de la arquitectura y de las propiedades físicas de la red de célula. Estadísticamente, una profundidad media de penetración térmica puede definirse como sigue:

$$d(\omega) = \sqrt{\frac{2 \cdot D}{\omega}} \quad (II)$$

donde D es la difusividad térmica del material en m²/s y ω la frecuencia de la señal térmica.

En las representaciones gráficas de las figuras 5A a 5C, se pueden ver las profundidades de penetración del calor en los materiales de cambio de fase I, II, III y IV, en los nanotubos de carbono (curva V) y en el cobre (curva VI) a título de referencia.

Para todas las figuras la temperatura nominal es 90 °C. Para la figura 5A, $\Delta T = 1$ °C, para la figura 5B, $\Delta T = 10$ °C y para la figura 5C, $\Delta T = 20$ °C.

La lectura de las curvas de las figuras 5A a 5C permite determinar el tamaño de las células con el fin de que todo el material de cambio de fase se derrita en caso de sobrecarga térmica.

Se constata, por lo tanto que, para que todo el material de cambio de fase se derrita:

- para una ΔT de 1 °C y según el material de cambio de fase, el tamaño de célula óptimo está comprendido entre 3 µm y 10 µm para una frecuencia de la sobrecarga térmica inferior o igual a 100 kHz;
- para una ΔT de 1 °C y según el material de cambio de fase, el tamaño de célula óptimo está comprendido entre 1 a 3 µm de tamaño para una frecuencia de la sobrecarga térmica inferior o igual a 1 kHz;
- para una ΔT de 1 °C y según el material de cambio de fase, el tamaño de célula óptimo está comprendido entre 0,3 a 1 µm para una frecuencia de la sobrecarga térmica inferior o igual a 10 kHz;
- para una ΔT de 1 °C y según el material de cambio de fase, el tamaño de célula óptimo está comprendido entre 0,1 a 0,3 µm para una frecuencia de la sobrecarga térmica inferior o igual a 100 kHz;
- para una ΔT de 10 °C y según el material de cambio de fase, el tamaño de célula óptimo está comprendido entre 10 a 30 µm para una frecuencia de la sobrecarga térmica inferior o igual a 100 Hz;
- para una ΔT de 10 °C y según el material de cambio de fase, el tamaño de célula óptimo está comprendido entre 3 a 10 µm para una frecuencia de la sobrecarga térmica inferior o igual a 1 kHz;
- para una ΔT de 10 °C y según el material de cambio de fase, el tamaño de célula óptimo está comprendido entre 1 a 3 µm para una frecuencia de la sobrecarga térmica inferior o igual a 10 kHz;
- para una ΔT de 10 °C y según el material de cambio de fase, el tamaño de célula óptimo está comprendido entre 0,3 a 1 µm para una frecuencia de la sobrecarga térmica inferior o igual a 100 kHz;
- para una ΔT de 20 °C y según el material de cambio de fase, el tamaño de célula óptimo está comprendido entre 15 a 45 µm para una frecuencia de la sobrecarga térmica inferior o igual a 100 Hz;
- para una ΔT de 20 °C y según el material de cambio de fase, el tamaño de célula óptimo está comprendido entre 3 a 10 µm para una frecuencia de la sobrecarga térmica inferior o igual a 1 kHz;
- para una ΔT de 20 °C y según el material de cambio de fase, el tamaño de célula óptimo está comprendido entre 1 a 3 µm para una frecuencia de la sobrecarga térmica inferior o igual a 10 kHz;
- para una ΔT de 20 °C y según el material de cambio de fase, el tamaño de célula óptimo está comprendido entre 0,3 a 1 µm de tamaño para una frecuencia de la sobrecarga térmica inferior o igual a 100 kHz.

Ahora vamos a describir unos ejemplos de procedimiento de realización de un dispositivo de gestión térmica según la invención, cuyas etapas se representan esquemáticamente en las figuras 2A a 3D.

En las figuras 2A y 2B, se puede ver un primer ejemplo de un procedimiento de realización en el que la red de células está realizada en la cubierta.

Durante una primera etapa, se realiza una cavidad 16 en un soporte 14 de material conductor térmico, por ejemplo, de silicio monocristalino. La cavidad 16 se realiza, por ejemplo, mediante grabado químico en fase acuosa, por ejemplo, con KOH, o mediante grabado seco profundo, por ejemplo, mediante grabado iónico reactivo (o RIE por su sigla en inglés de *Reactive-Ion Etching*).

El espesor del sustrato es, por ejemplo, del orden de 0,5 mm a 1 mm. La profundidad de la cavidad 16 es del orden de 50 μm a 500 μm . El área de las cavidades está comprendida generalmente entre 1000 μm^2 y 100 cm^2 .

De manera ventajosa, una capa de metal dúctil (no representada) se deposita en el fondo de la cavidad 16 con el fin de asegurar un contacto físico y térmico con los nanotubos de carbonos que se dispondrán posteriormente en la cavidad. Esta capa puede depositarse por depósito físico en fase de vapor, depósito químico en fase de vapor, galvanoplastia,... puede ser de titanio, de oro, de cobre, de aluminio,... Su espesor está comprendido generalmente entre 10 nm y 10 μm .

Esta estructura es visible en la figura 2A.

Durante una etapa siguiente, la red de células se realiza en la cubierta, como se puede ver en la figura 2A.

Para esto, una capa de resina 22 se deposita sobre una cara de la cubierta 18 y se efectúa una litografía del patrón que hay que realizar (figura 3A). En el caso representado, se trata de un patrón en nido de abeja.

Durante una etapa siguiente (figura 3B), se efectúa un depósito de un catalizador 24 por depósito físico en fase de vapor. El catalizador 24 es, por ejemplo, una capa de hierro, comprendida entre 0,5 nm y 10 nm, preferentemente igual a 1 nm o un sistema bicapas que incluye una capa de aluminio de 10 nm y una capa de hierro de 1 nm.

Durante una etapa siguiente, se efectúa una retirada de la resina 22 (figura 3C).

Durante una etapa siguiente, se hacen crecer nanotubos 23 por depósito químico en fase de vapor térmico con una mezcla de C_2H_2 , H_2 , He con flujos de gas de 10, 50, 50 cm^3/min , por ejemplo, a una temperatura comprendida entre 550 $^\circ\text{C}$ y 750 $^\circ\text{C}$ a una presión comprendida entre 0,1 mbar y 10 mbar. La altura de los tubos se fija por el tiempo de crecimiento (figura 3D).

Durante una etapa siguiente ventajosa, se realiza una compactación de los tubos mediante inmersión en una solución de alcohol. Durante el secado al aire, las paredes de nanotubos colapsan y forman un material denso en el que los nanotubos están en contacto (figura 3E).

Se forma la red de células 8.

Durante una etapa siguiente, la cavidad se rellena con material de cambio de fase 12.

Finalmente, se coloca la cubierta 18 provista de la red de células 8 sobre la cavidad 16, penetrando la red en la cavidad 16. Y se efectúa un sellado de la cubierta 18 sobre el soporte 14. Una junta 26 está prevista entre la cubierta y el soporte.

En las figuras 2A' y 2B', se puede ver otro ejemplo de procedimiento de realización en el que se realiza la red de células 10 directamente en la cavidad 16.

En primer lugar, se realiza una cavidad 16 en un soporte 14 como se ha descrito anteriormente.

Las etapas 3A a 3E se efectúan en el fondo de la cavidad 16. La altura de los nanotubos de carbono se aproxima a la profundidad de la cavidad 16, sustancialmente inferior o sustancialmente superior.

La cavidad 16 se rellena luego con un material de cambio de fase 10.

Preferentemente, una capa de metal (no representada) que presenta una cierta ductilidad se deposita localmente sobre la cubierta 18 para asegurar un contacto físico y térmico entre los nanotubos y la cubierta 18. Esta capa se realiza como se ha descrito anteriormente.

Finalmente, la cubierta 18 se coloca sobre el soporte 14 para obturar la cavidad 16. Y se efectúa un sellado de la cubierta 18 sobre el soporte 14. Una junta 26 está prevista entre la cubierta 18 y el soporte 14.

El dispositivo realizado por los procedimientos descritos anteriormente solo incluye una cavidad, pero queda entendido que las etapas de fabricación descritas anteriormente se aplican para realizar dispositivos que incluyen varias cavidades como se representan en las figuras 1A y 1C.

El dispositivo de gestión térmica se coloca sobre un componente electrónico mediante técnicas microelectrónicas bien conocidas por el experto en la materia.

Por lo tanto, el dispositivo de gestión térmica según la invención permite gestionar térmicamente fuentes de calor transitorias o intermitentes, en particular en los sistemas electrónicos 3D, por ejemplo, para formar un dispositivo integrado en componentes electrónicos que implementan vías pasantes o TSV.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de gestión térmica que incluye una primera cara (4) destinada a estar en contacto con una fuente caliente (FC) y una segunda cara (6) opuesta a la primera destinada a estar en contacto con una fuente fría (FF), al menos una red de células (8) rellenas con un material de cambio de fase sólido/líquido (10) dispuesta entre la primera (4) y la segunda cara (6), incluyendo las células unas paredes formadas por nanotubos de carbono, extendiéndose dichos nanotubos sustancialmente de la primera (4) a la segunda (6) cara y conectando térmicamente la primera cara (2) a la segunda cara (4), estando las paredes de las células formadas por los nanotubos en contacto para formar un material denso.
2. Dispositivo de gestión térmica según la reivindicación 1, en el que las paredes de las células forman un tabique lateral continuo.
3. Dispositivo de gestión térmica según una de las reivindicaciones 1 o 2, en el que la dimensión transversal de cada célula es inferior o igual a la distancia del frente de fusión, siendo la distancia del frente de fusión del orden de $\sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot \Delta T \cdot t}{L}}$, siendo k la conducción térmica del material de cambio de fase, siendo L el calor latente de fusión del material de cambio de fase, siendo ΔT la diferencia de temperatura entre la temperatura de la pared de una célula durante una sobrecarga térmica y la temperatura de cambio de fase del material de cambio de fase y siendo t el tiempo.
4. Dispositivo de gestión térmica según una de las reivindicaciones 1 a 3, que incluye un soporte (14) provisto de al menos una cavidad (16) y una cubierta (18) que obtura dicha cavidad (18), incluyendo dicha cavidad (18) una red de células (8) de nanotubos de carbono rellenas con material de cambio de fase (10).
5. Dispositivo de gestión térmica según la reivindicación 4, que incluye un material conductor térmico dúctil interpuesto entre la cubierta (18) y la red de células (8) o entre el fondo de la cavidad (16) y la red de células (8).
6. Dispositivo de gestión térmica según la reivindicación 5, en el que la red de células (8) es solidaria con la cubierta (18) o la red de células (8) es solidaria con el fondo de la cavidad (16).
7. Dispositivo de gestión térmica según una de las reivindicaciones 4 a 6, que incluye varias cavidades (16).
8. Dispositivo de gestión térmica según una de las reivindicaciones 4 a 7, en el que el área de la o las cavidades (16) está comprendida entre $1000 \mu\text{m}^2$ y 10 cm^2 .
9. Dispositivo de gestión térmica según una de las reivindicaciones 4 a 8, en el que el soporte (14) tiene un espesor comprendido entre 0,5 mm y 1 mm, preferentemente igual a 750 μm , y la o las cavidades 16 tienen una profundidad comprendida entre 50 μm y 500 μm .
10. Sistema electrónico que incluye al menos un componente electrónico que forma una fuente de calor (FC), al menos un dispositivo de evacuación del calor que forma una fuente fría (FF) y al menos un dispositivo de gestión térmica según una de las reivindicaciones 1 a 9, estando el componente electrónico en contacto térmico con la primera cara (4) del dispositivo de gestión térmica y estando el dispositivo de evacuación del calor en contacto térmico con la segunda cara (6).
11. Procedimiento de fabricación de un dispositivo de gestión térmica según una de las reivindicaciones 1 a 9, que incluye las etapas:
 - a) definición del patrón de la red de células en un sustrato por depósito de resina (22) y litografía de la misma,
 - b) depósito de una capa de catalizador (24), por ejemplo, una capa de hierro o de un sistema bicapa de aluminio e hierro.
 - c) retirada de la resina (22),
 - d) crecimiento de los nanotubos de carbono, por depósito químico en fase de vapor,
 - e) rellenado de las células con el material de cambio de fase (10).
12. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 11, que incluye una etapa de compactación de nanotubos de carbono mediante inmersión de la red de células en una solución de alcohol y secado al aire.
13. Procedimiento de fabricación según las reivindicaciones 11 o 12, que incluye, previamente a las etapas a) a d), las etapas de realización de una o varias cavidades (16) en un soporte (14), recibiendo dicha o dichas cavidades (16) una red de células (8) y después de la etapa d) de cierre de la o de las cavidades con una cubierta (18).
14. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 13, en el que el sustrato está formado por el fondo de la o de las cavidades (16) y en el que las etapas a) a d) tienen lugar en el fondo de la o de las cavidades (16), incluyendo, ventajosamente, el procedimiento una etapa de depósito de una capa de material conductor térmico dúctil en el fondo

de la o de las cavidades destinada a orientarse hacia el interior de la cavidad.

- 5 15. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 13, en el que el sustrato está formado por la cubierta (18) y en el que las etapas a) a d) tienen lugar en la cubierta, incluyendo, ventajosamente, el procedimiento una etapa de depósito de una capa de material conductor térmico dúctil sobre una cara de cubierta destinada a orientarse hacia el interior de la cavidad.

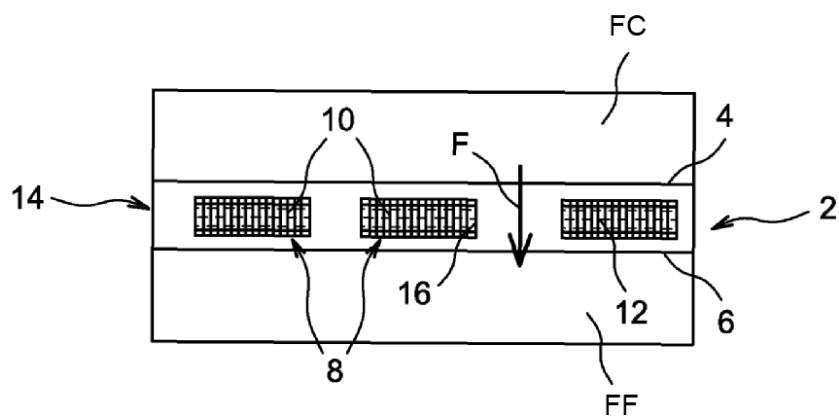


FIG. 1A

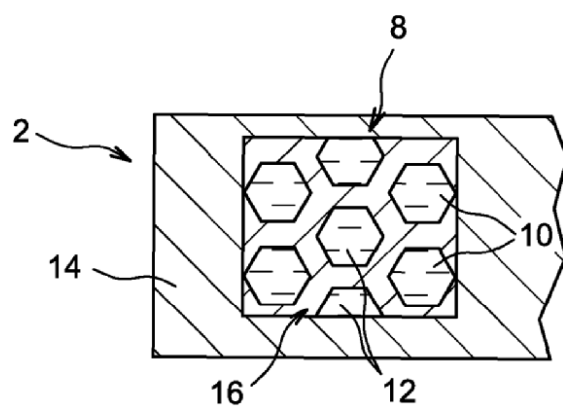


FIG. 1B

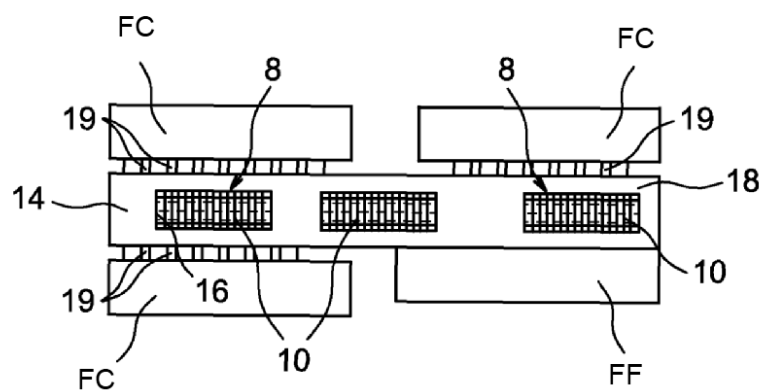
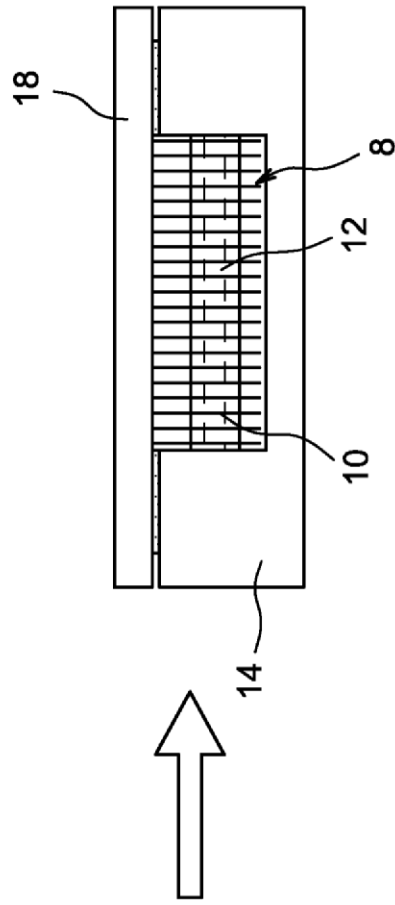
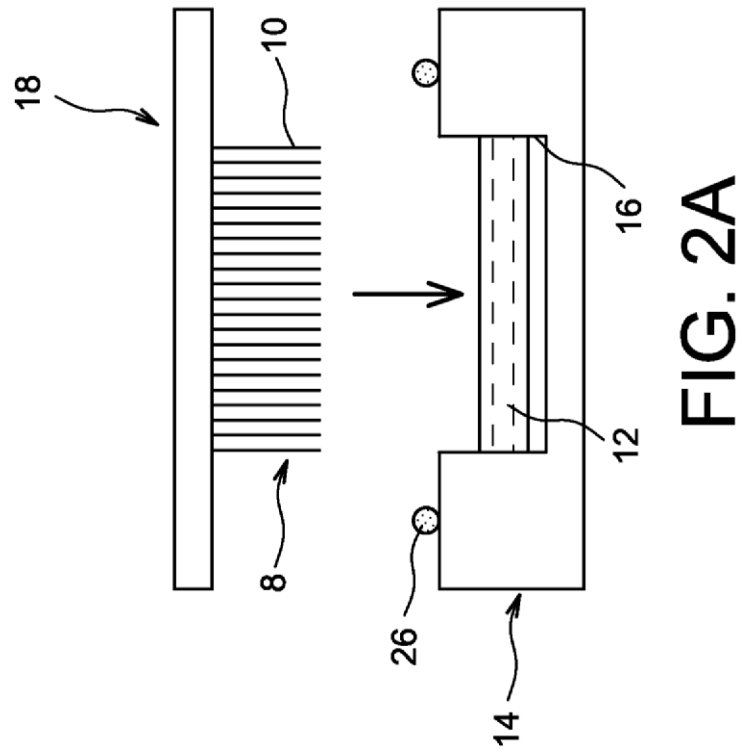
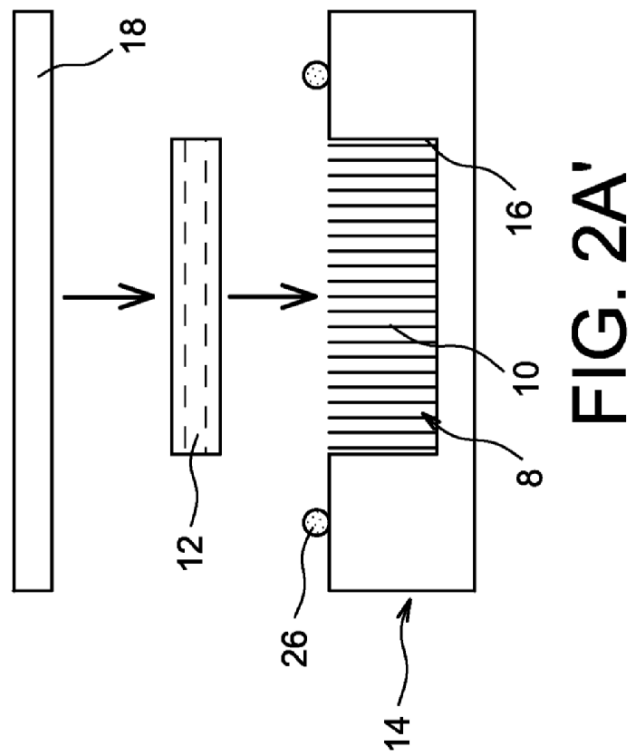
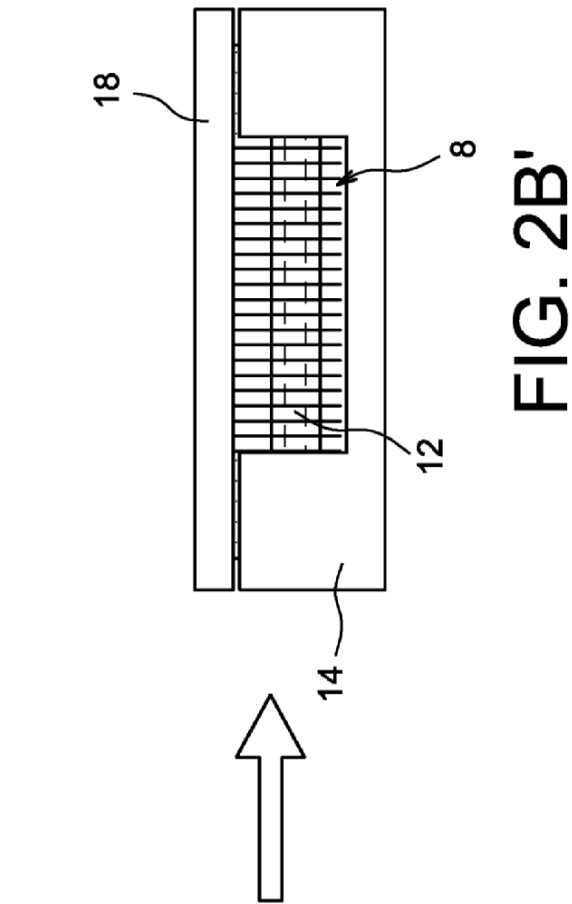
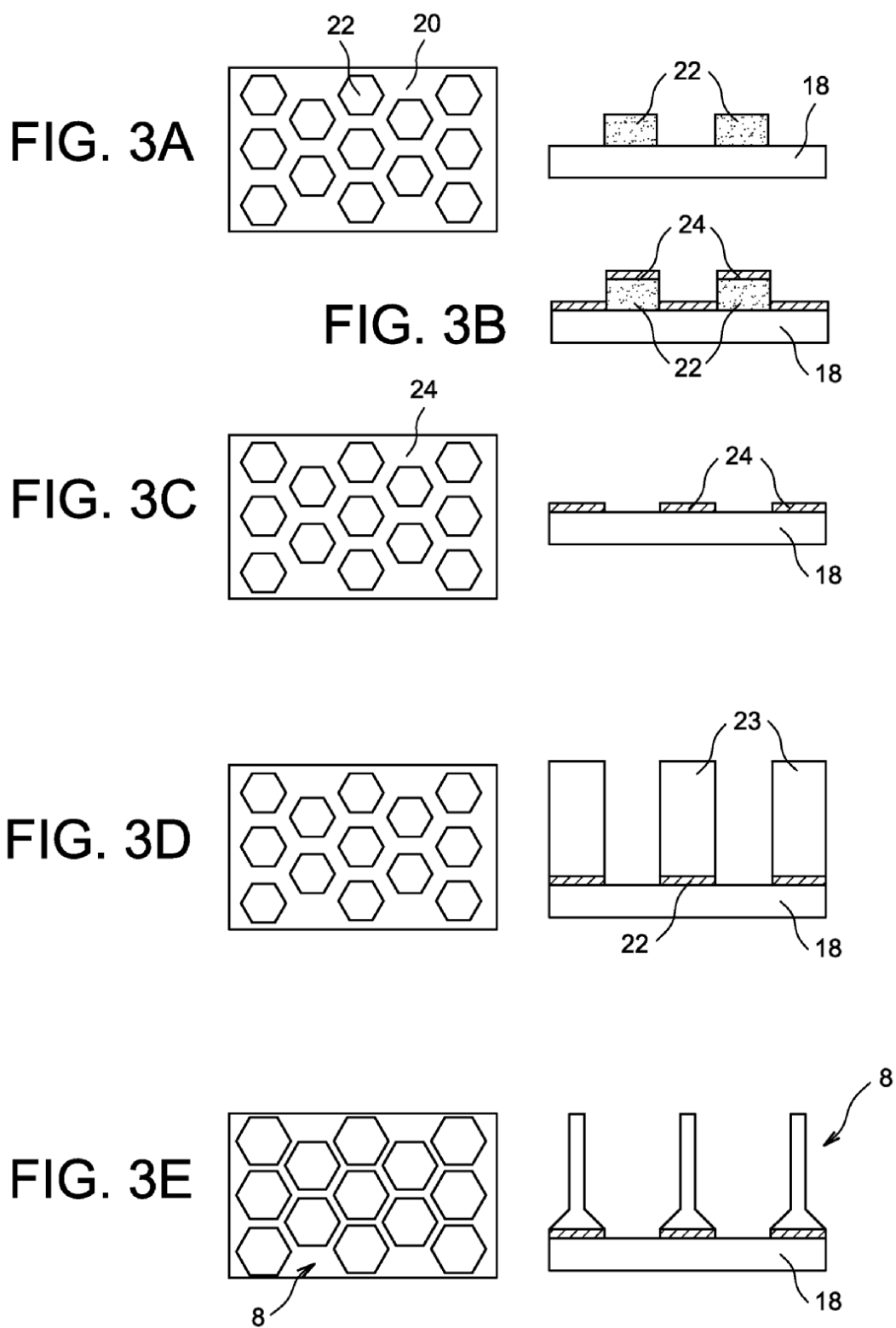


FIG. 1C







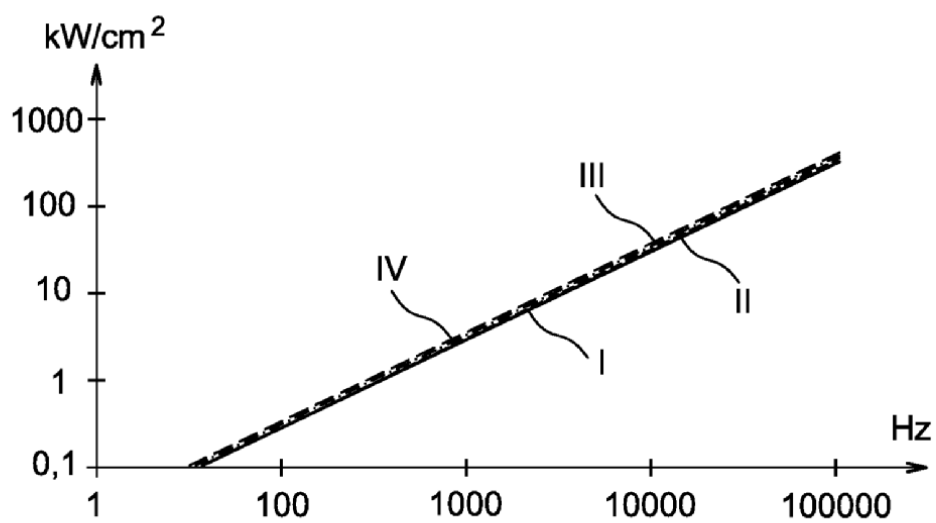


FIG. 4A

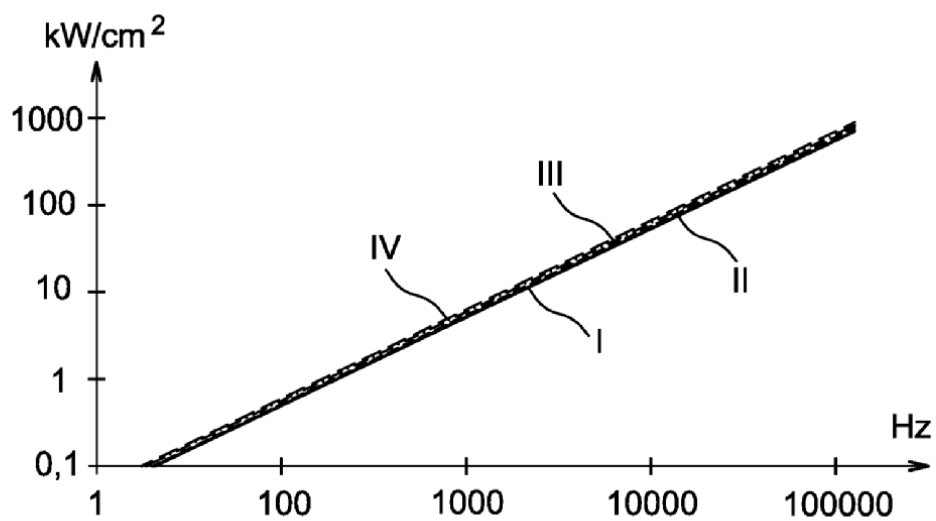


FIG. 4B

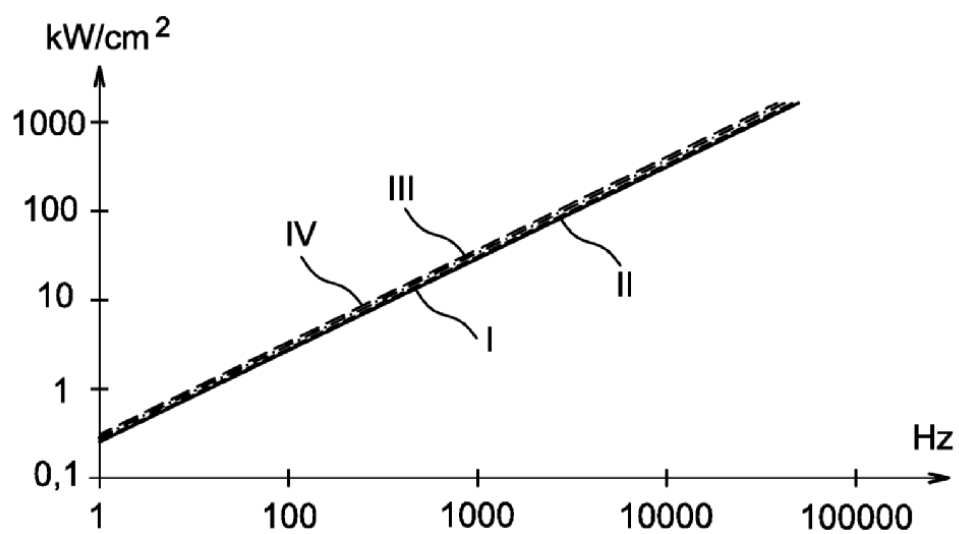


FIG. 4C

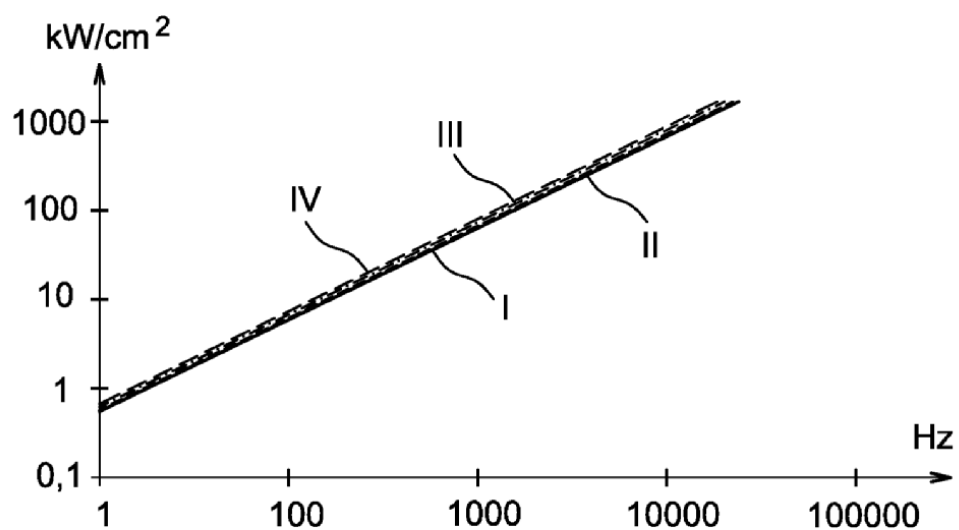


FIG. 4D

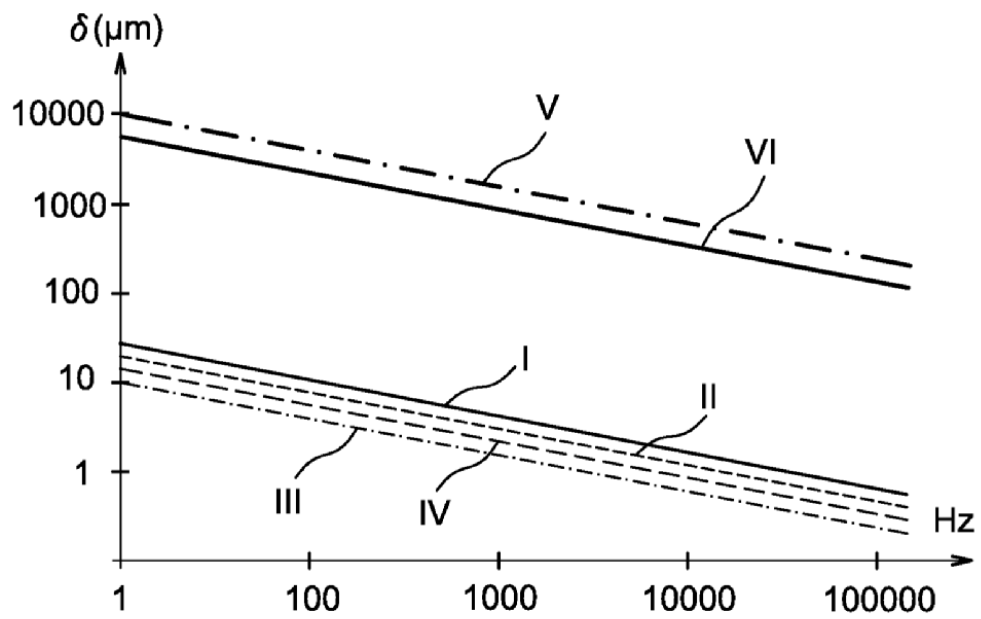


FIG. 5A

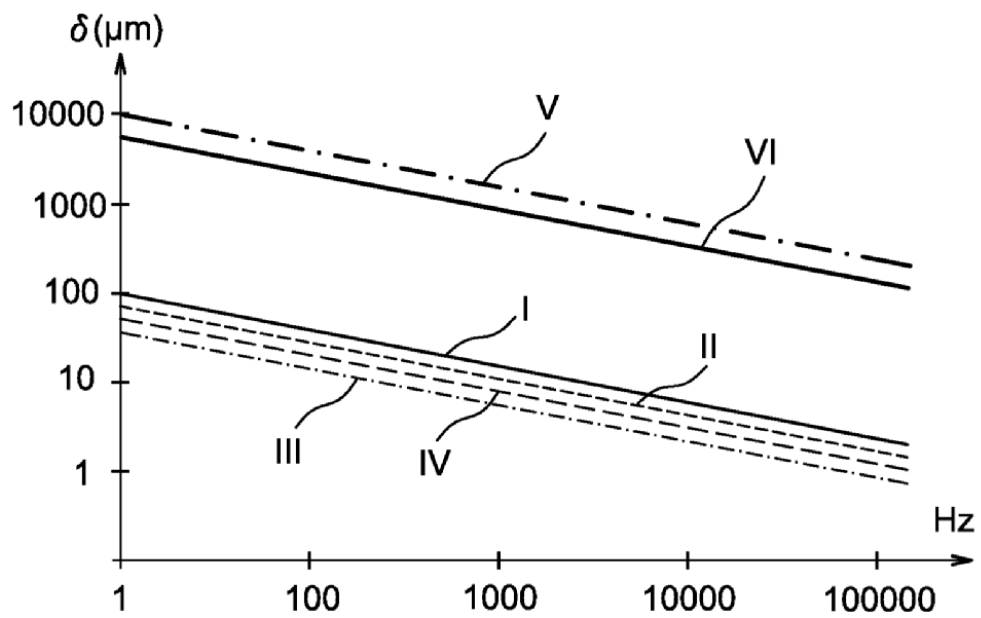


FIG. 5B

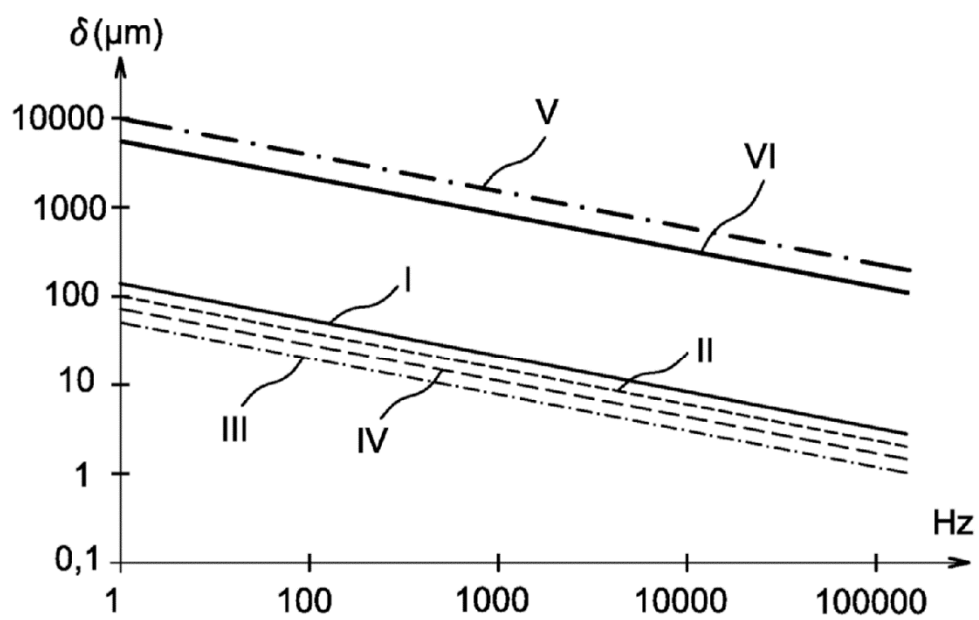


FIG. 5C