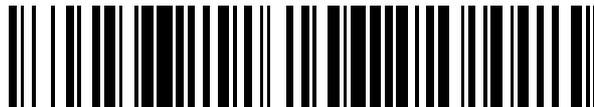


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 464 495**

51 Int. Cl.:

F02M 61/18 (2006.01)

B23P 15/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.07.2010** **E 10742637 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.03.2014** **EP 2459867**

54 Título: **Tobera y método para hacer la misma**

30 Prioridad:

30.07.2009 US 229821 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.06.2014

73 Titular/es:

**3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY
(100.0%)**

**3M Center Post Office Box 33427
Saint Paul, MN 55133-3427, US**

72 Inventor/es:

**CARPENTER, BARRY S.;
WILLOUGHBY, JAIME B. y
SAHLIN, JENNIFER J.**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 464 495 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

Tobera y método para hacer la misma

Campo de la invención

5 Esta invención está relacionada con toberas. La invención es aplicable además a los inyectores de combustible que incorporan tales toberas.

Antecedentes

10 La inyección de combustible se está convirtiendo cada vez más en el método preferido para mezclar combustible y aire en los motores de combustión interna. La inyección de combustible puede utilizarse generalmente para aumentar la eficiencia del combustible del motor y reduce las emisiones peligrosas. Los inyectores de combustible generalmente incluyen una tobera para atomizar el combustible bajo presión para la combustión. Las normas ambientales cada vez más estrictas exigen inyectores más eficientes de combustible.

El documento WO 2007/112309 A2 describe un proceso para hacer microagujas, distribuciones de microagujas, maestros y herramientas de replicación.

Compendio de la invención

15 En general, la presente invención está relacionada con toberas y métodos para hacer toberas. En una realización, un método de fabricar una tobera incluye las etapas de: (a) proporcionar un primer material que es capaz de soportar reacción multifotón; (b) formar un primer patrón microestructurado en el primer material utilizando un proceso multifotón; (c) replicar el primer patrón microestructurado en un segundo material diferente del primer material para hacer un primer molde que incluye un segundo patrón microestructurado en el segundo material; (d)
20 replicar el segundo patrón microestructurado en un tercer material que es diferente del primer y del segundo material para hacer un segundo molde que incluye un tercer patrón microestructurado que incluye una pluralidad de microestructuras en el tercer material; (e) aplanar el tercer patrón microestructurado del segundo molde con una capa de un cuarto material que es diferente del tercer material, en el que la capa expone las partes superiores de las microestructuras en la pluralidad de microestructuras en el tercer patrón microestructurado; y (f) retirar el tercer material, que tiene como resultado una tobera que tiene una pluralidad de agujeros en el cuarto material, en el que los agujeros corresponden a la pluralidad de las microestructuras del tercer patrón microestructurado. En algunos casos, las etapas del método se realizan secuencialmente. En algunos casos, el primer material incluye poli(metacrilato de metilo). En algunos casos, el primer material es capaz de soportar una reacción de dos fotones. En algunos casos, el primer patrón microestructurado incluye una pluralidad de microestructuras discretas. En algunos casos, la pluralidad de microestructuras discretas incluye una microestructura discreta que es un cuerpo rectilíneo tridimensional, una parte de un cuerpo rectilíneo tridimensional, un cuerpo curvilíneo tridimensional, una parte de un cuerpo curvilíneo tridimensional, un poliedro, un cono, una microestructura estrechada o una microestructura en espiral. En algunos casos, el primer patrón microestructurado se forma en el primer material mediante un proceso de dos fotones. En algunos casos, la etapa de formar el primer patrón microestructurado en el primer material incluye exponer por lo menos una parte del primer material para provocar una absorción simultánea de múltiples fotones. En algunos casos, la etapa de formar el primer patrón microestructurado en el primer material incluye eliminar las partes expuestas del primer material, o las partes sin exponer del primer material. En algunos casos, replicar el primer patrón microestructurado en el segundo material incluye galvanizar el primer patrón microestructurado. En algunos casos, el segundo material comprende un material de galvanizado. En algunos casos, el primer molde comprende un metal. En algunos casos, el primer molde comprende Ni. En algunos casos, el segundo patrón microestructurado es substancialmente una réplica en negativo del primer patrón microestructurado. En algunos casos, la etapa de replicar el segundo patrón microestructurado en el tercer material incluye moldeo por inyección. En algunos casos, el tercer material incluye un polímero, tal como el policarbonato. En algunos casos, el segundo molde incluye un polímero. En algunos casos, el tercer patrón microestructurado es substancialmente una réplica en negativo del segundo patrón microestructurado. En algunos casos, la etapa de aplanar el tercer patrón microestructurado incluye galvanizar el tercer patrón microestructurado. En algunos casos, la etapa de aplanar el tercer patrón microestructurado incluye revestir el tercer patrón microestructurado con el cuarto material. En algunos casos, la etapa de galvanizar el tercer patrón microestructurado incluye retirar una parte del cuarto material, en el que, en algunos casos, la parte del cuarto material revestido se retira mediante un método de esmerilado. En algunos casos, el cuarto material incluye un material de galvanizado. En algunos casos, la tobera incluye un metal. En algunos casos, la tobera incluye Ni.

55 En otra realización, una tobera incluye un interior hueco y por lo menos un agujero que conecta el interior hueco con el exterior de la tobera. El por lo menos un agujero incluye una entrada de agujero en el interior hueco de la tobera que tiene una primera forma, y una salida de agujero en el exterior de la tobera que tiene una segunda forma que es diferente a la primera forma. En algunos casos, la primera forma es una forma elíptica y la segunda forma es una forma circular. En algunos casos, la primera forma es en forma de pista de carreras y la segunda forma es una forma

circular. En algunos casos, el perímetro de la primera forma incluye los arcos exteriores de una pluralidad de círculos colocados próximos, en donde los arcos exteriores se conectan mediante unos filetes similares a curvas.

5 En otra realización, una tobera incluye un interior hueco y por lo menos un agujero que conecta el interior hueco con el exterior de la tobera. El por lo menos un agujero incluye una entrada de agujero en el interior hueco de la tobera y una salida de agujero en el exterior de la tobera. El por lo menos un agujero tiene una sección transversal que rota desde la entrada de agujero a la salida de agujero. En algunos casos, la sección transversal tiene un índice de rotación creciente desde la entrada de agujero a la salida de agujero. En algunos casos, la sección transversal tiene un índice de rotación decreciente desde la entrada de agujero a la salida de agujero. En algunos casos, la sección transversal tiene un índice de rotación constante desde la entrada de agujero a la salida de agujero. En algunos casos, la entrada de agujero tiene una primera forma y la salida de agujero tiene una segunda forma que es diferente de la primera forma. En algunos casos, la tobera incluye una pluralidad de agujeros que se disponen en una distribución de círculos concéntricos que incluye un círculo más exterior. Los agujeros discretos de tobera se disponen de tal manera que ninguna parte del diámetro del círculo más exterior incluye por lo menos un agujero discreto de tobera desde cada círculo en la distribución de círculos concéntricos. En algunos casos, cada círculo en la distribución de círculos concéntricos incluye unos agujeros discretos espaciados igualmente de tobera.

Breve descripción de los dibujos

La invención puede entenderse y apreciarse más completamente al considerar la siguiente descripción detallada de diversas realizaciones de la invención en relación con los dibujos acompañantes, en los que:

20 Las FIGs. 1A-1M son unas representaciones esquemáticas de unas construcciones en fases o etapas intermedias de un proceso para fabricar una tobera;

La FIG. 2 es una vista esquemática tridimensional de una microestructura;

La FIG. 3 es una vista esquemática tridimensional de otra microestructura;

La FIG. 4 es una vista esquemática tridimensional de otra microestructura;

La FIG. 5 es una vista esquemática tridimensional de otra microestructura;

25 La FIG. 6 es una vista esquemática de una base de una microestructura;

Las FIGs. 7 y 8 son unas vistas esquemáticas respectivas tridimensional y superior de una microestructura;

La FIG. 9 es una vista esquemática tridimensional de una microestructura (agujero de tobera);

La FIG. 10 es un esquema de la base (entrada de agujero) de la microestructura (agujero de tobera) que se muestra en la FIG. 9;

30 La FIG. 11 es una vista superior esquemática de la microestructura (agujero de tobera) que se muestra en la FIG. 9;

La FIG. 12 es una vista esquemática tridimensional de un agujero de tobera (microestructura);

La FIG. 13 es un esquema de la entrada de agujero (base) del agujero de tobera (microestructura) que se muestra en la FIG. 12;

La FIG. 14 es una vista superior esquemática del agujero de tobera (microestructura) que se muestra en la FIG. 12;

35 Las FIGs. 15A y B son unas vistas superiores esquemáticas de dos distribuciones diferentes de agujeros (microestructuras);

La FIG. 16 es una vista esquemática tridimensional de una pluralidad de agujeros de tobera (microestructura);

La FIG. 17 es una vista lateral esquemática de una microestructura;

La FIG. 18 es una vista lateral esquemática de un sistema de exposición;

40 Las Figs. 19 y 20 son dos micrografías de barrido electrónico (SEM, *scanning electron micrograph*) de una agrupación de microestructuras;

La FIG. 21 es una SEM de una agrupación de microestructuras de policarbonato;

Las FIGs. 22 y 23 son unas micrografías ópticas de las respectivas entradas de agujero y entradas de agujero de una agrupación de agujeros;

45 La FIG. 24 es una vista lateral esquemática de una tobera; y

La FIG. 25 es una SEM de uno de los agujeros que se muestran en las FIGs. 22 y 23.

En la memoria descriptiva, los mismos números de referencia utilizados en múltiples figuras se refieren a los mismos elementos o similares que tienen las mismas o similares propiedades y funcionalidades.

Descripción detallada

5 Esta invención está relacionada con toberas de pulverización. Las toberas descritas incluyen uno o más agujeros diseñados para mejorar la dirección de pulverización y la dinámica de fluidos en la entrada de agujero, dentro de la pared de agujero, y en la salida de agujero. Las toberas descritas pueden incorporarse ventajosamente en sistemas de inyectores de combustible para mejorar la eficiencia del combustible. Las toberas descritas se pueden fabricar utilizando procesos multifotón, tal como dos fotones. En particular, los procesos multifotón pueden utilizarse para
10 fabricar microestructuras que, a su vez, pueden utilizarse como moldes para fabricar los agujeros para el uso en toberas u otras aplicaciones.

Debe entenderse que el término "tobera" puede tener diferentes significados en la técnica. En algunas referencias específicas, el término tobera tiene una definición amplia. Por ejemplo, la patente de EE.UU. n° de publicación 2009/0308953 A1 (Palestrant et al.), describe una "tobera de atomización", que incluye varios elementos, entre ellos
15 una cámara 50 de oclusor. Esto difiere de la propuesta que se hace en esta memoria en cuanto a comprensión y definición de tobera. Por ejemplo, la tobera de la presente descripción se corresponde en general con la pieza de inserción 24 de orificio de Palestrant et al. En general, la tobera de la presente descripción puede entenderse como la parte estrechada final de un sistema pulverizador de atomización del que en última instancia se emite la pulverización, véase p. ej. la definición de tobera del diccionario de Merriam Webster ("un tubo corto con un estrechamiento o constricción utilizados (como en una manguera) para acelerar o dirigir un flujo de fluido". Se puede obtener una mejor comprensión si se hace referencia a la patente de EE.UU. n° 5.716.009 (Ogihara et al.) expedida para Nippondenso Co., Ltd. (Kariya, Japón). En esta referencia, de nuevo, "tobera" de inyección de fluido se define en términos generales como el elemento multipieza 10 de válvula ("válvula 10 de inyección de combustible que actúa como tobera de inyección de fluido..." - Véase col. 4, líneas 26-27 de Ogihara et al.). La presente definición y comprensión del término "tobera" tal como se emplea en esta memoria están relacionadas con la primera y la segunda placas 130 y 132 de orificios y potencialmente el manguito 138 (véanse las Figs. 14 y 15 de Ogihara et al.), por ejemplo, que se encuentran inmediatamente próximas a la pulverización de combustible. Una comprensión similar del término "tobera" a la que se describe en esta memoria se utiliza en la. patente de EE.UU. n° 5.127.156 (Yokoyama et al.) de Hitachi, Ltd. (Ibaraki, Japón). Allí, la tobera 10 se define por separado de los elementos de la estructura conectada e integrada, tal como el "generador de turbulencia" 12 (véase la Fig. 1(H)). La mencionada comprensión debe entenderse cuando el término "tobera" hace referencia al resto de la descripción y de las reivindicaciones.
30

En algunos casos, una microestructura descrita puede ser un cuerpo rectilíneo tridimensional, tal como un poliedro, tal como un tetraedro o un hexaedro, un prisma, o una pirámide, o una parte o una combinación de tales cuerpos, como un tronco. Por ejemplo, la FIG. 2 es una vista esquemática tridimensional de una microestructura 220 que se dispone sobre un sustrato 210 e incluye una base plana o llana 230, una parte superior plana o llana 240 y un lateral 250 que conecta la parte superior a la base. El lateral 250 incluye una pluralidad de facetas planas o llanas, tal como las facetas 260, 265 y 270. La microestructura 220 puede utilizarse como un molde para fabricar los agujeros para el uso en, por ejemplo, una tobera.
35

En algunos casos, una microestructura descrita puede ser un cuerpo curvilíneo tridimensional o una parte de dicho cuerpo, tal como un segmento de una esfera, un asfera, un elipsoide, un esferoide, un paraboloido, un cono o un cono truncado o un cilindro. Por ejemplo, la FIG. 3 es una vista esquemática tridimensional de una microestructura 320 que se dispone sobre un sustrato 310 e incluye una base plana o llana 330, una parte superior plana o llana 340 y un lateral curvilíneo 350 que conecta la parte superior a la base. En el ejemplo de microestructura 320, la parte superior 340 y la base 330 tienen la misma forma. La microestructura 320 se estrecha desde la base 330 a la parte superior 340. Como resultado de ello, la parte superior 340 tiene una pequeña área de base 330. La microestructura 320 puede utilizarse como un molde para fabricar los agujeros para el uso en, por ejemplo, una tobera.
40
45

En algunos casos, algunas de las características de una microestructura descrita cambian desde la base hasta la parte superior. Por ejemplo, en algunos casos, una microestructura descrita puede ser una microestructura que se estrecha. Por ejemplo, la FIG. 4 es una vista esquemática tridimensional de una microestructura 420 que puede fabricarse utilizando un proceso multifotón. La microestructura 420 puede utilizarse como un molde para fabricar los agujeros para el uso en, por ejemplo, una tobera. La microestructura 420 se dispone sobre un sustrato 410 e incluye una base 430, una parte superior 440, y un lateral 450 que conecta la parte superior a la base. La microestructura 420 tiene una altura o grosor h_1 que es la distancia entre la base 430 y la parte superior 440 a lo largo del eje z. La microestructura 420 se estrecha. En particular, el área en sección transversal de la microestructura a lo largo del grosor de la microestructura disminuye desde la base 430 a la parte superior 440. Por ejemplo, la microestructura 420 incluye una sección transversal 460 en la altura h_2 en el plano xy y una sección transversal 470 en la altura $h_3 > h_2$ en el plano xy. El área de la sección transversal 470 es menor que el área de la sección transversal 460, y el área de la sección transversal 460 es menor que el área de la base 430.
50
55

La base 430 tiene una primera forma y la parte superior 440 tiene una segunda forma que es diferente de la primera forma. En algunos casos, la primera forma es una forma elíptica y la segunda forma es una forma circular. Por ejemplo, la FIG. 5 es una vista esquemática tridimensional de una microestructura 520 que incluye una base elíptica 530, una parte superior circular 540 y un lateral 550 que conecta la parte superior a la base. La base elíptica 530 tiene un eje mayor 560 a lo largo de la dirección y que tiene una longitud "a" y un eje menor 570 a lo largo de la dirección x que tiene una longitud "b" diferente de "a". La parte superior circular 540 tiene un radio r. La microestructura 520 se estrecha. En particular, el área de la parte superior circular 540 es menor que el área de la base elíptica 530.

Como otro ejemplo, la primera forma puede ser una pista de carreras y la segunda forma puede ser, por ejemplo, un círculo. Por ejemplo, la FIG. 6 es un esquema de una base 630 que puede ser la base de una microestructura descrita. La base 630 incluye dos círculos 642 y 644 y una parte central 650. La base 630 tiene un perímetro 660 que incluye unas partes curvas o arcos 632 y 634 y unas partes lineales 636 y 638. Las partes curvas 632 y 634 son unas partes de círculos respectivos 642 y 644.

En algunos casos, una microestructura descrita tiene una sección transversal a lo largo de la dirección de la altura o del grosor de la microestructura que rota desde la base de la microestructura a la parte superior de la microestructura. Por ejemplo, la FIG. 7 es una vista esquemática tridimensional de una microestructura 720 que incluye una base 730, dispuesta en el plano xy, una parte superior 740 dispuesta en el plano xy y un lateral 780 que conecta la parte superior a la base. La microestructura 720 tiene una altura h_4 . La microestructura 720 tiene una sección transversal xy que rota a derechas desde la parte superior 740 a la base 730. En particular, la parte superior 740 tiene un eje de simetría 742 a lo largo de la dirección x-xy, una sección transversal xy 750 de la microestructura a una altura $h_5 < h_4$ tiene un eje de simetría 752 que se rota a derechas con respecto al eje de simetría 742, una sección transversal xy 755 de la microestructura a una altura $h_6 < h_5$ tiene un eje de simetría 757 que se rota a derechas con respecto al eje de simetría 752, una sección transversal xy 760 de la microestructura en la altura $h_7 < h_6$ tiene un eje de simetría 762 que se rota a derechas con respecto al eje de simetría 757, y la base 730 tiene un eje de simetría 732 a lo largo del eje y, que se rota a derechas con respecto al eje de simetría 762. De manera equivalente, la microestructura 720 tiene una sección transversal xy que rota a izquierdas desde la base 730 a la parte superior 740. La FIG. 8 es una vista superior esquemática de la microestructura 720 que ilustra la parte superior 740 y su eje de simetría 742, la sección transversal 750 y su eje de simetría 752, la sección transversal 755 y su eje de simetría 757, la sección transversal 760 y su eje de simetría 762, y la base 730 y su eje de simetría 732. Vistos desde la parte superior, los ejes de simetría de las secciones transversales rotan a derechas desde la parte superior a la base. Esa rotación tiene como resultado una torsión en la microestructura a lo largo de su altura o su grosor. En algunos casos, cada sección transversal puede ser una elipse con un eje mayor correspondiente que actúa como un eje de simetría. En tales casos, el eje mayor rota desde la base a la parte superior. En algunos casos, como cuando la microestructura se estrecha y se retuerce, las secciones transversales rotan y se vuelven más pequeñas desde la base a la parte superior. Por ejemplo, una base elíptica 730 tiene un eje mayor 732 a lo largo de la dirección y, que tiene una longitud "a", y un eje menor 734 a lo largo de la dirección x que tiene una longitud "b" diferente de "a". Como el eje mayor rota desde la base a la parte superior, la relación a/b se reduce, por ejemplo, al disminuir "a" que tiene como resultado una menor elipse que finalmente puede convertirse en un círculo en la parte superior (a=b). En general, una microestructura descrita puede incluir un estrechamiento y/o un remolino o espiral a lo largo del grosor de la microestructura desde la base a la parte superior.

La microestructura 720 puede utilizarse como un molde para fabricar uno o más agujeros en una tobera, teniendo los agujeros sustancialmente el mismo perfil que la microestructura 720. Por ejemplo, la fabricación tiene como resultado un agujero 720 que tiene una entrada 730 de agujero, una salida 740 de agujero y una pared 752 que se extiende desde la entrada de agujero a la salida de agujero. El agujero se estrecha y forma una espiral o se retuerce desde la entrada de agujero a la salida de agujero. Un agujero descrito de tobera que forma una espiral o se retuerce puede utilizarse ventajosamente en un inyector de combustible para aumentar la velocidad del flujo del combustible, reducir el tamaño de gota y mejorar la mezcla de combustible con el aire.

La microestructura puede entenderse como que tiene un "diámetro" a diferentes alturas de la microestructura (p. ej. h_6 , h_5 , etc.). El diámetro puede entenderse como la máxima distancia entre las orillas de la microestructura de una altura común. En la situación, en la que hay una base elíptica, tal como en la entrada 730 de agujero, el diámetro será la distancia entre las orillas de la microestructura a lo largo del eje mayor 732. En el extremo opuesto de la estructura, correspondiente a la salida 740 de agujero, el diámetro será similarmente la distancia máxima entre las orillas de la microestructura en la altura común (en este caso, h_4). De este modo, la distancia entre las orillas de la microestructura a lo largo del eje 742 corresponderá al diámetro de la salida de agujero. En algunas realizaciones la entrada de agujero puede tener un diámetro de menos de 300 micrómetros, o de menos de 200 micrómetros, o igual o menos de 160 micrómetros, o de menos de 140 micrómetros. En algunas realizaciones la salida de agujero puede tener un diámetro de menos de 300 micrómetros, o menos de 200 micrómetros, o menos de 100 micrómetros, o igual o menos de 40 micrómetros, o menos de 25 micrómetros.

En algunos casos, la sección transversal del agujero 720 de tobera tiene un índice de rotación creciente desde la entrada de agujero a la salida de agujero. En algunos casos, la sección transversal del agujero 720 de tobera tiene un índice de rotación decreciente desde la entrada de agujero a la salida de agujero. En algunos casos, la sección transversal tiene un índice de rotación constante desde la entrada de agujero a la salida de agujero.

En general, una sección transversal de base o de lateral de la microestructura descrita, o una sección transversal de agujero de entrada o de lateral de un agujero descrito de tobera, puede tener cualquier sección transversal que pueda ser deseable en una aplicación. En algunos casos, la base o el agujero de entrada pueden tener un perímetro que incluye los arcos exteriores de unos círculos colocados próximos, en donde los arcos exteriores se conectan mediante unos filetes similares a curvas. Por ejemplo, la FIG. 9 es una vista esquemática tridimensional de una microestructura 920 que incluye una base 930, una parte superior 940 y un lateral 950 que conecta la base a la parte superior. La FIG. 10 es un esquema de la base 930 que tiene un perímetro 1090 que incluye los arcos exteriores de cuatro círculos colocados próximos, en el que los arcos exteriores se conectan mediante unos filetes como curvas. En particular, el perímetro 1090 incluye un arco exterior 1010 de un círculo 1020, un arco exterior 1012 de un círculo 1022, un arco exterior 1011 de un círculo 1024, y un arco exterior 1016 de un círculo 1026, en los que los arcos exteriores 1010 y 1012 se conectan mediante un filete similar a una curva 1030, los arcos exteriores 1012 y 1014 se conectan mediante un filete similar a una curva 1032, los arcos exteriores 1014 y 1016 se conectan mediante un filete similar a una curva 1034 y los arcos exteriores 1016 y 1010 se conectan mediante un filete similar a una curva 1036. Los círculos 1010, 1012, 1014 y 1016 forman una distribución cuadrada de círculos iguales que se tocan en la que cada círculo tiene un radio r_1 .

La base 930 incluye un eje de simetría 1040. Las secciones transversales laterales de la microestructura 920 rotan y el radio r_1 disminuye desde la base 930 a la parte superior 940 de la microestructura, lo que tiene como resultado una microestructura que se forma como una espiral y se estrecha desde la base 930 a la parte superior 940.

De manera equivalente, un agujero 920 de tobera incluye una entrada 930 de agujero, una salida 940 de agujero y una pared 950 que se extiende desde la entrada de agujero a la salida de agujero. El agujero 920 tiene una sección transversal lateral que rota y se hace más pequeña desde la entrada de agujero a la salida de agujero.

La FIG. 11 es una vista superior esquemática del agujero (o microestructura) 920 de tobera que ilustra la entrada 930 de agujero que tiene el eje de simetría 1040 y una salida 940 de agujero que tiene un eje de simetría 942. Visto desde la parte superior, los ejes de simetría de las secciones transversales del agujero 920 rotan a izquierdas desde la entrada de agujero a la salida de agujero. Esa rotación tiene como resultado una torsión en el agujero a lo largo de su altura o su grosor.

Como otro ejemplo, la FIG. 12 es una vista esquemática tridimensional de un agujero (o microestructura) 1220 de tobera que tiene una altura k_1 e incluye una entrada 1230 de agujero, una salida 1240 de agujero, y una pared 1250 que se extiende desde la entrada de agujero a la salida de agujero. La FIG. 13 es un esquema de la entrada 1230 de agujero que tiene un perímetro 1235 que incluye los arcos exteriores de dos círculos en contacto o colocados próximos, en el que los arcos exteriores se conectan mediante unos filetes como curvas. En particular, el perímetro 1090 incluye un arco exterior 1270 de un círculo 1280 y un arco exterior 1272 de un círculo 1282, en el que cada círculo tiene un radio r_2 y unos arcos exteriores 1270 y 1272 se conectan mediante unos filetes como curvas 1290 y 1292.

La entrada 1230 de agujero incluye un eje de simetría 1232. Las secciones transversales laterales del agujero 1220 de tobera rotan y el radio r_2 disminuye desde la entrada 1230 de agujero a la salida 1240 de agujero, lo que tiene como resultando una microestructura que forma una espiral y se estrecha desde la entrada 1230 de agujero a la salida 1240 de agujero. En particular, la parte superior 1240 tiene un eje de simetría 1242 a lo largo de la dirección x , una sección transversal xy 1264 del agujero a una altura $k_2 < k_1$ tiene un eje de simetría 1265 que se rota a derechas con respecto al eje de simetría 1242, una sección transversal xy 1262 del agujero a una altura $k_3 < k_2$ tiene un eje de simetría 1263 que se rota a derechas con respecto al eje de simetría 1265, una sección transversal xy 1260 del agujero en la altura $k_4 < k_3$ tiene un eje de simetría 1261 que se rota a derechas con respecto al eje de simetría 1263, y la entrada 1230 de agujero tiene un eje de simetría 1232 a lo largo del eje y , que se rota a derechas con respecto al eje de simetría 1261. Por tanto, el agujero 1220 tiene una sección transversal xy que rota a derechas desde la salida 1240 de agujero a la entrada 1230 de agujero. De manera equivalente, el agujero 1220 tiene una sección transversal xy que rota a izquierdas desde la entrada de agujero a la salida de agujero. La FIG. 14 es una vista superior esquemática del agujero 1220 de tobera que ilustra la salida 1242 de agujero y su eje de simetría 1242, la sección transversal 1264 y su eje de simetría 1265, la sección transversal 1262 y su eje de simetría 1263, la sección transversal 1260 y su eje de simetría 1261, y la entrada 1230 de agujero y su eje de simetría 1232 a lo largo del eje y . Visto desde la parte superior, los ejes de simetría de las secciones transversales del agujero rotan a derechas desde la salida de agujero a la entrada de agujero.

De manera equivalente, una microestructura 1220 incluye una base 1230, una parte superior 1240 y un lateral 1250 que conecta la base con la parte superior. La microestructura 1220 tiene una sección transversal que rota y se hace más pequeña desde la base a la parte superior.

Como se muestra en las Figs. 2 a 14, las microestructuras descritas en esta memoria que sirven como toberas pueden ser unas estructuras monolíticas. En otras palabras, las microestructuras 220, 320, 420, etc., que forman las toberas reales se crean y en última instancia forman una sola pieza de material. Esto puede entenderse como algo diferente de las toberas que se forman mediante una combinación de varias piezas diferentes, en la que esas piezas se hacen potencialmente de diferentes materiales. En este sentido, como se muestra en las figuras mencionadas, las toberas descritas en esta memoria pueden ser unas estructuras monolíticas.

En general, una pluralidad de microestructuras o agujeros descritos pueden tener cualquier disposición que pueda ser deseable en una aplicación. Por ejemplo, en algunos casos, los agujeros descritos se pueden disponer de forma regular o irregular. Por ejemplo, la FIG. 15A es una vista superior esquemática de una distribución cuadrada de dos dimensiones 1500 de agujeros o microestructuras 1510 y la FIG. 15B es una vista superior esquemática de una distribución hexagonal de dos dimensiones 1520 de agujeros o microestructuras 1530, en las que los agujeros o microestructuras 1510 y 1530 pueden ser cualquier agujero o microestructura de tobera descritos en esta memoria. En algunos casos, una pluralidad de microestructuras o agujeros descritos se pueden disponer en una superficie que no es plana. Por ejemplo, la FIG. 16 es una vista esquemática tridimensional de una pluralidad de los agujeros o microestructuras 1610 de tobera dispuestos en una superficie esférica 1620.

En algunos casos, una microestructura o agujero descritos pueden tener uno o más filetes para facilitar la fabricación y/o para reducir la tensión local. Por ejemplo, la FIG. 17 es una vista lateral esquemática de una microestructura 1720 que se dispone sobre un sustrato 1710 e incluye una base 1730, una parte superior 1740, y un lateral 1750 que conecta la base con la parte superior. La microestructura 1720 incluye unos filetes 1760 y 1761 que unen suavemente el lateral 1750 y la parte superior 1740, y unos filetes 1770 y 1771 que unen suavemente el lateral 1750 y la superficie superior 1705 del sustrato 1710.

Los agujeros y microestructuras de tobera descritos en esta memoria pueden fabricarse utilizando el método que se define haciendo referencia a las FIGs. 1A-1M. El método proporciona flexibilidad y control para la producción de una variedad de microestructuras y agujeros en una sola distribución, aunque se puede utilizar para lograr de manera deseable bajos niveles de rugosidad media superficial, mientras se mantiene un "rendimiento" o velocidades de fabricación industrialmente aceptables.

La FIG. 1A es una vista lateral esquemática de una capa 115 de un primer material dispuesto en un sustrato 110. El primer material es capaz de soportar una reacción multifotón que absorbe simultáneamente múltiples fotones. Por ejemplo, en algunos casos, el primer material es capaz de soportar una reacción de dos fotones al absorber simultáneamente dos fotones. El primer material puede ser de cualquier material o sistema material que sea capaz de soportar reacción multifotón, tal como dos fotones, tal como se describe en la solicitud pendiente de EE.UU. nº de serie 11/313482, "Process For Making Microlens Arrays And Masteroforms" (nº de expediente 60893US002), presentada el 21 de diciembre de 2005; la solicitud de patente de EE.UU. publicación US 2009/0175050, "Process For Making Light Guides With Extraction Structures And Light Guides Produced Thereby" (nº de expediente 62162US007), presentada el 17 mayo de 2007; y la publicación PCT WO 2009/048705, "Highly Functional Multiphoton Curable Reactive Species" (nº de expediente 63221W0003), presentada el 9 de septiembre de 2008; que se incorporan en esta memoria por referencia.

En algunos casos, el primer material puede ser una composición fotorreactiva que incluye por lo menos una especie reactiva que es capaz de soportar una reacción química iniciada por ácido o por radical, y por lo menos un sistema fotoiniciador multifotón. Unas especies reactivas adecuadas para su uso en las composiciones fotorreactivas incluyen las especies curables y las no curables. Unos ejemplos de especies curables incluyen los monómeros y oligómeros polimerizables por adición y polímeros reticulables por adición (tal como las especies etilénicamente insaturadas o polimerizables sin radicales que incluyen, por ejemplo, acrilatos, metacrilatos y ciertos compuestos de vinilo tales como los estirenos), así como monómeros y oligómeros catiónicamente polimerizables y polímeros catiónicamente reticulables (dichas especies se inician más comúnmente por ácido y que incluyen, por ejemplo, epoxis, éteres de vinilo, ésteres de cianato, etc.), y similares, y mezclas de los mismos. Unos ejemplos de especies no curables incluyen los polímeros reactivos cuya solubilidad puede aumentarse con reacción inducida por ácido o por radicales. Estos polímeros reactivos incluyen, por ejemplo, los polímeros acuosos insolubles que llevan grupos éster que se pueden convertir por ácido fotogenerado en grupos ácidos acuosos solubles (por ejemplo, el poli(4-tert-butoxicarboniloxistireno). Unas especies no curables también incluyen las sustancias fotorresistentes químicamente amplificadas.

El sistema fotoiniciador multifotón permite que la polimerización esté confinada o limitada a la región focal de un haz de luz enfocado que se utiliza para exponer el primer material. Preferiblemente un sistema de este tipo es un sistema de dos o tres componentes que incluye por lo menos un fotosensibilizador multifotón, por lo menos un fotoiniciador (o aceptor de electrones), y, opcionalmente, por lo menos un donante de electrones.

La capa 115 del primer material puede colocarse como revestimiento sobre el sustrato 110 utilizando cualquier método de revestimiento que pueda ser deseable en una aplicación. Por ejemplo, el primer material puede colocarse como revestimiento sobre el sustrato 110 mediante revestimiento por inundación. Otros ejemplos de métodos de revestimiento incluyen el recubrimiento con cuchilla, revestimiento por incisiones, revestimiento con rodillo inverso, revestimiento huecograbado, revestimiento por pulverización, revestimiento con barra, revestimiento por giro y revestimiento por inmersión.

El sustrato 110 se puede elegir entre una amplia variedad de películas, hojas y otras superficies (incluidas las obleas de silicio y placas de vidrio), dependiendo de la aplicación y el método de exposición particulares que se vayan a utilizar. En algunos casos, el sustrato 110 es lo suficientemente plano de modo que la capa 115 del primer material tenga un grosor uniforme. En algunos casos, la capa 115 puede exponerse en bruto. En tales casos, el

sustrato 110 puede excluirse del proceso de fabricación. En algunos casos, tal como cuando el proceso incluye una o más etapas de galvanoplastia, el sustrato 110 puede ser eléctricamente conductor o semiconductor.

A continuación, el primer material se expone selectivamente a una luz incidente que tiene suficiente intensidad como para provocar la absorción simultánea de múltiples fotones por parte del primer material en la región expuesta. La exposición puede realizarse mediante cualquier método que sea capaz de proporcionar luz con la intensidad suficiente. Unos ejemplos de métodos de exposición se describen en la solicitud de patente de EE.UU. publicación US 2009/0099537, "Process For Making Microneedles, Microneedle Arrays, Masters, And Replication Tools" (nº de expediente 61795US005), presentada el 23 de marzo de 2007, que se incorpora en esta memoria por referencia.

La FIG. 18 es una vista lateral esquemática de un ejemplo de sistema de exposición 1800 para exponer la capa 115 del primer material. El sistema de exposición incluye una fuente de luz 1820 que emite luz 1830 y una plataforma 1810 que es capaz de moverse en una, dos o tres dimensiones. El sustrato 110 revestido con una capa de primer material 115 se coloca en la plataforma. El sistema óptico 1840 enfoca la luz emitida 1830 en la región focal 1850 dentro del primer material. En algunos casos, el sistema óptico 1840 se diseña de modo que la absorción simultánea de múltiples fotones por parte del primer material se produce sólo en una región focal 1850, o muy cerca de esta. Las regiones de la capa 115 que soportan la reacción multifotón se vuelven más o menos solubles en por lo menos un disolvente en comparación con las regiones de la capa 115 que no soportan la reacción multifotón.

La región focal 1850 puede escanear un patrón tridimensional dentro del primer material al mover la plataforma 1810 y/o la luz 1830 y/o uno o más componentes, tales como uno o más espejos, en el sistema óptico 1840. En el ejemplo de proceso ilustrado en la FIG. 1A y 18, la capa 115 se dispone en un sustrato plano 110. En general, el sustrato 110 puede tener cualquier forma que pueda ser deseable en una aplicación. Por ejemplo, en algunos casos, el sustrato 110 puede tener una forma esférica.

La fuente de luz 1820 puede ser de cualquier fuente de luz que sea capaz de producir suficiente intensidad de luz para efectuar la absorción multifotón. Unos ejemplos de fuentes de luz son los láseres, tales como los láseres de femtosegundo, que funcionan en un intervalo de aproximadamente 300 nm a aproximadamente 1500 nm, o de aproximadamente 400 nm a aproximadamente 1100 nm, o de aproximadamente 600 nm a aproximadamente 900 nm, o de aproximadamente 750 a aproximadamente 850 nm.

El sistema óptico 1840 puede incluir, por ejemplo, unos elementos ópticos refractivos (por ejemplo, lentes o distribuciones de microlentes), elementos ópticos reflexivos (por ejemplo, espejos retrorreflectores o de enfoque), elementos ópticos difractivos (por ejemplo, rejillas, máscaras de fase y hologramas), elementos ópticos polarizadores (por ejemplo, polarizadores lineales y placas de ondas), elementos ópticos dispersores (por ejemplo, prismas y rejillas), difusores, células Pockels, guías de ondas, y similares. Estos elementos ópticos son útiles para enfocar, entrega de haz, conformación de modo/haz, conformación de impulsos y temporización de impulsos.

Después de la exposición selectiva de la capa 115 del primer material mediante el sistema de exposición 1800, la capa expuesta se coloca en un disolvente para disolver las regiones de mayor solubilidad de disolvente. Unos ejemplos de disolventes que se pueden usar para desarrollar el primer material expuesto son los disolventes acuosos, tales como, por ejemplo, el agua (por ejemplo, con un pH en un intervalo de 1 a 12) y las mezclas miscibles de agua con disolventes orgánicos (por ejemplo, metanol, etanol, propanol, acetona, acetonitrilo, dimetilformamida, N-metilpirrolidona, y similares, y las mezclas de los mismos); y los disolventes orgánicos. Unos ejemplos de disolventes orgánicos útiles son los alcoholes (por ejemplo, metanol, etanol y propanol), cetonas (por ejemplo, acetona, ciclopentanona, y metiletilcetona), aromáticos (por ejemplo, tolueno), halocarbonos (por ejemplo, cloruro de metileno y cloroformo), nitrilos (por ejemplo, acetonitrilo), ésteres (por ejemplo, acetato de etilo y el acetato de propilenglicolmetileter), éteres (por ejemplo, dietileter y tetrahidrofurano), amidas (por ejemplo, N-metilpirrolidona), y similares, y las mezclas de los mismos. La FIG. 1B es una vista lateral esquemática de un primer patrón microestructurado 121 formado en el primer material utilizando el proceso multifotón. El primer patrón microestructurado incluye una primera agrupación 122 de microestructuras 120 y una segunda agrupación 124 de microestructuras 125, en las que las microestructuras 120 y 125 puede ser cualquier tipo de microestructuras incluidas las microestructuras que se describen en esta memoria. En algunos casos, las microestructuras 120 y 125 tienen estructuras diferentes. En algunos casos, las microestructuras 120 y 125 tienen la misma estructura. En el ejemplo de primer patrón microestructurado 121, las microestructuras 120 y 125 tienen unas alturas t_1 .

Las FIGs. 19 y 20 son unas micrografías de barrido electrónico de una agrupación de microestructuras 120 fabricadas según los procesos que se describen en esta memoria. Las microestructuras en las FIGs. 19 y 20 son similares a las microestructuras 1220 que se muestran en la FIG. 12. En la FIG. 19, las microestructuras se ven a lo largo de los ejes menores de las bases de las microestructuras y en la FIG. 20, las microestructuras se ven a lo largo de los ejes mayores de las bases de las microestructuras.

La pluralidad de microestructuras de la FIG. 19 (FIG. 20) se dispone en una distribución de círculos concéntricos que incluye un círculo más exterior 1910. Las microestructuras se disponen de tal manera que ninguna parte del diámetro del círculo más exterior incluye por lo menos una microestructura discreta desde cada círculo en la distribución de círculos concéntricos. Por ejemplo, un diámetro 1920 del círculo más exterior 1910 incluye las microestructuras 1901-1905 pero no las microestructuras 1930 y 1931. Cada círculo en la distribución de círculos

- 5 concéntricos en la FIG. 19 incluye microestructuras discretas equi-espaciadas. Similarmente, en algunos casos, una tobera incluye una pluralidad de agujeros que se disponen en una distribución de círculos concéntricos que incluye un círculo más exterior. Los agujeros discretos de tobera se disponen de tal manera que ninguna parte del diámetro del círculo más exterior incluye por lo menos un agujero discreto de tobera desde cada círculo en la distribución de círculos concéntricos. En algunos casos, cada círculo en la distribución de círculos concéntricos comprende unos agujeros discretos espaciados igualmente de tobera.
- 10 A continuación, como se ilustra esquemáticamente en la FIG. 1C, la superficie superior 126 del primer patrón microestructurado 121 se metaliza o se hace conductiva de electricidad mediante el revestimiento de la superficie superior con una capa delgada, de semillas, eléctricamente conductiva 127. La capa conductiva de semillas 127 puede incluir cualquier material eléctricamente conductivo que sea deseable en una aplicación. Unos ejemplos de materiales conductivos son la plata, cromo, oro y titanio. En algunos casos, la capa de semillas 127 tiene un grosor de menos de aproximadamente 50 nm o menos de aproximadamente 40 nm, o menos de aproximadamente 20 nm.
- 15 A continuación, como se ilustra esquemáticamente en la FIG. 1D, se utiliza una capa de semillas 127 para galvanizar el primer patrón microestructurado 121 con un segundo material que tiene como resultado una capa 130 del segundo material. En algunos casos, se continúa la galvanización del primer patrón microestructurado 121 hasta que el grosor mínimo t_2 de la capa 130 es mayor que t_1 .
- 20 Unos segundos materiales adecuados para la galvanoplastia son la plata, plata pasivada, oro, rodio, aluminio con mayor reflexividad, cobre, indio, níquel, cromo, estaño y aleaciones de los mismos.
- 25 En algunos casos, la capa 130 del segundo material tiene una superficie superior irregular o rugosa 132. En tales casos, la capa 130 del segundo material se pule o esmerila, lo que tiene como resultado una capa 135 del segundo material con un grosor $t_3 > t_1$ como se ilustra esquemáticamente en la FIG. 1E. El esmerilado o pulido se puede realizar mediante cualquier método de esmerilado que pueda ser deseable en una aplicación. Unos ejemplos de métodos de esmerilado son el esmerilado superficial y el fresado mecánico.
- 30 En algunos casos, la capa del segundo material 130 puede depositarse directamente sobre el primer patrón microestructurado 121 sin el primer patrón de revestimiento 121 con la capa de semilla 127. En tales casos, la capa 130 puede colocarse revistiendo el patrón 121 utilizando cualquier método adecuado incluso, por ejemplo, pulverización catódica y deposición química de vapor.
- 35 A continuación, se retira el sustrato 110 y el primer material, lo que tiene como resultado un primer molde 140 del segundo material mostrado esquemáticamente en la FIG. 1F. Para facilitar la visualización y sin pérdida de generalidad, la capa de semilla 127 no se muestra en la FIG. 1F. En algunos casos, el sustrato 110 y el primer material con patrón pueden separarse de la capa 135 con la mano. En algunos casos, la separación puede llevarse a cabo antes de fresar la capa 130.
- 40 El primer molde 140 incluye un segundo patrón microestructurado 141 que es sustancialmente una réplica en negativo del primer patrón microestructurado 121. En particular, el primer molde 140 del segundo material incluye una primera agrupación 146 de microestructuras 145 y una segunda agrupación 147 de microestructuras 148, en las que las microestructuras 145 son unas réplicas sustancialmente en negativo de las microestructuras 120 y las microestructuras 148 son unas réplicas sustancialmente en negativo de las microestructuras 125.
- 45 Luego, el segundo patrón microestructurado se replica en un tercer material 150 diferente del primer y el segundo material mediante la disposición del tercer material entre el primer molde 140 del segundo material y un sustrato 155 que tiene una superficie superior suave 157 como se ilustra esquemáticamente en la FIG. 1G. El proceso de replicación puede realizarse utilizando cualquier método adecuado de replicación. Por ejemplo, en algunos casos, la replicación se puede realizar utilizando un proceso de moldeo por inyección. En tales casos, un tercer material fundido 150 se puede introducir entre el sustrato 155 y el primer molde 140 y se solidifica después de que el tercer material fundido llena el segundo patrón microestructurado. El tercer material 150 puede ser cualquier material que sea capaz de replicar un patrón. Unos ejemplos de terceros materiales incluyen el policarbonato y otros termoplásticos tales como el poliestireno, acrílico, estireno acrilonitrilo, poli-metacrilato de metilo (PMMA), polímero de cicloolefinas, polietileno tereftalato, polietileno 2,6-naftalato y fluoropolímeros.
- 50 Después del proceso de replicación, se retira el primer molde 140 del segundo material y el sustrato 155, lo que tiene como resultado un segundo molde 160 del tercer material que tiene una parte de sustrato 162 y un tercer patrón microestructurado 161 que es la réplica sustancialmente en negativo del segundo patrón microestructurado 141 y una réplica sustancialmente en positivo del primer patrón microestructurado 121. El tercer patrón microestructurado 161 incluye una primera agrupación 168 de microestructuras 165 y una segunda agrupación 169 de microestructuras 159, en las que las microestructuras 165 son unas réplicas sustancialmente en negativo de las microestructuras 145 y las microestructuras 159 son unas réplicas sustancialmente en negativo de las microestructuras 148. En algunos casos, las microestructuras 165 son unas réplicas sustancialmente en positivo de las microestructuras 120 y las microestructuras 159 son unas réplicas sustancialmente en positivo de las

microestructuras 125. La FIG. 21 es una micrografía de barrido electrónico de una agrupación de microestructuras de policarbonato 165 fabricadas según los procesos que se describen en esta memoria.

A continuación, como se ilustra esquemáticamente en la FIG. 1I, la superficie superior 154 del tercer patrón microestructurado 161 se metaliza o se hace conductiva de electricidad mediante el revestimiento de la superficie superior con una capa delgada, de semillas, eléctricamente conductiva 167 similar a la capa de semillas 127.

Luego, como se muestra esquemáticamente en la FIG. 1J, la capa de semillas 167 se utiliza para galvanizar el tercer patrón microestructurado 161 con un cuarto material diferente al tercer material que tiene como resultado una capa 170 del cuarto material. En algunos casos, se continúa la galvanización del segundo patrón microestructurado 161 hasta que el grosor mínimo t_5 de la capa 130 es mayor que t_4 , la altura de las microestructuras en el segundo molde 160. En algunos casos, la altura t_4 es sustancialmente igual a la altura t_1 . Unos cuartos materiales adecuados para la galvanoplastia son la plata, plata pasivada, oro, rodio, aluminio con mayor reflexividad, cobre, indio, níquel, cromo, estaño y aleaciones de los mismos. En otras realizaciones, el cuarto material puede ser una cerámica que se deposita en el tercer patrón microestructurado. Este tipo de material cerámico puede formarse p. ej. mediante un proceso sol-gel como se describe en la patente de EE.UU. n° 5.453.104 comúnmente poseída y cedida, o por fotocurado de una composición polimérica pre-cerámica o rellena de cerámica como se describe en las patentes, comúnmente poseídas y cedidas, de EE.UU. n° 6.572.693, 6.387.981, 6.899.948, 7.393.882, 7.297.374 y 7.582.685, cada una de las cuales se incorpora por referencia en esta memoria en su totalidad. Tales materiales cerámicos pueden comprender, p. ej., sílice, óxidos de zirconio, de aluminio, de titanio, de itrio, de estroncio, de bario, de hafnio, de niobio, de tántalo, de tungsteno, de bismuto, de molibdeno, de estaño, de zinc, elementos lantánidos (es decir, los elementos de números atómicos que van de 57 a 71, inclusive), cerio y combinaciones de los mismos.

A continuación, la superficie superior 172 de la capa 170 se esmerila hasta que se exponen las partes superiores 171 de las microestructuras 165 y las partes superiores 173 de las microestructuras 159. En algunos casos, el tercer material es más blando que el cuarto material. Por ejemplo, en algunos casos, el tercer material es policarbonato y el cuarto material es una aleación de níquel. En tales casos, pueden retirarse unas pequeñas partes de las partes superiores 171 y 173 durante el proceso de esmerilado para asegurar que se exponen las partes superiores de todas las microestructuras en el tercer patrón microestructurado 161. En tales casos, el esmerilado tiene como resultado, como se ilustra esquemáticamente en la FIG. 1K, una capa 175 del cuarto material que aplana el tercer patrón microestructurado y que expone las partes superiores 185 de las microestructuras en la pluralidad de las microestructuras en el tercer patrón microestructurado. La capa 175 del cuarto material tiene una superficie superior 177, que es sustancialmente uniforme con unas partes superiores 184 de las microestructuras 180 y unas partes superiores 186 de las microestructuras 181. Las microestructuras tienen una altura t_6 que puede ser ligeramente menor que t_4 .

A continuación, se retira el segundo molde 160, lo que tiene como resultado una capa 190 del cuarto material que incluye una pluralidad de agujeros 106 que corresponden a la pluralidad de microestructuras del tercer patrón microestructurado 161. En particular, la capa 190 del cuarto material incluye una primera agrupación 192 de agujeros 195 y una segunda agrupación 193 de agujeros 198. En algunos casos, los agujeros 195 son unas réplicas substanciales de las microestructuras 120 y los agujeros 198 son unas réplicas substanciales de las microestructuras 125. Los agujeros 195 incluyen unas entradas 182 de agujero y unas salidas 183 de agujero y los agujeros 198 incluyen unas entradas 196 de pozo y unas salidas 197 de agujero.

Las FIGs. 22 y 23 son unas micrografías ópticas de las respectivas entradas 182 de agujero y unas salidas 183 de agujero de una agrupación 192 de agujeros 195 hechos según los procesos descritos en esta memoria. La FIG. 25 es una micrografía de barrido electrónico de los agujeros 195, vista desde el lado de entrada de agujero. El agujero tiene una entrada 2510 de agujero y una salida 2520 de agujero que es más pequeña que la entrada de agujero. La micrografía ilustra claramente un estrechamiento y un retorcimiento en el agujero.

En algunos casos, dos agrupaciones 192 y 193 están separadas a lo largo de una dirección 199, lo que tiene como resultado, como se ilustra esquemáticamente en la FIG. 1M, una pieza 102 y una pieza 103 independientes, y en algunos casos sustancialmente idénticas, en la que cada pieza puede utilizarse en una tobera de pulverización y/o un inyector de combustible.

La FIG. 24 es una vista lateral esquemática de una tobera 2400 que incluye un interior hueco 2410 y una pared 2405 que separa el interior hueco de un exterior 2430 de la tobera. La tobera incluye además por lo menos un agujero, tal como un agujero 2420, que conecta el interior hueco 2410 con el exterior 2430 de la tobera. Los agujeros entregan gas o líquido desde el interior hueco al exterior. El agujero 2420 puede ser cualquier agujero que se describe en esta memoria. El agujero 2420 incluye un entrada 2440 de agujero en una superficie interior 2406 de la pared 2405 y una salida 2445 de agujero en una superficie exterior 2407 de la pared 2405. La entrada 2440 de agujero también en el interior hueco 2410 de la tobera y la salida 2445 de agujero está en el exterior 2430 de la tobera.

En algunos casos, la entrada 2440 de agujero tiene una primera forma y la salida 2445 de agujero tiene una segunda forma que es diferente de la primera forma. Por ejemplo, en algunos casos, la primera forma es una forma elíptica y la segunda forma es una forma circular. Como otro ejemplo, en algunos casos, la primera forma puede ser una forma de pista de carreras y la segunda forma puede ser una forma circular. Como otro ejemplo, en algunos

casos, la segunda forma puede ser un círculo o una elipse y el perímetro de la primera forma puede incluir los arcos exteriores de una pluralidad de círculos colocados próximos, en los que los arcos se conectan entre sí mediante unos filetes como curvas.

5 En algunos casos, la primera forma puede ser sustancialmente igual a la segunda forma, pero pueden tener diferentes amplitudes o tamaños. Por ejemplo, la primera forma puede ser un círculo con un radio a_1 y la segunda forma también puede ser un círculo, pero con un radio a_2 diferente de a_1 .

10 En algunos casos, el agujero 2420 tiene una sección transversal lateral que rota desde la entrada 2440 de agujero a la salida 2445 de agujero en la que la sección transversal lateral se refiere a una sección transversal que es sustancialmente perpendicular a la dirección general de flujo de, por ejemplo, un líquido o un gas dentro del agujero. En algunos casos, la sección transversal tiene un índice de rotación creciente desde la entrada de agujero a la salida de agujero. En algunos casos, la sección transversal tiene un índice de rotación decreciente desde la entrada de agujero a la salida de agujero. En algunos casos, la sección transversal tiene un índice de rotación constante desde la entrada de agujero a la salida de agujero.

15 Algunas de las ventajas de las microestructuras, agujeros, capas, construcciones y métodos de esta invención se ilustran aún más en el siguiente ejemplo. Los materiales, cantidades y dimensiones particulares mencionados en el ejemplo, así como otras condiciones y detalles, no deben interpretarse en el sentido de limitar indebidamente la invención. A menos que se indique de otro modo, todos los procedimientos químicos se llevaron a cabo en una atmósfera de nitrógeno seco con disolventes y reactivos secos y oxigenados. A menos que se indique de otro modo, todos los disolventes y reactivos se obtuvieron o pueden obtenerse en Aldrich Chemical Co., Milwaukee, WI.

20 Se preparó hexafluoroantimonato de rodamina B mediante metátesis de cloruro de rodamina B con hexafluoroantimonato de sodio. Tal como se emplea en esta memoria, SR368 se refiere a triacrilato de tris-(2-hidroxietil)isocianato, (obtenido de Sartomer Co. Inc., Exton, PA; SR9008 se refiere a un éster trifuncional de acrilato (obtenido de Sartomer); SR1012 se refiere a hexafluoroantimonato de diariliodonio (obtenido de Sartomer); SU-8 R2150 se refiere a un epoxi fotorresistente en negativo (obtenida de MicroChem Corp., Newton, MA); THF se refiere a tetrahidrofurano; LEXAN SPH1R se refiere a un policarbonato de termoplástico (obtenida de Sabic Innovative Plastics, Pittsfield, MA; e Inco S-Rounds se refiere al níquel (obtenido de Vale Inco America's, Inc., Saddle Brook, NJ).

Ejemplo 1:

30 Se obtuvo una oblea circular de silicio (sustrato 110 en la FIG. 1 A), 10,2 cm de diámetro, de Wafer World, Inc., West Palm Beach, Florida. La oblea de Si se limpió por remojo durante unos diez minutos en una mezcla 3:1 en volumen de ácido sulfúrico concentrado y 30% en peso de peróxido de hidrógeno acuoso. La oblea se enjuagó luego con agua desionizada y luego con isopropanol, tras lo cual se secó con una corriente de aire. La oblea se sumergió luego en una solución del dos por ciento en peso de metacrilato de 3-(trimetoxisilil)propilo en etanol de prueba 190 que se había hecho ácido (pH entre 4 y 5) con ácido acético. La oblea se enjuagó luego con etanol absoluto y luego se calentó en un horno a 130 °C durante diez minutos.

35 Se combinó poli(metacrilato de metilo), que tiene un número promedio de peso molecular de aproximadamente 120.000, SR9008 y SR368 en una proporción de peso de 30:35:35, que tuvo como resultado una mezcla de monómeros que se disolvió en suficiente 1,2-dicloroetano para permitir una solución que fue del 54% en peso de la mezcla de monómeros. A esta solución se le añadieron a continuación unas alícuotas de soluciones concentradas de fotosensibilizador hexafluoroantimonato de Rodamina B en THF y SR1012 en THF suficiente para dar una solución de revestimiento que fue del 0,5 por ciento en peso de hexafluoroantimonato de Rodamina B y 1,0 por ciento en peso de SR1012, basado en el peso total de sólidos. Esta solución de revestimiento se filtró a través de un filtro de jeringa de 1 micrómetro y se utilizó para revestir por giro la oblea de silicio. La oblea revestida se colocó en un horno de aire forzado a 60 °C durante 18 horas para proporcionar una oblea de silicio revestida con un revestimiento sustancialmente sin disolvente (en lo sucesivo, "seco") (capa 115 del primer material en la FIG. 1 A) que tenía un grosor de aproximadamente 300 micrómetros.

40 Se llevó a cabo la polimerización con dos fotones del revestimiento seco utilizando un láser de Ti: zafiro bombeado con diodo (obtenido de Spectra-Physics, Mountain View, CA) que funcionaba a 800 nm con una anchura nominal de impulso de 80 fs, una velocidad de repetición de impulsos de 80 MHz y una potencia media de aproximadamente 1 W. La oblea revestida se puso en una plataforma de tres ejes controlada por ordenador (obtenida de Aerotech, Inc., Pittsburgh, PA). El rayo láser se atenuó mediante unos filtros de densidad neutra y se enfocó en el revestimiento seco con un galvo-escáner con un telescopio para el control en los ejes x, y, z (disponible en el Nutfield Technology, Inc., Windham, NH). Sobre la superficie del revestimiento seco se aplicó directamente un objetivo Nikon CFI Plan Achromat 50X N. A. 0,90 con una distancia de trabajo de 0,400 mm y una longitud focal de 4,0 mm. La potencia media se midió en la salida de la lente del objetivo utilizando un fotodiodo calibrado por longitud de onda (obtenido de Ophir Optronics, Ltd., Wilmington, MA) y se determinó que era de aproximadamente 8 mW.

Después de que se completó la exploración de exposición, el revestimiento seco expuesto se desarrolló en disolvente MicroChem SU-8, se enjuagó y se secó lo que tuvo como resultado un primer patrón microestructurado 121 (FIG. 1B).

5 La superficie del primer patrón microestructurado se hizo conductivo por pulverización catódica de una capa delgada (aproximadamente 100 angstroms) de plata (Ag) sobre la superficie del patrón. La superficie frontal metalizada se galvanizó luego con Inco S-Rounds (níquel) hasta que tuvo un grosor de aproximadamente 2 mm. La bala de níquel galvanizada se separó a continuación del primer patrón y se esmeriló y mecanizó, lo que tuvo como resultado un primer molde 140 que tenía un segundo patrón microestructurado 141 (FIG. 1F).

10 El primer molde se colocó luego en un molde de inyección que se colocó en un sistema de moldeo por inyección de plástico de único tornillo para inyectar policarbonato termoplástico (LEXAN HPS1R) dentro de la cavidad del molde, lo que tuvo como resultado un segundo molde 160 que tenía un tercer patrón microestructurado 161 (FIG. 1H).

15 La superficie frontal del segundo molde se metalizó luego por pulverización catódica de la superficie con aproximadamente 100 angstroms de plata. El segundo molde metalizado se galvanizó luego con Inco S-Rounds (níquel) para cubrir totalmente el tercer patrón microestructurado, que tuvo como resultado una capa de níquel 170 (FIG. 1J).

Después de enjuagar la construcción combinada de la capa de níquel y el segundo molde con agua desionizada, la superficie frontal 172 (FIG. 1J) de la capa de níquel se esmeriló en una forma plana para retirar el material de níquel de las partes superiores 171 del tercer patrón microestructurado.

20 Después de completar el esmerilado (se exponen todas las partes superiores de microestructuras), la capa galvanizada de níquel se separa del molde de policarbonato 160, lo que tiene como resultado un disco de níquel, aproximadamente 8 μm de diámetro y 160 μm de grosor que tiene 37 agujeros pasantes dispuestos en una disposición de agrupamiento circular hexagonal. La separación entre los agujeros vecinos fue de aproximadamente 200 μm . Cada agujero tenía una entrada de agujero con forma de una pista de carreras modificada con filetes a lo largo de las partes lineales de la pista de carreras. La pista de carreras tenía un diámetro mayor de aproximadamente 80 μm y un diámetro menor de aproximadamente 50 micrómetros. Cada agujero tenía una salida de agujero en forma de pequeña pista de carreras con un diámetro mayor de aproximadamente 50 μm y un diámetro menor de aproximadamente 35 micrómetros. Visto desde el lado de la salida de agujero, los diámetros mayores de la sección transversal de los agujeros se rotaron a derechas desde la salida de agujero a la entrada de agujero aproximadamente 30 grados por cada 50 μm de profundidad por debajo de la salida de agujero.

30 Tal como se emplea es esta memoria, los términos tales como "vertical", "horizontal", "encima", "debajo", "izquierda", "derecha", "superior" e "inferior", "a derechas" y "a izquierdas" y otros términos similares, se refieren a las posiciones relativas que se muestran en las figuras. En general, una realización física puede tener una orientación diferente, y en ese caso los términos pretenden referirse a las posiciones relativas modificadas con la orientación real del dispositivo. Por ejemplo, incluso si la imagen de la FIG. 1B se voltea en comparación con la orientación en la figura, la superficie 126 se sigue considerando la superficie superior.

35 Todas las patentes, solicitudes de patentes y otras publicaciones citadas anteriormente se incorporan por referencia en este documento como si se reprodujeran en su totalidad. Si bien anteriormente se han descrito con detalle unos ejemplos específicos de la invención para facilitar la explicación de los diversos aspectos de la invención, debe entenderse que la intención no es para limitar la invención a los aspectos específicos de los ejemplos. En cambio, la intención pretende abarcar todas las modificaciones, realizaciones y alternativas que entran en el espíritu y el alcance de la invención tal como se definen en las reivindicaciones adjuntas.

40

REIVINDICACIONES

1. Un método para fabricar una tobera que comprende las etapas de:
 - (a) proporcionar un primer material (115) capaz de soportar reacción multifotón;
 - 5 (b) formar un primer patrón microestructurado (121) en el primer material (115) mediante la reacción de manera selectiva del primer material (115) utilizando un proceso multifotón, en el que el proceso multifotón permite que la polimerización sea confinada o limitada a la región focal de un haz de luz enfocado que se utiliza para exponer el primer material (115);
 - 10 (c) replicar el primer patrón microestructurado (121) en un segundo material (130) diferente del primer material (115) para hacer un primer molde (140) que comprende un segundo patrón microestructurado (141) en el segundo material (130);
 - (d) replicar el segundo patrón microestructurado (141) en un tercer material (150) diferente del segundo material (130) para hacer un segundo molde (160) que comprende un tercer patrón microestructurado (161) que comprende una pluralidad de microestructuras (159, 165) en el tercer material (150);
 - 15 (e) replicar el tercer patrón microestructurado (161) en un cuarto material (170) diferente del tercer material (150) para hacer una estructura replicada;
 - (f) aplanar el cuarto material (170) de la estructura replicada para exponer las partes superiores (171, 173) de las microestructuras en la pluralidad de microestructuras (159, 165) del tercer patrón microestructurado (161); y
 - 20 (g) retirar el tercer material (150) que tiene como resultado una tobera que tiene una pluralidad de agujeros (106) en el cuarto material (170) y que corresponden a la pluralidad de microestructuras (159, 165) en el tercer patrón microestructurado (161).
2. El método de la reivindicación 1, en donde el primer patrón microestructurado (121) comprende una pluralidad de microestructuras discretas, y la pluralidad de las microestructuras discretas comprende una microestructura discreta en espiral.
- 25 3. El método de la reivindicación 1, en donde la etapa de formar el primer patrón microestructurado (121) en el primer material (115) comprende exponer por lo menos una parte del primer material (115) para provocar la absorción simultánea de múltiples fotones.
4. El método de la reivindicación 3, en donde la etapa de formar el primer patrón microestructurado (121) en el primer material (115) comprende eliminar las partes expuestas del primer material (115).
- 30 5. El método de la reivindicación 3, en donde la etapa de formar el primer patrón microestructurado (121) en el primer material (115) comprende eliminar las partes no expuestas del primer material (115).
6. El método de la reivindicación 1, en donde replicar el primer patrón microestructurado (121) en el segundo material (130) comprende galvanizar el primer patrón microestructurado (121).
7. El método de la reivindicación 1, en donde el segundo patrón microestructurado (141) es sustancialmente una réplica en negativo del primer patrón microestructurado (121).
- 35 8. El método de la reivindicación 1, en donde la etapa de replicar el segundo patrón microestructurado (141) en el tercer material comprende (150) moldeo por inyección.
9. El método de la reivindicación 1, en donde el segundo molde (160) comprende un polímero.
10. El método de la reivindicación 1, en donde la etapa de replicar el tercer patrón microestructurado (161) comprende galvanizar el tercer patrón microestructurado (161) o revestir el tercer patrón microestructurado (161) con el cuarto material.
- 40 11. El método de la reivindicación 1, en donde la etapa de replicar el tercer patrón microestructurado (161) comprende galvanizar el tercer patrón microestructurado (161) con el cuarto material (170).
12. Una tobera hecha según cualquiera de los métodos de las reivindicaciones 1 a 11, dicha tobera comprende una pluralidad de agujeros (720; 920; 1220) formados a través de la misma que conectan un lado de la tobera con un lado opuesto de la tobera, cada uno de los agujeros comprende:

una entrada de agujero (730; 930; 1230) en el lado de la tobera que tiene una primera forma;

un agujero salida (740; 940; 1240) en el lado opuesto de la tobera que tiene una segunda forma; y

una superficie interior que conecta la entrada de agujero (730; 930; 1230) y la salida de agujero (740),

en donde la entrada de agujero (730; 930; 1230) y la salida de agujero (740; 940; 1240) se conectan mediante por lo menos una parte de la superficie interior que es curvilínea.

- 5 13. La tobera de la reivindicación 12, en donde por lo menos uno de los agujeros (720; 920; 1220) de la tobera se configura para que (a) la primera forma sea una forma elíptica y la segunda forma sea una forma circular, (b) la primera forma sea una forma de pista de carreras y la segunda forma sea una forma circular, (c) un perímetro de la primera forma comprende unos arcos exteriores de unos círculos colocados próximos, los arcos exteriores se conectan mediante unos filetes como curvas, o (d) la superficie interior con una sección transversal que rota desde la entrada (730; 930; 1230) de agujero a la salida (740; 940; 1240) de agujero.
- 10 14. La tobera de la reivindicación 12 o 13, en donde la entrada de agujero tiene una primera forma (730; 930; 1230) y la salida de agujero (740; 940; 1240) tiene una segunda forma diferente de la primera forma.
15. La tobera de cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, en donde la tobera es una tobera de inyector de combustible.

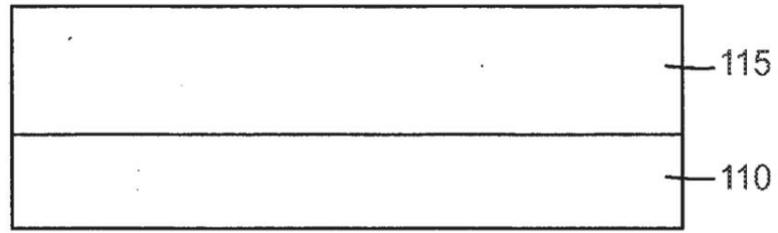


FIG. 1A

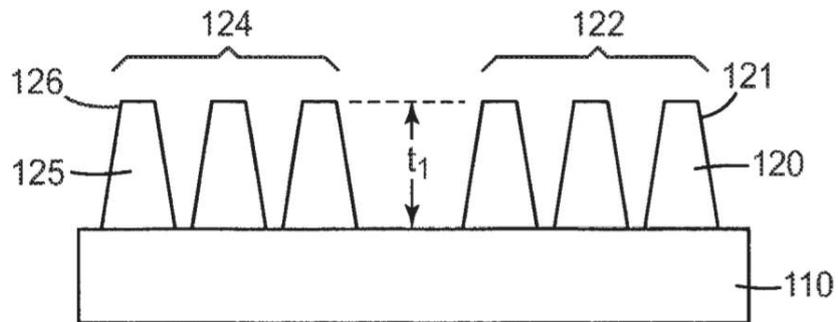


FIG. 1B

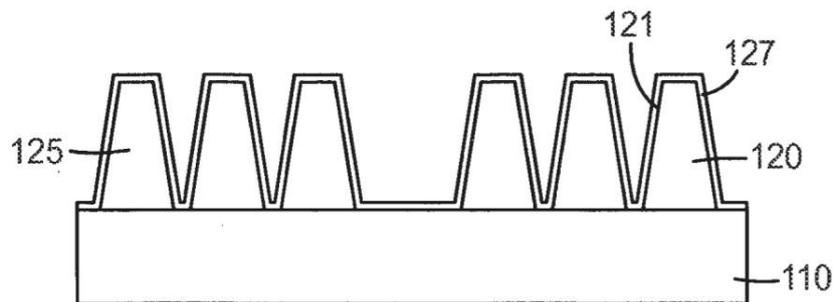


FIG. 1C

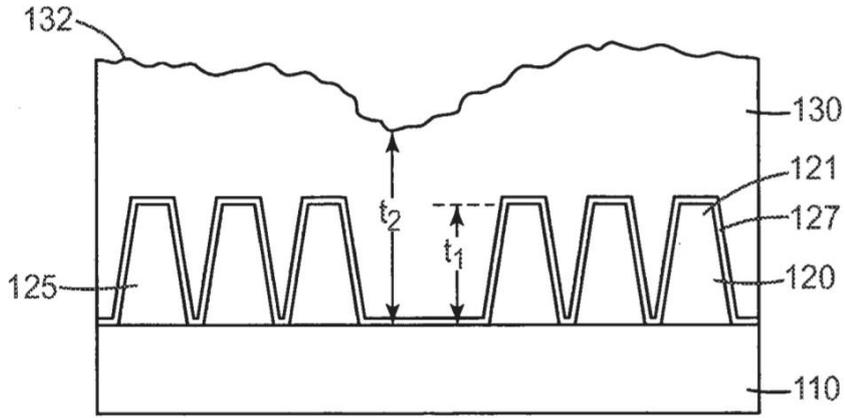


FIG. 1D

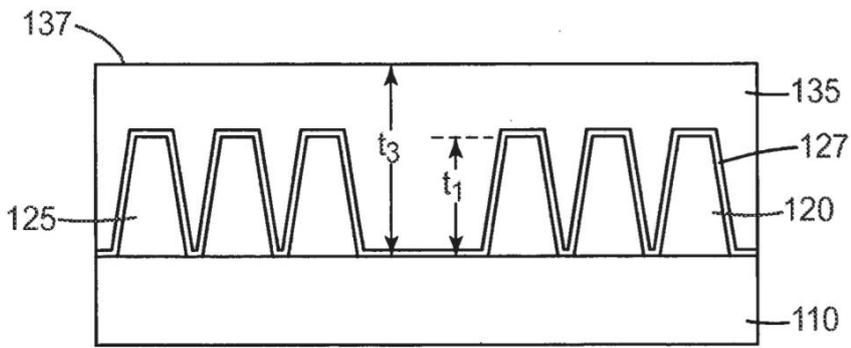


FIG. 1E

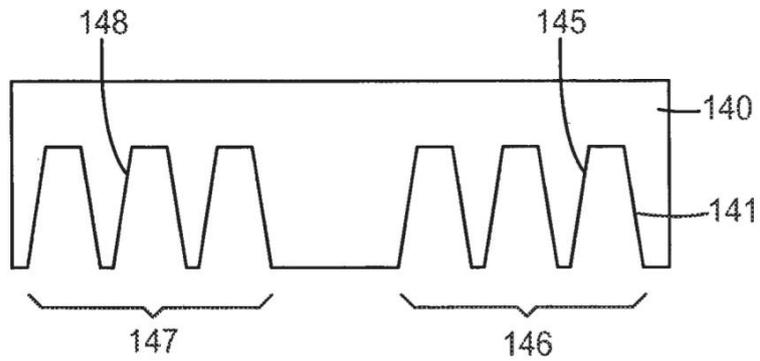


FIG. 1F

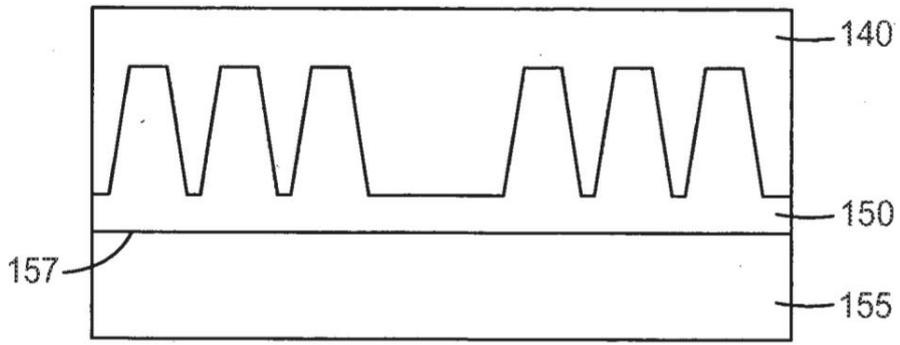


FIG. 1G

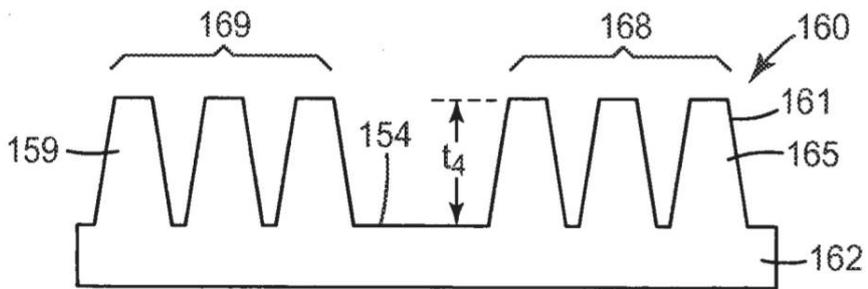


FIG. 1H

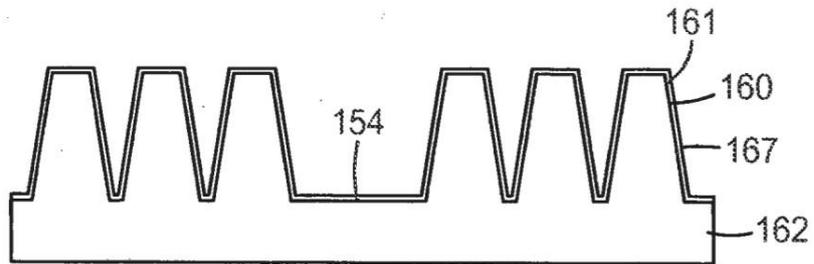
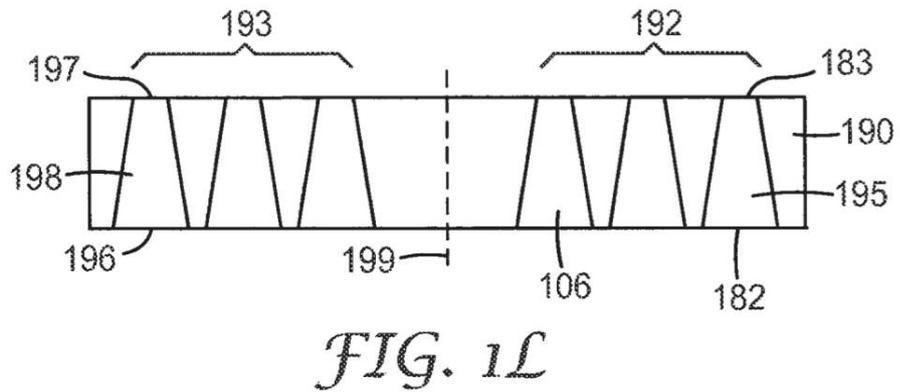
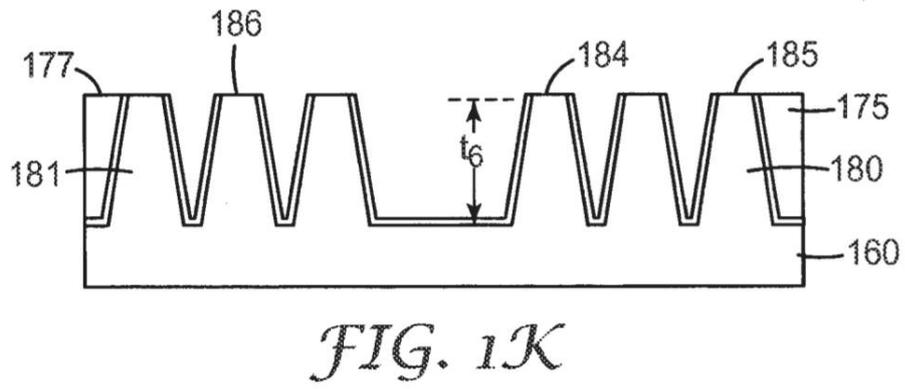
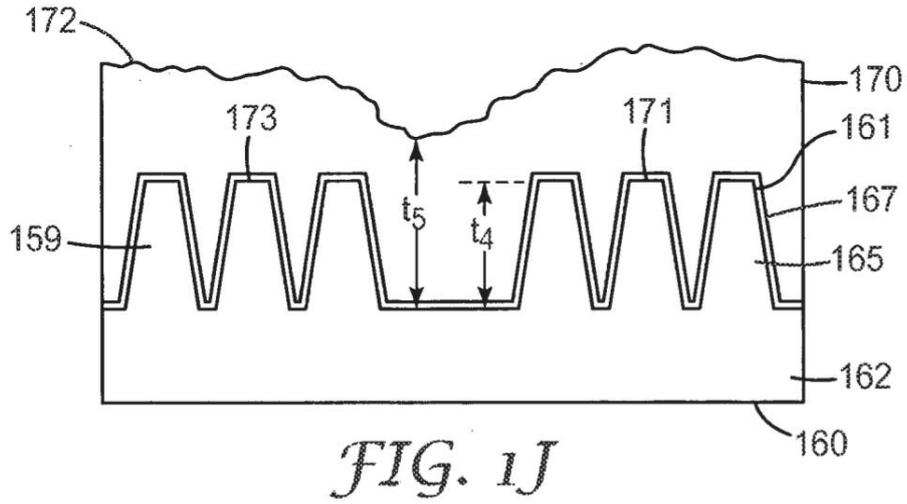


FIG. 1I



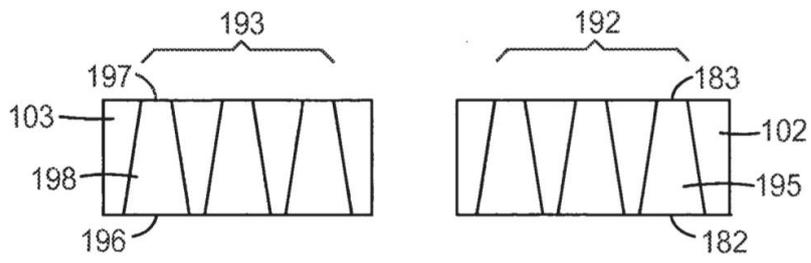


FIG. 1M

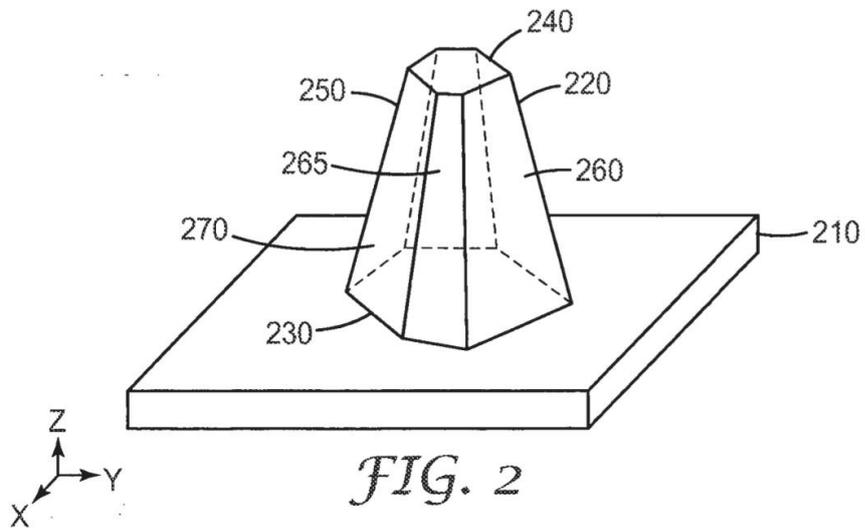


FIG. 2

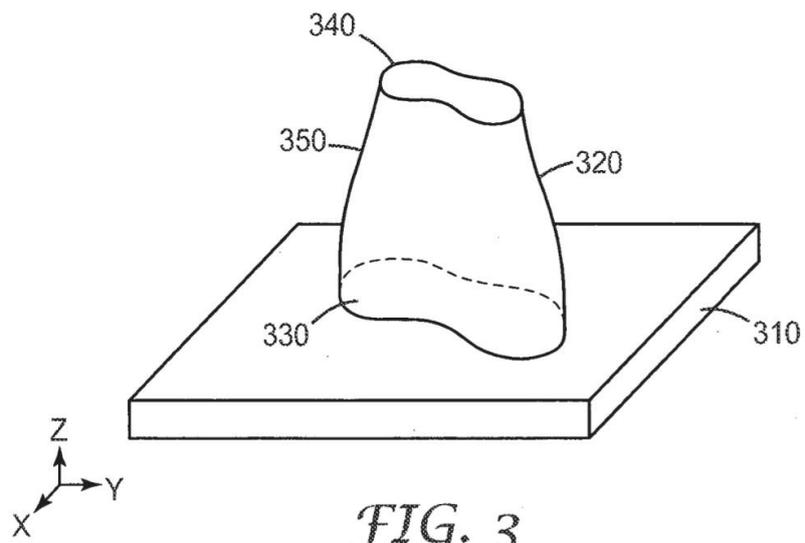


FIG. 3

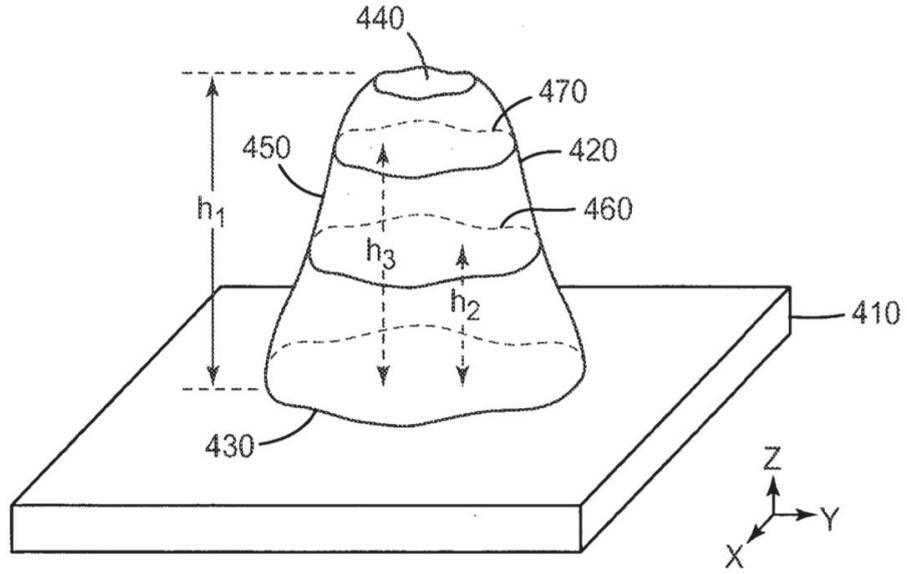


FIG. 4

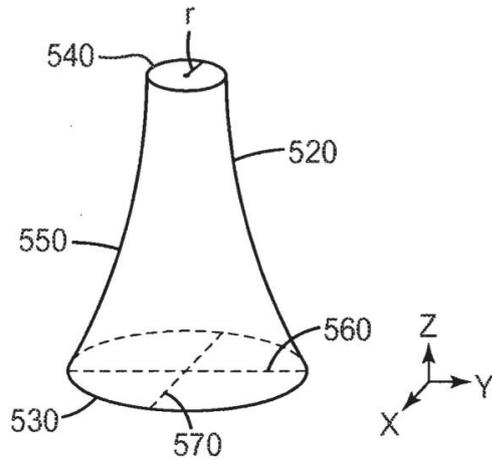


FIG. 5

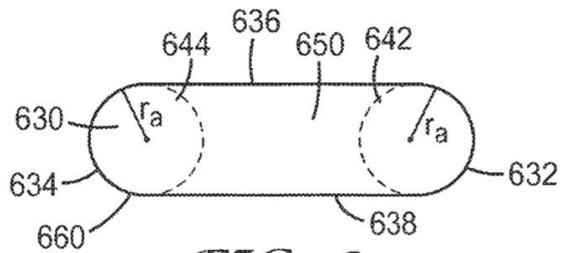


FIG. 6

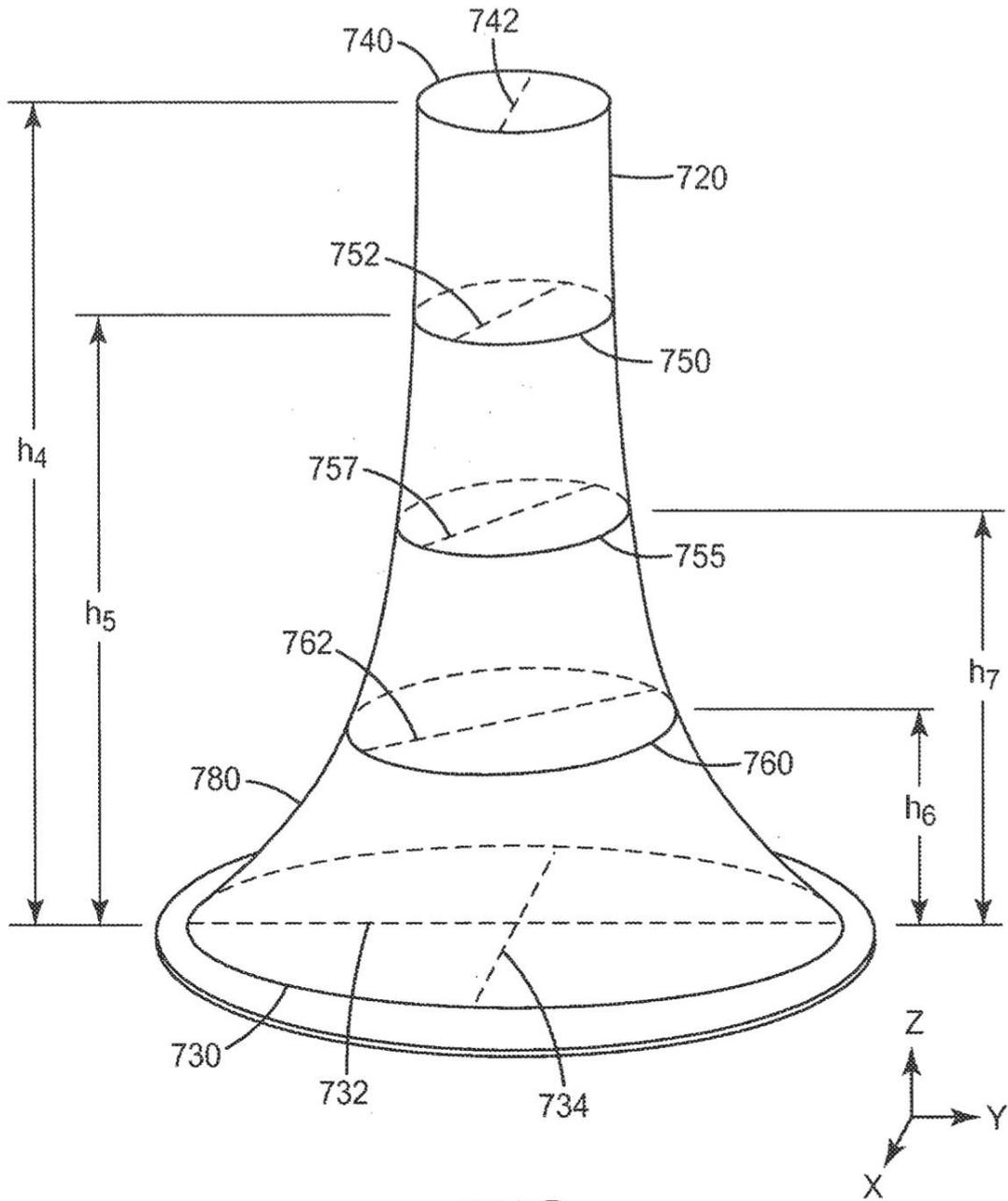


FIG. 7

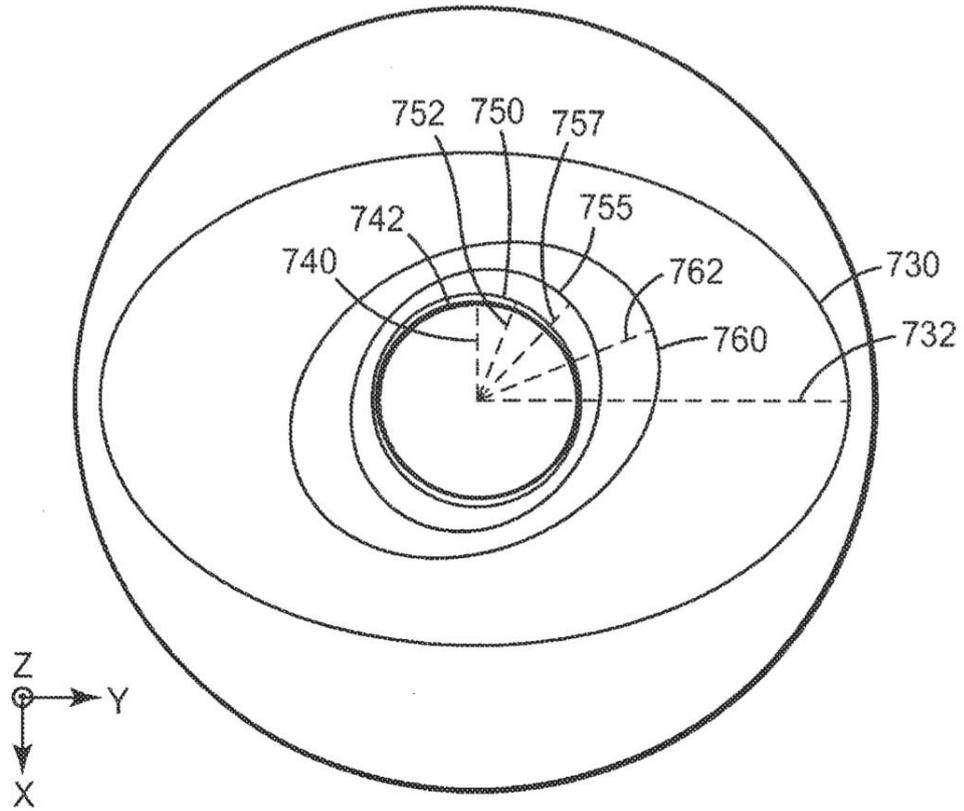


FIG. 8

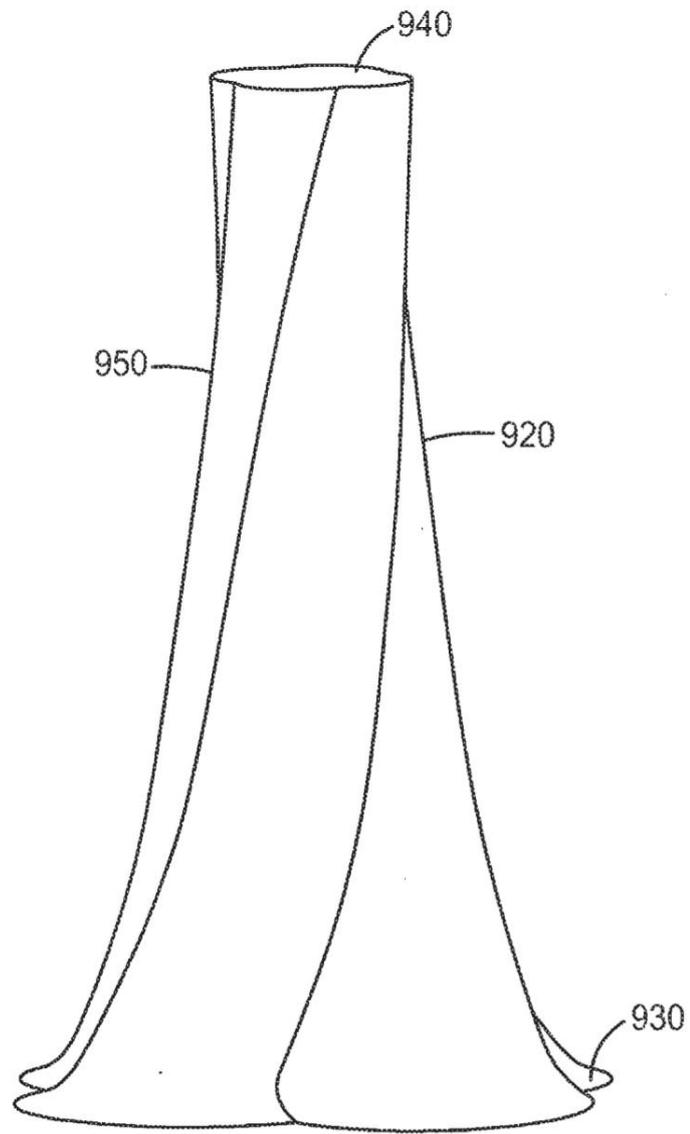


FIG. 9

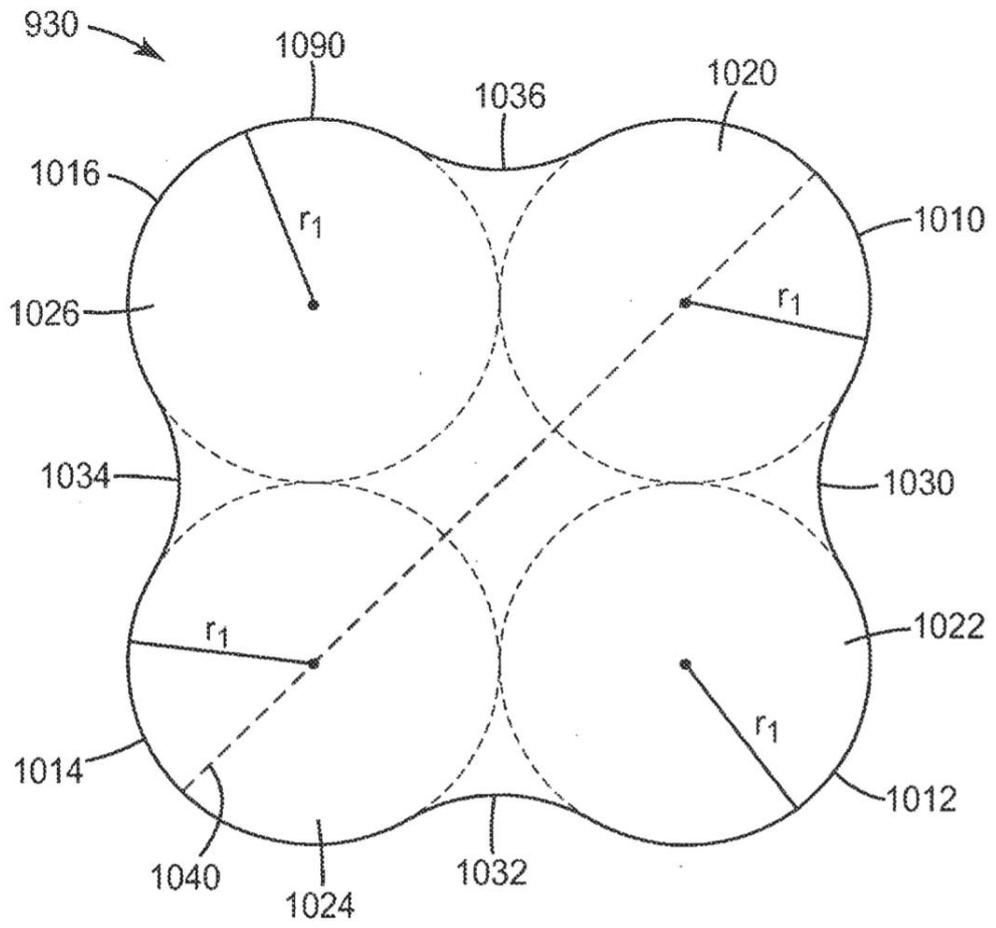


FIG. 10

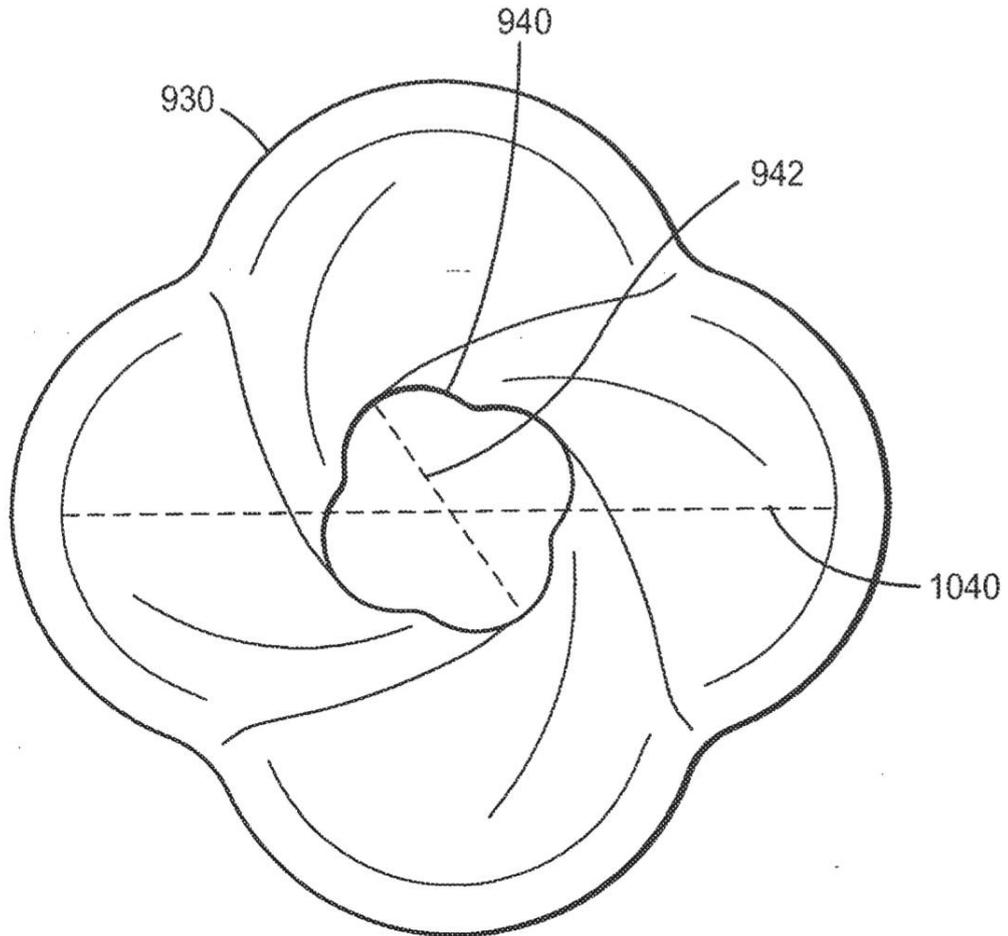


FIG. 11

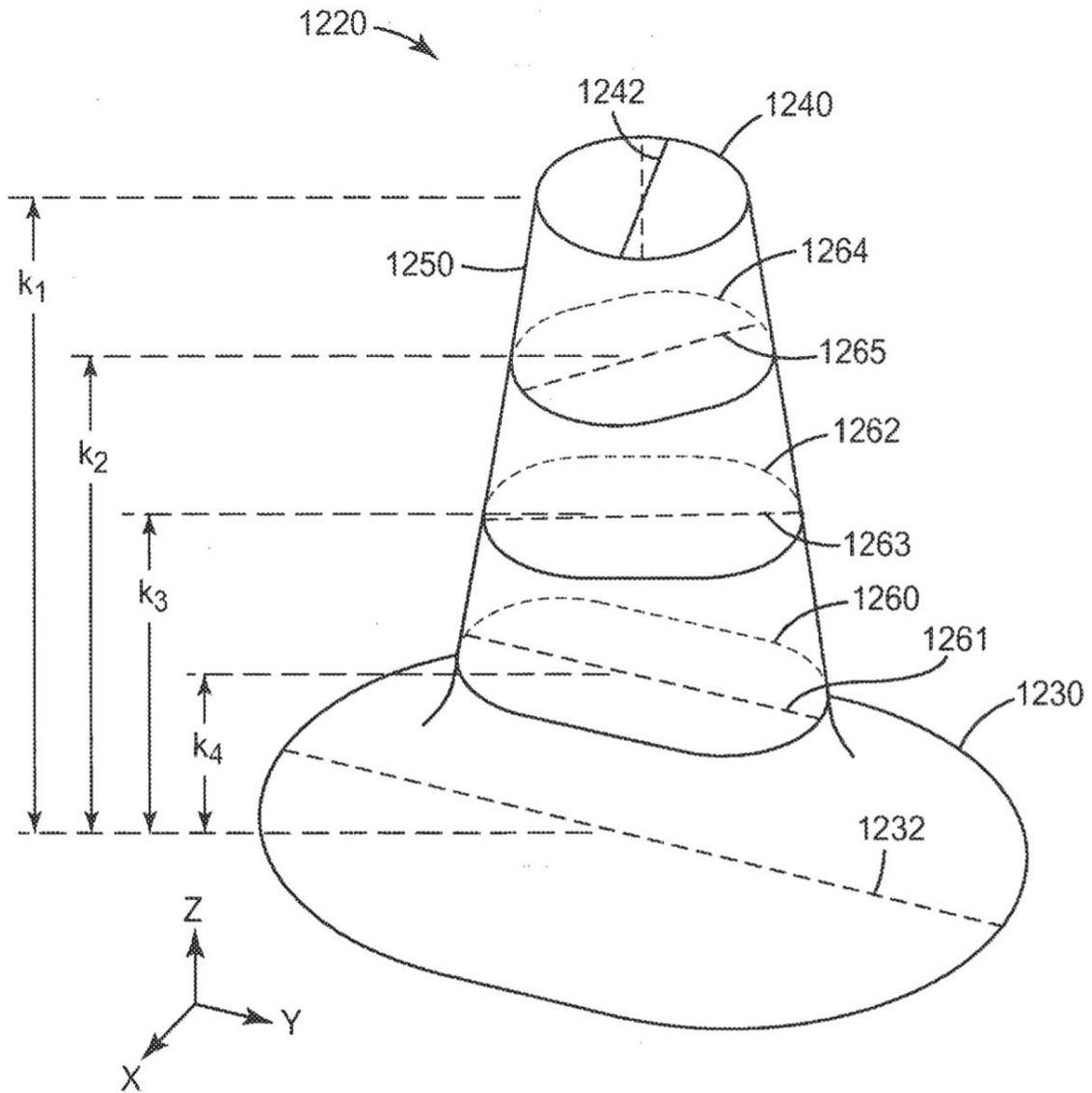


FIG. 12

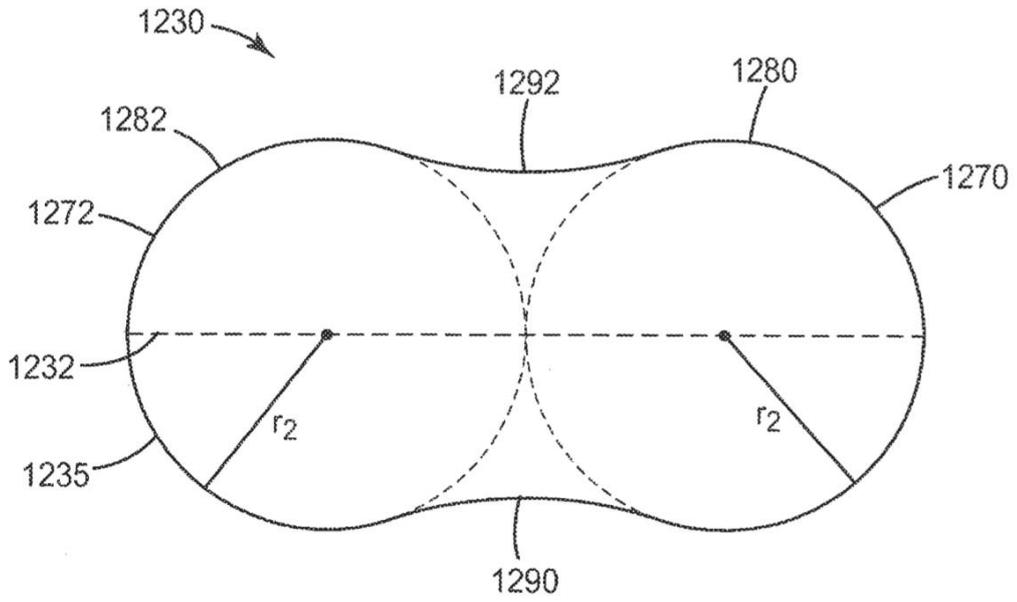


FIG. 13

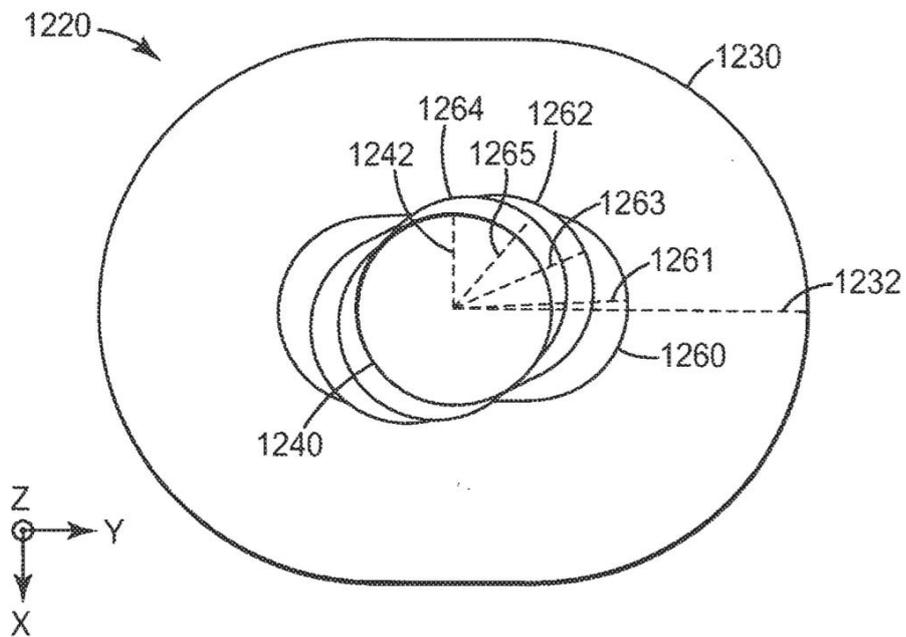
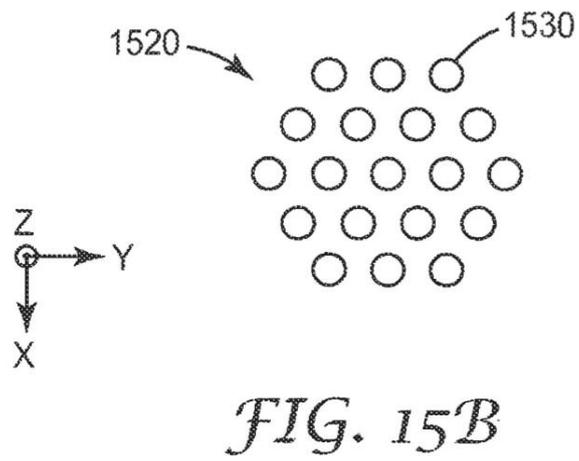
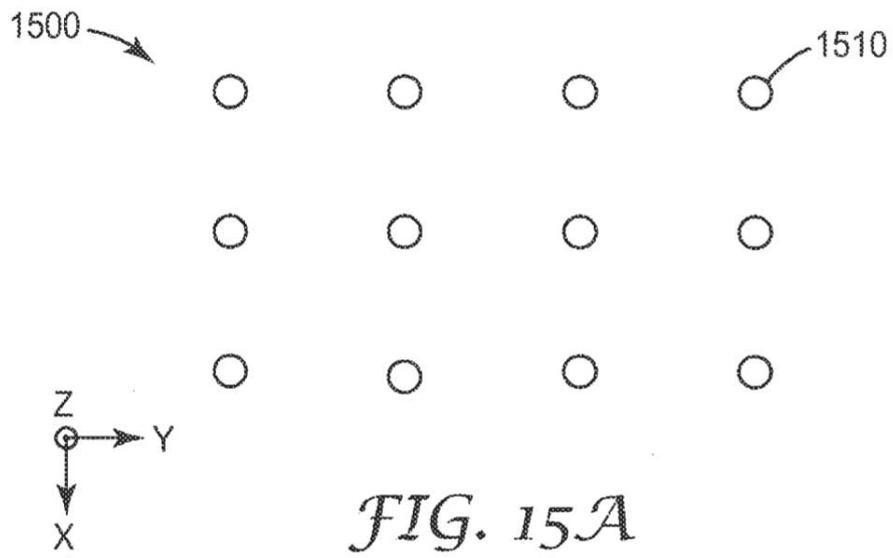


FIG. 14



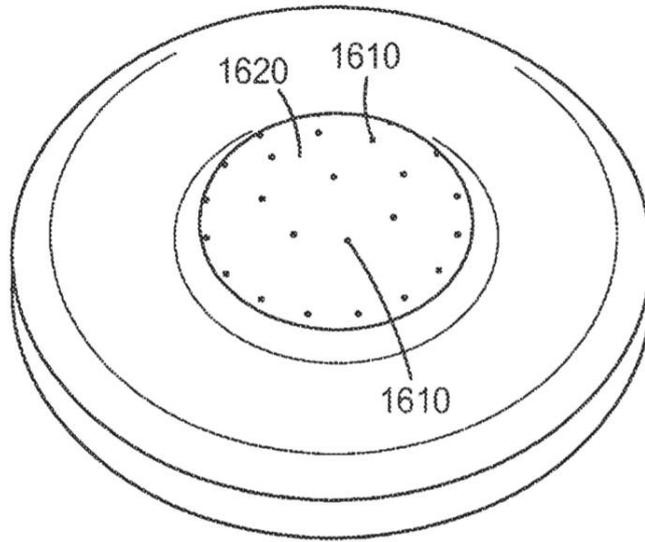


FIG. 16

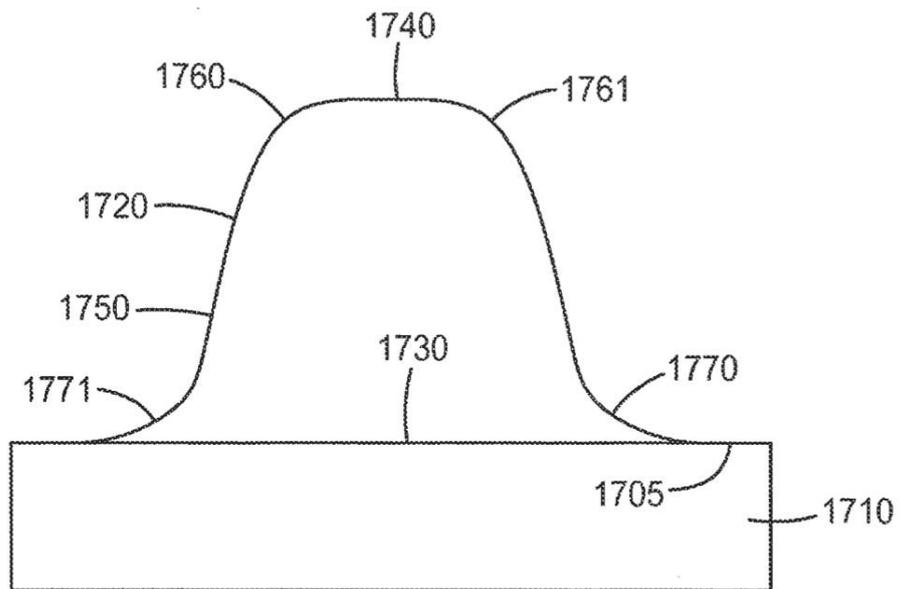


FIG. 17

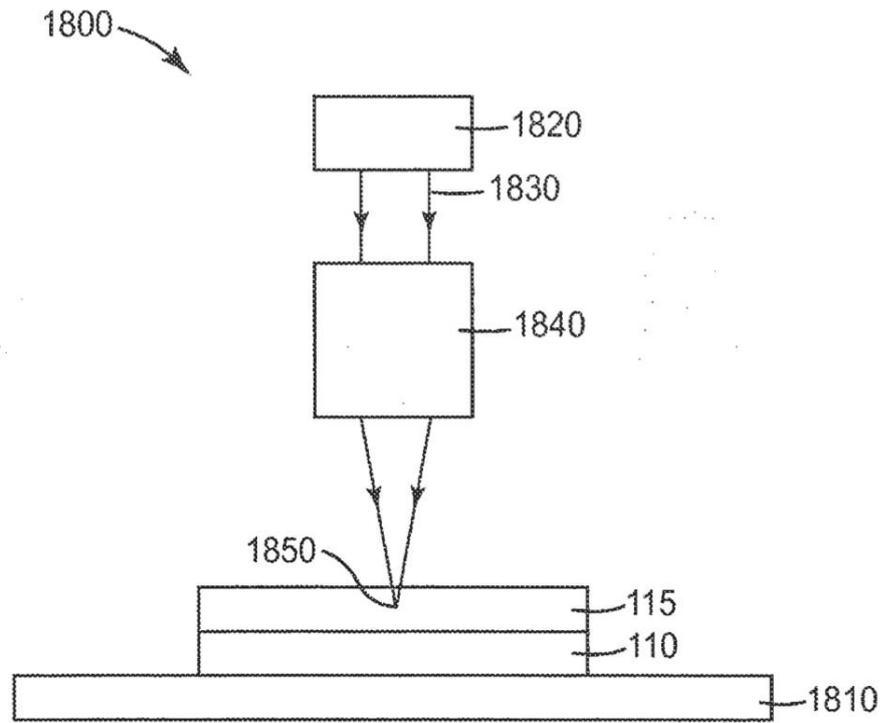


FIG. 18

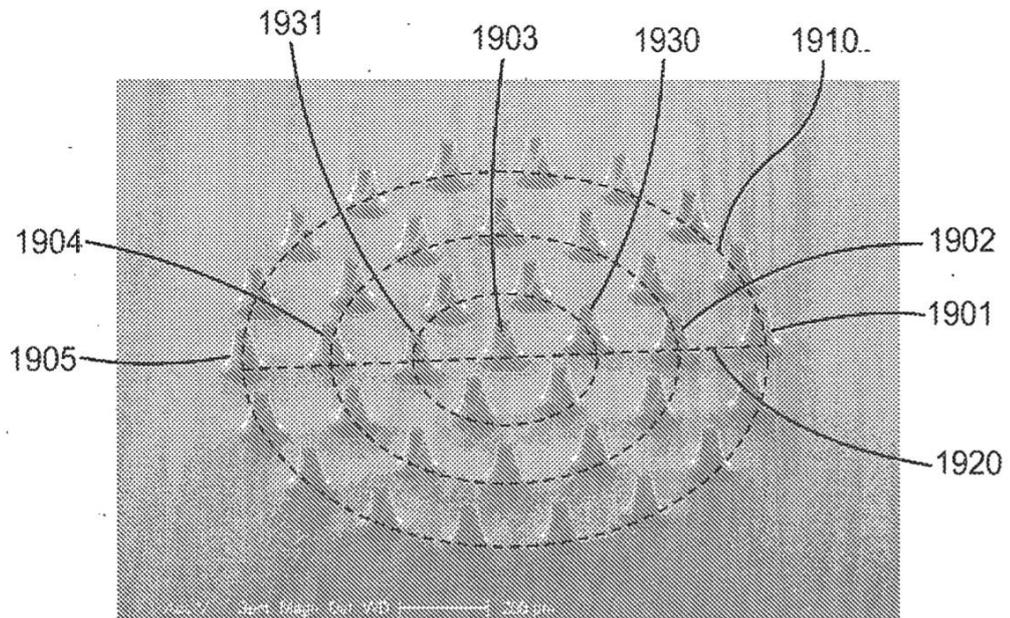


FIG. 19

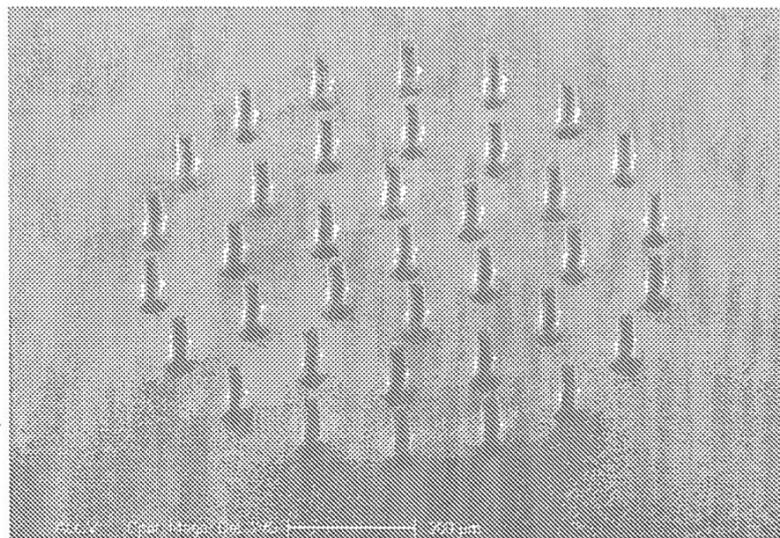


FIG. 20

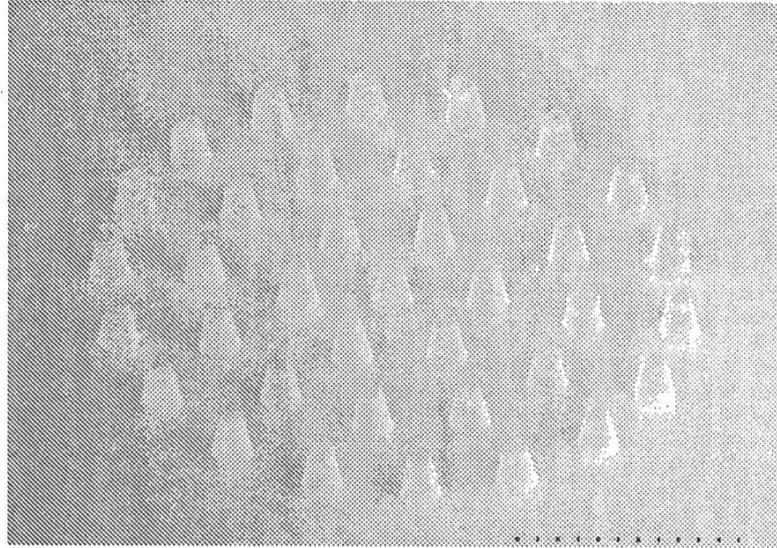


FIG. 21

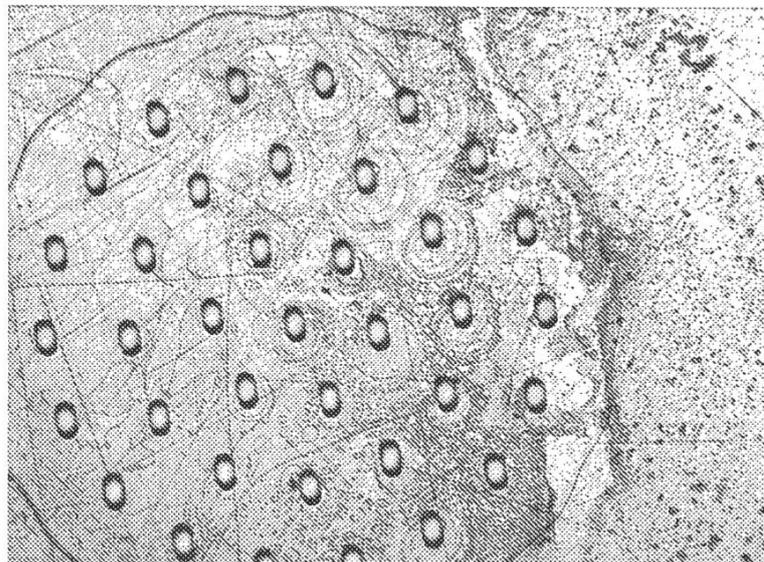


FIG. 22

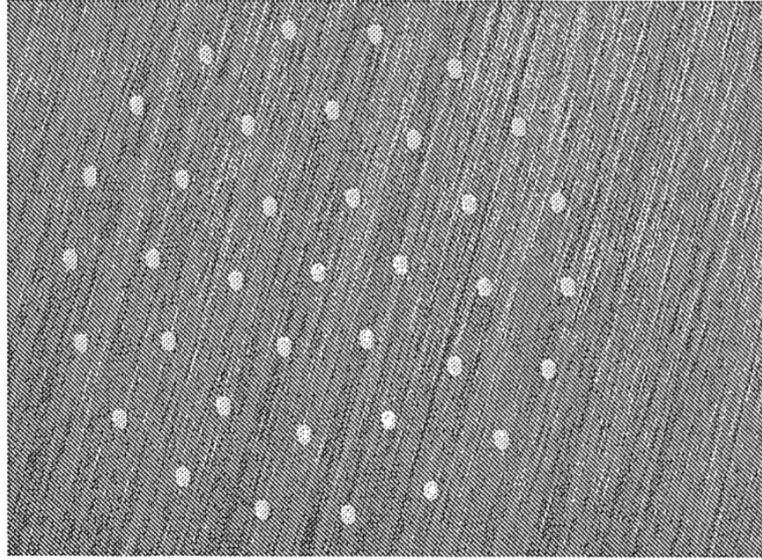


FIG. 23

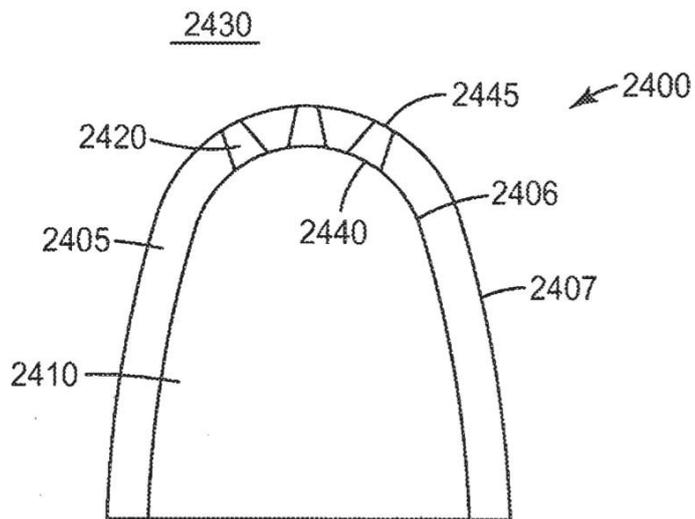


FIG. 24

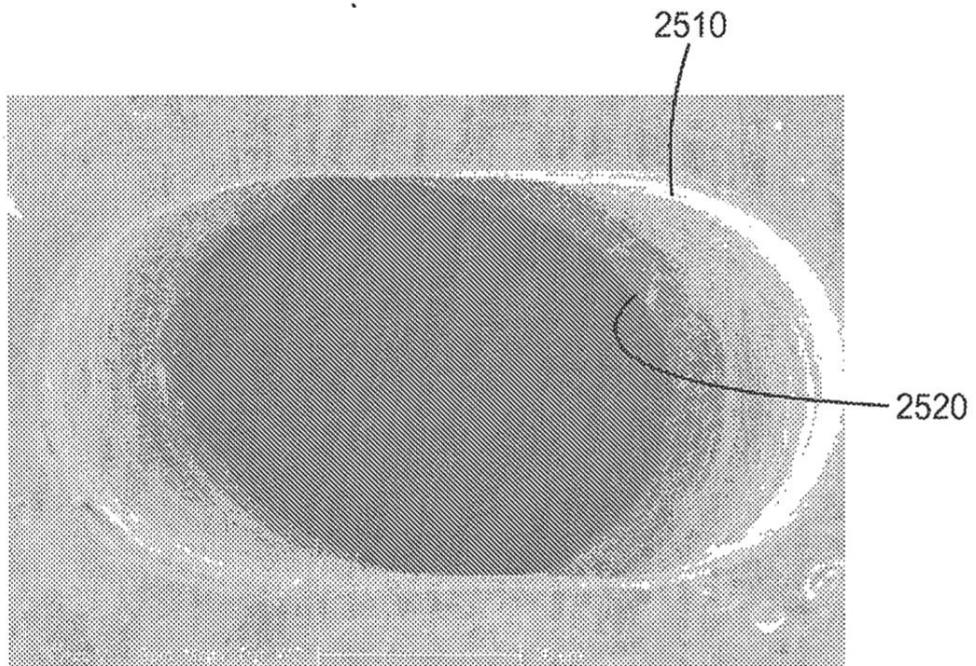


FIG. 25