

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 739 277**

51 Int. Cl.:

**H01L 39/02** (2006.01)

**H01L 39/24** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.03.2012 PCT/US2012/028168**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.09.2012 WO12128954**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.03.2012 E 12713433 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.06.2019 EP 2689477**

54 Título: **Atenuación de los efectos de defectos en hilos superconductores a alta temperatura**

30 Prioridad:

**21.03.2011 US 201161454811 P**

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

**30.01.2020**

73 Titular/es:

**AMERICAN SUPERCONDUCTOR CORPORATION  
(100.0%)  
64 Jackson Road  
Devens, MA 01432, US**

72 Inventor/es:

**VALCOUR III, HENRY C.;  
ANTAYA, PETER D.;  
GANNON, JOHN;  
PODTBURG, ERIC R.;  
ANANDAKUGAN, SUBRAMANIAM;  
CARTER, WILLIAM L.;  
CAI, HONG;  
TANNER, MICHAEL A.;  
CROTZER, DAVID;  
OTTO, ALEXANDER y  
KRAUSE, DANA**

74 Agente/Representante:

**SALVÀ FERRER, Joan**

ES 2 739 277 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

Atenuación de los efectos de defectos en hilos superconductores a alta temperatura

5 Campo de la descripción

**[0001]** Esta invención se refiere a la atenuación de los efectos de defectos en hilos superconductores a alta temperatura (HTS).

10 Antecedentes

**[0002]** Los superconductores a alta temperatura son materiales que, cuando se enfrían por debajo de una temperatura crítica, son capaces de transportar corrientes extremadamente grandes con pérdida extremadamente baja. La resistencia a la corriente que circula a través de tales materiales es extremadamente baja. En condiciones ideales, la resistencia a la corriente continua es cero y la resistencia a la corriente alterna es muy cercana a cero.

**[0003]** La introducción de defectos de material en el hilo HTS durante el procedimiento de fabricación del hilo HTS es un problema común. Se producen varios tipos de defectos diferentes, por ejemplo, fracturas, depresiones, u orientación cristalográfica incorrecta. El resultado de tales defectos es un aumento no deseable en la resistencia general del hilo HTS.

**[0004]** Actualmente, los defectos se eliminan del hilo HTS después de completarse el procedimiento de laminación. Por ejemplo, primero se corta una parte defectuosa del hilo HTS laminado, creando así una desconexión física en el hilo. Un "empalme externo" soluciona esta desconexión física superponiendo los extremos cortados del hilo HTS laminado y uniéndolos entre sí mediante, por ejemplo, un procedimiento de soldadura. Este procedimiento se describe en la publicación de solicitud de patente de EE.UU. N°. US2009/0298696A1 de Otto y col. Otros ejemplos de empalmes externos para hilos superconductores a alta temperatura pueden encontrarse en los documentos WO2008/118127 o US7071148.

**[0005]** Ejemplos de parches para secciones dañadas de hilos de cinta superconductores a alta temperatura se muestran en los documentos JP2009-187743 y EP2490275A1.

Resumen

**[0006]** La invención presenta un producto fabricado para conducir corriente. La fabricación incluye un primer segmento de hilo superconductor a alta temperatura, un parche y una estructura de laminación. El primer segmento de hilo superconductor a alta temperatura incluye un defecto. El parche incluye un segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura colocado para superponerse al defecto, y una capa de unión provista entre el primer segmento de hilo superconductor a alta temperatura y el segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura. La capa de unión establece un camino de modo que la corriente circula a través del segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura. La estructura de laminación rodea el primer segmento de hilo superconductor a alta temperatura y el parche.

**[0007]** Las realizaciones pueden incluir una o más de las siguientes características. El primer segmento de hilo superconductor a alta temperatura puede tener una primera resistencia, el segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura puede tener una segunda resistencia y el valor de la segunda resistencia puede ser menor que el valor de la primera resistencia. La capa de unión puede incluir soldadura de baja resistencia.

**[0008]** El defecto puede tener una primera longitud, el segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura puede tener una segunda longitud y la segunda longitud puede ser mayor que la primera longitud. El segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura puede abarcar la longitud del defecto. El defecto puede tener una primera longitud, el segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura puede tener una segunda longitud y la segunda longitud puede ser menor o igual que la primera longitud. La estructura de laminación puede estar en contacto eléctrico con el primer y el segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura. Además, el segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura puede formarse para tener una longitud mayor que la longitud de la porción de material que contiene el defecto. El segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura puede abarcar la porción de material que contiene el defecto. El segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura también puede formarse para tener una longitud menor o igual que la longitud de la porción de material defectuoso.

**[0009]** Las realizaciones pueden incluir una o más de las siguientes ventajas: Entre otras ventajas, abordar los defectos en el inserto HTS no requiere el corte de los hilos HTS laminados. Por lo tanto, no es necesaria la unión de hilos HTS laminados. Esto da lugar a una reducción de grosor en el hilo HTS en el área del defecto abordado. Tal reducción de grosor hace que el área del defecto abordado sea más flexible que el área de superposición creada usando técnicas de empalme externo convencionales. La rigidez impartida por las

estrategias de empalme externo convencionales puede ser problemática, ya que la fabricación y el uso del hilo HTS pueden someter al hilo a una cantidad significativa de flexión. Por ejemplo, al enrollar el hilo sobre una superficie cilíndrica, la rigidez en el área de superposición puede dar lugar a que el hilo no se ajuste a la forma deseada de la superficie cilíndrica en el área de superposición. La mayor deformación por flexión encontrada en los empalmes 5 externos más gruesos puede dañar el hilo HTS.

**[0010]** Los defectos en el inserto HTS se abordan antes de que se lamine el inserto HTS. Esto da lugar a un hilo HTS laminado continuamente, sin ningún borde agudo en el área del defecto.

10 **[0011]** Otras características y ventajas de la invención resultan evidentes a partir de la siguiente descripción y de las reivindicaciones.

Descripción de los dibujos

15 **[0012]**

La FIG. 1 muestra un hilo HTS laminado que incluye un defecto que se ha abordado mediante parcheo.

20 La FIG. 2 muestra una sección transversal longitudinal de un inserto HTS que incluye un defecto.

La FIG. 3 muestra el inserto HTS de la FIG. 1 con un parche de inserto HTS colocado sobre el defecto.

25 La FIG. 4 muestra una sección transversal longitudinal del inserto HTS y el parche de inserto HTS de la FIG. 3 unidos entre sí.

La FIG. 5 muestra el inserto HTS parcheado de la FIG. 4 con una capa laminada aplicada.

Descripción

30 **[0013]** Con referencia a la FIG. 1, una longitud de hilo superconductor a alta temperatura (HTS) laminado 100 incluye un inserto HTS (mostrado en las FIGS. 2-5) que es laminado con un material de laminación como se describe en secciones posteriores de esta descripción. El hilo HTS laminado 100 incluye un segmento 103 donde un defecto de material en el inserto HTS se ha abordado mediante un procedimiento de parcheo. El segmento parcheado 103 que resulta del procedimiento de parcheo tiene un grosor que es menor que el grosor del hilo que resulta de los 35 procedimientos de empalme externos.

**[0014]** La FIG. 2 muestra una sección transversal longitudinal de un inserto HTS primario 200 que incluye un defecto de material 202. El inserto HTS primario 200, que se extiende por toda la longitud del hilo HTS laminado 100, incluye una capa de sustrato 208, una capa tampón 206 y una capa superconductora 204. La capa superconductora 40 204 está hecha normalmente de un material cristalino tal como óxido de tierras raras/alcalinotérreo/metálico policristalino. Por ejemplo, el material puede ser óxido de itrio, bario y cobre (YBCO).

**[0015]** La capacidad de transporte de corriente de la capa superconductora 204 se basa en la calidad de la alineación cristalina del material superconductor. Se crea una capa superconductora altamente alineada 204 formando 45 primero la capa tampón 206 en la capa de sustrato 208 de modo que la superficie de la capa tampón tenga un alto grado de textura cristalográfica. Después se forma la capa superconductora 204 haciendo crecer una capa delgada de material superconductor epitaxialmente sobre la capa tampón 206. El alto grado de textura cristalográfica de la superficie de la capa tampón imparte un alto grado de alineación cristalina en la capa superconductora 204.

50 **[0016]** Los insertos HTS fabricados según el procedimiento descrito anteriormente se denominan comúnmente insertos HTS de segunda generación. Para una descripción más completa del procedimiento de fabricación y las propiedades de los insertos HTS de segunda generación, véase la publicación de solicitud de patente de EE.UU. N° US2009/0298696A1 de Otto y col.

55 **[0017]** Como se mencionó anteriormente, los defectos de material 202 se introducen inadvertidamente en los insertos HTS durante la formación de los insertos HTS y la fabricación de los hilos HTS. Algunos defectos de material comunes son defectos estructurales (por ejemplo, fracturas, depresiones, etc.) y defectos cristalográficos (por ejemplo, orientación cristalográfica deficiente en la capa superconductora 204). Las dimensiones físicas de los defectos de material 202 están limitadas solo por las dimensiones físicas del inserto HTS.

60 **[0018]** En las áreas del inserto HTS primario 200 que están libres de defectos, la corriente encuentra poca o ninguna resistencia a medida que circula a lo largo de la capa superconductora 204. Sin embargo, la presencia del defecto de material 202 imparte un aumento no deseable en la resistividad a la capa superconductora 204 en el área del defecto de material 202. Tal aumento en la resistividad puede dar lugar a una reducción no deseable en la corriente 65 transmitida por el hilo HTS 100.

**[0019]** Una estrategia para evitar tal reducción es rodear el defecto de material 202 en la capa superconductora 204 del inserto HTS primario 200 antes de que el inserto HTS primario 200 sea laminado y sin cortar el inserto HTS primario 200.

5

**[0020]** En la primera etapa del procedimiento, se detecta el defecto de material 202 en el inserto HTS primario 200. Por ejemplo, durante el procedimiento de fabricación del inserto HTS, se mide la resistencia de los segmentos del inserto HTS y los segmentos que tienen una resistencia mayor que un valor predeterminado se marcan como defectuosos.

10

**[0021]** La FIG. 3 muestra una sección transversal longitudinal de un inserto HTS primario 200 y un parche de inserto HTS 310. En este ejemplo, el procedimiento de detección de defectos anteriormente mencionado ha localizado el defecto de material 202 en el inserto HTS primario 200. La siguiente etapa implica crear el parche de inserto HTS 310 y colocar el parche de modo que se superponga al defecto de material 202.

15

**[0022]** En la presente realización, el parche de inserto HTS 310 está formado del mismo tipo de inserto HTS que el inserto HTS primario 200. El parche de inserto HTS 310 tiene una anchura que es igual a la anchura del inserto HTS primario 200 y una longitud que es mayor que la longitud  $L_d$  del defecto de material 202.

20

**[0023]** Después se coloca el parche de inserto HTS 310 de modo que se superponga al defecto de material 202. Puesto que los insertos HTS de segunda generación usados en la presente realización son asimétricos, el parche 310 se voltea de modo que su capa superconductora 312 esté opuesta a la capa superconductora 204 del inserto HTS primario 200. Esta orientación facilita la circulación de corriente a través de las dos capas superconductoras 204, 312.

25

**[0024]** Con referencia a la FIG. 4, se muestra una sección transversal longitudinal de una conexión eléctrica entre el inserto HTS primario 200 y el parche de inserto HTS 310. Un procedimiento de unión establece una conexión eléctrica entre la capa superconductora 204 del inserto HTS primario 200 y la capa superconductora 312 del parche de inserto HTS 310 de modo que la corriente puede circular libremente entre las dos capas. En la presente realización, el procedimiento de unión es un procedimiento de soldadura que deposita una capa de soldadura 414 sobre el parche de inserto HTS 310 y en el área entre el parche de inserto HTS 310 y el inserto HTS primario 200. La capa de soldadura 414 puede incluir cualquier material de soldadura de baja resistencia, por ejemplo, indio, Pb-Sn, o Pb-Sn-Ag.

30

**[0025]** El establecimiento de una conexión eléctrica entre la capa superconductora 312 del parche de inserto HTS 310 y la capa superconductora 204 del inserto HTS primario crea un camino conductor paralelo a un camino que contiene el defecto de material 202. Dependiendo de la resistencia relativa de los caminos así formados, la mayoría de la corriente que circula a través del inserto HTS primario 200 se desviará al parche de inserto HTS 310 en el área del defecto de material 202. Creando un camino superconductor alrededor del segmento del inserto HTS primario 200 que incluye el defecto de material 202, se atenúan los efectos resistivos del defecto de material 202 y las pérdidas de energía asociadas a ellos.

40

**[0026]** La FIG. 5 muestra una sección transversal longitudinal del hilo HTS acabado 500 que se crea depositando una capa laminada 516 sobre el inserto HTS primario parcheado 200. La capa de laminación 516 rodea el inserto HTS primario 200 y el segmento parcheado, incluyendo el parche de inserto HTS unido 310. En la presente realización, la capa de laminación 516 es un material conductor tal como acero inoxidable o latón. En caso de una avería en el hilo superconductor 500, la capa de laminación conductora 516 puede continuar transmitiendo energía.

45

#### Alternativas

**[0027]** En la descripción anterior, la longitud del parche de inserto HTS 310 era mayor que la longitud  $L_d$  del defecto de material 202. Sin embargo, en algunos ejemplos, la longitud del parche de inserto HTS 310 es igual o menor que la longitud  $L_d$  del defecto de material 202.

50

**[0028]** En la descripción anterior, el parche de inserto HTS 310 abarca la longitud del defecto de material 202. En otros ejemplos, el parche de inserto HTS 310 sólo puede cubrir parcialmente el defecto de material 202.

55

**[0029]** En la descripción anterior, el material de laminación es eléctricamente conductor. En otros ejemplos, el material de laminación es eléctricamente aislante.

**[0030]** En la descripción anterior, el procedimiento de parcheo de inserto HTS se lleva a cabo antes del procedimiento de laminación. En otros ejemplos, puede detectarse un defecto en un hilo ya laminado y el procedimiento puede implicar eliminar el material de laminación en el área del defecto, parchear el defecto, y después volver a laminar en el área del parche.

60

**[0031]** En la descripción anterior, el parche de inserto HTS 310 tiene una anchura que es igual a la anchura del defecto de material 202. En otros ejemplos, puede usarse un parche de inserto HTS 310 con una menor anchura.

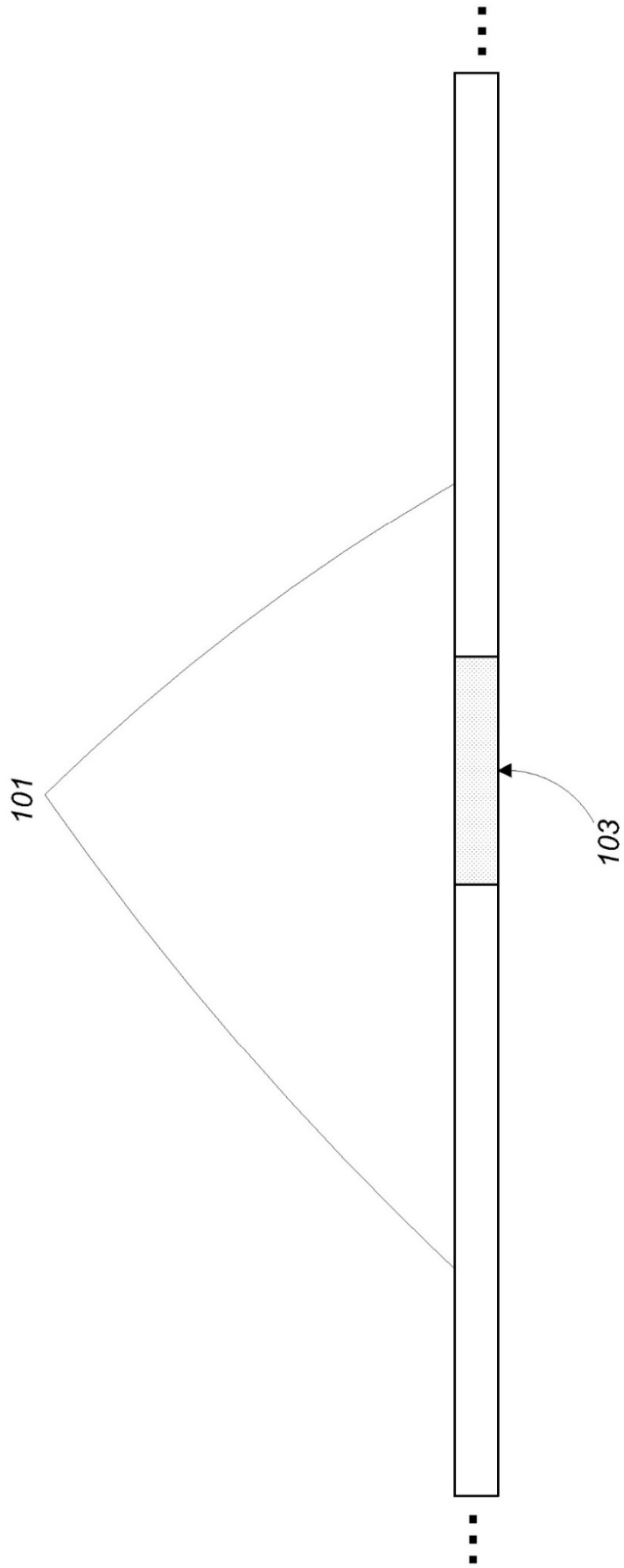
65

**[0032]** Ha de entenderse que la descripción anterior pretende ilustrar y no limitar el alcance de la invención, que está definido por el alcance de las reivindicaciones adjuntas. Otras realizaciones se sitúan dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

5

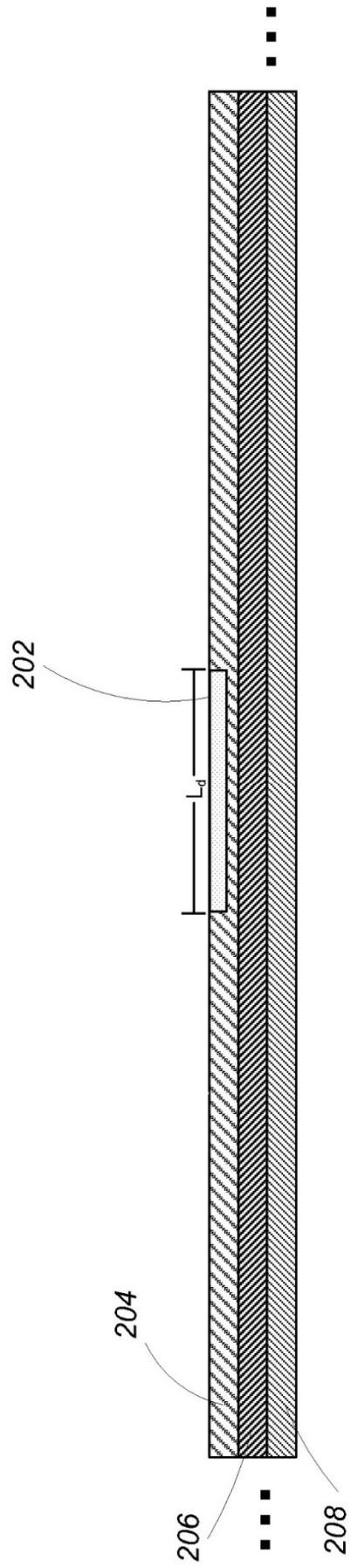
REIVINDICACIONES

1. Un producto fabricado para conducir corriente, comprendiendo el producto fabricado:
- 5 un primer segmento (103) de hilo superconductor a alta temperatura (100) que incluye un defecto (202); un parche (310) que incluye:
- 10 un segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura colocado para superponerse al defecto; una capa de unión (414) provista entre el primer segmento de hilo superconductor a alta temperatura y el segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura; en la que la capa de unión establece un camino de modo que la corriente circula a través del segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura; y
- 15 **caracterizado porque** incluye además una estructura de laminación que rodea el primer segmento de hilo superconductor a alta temperatura y el parche.
2. El producto fabricado según la reivindicación 1, en el que el primer segmento de hilo superconductor a alta temperatura tiene una primera resistencia, el segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura tiene una segunda resistencia y el valor de la segunda resistencia es menor que el valor de la primera resistencia.
- 20 3. El producto fabricado según la reivindicación 1, en el que la capa de unión incluye soldadura de baja resistencia.
4. El producto fabricado según la reivindicación 1, en el que el defecto tiene una primera longitud, el segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura tiene una segunda longitud y la segunda longitud es
- 25 mayor que la primera longitud.
5. El producto fabricado según la reivindicación 4, en el que el segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura abarca la longitud del defecto.
- 30 6. El producto fabricado según la reivindicación 1, en el que el defecto tiene una primera longitud, el segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura tiene una segunda longitud y la segunda longitud es menor o igual que la primera longitud.
7. El producto fabricado según la reivindicación 1, en el que la estructura de laminación está en contacto
- 35 eléctrico con el primer y el segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura.
8. El producto fabricado según la reivindicación 1, en el que el segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura se forma para tener una longitud mayor que la longitud de la porción de material que contiene el defecto.
- 40 9. El producto fabricado según la reivindicación 1, en el que el segundo segmento de hilo superconductor a alta temperatura abarca la porción de material que contiene el defecto.
10. El producto fabricado según la reivindicación 1, en el que el segundo segmento de hilo superconductor
- 45 a alta temperatura se forma para tener una longitud menor o igual que la longitud de la porción de material defectuoso.



100

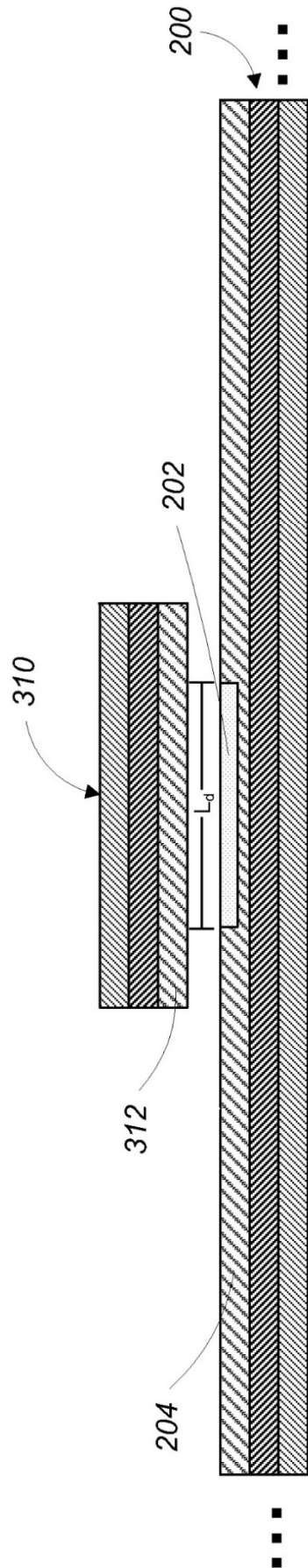
**FIG. 1**



200

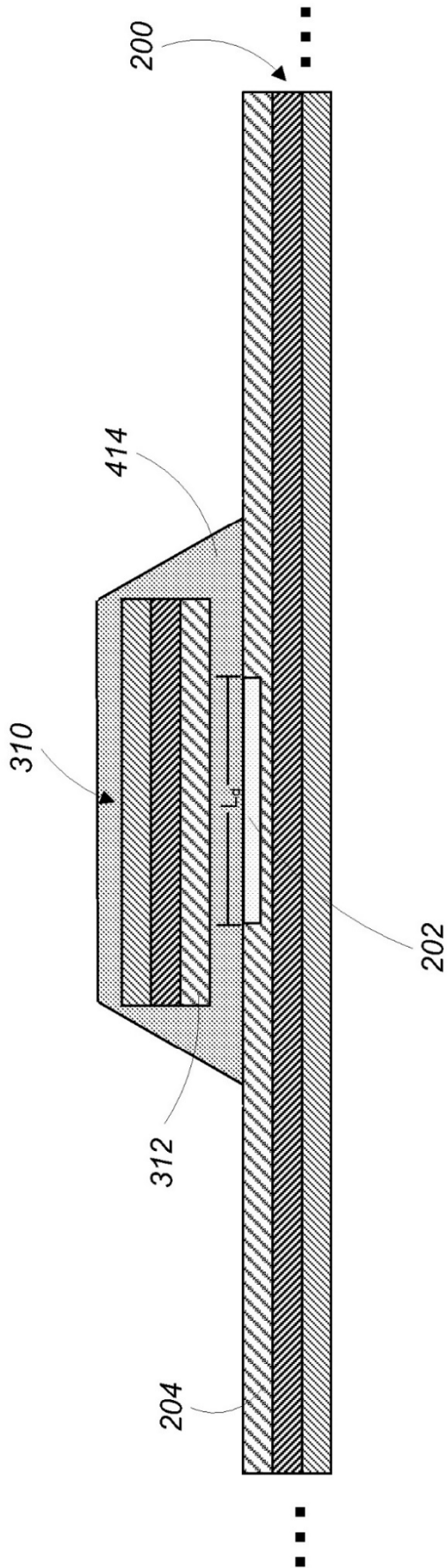
FIG. 2





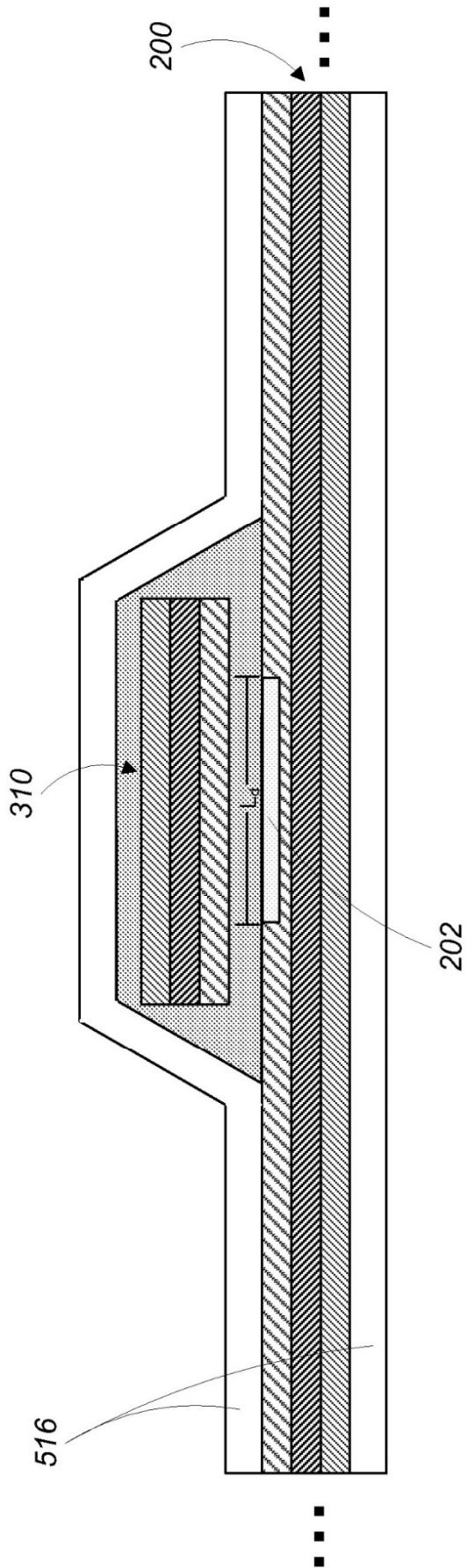
300

FIG. 3



400

FIG. 4



500

FIG. 5