

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 657 371**

51 Int. Cl.:

H05B 6/22 (2006.01)

C30B 13/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.05.2005 PCT/US2005/016458**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.12.2005 WO05117495**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.05.2005 E 05747594 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.10.2017 EP 1747701**

54 Título: **Horno de inducción para fundir materiales granulares**

30 Prioridad:
21.05.2004 US 851565

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.03.2018

73 Titular/es:
**AJAX TOCCO MAGNETHERMIC CORPORATION
(100.0%)
23000 EUCLID AVENUE
EUCLID OH 44117, US**

72 Inventor/es:
**TENZEK, ANTHONY M. y
LAZOR, DAVID A.**

74 Agente/Representante:
LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 657 371 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

Horno de inducción para fundir materiales granulares

5 **Antecedentes de la invención**1. Campo técnico

10 La invención se refiere al calentamiento por inducción y a un horno de inducción mejorado. Más particularmente, la invención se refiere a un horno de inducción para fundir materiales no susceptibles de calentamiento inductivo a temperaturas más bajas, pero que son susceptibles de calentamiento inductivo a temperaturas más altas, especialmente después de la fusión. Específicamente, la invención se refiere a un horno de inducción capaz de fundir de manera continua o intermitente tales materiales.

15 2. Información de antecedentes

Los hornos de inducción son bien conocidos en la técnica. Sin embargo, hay una variedad de dificultades relacionadas con el calentamiento inductivo y la fusión de materiales que inicialmente son no conductores o que tienen tamaños de partículas suficientemente pequeños para que no sean susceptibles de calentamiento inductivo. Muchos hornos de inducción de la técnica anterior utilizan un crisol conductor de modo que una bobina de inducción se acopla con el crisol para transferir energía directamente al crisol para calentar el crisol mediante el cual el calor se transfiere desde el crisol al material que se fundirá por conducción térmica. En ciertos casos, la frecuencia de inducción y el grosor de la pared del crisol se pueden seleccionar de modo que una porción del campo electromagnético de la bobina permita el acoplamiento con material eléctricamente conductor dentro del crisol para calentar inductivamente el material directamente. Sin embargo, el calentamiento inductivo directo en tales casos es bastante limitado. Debido a que el calentamiento inductivo directo del material a fundir es mucho más efectivo que el método descrito anteriormente, es altamente deseable un sistema para efectuar tal calentamiento inductivo directo.

Además, los crisoles conductores de la técnica anterior pueden reaccionar con el material a fundir que causa impurezas no deseadas en la masa fundida y, por lo tanto, requiere el uso de un revestimiento no reactivo dentro del crisol para evitar la formación de dichas impurezas. Típicamente, sin embargo, tales revestimientos son eléctricamente no conductores y térmicamente aislantes. Como resultado, la transferencia de calor desde el crisol a los materiales a fundir se ve impedida en gran medida y, por lo tanto, los tiempos de fusión aumentan sustancialmente. Para acelerar la transferencia de calor desde el crisol al material a fundir, el crisol debe calentarse a temperaturas indeseablemente altas que pueden disminuir la vida útil del crisol y del revestimiento.

Además, sigue existiendo la necesidad de un horno de inducción capaz de producir una masa fundida continua de una manera eficiente, especialmente para materiales semiconductores. Un horno de inducción de fusión continua eficiente es particularmente útil en relación con la formación continua de cristales semiconductores, que son muy valorados en la producción de chips informáticos.

La patente de EE.UU. 6.361.597 de Takase et al. enseña tres realizaciones de un horno de inducción especialmente destinadas a fundir materiales semiconductores y adaptadas para suministrar el material fundido a un crisol principal para extraer de él cristales semiconductores. A diferencia de la técnica anterior discutida anteriormente, Takase et al. utiliza un crisol de cuarzo que no es eléctricamente conductor junto con un susceptor que tiene la forma de un cilindro de carbono o grafito. En cada una de las tres realizaciones de Takase et al., el susceptor de cilindro de carbono o grafito se calienta inicialmente inductivamente mediante una bobina de alta frecuencia por lo que el calor se transfiere desde el susceptor a la materia prima dentro del crisol para comenzar el proceso de fusión. Una vez que la materia prima se funde, la bobina de alta frecuencia la calienta inductivamente directamente para acelerar el proceso de fusión. Si bien esto es una mejora sustancial con respecto a la técnica anterior previamente discutida, el horno de inducción de Takase et al. aún deja espacio para mejorar.

Las dos primeras realizaciones de Takase et al. implican el uso de un susceptor de cilindro de carbono que rodea el crisol de cuarzo y se puede mover en una dirección vertical. Esto proporciona un mecanismo mediante el cual el susceptor puede calentarse inductivamente y luego o bien puede moverse fuera del campo electromagnético de la bobina de inducción o moverse a una posición que es más ventajosa para calentar porciones seleccionadas del material dentro del crisol. Una desventaja de esta configuración es la necesidad de un mecanismo para mover el susceptor en una dirección vertical. La tercera realización de Takase et al. proporciona un susceptor que tiene una configuración de tipo crisol con una pared lateral cilíndrica del susceptor que cubre la pared lateral del crisol de cuarzo y un fondo del susceptor que cubre la pared inferior del crisol de cuarzo. El susceptor no se puede mover verticalmente en la tercera realización. En cambio, el grosor de la pared lateral del susceptor y la frecuencia aplicada por la bobina se seleccionan de modo que la profundidad de penetración de la corriente de inducción se extenderá más allá del susceptor hacia el crisol de cuarzo para que pueda calentar inductivamente el material en el interior. La tercera realización de Takase et al. principalmente sufre del hecho de que el susceptor cilíndrico permanece en su lugar y, por lo tanto, evita que el calentamiento inductivo se centre más efectivamente en la materia prima dentro del crisol. En cambio, la bobina continúa calentando inductivamente el cilindro de carbono de modo que la energía que

pueda aplicarse al material sea absorbida por el cilindro de carbono, que transfiere calor a la materia prima en el crisol de una manera mucho menos efectiva.

Además se conoce un proceso de fusión de zona flotante para purificar o refinar barras o cristales semiconductores. Más particularmente, cuando un cristal calentado inductivamente directamente es sacado por el calentador, una región estrecha del cristal se funde, por lo que está zona fundida se mueve con el cristal. En resumen, las impurezas se concentran en la zona fundida y se mueven a un extremo del cristal o lingote.

El documento DE 2637939 discute uno de los problemas con este método, por ejemplo descargas eléctricas o chispazos entre la bobina de inducción y la barra semiconductoras inductivamente directamente u otras partes del aparato. Era conocido conectar el generador HF o fuente eléctrica AC inmediatamente cuando tiene lugar un chispazo para evitar dañar la disposición. Sin embargo, esta práctica de la técnica anterior hacía la barra inservible. Se divulga desconectar automáticamente el suministro de energía de la bobina de calentamiento de inducción si tiene lugar un chispazo y después automáticamente reconectar el suministro de energía a la bobina de inducción.

Breve resumen de la invención

La presente invención proporciona un aparato para calentar un material, comprendiendo el aparato un miembro de inducción electromagnética; un miembro eléctricamente conductor selectivamente conmutable entre un circuito eléctrico cerrado y un circuito eléctrico abierto por el cual el miembro conductor es calentable inductivamente por el miembro de inducción a través del circuito eléctrico cerrado y por lo que cuando el miembro conductor forma el circuito eléctrico abierto, el calentamiento inductivo del miembro conductor por el miembro de inducción que ocurriría si el miembro conductor formara el circuito eléctrico cerrado se elimina; y el miembro conductor está adaptado para transferir calor al material. La presente invención también proporciona un método de calentamiento de material que comprende los pasos de: calentar inductivamente un miembro eléctricamente conductor con un miembro de inducción electromagnética cuando el miembro conductor está en un modo de circuito eléctrico cerrado; transferir calor desde el miembro conductor al material; y conmutar el miembro conductor a un modo de circuito abierto para evitar un calentamiento inductivo adicional del miembro conductor que ocurriría si el miembro conductor permaneciera en el modo de circuito cerrado.

La presente invención proporciona además un aparato para calentar un material, comprendiendo el aparato un miembro eléctricamente conductor selectivamente conmutable entre un modo de circuito eléctrico cerrado y un modo de circuito eléctrico abierto; siendo el miembro conductor resistivamente calentable cuando está en el modo de circuito cerrado y no siendo resistivamente calentable cuando está en el modo de circuito abierto; el miembro conductor está adaptado para transferir calor al material; y un miembro de inducción electromagnética adaptado para calentar inductivamente el material.

La presente invención también proporciona un método de calentamiento de material que comprende los pasos de calentamiento de un miembro eléctricamente conductor resistivamente cuando el miembro conductor está en un modo de circuito eléctrico cerrado; transferir calor desde el miembro conductor al material; calentar el material inductivamente con un miembro de inducción electromagnética; y conmutar el miembro conductor a un modo de circuito abierto para evitar el calentamiento inductivo del miembro conductor que ocurriría si el miembro conductor permaneciera en el modo de circuito cerrado.

La presente invención proporciona además un aparato que comprende un crisol que define una cavidad de fusión; un miembro de inducción electromagnética para calentar inductivamente el material fundido dentro de la cavidad de fusión; y una guía de flujo dispuesta dentro de la cavidad de fusión para dirigir el material fundido calentado inductivamente para que fluya hacia arriba dentro de la cavidad.

La presente invención también proporciona un aparato que comprende un crisol que define una cavidad de fusión y una abertura de salida; y una trampa que define un paso pasante que tiene un extremo de entrada que define una abertura en comunicación con la cavidad de fusión y un extremo de salida que define una abertura en comunicación con la abertura de salida del crisol para transportar material fundido desde la cavidad de fusión a la abertura de salida del crisol mediante el cual la presión relativa ejercida sobre el material fundido en el paso controla el flujo de material fundido a través de la abertura de salida.

Breve descripción de las diversas vistas de los dibujos

Las realizaciones preferidas de la invención, ilustrativas de los mejores modos en los que el solicitante contempla aplicar los principios, se exponen en la siguiente descripción y se muestran en los dibujos y se señalan y exponen de manera particular y distintiva en las reivindicaciones adjuntas.

La figura 1 es una vista en alzado lateral de una primera realización del horno de inducción de la presente invención en uso con un conjunto de precalentamiento y un aparato de formación de cristales.

La figura 2 es una vista en corte ampliada del horno de la figura 1 que muestra la primera realización en uso con el

conjunto de precalentamiento.

La figura 3 es una vista en corte fragmentaria ampliada del horno mostrado en la figura 2 que muestra el crisol vacío. La figura 4 es similar a la figura 3 pero muestra una carga inicial de materia prima en el crisol.

- 5 La figura 5 es similar a la figura 4 que contiene una porción fundida inicial de la materia prima.
- La figura 6 es similar a la figura 5 que muestra una etapa adicional de fusión.
- 10 La figura 7 es similar a la figura 6 que muestra todo el material dentro del crisol en un estado fundido.
- La figura 8 es una vista esquemática que muestra el campo electromagnético que actúa sobre la bobina de fusión.
- 15 La figura 9 es similar a la figura 8 que muestra el campo electromagnético que actúa sobre el material fundido dentro del crisol, y que muestra las fuerzas electromotrices que actúan sobre el material fundido y las corrientes dentro del material fundido.

20 La figura 10 es similar a la figura 2 que muestra una segunda realización del horno de inducción de la presente invención con un miembro generalmente en forma de cono dentro de la cavidad de fusión y un paso de trampa para controlar el flujo de material fundido desde el crisol.

La figura 11 es una vista en corte fragmentaria ampliada del horno mostrado en la figura 10 en la que el crisol está vacío.

25 La figura 12 es similar a la figura 11 que muestra una carga inicial de materia prima que entra en el crisol.

La figura 13 es similar a la figura 12 que muestra una porción fundida inicial de la materia prima.

30 La figura 14 es similar a la figura 13 que muestra una etapa adicional del proceso de fusión.

La figura 15 es similar a la figura 14 que muestra que todo el material en el crisol está fundido.

35 La figura 16 es similar a la figura 2 que muestra una tercera realización de la presente invención que incluye un disco de suscepter debajo del crisol.

La figura 17 es una vista en corte fragmentaria ampliada del horno mostrado en la figura 16 en la que el crisol está vacío.

40 La figura 18 es similar a la figura 17 que muestra una carga inicial de materia prima en el crisol.

La figura 19 es similar a la figura 18 que muestra una porción fundida inicial de la materia prima.

La figura 20 es similar a la figura 19 que muestra una etapa adicional de fusión.

45 La figura 21 es similar a la figura 20 que muestra todo el material en el crisol en estado fundido.

La figura 22 es similar a la figura 4 que muestra una cuarta realización del horno de inducción de la presente invención con la bobina/susceptor de fusión dispuestos dentro de la cavidad de fusión y un mecanismo de alimentación como el de la figura 12.

50 Números similares se refieren a partes similares en toda la memoria descriptiva.

Descripción detallada de la invención

55 El horno de inducción mejorado de la presente invención se muestra en cuatro realizaciones en las figuras, aunque se contemplan otras realizaciones, como es evidente para un experto en la técnica. Específicamente, la primera realización del horno de inducción se indica generalmente en 100, y se muestra en las figuras 1-3, la segunda realización se indica generalmente en 200, y se muestra en las figuras 8-9, la tercera realización se indica generalmente en 300, y se muestra en las figuras 16-17 y la cuarta realización se indica generalmente en 400, y se muestra en la figura 22.

60 Con referencia a la figura 1, el horno 100 está montado en un soporte 10 de apoyo a través de un brazo 12 de soporte que se extiende desde el mismo, aunque el horno 100 puede estar soportado por cualquier medio adecuado. El horno 100 está dispuesto encima y conectado a un aparato 16 de formación de cristales estándar que contiene una cámara interior 18 en la que está dispuesto un crisol receptor o artesa 20. Un alimentador 22 de carga situado encima del horno 100 está en comunicación con un orificio 24 de alimentación por lo que la materia prima

65

puede ser suministrada al horno 100. Como se muestra en las figuras 1-2, un suministro 26 de potencia está en comunicación eléctrica a través de los cables 28 con una bobina 102 de inducción de precalentamiento y una bobina 104 de inducción de fusión. El suministro 26 de potencia también puede estar en comunicación eléctrica a través de los cables 30 con una bobina 130 de fusión.

5 Con referencia a la figura 2, un recipiente 106 de calentamiento de pared doble define una cámara interior 108 que está dividida en una zona 110 de precalentamiento y una zona 112 de fusión a continuación. Un conjunto 114 de precalentamiento está dispuesto dentro de la zona 110 de precalentamiento e incluye un susceptor cilíndrico 116
10 dispuesto dentro de la bobina 102 de inducción de precalentamiento y un tubo 118 de precalentamiento dispuesto dentro del susceptor 116 y estrechamente adyacente o en contacto con el susceptor 116. El tubo 118 de precalentamiento define una cámara interior 120 para recibir materia prima 122 del orificio 24 de alimentación para precalentar la materia prima. Un mecanismo 124 de alimentación incluye un brazo 126 de control con una válvula 128 en el extremo terminal del mismo. La válvula 128 se asienta selectivamente en la abertura 129 de salida formada en el extremo inferior del tubo 118 de precalentamiento. El horno 100 define además una zona inactiva 131
15 debajo del conjunto 114 de precalentamiento, como se detalla adicionalmente a continuación.

De acuerdo con una de las características principales de la presente invención y con referencia a las figuras 2-3, la bobina 130 de fusión sustancialmente cilíndrica, que actúa como un susceptor, está dispuesta dentro de la bobina 104 de inducción de fusión y es conmutable entre un modo de circuito eléctrico cerrado y un modo de circuito
20 eléctrico abierto a través del interruptor 132. Un crisol 134 de fusión está dispuesto dentro de la bobina 130 de fusión y, en combinación con la bobina 104 de inducción de fusión y la bobina 130 de fusión, forma un conjunto 136 de fusión. La bobina 130 de fusión puede proporcionar soporte lateral para el crisol 134.

El crisol 134 de fusión incluye una pared lateral sustancialmente cilíndrica 138 que se extiende hacia arriba desde una pared inferior sustancialmente plana 140 que define una abertura 142 de salida a través de la cual se controla el
25 flujo de material fundido mediante cualquier mecanismo adecuado conocido en la técnica. El crisol 134 de fusión define una cavidad 146 de fusión en comunicación con la abertura 142 de salida de la pared 140 inferior, así como la abertura 129 de salida del tubo 118. Además, un orificio 148 de mira láser está en comunicación visual con la cavidad 146 de fusión.

30 En funcionamiento, y con referencia a las figuras 1-7, el horno 100 funciona de la siguiente manera. Con referencia a las figuras 1-3, la materia prima 122 es alimentado a través del alimentador 22 de carga al orificio 24 de alimentación y posteriormente a la cámara interior 120 del tubo 118 de precalentamiento. La válvula 128 (un ángulo de la válvula de reposo) está inicialmente en una posición cerrada (figura 3) para evitar que la materia prima 122 pase a través
35 del agujero 129 de salida. El suministro 26 de potencia se hace funcionar entonces para proporcionar energía eléctrica a través de los cables 28 para precalentar la bobina 102 de inducción. La bobina 102 de inducción produce así un campo electromagnético de modo que la bobina 102 se acopla con el susceptor 116 para calentar indistintamente el susceptor 116. A su vez, el susceptor 116 transfiere calor a la materia prima 122 a través del tubo 118 de precalentamiento por conducción y radiación. La materia prima 122 se calienta así hasta un punto por debajo
40 de la temperatura de fusión del material antes de cargar el crisol 134. La materia prima 122 es típicamente granular, en polvo o de otra forma en partículas. Una vez que el material 122 se calienta suficientemente, el mecanismo 124 de alimentación se hace funcionar para abrir la válvula 128 por lo que se libera una porción del material 122 en la cavidad 146 de fusión del crisol 134, como se muestra en la figura 4. El mecanismo 124 de alimentación está configurado para controlar la velocidad a la que el material 122 cae en la cavidad 146 de fusión.

45 De acuerdo con otra característica de la invención y con referencia a la figura 5, el suministro 26 de potencia proporciona energía eléctrica a la bobina 104 de inducción de fusión que crea un campo electromagnético de modo que la bobina 104 de inducción se acopla con la bobina 130 de fusión para calentar inductivamente la bobina 130 de fusión. El calentamiento inductivo de la bobina 130 de fusión se produce cuando el interruptor 132 está cerrado y la
50 bobina 130 de fusión forma así un circuito eléctrico cerrado por lo que la bobina 130 de fusión se hace funcionar inicialmente en un modo de circuito eléctrico cerrado. Una vez calentada inductivamente, la bobina 130 de fusión transfiere calor a la materia prima 122 en la cavidad 146 de fusión del crisol 134 predominantemente a través de la pared lateral 138 del crisol 134. Como se muestra en la figura 5, una porción inicial de materia prima 122 se ha fundido, la porción fundida está indicada en 150. Durante este proceso de fusión inicial, se ha encontrado que tiene
55 una porción 152 de la bobina 130 de fusión dispuesta por encima de la carga del material 122 en la cavidad 146 de fusión (es decir, el material 122 que descansa dentro del crisol 134 en oposición al material 122 en un estado de caída desde el tubo 118 de precalentamiento) aumenta sustancialmente la velocidad de fusión inicial. Esto es debido al calor de radiación dentro de la cavidad 146 de fusión por encima de la carga del material 122 procedente de la porción 152 de la bobina 130 de fusión, que compensa la pérdida de calor de radiación de dicha carga del material 122, de modo que dicha carga se calienta más rápidamente. Una vez que se ha fundido una porción suficiente del
60 material 122 por el calor transferido desde la bobina 130 de fusión, la porción fundida 150 se vuelve susceptible al calentamiento inductivo por la bobina 104 de inducción. Debido a que la bobina 130 de fusión se está calentando a través de la pared lateral 138, el material fundido 150 incluirá una porción cilíndrica que fluye hacia abajo para formar una porción de piscina. La porción cilíndrica a lo largo de la pared lateral 138 proporciona un área superficial mayor de material susceptible en comparación con la porción de piscina, de modo que el calentamiento inductivo
65 directo del material 150 se mejora de ese modo (figuras 5-6).

Otra característica de la presente invención es calentar la bobina 130 de fusión resistivamente, ya sea en combinación con el calentamiento inductivo o como la única fuente de calentamiento de la bobina 130 de fusión. Para hacer esto, el suministro 26 de potencia proporciona energía eléctrica a la bobina 130 de fusión a través de los cables 30, mientras que la bobina 130 de fusión forma un circuito eléctrico cerrado. Si se utiliza solo o en combinación con el calentamiento inductivo de la bobina 130 de fusión, el calentamiento del material 122 se continúa de ese modo hasta que una porción del material 122 se vuelva susceptible al calentamiento inductivo.

De acuerdo con otra característica de la presente invención, una vez que la porción 150 se vuelve susceptible al calentamiento inductivo, el interruptor 132 se abre de modo que la bobina 130 de fusión se encuentre en un circuito eléctrico abierto por lo que predominantemente se elimina el calentamiento inductivo de la bobina 130 de fusión por la bobina 104 de inducción. Más particularmente, cuando la bobina 130 de fusión está en el modo de circuito eléctrico abierto o forma un circuito eléctrico abierto, se elimina el calentamiento inductivo de la bobina 130 de fusión por la bobina 104 de inducción que ocurriría si la bobina 130 de fusión estuviera en el modo de circuito eléctrico cerrado. Si la bobina 130 de fusión se calienta únicamente por resistencia o por resistencia en combinación con calentamiento inductivo por la bobina 104 de inducción, la apertura del circuito cerrado de la bobina 130 de fusión también finaliza el calentamiento por resistencia. De este modo, con la bobina 130 de fusión en un modo de circuito eléctrico abierto, la bobina 130 de fusión ha "desaparecido" en gran medida a la bobina 104 de inducción, absorbiendo muy poca energía adicional del campo electromagnético producido por la bobina 104 de inducción, como se explica más adelante. En cambio, la bobina 104 de inducción se acopla con el material fundido susceptible 150 para calentar directamente inductivamente la porción fundida 150. Este calentamiento inductivo directo del material susceptible 150 permite que el calor se transfiera de la porción fundida 150 a la materia prima sólida 122 para continuar fundiendo el material, por lo que el material fundido adicional también se vuelve susceptible al calentamiento inductivo. La "desaparición" de la bobina 130 de fusión del calentamiento inductivo disminuye el calor impartido al crisol 134, que tiende a prolongar la vida útil del crisol 134.

La figura 5 también muestra la adición continua de materia prima 122 después de que ha comenzado la fusión. El horno 100 está configurado para agregar materia prima 122 según se desee. A menudo es deseable añadir de forma continua o intermitente materia prima 122 a lo largo del proceso de fusión para proporcionar la fusión y transferencia continua o intermitente del material fundido 150 fuera del crisol 134. Sin embargo, la materia prima 122 puede simplemente añadirse en forma de lote y fundirse en su totalidad sin más adiciones.

La figura 6 muestra una etapa adicional de fusión con el interruptor 132 en la posición abierta por lo que la bobina 130 de fusión ha "desaparecido" a la bobina 104, como se indicó anteriormente. La fusión de la materia prima 122 procede por calentamiento inductivo directo del material fundido 150 hasta que todo el material dentro de la cavidad 146 de fusión se funde, como se muestra en la figura 7. El interruptor 132 permanece en la posición abierta, ya que el calentamiento inductivo de la bobina 130 de fusión no es necesario o deseado después de que la porción fundida inicial 150 se puede calentar directamente por inducción. A continuación, puede añadirse materia prima 122 al material completamente fundido, como se muestra en la figura 2. El material fundido puede luego liberarse a través de la abertura 142 de salida para hacer espacio para que la materia prima adicional entre en la cavidad 146 de fusión de manera que el horno 100, como se indicó anteriormente, sea capaz de fundir de forma continua o intermitente. Como se indicó previamente, cuando el horno 100 de inducción se utiliza con materiales semiconductores, el material semiconductor fundido se puede transferir de forma intermitente o continua en la artesa 120 a partir de la cual se pueden procesar materiales semiconductores o se pueden extraer cristales.

Otra característica de la invención es la zona inactiva 131 (figura 2), que está dispuesta debajo del conjunto 114 de precalentamiento y proporciona suficiente espacio para evitar la obstrucción del flujo del material 122 en partículas del conjunto 114 de precalentamiento al material fundido 150 dentro de la cavidad 146 de fusión. Pueden surgir varios problemas en ausencia de la zona inactiva 131, tres de los cuales se especifican: adherencia, fusión prematura y absorción. Cada uno de estos problemas se refiere a la distancia entre el extremo inferior del conjunto 114 de precalentamiento (como en la abertura 129 de salida del tubo 118 de precalentamiento) y una fuente de calor a continuación. Típicamente, la fuente de este calor es el material fundido 150 dentro de la cavidad 146 de fusión calentada por la bobina 104 de inducción. Los primeros dos de estos problemas, adherencia y fusión prematura, se deben al sobrecalentamiento del material 122 justo antes de salir del conjunto 114 de precalentamiento como resultado del calor creado dentro de la zona 112 de fusión y que irradia dentro de la cavidad 146 de fusión hacia el conjunto 114 de precalentamiento.

La adherencia es cuando el material 122 se vuelve suficientemente caliente (a una temperatura de subfusión) para hacer que las partículas del material 122 se adhieran entre sí y para precalentar el conjunto 114, obstruyendo así el flujo del material 122 desde el conjunto 114 de precalentamiento. La fusión prematura es esencialmente una etapa avanzada de adherencia, con lo que el material 122 se funde antes de salir del conjunto 114 de precalentamiento. El material fundido resultante se adhiere entonces al conjunto 114 de precalentamiento y obstruye de manera similar el flujo del material 122 desde allí si el material permanece fundido o se congela en el conjunto 114 de precalentamiento. Por lo tanto, la adherencia y la fusión prematura implican que ambas partículas del material 122 se adhieran al conjunto 114 de precalentamiento. La fusión prematura hace que la corrección del problema sea más difícil debido a que el material fundido finalmente se congela y se une con mayor tenacidad para precalentar el

conjunto 114 que en el caso de "adherencia", en el que las partículas no se funden.

El tercer problema, la absorción, se refiere principalmente a la distancia entre el conjunto 114 de precalentamiento y una superficie superior 154 de material fundido 150 dentro de la cavidad 146 de fusión. La absorción es cuando una porción de material fundido 150 dentro de la cavidad 146 de fusión es absorbida hacia arriba dentro de espacios intersticiales entre partículas del material 122 a través de acción capilar. Cuando se produce la absorción, suficiente calor de dicha porción de material fundido 150 es absorbido por el material en partículas 122, de modo que dicha porción se congela y forma un puente entre el material fundido 150 en la cavidad 146 de fusión y el conjunto 114 de precalentamiento, obstruyendo así el flujo del material 122 del conjunto 114 de precalentamiento. La zona inactiva 131 tiene un tamaño suficiente para evitar la obstrucción del flujo del material 122 con respecto a cada uno de estos tres problemas.

La figura 8 muestra el campo electromagnético producido por la bobina 104 de inducción y muestra cómo el campo electromagnético enfoca la energía en el susceptor 116 cuando el interruptor 132 está cerrado. Mientras que la figura 8 muestra la materia prima que cae en el crisol 134, existe el mismo patrón de campo electromagnético independientemente de si el crisol está lleno o sin llenar de materia prima 122 antes del momento en que el material 122 se vuelve susceptible al calentamiento inductivo. Por el contrario, la figura 9 muestra el campo electromagnético después de que la materia prima 122 se haya fundido para formar el material fundido 150 y cuando el interruptor 132 esté abierto, por lo que el campo electromagnético concentra energía en la porción fundida 150 del material dentro del crisol 134. Debido a la naturaleza de "desaparición" de la bobina 130 de fusión, la energía absorbida por la bobina 130 de fusión en el modo de circuito cerrado se desplaza en gran medida al material fundido susceptible en el crisol 134 cuando la bobina 130 de fusión está en el modo de circuito abierto.

Así, de la energía total absorbida por la bobina 130 de fusión y el material susceptible dentro del crisol 134, la gran mayoría de la energía está siendo absorbida por la bobina 130 de fusión en el modo de circuito cerrado y la gran mayoría de la energía está siendo absorbida por el material susceptible cuando la bobina 130 de fusión está en el modo de circuito abierto. Típicamente, la "gran mayoría" de la energía absorbida por la bobina 130 de fusión en el modo de circuito cerrado es fácilmente 85 por ciento o más y a menudo es 90 ó 95 por ciento o más. De forma similar, la "gran mayoría" de la energía que absorbe el material susceptible cuando la bobina 130 de fusión está en el modo de circuito abierto es fácilmente 85 por ciento o más y a menudo es 90 ó 95 por ciento o más. Donde la bobina de fusión o susceptor está configurada apropiadamente, dicho porcentaje de la energía absorbida por la bobina de fusión en el modo de circuito cerrado puede ser de 99 por ciento o más y dicho porcentaje de la energía que es absorbido por el material susceptible cuando la bobina de fusión está en el modo de circuito abierto puede ser del 99 por ciento o más.

Como es sabido en la técnica y con referencia continua a la figura 9, la corriente eléctrica que fluye a través de la bobina 104 de inducción crea fuerzas electromotrices como indican las flechas A, que hacen que el material fundido 150 fluya en la dirección mostrada por las flechas B, que muestran un patrón de flujo de corriente conocido como flujo de "cuadratura". Este flujo de corriente dentro del material fundido hace que el material fundido tenga un menisco positivo y crea un flujo a lo largo de la superficie que ayuda a atraer la materia prima 122 hacia la masa fundida. Esto es particularmente útil con partículas de pequeño tamaño que de lo contrario tienden a asentarse sobre el material fundido debido a la tensión superficial del mismo. Sin embargo, la capacidad de flujo en cuadratura para atraer la materia prima 122 a la masa fundida tiene todavía limitaciones y alimentar el material 122 en polvo u otras partículas demasiado rápido en la cavidad de fusión puede dar como resultado una cúpula de material no fundido conocido como "puente" sobre el material fundido. Esto puede provocar el sobrecalentamiento del baño fundido, lo que lleva a un desgaste excesivo del material refractario y posiblemente a la fusión del crisol. Como muestran las flechas B en la figura 9, en los cuadrantes superiores, las corrientes fluyen hacia arriba en la región central y hacia abajo en la región exterior a lo largo de la pared lateral 138 del crisol 134. Las corrientes en los cuadrantes inferiores generalmente fluyen hacia abajo en la región central y hacia arriba en la región exterior adyacente a la pared 138, y por lo tanto tienen un patrón que es esencialmente el opuesto a los cuadrantes superiores.

En resumen, el horno 100 de inducción proporciona un medio altamente eficiente, a través de la bobina de fusión "que desaparece", de calentar inductivamente materiales semiconductores y otros materiales en forma de partículas que inicialmente no son susceptibles de calentamiento inductivo pero que son susceptibles de calentamiento inductivo a temperaturas más altas o después de fundirse.

El horno 200 de inducción se describe ahora con referencia a las figuras 10-11. El horno 200 es similar al horno 100, excepto que el crisol de fusión tiene una configuración diferente y el horno 200 incluye un miembro generalmente en forma de cono 214 dentro del crisol y un paso 218 de trampa, cada uno de los cuales se describe adicionalmente a continuación. El miembro en forma de cono 214 altera el patrón de flujo de las corrientes dentro del material fundido en los crisoles. El paso 218 de trampa sirve para controlar el flujo de material fundido fuera del crisol a través de diferenciales de presión en cualquier lado del material fundido dentro del paso 218.

El horno 200 de inducción incluye un crisol 202 que tiene una pared lateral sustancialmente cilíndrica 204 que se extiende hacia arriba desde una pared inferior 206. El crisol 202 incluye una cavidad 203 de fusión, que está en

comunicación con una fuente 205 de control de presión (figura 14) para ajustar la presión atmosférica dentro de la cavidad 203 de fusión. Con referencia a la figura 11, la pared inferior 206 incluye una porción generalmente con forma de cono 208 que se ahúsa hacia arriba y hacia dentro desde una porción anular 210 sustancialmente plana hasta una abertura 212 de salida formada en la porción en forma de cono 208 de la pared inferior 206. La abertura
 5 212 de salida está en comunicación con un paso 213 de transferencia, que está en comunicación con una fuente 215 de control de presión (figura 14) para ajustar la presión atmosférica dentro del paso 213:

De acuerdo con otra de las características principales de la invención y con referencia continua a las figuras 10-11, una guía de flujo en forma de miembro sustancialmente en forma de cono 214 está asentada dentro del crisol 202 y montada en su pared inferior 206. El miembro en forma de cono 214 se ahúsa hacia arriba y hacia dentro desde la pared inferior adyacente 206 y la pared lateral 204 en un vértice 216 (figura 11) ubicado centralmente dentro de la cavidad de fusión del crisol 202. El miembro en forma de cono 214 tiene una superficie exterior 209 que es radialmente simétrica alrededor de un eje central vertical 211 (figura 11). Preferiblemente, el miembro en forma de cono 214 se extiende a una altura por encima del nivel al que se elevará el material fundido dentro de la cavidad 203 de fusión del crisol 202.
 10
 15

Otra característica de la invención (figura 11) es una trampa 217 que define un paso 218 formado generalmente por encima de la porción en forma de cono 208 de la pared inferior 206 y generalmente por debajo del miembro en forma de cono 214. El paso 218 de trampa puede formarse entre la pared inferior 206 y el miembro en forma de cono 214 cuando el miembro 214 está montado sobre el mismo. Alternativamente, el paso 218 puede formarse dentro de la pared inferior 208 o dentro del miembro en forma de cono 214. El paso 218 de trampa tiene un extremo 220 de entrada inferior que define una abertura 227 en comunicación con la cavidad 203 de fusión del crisol 202 y un extremo 222 de salida superior que define una abertura 229 en comunicación con la abertura 212 de salida. El paso 218 tiene una cresta 219 y un nadir 221, extendiéndose cada uno a lo largo del paso 218. La cresta 219 tiene un punto más bajo 223 en el extremo 220 de entrada inferior. El nadir 221 incluye varios puntos, incluido el punto 225 en el extremo 222 de salida, que son más altos que el punto más bajo 223 de la cresta 219. El punto más bajo 223 de la cresta 221 está en el extremo 220 de entrada. Más ampliamente, sin embargo, el punto más bajo de la cresta de un paso de trampa que funcionará como se describió más adelante, puede estar en cualquier lugar a lo largo del paso de trampa siempre que el nadir del paso tenga un punto más alto que el punto más bajo de la cresta y que esté situado entre el punto más bajo de la cresta y el extremo de salida del paso.
 20
 25
 30

Sin embargo, dicho paso de trampa describe solo una categoría de pasos de trampa. El paso también puede, por ejemplo, ser vertical en su totalidad de modo que no exista cresta o nadir que se extienda a lo largo del paso. Para tal paso vertical, la abertura del extremo de salida sería más alta que la abertura del extremo de entrada, y más particularmente, el punto más bajo de la abertura del extremo de salida del paso sería mayor que el punto más superior de la abertura del extremo de entrada. Existen otras variaciones, tales como ciertos pasos que tienen una porción con paredes verticales y otra porción que está inclinada, que pueden no caer dentro de ninguna de las dos categorías señaladas. Tales variaciones están dentro del alcance de la presente invención y pueden ser fácilmente discernidas por un experto en la técnica.
 35
 40

Además, con referencia a la figura 10, el horno 200 incluye un mecanismo 224 de alimentación similar al mecanismo 124 de alimentación excepto por una válvula 226 que es distinta de la válvula 128. La válvula 226 es un miembro en forma de disco sustancialmente plano. El horno 200 también incluye un tubo 228 de precalentamiento que es similar al tubo 118 del horno 100, excepto que encuentra una pluralidad de aberturas 230 de salida situadas en forma anular para alinear la materia prima 122 para caer generalmente entre los miembros en forma de cono 214 y la pared lateral 204 del crisol 202.
 45

Como se muestra en las figuras 10-15, el horno 200 funciona de la siguiente manera. Similar al horno 100, la materia prima 122 en forma granular, en polvo u otras partículas pequeñas, se alimenta a través del orificio 24 de alimentación a la cámara interior del tubo 228 de precalentamiento y se precalienta como se discutió previamente. El flujo de la materia prima 122 en la cavidad 203 de fusión del crisol 202 se controla mediante el mecanismo 224 de alimentación por lo que la válvula 226 se mueve verticalmente entre una posición abierta para permitir que el material fluya a través de las aberturas 230 de salida y una posición cerrada para cerrar las aberturas 230 para evitar que el material fluya.
 50
 55

La figura 11 muestra la válvula 228 en la posición cerrada para evitar que la materia prima fluya y el crisol 202 antes de cargarse con la materia prima 122. La figura 12 muestra la válvula 226 del mecanismo 224 de alimentación en una posición abierta elevada para permitir que la materia prima 122 fluya a la cavidad 203 de fusión del crisol 202 a través de las aberturas 230 de salida. La figura 13 muestra la materia prima 122 que continúa fluyendo a través de las aberturas 230 y una etapa inicial del proceso de fusión provocada por la energía eléctrica del suministro 26 de potencia que fluye a través de la bobina 104 de inducción para calentar inductivamente la bobina 130 de fusión en el modo de circuito cerrado como se describió anteriormente con respecto al horno 100. Como se describió previamente, la porción fundida 150 dentro de la cavidad 203 de fusión, se ha vuelto susceptible al calentamiento inductivo por la bobina 104 de inducción, de modo que la bobina 130 de fusión puede conmutarse al modo de circuito abierto para evitar un calentamiento inductivo adicional de la bobina 130 de fusión y permitir el calentamiento inductivo de material fundido 150. La figura 13 muestra algo de material fundido 150 dentro del paso 218 de trampa.
 60
 65

De acuerdo con otra característica de la invención y con referencia a las figuras 10, 13 y 14, la trampa 217 está configurada de modo que la porción de material fundido 150 en el paso 218 forma un sello líquido entre el extremo 220 de entrada y el extremo 222 de salida, por lo que un diferencial de presión sobre el material fundido dentro del paso 218 desde extremos respectivos 220 y 222 puede controlarse para evitar que el material fundido 150 fluya al paso 213 de transferencia (figura 14) o permitir que el material 150 salga de la cavidad 203 de fusión y a través de la abertura 212 de salida al paso 213 de transferencia (figura 10). Cuando la presión sobre el material fundido en el paso 218 desde el extremo 220 de entrada es mayor que la presión sobre el material fundido desde el extremo 222 de salida, el material fundido fluiría desde la cavidad 203 de fusión a través de la abertura 212 de salida (figura 10). El mantenimiento de una presión igual sobre dicho material fundido desde el extremo 220 de entrada y el extremo 222 de salida crea un equilibrio que evita que el material fundido fluya fuera de la cavidad 203 de fusión y a través de la abertura 212 de salida (figuras 13-15).

Una forma de crear una diferencia de presión para hacer que el material fundido fluya desde la cavidad 203 de fusión es añadir suficiente materia, fundida y/o prima, a la cavidad 203 de fusión para superar la presión del extremo 222 de salida. A medida que la materia prima 122 se funde, se producirá una cantidad suficiente de material fundido 150, de modo que fluirá de forma natural a través de la abertura 212 de salida en ausencia de otros controles. Por lo tanto, el control de la presión de la atmósfera ejercida sobre el material fundido 150 en el paso 218 desde el extremo 220 de entrada y el extremo 222 de salida proporciona control del flujo de material fundido 150. La figura 14 muestra las fuentes 205 y 215 de control de presión para controlar esta presión atmosférica. La fuente 205 puede disminuir la presión atmosférica desde el extremo 220 de entrada y/o la fuente 215 puede aumentar la presión atmosférica desde el extremo 222 de salida para contrarrestar la presión del material fundido 150 en la cavidad 203 de fusión para evitar el flujo de material fundido a través de la abertura 212 de salida. Alternativamente, la fuente 205 puede aumentar la presión atmosférica desde el extremo 220 de entrada y/o la fuente 215 puede disminuir la presión atmosférica desde el extremo 222 de salida para permitir que el material fundido 150 fluya.

La altura del paso de trampa también controla el flujo de material fundido 150 fuera del crisol 202. El aumento de la altura permite que se acumule más material fundido 150 en el paso de trampa, y por consiguiente en la cavidad 203 de fusión, sin la necesidad de utilizar un diferencial de presión para evitar el flujo a través de la abertura de salida. Este concepto básico se ilustra en la figura 13 que muestra que el material insuficiente 122 se ha fundido para elevar el nivel de material fundido 150 dentro del paso 218 por encima de la abertura 212 de salida.

La figura 14 muestra una etapa intermedia de fusión y la figura 15 muestra todo el material dentro del crisol 202 en estado fundido. En las figuras 14 y 15, la válvula 226 está en una posición cerrada para evitar además la adición adicional de materia prima 122, y el interruptor 132 está en la posición abierta y el material fundido se calienta inductivamente directamente por la bobina 104 de inducción.

De acuerdo con otra característica de la invención, el miembro en forma de cono 214 ha alterado el patrón de flujo en cuadratura descrito anteriormente con referencia a la figura 9, de modo que el material fundido dentro de la cavidad 203 de fusión fluye como se indica mediante las flechas C en la figura 14 y las flechas D en la figura 15. En el patrón de cuadratura de la figura 9, el flujo de corriente en el cuadrante inferior fluye hacia abajo en la región central de la cavidad de fusión y hacia arriba en la región exterior. Sin embargo, en la presente realización ilustrada en las figuras 14 y 15, cuando el material es empujado hacia dentro debido a las fuerzas electromotrices, el flujo hacia adentro dentro del material fundido que habría girado hacia abajo en la región central de los cuadrantes inferiores es trasladado por la forma ahusada del miembro en forma de cono 214 y forzado hacia arriba en su lugar. Por lo tanto, esencialmente todo el material fundido a lo largo de la superficie exterior del miembro en forma de cono 214 es forzado hacia arriba y crea el patrón mostrado por las flechas C en la figura 14 y las flechas D en la figura 15. El flujo es más un patrón de bucle giratorio único en cada lado del miembro en forma de cono 214 en oposición al par de bucles que giran en direcciones opuestas que se produce dentro de la mitad derecha o izquierda del patrón de cuadratura de la figura 9.

Como resultado del flujo de metal fundido creado por el miembro en forma de cono 214, el material fundido se mueve más rápidamente en general y crea un menisco positivo más alto entre el miembro en forma de cono 214 y la pared lateral 204 del crisol 202. Junto con la mayor velocidad de material fundido viene una mayor turbulencia a lo largo de la superficie del material fundido. Esta velocidad y turbulencia aumentadas crean una capacidad mejorada para atraer la materia prima 122 de partículas pequeñas al material fundido para mejorar significativamente el proceso de fusión. Como se señaló, este nuevo flujo de corriente proporciona un menisco más alto y, por lo tanto, aumenta el área superficial del material fundido para proporcionar un mayor contacto global entre la materia prima y el material fundido. Otro beneficio de este flujo es la producción de una mayor homogeneidad de temperatura dentro del material fundido. Esta uniformidad de temperatura mejorada dentro de la masa fundida se traduce en una temperatura más uniforme dentro del crisol, lo que es particularmente útil con respecto a la pared inferior, y por lo tanto aumenta la vida útil del crisol. Además, en la medida en que haya una diferencia de temperatura dentro del material fundido, la porción más caliente está en la parte superior de la masa fundida, lo que mejora la fusión de la materia prima sólida y también evita el sobrecalentamiento en el fondo de la masa fundida que podría conducir a fundir el crisol.

Una vez que todo el material se funde dentro de la cavidad 203 de fusión, es una cuestión relativamente simple mantener un proceso de fusión continuo o intermitente simplemente abriendo la válvula 226 para proporcionar materia prima adicional 122 a la cavidad 203 de fusión y permitiendo que el material fundido fluya a través de la abertura 212 de salida para proporcionar espacio adicional para el nuevo material fundido, como se muestra en la figura 10.

La tercera realización de la presente invención, el horno 300 de inducción, se describe ahora con referencia a las figuras 16-17. El horno 300 es similar al horno 100, excepto que el horno 300 incluye un susceptor en forma de disco 302 posicionado debajo del crisol 134 adyacente a la pared inferior 140 del mismo. Preferiblemente, el susceptor 302 se apoya en la pared inferior 140. El susceptor 302 tiene un perímetro exterior 304 sustancialmente cilíndrico y un perímetro interior 306 que define un agujero central 308. El susceptor 302, típicamente un disco de grafito, no es un gasto significativo.

Otra característica de la invención es que el perímetro exterior 304 del susceptor 302 está más alejado de la bobina 104 de inducción que una superficie interior 312 de la pared lateral 138 de crisol. Más particularmente, el susceptor 302 y el crisol 134 están configurados de modo que un espacio 310 dentro de la cavidad 146 de fusión está más cerca de la bobina 104 de inducción que el susceptor 302, de modo que una porción de material fundido 150 dentro del espacio 310 puede estar más cerca de la bobina 104 que el susceptor 302. El espacio 310 se encuentra entre la superficie interior 312 de la pared lateral 138 y un cilindro imaginario definido por las líneas E que se extienden hacia arriba desde el perímetro exterior 304 del susceptor 302. Por lo tanto, el espacio 310 está dispuesto dentro de la cavidad 146 de fusión alrededor del cilindro definido por las líneas E y la pared lateral adyacente 138 a lo largo de la pared inferior 140.

Con referencia a las figuras 17-21, el horno 300 funciona de la siguiente manera. La figura 17 muestra el crisol 134 antes de ser cargado con la materia prima 122. La figura 18 muestra el crisol 134 que es cargado con materia prima 122. En este punto o en algún momento antes o poco después, la energía eléctrica del suministro 26 de potencia produce una corriente eléctrica a través de la bobina 104 de inducción y el interruptor 132 está en la posición cerrada por lo que el susceptor o bobina conmutable 130 es calentada inductivamente por el campo electromagnético producido por la bobina 104 descrito previamente. Una vez que la corriente eléctrica está fluyendo a través de la bobina 104 de inducción, también se acopla electromagnéticamente con el susceptor 302 para calentar inductivamente el susceptor 302 que a su vez transfiere calor a la materia prima 122 para facilitar la fusión de una porción del material 122. Por lo tanto, la bobina 130 de fusión y el susceptor 302 se utilizan conjuntamente para fundir la porción inicial 150 de la materia prima 22, como se muestra en la figura 19, de modo que la porción fundida 150 puede entonces ser calentada inductivamente directamente por la bobina 104 de inducción.

Una vez que la porción 150 se ha vuelto inductivamente calentable, el interruptor 132 se abre como se discutió anteriormente, por lo que el calentamiento inductivo de la bobina 130 de fusión cesa. El susceptor 302 permanece en su sitio y continúa calentándose inductivamente de manera decreciente a medida que el material fundido 150 se calienta cada vez más inductivamente. Debido a la configuración del susceptor 302 descrito anteriormente, la porción de material fundido 150 dentro del espacio 310 está más cerca de la bobina 104 de inducción que el susceptor 302, por lo que el calentamiento inductivo tiende naturalmente hacia el material fundido porque está más cerca de la bobina 104 de inducción. Durante el proceso de fusión, la energía absorbida por el material fundido 150 del campo electromagnético producido a través de la bobina 104 de inducción aumenta y la energía absorbida por el susceptor 302 del campo electromagnético disminuye. De la energía combinada que es absorbida por el material fundido 150 y el susceptor 302, en un cierto tiempo, casi la totalidad de la energía combinada está siendo absorbida por el material fundido 150 y el susceptor 302 está absorbiendo muy poco. Esto generalmente ocurre cuando todo el material está completamente fundido o casi en la cavidad 146 de fusión. Por lo tanto, la configuración del susceptor 302 le permite casi "desaparecer" al efecto de calentamiento inductivo de la bobina 104 de inducción.

La figura 20 muestra una etapa intermedia de fusión en la que una porción de la materia prima 122 está fundida y una porción todavía está en forma sólida. El interruptor 132 está en la posición abierta de modo que la bobina 130 de fusión ya no se calienta por inducción. El susceptor 302 en este punto todavía se está calentando inductivamente hasta cierto punto, aunque esto está disminuyendo como se indicó anteriormente. Para cuando todo el material dentro del crisol 134 está fundido, como se muestra en la figura 21, esencialmente todo el calentamiento inductivo que tiene lugar ocurre directamente dentro del material fundido 150 mientras que se produce una cantidad relativamente pequeña dentro del susceptor 302. El agujero 308 en el susceptor 302 permite un mecanismo central de vertido de manera que el material fundido pueda fluir a través del agujero 308. Se puede añadir material adicional 122 a través de la abertura 129 de salida y el material fundido se puede retirar a través de la abertura 142 de salida, como se muestra en la figura 16, de modo que el horno 300 sea capaz de fundir de manera continua e intermitente.

La cuarta realización de la presente invención, el horno 400 de inducción, se describe ahora con referencia a la figura 22. El horno 400 es similar al horno 100, excepto que el horno 400 incluye una bobina 430 de fusión, que actúa como un susceptor y está dispuesta dentro de la cavidad 146 de fusión del crisol 134 en lugar del crisol exterior 134. Debido a que la bobina 430 de fusión está situada centralmente dentro de la cavidad 146 de fusión, se utiliza un mecanismo de alimentación como el mecanismo 224 de alimentación utilizado con el horno 200. La ubicación de la bobina 430 de fusión dentro del crisol 134 puede variar, sin embargo, y así otros mecanismos de

alimentación pueden ser más adecuados dependiendo de dicha ubicación y la configuración específica de dicho susceptor interno. La bobina 430 de fusión está encerrada dentro de un material refractario 432 tal como cerámica, aunque esto puede variar de acuerdo con el material a fundir o calentar. El concepto básico de la bobina 430 de fusión es el mismo que el de la bobina 130 de fusión distinta de su ubicación. Más específicamente, la bobina 430 de fusión puede conmutarse entre un modo de circuito abierto y un modo de circuito cerrado a través del interruptor 132 y, por lo tanto, es calentable como se describe con respecto al horno 100. El patrón de fusión que se produce con el uso de la bobina 430 de fusión difiere en que el material 122 comienza a fundir la bobina 430 de fusión adyacente en lugar de la pared lateral adyacente 138. Además, una vez que el material 122 se vuelve susceptible al calentamiento inductivo, la bobina 104 de inducción tenderá a acoplarse con el material 122 con preferencia al acoplamiento con la bobina 430 de fusión incluso cuando el circuito esté cerrado porque algún material susceptible está más cerca de la bobina 104 de inducción que la bobina 430 de fusión, como se explica con respecto al susceptor 302 del horno 300. Sin embargo, la apertura del circuito de la bobina 430 de fusión elimina además la bobina 430 de fusión del calentamiento inductivo, como con las otras bobinas "que desaparecen".

Por lo tanto, los hornos 100, 200, 300 y 400 de inducción proporcionan nuevas configuraciones y métodos de calentamiento inductivo y fusión de material en partículas que inicialmente no es calentable por inducción y que se puede calentar inductivamente cuando se calienta a una determinada temperatura y especialmente después de la fusión. Se apreciará que pueden realizarse una gran cantidad de cambios en cada uno de estos hornos sin apartarse del espíritu de la invención. Se apreciará que cada uno de estos hornos puede funcionar sin el conjunto de precalentamiento, aunque esto facilita el proceso de fusión. Además, el conjunto de precalentamiento puede ser de otras configuraciones adecuadas que no utilizan calentamiento inductivo.

Los hornos 100, 200, 300 y 400 utilizan la bobina 130 ó 430 de fusión "que desaparece" particularmente para fundir dichos materiales como se describe en el presente documento. Sin embargo, el concepto de la bobina que desaparece puede utilizarse en una amplia variedad de circunstancias. No es necesario utilizarla con fines de fusión, sino que se puede utilizar simplemente para calentar inductivamente algo de manera selectiva, por lo que el interruptor puede encenderse y apagarse según se desee. Además, la bobina 130 ó 430 de fusión no necesita estar en forma de bobina, sino que simplemente necesita formar un circuito cerrado cuando un interruptor está cerrado y un circuito abierto cuando el interruptor está abierto, por lo que puede calentarse inductivamente cuando el interruptor está cerrado. Además, la bobina 130 ó 430 de fusión no necesita estar dispuesta dentro de una bobina de inducción que tiene la forma de un cilindro u otra forma. En su lugar, la bobina 130 ó 430 de fusión puede ser posicionada externamente cerca de una bobina de inducción de modo que esté dentro del campo electromagnético producido de ese modo. En un nivel más amplio, el campo electromagnético que calienta inductivamente la bobina 130 ó 430 de fusión no necesita ser producido por una bobina de inducción sino por cualquier miembro de inducción a través del cual puede pasar una corriente eléctrica para crear un campo electromagnético capaz de calentar inductivamente la bobina 130 ó 430 de fusión o una bobina que desaparece similar. Para los fines de un horno de inducción para fundir materiales altamente refractarios, se prefieren las realizaciones de ejemplo debido a sus niveles de eficacia.

Además, el uso de la bobina que desaparece no se limita a fundir o calentar solo material en partículas. También se puede utilizar para fundir o calentar piezas más grandes de material. Por lo tanto, por ejemplo, la bobina que desaparece puede utilizarse de manera efectiva con piezas más grandes de materiales que, al igual que los materiales semiconductores, no son calentables inductivamente en forma sólida independientemente del tamaño. Además, la presente invención también se puede utilizar con materiales fibrosos u otros materiales que tienen geometrías que son particularmente difíciles de fundir por calentamiento inductivo.

Ciertos líquidos también son particularmente adecuados para el calentamiento con la presente invención, por ejemplo, aquellos líquidos que no son susceptibles de calentamiento inductivo a una temperatura relativamente más baja pero que son susceptibles de calentamiento inductivo a temperatura relativamente más alta. La invención también es adecuada para calentar líquidos que son susceptibles de calentamiento inductivo a frecuencias relativamente más altas (es decir, corriente eléctrica de mayor frecuencia a la bobina de inducción) a una temperatura relativamente más baja y que son susceptibles de calentamiento inductivo a frecuencias relativamente más bajas a una relativamente mayor temperatura debido a la resistividad disminuida correspondiente del líquido a la temperatura más alta. Esto puede incluir escenarios en los que tales líquidos simplemente no se pueden calentar inductivamente a la frecuencia relativamente más baja cuando el líquido está a la temperatura relativamente más baja. Esto también puede incluir escenarios en los que dichos líquidos son susceptibles de calentamiento inductivo en cierto grado a la frecuencia más baja y a la temperatura más baja, pero solo a una eficacia relativamente menor, mientras que esta eficacia aumenta a la frecuencia más baja cuando la temperatura del líquido se eleva suficientemente. Por lo tanto, la invención es particularmente útil porque la bobina que desaparece puede calentar tales líquidos para llevarlos a un rango de temperatura donde se pueden utilizar frecuencias inferiores comercialmente viables para calentar inductivamente los líquidos, aumentando sustancialmente la eficiencia de calentamiento de tales líquidos.

La guía de flujo, realizada como un miembro en forma de cono en el horno 200 de inducción, también puede tomar una variedad de formas, aunque se prefiere una forma de cono general, particularmente con un crisol cilíndrico y una bobina de inducción cilíndrica. Otras formas que alteran el flujo del material fundido de modo que las corrientes en

las regiones central o interior de una cavidad de fusión del crisol tienden a fluir hacia arriba en lugar de hacia abajo están dentro del alcance del concepto de la presente invención. Como se indicó anteriormente, tal cambio en el flujo de corriente dentro del material fundido evita el sobrecalentamiento de la pared inferior del crisol, proporciona una mayor uniformidad de temperatura dentro de la masa fundida y aumenta la capacidad de atraer la materia prima en la masa fundida. Algunas de las alternativas obvias incluyen una forma de cono que tiene una superficie exterior convexa o cóncava. También se pueden utilizar formas piramidales o formas de cono que pueden tener crestas y rebajes, como una estructura cónica en forma de estrella. Otras posibilidades incluyen un miembro en forma de tienda que tiene lados alargados que se ahúsan hacia arriba y hacia dentro o una forma de montículo alargada que tiene un corte transversal parabólico o semicircular. Además, aunque la superficie exterior del miembro en cuestión es preferiblemente continua, también puede ser no continua y puede crearse mediante una pluralidad de miembros en combinación. Una multitud de otras configuraciones está dentro del alcance de la presente invención.

Con respecto al paso de trampa del horno 200 de inducción, también son posibles muchas configuraciones, como se describió previamente. Con respecto al uso de conformación del miembro en forma de cono, se puede crear un paso de trampa, por ejemplo, formando ranuras u otras aberturas en la porción inferior del miembro en forma de cono. Además, tales pasos no requieren el uso de un miembro en forma de cono o similar. En consecuencia, la pared inferior del crisol no necesita tener generalmente forma de cono, pero puede, por ejemplo, ser sustancialmente plana con un tubo que se extiende hacia arriba en la cavidad de fusión para proporcionar una abertura de salida elevada en comunicación con una porción superior del paso de trampa. El paso de trampa también puede estar dispuesto fuera del crisol, tal como puede definirse por un tubo que se extiende hacia fuera desde la pared lateral del crisol.

También con respecto al horno 200 de inducción, la válvula utilizada en el conjunto de precalentamiento puede utilizarse sin un conjunto de precalentamiento y puede tener una variedad de configuraciones. Si bien es preferible guiar la materia prima directamente sobre la superficie superior del material fundido, la materia prima también puede caer sobre el miembro en forma de cono, y así sucesivamente.

Con respecto al horno 300 de inducción, el susceptor 302 no necesita tener forma de disco o tener un agujero formado en el mismo. El susceptor 302 puede tener una variedad de formas siempre que algún espacio dentro de la cavidad de fusión del crisol para contener una porción fundida esté más cerca de la bobina de inducción que el propio susceptor, por lo que el material fundido susceptible se calienta inductivamente preferentemente con respecto a un susceptor análogo al susceptor 302. Aunque el susceptor 302 está hecho típicamente de grafito, puede formarse de cualquier material capaz de calentarse inductivamente.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un aparato (100, 200, 300, 400) para calentar un material (122, 150), comprendiendo el aparato:
- 5 una bobina (104) de inducción electromagnética;
- un circuito eléctricamente conductor (130, 430);
- estando el circuito conductor (130, 430) adaptado para transferir calor al material (122, 150);
- 10 caracterizado porque:
- el circuito eléctricamente conductor (130, 430) es selectivamente conmutable entre un modo de circuito eléctrico cerrado y un modo de circuito eléctrico abierto; y
- 15 el circuito conductor (130, 430) es calentable inductivamente por la bobina (104) de inducción en el modo de circuito eléctrico cerrado; y
- la bobina (104) de inducción es capaz de estar bajo tensión eléctrica cuando el circuito conductor (130, 430) está en el modo de circuito cerrado y cuando el circuito conductor (130, 430) está en el modo de circuito abierto.
- 20 2.- El aparato de la reivindicación 1, en el que la bobina de inducción tiene un espacio interior en el que está dispuesta una porción del circuito conductor (130, 430).
- 25 3.- El aparato de la reivindicación 1 ó 2, que incluye además un crisol eléctricamente no conductor (134) que define una cavidad (146) de fusión adaptada para contener el material; en el que el circuito conductor incluye una bobina que define un espacio interior en el que está dispuesta una porción del crisol.
- 4.- El aparato de la reivindicación 3, en el que una capacidad de fusión continua e intermitente es proporcionada por un mecanismo (124) de alimentación para añadir porciones del material a la cavidad de fusión; y en el que un mecanismo (142, 212) de transferencia transfiere material fundido (150) desde la cavidad de fusión.
- 30 5.- El aparato de la reivindicación 4, en el que el material es un material semiconductor; en el que un crisol receptor (20) recibe dicho material semiconductor en forma fundida desde el crisol no conductor y está adaptado para formar un cristal semiconductor del material en el crisol receptor, por lo que el aparato es capaz de proporcionar de forma continua e intermitente material semiconductor al crisol receptor.
- 35 6.- El aparato de la reivindicación 1, que incluye además un crisol eléctricamente no conductor (134) que define una cavidad (146) de fusión adaptada para contener el material; y en el que el circuito conductor (430) está dispuesto dentro de la cavidad de fusión.
- 40 7.- El aparato de la reivindicación 1, que incluye además un crisol eléctricamente no conductor (134) que define una cavidad (146) de fusión adaptada para contener el material (122, 150); y en el que una porción del circuito conductor (130) está dispuesta más alta que el material en la cavidad de fusión por lo que dicha porción transfiere calor a través de la radiación a la cavidad de fusión por encima del material.
- 45 8.- El aparato de la reivindicación 1, que incluye además un crisol eléctricamente no conductor (134) que define una cavidad (146) de fusión y un susceptor eléctricamente conductor (302) dispuesto adyacente al crisol; en el que la bobina de inducción es capaz de calentar inductivamente el material dentro de la cavidad de fusión y el susceptor; y en el que una porción (310) de la cavidad de fusión está más cerca del miembro de inducción que el susceptor.
- 50 9.- El aparato de la reivindicación 1, que incluye además un crisol eléctricamente no conductor (134) que define una cavidad (146) de fusión adaptada para contener el material y un conjunto (114) de precalentamiento para calentar el material (122) antes de entrar en la cavidad de fusión; y en el que el conjunto de precalentamiento limita una zona inactiva (131) situada debajo, a través de la cual cae el material cuando alimenta la cavidad de fusión; la zona inactiva está adecuadamente dimensionada para evitar la obstrucción del flujo del material del conjunto de precalentamiento debido al sobrecalentamiento y la consiguiente adherencia del material al conjunto de precalentamiento o debido a la formación de un puente entre el material fundido en la cavidad de fusión y el conjunto de precalentamiento a través de absorción del material fundido.
- 55 60 10.- El aparato de la reivindicación 1, en el que el circuito conductor es calentable resistivamente en el modo de circuito cerrado y no calentable resistivamente en el modo de circuito abierto.
- 65 11.-El aparato de la reivindicación 3, que incluye además un miembro generalmente en forma de cono (214) que se ahúsa hacia arriba y hacia dentro dentro de la cavidad de fusión para guiar el flujo de material fundido creado por las fuerzas electromotrices que emanan de la bobina de inducción.

- 12.- El aparato de la reivindicación 3, en el que el crisol tiene una abertura (212) de salida; y que además incluye una trampa (217) que define un paso pasante (218) que tiene un extremo (220) de entrada que define una abertura (227) en comunicación con la cavidad de fusión y un extremo (222) de salida que define una abertura (229) en comunicación con la abertura de salida del crisol para transportar material fundido desde la cavidad de fusión a la
 5 abertura de salida del crisol por lo que la presión relativa ejercida sobre el material fundido en el paso controla el flujo de material fundido a través de la abertura de salida.
- 13.- El aparato de la reivindicación 1, en el que un crisol eléctricamente no conductor (134) define una cavidad (146)
 10 de fusión que contiene el material, una porción (150) la cual es susceptible de calentamiento inductivo; en el que una corriente eléctrica pasa a través de la bobina de inducción para producir un campo electromagnético; en el que el circuito conductor y la porción (150) susceptible del material absorben energía del campo electromagnético; y en el que, de la energía total absorbida del campo electromagnético por el circuito conductor y por la porción susceptible cuando el circuito conductor se conmuta al modo de circuito eléctrico abierto, al menos el 85 por ciento es absorbido
 15 por la porción susceptible.
- 14.- El aparato de la reivindicación 1, en el que un crisol eléctricamente no conductor (134) define una cavidad (146)
 20 de fusión que contiene el material, una porción (150) la cual es susceptible de calentamiento inductivo; en el que una corriente eléctrica pasa a través de la bobina de inducción para producir un campo electromagnético; en el que el circuito conductor y la porción (150) susceptible del material absorben energía del campo electromagnético; y en el que, de la energía total absorbida del campo electromagnético por el circuito conductor y por la porción susceptible cuando el circuito conductor se conmuta al modo de circuito eléctrico abierto, al menos el 95 por ciento es absorbido por la porción susceptible.
- 25 15.- Un método para calentar un material (122, 150) que comprende los pasos de:
- calentar inductivamente un circuito eléctricamente conductor (130, 430) con una bobina (104) de inducción
 electromagnética cuando el circuito conductor está en un modo de circuito eléctrico cerrado;
- 30 transferir calor desde el circuito conductor al material;
- caracterizado por:
- conmutar el circuito conductor a un modo de circuito abierto para impedir un calentamiento inductivo adicional del
 35 circuito conductor que ocurriría si el circuito conductor permaneciera en el modo de circuito cerrado; y
- calentar el material inductivamente con la bobina de inducción mientras el circuito conductor está en el modo de
 circuito abierto.
- 40 16.- El método de la reivindicación 15, en el que el paso de calentar el material inductivamente con la bobina de inducción mientras el circuito conductor está en el modo de circuito abierto incluye el paso de calentar el material dentro de una cavidad (146) de fusión de un crisol eléctricamente no conductor (134) que tiene una porción dispuesta dentro del espacio interior de la bobina de inducción.
- 45 17.- El método de la reivindicación 15, que además incluye los pasos de colocar el material en una cavidad (146) de fusión del crisol eléctricamente no conductor (134); posicionar una porción del circuito conductor más alta que una superficie superior (154) del material (150); y transferir calor desde la porción del circuito conductor por radiación a la cavidad de fusión por encima del material.
- 50 18.- El método de la reivindicación 15, en el que el paso de transferencia incluye el paso de calentar el material suficientemente para hacer una porción (150) del material susceptible de calentamiento inductivo.
- 19.- El método de la reivindicación 18, que además incluye los pasos de colocar el material en una cavidad (146) de
 55 fusión del crisol eléctricamente no conductor (134) y calentar la porción susceptible (150) inductivamente con la bobina de inducción para fundir porciones sólidas (122) del material.
- 20.- El método de la reivindicación 19, que incluye además los pasos de añadir porciones sólidas (122) adicionales
 del material mediante un mecanismo (124) de alimentación a la cavidad de fusión y fundir las porciones sólidas
 60 adicionales dentro de la cavidad de fusión calentando la porción susceptible inductivamente con la bobina de inducción.
- 21.- El método de la reivindicación 20, en el que las porciones sólidas adicionales están en forma de partículas; y en
 el que el paso de adición incluye permitir que las partículas del material caigan a través de una zona inactiva (131)
 65 para evitar la obstrucción del flujo del material desde el conjunto (114) de precalentamiento debido al sobrecalentamiento y la consiguiente adherencia de las partículas al mecanismo de alimentación o debido a la formación de un puente entre el material fundido en la cavidad de fusión y el mecanismo de alimentación a través de

la absorción del material fundido.

22.- El método de la reivindicación 20, que incluye además el paso de transferir material fundido desde el crisol no conductor a un crisol receptor (20).

5 23.- El método de la reivindicación 22, en el que el material es un material semiconductor y el método incluye además el paso de formar un cristal semiconductor del material fundido en el crisol receptor.

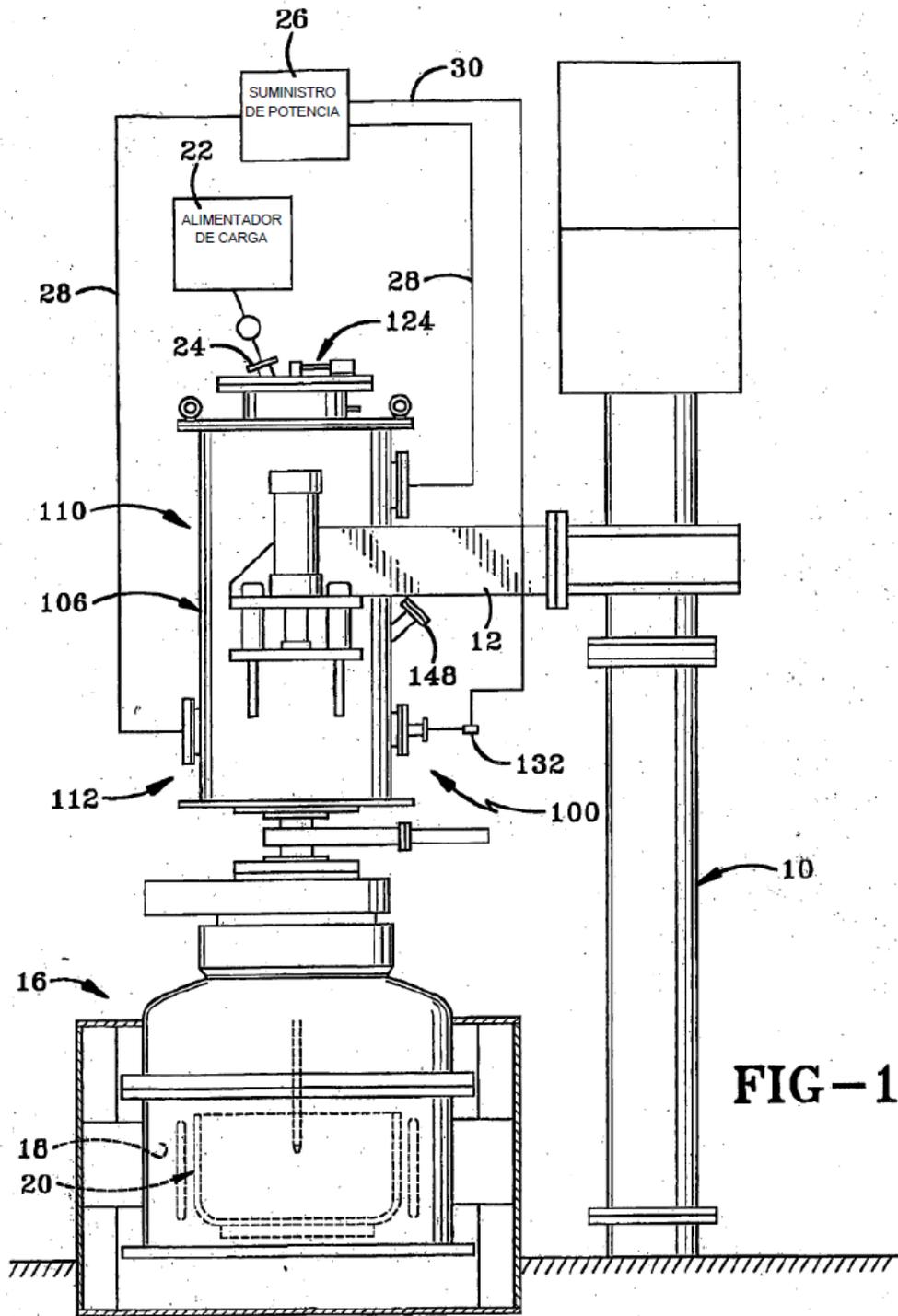
10 24.- El método de la reivindicación 23, que incluye además el paso de proporcionar continua o intermitentemente material fundido (150) desde el crisol no conductor al crisol receptor.

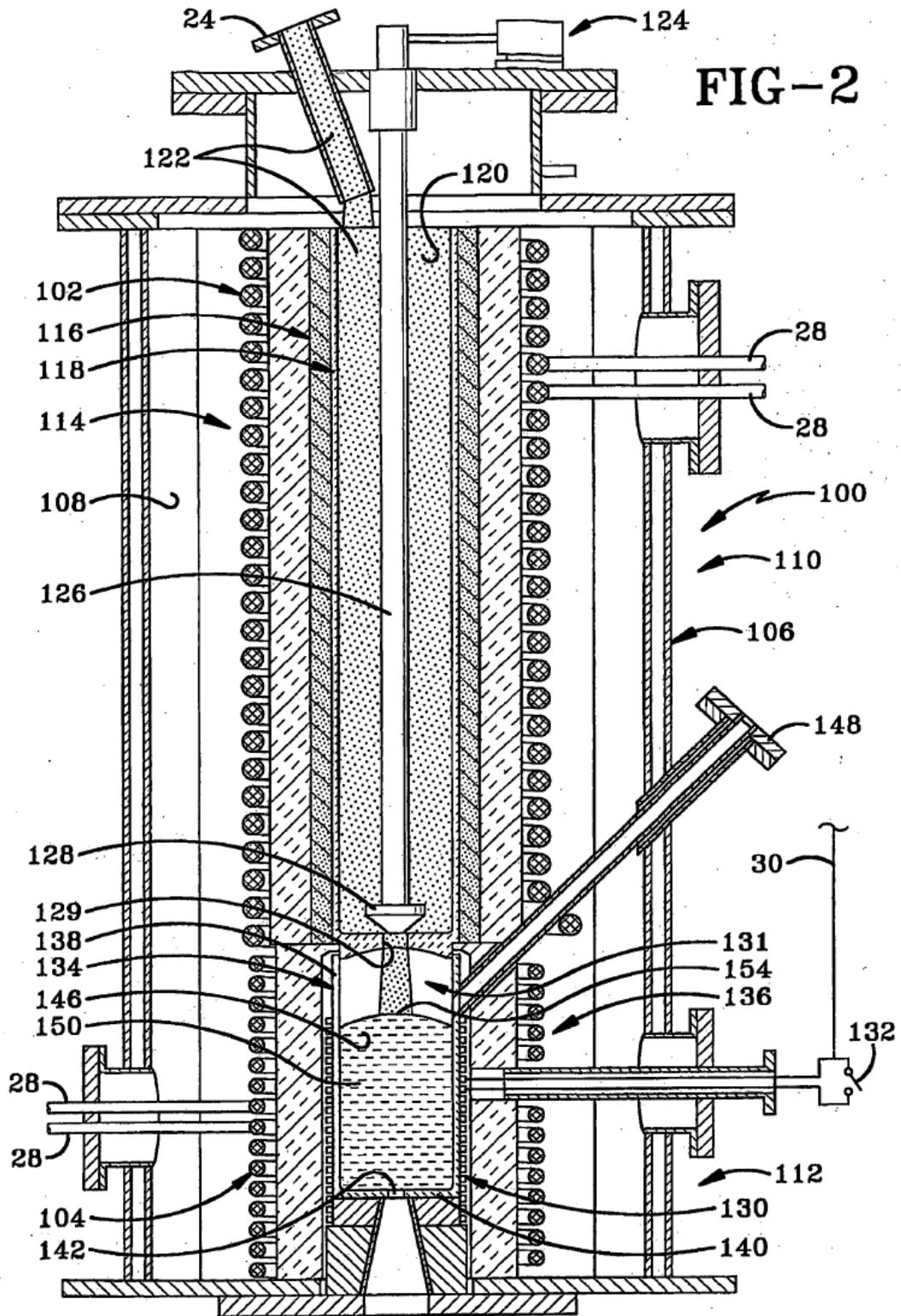
15 25.- El método de la reivindicación 19, que incluye además el paso de guiar el flujo de material fundido dentro de la cavidad de fusión con un miembro generalmente en forma de cono (214) que se ahúsa hacia dentro y hacia arriba dispuesto en la cavidad de fusión.

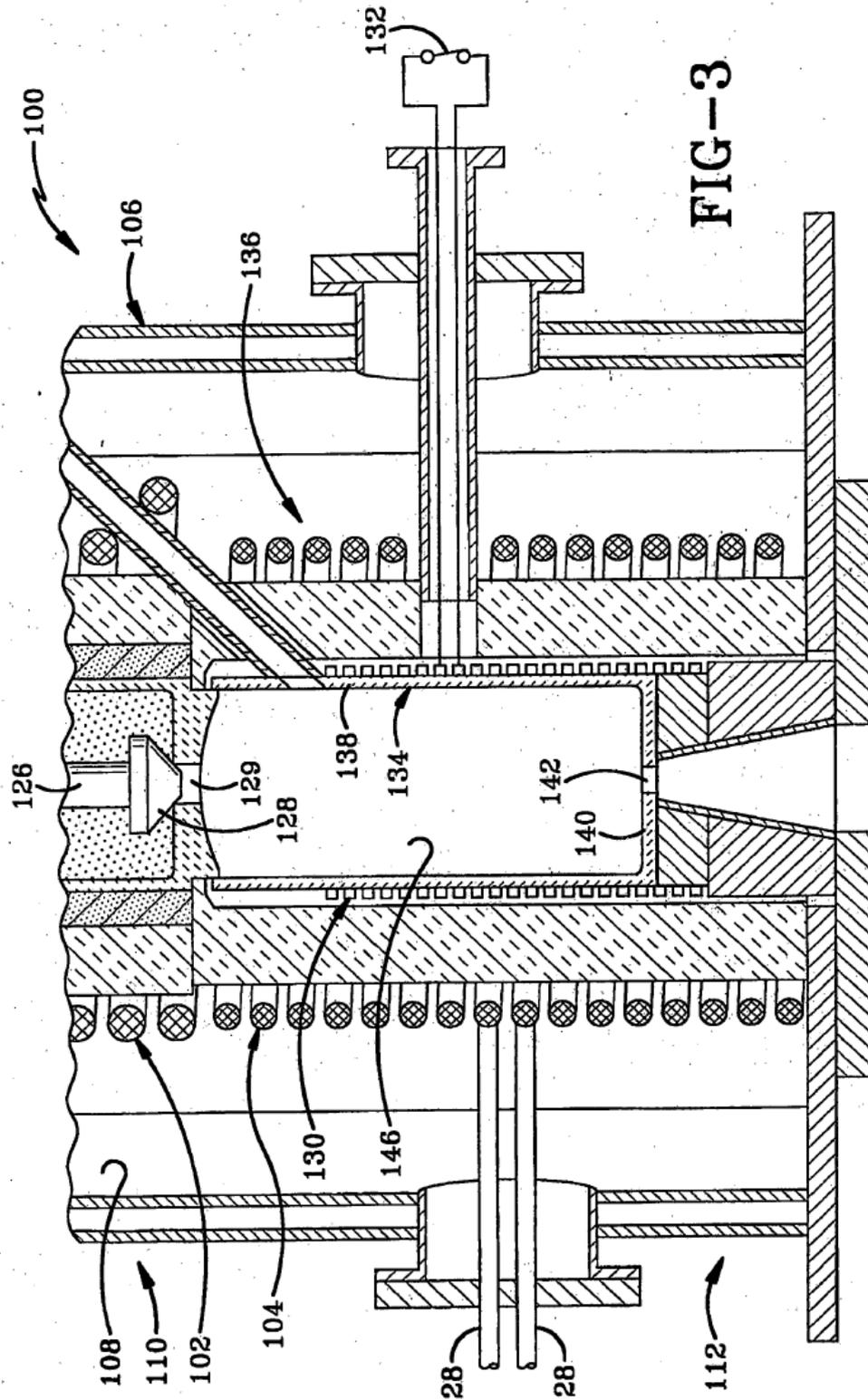
20 26.- El método de la reivindicación 19, que incluye además el paso de controlar la presión relativa ejercida sobre el material fundido (150) en un paso (218) de trampa desde un extremo (220) de entrada del paso de trampa en comunicación con la cavidad de fusión y desde un extremo (222) de salida del paso de trampa en comunicación con una abertura (212) de salida formada en el crisol para permitir e impedir selectivamente el flujo de material fundido desde la cavidad de fusión a través de la abertura de salida.

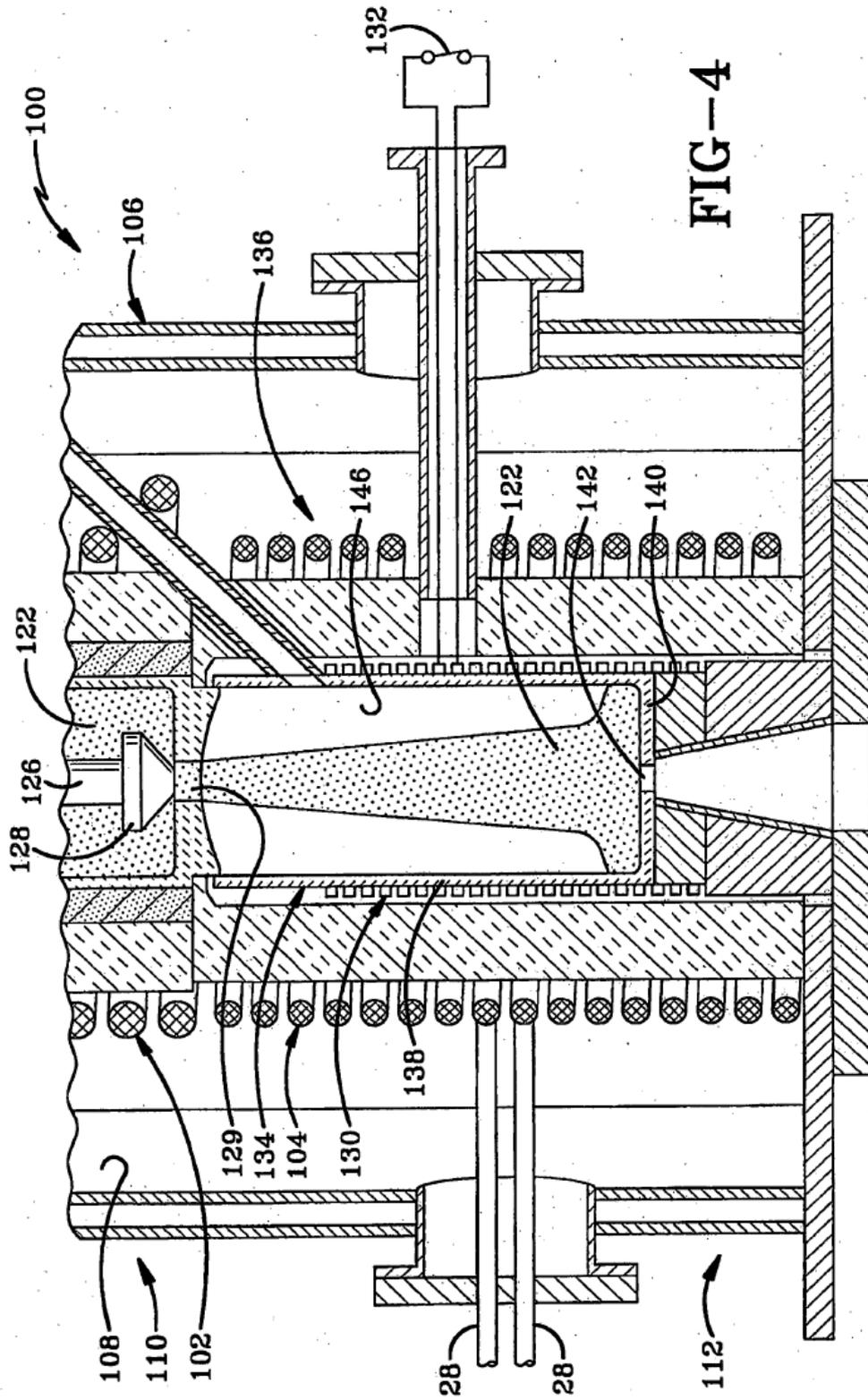
25 27.- El método de la reivindicación 15, que además incluye los pasos de colocar el material en una cavidad (146) de fusión de un crisol eléctricamente no conductor (134); posicionar un susceptor eléctricamente conductor (302) adyacente al crisol de modo que una porción (310) de la cavidad de fusión esté más cerca de la bobina de inducción que el susceptor; calentar el susceptor inductivamente con la bobina de inducción; y transferir calor desde el susceptor al material en la cavidad de fusión.

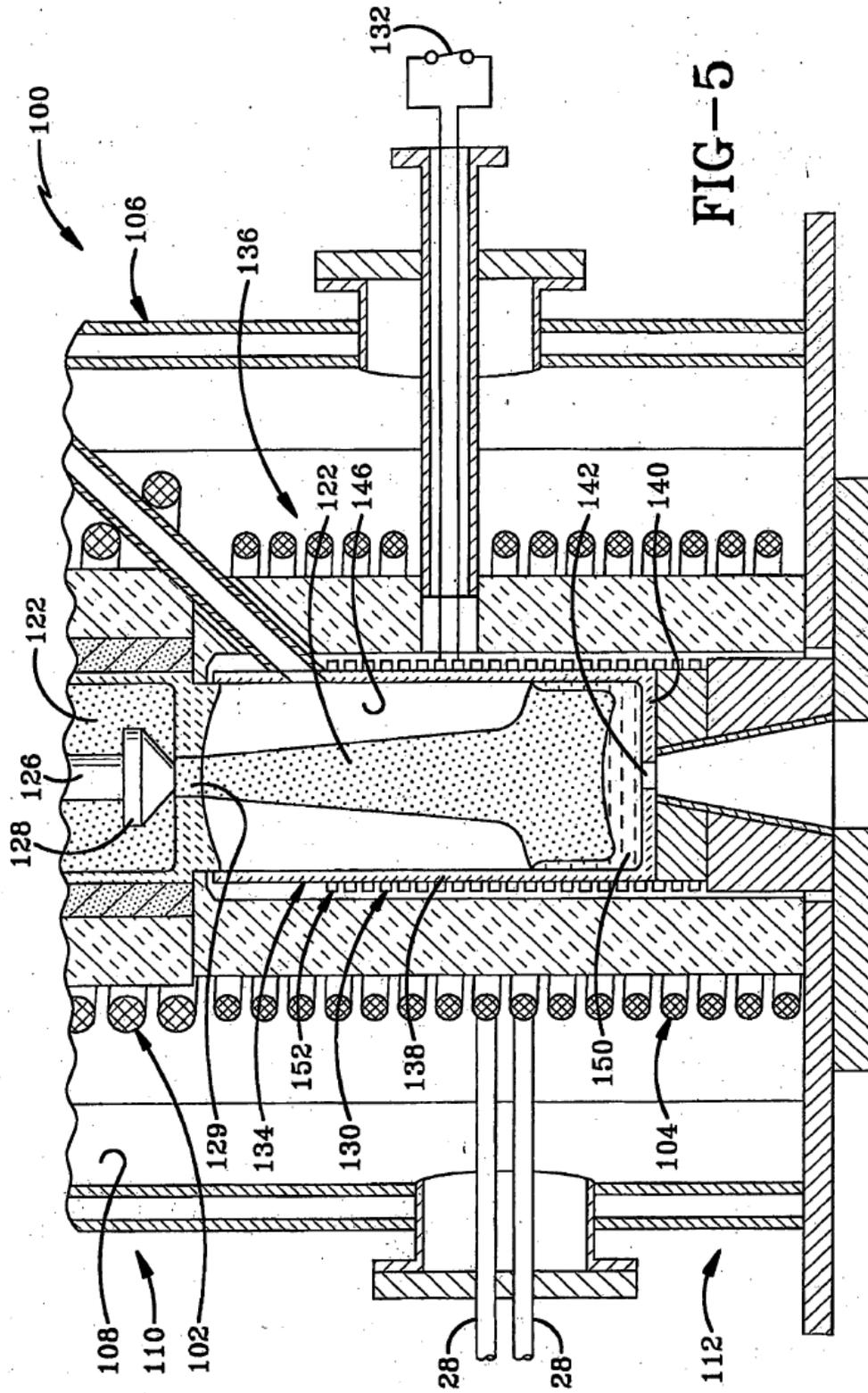
28.- El método de la reivindicación 15, que además incluye el paso de calentar el circuito conductor resistivamente cuando el circuito conductor forma el circuito eléctrico cerrado.

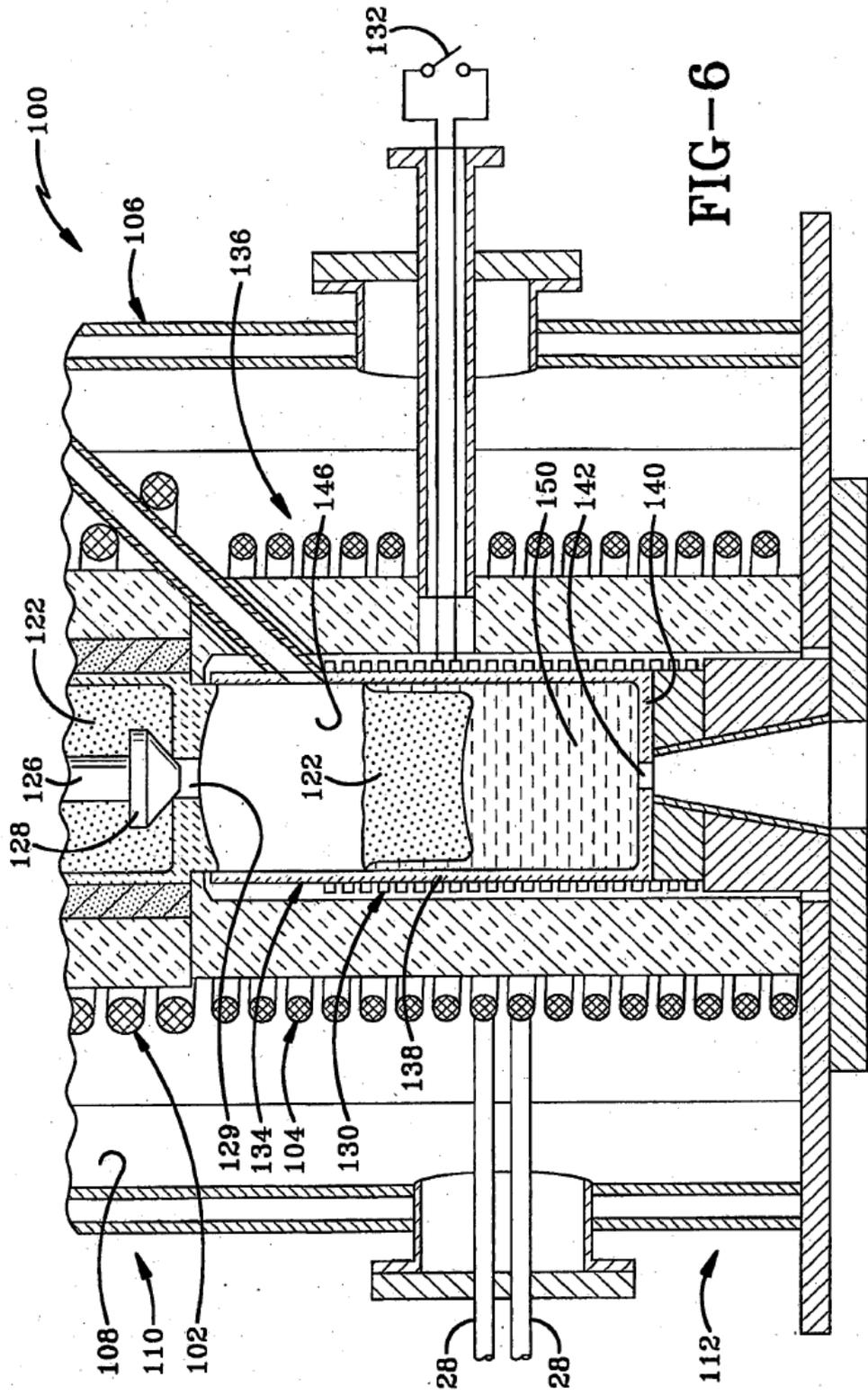


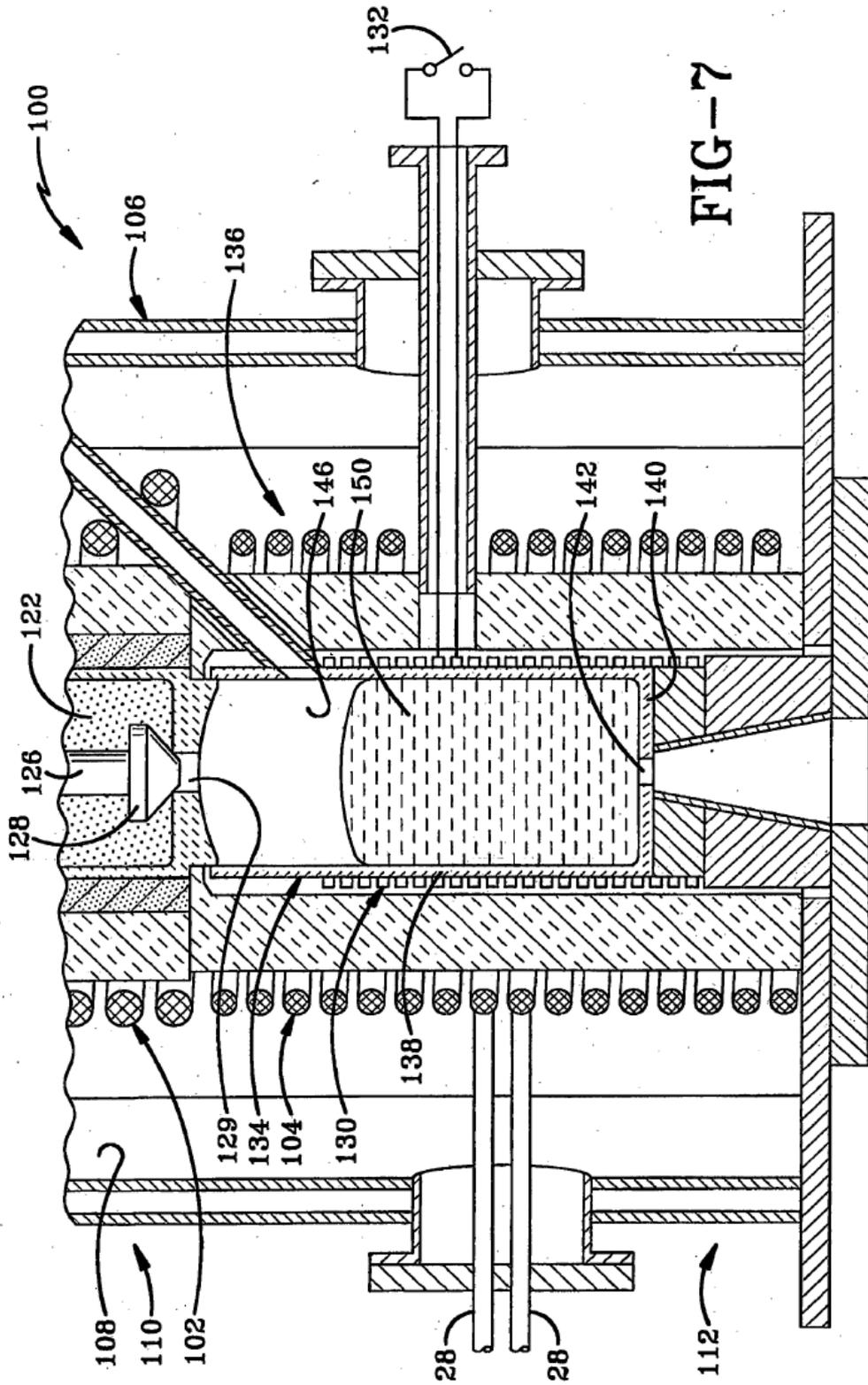












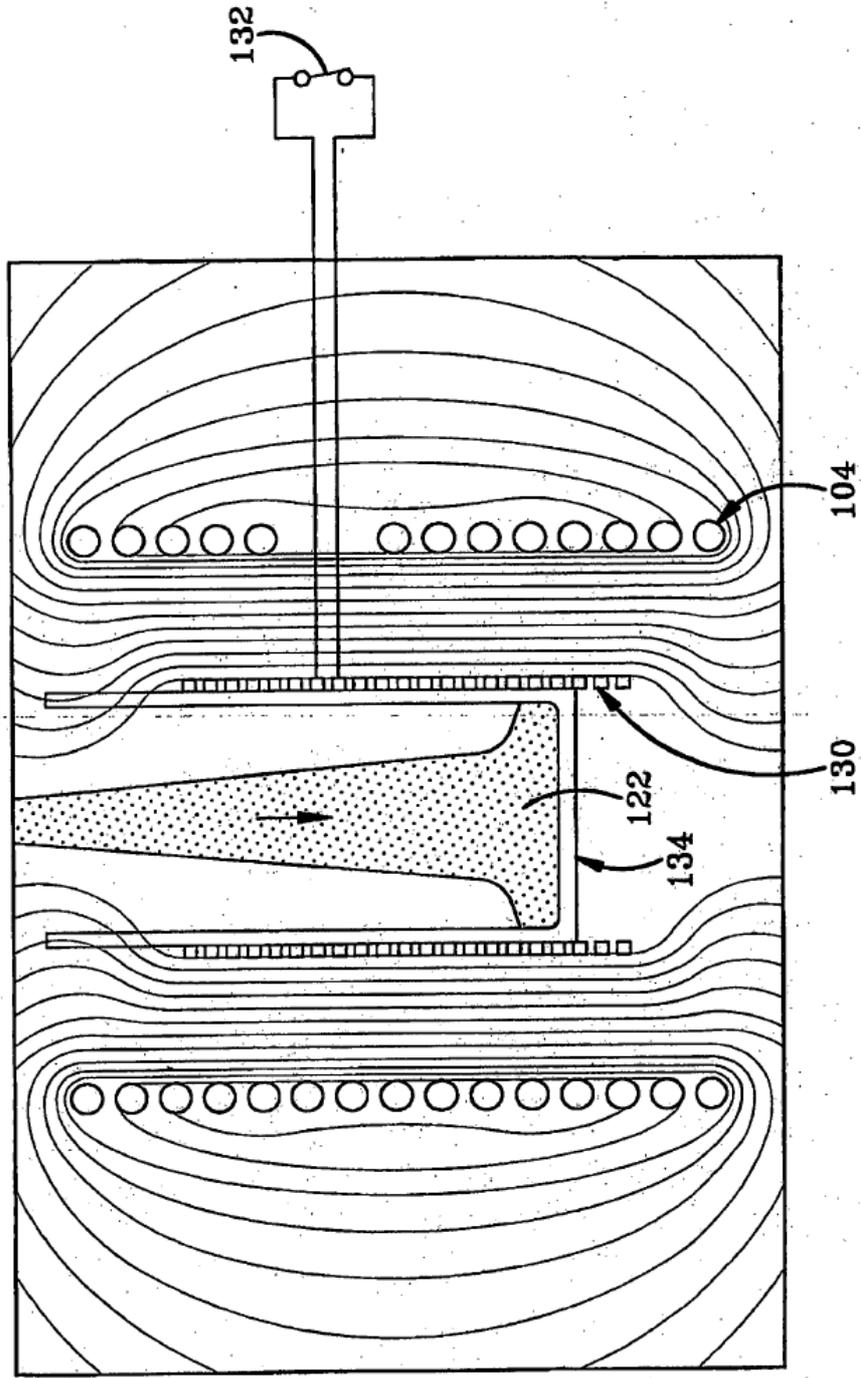


FIG-8

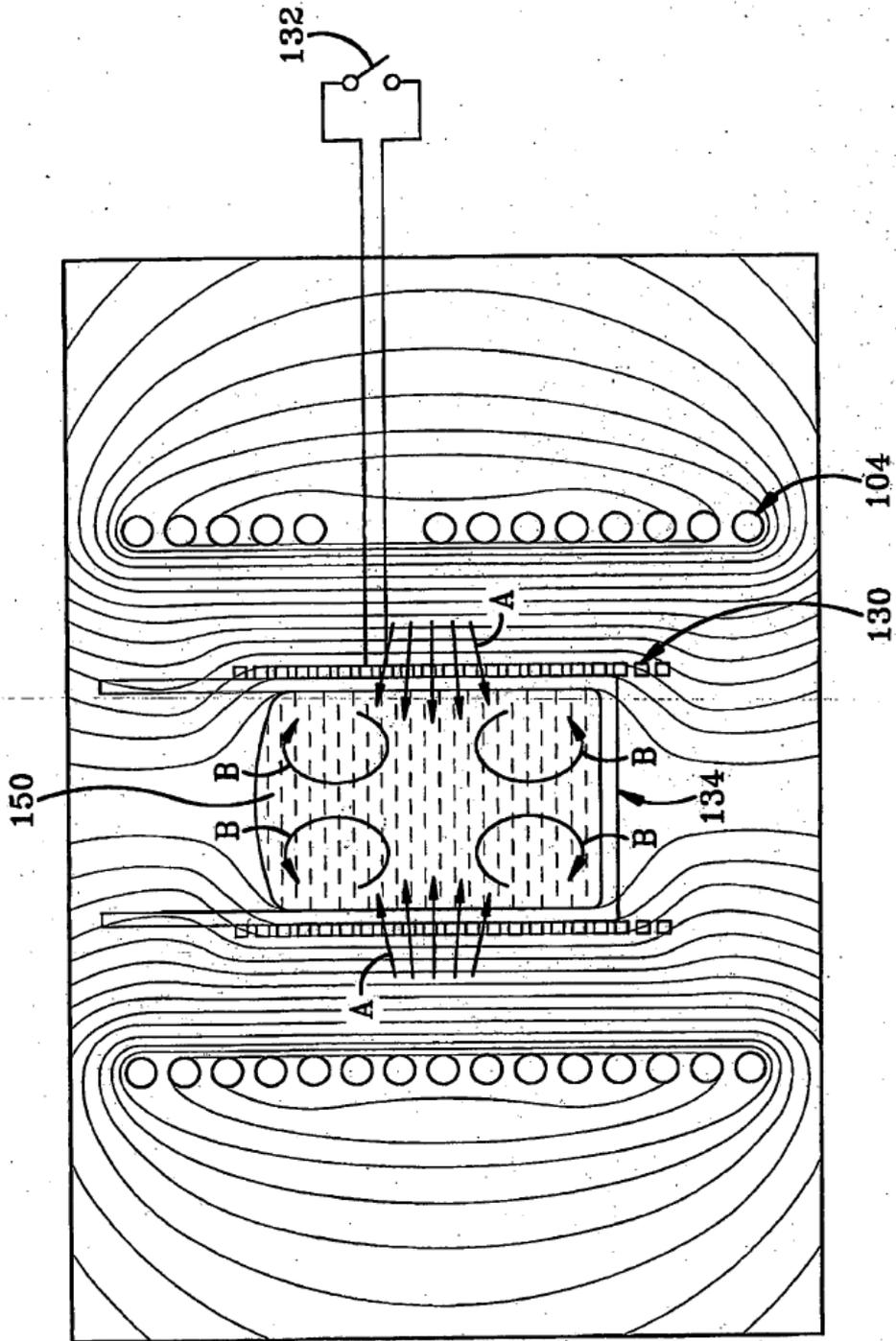
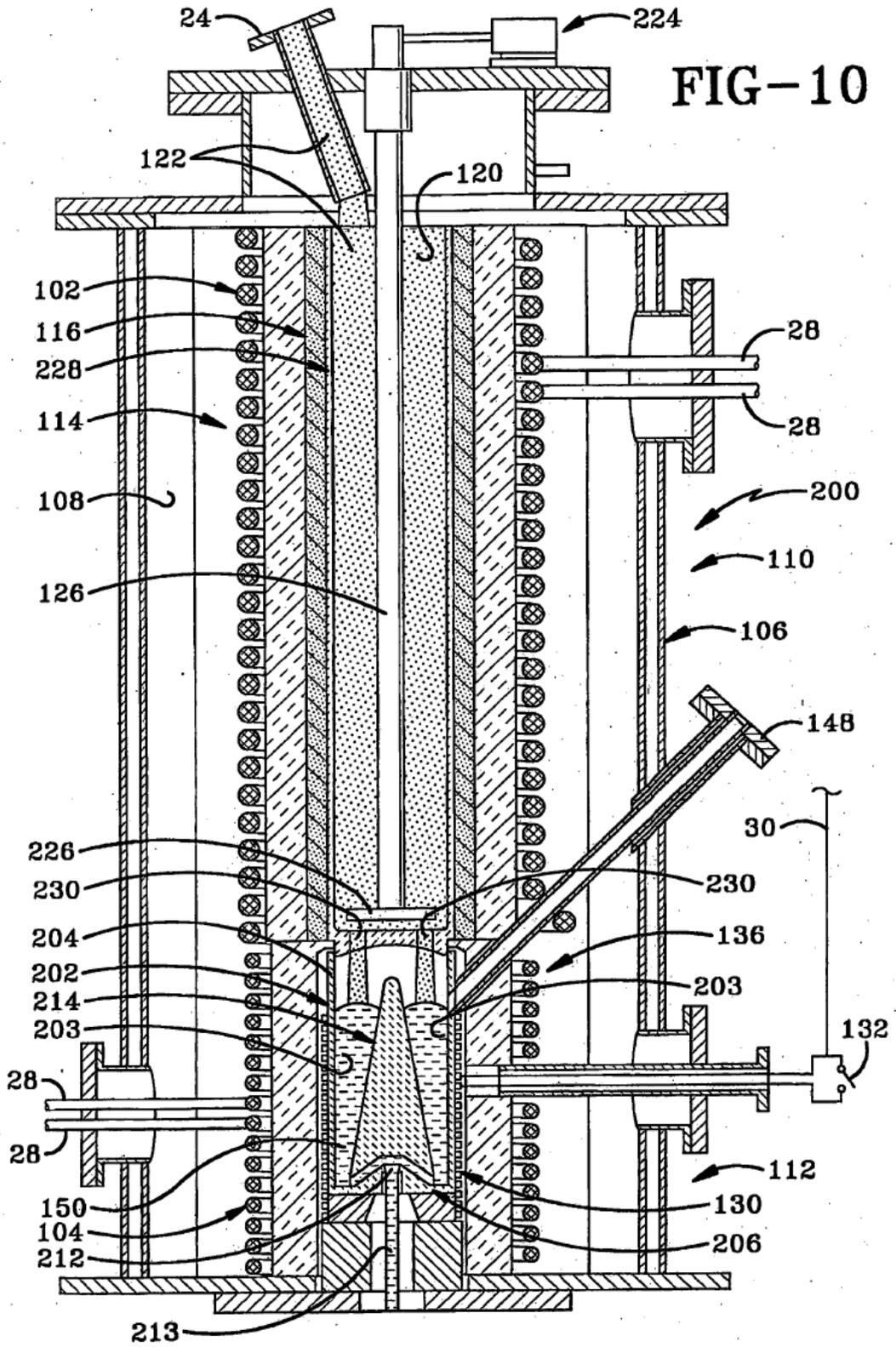
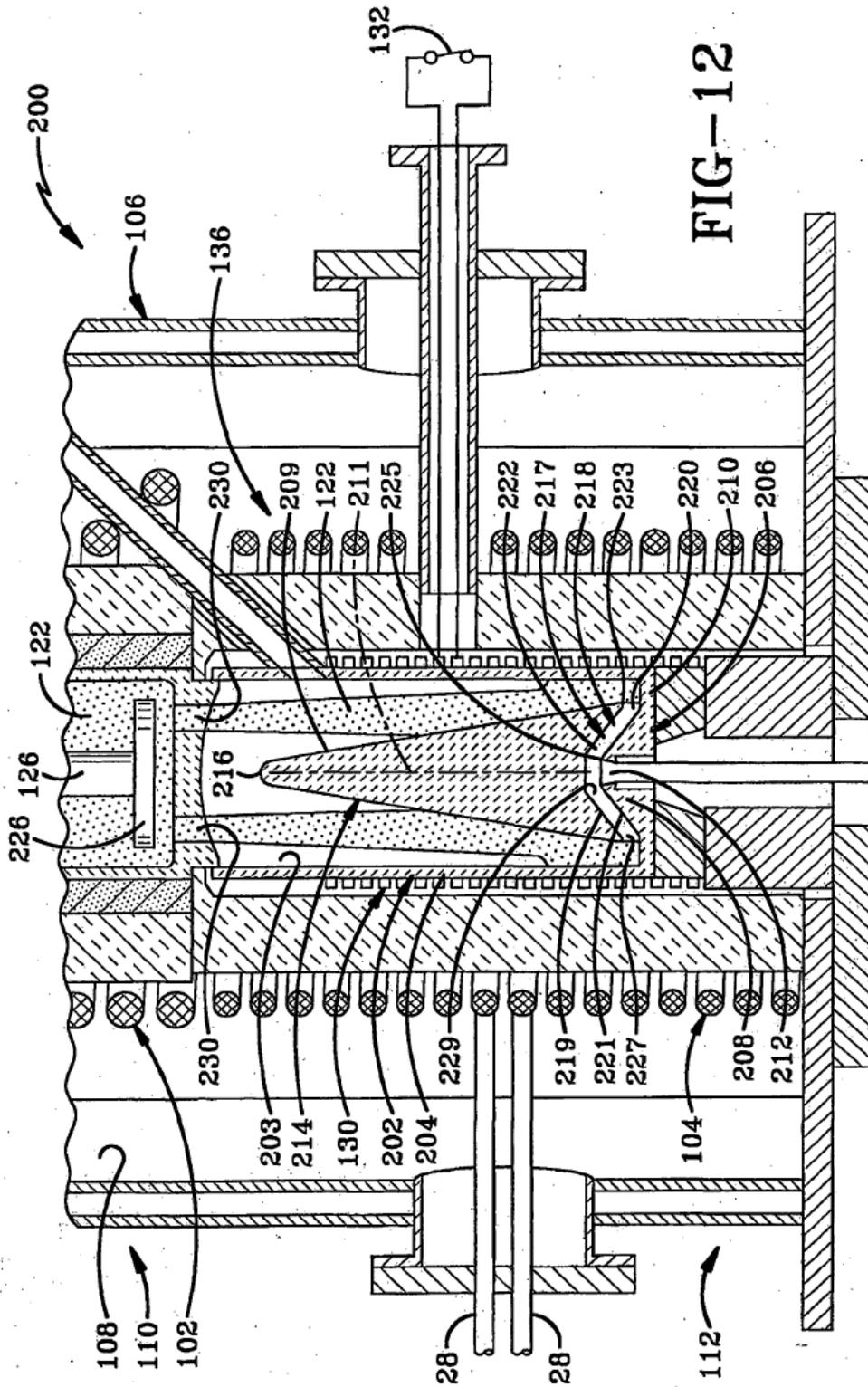
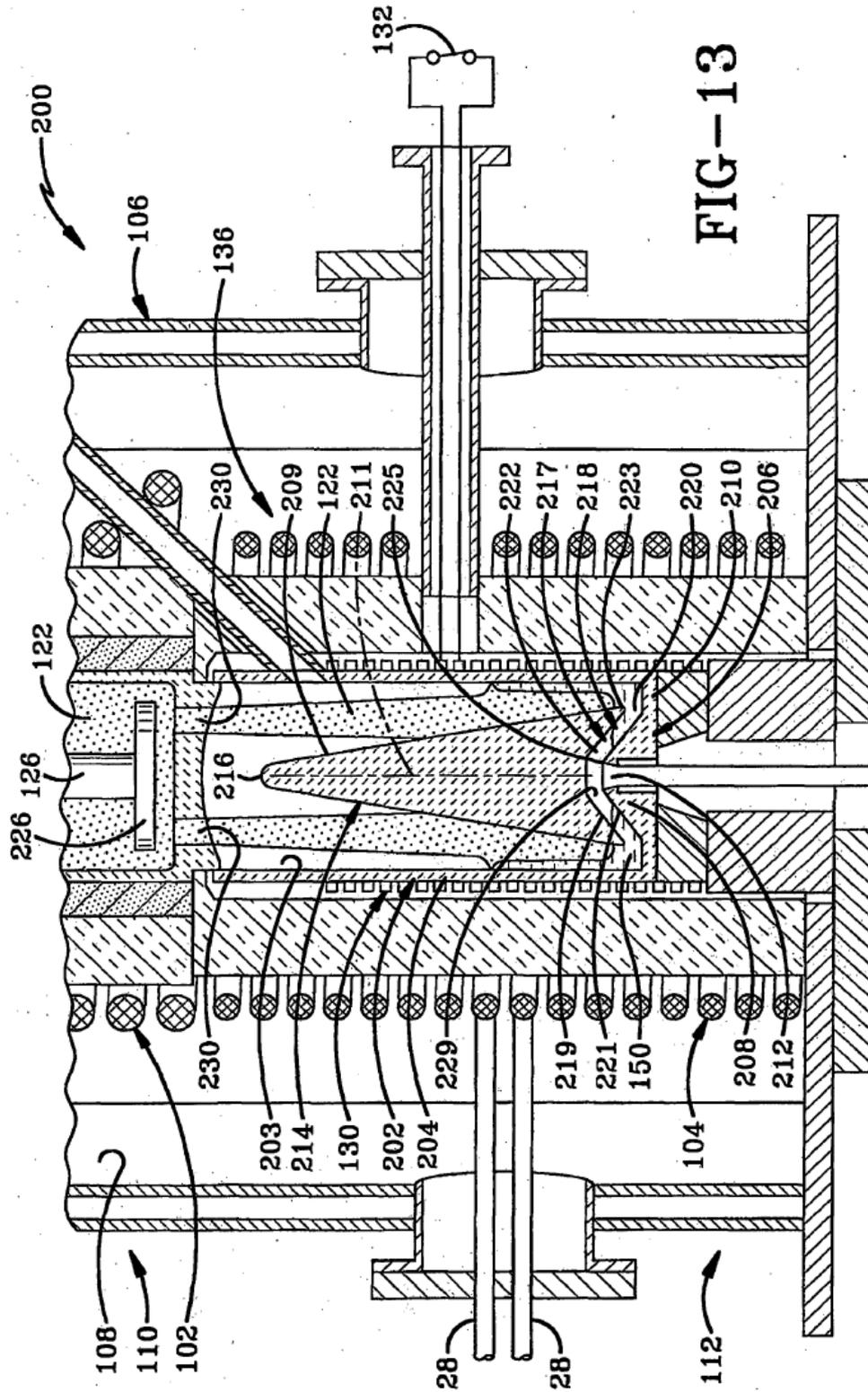


FIG-9







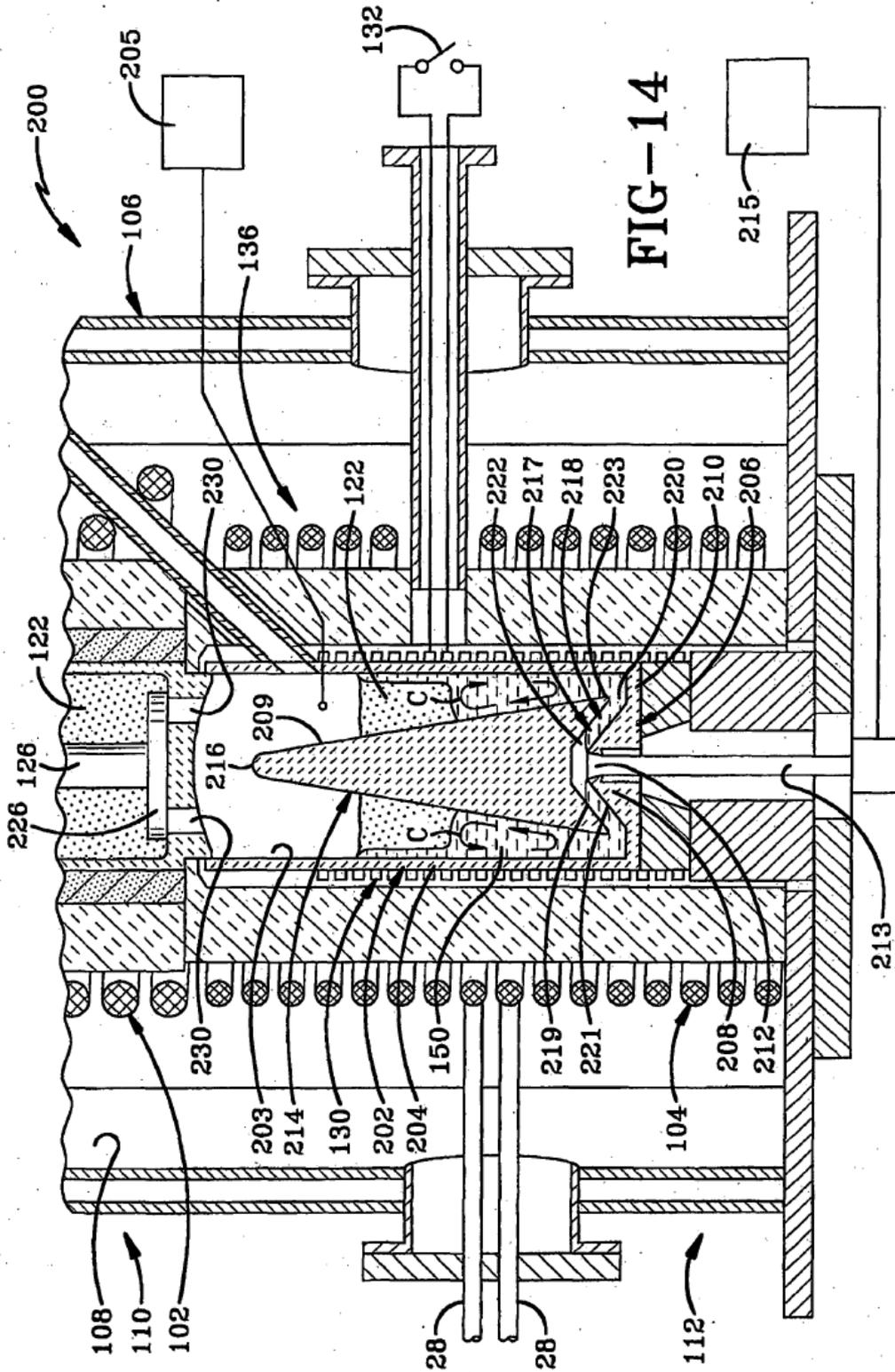


FIG-14

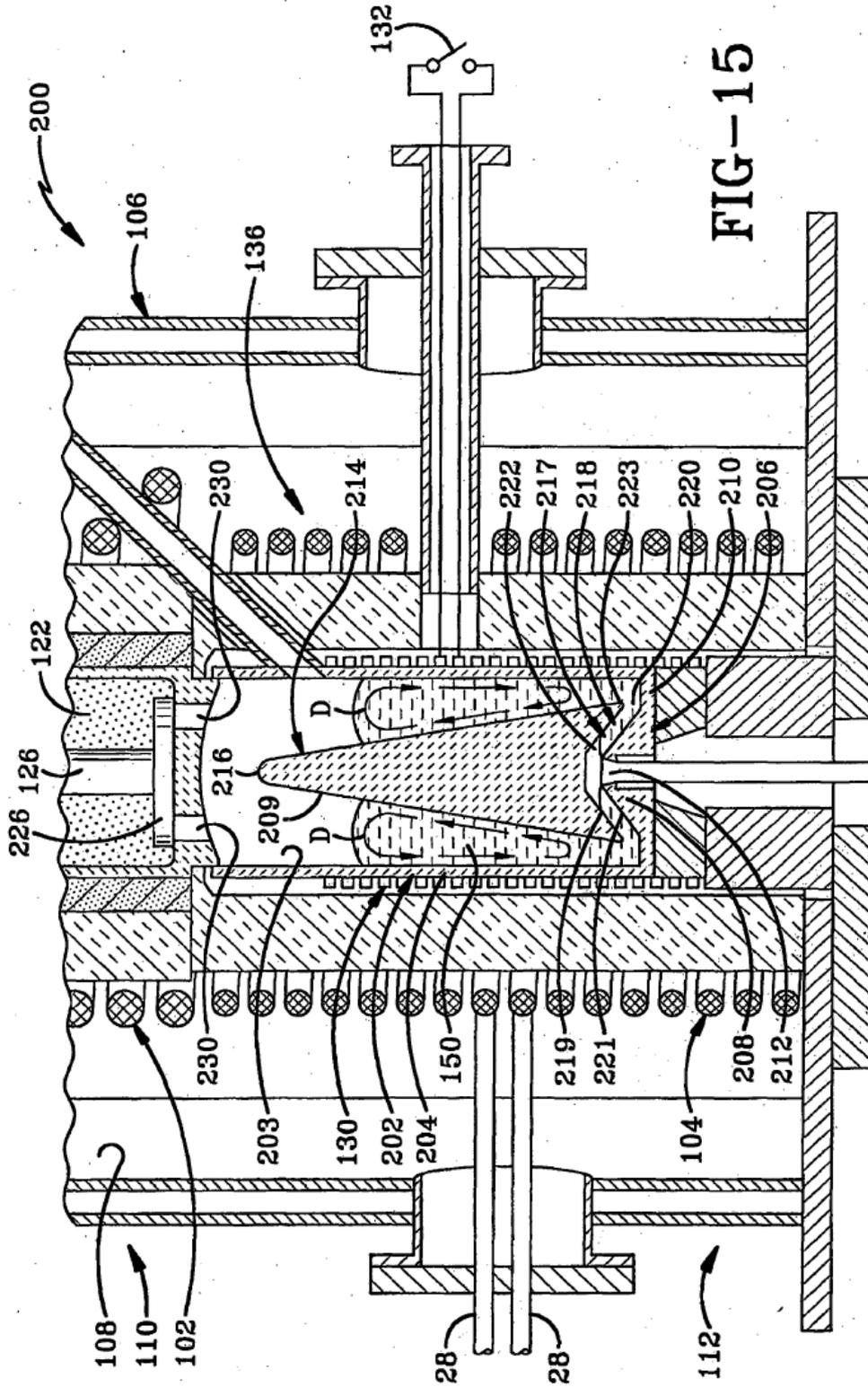


FIG-15

