

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 735 206**

51 Int. Cl.:

C25B 11/02 (2006.01)

C25B 11/04 (2006.01)

C25B 9/04 (2006.01)

C02F 1/463 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.05.2017 E 17171635 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2019 EP 3249079**

54 Título: **Reactor electrolítico**

30 Prioridad:

27.05.2016 DE 102016109822

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.12.2019

73 Titular/es:

**FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN
FORSCHUNG E.V. (100.0%)
Hansastraße 27c
80686 München, DE**

72 Inventor/es:

**EGNER, SIEGFRIED;
MARIAKAKIS, IOSIF y
CLAUSSNITZER, UWE**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 735 206 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

Reactor electrolítico

5 Los reactores electroquímicos que tienen un cátodo y un ánodo se usan frecuentemente en la ingeniería de procesos. Durante el funcionamiento del reactor se aplica una tensión eléctrica entre el ánodo y el cátodo, de modo que el ánodo se va consumiendo (ánodo de sacrificio). Así, por ejemplo, los documentos DE 10 2010 050 691 B3 y DE 10 2010 050 692 B3 describen un procedimiento y un reactor para recuperar sales de fosfato de un líquido, en donde los electrodos de sacrificio consisten en un material que contiene magnesio.

10 En particular, a partir de un gran número de documentos del estado de la técnica se conoce ya, en el caso de ánodos de sacrificio, configurar el cátodo de manera móvil, de modo que la distancia entre el cátodo y el ánodo se pueda mantener constante.

15 El objetivo de la presente invención es, ahora, proporcionar un reactor electrolítico que comprende dos electrodos de polaridad diferente, en donde al menos uno de los dos electrodos es un electrodo de sacrificio y se compone de un material que contiene magnesio y en donde los electrodos se pueden proporcionar de la forma más económica posible.

20 Este objetivo se logra, de acuerdo con la invención, mediante un reactor electrolítico, en particular para separar fosfato de líquidos que contiene fosfato y recuperar sales de fosfato, que comprende una carcasa, una entrada y una salida para el líquido y dos electrodos de polaridad diferente, que encierran un espacio de reacción entre ellos, en donde al menos uno de los dos electrodos es un electrodo de sacrificio y se compone de un material que contiene magnesio, en donde el electrodo de sacrificio está formado por lingotes trapezoidales que tienen una primera y una segunda superficie, en donde la primera superficie es más pequeña que la segunda superficie y están previstas cuatro superficies laterales, que unen la primera superficie con la segunda.

25 A este respecto, el electrodo de sacrificio se compone preferiblemente de magnesio en bruto. El magnesio se moldea en forma de lingotes trapezoidales como productos semiacabados durante la producción. Al usar los lingotes sin una etapa de mecanizado adicional, los costes del magnesio que se usará en un reactor correspondiente pueden mantenerse relativamente bajos. Los lingotes se denominan alternativamente palanquillas. A este respecto, la recuperación electrolítica de fósforo como fosfato de magnesio y amonio (MAP) cristalizado (estruvita) tiene lugar en ausencia de magnesio en el sustrato de partida de acuerdo con la siguiente fórmula: $Mg^{2+} + NH_4^+ + PO_4^{3-} + 6H_2O \rightarrow MgNH_4 PO_4 \cdot 6 H_2O$ por liberación de iones de magnesio en la superficie de un ánodo de sacrificio de magnesio. El fosfato de amonio y magnesio cristalizado se puede eliminar del líquido.

30 Los lingotes están diseñados de modo que al menos dos longitudes de borde paralelas, aunque preferiblemente las cuatro, de las longitudes de borde de la primera superficie sean más cortas que en la segunda superficie. Estos últimos se denominan, a continuación, lingotes trapezoidales.

40 Los lingotes están dispuestos, para formar una superficie continua, de manera alterna con las superficies primera y segunda hacia el espacio de reacción y se complementan entre sí en cuanto a la forma. En este caso, los lingotes están dispuestos de manera que se apoyan uno contra otro con las superficies laterales preferiblemente largas en caso de bases rectangulares, de tal modo que una superficie lateral que discurre de manera oblicua desde la superficie más grande hasta la más pequeña se complementa por la superficie lateral que discurre desde la superficie más pequeña hasta la más grande de un segundo lingote, de tal modo que, en una vista en planta del electrodo, se obtiene una superficie plana.

45 A este respecto ha de entenderse que una superficie plana o sustancialmente plana significa que se forma una superficie constantemente cerrada u homogénea en una vista en planta y solo menos del 5 %, en particular menos del 2 %, de la superficie total del electrodo no participa en la superficie que se encuentra en un plano. Debido a las superficies laterales que discurren de manera oblicua entre la primera y la segunda superficie, la superficie plana del electrodo es ligeramente más pequeña que la superficie realmente ocupada por los electrodos. Este efecto que ocurre en la región de borde y que también puede ocurrir entre las filas en el caso de lingotes dispuestos en dos filas, no afecta negativamente al electrodo y no se tiene en cuenta para la definición de la superficie plana si la proporción es menor del 5 % y preferiblemente menor del 2 %. La superficie plana debe mantenerse, a este respecto, hasta que se consuma del todo el electrodo.

50 A este respecto, puede estar previsto, de manera especialmente preferente, que los lingotes tengan una dirección longitudinal y estén dispuestos con respecto a su dirección longitudinal transversalmente a la dirección de flujo del reactor. Es decir, los lingotes tienen un borde lateral más largo y un borde lateral más corto con respecto a sus superficies primera y segunda, siendo la dirección del borde lateral más largo transversal a la dirección de flujo del reactor.

65 Alternativamente, se pueden concebir diseños en los que los lingotes estén dispuestos con respecto a su dirección longitudinal en la dirección de flujo del reactor. En principio, puede estar previsto que los lingotes se apoyen en cada

caso uno contra otro con sus superficies laterales que discurren en la dirección longitudinal. En principio, sin embargo, también es concebible que, alternativa o adicionalmente, se conecten otros lingotes a la superficie lateral más corta.

5 A este respecto se prefiere particularmente que ambos electrodos estén configurados del mismo modo como electrodo de sacrificio, y que ambos se compongan de un material que contiene magnesio y, además, preferiblemente, que ambos electrodos estén constituidos por barras trapezoidales que contiene magnesio. Los lingotes pueden estar formados preferiblemente a partir de magnesio en bruto. De esta manera se puede lograr que, al cambiar la polaridad, tanto el electrodo superior como el inferior se consuman por igual, ya que sirven de manera
10 alterna como ánodo y como cátodo. Además, cambiando la polaridad puede lograrse que no se produzcan depósitos sobre el electrodo que sirve en cada caso como cátodo, depósitos que de lo contrario tendrían que eliminarse cada cierto tiempo mediante medios de lavado. Al cambiar la polaridad entre los electrodos, por el contrario, solo se pueden formar pequeños depósitos, que se disuelven de nuevo por el uso posterior como ánodo. De esta manera es posible un control de proceso particularmente bueno y uniforme en un proceso continuo.

15 Además, resulta particularmente ventajoso que un electrodo pueda moverse con respecto al otro electrodo. De esta manera, independientemente del consumo de los electrodos, la distancia entre los dos electrodos siempre se puede mantener constante. Como resultado, el campo eléctrico entre los electrodos es siempre el mismo y se logran tasas de conversión óptimas en el reactor con, al mismo tiempo, un bajo consumo de energía.

20 Es generalmente ventajoso, a este respecto, que uno de los electrodos esté unido, en una carcasa, con una parte inferior de la carcasa y otro electrodo, con una parte superior de la carcasa. A este respecto, resulta particularmente ventajoso, y particularmente sencillo de implementar, que el electrodo, que está previsto en la parte superior de la carcasa, se mueva con respecto al otro electrodo. Si este electrodo no está configurado como electrodo de sacrificio, puede estar hecho, por ejemplo, de acero inoxidable u otro material eléctricamente conductor resistente a la
25 corrosión. A este respecto, es de particular importancia para el control de proceso que una distancia constante entre las superficies de los electrodos sea independiente del consumo de los electrodos. Estas superficies delimitan un canal a través del cual fluye el líquido que se va a tratar. Por tanto, si la geometría del canal y el campo eléctrico presente entre los electrodos (ánodo y cátodo) son constantes, se logran entonces tasas de conversión definidas y
30 muy buenas con un consumo de energía mínimo.

La distancia constante deseada se puede lograr, en una configuración ventajosa de la invención, por que entre las superficies de los electrodos que delimitan el canal puede estar formado al menos un separador eléctricamente no conductor, que puede estar hecho, por ejemplo, de plástico u otro material. Para evitar que los electrodos se ladeen,
35 es generalmente ventajoso proporcionar al menos dos separadores preferiblemente distanciados. Los separadores están dimensionados de modo que la distancia entre los electrodos se mantenga independientemente del consumo de los electrodos. A este respecto, el canal entre los electrodos sirve de espacio de reacción.

40 La distancia puede mantenerse constante por medio de la fuerza de la gravedad, uno o más resortes o uno o más actuadores. Cuando se usa la fuerza de la gravedad, por ejemplo para que el electrodo superior siga al electrodo inferior en una disposición del reactor prevista en el estado operativo, entonces generalmente el electrodo previsto por encima del otro electrodo en la dirección vertical sigue al electrodo inferior. Ahora, si el separador descrito está previsto entre los electrodos, entonces la distancia entre las superficies de los electrodos que delimitan el espacio de
45 reacción siempre se mantiene constante, independientemente del consumo de los electrodos, de una manera muy sencilla y fiable.

En lugar de o como apoyo a la fuerza de la gravedad, también puede estar previsto mover los electrodos mediante fuerza de resorte o con ayuda de actuadores eléctricos, neumáticos o hidráulicos con el fin de compensar el
50 desgaste del material del al menos un electrodo de sacrificio y mantener una distancia constante entre las superficies de los electrodos que delimitan el espacio de reacción.

Si están previstos actuadores para el seguimiento de uno de los electrodos respecto al otro, se puede configurar un control o regulación de la distancia entre los electrodos, con sensores que detectan el consumo o el grosor restante de los electrodos como parte de un circuito regulador. Para ello se pueden utilizar todos los tipos adecuados de
55 sensores disponibles en el mercado.

En principio, aunque no se prefiere, también es posible, de acuerdo con la invención, mover ambos electrodos con el fin de mantener constante la distancia entre los electrodos.

60 La forma más fácil de mantener constante el espacio de reacción o canal entre las superficies delimitadoras de los electrodos es que las superficies de ambos electrodos que delimitan el espacio de reacción sean planas.

Además, se prefiere particularmente que las superficies de los electrodos que delimitan el canal sean rectangulares, lo que significa que está prevista sustancialmente, y a pesar del grosor existente, una forma cúbica para los dos
65 electrodos, en cuyo caso es válido lo mencionado anteriormente de que solo es posible una desviación de la forma cúbica en la región de borde de los electrodos, considerándose forma cúbica una desviación de menos del 5 %, en

particular de menos del 2 % con respecto al área de superficie total respectiva de los lingotes.

5 A este respecto, para poder detectar la marcha del reactor, el proceso y el consumo del al menos un electrodo de sacrificio, pueden estar previstos en el reactor de acuerdo con la invención medios para detectar la posición de los electrodos. Estos medios para detectar la posición de al menos uno de los electrodos pueden ser, por ejemplo, un sensor de posición de cualquier tipo. Este sensor de posición está fijado ventajosamente al electrodo dispuesto de manera móvil en la carcasa del reactor, si hay prevista una. De este modo, el grado de consumo del electrodo de sacrificio o de los electrodos de sacrificio se puede supervisar de forma sencilla y muy fiable.

10 Finalmente, también pueden estar previstos medios para detectar la corriente eléctrica que fluye entre los electrodos y/o la tensión aplicada entre los electrodos. Esto permite una supervisión sencilla y fiable del proceso que tiene lugar en el reactor. Eventuales alteraciones del proceso provocan cambios en la corriente eléctrica y/o en la tensión eléctrica y, por lo tanto, pueden detectarse fácilmente.

15 Es particularmente ventajoso, a este respecto, que el espacio de reacción tenga una sección transversal rectangular en la dirección de flujo y que tenga una sección transversal de flujo constante por todo el espacio de reacción. De esta manera, se puede proporcionar un desarrollo de reacción particularmente uniforme y bueno y, por lo tanto, la reacción se puede desarrollar de manera óptima.

20 El al menos un electrodo, a saber, el electrodo de sacrificio, se compone de un material que contiene magnesio. A este respecto se puede utilizar de manera especialmente preferente magnesio más o menos puro. De manera especialmente preferente, ambos electrodos están formados como electrodos de sacrificio de material que contiene magnesio, en particular magnesio puro.

25 Con el fin de proporcionar una capacidad de puesta en contacto particularmente sencilla de los electrodos, en particular cuando está previsto un electrodo móvil, puede estar previsto que el electrodo se ponga en contacto a través de una tira de contacto flexible o una cadena de contacto flexible, que está en contacto con cada uno de los lingotes. De esta manera, se puede garantizar que cada uno de los electrodos pueda ponerse en contacto de manera segura. Esto puede conducir a problemas, en particular en el caso de elementos del electrodo en forma de
30 lingote, ya que, debido al proceso de fundición de los lingotes, pueden producirse ciertas diferencias de altura de los lingotes.

35 Los lingotes, especialmente los lingotes de magnesio, generalmente no se funden automáticamente en procesos a gran escala, sino a mano o en pequeñas cantidades, por lo que se debe contar con oscilaciones de carga que pueden llevar a que, en un electrodo, no todos los lingotes se pongan en contacto del mismo modo con una placa de contacto. Además, debido al enfriamiento, se produce una cierta contracción, por lo que las superficies de los lingotes dado el caso pueden no ser completamente planas, sino presentar, por ejemplo, una retracción.

40 Debido a la formación de una capa de óxido sobre los lingotes, puede suceder que los potenciales de un electrodo entre los lingotes no se compensen. Por lo tanto, resulta ventajoso que la puesta en contacto tenga lugar del mismo modo en todos los lingotes. Por medio de una cadena de contacto o de una tira de contacto flexible se puede lograr que la tira de contacto o la cadena se apoye sobre todos los lingotes y, por lo tanto, que todos los lingotes se pongan en contacto eléctrico.

45 Otras ventajas y características de la invención se desprenderán del siguiente dibujo.

A este respecto, muestran:

50 la figura 1 una sección longitudinal a través de un lingote de magnesio en la representación a) y, en la representación b), una sección transversal del mismo,

la figura 2 una primera forma de electrodo,

55 la figura 3 una forma de electrodo alternativa y

la figura 4 una disposición de electrodo superior e inferior,

la figura 5 electrodo en vista en planta y

60 la figura 6 una sección a través de los lingotes del electrodo superior con puesta en contacto prevista,

la figura 7 dos representaciones de reactores de acuerdo con la invención.

65 La figura 1 muestra una sección longitudinal a través de un lingote de magnesio disponible comercialmente con una cara superior 1 más pequeña y una cara superior 2 más grande, mostrándose en las figuras a) y b) las superficies laterales 4 y 5 que discurren entre las dos superficies 1 y 2. El lingote es trapezoidal por todas las caras.

La figura 2 permite observar ahora una colocación mutua de los lingotes, de modo que la superficie 1, o la superficie, se dirige de manera alterna verticalmente hacia arriba en la situación de instalación. Al colocar de manera alterna los lingotes cuyas superficies laterales 5 tienen la misma inclinación, se obtiene una superficie plana 10, que sirve en un reactor como delimitación de un espacio de reacción y como superficie de un electrodo. Las inclinaciones de las superficies laterales 4 así como la inclinación de las superficies laterales 5 más externas (designadas aquí con 5a) hacen que la superficie plana en las regiones de borde no se pueda mantener del todo. Sin embargo, la proporción de esta región de borde es inferior al 5 % de la superficie total y, por lo tanto, no ha de tenerse en cuenta, por lo que la superficie de electrodo se puede denominar como superficie plana 10 en su conjunto. Además, también es posible conectar filas adicionales de lingotes entre sí, como muestra la figura 3, de modo que se obtenga un electrodo 12 con una superficie plana 10. En este caso, dependiendo del modo de colocación, en el caso de lingotes trapezoidales en todas sus caras, se obtienen también en la región entre las filas regiones que difieren de la superficie plana. Estos puntos están designados a modo de ejemplo con 4a. Sin embargo, de acuerdo con la invención, la totalidad de todas estas regiones constituye menos del 5 % de la superficie total 10 del electrodo 12.

La dirección de flujo de un medio se identifica con el número de referencia 14.

Tales electrodos de magnesio se usan en particular para la separación de fosfato de aguas residuales que contiene fosfato, donde sirven como electrodos de sacrificio en el reactor.

La figura 4 muestra ahora la disposición de dos electrodos 12 y 16, en donde el electrodo superior 16 en la representación de la imagen se puede mover en la dirección de la flecha 18, de modo que el espacio de reacción 20 entre los electrodos siempre permanece del mismo tamaño para proporcionar así caudales y tasas de conversión lo más constantes posibles. A este respecto, los electrodos 12 y 16 se conmutan de manera alterna con respecto a su polaridad, en donde la polaridad se activa a intervalos para reducir los depósitos sobre los electrodos 12, 16. Ambos electrodos 12, 16 sirven como ánodos de sacrificio con una conmutación apropiada, habiendo generalmente depósitos sobre el cátodo, que se disuelven gracias a la conmutación y se pueden separar de la corriente de líquido. La dirección de flujo se identifica aquí nuevamente con el número de referencia 14.

La figura 5 ahora muestra una vista en planta del electrodo inferior 12, en cuyo caso se pueden reconocer las superficies 1 y 2, pero también las superficies laterales 4 y 5 oblicuas. Las regiones laterales inclinadas no deben ascender a más del 2 % de la superficie plana del electrodo.

La figura 6 muestra el electrodo superior 16 en un fragmento, en donde se puede ver que, debido a las diferencias en la fundición, las superficies 1 y 2 pueden estar a diferentes alturas en el lado opuesto a la superficie 10 si la superficie 10 es plana, de modo que la puesta en contacto sobre una placa resulta difícil de conseguir. La puesta en contacto para conmutar la polaridad con respecto al electrodo superior 16 se realiza, por lo tanto, de acuerdo con la invención, preferiblemente a través de una tira de contacto flexible 22, por ejemplo en forma de una cadena de eslabones, de modo que cada lingote individual entra en contacto con la tira de contacto 22.

De esta manera, se puede lograr una puesta en contacto segura de todos los lingotes.

La figura 7 muestra en las representaciones a) y b) reactores 30 de acuerdo con la invención, mostrando la figura 7a una sección a través de un espacio de reacción 20 con una vista del electrodo 12 según la figura 5. El líquido en este caso fluye a través de la entrada 32 hacia una antecámara 34 y alrededor de una pared de mamparo 36, prevista de tal manera que todo el flujo se guía alrededor de la pared de mamparo 36 y que sirve para homogeneizar el flujo. Luego, el líquido pasa al espacio de reacción 20 entre los electrodos 12 y 16. En el espacio de reacción 20, los electrodos 12 y 16 están previstos en forma de lingotes dispuestos de manera alterna. Después de pasar a través del espacio de reacción 20, el líquido pasa a través de una cámara posterior 38 y allí de nuevo alrededor de un mamparo 40 a través de una salida 42.

La figura 7b muestra ahora un reactor 30' en otro plano de corte, en este caso sin cámara previa ni cámara posterior. Los electrodos 12 y 16 formados a partir de los lingotes se alojan en una carcasa 44 que comprende una parte superior 48 y una parte inferior 46.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Reactor electrolítico, en particular para separar fosfato de líquidos que contienen fosfato y recuperar sales de fosfato, que comprende una carcasa, una entrada y una salida para el líquido y dos electrodos (12, 16) de diferente polaridad, que encierran entre ellos un espacio de reacción (20), en donde al menos uno de los dos electrodos (12, 16) es un electrodo de sacrificio y se compone de un material que contiene magnesio, **caracterizado por que** el electrodo de sacrificio está formado por lingotes trapezoidales que tienen una primera y una segunda superficie (1, 2), en donde la primera superficie (1) es más pequeña que la segunda superficie (2) y cuatro superficies laterales (4, 5) que unen la primera superficie (1) a la segunda (2), **caracterizado por que** los lingotes están dispuestos, para formar una superficie continua (10), de manera alterna con la primera (1) y con la segunda superficie (2) hacia el espacio de reacción (20) y se complementan entre sí en cuanto a la forma.
- 10
- 15 2. Reactor según la reivindicación 1, **caracterizado por que** los lingotes tienen una dirección longitudinal y están dispuestos con respecto a su dirección longitudinal transversalmente a la dirección de flujo (14) del reactor.
3. Reactor según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el espacio de reacción (20) tiene una sección transversal rectangular en la dirección de flujo (14) y tiene una sección transversal de flujo constante por todo el espacio de reacción (20).
- 20 4. Reactor según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** un electrodo (16) se puede mover con respecto al otro electrodo (12), de tal modo que la distancia entre los dos electrodos (12, 16) también es constante a medida que se va consumiendo el al menos un electrodo de sacrificio.
- 25 5. Reactor según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** los electrodos (12, 16) forman una superficie (10) sustancialmente rectangular dirigida hacia el espacio de reacción (20).
6. Reactor según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** los electrodos (12, 16) se pueden conmutar de manera alterna como ánodo y como cátodo.
- 30 7. Reactor según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la puesta en contacto del electrodo (16), en particular preferiblemente móvil, tiene lugar a través de una tira de contacto flexible (22) o una cadena de contacto flexible que están en contacto con cada uno de los lingotes.

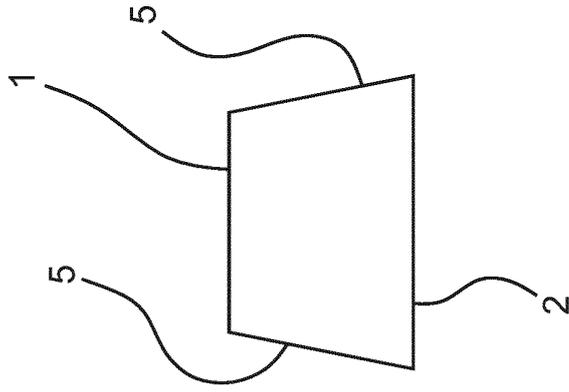


Fig. 1b

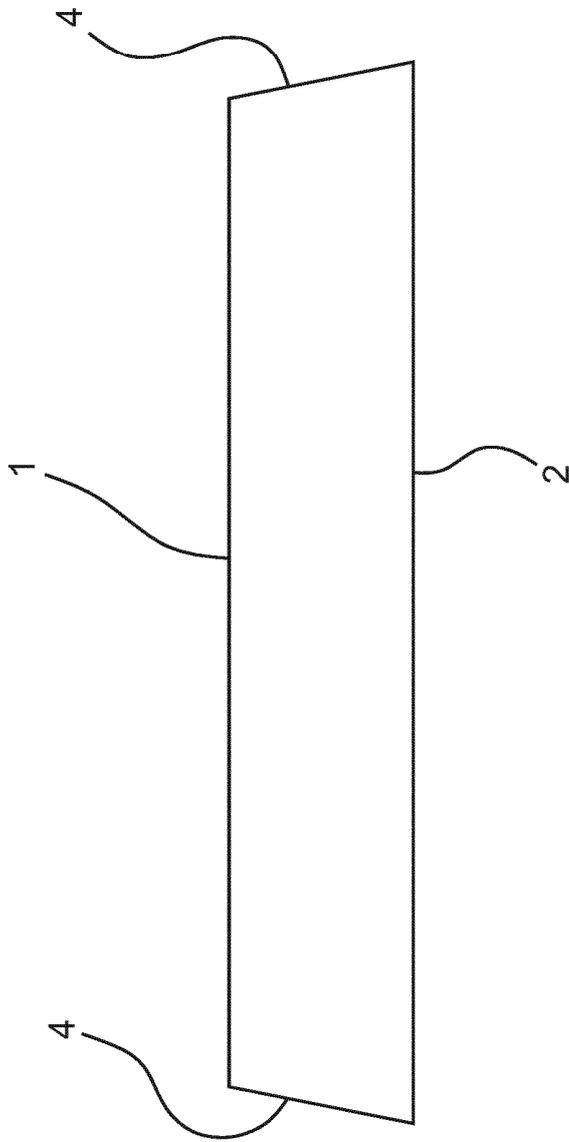


Fig. 1a

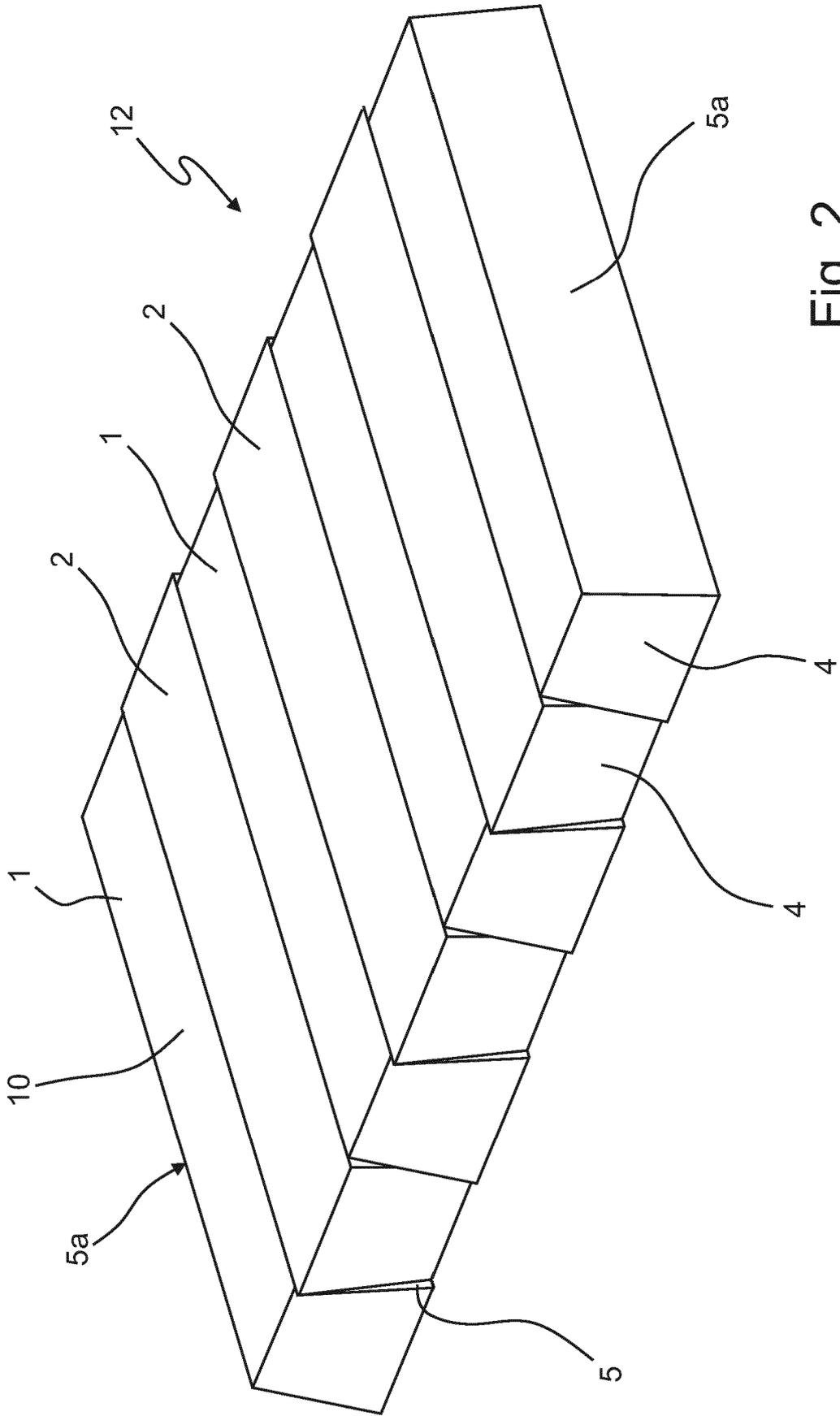


Fig. 2

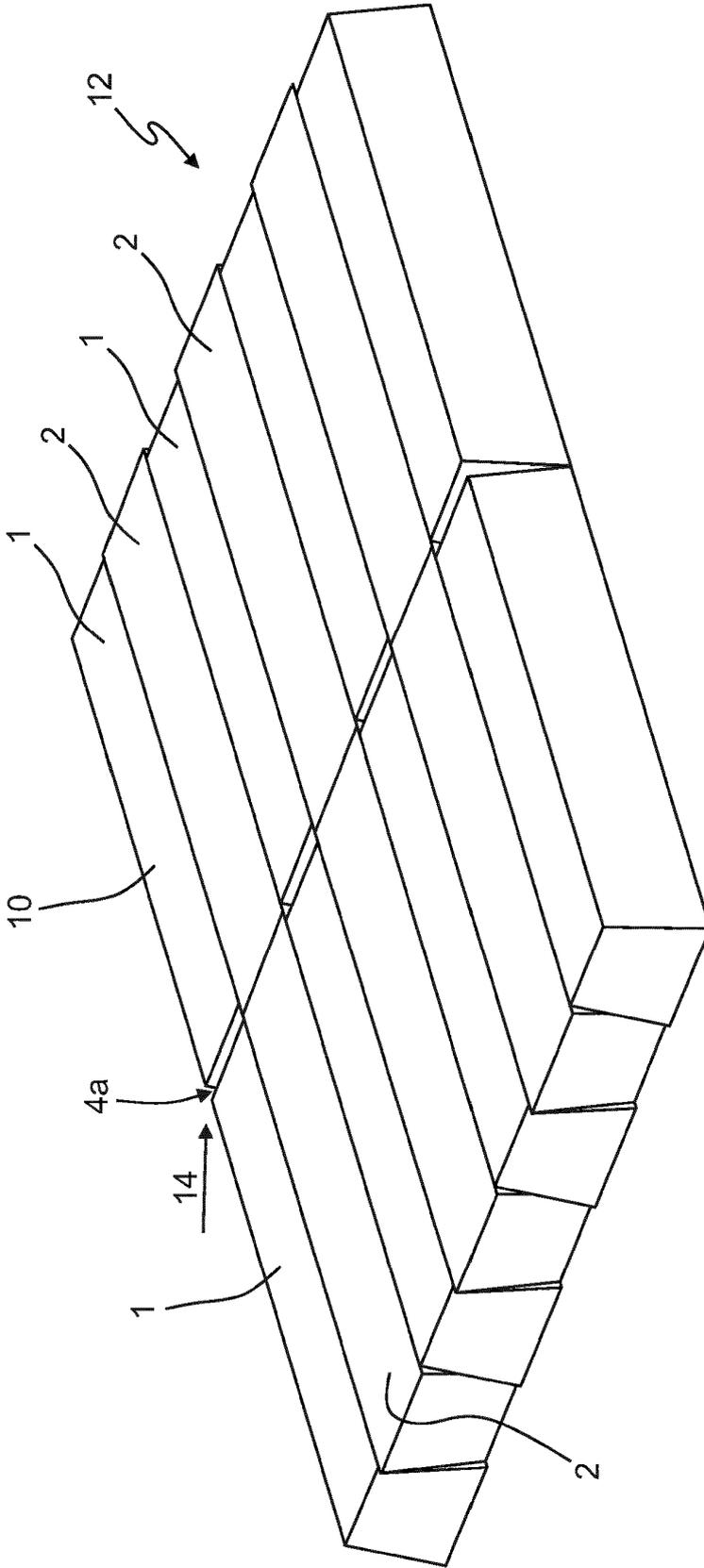


Fig. 3

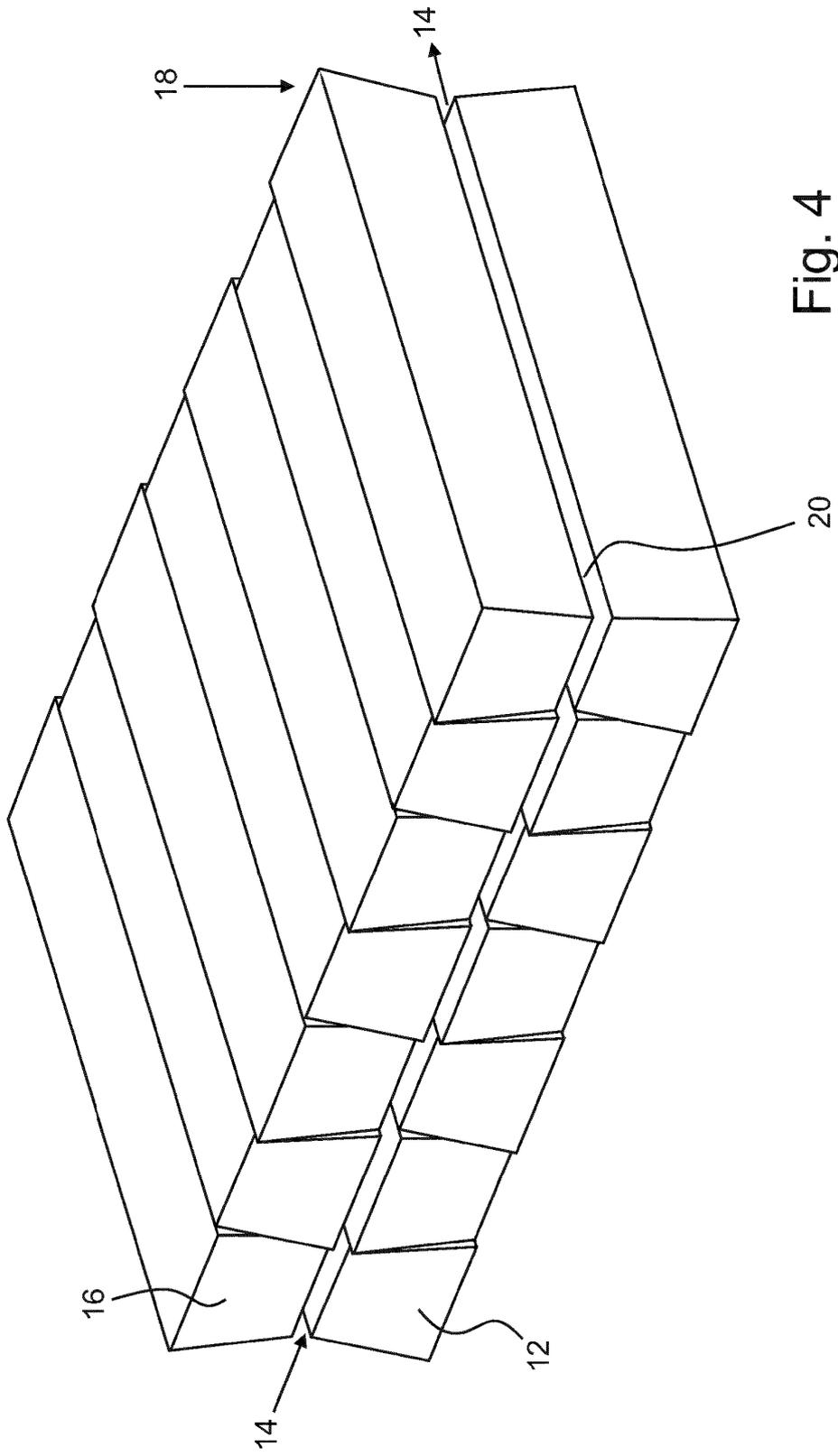


Fig. 4

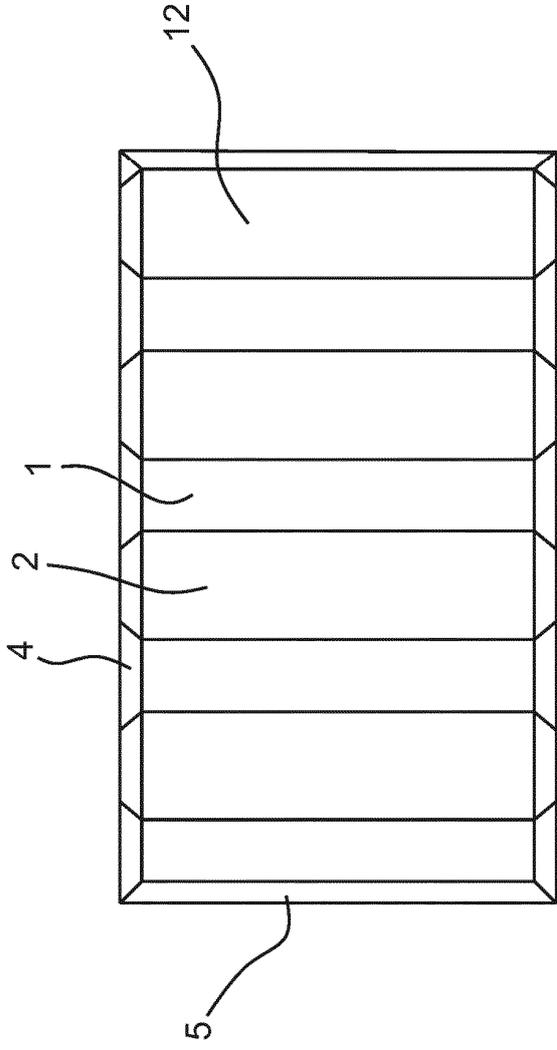


Fig. 5

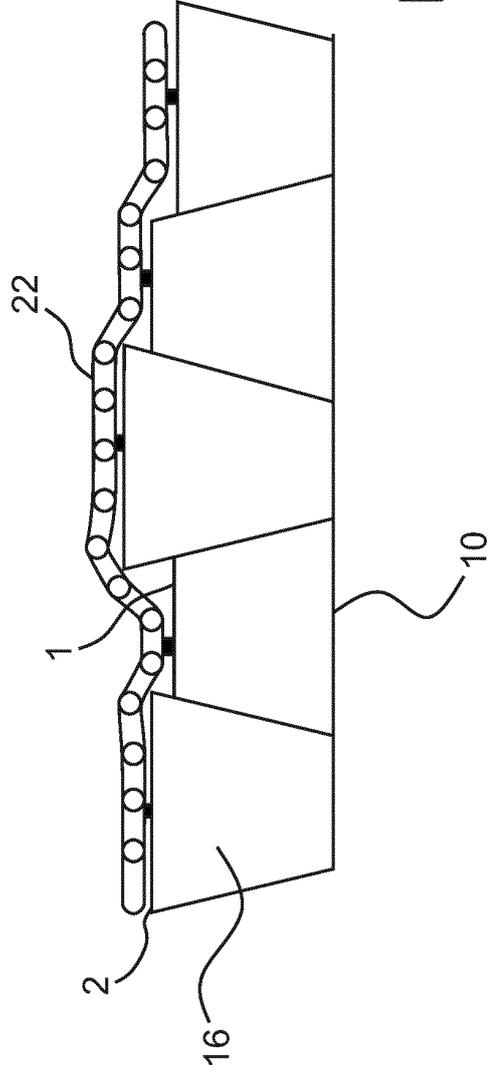


Fig. 6

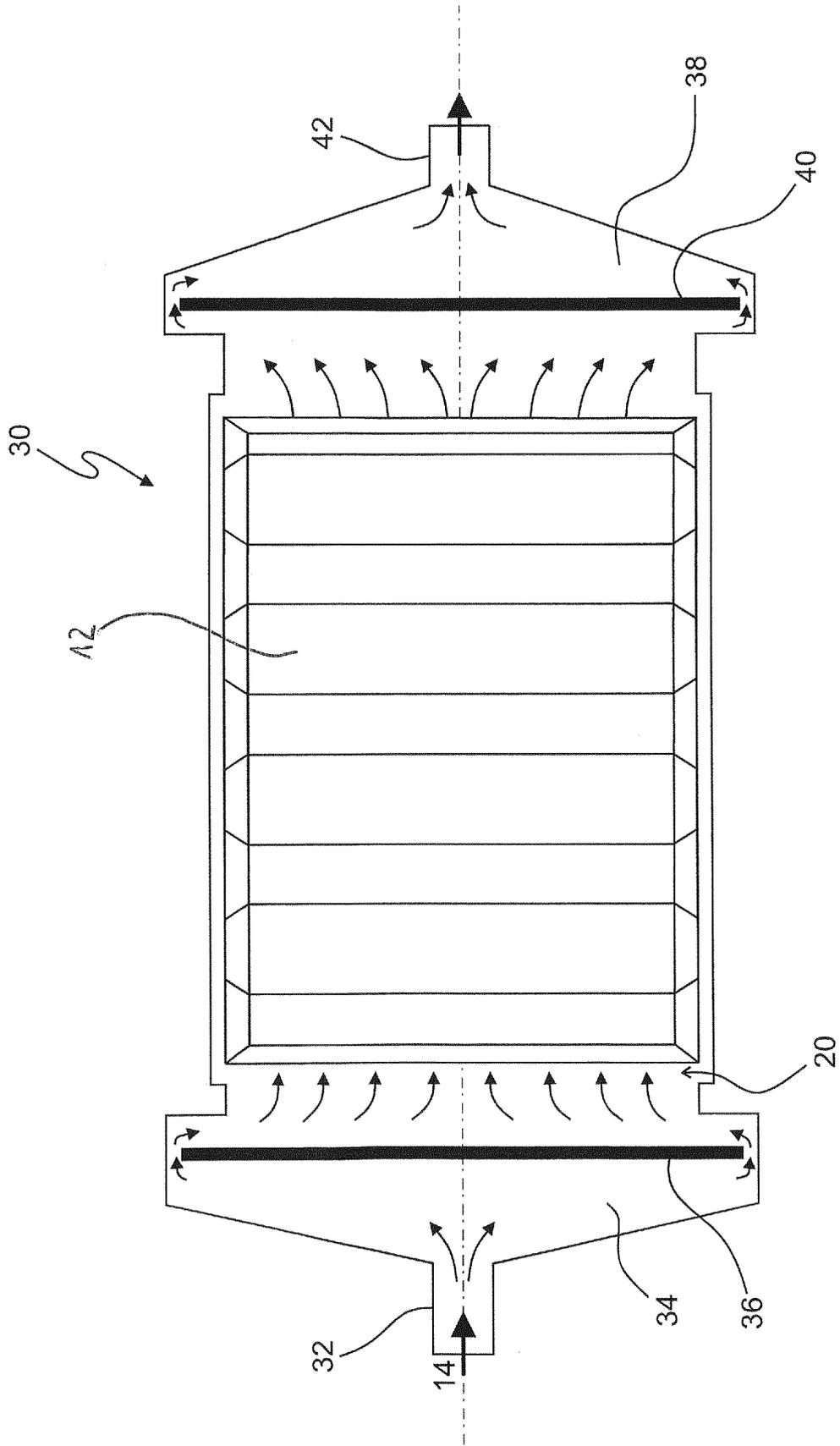


Fig. 7a

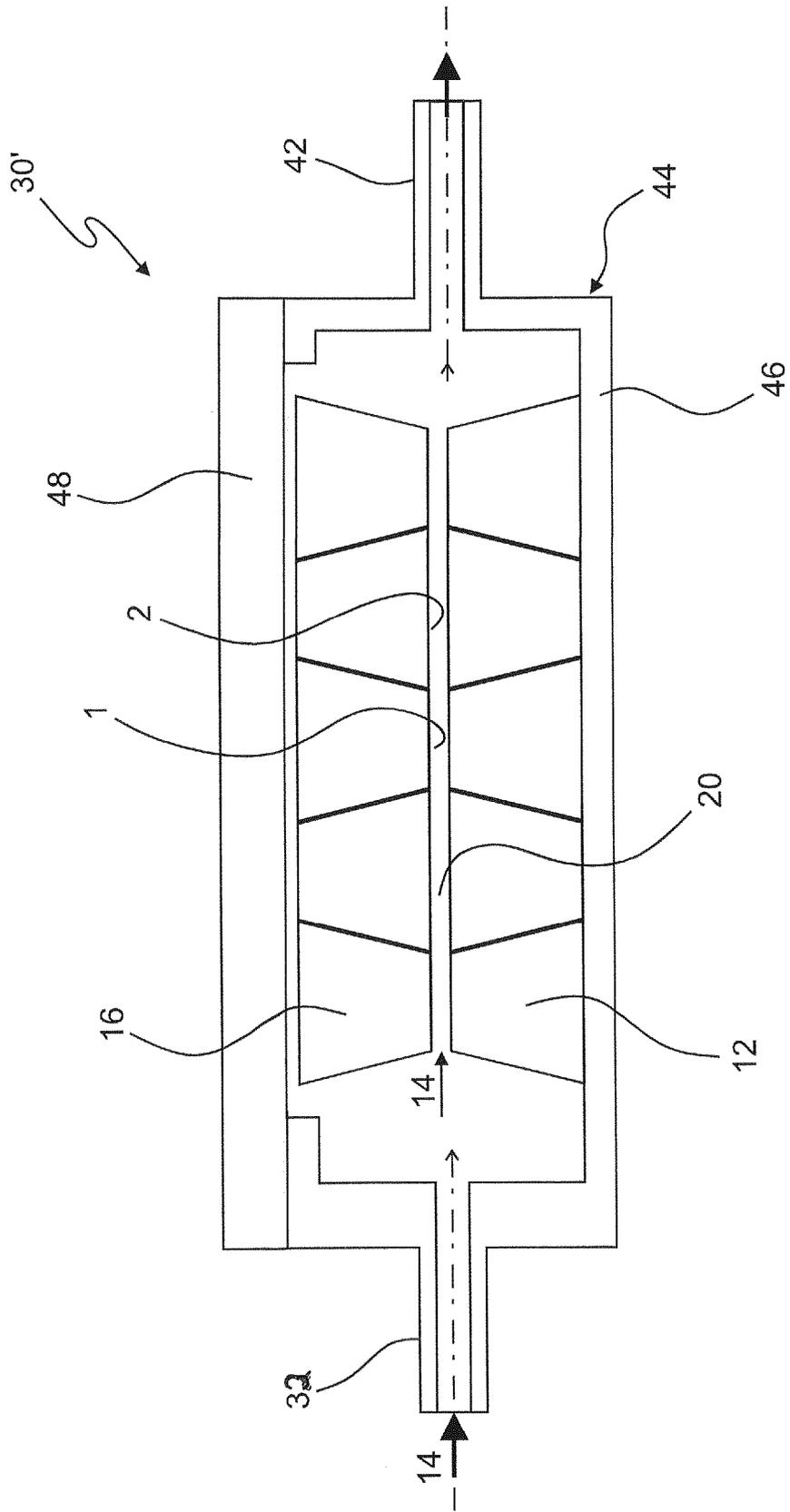


Fig. 7b