

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 627 760**

51 Int. Cl.:

C01B 33/021 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.04.2014 PCT/EP2014/058588**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.11.2014 WO14180693**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.04.2014 E 14721307 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.03.2017 EP 2994420**

54 Título: **Reactor de capa turbulenta y procedimiento para la producción de polisilicio granular**

30 Prioridad:

06.05.2013 DE 102013208274

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

31.07.2017

73 Titular/es:

**WACKER CHEMIE AG (100.0%)
Hanns-Seidel-Platz 4
81737 München, DE**

72 Inventor/es:

**PEDRON, SIMON y
FORSTPOINTNER, GERHARD**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 627 760 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 de capa turbulenta y procedimiento para la producción de polisilicio granular

El invento se refiere a un reactor de capa turbulenta y a un procedimiento para la producción de polisilicio granular.

5 Un granulado de silicio policristalino o, abreviadamente, granulado de polisilicio es una alternativa al polisilicio producido en el procedimiento de Siemens. Mientras que el polisilicio resulta en el procedimiento de Siemens como una barra cilíndrica de silicio, que antes de su elaboración ulterior debe de ser desmenuzada de un modo costoso en cuanto a tiempo y gastos para formar un producto denominado "Chippoly" y eventualmente debe de ser purificada y limpiada de nuevo, un granulado de polisilicio posee propiedades de material a granel y se puede ser emplear directamente como material en bruto p.ej. para la producción de monocristales para la industria fotovoltaica y electrónica.

10 Un granulado de polisilicio se produce en un reactor de capa turbulenta. Esto se realiza por fluidización de partículas de silicio mediante un flujo de gas en una capa turbulenta, siendo calentada ésta a altas temperaturas mediante un dispositivo de calefacción. Por adición de un gas de reacción que contiene silicio, se efectúa una reacción de pirólisis junto a la superficie caliente de las partículas. En este caso se deposita silicio elemental sobre las partículas de silicio y las partículas individuales van creciendo en el diámetro. Mediante la retirada regular de partículas crecidas y la adición de partículas de silicio más pequeñas como partículas de nucleación (en la evolución ulterior del documento denominadas "seed" [semillas]), el procedimiento se puede realizar de un modo continuo, con todas las ventajas que están vinculadas con ello. Como gas de eductos que contiene silicio se describen unos compuestos halogenados de silicio (p.ej. clorosilanos o bromosilanos), monosilano (SiH_4) así como unas mezclas de estos gases con hidrógeno o con otros gases inertes, por ejemplo nitrógeno. Tales procedimientos de deposición y unos dispositivos apropiados para ello se conocen por ejemplo a partir del documento de patente de los EE.UU. US 4786477 A.

15 El documento US 7922990 B2 describe un reactor de lecho fluido que tiene: una envoltura sustentadora de la presión, un tubo de reactor interno a base de un material que tiene una alta transmisión para la radiación térmica, una entrada para partículas de silicio, un dispositivo de entrada para la aportación de un gas de reacción, que contiene un compuesto de silicio en forma gaseosa o de vapor, una disposición de distribución de gas para la aportación de un gas de fluidización, una salida para el gas de reacción que no ha reaccionado, un gas de fluidización así como los productos de la reacción en forma gaseosa o de vapor, que se recogen por encima de la superficie del lecho turbulento, una salida para el producto, un dispositivo de calefacción y un sistema de abastecimiento de energía para el dispositivo de calefacción. Por ejemplo, se divulga el hecho de que en un recipiente de acero resistente a la presión con un diámetro interno de 770 mm se encuentra el tubo de reactor interno, es decir un tubo de cuarzo con un diámetro interno de 600 mm y una longitud de 2.200 mm. Junto al extremo inferior del tubo de cuarzo una placa de cuarzo, provista de orificios, forma el distribuidor de gas para el gas de fluidización. En un circuito central dispuesto con un diámetro de 250 mm penetran a partir de la placa distribuidora de gas en el tubo de reactor interno 4 otros tubos de cuarzo con un diámetro interno de 20 mm y una longitud de 250 mm como dispositivo de entrada para la aportación del gas, o respectivamente de la mezcla gaseosa, que contiene silicio. Por lo demás, la placa de cuarzo está provista de dos orificios para la retirada del producto.

20 El documento de solicitud de patente de los EE.UU. US 2008/0299291 A1 divulga un procedimiento para la producción de un granulado de polisilicio muy puro por deposición de un gas de reacción junto a un granulado de silicio dentro de un reactor de capa turbulenta. El gas de reacción se inyecta en tal caso, en forma de uno o más chorro(s) de gas dirigido(s) verticalmente hacia arriba, dentro de la capa turbulenta débilmente fluidizada mediante un gas de dilución y ciertamente de una manera tal que por encima de las toberas de aportación se forman dentro de la capa turbulenta una o más zona(s) de reacción local(es), en la(s) cual(es) el gas de reacción reacciona casi completamente hasta llegar al equilibrio químico, antes de que él alcance las paredes de la capa turbulenta o la superficie de la capa turbulenta. Preferentemente, el gas de dilución se aporta a través de varias toberas individuales distribuidas lo más uniformemente que sea posible a lo largo de la sección transversal de la capa turbulenta. Con ello, en esta zona débilmente fluidizada se genera un alto grado de turbulencia, con lo cual se puede impedir efectivamente la formación de aglomerados. Esto es importante particularmente puesto que a partir de esta zona se retira desde la capa turbulenta también el granulado de producto depositado. El gas de dilución se conduce a través de unas toberas individuales a la zona inferior de la capa turbulenta, formándose junto a cada tobera una zona local de chorros. Estos chorros individuales se deshacen hacia arriba para establecer una capa turbulenta formadora de burbujas. El gas de reacción se conduce al reactor pasando por una o más conducciones de aportación para el gas de reacción a través del fondo del reactor y circula a una altura definida por encima del nivel de las toberas para el gas de dilución en la capa turbulenta. De esta manera, entre la salida de gas para el gas de reacción y la salida de gas desde las toberas para el gas de dilución se forma una zona de capa turbulenta, que es atravesada solamente por el gas de dilución. También las toberas para el gas de dilución y las conducciones de aportación para el gas de reacción se fabrican a base de un material técnico lo más puro que sea posible, que contamina lo más escasamente que sea posible al granulado de silicio, preferentemente a base de un cuarzo muy puro. Las conducciones de aportación para el gas de reacción se componen en cada caso de una tobera central para el gas de reacción y de

una tobera anular, que rodea a aquella, de manera tal que se forma una rendija anular para la aportación del gas de dilución.

5 En el caso de los dispositivos y procedimientos que se han mencionado al comienzo, se ha puesto de manifiesto que unas condiciones de presión fluctuantes cronológicamente causan en capas turbulentas unas fluctuaciones de los caudales másicos de gas aportados. Esto conduce a inestabilidades en el proceso químico y en la distribución de las temperaturas. También se observó una fluidización interrumpida localmente y con ello se observaron por ejemplo sinterizaciones junto a superficies calientes. Unas condiciones de presión fluctuantes localmente en la capa turbulenta tienen el mismo efecto, en particular cuando se aportan unos caudales másicos de gas a través de varios orificios distribuidos a lo largo de la sección transversal, tales como p.ej. unas toberas.

10 Por motivos constructivos, condicionados por el proceso y cualitativos, en el caso de la deposición de silicio con silanos ($\text{SiH}_n\text{X}_{4-n}$ con X = un halógeno, p.ej. F, Cl, I; n = 0-4) en un reactor de capa turbulenta no se emplean platos distribuidores de gas convencionales, a través de los cuales se pueden aportar todas los caudales másicos de gas. Los orificios, a través de los cuales se aportan los gases a la capa turbulenta, no tienen una suficiente pérdida de presión para conseguir una distribución uniforme cronológica y local de los respectivos caudales másicos.

15 El documento US 7490785 B2 divulga un dispositivo para la producción de partículas de núcleos de silicio a partir de un granulado de silicio, que comprende una cámara de granallado dispuesta verticalmente que tiene una sección transversal cilíndrica con una tobera de granallado situada junto al fondo de la cámara de granallado, mediante la cual se puede introducir en la cámara de granallado una corriente gaseosa de molienda, un clasificador por fuerza de gravedad en contracorriente que sigue directamente a continuación de la cámara de granallado y una entrada para un granulado de silicio, caracterizado por que la cámara de granallado tiene una longitud, que es suficiente para un ensanchamiento de la corriente gaseosa de molienda a lo largo de la sección transversal de la cámara de granallado y la cámara de granallado tiene una sección transversal de circulación más pequeña que la del clasificador por fuerza de la gravedad en contracorriente. Preferiblemente, se trata de un molino de chorros en capa turbulenta. En este caso, la aportación del gas de molienda se efectúa a través de una tobera de chorreo para granallado, ejecutada como una tobera sencilla o como una tobera de Laval, que está dispuesta junto al fondo de la cámara de molienda. El material de alimentación se aporta lateralmente a través de una entrada en la cámara de molienda. En la cámara de molienda, a partir de un gas de molienda y de unas partículas se forma una capa turbulenta, en la cual las partículas aceleradas por el chorro gaseoso chocan con otras partículas y las rompen.

20 El documento US 7850102 B2 divulga un procedimiento para la molienda de materiales sólidos amorfos mediante un sistema de molienda (equipo de molienda), preferiblemente un sistema de molienda que comprende un molino de chorros, caracterizado por que el molino se hace funcionar en la fase de molienda con un medio de servicio, seleccionado entre el conjunto que se compone de un gas y/o un vapor, preferiblemente un vapor de agua y/o un gas que contiene vapor de agua, y por que el recinto de molienda es calentado con el medio de servicio en una fase de calentamiento, es decir antes del funcionamiento propiamente dicho, de tal manera que la temperatura en el recinto de molienda y/o junto a la salida desde el molino está situada en un valor más alto que el punto de condensación del vapor y/o del medio de servicio. El procedimiento se realiza en un sistema de molienda (equipo de molienda), preferiblemente en un sistema de molienda que comprende un molino de chorros, que comprende de manera especialmente preferida un molino de chorros opuestos. Para ello, un material de alimentación, que ha de ser desmenuzado, es acelerado en chorros gaseosos que se expanden con una alta velocidad y es desmenuzado mediante choques de partículas con partículas. Como molinos de chorros se utilizan de manera muy especialmente preferida unos molinos de chorros opuestos en lecho fluido o unos molinos de chorros en lecho denso o unos molinos de chorros en espiral. En el caso de los molinos de chorros opuestos en lecho fluido, que son muy especialmente preferidos, se encuentran en el tercio inferior de la cámara de molienda dos o más entradas para chorros de molienda, preferiblemente en forma de toberas de molienda, que preferentemente se encuentran en un plano horizontal. Como toberas de molienda pueden pasar a emplearse unas toberas de Laval.

30 El empleo de toberas de Laval en conexión con molinos de chorros en capa turbulenta para la producción de partículas de nucleación para la deposición de un granulado de silicio policristalino mediante molienda, ya es conocido por lo tanto en el estado de la técnica. Una tobera de Laval es un órgano dinámico con una sección transversal primeramente convergente y a continuación divergente, efectuándose gradualmente la transición desde una parte a la otra. La superficie de sección transversal en cada lugar ha de ser de forma circular, con lo cual un fluido que circula a su través puede ser acelerado hasta una velocidad supersónica, sin que se llegue a unos choques de consolidación demasiado fuertes. La velocidad del sonido se alcanza exactamente en la sección transversal más estrecha de la tobera.

35 A partir de la problemática descrita precedentemente de las condiciones de presión fluctuantes cronológica y/o localmente en las capas turbulentas en el caso de producción de un granulado de silicio policristalino se estableció el planteamiento del problema del invento.

40 El problema planteado por la misión del invento se resuelve mediante un reactor de capa turbulenta para la producción de polisilicio granular, que comprende un recipiente con un tubo de reactor interno para una capa

- 5 turbulenta con un polisilicio granular y un fondo del reactor, un dispositivo de calefacción para el calentamiento de la capa turbulenta en el tubo de reactor interno, por lo menos un orificio en el fondo del reactor para la aportación de un gas de fluidización así como por lo menos un orificio situado en el fondo del reactor para la aportación de un gas de reacción, un dispositivo para la evacuación del gas de salida desde el reactor, una disposición de aportación para aportar partículas de silicio así como una conducción de retirada para el polisilicio granular, estando antepuesta por lo menos a uno de los orificios en el fondo del reactor, fuera del tubo de reactor interno, una tobera de Laval, que es apropiada para expandir supercríticamente por lo menos un caudal másico aportado.
- Preferiblemente el reactor de capa turbulenta comprende por lo menos dos orificios en el fondo del reactor con una tobera de Laval en cada caso antepuesta.
- 10 Preferiblemente, el reactor de capa turbulenta comprende por lo menos un grupo de orificios en el fondo del reactor, que comprende por lo menos dos orificios, estando antepuesta en cada caso una tobera de Laval al por lo menos un grupo de orificios.
- Preferiblemente, el reactor de capa turbulenta comprende por lo menos un grupo de orificios en el fondo del reactor, que comprende en cada caso por lo menos dos orificios, estando antepuesta a cada orificio en cada caso una tobera de Laval, de manera tal que resulta por lo menos un grupo de toberas de Laval, que comprende en cada caso por lo menos dos toberas de Laval, estando antepuesta a ese por lo menos un grupo de toberas de Laval en cada caso una tobera de Laval.
- 15 Preferiblemente, en el caso del por lo menos un orificio en el fondo del reactor, al que está antepuesta una tobera de Laval, se trata de un dispositivo distribuidor de gas.
- 20 Preferiblemente, en el caso del por lo menos un orificio en el fondo del reactor, al que está antepuesta una tobera de Laval, se trata de un agujero en la placa de fondo, de una válvula o de una tobera.
- El problema planteado por la misión se resuelve también mediante un procedimiento para la producción de un polisilicio granular en un dispositivo conforme al invento o en un dispositivo de acuerdo con una de las formas de realización preferidas antes mencionadas, que comprende fluidizar partículas de silicio mediante un gas de fluidización en una capa turbulenta, que es calentada a través de un dispositivo de calefacción a una temperatura de 850-1.200°C, añadir un gas de reacción que contiene silicio y depositar silicio sobre las partículas de silicio.
- 25 El invento concierne también a un procedimiento para la producción de polisilicio granular en un reactor de capa turbulenta, que comprende fluidizar partículas de silicio mediante un gas de fluidización aportado a través de por lo menos un orificio en el fondo del reactor del reactor de capa turbulenta en una capa turbulenta, que es calentada a través de un dispositivo de calefacción a una temperatura de 850-1.200°C, añadir un gas de reacción que contiene silicio que es aportado a través de por lo menos un orificio situado en el fondo del reactor del reactor de capa turbulenta y depositar silicio sobre las partículas de silicio, siendo expandido supercríticamente por lo menos un caudal másico aportado de gas de fluidización o de gas de reacción.
- 30 En el caso del gas de fluidización se trata preferiblemente de H₂ y en el caso del gas de reacción que contiene silicio se trata preferiblemente de TCS (tetraclorosilano).
- 35 Por lo menos a uno de los orificios en el fondo del reactor está antepuesta una tobera de Laval, para expandir supercríticamente al por lo menos un caudal másico aportado, reinando una sobrepresión en la tobera de Laval.
- Para la distribución uniforme de caudales másicos de gas en capas turbulentas se pueden utilizar también unas placas perforadas con ciertas formas geométricas de toberas, platos de toberas, platos de válvulas o placas aisladamente porosas con una pérdida de presión definida. Mediante la pérdida de presión del distribuidor de gas se amortiguan fuertemente por el lado de abastecimiento las fluctuaciones de presión y de caudales másicos que han inducidas por fluctuaciones de la presión de la capa turbulenta. Por lo demás, se pueden emplear unos diafragmas perforados en las conducciones de aportación de gas, caso de que no sea suficiente la pérdida de presión de los orificios de entrada de gas.
- 40 Una distribución uniforme de uno o más caudales másicos de gas aportados a una capa turbulenta en el transcurso del tiempo y de todos los orificios de entrada no es asegurada en el presente invento por un plato distribuidor de gas solamente por su pérdida de presión, sino por medio de unas toberas de Laval, que preferiblemente se hacen funcionar en el caso de una condición de presión supercrítica.
- 45 En el caso de determinadas aplicaciones de capas turbulentas, por motivos constructivos, supeditados al proceso o cualitativos, no es posible asegurar la necesaria pérdida de presión para la distribución uniforme del gas a través de la placa distribuidora de gas o respectivamente de las válvulas o toberas utilizadas.
- 50

Unas toberas de Laval antepuestas tienen la ventaja de que ellas se pueden utilizar para tales aplicaciones para la uniformización cronológica y local de los caudales máxicos aportados sin intervenir en la forma geométrica de los aparatos de capa turbulenta, de las placas distribuidoras de gas, de las toberas o de las válvulas.

5 La distribución uniforme de por lo menos uno de los caudales máxicos de gas aportados a la capa turbulenta se efectúa por medio de una tobera de Laval antepuesta.

En las toberas de Laval, mediante un estrechamiento de la sección transversal y un subsiguiente ensanchamiento se genera una pérdida de presión definida. Si la diferencia de presiones entre los lados de entrada y de salida se aumenta por encima de una determinada condición (condición de presión crítica), entonces el fluido en la tobera de Laval es acelerado hasta la velocidad del sonido en la sección más estrecha y hasta una velocidad supersónica en el lado de salida. En el caso de una circulación supercrítica, el caudal máxico, cuando permanece igual la presión previa de la tobera, permanece constante, es decir que unas fluctuaciones de la presión en el lado de salida de las toberas de Laval, que están acopladas con el aparato de capa turbulenta, no tiene ninguna influencia sobre el caudal máxico que circula a su través.

15 En el caso de la disposición de las toberas de Laval y de los orificios (por ejemplo agujeros en la placa de fondo, válvulas o toberas) se establecen diferentes posibilidades que se ilustran seguidamente con ayuda de las **Fig. 1-5**.

Lista de los signos de referencia utilizados

- 1 capa turbulenta
- 2 orificio para la aportación de un caudal máxico de gas en la capa turbulenta
- 3 tobera de Laval
- 20 4 caudal máxico del gas de entrada
- 5 caudal máxico del gas de salida
- 6 otros caudales máxicos de gas aportados
- 7 rama distribuidora de gas (con varios orificios)

La **Fig. 1** muestra una forma de realización con un orificio y una tobera de Laval antepuesta.

25 La **Fig. 2** muestra una forma de realización con dos o más orificios, en cada caso con una tobera de Laval antepuesta.

La **Fig. 3** muestra una forma de realización con uno o más grupos de orificios, de los que cada grupo tiene por lo menos dos orificios. A cada grupo está antepuesta una tobera de Laval.

30 La **Fig. 4** muestra una forma de realización con dos o más orificios, estando antepuesta a cada orificio una tobera de Laval, y que se reúnen para formar uno o más grupos con unas toberas de Laval en cada caso antepuestas.

La **Fig. 5** muestra una forma de realización con uno o más dispositivos distribuidores de gas en cada caso con dos o más orificios. A cada dispositivo distribuidor de gas está antepuesta una tobera de Laval.

Ejemplos

35 Los siguientes Ejemplos muestran que el caudal máxico de gas que atraviesa las toberas de Laval es dependiente de la presión de entrada (p_{ein}), del diámetro de entrada, de la composición del gas, de la temperatura y del número de las toberas.

La presión de salida " p_{aus} " ha de escogerse preferiblemente de tal manera que reine un estado supercrítico en la tobera de Laval:

$$\left(\frac{p_{aus}}{p_{ein}}\right) < \left(\frac{p_{aus}}{p_{ein}}\right)_{krit}$$

40 La condición de presión crítica se puede calcular de la siguiente manera:

$$\left(\frac{p_{aus}}{p_{ein}}\right)_{krit} = \left(\frac{2}{\kappa + 1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}}$$

En este caso κ es el coeficiente isoentrópico del gas que circula a través del sistema.

El caudal másico que atraviesa un orificio con la más estrecha sección transversal libre A se puede calcular de la siguiente manera:

$$\dot{m} = A \cdot \sqrt{2 \cdot p_{ein} \cdot \rho_{ein}} \cdot \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\left(\frac{1}{\kappa - 1} \right)} \cdot \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa + 1}}$$

ρ_{ein} es en este caso la densidad del gas en el lado de entrada del gas (lado de presión).

El **Ejemplo 1** constituye el caso de referencia. Los parámetros del caso de referencia así como de los otros Ejemplos se pueden deducir de la **Tabla 1**.

En el **Ejemplo 2** se aumentó la sección transversal de la tobera. Una mayor sección transversal de la tobera con igual presión preliminar significa más caudal másico desplazado a través de ella, lo cual sin embargo no repercute sobre p_{aus} .

En el **Ejemplo 3** la composición del gas se modificó por medio de la tobera de Laval. Se establece que el caudal másico depende en gran manera de la composición del gas, necesitando los gases con una pequeña masa molecular una presión más baja detrás de la tobera de Laval y pudiéndose desplazar a su través un menor caudal másico.

En el **Ejemplo 4** se llevó a cabo una elevación de la temperatura. Esto condiciona una disminución de la densidad del gas y disminuye con ello asimismo el caudal másico.

También una disminución de la presión preliminar de la tobera de Laval conduce a que pueda circular a través de la tobera menos caudal másico de gas.

Tabla 1

	Ejemplo 1	Ejemplo 2	Ejemplo 3	Ejemplo 4	Ejemplo 5
Diámetro más pequeño de una tobera de Laval [m]	0,01	0,024	0,01	0,01	0,01
x de H ₂ [% en moles]	50	50	95	50	50
x de HCl [% en moles]	0	0	5	0	0
x de TCS [% en moles]	50	50	0	50	50
T entrada [K]	500	500	500	900	500
(p_{aus}/p_{ein}) _{crit} [-]	0,572	0,572	0,529	0,575	0,572
p_{ein} [bar]	10,00	10,00	10,00	10,00	5,00
p_{aus} [bar]	<5, 72	<5,725	<5, 29	<5, 75	<2,86
Caudal másico a través de toberas individuales [kg/h]	701	4036	174	520	350
n toberas	3	3	3	3	3
Caudal másico total	2.103	12.108	522	1.560	1.050

El **Ejemplo 6** se apoya en la disposición de la **Fig. 4**, en la que cuatro orificios disponen en cada caso de una tobera de Laval, en cada caso dos toberas de Laval están reunidas para formar un grupo y delante de cada grupo está antepuesta todavía adicionalmente una tobera de Laval.

Se establecen las condiciones de presión y las formas geométricas representadas en la **Tabla 2**

Tabla 2

	Ejemplo 6
Diámetro más pequeño de una tobera de Laval delante de un grupo [m]	0,01
Diámetro más pequeño de una tobera de Laval delante de un orificio [m]	0,0092
x_de H ₂ [% en moles]	50
x_de HCl [% en moles]	0
x_de TCS [% en moles]	50
T_entrada [°K]	500
p_ein [bar]	15
p_centro [bar]	<8,572
p_aus [bar]	<4,889
Caudal másico total [kg/h]	2.102
Caudal másico por grupo [kg/h]	1.051
Caudal másico por orificio [kg/h]	525

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un reactor de capa turbulenta para la producción de polisilicio granular, que comprende un recipiente con un tubo de reactor interno para una capa turbulenta (1) con polisilicio granular y un fondo del reactor, un dispositivo de calefacción para calentar la capa turbulenta en el tubo de reactor interno, por lo menos un orificio en el fondo del reactor para la aportación de un gas de fluidización así como por lo menos un orificio (2) en el fondo del reactor para la aportación de un gas de reacción, un dispositivo para la evacuación del gas de salida del reactor, una disposición de aportación para aportar partículas de silicio así como una conducción de retirada para polisilicio granular, estando antepuesta por lo menos a uno de los orificios en el fondo del reactor, fuera del tubo de reactor interno, una tobera de Laval (3), que es apropiada para expandir supercríticamente por lo menos a un caudal másico (4) aportado.
- 10 2. Un reactor de capa turbulenta de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende por lo menos dos orificios (2) en el fondo del reactor con una tobera de Laval (3) en cada caso antepuesta.
3. Un reactor de capa turbulenta de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende por lo menos un grupo de orificios (2) en el fondo del reactor, que comprende por lo menos dos orificios (2), estando antepuesta al por lo menos un grupo de orificios (2) en cada caso una tobera de Laval (3).
- 15 4. Un reactor de capa turbulenta de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende por lo menos un grupo de orificios (2) en el fondo del reactor, que comprende en cada caso por lo menos dos orificios (2), estando antepuesta a cada orificio (2) en cada caso una tobera de Laval (3), de manera tal que resulta por lo menos un grupo de toberas de Laval (3), que comprende en cada caso por lo menos dos toberas de Laval (3), estando antepuesta al por lo menos un grupo de toberas de Laval (3) en caso una tobera de Laval (3).
- 20 5. Un reactor de capa turbulenta de acuerdo con la reivindicación 1, realizándose en el caso del por lo menos un orificio (2) en el fondo del reactor, al que está antepuesta una tobera de Laval (3), que se trata de un dispositivo distribuidor de gas (7).
- 25 6. Un reactor de capa turbulenta de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 5, realizándose en el caso del por lo menos un orificio (2) en el fondo del reactor, al que está antepuesta una tobera de Laval (3), que se trata de un agujero en la placa de fondo, de una válvula o de una tobera.
- 30 7. Un procedimiento para la producción de polisilicio granular en un reactor de capa turbulenta, que comprende fluidizar partículas de silicio mediante un gas de fluidización aportado a través de por lo menos un orificio en el fondo del reactor de capa turbulenta en una capa turbulenta (1), que es calentada a una temperatura de 850-1.200 °C por medio de un dispositivo de calefacción, añadir un gas de reacción que contiene silicio, que es aportado a través de por lo menos un orificio (2) en el fondo del reactor de capa turbulenta, y depositar silicio sobre las partículas de silicio, siendo expandido supercríticamente un caudal másico (4) aportado de un gas de fluidización o de un gas de reacción, estando antepuesta a por lo menos uno de los orificios (2) en el fondo del reactor una tobera de Laval (3) para expandir supercríticamente por lo menos un caudal másico (4) aportado, reinando una sobrepresión en la tobera de Laval (3).
- 35 8. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, realizándose en el caso del gas de fluidización que se trata de H₂ y en el caso del gas de reacción que contiene silicio que se trata de TCS.
9. Un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 u 8, empleándose un reactor de capa turbulenta de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 6.

Fig. 1

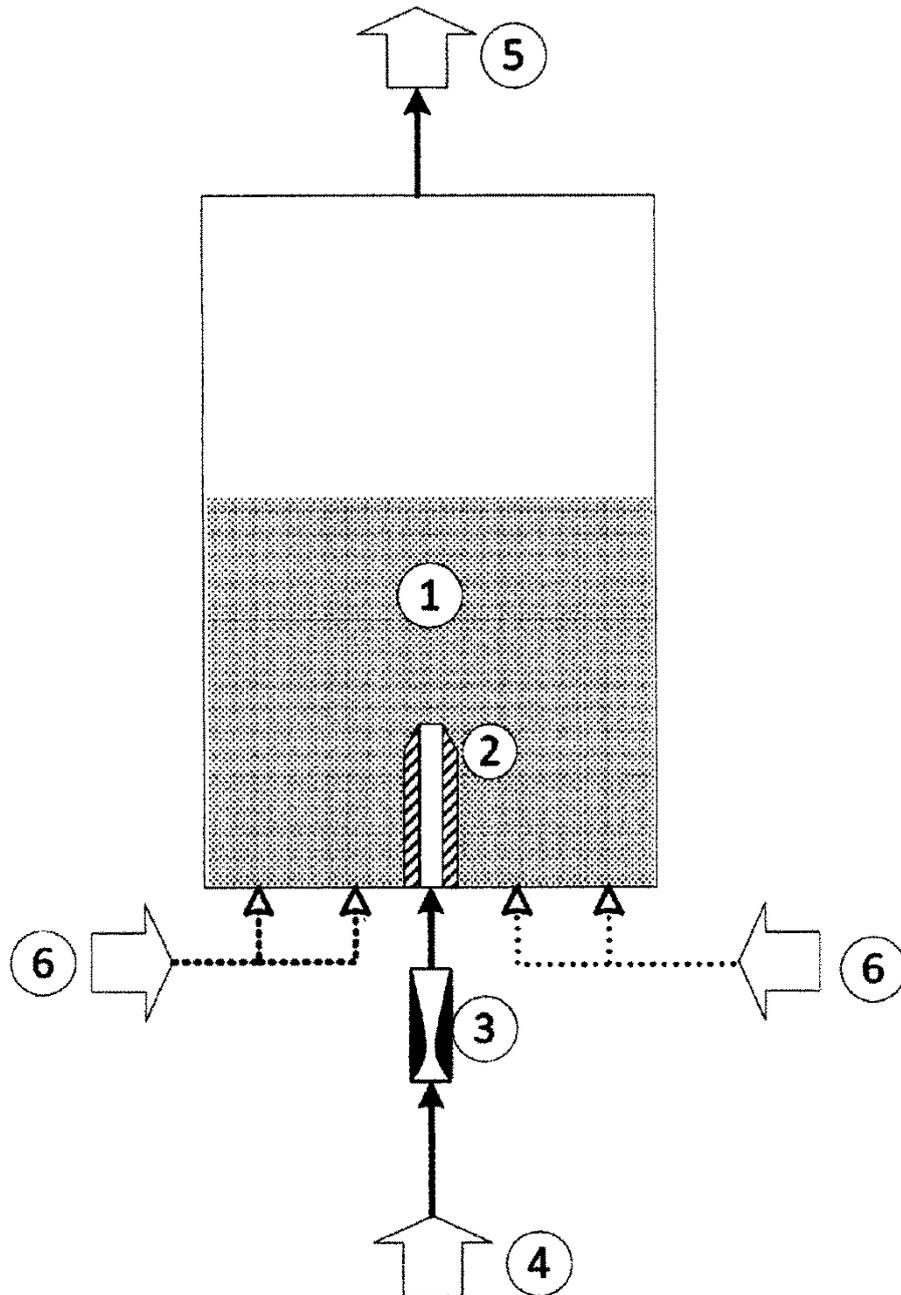


Fig. 2

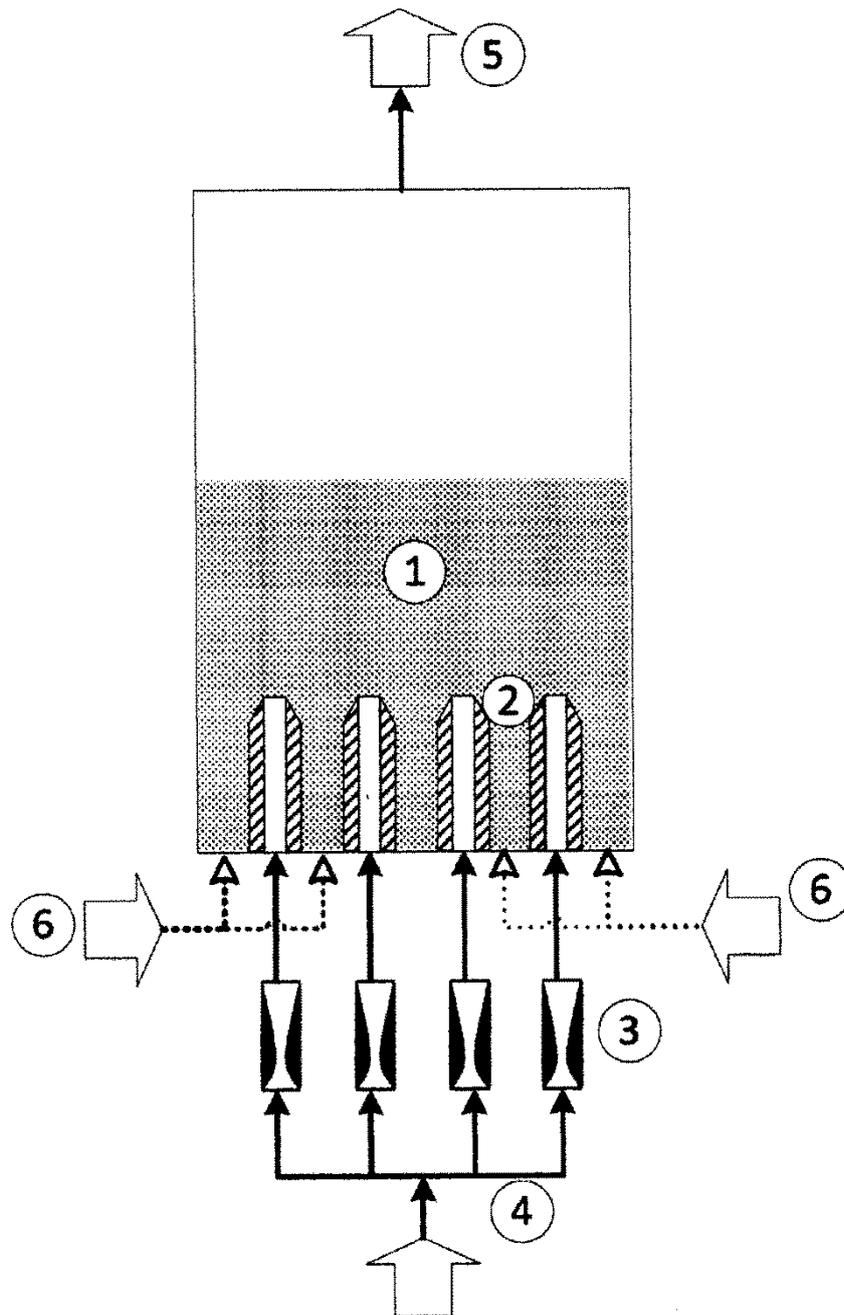


Fig. 3

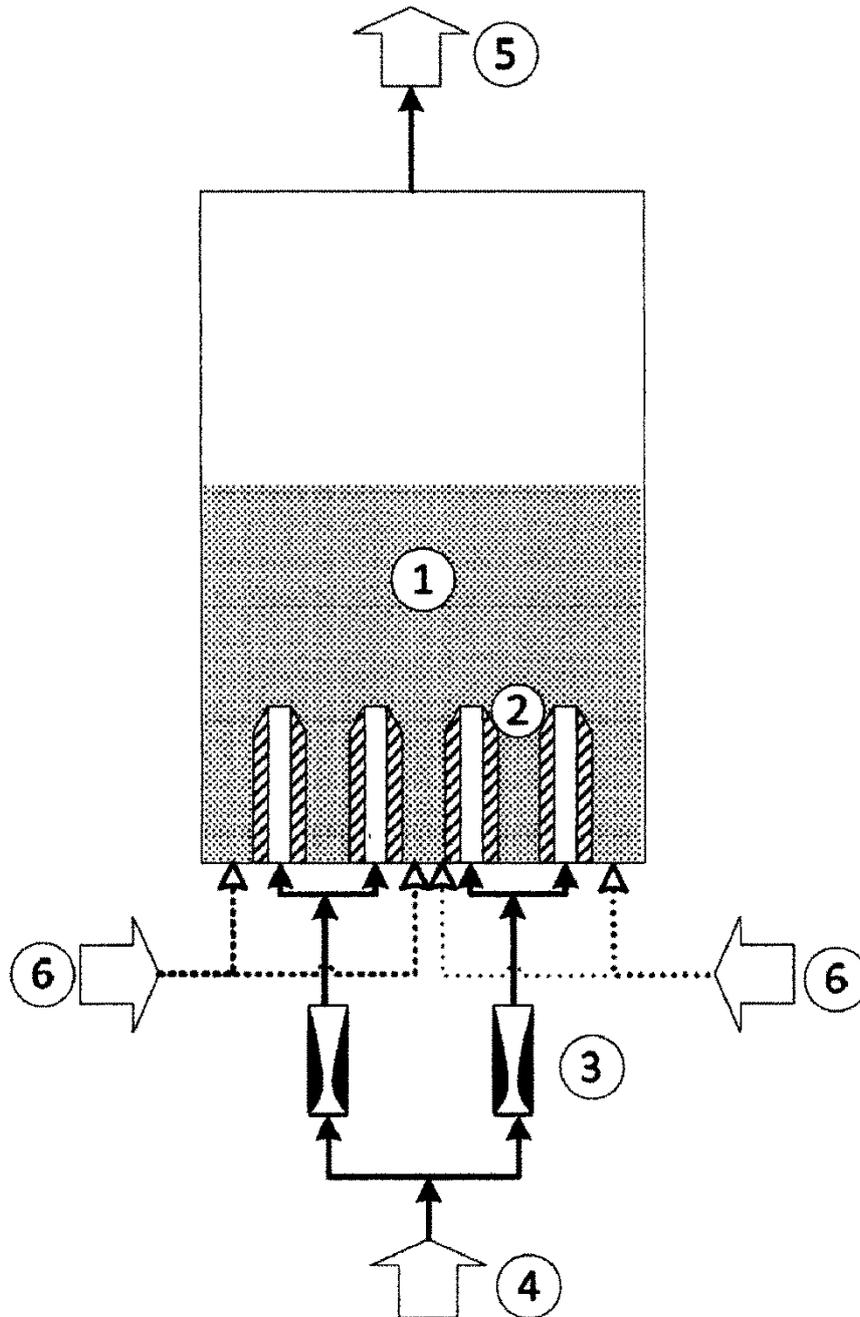


Fig. 4

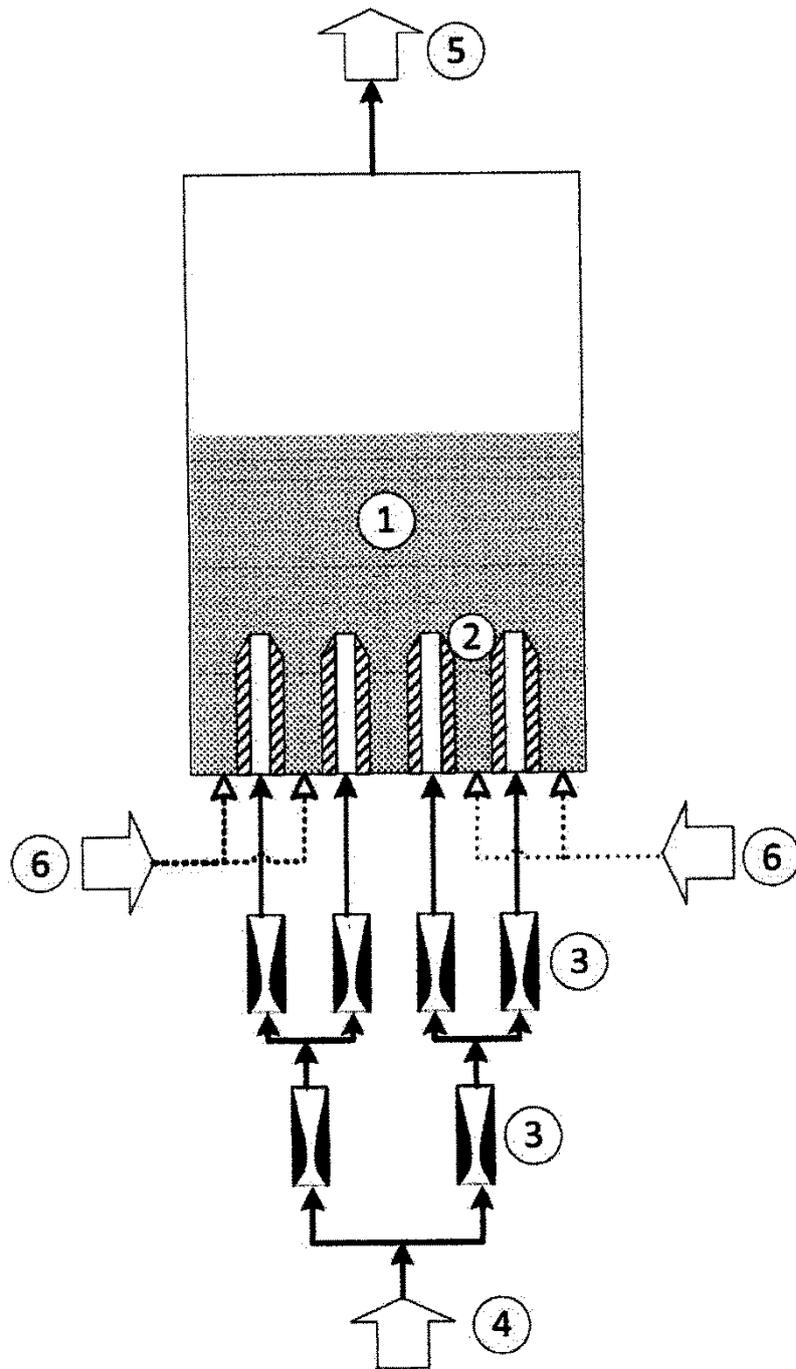


Fig. 5

