



(12) **PATENT**

(19) **NO**

(11) **334080**

(13) **B1**

NORGE

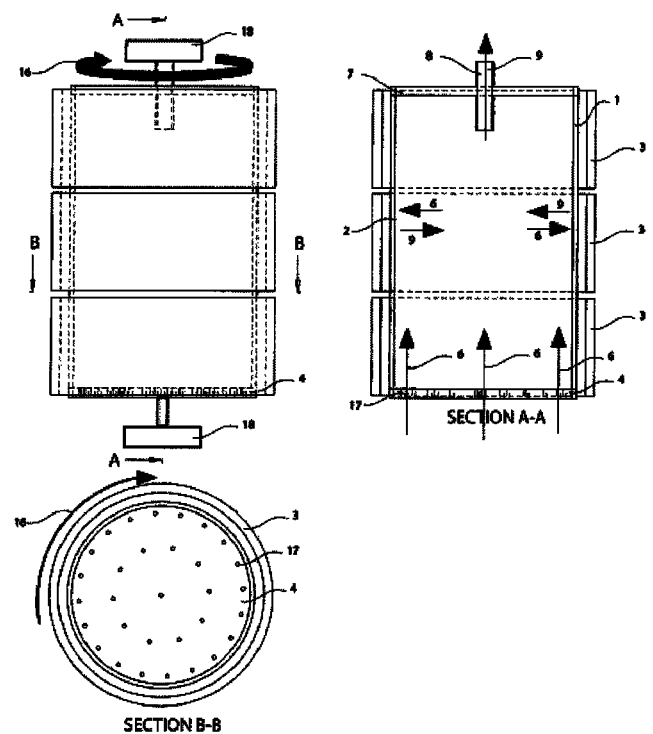
(51) Int Cl.
C01B 33/027 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20100210	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr
(22)	Inng.dag	2010.02.11	(85)	Videreføringsdag
(24)	Løpedag	2010.02.11	(30)	Prioritet
(41)	Alm.tilgj	2011.08.12		
(45)	Meddelt	2013.12.02		
(73)	Innehaver	Dynatec Engineering AS, Rakkestadveien 1, 1814 ASKIM, Norge		
(72)	Oppfinner	Josef Filtvedt, Kråkerudbakken 84, 1825 TOMTER, Norge Werner O Filtvedt, Furukvisten 2, 1825 TOMTER, Norge		
(74)	Fullmektig	Protector Intellectual Property Consultants AS, Oscarsgate 20, 0352 OSLO, Norge		

(54)	Benevnelse	Reaktor og fremgangsmåte for fremstilling av silisium ved kjemisk dampavsetning
(56)	Anførte publikasjoner	US 3865647 A US 4343772 A
(57)	Sammendrag	

En reaktor for fremstilling av silisium, idet minst en hoveddel av reaktoren fortrinnsvis er bygget i silisium eller har et indre belegg av silisium, sli at en silisiumoverflate er den indre overflate mot minst en del av et reaktorvolum, særpregget ved at reaktoren omfatter eller er operativt anordnet til minst en innretning for å sette en silisiumholdig reaksjonsgass for kjemisk dampavsetning (CVD) i rotasjon i reaktorvolumet. Fremgangsmåte for fremstilling av silisium.



REAKTOR OG FREMGANGSMÅTE FOR FREMSTILLING AV SILISIUM VED KJEMISK DAMPAVSETNING.

Oppfinnelsens område

- 5 Den foreliggende oppfinnelse vedrører fremstilling av silisium til solcelle- og elektronikkanvendelse. Nærmere bestemt vedrører oppfinnelsen en reaktor og en fremgangsmåte for fremstilling av silisium.

Oppfinnelsens bakgrunn og kjent teknikk

- 10 Utvikling av nye teknikker for å utnytte fornybare, ikke forurensende energikilder er essensielt for å møte energibehovet i fremtiden. Solenergi er blant de energikildene som har størst interesse i denne sammenheng.

Silisium er en kritisk råvare for både elektronikkindustrien og solcelleindustrien.

- 15 Selv om det finnes alternative materialer til spesielle applikasjoner, vil multikrystallinsk og monokrystallinsk silisium være foretrukne materialer i overskuelig fremtid. Forbedret tilgjengelighet og økonomi ved produksjon av multikrystallinsk silisium vil øke vekstmulighetene for begge industrier, og øke anvendelsen av solceller for fornybar energi.

20

For å fremstille silisium, med tilstrekkelig renhet, for bruk i solceller eller elektronikk brukes det i dag kjemiske dampavsetningsmetoder (CVD-Chemical Vapour Deposition). Forskjellige utgaver av Siemens-prosessen er de mest utbredte former av CVD for fremstilling av polykrystallinsk silisium. Derved blir

25 en silisiumholdig gass, slik som silan eller triklorsilan, og annen gass slik som hydrogengass og argon, ført inn i en beholder og silisium blir avsatt på en motstandsoppvarmet stav. Energi- og arbeidsbehovet er høyt. Nærmere beskrivelse av den mest brukte prosessen er beskrevet i patentpublikasjon US 3,979,490.

30

En annen CVD-metode er pyrolyse i et omvirvlet sjikt (fluidized bed), hvorved silisium kimparkler omvirvels av og holdes i en oppadstigende gasstrøm, idet gasstrømmen omfatter silisiumholdig gass hvorfra silisium kan avsettes på

kimpartiklene. Fordeler med å anvende et slikt omvirvlet sjikt er det meget store overflatearealet hvorpå silisium kan avsettes, hvilket gir mulighet for både økt og kontinuerlig produksjon samt lavere energiforbruk. Imidlertid er en praktisk enkel håndtering for å bringe ut partikler som har vokst tilstrekkelig store meget vanskelig å få til i praksis. Nærmere bestemt er det vanskelig å kontrollere partikkelstørrelsen i en omvirvlet sjikt reaktor, og det er svært vanskelig å kontrollere partikkelfordelingen i reaktoren under drift. Ujevn partikkelfordeling påvirker strømningsbildet som i sin tur påvirker temperaturfordeling og avsetning av silisium. Metoden krever tilsetning av nye partikler utenfra, eller små partikler som dannes i reaktoren under drift. Drenering av store partikler i bunnen av reaktoren kombinert med tilsetning av små partikler som skal øke i størrelse krever samtidig styring av mange parametre, hvilket har vist seg svært vanskelig i praktisk drift over tid. Et typisk problem i CVD-reaktorer er at partikler vokser sammen og etter hvert blokkerer omvirvlingen. Videre kan dekomponering av silan eller halosilan i en oppvarmet omvirvlet sjikt reaktor resultere i avsetninger i form av fint støv som er uønsket da det krever kostbart ekstrautstyr for støvutskilling og etterfølgende smelting, hvilket medfører omfattende håndtering og øket risiko for kontaminering og tap av materiale.

Men det største problem i CVD-reaktorer er vanligvis uønsket avsetning av silisium på reaktorens indre overflater og dyser, slik at dyser og reaktorvolumet gror tett. For å hindre slik uønsket avsetning av silisium må kimpartiklene i en omvirvlet reaksjonssone holdes ved en reaksjonstemperatur mens temperaturen på reaktorvegger og dyser må holdes betydelig lavere, hvilket er ekstremt vanskelig å oppnå, særlig ved oppvarming fra reaktorens utside. Problemet er diskutert i patentpublikasjon US 4,818,495, kolonne 2 linje 40 til kolonne 3 linje 20, og i patentpublikasjon US5,810,934. En teknikk som anvendes for å kunne løsne silisium fra reaktorens vegg og dyser er å belegge overflatene med et slippbelegg som letter den etterfølgende manuelle eller automatiserte fjerning av silisiumbelegg.

En grundig beskrivelse av CVD-metoder med omvirvlet sjikt og tilhørende utstyr og driftsparametre for fremstilling av silisium, inkludert gassblandinger,

temperaturer for avsetning og problemer og begrensninger derved, finnes i patentpublikasjonene US 4,818,495, US 5,810,934, US 434 3772 A og US 386 5647 A, til hvilke publikasjoner det henvises for nærmere informasjon. US 434 3772 A vedrører termisk dekomponering av silan eller andre gasser til flytende silisium. US 386 5674 A beskriver ikke rotasjon av reaksjonsgassen inne i reaktorvolumet.

Det er et behov for alternativ teknologi og særlig teknologi som er fordelaktig med hensyn til ett eller flere av de ovennevnte problemer.

10

Behovet imøtekommes ved en oppfinnelse Dynatec Engineering søkte patent på 29. Mai 2009, ved patentsøknad NO 2009 2111. Oppfinnelsen tilveiebringer en reaktor for fremstilling av silisium ved kjemisk dampavsetning, omfattende et reaktorlegeme som danner en beholder, minst ett innløp for en silisiumholdig gass, minst ett utløp, og minst en varmeinnretning som en del av eller operativt anordnet til reaktoren, særpreget ved at i det minste en hoveddel av reaktorlegemet er fremstilt av silisium.

15

Den grunnleggende ide med reaktoren nevnt ovenfor er at hele eller en vesentlig del av materialet som eksponeres for silisiumholdig gass er av silisium, fordelaktig av høy renhet, slik at avsetning av silisium med hensikt kan styres til å finne sted på nevnte materialer. De kjente problemer med å skille silisium fra andre materialer, samt mange av problemene forbundet med tetting, unngås eller reduseres. Samtidig gis det mange ekstra muligheter til hvorledes reaktoren kan bygges opp og opereres, inkludert hvorledes oppvarming kan oppnås. Men det finnes ingen beskrivelse eller veiledning om spesiell orientering av innløpet til reaktoren i NO 2009 2111, eller spesielle strømningsmønstre utover omvirvlet sjikt, og siktemålet med den foreliggende oppfinnelse er å forbedre reaktoren og fremgangsmåten for silisiumfremstilling ytterligere.

25

30

Oppsummering av oppfinnelse

Siktemålet imøtekommes ved at oppfinnelsen tilveiebringer en reaktor for fremstilling av silisium ved kjemisk dampavsetning (CVD) særpreget ved at reaktoren omfatter eller er operativt anordnet til minst en motor for å sette en silisiumholdig reaksjonsgass i rotasjon, langs en reaktorvegg i et reaktorvolum, for kjemisk dampavsetning av silisium i fast form på overflater i reaktorvolumet.

En alternativ utførelse av oppfinnelsen er en reaktor for fremstilling av silisium ved kjemisk dampavsetning (CVD) særpreget ved at reaktoren har form som en stående sylinder med rundt eller i hovedsak rundt tverrsnitt, sideveggene er fremstilt av silisium av metallurgisk kvalitet eller renere, og ett eller flere innløp er anordnet skrått i en bunn, slik at innført silisiumholdig gass føres i en skruelinjeformet bane opp langs veggen mot et utløp i toppen av reaktoren, idet orienteringen av innløpet og gassen inneholder en retningskomponent parallelt med sylinderaksen og en retningskomponent parallelt med omkretsen av den indre sylindriske vegg.

Reaktoren omfatter en innretning for å sette en silisiumholdig reaksjonsgass for kjemisk dampavsetning (CVD) i rotasjon i reaktorvolumet, fortrinnsvis omfattende en motor som roterer reaktoren. I tillegg eller alternativt kan reaktoren omfatte spesielle innløpsarrangementer, slik som flere innløp i en endeplate som roterer med reaktoren, skråstilte innløp og spinnelementer.

Reaktoren er fortrinnsvis med indre overflate rotasjonssymmetrisk om en hovedakse, slik som et stående eller liggende rør med sirkulær tverrsnittsform, for å oppnå et jevnt strømningsmønster. Reaktoren kan sies å ha to hovedutførelser, nemlig stillestående, ikke-roterende reaktor og roterende reaktor. For stillestående reaktorer settes gassen i rotasjon ved motordrift av skrå innløp og/eller spinnelementer, slik at gassen får en tangentiell hastighetskomponent og får en skruelinjeformet bane i reaktorvolumet. For roterende reaktorer brukes en motor eller tilsvarende til rotasjon av reaktoren, mens innløpet kan være stasjonært eller det kan rotere med reaktoren, og innløpet kan eventuelt anordnes skrått eller med spinnelement. Den mest foretrukne utførelse er generelt en roterende reaktor uten kimpantikler eller

omvirvlet sjikt men med innløp som roterer med reaktoren, idet et svært laminært strømningsmønster derved kan oppnås, hvilket medfører en svært fordelaktig og overraskende teknisk effekt. Det oppnåelige svært laminære strømningsmønster medfører en svært høy konsentrasjon av silisiumholdig reaksjonsgass mot reaktorveggen, eller nærmere bestemt sideveggen derav, og avsetning av silisium styres til med hensikt å finne sted på reaktorveggen slik at reaktoren i større eller mindre grad vokser igjen av avsatt silisium. Den mest silisiumholdige reaksjonsgass vil etter en tid med rotasjon av reaktoren derved konsentreres kraftig inn mot reaktorens indre vegg, og nevnte gass og vegg vil ha lik rotasjonshastighet, slik at det ikke oppstår turbulens som forstyrrer strømmingen og separasjonsvirkningen for gassen og derved avsetning av silisium. En reaksjonsgass omfatter typisk hydrogen og silisiumholdig gass, hvor den silisiumholdige gass typisk har tetthet.ca. 16 ganger hydrogengassens tetthet, slik at separasjonsvirkningen på grunn av rotasjonens medførende sentripetalkraft eller sentrifugalvirkning blir svært effektiv og uønskede reaksjoner, slik som dannelse av finpartikler (fines), unngås og avsetningsfronten blir svært jevn. Reaktoren er tilpasset for styrt gjengroing av avsatt silisium, og derfor er minst en hoveddel av reaktoren fortrinnsvis bygget i silisium eller har et indre belegg av silisium, slik som sirkulærsylindriske sidevegger av metallurgisk eller CVD silisium, eller et EFG silisiumrør eller lignende. Nærmere bestemt er reaktoren operativt anordnet til minst en varmeinnretning som med hensikt oppvarmer minst en del av eller hele reaktorveggen for med hensikt å avsette silisium ved CVD på veggen og gro igjen reaktorvolumet med avsatt silisium. Således kan hele reaktoren eller sideveggen derav, som gjengrodd med avsatt silisium, være anvendbar som solcelle- eller elektronikk-silisium. Men også reaktorer uten silisiumvegger som med hensikt oppvarmes, helt eller delvis, er anvendbare, fordi oppfinnelsens tekniske effekt likevel er overraskende bra, særlig for en roterende reaktor.

Reaktorrøret kan lages av andre materialer enn silisium, f. eks. rimelige kvartsrør som kan fjernes i sin helhet etter avsluttet prosess i reaktoren. Avsatt silisium kan smeltes ut av en reaktor uten silisiumvegger eller med kun et EFG silisiumbelegg, med induksjonssmelting eller med en annen varmeinnretning

slik som en egnet ovn, eller kontaminerende veggelementer kan maskineres eller kuttet vekk.

Reaktoren har med fordel form som en stående eller liggende sylinder med
5 sirkulært indre tverrsnitt, en moter for rotasjon av reaktoren er operativt tilkoblet reaktoren, et utløp for silisiumfattig gass er anordnet koaksialt med sylinderaksen i minst en ende, minst en varmeinnretning er operativt anordnet på utsiden eller på innsiden av reaktoren, med eller uten inertgass- og/eller kjølegassbeskyttelse. Reaktoren omfatter med fordel minst en endeplate som
10 roterer med reaktoren, hvilken endeplate er utstyrt med innløp for silisiumholdig reaksjonsgass. Innløpene er anordnet i og i ulik avstand fra rotasjonsaksen, og endeplaten kan for eksempel være tettende og roterbart anordnet til tilførselskammer for reaksjonsgass, eksempelvis er endeplaten en roterbar topp på et slikt kammer.

15

I en fordelaktig utførelse har reaktoren form som en stående sylinder med rundt eller i hovedsak rundt tverrsnitt, sideveggene er fremstilt av silisium av høyverdig eller reneste metallurgisk kvalitet eller renere, og ett eller flere innløp er anordnet skrått i en bunn, slik at innført silisiumholdig gass føres i en
20 skruelinjeformet bane opp langs veggen mot et utløp i toppen av reaktoren, idet orienteringen av innløpet og gassen inneholder en retningskomponent parallelt med sylinderaksen og en retningskomponent parallelt med omkretsen av den indre sylindriske vegg. Med fordel omfatter reaktoren, eller den er operativt plassert i forhold til, en varmeinnretning på utsiden av reaktoren.
25 Varmeinnretningen har fordelaktig form av en skruelinjebane parallelt med en skruelinjebane som innført gass følger på innsiden av reaktoren.

Oppfinnelsen tilveiebringer også en fremgangsmåte for fremstilling av silisium ved dampavsetning i en reaktor, særpreget ved å sette en silisiumholdig
30 reaksjonsgass for kjemisk dampavsetning (CVD) i rotasjon i reaktorvolumet, langs reaktorveggen, ved å operere minst en innretning for å oppnå slik rotasjon, for avsetning av silisium i fast form på overflater i reaktorvolumet.

- Silisium avsettes med hensikt på reaktorveggen ved kjemisk dampavsetning således at reaktorens tverrsnitt i hovedsak gror igjen, hvorpå reaktorens innhold eller reaktorens innhold og reaktorveggen anvendes i videre trinn i en prosess for fremstilling av silisium til solcelle og/eller elektronikkanvendelser. Mest
- 5 fordelaktig roteres reaktoren med en motor, av årsaker som nevnt ovenfor, eventuelt rettes innløpsstrømmen slik at den silisiumholdige gass følger en skruelinjebane langs den indre vegg i reaktoren, fortrinnsvis langs hele reaktorens lengde eller høyde.
- 10 Oppfinnelsen bygger videre på oppfinnelsen ifølge NO 2009 2111, med en reaktor hvor hele eller en vesentlig del av materialet som eksponeres for silisiumholdig gass er silisium, fordelaktig av høy renhet, slik at avsetning av silisium med hensikt kan styres til å finne sted på nevnte materialer. Det nye med denne oppfinnelsen er at den silisiumholdige reaksjonsgassen føres inn i
- 15 reaktoren på en slik måte at gassen får en bane langs veggen på reaktoren, fortrinnsvis en skruelinjeformet bane, mer foretrukket en laminær strømning. Reaksjonsgassen tilføres rotasjon rundt reaktorens senterlinje ved at reaktoren roteres, eller/og gassen føres inn gjennom et skrått oppadgående hull i bunnplata. Dermed får gasstrømmen en hastighetskomponent tangentielt med
- 20 reaktorveggen, slik at den roterer langs veggen inne i reaktoren. Samtidig vil en vertikal hastighetskomponent føre reaksjonsgassen oppover langs veggen. I sin enkleste form er reaktoren en lukket beholder med sylindrisk eller manglekantet form, i hovedsak av silisium, som benyttes til kjemisk dampavsetning på innsiden uten silisium kimpantikler eller omvirvlet sjikt.
- 25 Gasstrømmen føres inn med en stigende vinkel i forhold til horisontallinjen, slik at den får en hastighetskomponent tangentielt med veggen og en hastighetskomponent rettet oppover i reaktoren. Gasstrømmen føres inn med en hastighet slik at den beveger seg langs veggen på reaktoren og oppnår
- 30 rotasjon rundt reaktorens senterlinje. Reaktoren kan stå i et varmekammer, men i tillegg eller i stedet for kan en varmeinnretning være operativt anordnet i, på eller utenfor reaktoren. For at reaksjonsgassen skal opprettholde rotasjonen, varmes reaktoren fortrinnsvis opp med varmeelementer som går langs en

skruelinjebane utvendig rundt reaktoren. På denne måten kan varmen styres slik at avsettingene på innsiden blir slik at det i starten avsettes mest på de stedene på veggen som er nærmest varmeelementene. Avsettingene vil dermed også danne en skruebane som vil hjelpe gassen med å opprettholde spinnet oppover i reaktoren. Avsettingene vil fortsette langs hele veggen, som gradvis får et større areal på grunn av at veggen har fått en skruelinjeformet flate. Avsetningene foregår helt til veggen har grodd igjen så mye at det ikke er mulig eller økonomisk forsvarlig å fortsette prosessen. Fordelen ved å føre gasstrømmen i en skruelinjebane, en heliks, langs veggen, er at den da vil gå en vesentlig lenger vei sammenliknet med hvis den kun stiger rett opp. Dette er gunstig fordi gassen både vil komme i kontakt med et større areal hvor avsetning kan skje og den vil bruke lenger tid fra bunnen til toppen av reaktoren. Dette fører til at det vil være mulig å avsette mer av silisiumet i gassen, slik at utnyttelsen av gassen blir bedre.

15

Et alternativ til å orientere innløpet som beskrevet ovenfor, er å ha anordnet et spinnelement i innløpet, slik som et spinnelement i et sentralt innløp. Å anordne innløpet slik er en foretrukket utførelse dersom ikke skifte mellom ulike innløp kan utføres med liten arbeidsinnsats. Spinnelementer kommer i mange utførelser, med statiske spor og/eller rotor, og anses i denne sammenheng som kjent teknikk og beskrives derfor ikke detaljert.

20

En annen stor fordel ved å la gassen rotere eller følge en skruelinjebane, er at det da oppstår en sentripetalkraft som vil separere reaksjonsgassen. For at avsetning skal kunne skje må det være silisiumholdig reaksjonsgass nær den varme silisiumveggen. Etter at avsetningen har skjedd, vil den gjenværende silisiumfattige gassen være den gassen som ligger nærmest silisiumveggen. For at videre avsetning skal skje må silisiumholdig gass på ny komme i kontakt med veggen. Silisiumholdig gass er tyngre enn restgassen som er igjen etter at silisiumet er tatt ut. Silangass vil for eksempel ha vesentlig høyere egenvekt enn hydrogengass, som er restgassen etter at silisiumet er tatt ut. Ettersom gassen beveger seg oppover i reaktoren vil konsentrasjonen av silisium i

30

gassen avta, fordi silisiumet avsettes på veggen. Men gass med høy tetthet på grunn av silisiuminnhold vil på grunn av tyngden få størst sentripetalaksasjon.

Det oppstår dermed en konsentrasjonsgradient i gassen, med høyest
5 silisiumkonsentrasjon langs reaktorveggen og lavest silisiumkonsentrasjon inn mot senter. Dette fører til at den gassen som gir avsetninger alltid vil være nærmest der avsetningene skjer, noe som gir en høyere avsetningsrate per tidsenhet og bedre utnyttelse av gassen. Restgassen som ligger inn mot senter av reaktoren føres ut av reaktoren gjennom et hull i senter av topplaten.

10

Silisium kan i dag fremstilles ved metallurgiske metoder til en meget fordelaktig lav kostnad og i en renhet som er tilstrekkelig til anvendelse i solceller, i form av silisium av metallurgisk kvalitet. Ved at hovedvolumet eller en hoveddel av vekten av silisium i en tett eller ferdigprodusert reaktor er av høyere renhet
15 enn metallurgisk silisium, vil hele reaktoren med innhold av silisium av høy renhet kunne smeltes ned for omkrystallisering og anvendelse i elektronikkindustrien og/eller solceller med høyere virkningsgrad, idet den gjennomsnittlige renhet vil være tilstrekkelig. Eventuelt kan den ytre del av metallurgisk silisium fjernes på en ikke-kontaminerende måte, for eksempel ved
20 vannskjæring, maskinering eller smelting av nevnte lag dersom kun aller beste renhet er akseptabelt. Eventuelt kan reaktoren fremstilles av silisium av like ren kvalitet som den produserer, hvilken kvalitet er egnet for elektronikkindustrien. Den sterkt forenklede håndtering av en tett eller ferdigprodusert reaktor medfører mindre håndtering og forurensing av silisiumet enn hva som er
25 oppnåelig i dag.

30

Anordningene til oppvarming av reaktoren ifølge oppfinnelsen kan velges blant alle kjente operativt anvendbare varmeinnretninger men omfatter med fordel en koherent eller ikke-koherent varmelyskilde av enhver egnet bølgelengde og
effekt, slik som eksempelvis en mikrobølgekilde, en radiobølgekilde, en kilde til synlig lys, en kilde til infrarødt lys og/eller en kilde til ultrafiolett lys, fortrinnsvis en kilde til infrarødt lys.

Figurer

Noen utførelser av oppfinnelsen illustreres med figurer, hvor

Figur 1 illustrerer stående reaktorer ifølge oppfinnelsen, med rundt eller i
5 hovedsak rundt tverrsnitt,

Figur 2 illustrerer en stående reaktor med en skruelinjeformet varmeinnretning
på utsiden,

Figur 3 illustrerer en utførelse av innløp i en bunn i en stående reaktor, og
10

Figur 4 illustrerer en særlig fordelaktig reaktor ifølge oppfinnelsen.

Detaljert beskrivelse

Det henvises først til Fig.1. Reaktoren er en tett eller tilnærmet tett sylindrisk
15 eller mangelkantet beholder med vegg (1), topplate (7) og bunnplate (4) av
silisium, fortrinnsvis av metallurgisk renhet eller renere. En mangelkantet
beholder vil være satt sammen av rette plater. Reaktoren er omkranset av
varmeelementer (3) som er formet som en spiral eller skruelinjeform rundt
reaktoren, enten hel eller oppdelt i seksjoner. Det kan også utføres som korte,
20 rette elementer som er skråstilt slik at de i sum former en tilnærmet spiral.
Reaksjonsgassen (6) som føres inn gjennom bunnplaten (4), er en
silisiumholdig gass, fortrinnsvis SiH_4 eller SiHCl_3 , som oftest i blanding med H_2 -
gass. Det henvises videre til figurene 2 og 3. Reaktorens bunnplate (4) har en
eller flere gjennomgående hull (5) som fungerer som dyser for reaksjonsgassen
25 (6). Hullene kan fortrinnsvis stå på en linje mellom senter av sylindren og
sylinderveggen, slik at nye dyser kan tas i bruk etter hvert som veggen gror
innover. Det vil også være mulig med flere dyser rundt omkretsen. Dysehullene
(5) er utformet på en slik måte at gasstrømmen får både en tangentiell (12) og
en vertikal (13) hastighetskomponent. Dette gjøres ved at hullene går på skrå
30 gjennom bunnplata, sett fra den ene siden, slik som figur 3 viser. Vinkelen til
hullene vil fordelaktig være lik heliksvinkelen, stigningsvinkelen, til
varmeelementene. Dermed vil gasstrømmen få en rotasjon (14) rundt
reaktorens senterlinje og følge innsiden av sylinderveggen (2), samtidig som

- den beveger seg vertikalt oppover. Topplaten (7) har også hull (8) for å slippe ut restgassen (9), som er rester av reaksjonsgassen (6) og i hovedsak består av H_2 , dersom prosessen er tilnærmet ideell. Hullet (8) i topplaten (7) er plassert i senter, slik at den silisiumfattige restgassen (9) slipper ut, mens den
- 5 gjenværende reaksjonsgassen (6) kan rotere langs reaktorveggen (2) helt til så mye som mulig av silisiumet er tatt ut. Det kan også være fordelaktig om hullet (8) er formet som et rør og stikker litt ned i reaktoren. Dette vil kunne gi en sykloneffekt, som vil kunne øke utnyttelsen av reaksjonsgassen ytterligere.
- 10 En gasstrøm med reaksjonsgass (6) føres gjennom hullene (5) i bunnplata (4) med optimal hastighet, fordelaktig med et laminært strømningsbilde, det vil si slik at skruelinjeformet strømming når helt opp til toppen av reaktoren. Reaksjonsgassen (6) kommer inn i bunnen av reaktoren, tangentielt med innsiden av veggen (2) i en vinkel skrått oppover. Gassen vil dermed følge
- 15 veggen (2) og rotere rundt reaktorens senterlinje. Silisium avsettes på den oppvarmede veggen (2) og avsettet danner en skruelinjeform (10) på innsiden av reaktorveggen (2) på grunn av varmeelementenes (3) plassering og varierende oppvarming av reaktorveggen. Restgassen (9) vil tilslutt gå ut gjennom hullet (8) i topplata (7).
- 20 Bunnplaten (4) kan utstyres med et konsentrisk hull (11), for vertikal innblåsning av ekstra reaksjonsgass (6). Dette vil kunne bidra til en jevnere avsetning av silisium i reaktorens vertikale retning, særlig dersom strømningshastigheten for den skruelinjeformede strøm er betydelig større enn den vertikale
- 25 innblåsningsstrøms strømningshastighet. Den sentriske gasstrålen av reaksjonsgass vil fanges opp av den roterende reaksjonsgassen (14) og styres ut mot innsiden av reaktorveggen (2). Det vil være fordelaktig om den vertikale avsetningen kan reguleres gjennom tverrsnittet på det sentriske hullet (11) og hastigheten til gasstrålen opp gjennom det sentriske hullet (11).
- 30 På en mangekantet beholder kan bunnplaten i tillegg være utstyrt med vertikale hull (15), plassert i hvert hjørne ved overgangen mellom to sidevegger. Ved å føre en vertikal gasstrøm med reaksjonsgass gjennom hullene (15) en periode i

oppstarten av reaktoren, vil silisium raskt kunne avsettes mellom sideveggene og dermed gjøre reaktoren tilnærmet tett. Dette gjøres før reaksjonsgassen (6) føres inn gjennom skråhullene (5), og begynner å rotere langs reaktorveggen (1). Dermed begrenses lekkasjen av silisiumholdig gass ved et tidlig tidspunkt, idet lekkasje medfører en gradvis tetning av spaltene og en mangekantet beholder får et rundere indre tverrsnitt, hvilket er en fordel for rotasjonen. Utlekket silisiumholdig gass kan imidlertid avsettes på reaktorveggen, særlig en varmelysoppvarmet reaktorvegg.

10 En gasstrøm med reaksjonsgass (6) vil bli eksponert for den varme silisiumveggen (2) og silisium blir avsatt ved CVD. Det vil avsettes mest der veggen er varmest, det vil si i området nærmest varmeelementene. Dermed vil avsetningene danne en skruelinjeform (10) på innsiden av sylinderveggen, tilsvarende skrueformen til varmeelementene. Denne skruen (10) vil hjelpe

15 gasstrømmen med å opprettholde rotasjonen inne i reaktoren. Etter hvert som skrueavsetningene (10) øker i tykkelse vil temperatur forskjellene på silisiumveggen (2) jevne seg ut og avsetningene vil dermed skje jevnere over hele reaktorveggen (1). Hele reaktoren skiftes ut og erstattes med en ny silisiumreaktor når røret har grodd igjen og blitt fylt med rent silisium helt inn til

20 midten av reaktoren, eller så langt som det er økonomisk å kjøre prosessen. Økende veggtykkelse vil gi stadig mindre volum for den silisiumholdige gassen (6), og produksjonen per time vil avta over tid og stoppe helt når røret er tett. Varmeelementene (3) vil fortrinnsvis være varmelyskilder som er plassert utenfor reaktoren og overfører varmen via stråling eller kontaktvarme til

25 reaktorens utvendige overflater. Varmelyskilden vil, som tidligere beskrevet, være formet som en spiral rundt reaktoren eller som et antall skråstilte varmeelementer som til sammen danner en spiral eller skruelinjeform rundt reaktoren. Den kan i tillegg være delt opp i flere seksjoner over hverandre for å kunne kontrollere temperaturen individuelt i høyden av reaktoren. Varmen ledes

30 fra varmelyskilden (3) gjennom silisiumveggen (1) til innsiden av veggen (2) som vil være den varmeste flaten inne i reaktoren og den flaten hvor avsetningen fordelaktig finner sted.

Det henvises til Fig. 4. Reaktoren er en tett eller tilnærmet tett sylindrisk eller mangekantet (tre eller flere kanter) beholder med vegg (1), topplate (7) og bunnplate (4). En mangekantet beholder vil være satt sammen av rette plater. Beholderen er laget av et ikke-kontaminerende materiale, fortrinnsvis silisium med tilstrekkelig renhet slik at hele reaktoren kan brukes videre i prosessen. Reaktoren er dermed kun ment å brukes en gang. Reaktoren er omkranset av varmeelementer (3) enten hel eller oppdelt i seksjoner. Varmeelementene kan eventuelt være stasjonære stavformede elementer. Reaksjonsgassen (6) som føres inn gjennom bunnplaten (4), er en silisiumholdig gass, fortrinnsvis SiH_4 eller SiHCl_3 , som oftest i blanding med H_2 -gass. Reaktorens bunnplate (4) har ett eller flere gjennomgående rette hull (17) som fungerer som dyser for reaksjonsgassen (6). Hullene (17) kan plasseres på uendelig mange måter og utformes på mange forskjellige måter og i forskjellige dimensjoner. Både radielt og tangentielt, avhengig av hvilket strømningsbilde som er ønskelig. Det kan være fornuftig med hull (17) mellom senter av sylinderen og sylinderveggen, slik at nye dyser kan tas i bruk etter hvert som veggen gror innover. Topplaten (7) har også hull (8) for å slippe ut restgassen (9), som er rester av reaksjonsgassen (6) og i hovedsak består av H_2 , dersom prosessen er tilnærmet ideell. Hullet (8) i topplaten (7) er plassert i senter, slik at den silisiumfattige restgassen (9) slipper ut, mens den gjenværende reaksjonsgassen (6) kan bli værende i reaktoren helt til så mye som mulig av silisiumet er tatt ut. Det kan også være fordelaktig om hullet (8) er formet som et rør og stikker litt ned i reaktoren. Dette vil kunne gi en sykloneffekt, som vil kunne øke utnyttelsen av reaksjonsgassen ytterligere.

25

En gasstrøm med reaksjonsgass (6) føres gjennom hullene (17) i bunnplata (4) med optimal hastighet, fordelaktig med et laminert strømningsbilde.

Reaksjonsgassen (6) kommer inn gjennom bunnplaten (4) og beveger seg opp gjennom reaktoren. Ved å sette hele reaktoren i rotasjon (16) vil reaksjonsgassen (6) påføres en sentripetalakselerasjon som presser gassen (6) inn mot veggen i reaktoren. Den silisiumholdige gassen er vesentlig tyngre enn restgassen (9) og vil dermed bli påført den største kraften. Dette fører til at det er den silisiumholdige gassen (6) som blir presset nærmest den oppvarmede

veggen (2) der silisium avsettes, mens restgassen (9) må vike plass og flytte seg nærmere senter av reaktoren. Restgassen (9) vil tilslutt gå ut gjennom hullet (8) i topplata (7). Reaktoren kan eventuelt være liggende, skråstilt eller med innløp i toppen og utløp i bunnen.

5

Reaksjonsgassen (6) påføres sentripetalkrefter ved at hele eller deler av reaktoren roterer (16) med en tilstrekkelig rotasjonshastighet. Dette kan gjøres ved at en motor (ikke vist på figur) setter reaktoren i rotasjon (16). Det er i utgangspunktet kun nødvendig å rotere reaktorveggene (1), men det vil være
 10 fordelaktig om bunn- og topplate (4 og 7) også roterer (16) for å oppnå et best mulig strømningsbilde. Hvis det av konstruksjonsmessige årsaker er mest hensiktsmessig å la varmeelementer (3), måleinstrumenter (ikke vist på figur), isolasjon (ikke vist på figur) og andre elementer som omkranser reaktoren rotere (16) sammen med reaktoren er dette fullt mulig. Gass inn (6) og ut (9) må
 15 dermed gå gjennom spesielle koblinger (18) som tillater rotasjon, for eksempel en svivelkobling. Det meste av elektronikk og måleinstrumenter (ikke vist på figur) kan fordelaktig være trådløst.

Reaksjonsgassen (6) vil oppnå den samme rotasjonshastigheten som
 20 reaktoren, og vil dermed ikke ha noen tangentiell hastighetskomponent relativt til reaktorveggen (2), kun en liten hastighetskomponent rettet oppover langs reaktorveggen (2). Dette gjør at den relative hastigheten mellom reaksjonsgassen (6) og veggen (2) den skal reagere på er liten, noe som er gunstig for å forhindre at det skal oppstå partikler eller fines. Sentripetalkreftene
 25 som oppstår på grunn av rotasjonen (16) vil presse reaksjonsgassen (6) ut mot reaktorveggen (1). Gassen vil separeres ved at de tyngste molekylene blir påført de største kreftene og det blir dermed de som vil legge seg nærmest veggen. De lette molekylene må gi plass til de tyngre og blir dermed plassert nærmere rotasjonsaksen. Dette er svært gunstig i dette tilfellet fordi den
 30 silisiumholdige reaksjonsgassen (6) er vesentlig tyngre enn restgassen (9) hvor det meste av silisiumet er tatt ut. Det vil dermed oppstå en gradient med tung reaksjonsgass (6) nærmest veggen og lett restgass (9) inn mot senter av reaktoren. Dette vil føre til en høyere deponeringsrate, fordi det ved

reaksjonsflaten (2) raskt vil bli tilført ny reaksjonsgass (6). Dette vil mest sannsynlig også øke gassutnyttelsen og silisium konsentrasjonen i avgassen (9) vil gå ned.

- 5 På en mangekantet beholder kan bunnplaten i tillegg være utstyrt med vertikale hull (15), plassert i hvert hjørne ved overgangen mellom to sidevegger. Ved å føre en vertikal gasstrøm med reaksjonsgass gjennom hullene (15) en periode i oppstarten av reaktoren, vil silisium raskt kunne avsettes mellom sideveggene og dermed gjøre reaktoren tilnærmet tett. Dette kan gjøres før reaktoren
- 10 begynner å rotere. Dermed begrenses lekkasjen av silisiumholdig gass ved et tidlig tidspunkt, idet lekkasje medfører en gradvis tetning av spaltene og en mangekantet beholder får et rundere indre tverrsnitt.

- En gasstrøm med reaksjonsgass (6) vil bli eksponert for den varme
- 15 reaktorveggen (2) og silisium blir avsatt ved kjemisk dampavsetning (CVD). Det vil avsettes mest der veggen er varmest, avsetningene kan derfor styres slik at avsetningene blir jevnt fordelt gjennom hele reaktoren. Hele reaktoren skiftes ut og erstattes med en ny reaktor når reaktoren har grodd igjen og blitt fylt med rent silisium helt inn til midten av reaktoren, eller så langt som det er økonomisk
- 20 å kjøre prosessen. Økende veggtykkelse vil gi stadig mindre volum for den silisiumholdige gassen (6), og produksjonen per time vil avta over tid og stoppe helt når røret er tett.

- Når reaktoren er blitt så full at det ikke er hensiktsmessig å kjøre prosessen
- 25 videre, stoppes gassinntak, rotasjon og varmetilførsel. Reaktoren føres ut av beholderen med varmeelementene (3) og en ny tom reaktor settes inn, slik at CVD prosessen kan starte opp igjen. Det vil si at det ikke er en kontinuerlig prosess, men skifte kan skje hurtig så produksjonen blir så høy som mulig. Reaktoren som er fylt med silisium vil kunne gå rett inn i den videre prosessen,
- 30 for eksempel inn i en smelteovn. Ved bruk av et annet materiale enn silisium i reaktorveggene (1), bunnplate (4) og/eller topplate (7) må dette materiale fjernes, for eksempel ved maskinering, før reaktoren kan brukes videre i

prosessen. De ytre dimensjonene på reaktoren kan tilpasses den videre prosessen.

- 5 Varmeelementene (3) vil fortrinnsvis være varmelyskilder som er plassert utenfor reaktoren og overfører varmen via stråling eller kontaktvarme til reaktorens utvendige overflater. Den kan være delt opp i flere seksjoner over hverandre for å kunne kontrollere temperaturen individuelt i høyden av reaktoren. Varmen ledes fra varmelyskilden (3) gjennom silisiumveggen (1) til innsiden av veggen (2) som vil være den varmeste flaten inne i reaktoren og
- 10 den flaten hvor avsetningen fordelaktig finner sted. Varmelyskilder kan også anordnes i bunn eller toppflate, beskyttet ved å være koaksialt anordnet i et inert-/kjølegassinnløp, hvilket er særlig fordelaktig og energieffektivt ved at oppvarming skjer direkte på flaten der avsetning av silisium finner sted..
- 15 Den foreliggende oppfinnelse omfatter både reaktorene og fremgangsmåten ifølge de selvstendige patentkrav i enhver operativ kombinasjon med trekk eller trinn som her er beskrevet med ord og/eller illustrert på figurer.

P a t e n t k r a v

1.

Reaktor for fremstilling av silisium ved kjemisk dampavsetning (CVD),
k a r a k t e r i s e r t v e d at reaktoren omfatter eller er
5 operativt anordnet til minst en motor for å sette en silisiumholdig reaksjonsgass
i rotasjon, langs en reaktorvegg i et reaktorvolum, for kjemisk dampavsetning av
silisium i fast form på overflater i reaktorvolumet.

2.

10 Reaktor ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at
reaktoren omfatter eller er operativt plassert i forhold til en varmeinnretning på
utsiden av reaktoren.

3.

15 Reaktor ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at
reaktoren har form som en stående eller liggende sylinder med sirkulært indre
tverrsnitt, en motor for rotasjon av reaktoren er operativt tilkoblet reaktoren, et
utløp for silisiumfattig gass er anordnet koaksialt med sylinderaksen i minst en
20 innsiden av reaktoren, med eller uten inertgass- og/eller kjølegassbeskyttelse.

4.

Reaktor ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at den
omfatter et innløp med et spinnelement.

25

5.

Reaktor ifølge krav 1 eller krav 3, k a r a k t e r i s e r t
v e d at en motor er operativt koblet til reaktoren for rotasjon derav,
reaktoren omfatter minst en endeplate som roterer med reaktoren, hvilken
30 endeplate er utstyrt med innløp for silisiumholdig reaksjonsgass.

6.

Reaktor for fremstilling av silisium ved kjemisk dampavsetning (CVD),
k a r a k t e r i s e r t v e d at reaktoren har form som en
stående sylinder med rundt eller i hovedsak rundt tverrsnitt, sideveggene er
5 fremstilt av silisium av metallurgisk kvalitet eller renere, og ett eller flere innløp
er anordnet skrått i en bunn, slik at innført silisiumholdig gass føres i en
skruelinjeformet bane opp langs veggen mot et utløp i toppen av reaktoren, idet
orienteringen av innløpet og gassen inneholder en retningskomponent parallelt
med sylinderaksen og en retningskomponent parallelt med omkretsen av den
10 indre sylindriske vegg.

7.

Reaktor ifølge krav 6, k a r a k t e r i s e r t v e d at
reaktoren omfatter eller er operativt plassert i forhold til en varmeinnretning på
15 utsiden av reaktoren.

8.

Fremgangsmåte for fremstilling av silisium ved dampavsetning i en reaktor,
k a r a k t e r i s e r t v e d å sette en silisiumholdig
20 reaksjonsgass for kjemisk dampavsetning (CVD) i rotasjon i reaktorvolumet,
langs reaktorveggen, ved å operere minst en innretning for å oppnå slik
rotasjon, for avsetning av silisium i fast form på overflater i reaktorvolumet.

9.

25 Fremgangsmåte ifølge krav 8, k a r a k t e r i s e r t v e d
at silisium med hensikt avsettes på reaktorveggen ved kjemisk dampavsetning
således at reaktorens tverrsnitt i hovedsak gror igjen, hvorpå reaktorens innhold
eller reaktorens innhold og reaktorveggen anvendes i videre trinn i en prosess
for fremstilling av silisium til solcelle og/eller elektronikkanvendelser.

30

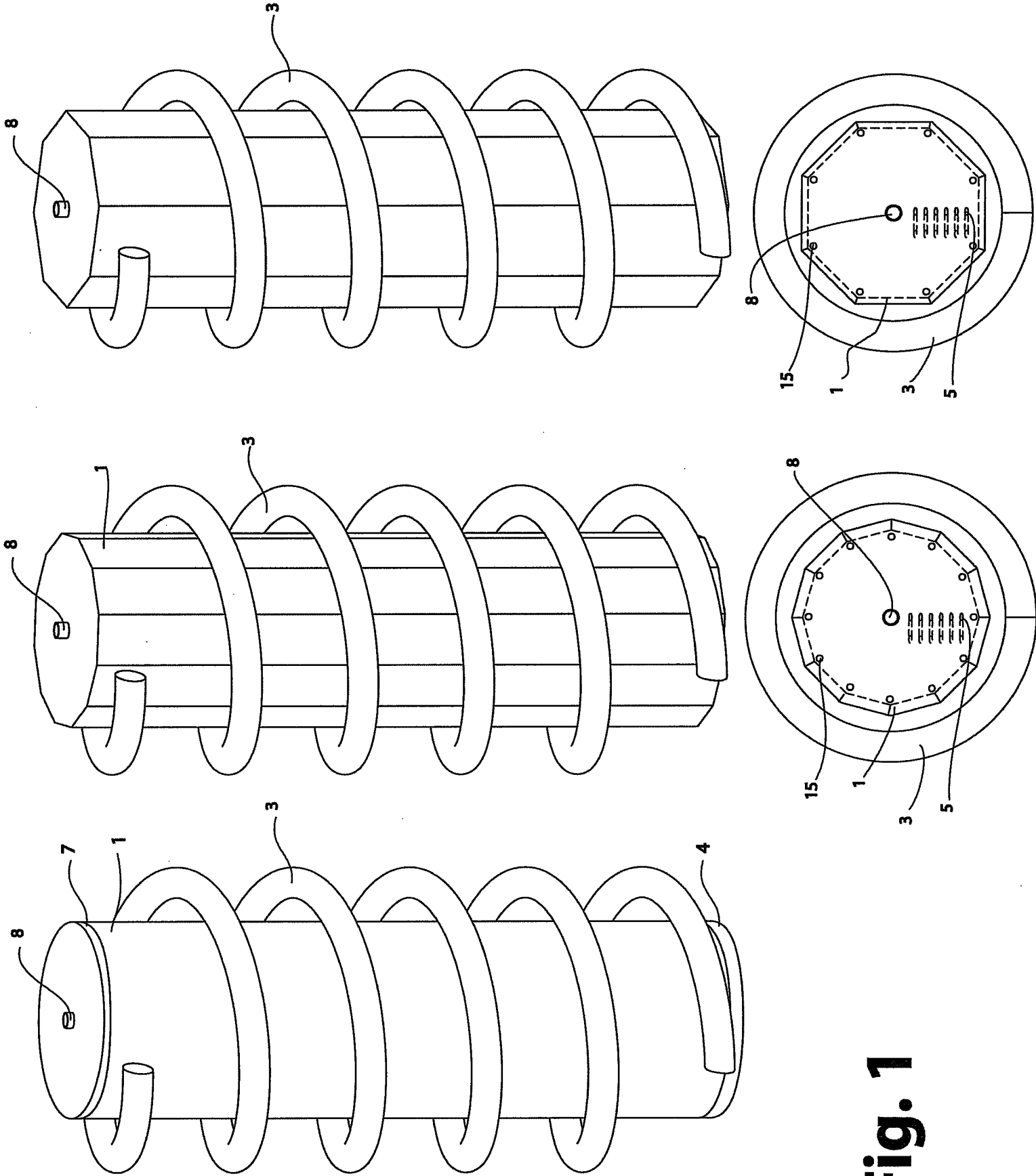


Fig. 1

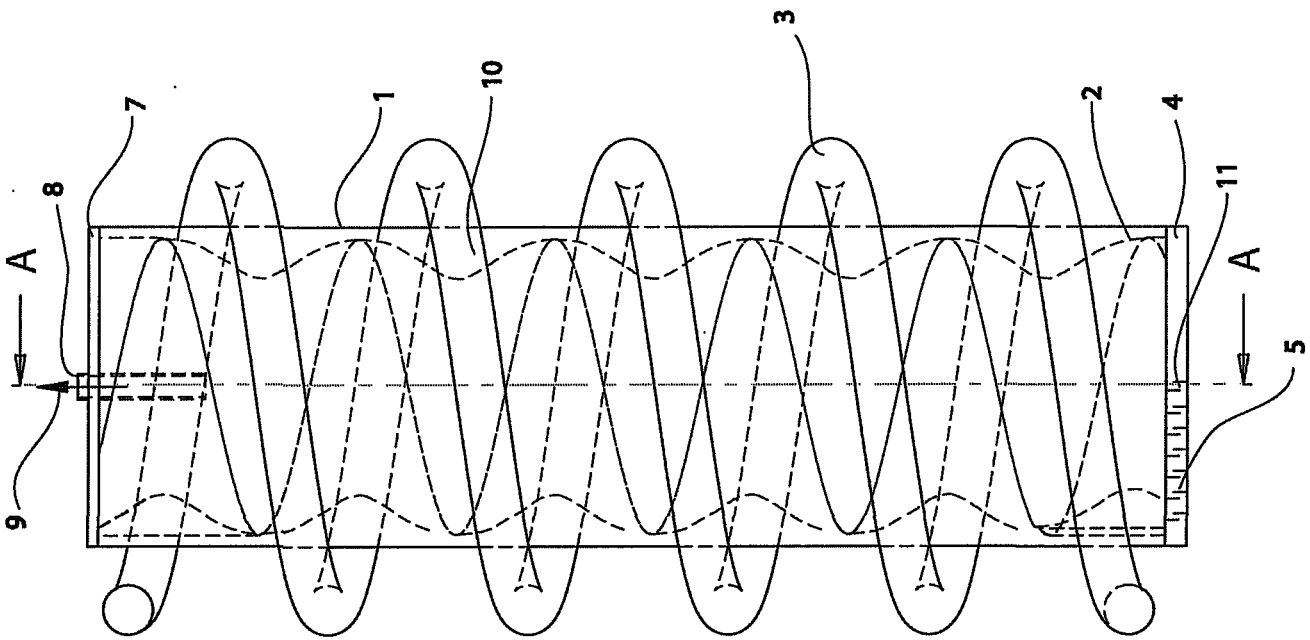
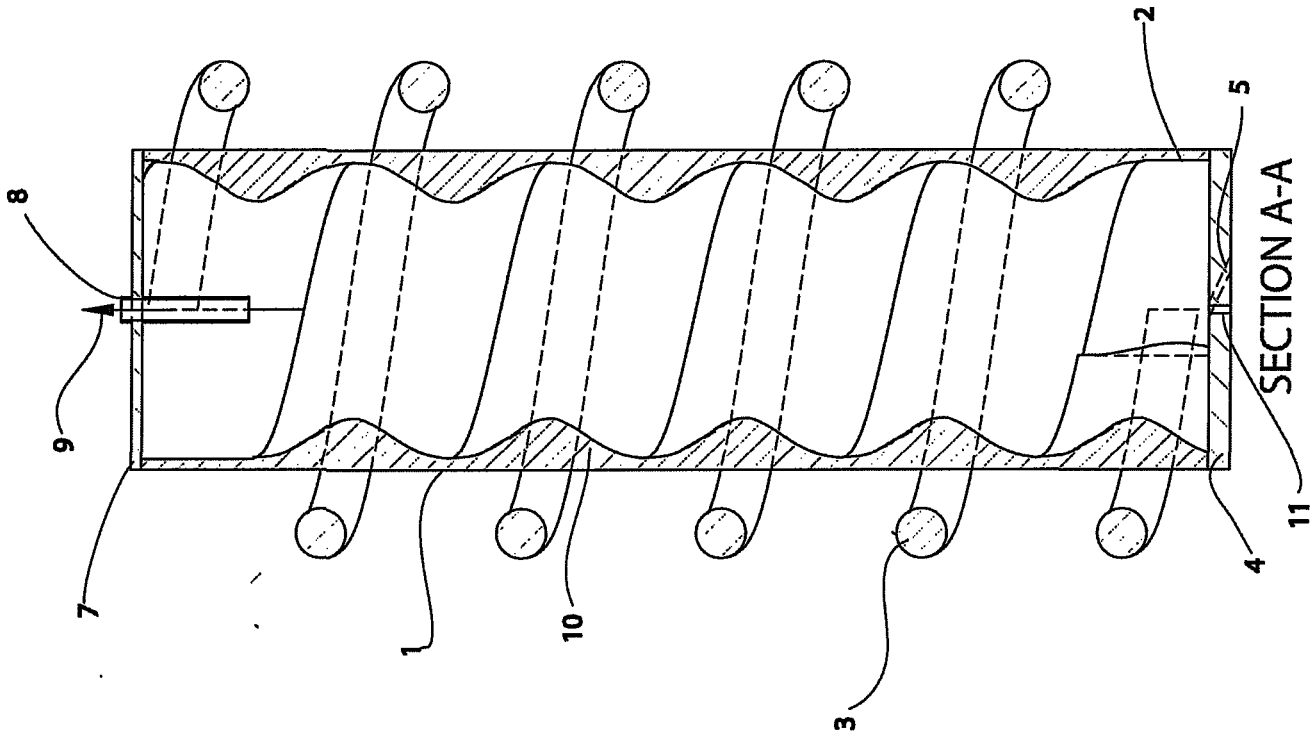


Fig. 2

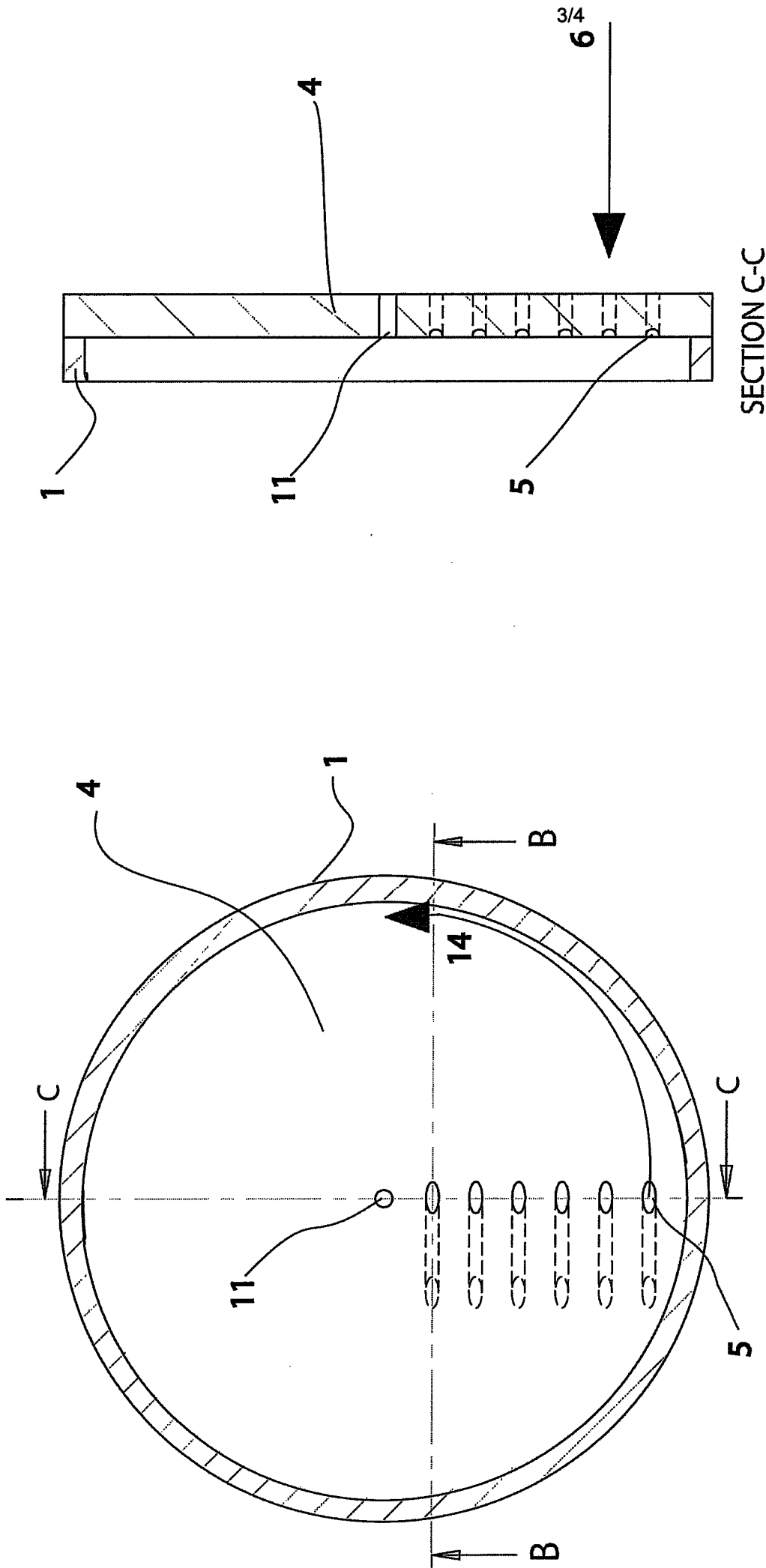


Fig. 3

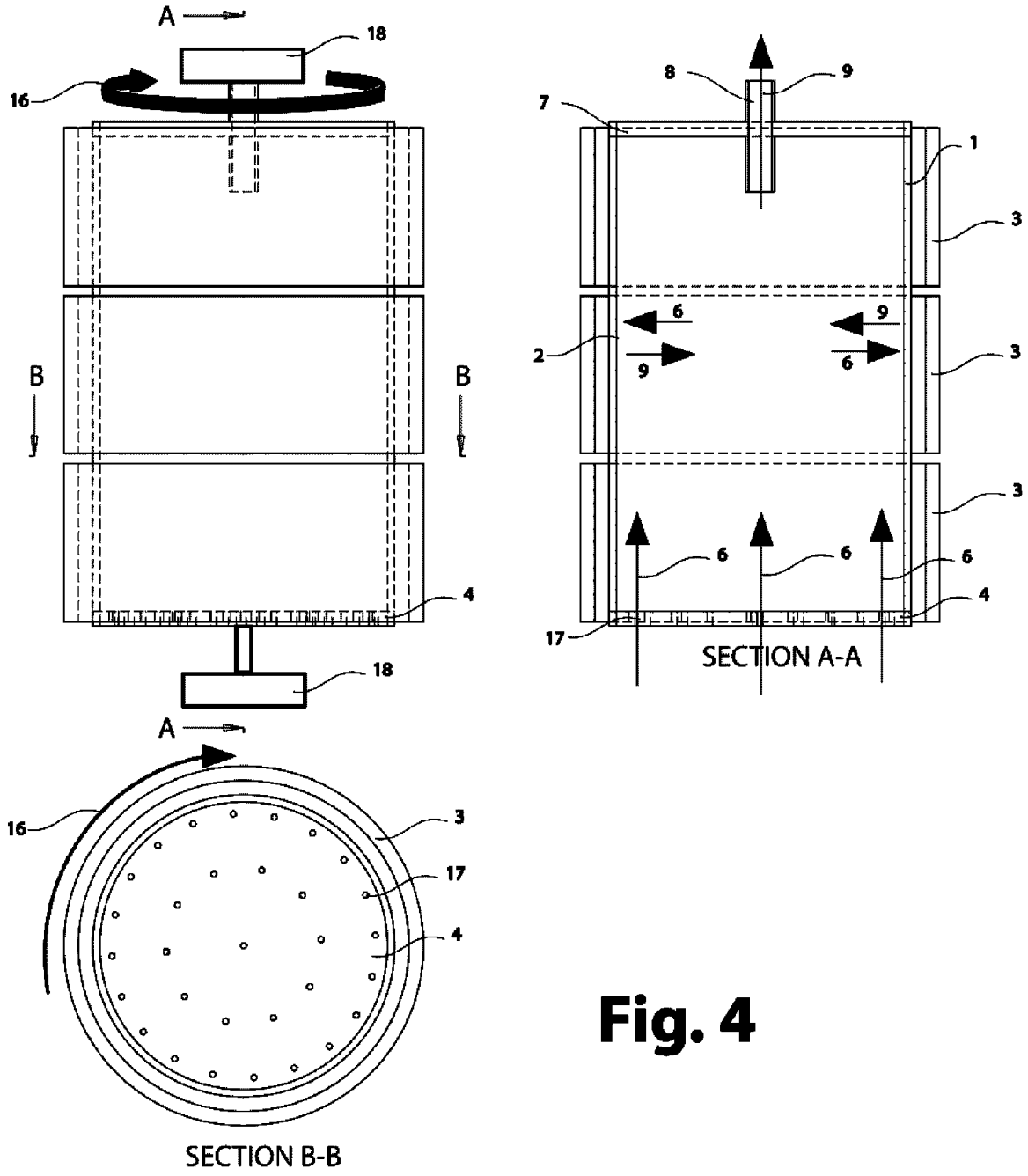


Fig. 4