



NORGE

(12) PATENT

(19) NO

(11) 321805

(13) B1

(51) Int Cl.

F28F 21/04 (2006.01)

B01D 63/06 (2006.01)

F28F 9/02 (2006.01)

B01J 35/04 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20015134	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	
(22)	Inng.dag	2001.10.19	(85)	Videreføringsdag	
(24)	Løpedag	2001.10.19	(30)	Prioritet	Ingen
(41)	Alm.tilgj	2003.04.22			
(45)	Meddelt	2006.07.03			

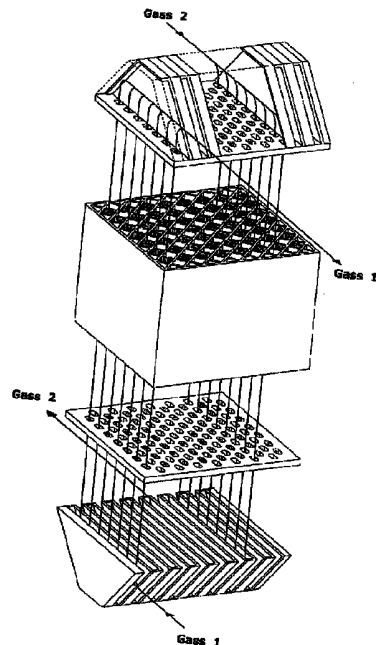
(73)	Innehaver	Norsk Hydro ASA , 0240 OSLO, NO
(72)	Oppfinner	Tor Bruun, Tellusveien 17, 3942 PORSGRUNN, NO Bjørnar Werswick, Bartindkroken 1C, 3970 LANGESUND, NO Kåre Kristiansen, Elsetvegen 20, 3731 Skien, NO Leif Grønstad, Gjerdevn. 8, 3766 SANNIDAL, NO
(74)	Fullmektig	Venche Høines Johnsen, Norsk Hydro ASA, 0240 OSLO, NO

(54) Benevnelse **Fremgangsmåte og anordning for å lede to gasser inn og ut av kanalene i en flerkanals monolittenhet.**

(56) Anførte publikasjoner EP 0121445, EP 0637727, GB 2064361, SE 444072

(57) Sammendrag

Føreliggende oppfinnelse omhandler en metode med tilhørende apparatur for inn- og utmating av to gasser til en flerkanals monolittstruktur. De to gassene vil normalt være to gasser med forskjellige kjemiske og/eller fysiske egenskaper. Gassene, her kalt gass 1 og gass 2, ledes inn i kanaler for hhv. gass 1 og gass 2. Gass 1 og gass 2 fordeles i monolitten på en slik måte at minst én av kanalveggene deles eller er felles for gass 1 og gass 2. Veggene som er felles mellom de to gassene vil da utgjøre et kontaktareal mellom de to gassene som er tilgjengelig for masse- og/eller varmeutveksling. Dette innebærer at gassene må ledes inn i kanaler som er spredt utover hele monolittens tverrsnittsflate. Oppfinnelsen gjør det mulig å utnytte hele kontaktarealet eller alle monolittens kanalvegger direkte for varme- og/eller masseoverføring mellom gass 1 og gass 2. Dette innebærer at kanalen for den ene gass alltid vil ha den andre gass på den andre side av sine kanalvegger, det vil si at alle tilstøtende eller nabokanaler for gass 1 inneholder gass 2 og vice versa. Oppfinnelsen vil spesielt være anvendbar for å lage en kompakt keramiske membranog/ eller varmevekslerstruktur som må håndtere gasser ved høy temperatur. Typiske anvendelser er oksygen- ledene keramiske membraner, varmevekslere for gassturbiner og varmevekslerreformere for produksjon av syntesegass.



Oppfinnelsen omhandler en fremgangsmåte og anordning for inn- og utmating av
5 to gasser til en flerkanals monolittstruktur. De to gassene vil normalt være to
gasser med forskjellige kjemiske og/eller fysiske egenskaper.

Metoden og utstyret kan anvendes for å utveksle masse og/eller varme mellom to
gasstrømmer.

10

Gassene, her kalt gass 1 og gass 2, ledes inn i henholdsvis kanaler for gass 1 og
kanaler for gass 2. Gass 1 og gass 2 fordeles i monolitten på en slik måte at minst
én av kanalveggene deles eller er felles for gass 1 og gass 2. Veggene som er
felles mellom de to gassene vil da utgjøre et kontaktareal mellom de to gassene
15 som er tilgjengelig for masse- og/eller varmeutveksling. Dette innebærer at
gassene må ledes inn i kanaler som er spredt utover hele monolittens tverr-
snittsflate. Oppfinnelsen gjør det mulig å utnytte hele kontaktarealet eller alle
monolittens kanalvegger direkte for varme- og/eller masseoverføring mellom gass
1 og gass 2. Dette innebærer at kanalen for den ene gassen alltid vil ha den andre
20 gassen på den andre siden av sine kanalvegger, det vil si at alle tilstøtende eller
nabokanaler for gass 1 inneholder gass 2 og vice versa. Oppfinnelsen er spesielt
anvendbar for å lage kompakte keramiske membran- og/eller varmeveksler-
strukturer som må håndtere gasser ved høy temperatur. Typiske anvendelser er
oksygenledende keramiske membraner, varmevekslere for gassturbiner og varme-
25 vekslerreformere for produksjon av syntesegass.

Karakteristisk for multi- eller flerkanals monolittstrukturer er at de består av en
kropp med et stort antall innvendige langsgående og parallelle kanaler. Hele
monolitten med alle dens kanaler kan lages i én operasjon, og normalt er
30 ekstrudering den anvendte produksjonsteknikken. Monolittens kanaler er typisk i
størrelsesorden 1-6 mm og veggtykkelsen normalt fra 0,1-1 mm. En flerkanals
monolittstruktur med kanaler av angitt størrelse oppnår et stort overflateareal pr.
volumenhet, typiske verdier for monolitter med de angitte kanalstørrelsene vil

være fra 250 til 1000 m²/m³. En annen fordel med monolitter er de rette kanalene som gir lav strømningsmotstand for gassen. Monolittene lages normalt i keramiske eller metalliske materialer som tåler høye temperaturer. Det gjør dem robuste og spesielt anvendbare ved høytemperatur prosesser.

5

I industriell eller kommersiell sammenheng benyttes monolitter hovedsaklig der hvor kun én og samme gass gjennomstrømmer alle kanalene i monolitten. Kanalveggene i monolitten kan belegges med en katalysator som bevirker en kjemisk reaksjon i den gjennomstrømmende gassen. Eksempel på dette er monolittstrukturer i eksosanlegget til biler. Eksosgassen varmer opp veggene i monolitten til en temperatur som gjør at katalysatoren aktiverer oksidasjon av uønskede komponenter i eksosgassen.

Monolittstrukturer er også benyttet for å overføre varme fra forbrennings- eller eksosgasser til inngående luft til forbrenningsprosesser. En metode går ut på at to gasser, f.eks. en varm og en kald gass, vekselvis strømmer gjennom monolitten. Med en slik metode kan eksempelvis eksosgassen varme opp monolittstrukturen for deretter å avgj varme til kald luft. Luften vil da motta varme magasinert i strukturens materiale. Når varmen er avgitt fra materialet, veksler gasstrømmen gjennom monolitten tilbake til eksosgass, og hele syklusen gjentas. Slike regenerative varmevekslingsprosesser med sykler hvor det er et vekselvis skifte mellom to gasser (én varm og én kald) i samme struktur er imidlertid ikke egnet der blanding av de to gassene er uønsket eller der hvor en stabil og kontinuerlig varme og/eller masseoverføring er ønsket. Industriell anvendelse av monolitter er hovedsakelig begrenset til slike anvendelser der kun én og samme gass strømmer i alle kanalene samtidig.

I litteraturen er det beskrevet en rekke prosesser eller anvendelser der monolitter med fordel kan benyttes for overføring av varme og/eller masse mellom to forskjellige gasstrømmer. Det er også gjort eksperimentelle forsøk i mindre skala med slike prosesser. Eksempel på dette er produksjon av syntesegass (CO og H₂). Normalt produseres syntesegass ved hjelp av dampreformering. Dette er en

endoterm reaksjon der metan og vandamp reagerer til syntesegass. En slik prosess vil med fordel kunne utføres i en monolitt der en eksoterm reaksjon i tilstøtende kanaler tilfører varme til dampreformeringen.

- 5 Selv om en rekke anvendelsesområder er påvist hvor det vil være fordelaktig å bruke monolitter for masse- og/eller varmeveksling mellom to gasser, så er industriell bruk av monolitter for slike anvendelser lite utbredt. Ett av de viktigste ankepunktene eller årsakene til at monolitter ikke er tatt i bruk på dette området er at hittil kjent teknologi for inn- og utmating av de to gassene til monolittens
- 10 separate kanaler er komplisert og lite egnet for oppskalering (dvs. sammenkobling av flere monolittenheter), spesielt når man tar i betraktning det store antall kanaler det er i en monolitt.

- I tysk patent DE 196 53 989 beskrives en anordning og en metode for å føre to
- 15 gasser inn i monolittens kanaler gjennom lederør. Disse lederørene fører de to gassene inn i monolittens respektive kanaler fra de respektive gassenes plenumskammer. Plenumskamrene ligger utenpå hverandre, og rørene fra det ytre kammer må føres gjennom det indre kammer og deretter inn i monolittens kanaler. Hvert enkelt rør må tettes og forsegles, dette for å hindre lekkasje fra monolittens
- 20 kanaler og fra gjennomføringer i plenumskamrenes vegger.

- Ved oppvarming vil monolitt, plenumsvegger, rør og forseglingsmateriale ekspandere, og ved nedkjøling vil de krympe. Dette øker sannsynligheten for sprekkdannelse og uønsket lekkasje med blanding av de to gassene som
- 25 konsekvens. Den sannsynligheten vil øke med antall rørgjennomføringer.

- I DE 196 53 989 er inn- og utløpssonen med de forseglede rør nedkjølt for å kunne benytte et lavtemperatur fleksibelt forseglingsmateriale og dermed redusere risikoen for sprekkdannelse og lekkasje. Et kjølesystem vil selvsagt fordyre og
- 30 komplisere monolittstrukturen, spesielt ved anvendelser i større skala der monolitten består av mange tusen kanaler og der det i tillegg må anvendes mange monolittstrukturer i serie og/eller parallell for å oppnå et tilstrekkelig overflateareal.

US patent 4271110 beskriver en annen metode for inn- og utmating av to gasser. Denne metoden har den fordel at rørrinnføringer fra plenumskammer til de respektive gassers kanaler i monolittstrukturen helt unngås. Dette oppnås ved å skjære ned parallelle spalter i monolittens ender. Disse innskjæringene eller spaltene fører inn eller ut av kanalene for én av gassene. De innskårne spaltene tilsvarer da et plenumskammer for den rekke av kanaler som spalten gjennomskjærer. Ved å tette spaltens åpning som vender ut mot enden av monolitten dannes åpninger i sideveggen av monolitten der én av gassene kan komme inn eller ut. Den andre gassen vil da komme inn eller ut i kortenden av monolitten i de gjenværende åpne kanaler. Den største ulempen med denne metoden, foruten den nødvendige bearbeiding (innskjæring og forsegling) av selve monolittstrukturen, er at kun halvparten av tilgjengelig areal for masse- og/eller varmeutveksling kan utnyttes. For eksempel kvadratiske kanaler for den ene gassen og den andre gassen vil måtte ligge på sammenhengende rekker slik at kanalstrukturen for de to gassene tilsvarer en platevarmeveksler. Dersom kanalene for de to gassene hadde vært fordelt som i et sjakkmønster hvor svarte felter tilsvarer kanaler for den ene gassen, mens hvite felter tilsvarer kanaler for den andre gassen, så ville maksimal utnyttelse av arealet kunne oppnås, dette fordi i et slikt gassfordelingsmønster så vil alle kanalenes vegger for den ene gassen være felles eller deles med den andre gassen. Med gasskanaler for samme gass på rekke som i US patent 4271110 så vil omtrent kun halvparten av kanalenes vegger være i kontakt med den andre gassen.

Ved å benytte ekstruderings-teknikk for produksjon av en monolittstruktur oppnås en stor mulighet mhp. geometrisk utforming av kanalene. Ekstrudering som produksjonsmetode innebærer at hele monolittstrukturen lages i én operasjon. Kanalenes tverrsnittsareal kan være forskjellige både av fasong og størrelse. Kanalenes tverrsnittsareal kan lages uniforme i størrelse og fasong som er det vanligste, f.eks. trekantede, kvadratiske eller sekskantede. Men det kan også tenkes kombinasjoner av flere geometriske utforminger. Den geometriske utformingen vil sammen med kanalstørrelsen ha betydning for mekanisk styrke og tilgjengelig overflateareal pr. volumenhet.

Formålet med foreliggende oppfinnelse var å komme frem til en fremgangsmåte og anordning for inn- og utmating av to gasser til en flerkanals monolittstruktur der maksimal arealutnyttelse oppnås.

- 5 Ved å benytte foreliggende oppfinnelse er det ikke nødvendig med innskjæringer som beskrevet i US 4271110 eller rørrinnføringer som beskrevet i DE 19653989 C2.

Foreliggende oppfinnelse gir en frihet til å benytte alle typer fasonger og størrelser, samt muligheten for å utnytte det maksimale tilgjengelige overflatearealet for varme- og/eller masseoverføring. Metoden beskrevet i US 4271110 krever at alle kanaler med samme gass minst deler én vegg felles slik at når deleveggen fjernes eller maskineres bort så vil det dannes en sammenhengende spalte som vil utgjøre et felles plenumsrom for gassen. Det at to nabokanaler med samme gass
15 minst må ha en kanalvegg felles gjør at tilgjengelig varme- og/eller masseutvekslingsareal reduseres. I DE 19653989 C2 benyttes rør, som føres fra de respektive gassers plenumskammer og inn i monolittkanalene som kan være slik fordelt at maksimalt tilgjengelig areal kan utnyttes, det vil si at gassene føres inn, slik fordelt at den ene gassen alltid deler eller har felles kanalvegger med den
20 andre gassen. De to gassene fordeles da i kanalene tilsvarende et sjakkemønster. Dette gir maksimal utnyttelse av tilgjengelig masse- og/eller varmevekslingsareal.

Foreliggende oppfinnelse består av en fremgangsmåte og en anordning som på en effektiv måte kan lede to forskjellige gasser, dvs. gasser med forskjellige
25 kjemiske og/eller fysiske egenskaper, inn og ut fra sine respektive kanaler i en flerkanals monolittstruktur. Det forutsettes at kanalåpningene med de to gassene er jevnt fordelt eller spredt utover hele monolittens tverrsnittsflate og at kanalene har felles vegger. Anordningen vil på en effektiv og enkel måte samle samme type gass, f.eks. gass 1, fra alle kanaler inneholdende denne gassen til ett eller flere
30 plenumsrom slik at gass 1 kan holdes adskilt fra gass 2 og omvendt.

- Videre vil færrest mulig deler eller komponenter og minst mulig bearbeiding og tilpasning av disse og monolitten være gunstig mhp. robusthet, kompleksitet og kostnad. I prinsippet kan det sies at jo færre enkeltkomponenter eller deler jo større fordel oppnås. Dette bidrar til å forenkle forsegling/tetting mellom de to gassene som skal føres inn og ut av monolittens kanaler. Det vil også være en stor fordel at apparaturen for inn- og utmating av de to gassene til sine respektive kanaler i monolittstrukturen kan prefabrikeres og forsegles til selve monolitten i én eller et fåtall operasjoner.
- 5
- 10 Videre kan det være gunstig å oppnå høyest mulig kontaktareal i en monolitt med gitt kanalstørrelse. Spesielt fordelaktig vil dette være om monolittstrukturen eller kanalveggene benyttes som membran, for eksempel keramiske membraner for å separere hydrogen eller oksygen.
- 15 For å oppnå størst mulig transportkapasitet av den aktuelle gasskomponenten pr. volumenhet av monolittstrukturen vil størst mulig kontaktareal pr. volumenhet være viktig. Det er derfor ønskelig at gassen som strømmer i den ene kanalen har den andre gassen på alle sideveggene som utgjør kanalen. Med kvadratiske kanaler brukt som eksempel så må de to gassene gjennomstrømme monolitten i et
- 20 kanalmønster tilsvarende et sjakkbrett, dvs. én gass i "hvite" kanaler og den andre gassen i "sorte" kanaler. Et størst mulig direkte kontaktareal vil foruten å være av stor betydning for masseoverføring mellom to gasser også være viktig for effektiviteten av varmeoverføring.
- 25 Jo mindre kanaler jo større spesifikt overflateareal vil det være i monolitten, og for å oppnå kompakte løsninger vil det derfor være ønskelig med så små kanaler som praktisk mulig.
- I de endene av monolitten der monolittens kanaler har sitt innløp og utløp så forsegles et manifoldhode over monolittens kanaler. For noen anvendelsesområder
- 30 kan det være aktuelt å forsegle kun den ene enden av monolitten med et manifoldhode. Manifoldhodet omfattet skilleplater montert med en avstand til-

passet kanalstørrelsen i monolitten. Avstanden eller rommet mellom platene samler opp gass fra kanalene som ligger på samme rekke. Dette rommet kalles plenumsspalte. Kanalrekkene løper fortrinnsvis tvers over hele monolittens kortende og omfatter enten innløps- eller utløpskanaler for samme gass. Disse rekkene av gasskanaler med samme gass holdes adskilt av de tette skilleplatene i manifoldhodet. De to gassene vil da samles i sine respektive plenumsspalter. Med kanalrekker for samme gass vil plenumsspalten for den ene gassen ha plenumsspalten for den andre gassen på den andre siden av skilleplaten. I en monolitt med kvadratiske kanaler der samme gass ligger anordnet på rekker så vil skilleplatene måtte tettes eller forsegles mot kanalveggene i monolitten. I stedet for å forsegle skilleplatene direkte til kanalveggene i monolitten så kan det alternativt først forsegles en plate til monolittens kortende. Dette vil være en plate med hull (hullplate) som kanalåpningene i monolitten leder ut i, det vil si slik at gass fra de forskjellige kanalene som inneholder samme gass kan ledes ut gjennom platens åpninger og ut i plenumsspaltene. Dette innebærer at skilleplatene i manifoldhodet forsegles til hullplaten mellom hullradene istedenfor direkte til monolittens kanalvegger som skiller de to gassene.

Gjennom å forsegle en hullplate til enden av monolitten med tilpassede åpninger for gass 1 og gass 2 så vil det beskrevne manifoldhodet kunne benyttes der gasskanalene for gass 1 og gass 2 ligger fordelt som et sjakkmønster i monolitten. Det oppnås da en metode og en apparatur for inn- og utmating av to separate gasser som muliggjør en maksimal utnyttelse av overflatearealet i monolitten. Gassene vil da overføres fra et sjakfordelingsmønster i monolitten til rekker av hull i den på monolitten forseglede plate. Videre vil da gass 1, respektive gass 2, ledes fra disse rekkene av hull ut eller inn av monolittens kanaler der gass 1 og gass 2 ligger fordelt som i et sjakkmønster med den ene gass i de "sorte" kanaler og den andre gass i de "hvite" kanaler. Hullplaten gir mulighet til å føre gass fordelt etter sjakkmønster ut i plenumsspalter adskilt med skilleplater som kan separere gass 1 og gass 2 fra hverandre. Platens hull må da ha et noe mindre åpningsareal enn kanalåpningene de forsegles mot. Åpningene i platen som forsegles mot monolittens kanalstruktur og mot skilleplatene i manifoldhodet må foruten et

reduisert utløpsareal i forhold til kanalarealet også ha en utforming og plassering slik at avstanden mellom hullene som fører inn eller ut av de to gassenes kanaler ligger med en slik avstand at det er mulig å plassere skilleplatene mellom rakkene av hull med innløp og/eller utløp for samme gass. Brukes eksemplet med 5 kvadratiske kanaler der de to gassene fordeles som i et sjakkmønster, så vil skilleplatene mellom de to gassene følge den rette diagonallinje mellom rækker av hull med samme gass, dvs. at de kvadratiske kanalåpningene for samme gass har felles kontaktpunkt i hjørnene.

10 Det er nå oppnådd å lede to gasser som er fordelt i kanaler i en monolittstruktur ut eller inn i separate plenumsspalter. For å kunne holde de to gassene fra hverandre når de går inn eller ut av plenumsspaltene i manifoldhodet kan samme gass ledes til åpninger i plenumsspaltene i en sidekant av manifoldhodet og 15 tilsvarende ledes alle plenumsspaltene for den andre gassen ut på motsatt sidekant i manifoldhodet enn den første gassen.

I et system der det ikke er én enkelt hullplate som leder gassen fra hver enkelt kanal gjennom hullene i platen og direkte ut i manifoldhodets plenumsspalter (rommet mellom skilleplatene i manifoldhodet), men et system av flere plater, 20 eventuelt en tykkere plate med skråstilte gjennomgående kanaler, så vil avstanden mellom skilleplatene i manifoldhodet kunne lages langt større enn kanalåpningene i monolitten.

Dette gjøres gjennom å lede gassen fra en kanal over i løpet fra nabokanalen 25 gjennom skråstilte kanaler som utformes inne i hullplatesystemet mellom monolitt og manifoldhodet. Gass fra én eller flere nabokanaler i monolitten må da ledes ut gjennom et felles utløp til plenumsspaltene i manifoldhodet. Disse felles utløp/-innløp anordnes da i et system slik at utløp for samme gass samles og på tilsvarende måte samles utløpet av den andre gassen. Disse utløpsansamlinger av 30 samme gasser samles slik at de danner et mønster som gjør at skilleplatene i manifoldhodet vil kunne ha en større avstand enn om platene ble forseglet direkte

til manifoldhodet der sidene til enkeltkanalene i monolitten vil bestemme avstanden.

5 Den mest effektive varmeoverføringen pr. volumenhet monolittstruktur oppnås med små kanaler og gassfordeling etter sjakkmønsteret som vil kunne utnytte tilnærmet 100% av det tilgjengelige overflatearealet i monolitten. Jo mindre kanaler jo mer spesifikt overflateareal pr. volumenhet vil oppstå, men mindre kanaler vil også gjøre det mer komplisert å lede gassene ut/inn gjennom manifoldhodet til eller fra monolittens kanaler. Et hullplatesystem som beskrevet 10 ovenfor vil forenkle inn- og utmatingen til de små kanalene med fortsatt mulighet for å beholde gassfordeling etter sjakkmønsteret.

I det følgende beskrives en fremgangsmåte som også vil gjøre det lettere å mate 15 to forskjellige gasser inn og ut fra små kanaler. Dette oppnås ved å arrangere kalde og varme gasskanaler slik at effekten av strålingen kan utnyttes. Dette gjøres ved å montere vegger i monolittstrukturen innenfor eller mellom kanalene for den kalde gassen som kan motta stråling fra de varmere gasskanalene. En slik fordeling av gasskanalene i monolittstrukturen vil være mest aktuell der monolitten benyttes som varmeveksler og fortrinnsvis ved høye gasstemperaturer som gir 20 mest effektivt strålingsbidrag. Selv om et slikt gassfordelingsmønster ikke vil kunne fordele de to gassene etter et rent sjakkmønster, så vil det allikevel kunne oppnås varmevekslereffektivitet som ligger opp mot det som kan oppnås med gassfordeling etter sjakkmønster. En fordeling av gasskanalene i monolittstrukturen som beskrevet over, som utnytter effekten av stråling, vil kunne gi 25 muligheten for å arrangere skilleplatene i manifoldhodet med større avstand enn størrelsen av tverrsnittet av kanalene. Samtidig vil et slikt system kunne oppnå en varme- overføringseffekt i nærheten av det som kan oppnås med gassfordeling etter kanaler av samme tverrsnittstørrelse, enn med enkel fordeling av kalde og varme gasskanaler (se Eksempel 1).

30

Som beskrevet over utnyttes effekten av stråling ved at veggen internt i kanalene som fører kald gass bestråles fra kanalvegger som fører samme gass på den

andre siden. Oppvarming av veggen internt i kanaler av kald gass bidrar til oppvarming av den kalde gassen. Den kalde gassen blir derfor varmere enn den ville ha vært uten en slik bestrålt vegg. Det kan også tenkes brukt et slikt system av flere enn én vegg internt mellom kalde gasskanaler, det vil si at veggen som direkte mottar stråling fra den varme gasskanalens vegg igjen bidrar til oppvarming av neste vegg innenfor mellom de neste kaldere gasskanaler osv. Effekten av strålingen vil da selvsagt gradvis avta med antallet vegger internt i de kalde gasskanalene. Strålingsprinsippet kan på samme måten som beskrevet for kald gass utnyttes ved å sette inn vegger i kanaler som fører varm gass.

10

Denne fremgangsmåten som gjennom sin gassfordeling i kanalene utnytter effekten av stråling vil med fordel kunne kombineres med hullplatesystemet som er beskrevet for å oppnå ytterligere en forenkling av manifoldhodet, det vil si at antall skilleplater i manifoldhodet kan reduseres og at avstanden mellom dem tilsvarende kan økes. Dette vil gi mulighetene til å utnytte effekten av meget små enhetskanaler (<2 mm) i monolittstrukturen.

15

I det følgende beskrives en fremgangsmåte og et system for inn og utmating av de to forskjellige gassene til monolittstrukturene uten manifoldhodet. Foreliggende oppfinnelse baserer seg på at gasskanaler av samme gass ligger anordnet på rekker der de deler felles vegger. På tilsvarende måte som beskrevet i US 4271110 kan da disse felles vegger skjæres bort i en viss dybde av monolitten for deretter å tettes i enden slik at det dannes åpninger i sideveggene av monolitten der én av gassene kan mates inn eller ut.

25

Men til forskjell fra US patent 4271110 så baserer denne fremgangsmåten seg på at gasskanalene som ligger på rekker ikke bare går parallelt langs sideveggene i én retning, men at det dannes et rekkemønster i begge retninger (vinkelrett på hverandre). Dette innebærer at innskjæringene gjøres for disse kryssende rekkene, og etter tetting (som beskrevet ovenfor) vil en da oppnå at det blir åpninger i monolittens alle fire sidevegger og ikke bare i to sidevegger som der rekkene kun går parallelt i én retning. Dette gir større fleksibilitet for inn- og

30

utmatingen av gassene til monolitten. En vil da kunne arrangere gasskanalene i repeterende enheter av 3 x 3 med den ene gassen i hjørnkanalene og den annen gass i de to sentralt kryssende rekker (kors). Tilsvarende vil en kunne ha en repeterende enhet av 4 x 4 kanaler der de sentralt kryssende sammenhengende rekkene danner et kors. De seks andre kanalene plasseres da også tilsvarende ett i hvert hjørne (toppen av korset) og to i tilsvarende ytterkant på hver side i bunnen av korset.

Foreliggende oppfinnelse gjør det mulig på en enkel og effektiv måte å lede to forskjellige gasser ut og inn av enkeltkanaler i en flerkanals monolittstruktur. Dette gjøres ved hjelp av et manifoldhode som forsegles til kortenden eller de sidene av monolitten der kanalåpningene er. Fremgangsmåten baserer seg på å utnytte det system i monolitten at kanalåpninger som fører samme gass ligger på rekker når de to gassene er jevnt fordelt. Rekkene av kanalhull med samme gass ledes ut i plenumsspalter i manifoldhodet. Plenumsspaltene kan videre anordnes med åpninger slik at de to forskjellige gassene kan ledes ut på hver sin side av manifoldhodet. Dette betyr at vi kan få separate gasstrømmer ut fra eller inn til enkeltkanalene i monolitten fra adskilte plenumsrom (dvs. rommet som dannes mellom to skilleplater). Dette medfører at det ikke er nødvendig å bruke rør for å føre de to gassene inn eller ut av monolitten eller å lage innskjæringer eller spalter i selve monolitten. Videre vil det være mulig å stable flere monolitter parallelt, dvs. sideflate mot sideflate, og dermed føre gassene ut og/eller inn fra en ytre beholder gjennom kanaler som dannes av skråvegger på manifoldhodene.

Dersom manifoldhodet lages rektangulært med rette vegger i forlengelsen av monolittens sidevegger, så kan den ene gassen gå inn eller ut på den rette sidevegg i manifoldhodet, mens den andre gassen går ut eller inn i åpninger i kortenden, det vil si direkte i forlengelsen av strømningsretningen internt i monolitten.

Monolittene må da monteres med en viss avstand slik at gassene kan gå inn eller ut av sideåpningene. Gjennom å montere tetteplater mellom monolittene slik at gassene fra de forskjellige inn/utløpsåpninger ikke blandes vil plenumsrom dannes

som kan benyttes til å føre gassene inn eller ut til de enkelte monolitter. Tilsvarende system vil kunne benyttes for det beskrevne system med inn-skjæringer som også vil gi åpninger både i kortende i forlengelsen avstrømningsretning og åpninger vinkelrett på strømningsretning i monolitt, dvs. i monolittens sidevegg.

5

Videre vil foreliggende oppfinnelse gjøre det mulig, på samme måte som beskrevet ovenfor, med det angitte manifoldhode å fordele to gasser etter gasskanalene som et sjakkmønster, inn og/eller ut av en flerkanals monolitt, det vil si med den ene gass i de "svarte" kanaler og den andre gass i de "hvite" kanaler.

10

Ved en direkte kobling av manifoldhodet mot monolitten vil avstanden mellom skilleplatene i monolitthodet måtte være mindre enn kanalåpningene i monolitten. Det vil derfor kunne være den nedre grense for avstanden mellom skilleplatene som vil kunne bestemme hvor små kanaler som kan lages i monolitten. Et system av hullplater mellom monolitten og manifoldhodet vil gjøre det mulig å mate gassene inn og ut av kanalene i monolitten som har en størrelse som er langt mindre enn avstanden mellom manifoldhodets skilleplater. I tillegg vil dette hullplatesystemet også kunne anordne gasskanalene som er fordelt som et sjakkmønster til et mønster der utløpskanalene for samme gass blir liggende på én rekke.

15

20

Videre vil et hullplatesystem mellom monolitt og manifoldhode gjøre det mulig å ha en større avstand mellom skilleplatene enn kanalåpningene i monolitten.

25

En fordeling av gasskanalene som sjakkmønster gir maksimal utnyttelse av kontaktarealet mellom de to gassene i monolitten. En plate som dekker alle kanalene forsegles da til enden av monolitten og til manifoldhodet. Platen har videre et hullmønster tilsvarende kanalmønsteret i monolitten. Kanalmønster i monolitt og hullmønster i plate er da tilpasset slik at hull for samme gass kan danne hullrekker som plenumsspaltene plasseres over.

30

Med foreliggende oppfinnelse kreves det ingen bearbeiding av selve monolitten dersom planheten i kortenden tilfredsstillende krav til toleranseavvik som forsegling av hullplaten mot monolittens kanalende krever. Hvis ikke dette er tilfelle, så vil oppfinnelsen kunne benyttes ved å bearbeide, f.eks. planslipe, 5 monolittens endeflater til de toleranseavvik som forsegling av hullplaten til kanalenden krever.

Gjennom den ene gassens hullrekker i platen føres gassen inn eller ut gjennom plenumsspalter i det som nå utgjør et manifoldhode og ut eller inn gjennom 10 åpninger i sidevegg i samme manifoldhode. Den andre gassen ledes tilsvarende inn eller ut i åpninger på motsatt sidevegg av manifoldhodet. De to gassene ledes dermed ut av sine respektive kanaler i monolitten på en slik måte at de to gassene relativt enkelt kan samles i adskilte plenumsspalter.

15 De beskrevne hullplater som forsegles over kanalåpningene til monolitten kan lages i samme materiale som selve monolitten. Det vil ha den fordel at de kan ekspandere og krympe i samme forhold som selve monolitten ved temperatur- endringer. Det vil videre være mulig å bruke et forseglingsmateriale, eksempelvis en glassforsegling, som tåler høye temperaturer. Forseglingen bør bestå av et 20 materiale som har ekspansjonskoeffisienter som er tilpasset materialet i monolitt og hullplate. Å kjøle forseglingene i innløp og utløpsende av monolitten vil da ikke være nødvendig.

Dette innebærer at en slik hullplate kan benyttes for å montere monolitter 25 kanalende mot kanalende til ønsket lengde. Dersom de to monolittene som skal skjøtes sammen er av ulike materialer med forskjellige ekspansjonskoeffisienter, så kan flere hullplater legges mellom monolittene. Disse platene består da av et materiale med en gradvis overgang til ekspansjonskoeffisienten i det materialet som er nærmest liggende den monolitten det skal kobles mot.

30

Dersom monolitten utstyres med det beskrevne manifoldhodet, så vil også en sammenkobling av to monolitter kunne skje ved at toppen på manifoldhodene

legges mot hverandre. Det må da kunne benyttes et fleksibelt tetnings- eller forseglingsmaterialet mellom de beskrevne tette flater av manifoldhodene som ligger an mot hverandre.

- 5 Videre er angitt et gassfordelingsmønster i monolittkanalene som utnytter effekten av stråling for oppvarming av vegger mellom kanaler med kald gass som da varmes mer effektivt opp. Det vil da kunne oppnås oppvarmingseffektiviteter langt høyere enn det som kunne oppnås uten slike vegger internt i den kalde gass.
- 10 Det er også vist et kanalrekke-mønster internt i monolitten som gir mulighet for å mate de to forskjellige gassene inn og ut av monolittene, uten bruk av manifoldhode, gjennom åpninger i alle monolittens fire sidevegger.

Trekkene ved fremgangsmåtene ifølge foreliggende oppfinnelse er definert i krav 15 og 2.

Trekkene ved manifoldhodet ifølge foreliggende oppfinnelse er definert i krav 6.

Trekkene ved monolittsystemet ifølge foreliggende oppfinnelse er definert i krav 7. 20

Trekkene ved anvendelsen av monolittsystemet ifølge foreliggende oppfinnelse er definert i krav 14 og 15.

Foretrukne trekk ved fremgangsmåtene og monolittsystemet ifølge oppfinnelsen er 25 definert i hhv. kravene 3-5 og 8-13.

Oppfinnelsen vil nå bli forklart og belyst ytterligere i de vedlagte figurene og eksemplet.

30 **Figur 1**

Figuren viser en flerkanals monolitt 1 med kvadratiske kanaler. En slik monolitt vil normalt lages ved hjelp av ekstrudering. Monolitten ses i perspektiv fra den ene

kortende der kanalene går inn gjennom monolitten, og utløp for kanalene vil da være i den andre kortenden. Monolittens kanalstruktur er bestemt av ekstruderingsverktøyet. Det kan lages en rekke forskjellige geometriske utforminger av kanalene. Eksempelvis kan alle kanalene være like store trekanter, firkanter eller sekskanter eller de vil kunne ha forskjellig utforming og størrelse. Kanalene for en monolitt vil normalt være parallelle og uniforme av fasong i hele monolittens lengderetning. Figuren viser en monolitt der de kvadratiske kanalers vegger ligger parallelt med monolittens sidevegger. Dette er den mest vanlige måten å anordne kanalene på for denne typen monolitt.

10

Figur 2.1-2.3

Figur 2.1, 2.2 og 2.3 viser en tilsvarende monolitt som i Figur 1, men nå sett rett forfra mot monolittens kortende, det vil si at kun kanalåpningene kan ses. På figuren er det vist et gassfordelingsmønster. De mørke eller skyggelagte kanalene er for den ene gassen, her angitt som gass 1, og de hvite kanalene er for den andre gassen, her angitt som gass 2. Gassene kan strømme både motstrøms og medstrøms i forhold til hverandre. Normalt vil motstrøm være det foretrukne strømningsmønster.

15

I Figur 2.1 er gassene fordelt på sammenhengende rekker, det vil si slik at kanalene for samme gass har én vegg felles. Dette gir mulighet for å maskinere bort vegger som har samme gass på hver side i en viss dybde av monolitten slik at samme gass kan samles i den plenumsspalten som da vil dannes. Det er et slikt system som er beskrevet i US 4271110. Det at kanaler for samme gass deler felles vegger medfører tap av kontaktareal mot den andre gass. Som det fremgår av Figur 2.1, når to av veggene er felles med gasskanaler av samme gass så vil kontaktarealet mellom de to forskjellige gassene bli omtrent halvparten av det teoretisk mulige.

25

Figur 2.2 viser den samme monolitten som i Figur 2.1, men her er gassene fordelt som et sjakkemønster. Ved en slik fordeling av de to gassene utnyttes det tilgjengelige kontaktarealet i monolitten maksimalt. Kanalen for gass 1 har da

30

felles vegger med gass 2, dvs. ingen vegger felles med samme gass slik det fremgår av Figur 2.1.

Figur 2.3 viser som Figur 2.2 de to gassene fordelt som i et sjakkemønster som gir
5 mulighet til å utnytte det tilgjengelige kontaktarealet i monolitten maksimalt. Det
som skiller monolitten i Figur 2.3 fra monolitten i Figur 2.2 er at veggene i
monolittens indre kanaler ikke lenger er parallelle med monolittens yttervegger,
men dreid 45° i forhold til monolittens sidevegger. Det ses at det som var
diagonallinjene i Figur 2.2 nå er anordnet parallelt med sideveggen i monolitten i
10 Figur 2.3. Dette medfører at kanaler med samme gass blir liggende på rekker
parallelt med sidevegg, men nå er gasser fra samme kanal kun i kontakt i
hjørnepunktene. Vi oppnår da en tilsvarende anordning som i Figur 2.1, men uten
at det tilgjengelige kontaktareal reduseres. Som der fremgår av Figur 2.3, så vil de
kanaler som ligger mot monolittens yttervegg ha form som en likebent trekant
15 dersom veggene lages rette. Veggene må nødvendigvis ikke være rette og en kan
tenke seg at veggene følger de veggene som utgjøres av de ytre hele kanaler.
Dette kan være fordelaktig når flere monolitter stables sammen og det skal tettes
mellom monolittveggene. Figur 3.1-3.2 viser et slikt system.

20 **Figur 3.1-3.2**

Figur 3.1 viser en monolitt der ytterveggene følger hele kanalvegger i monolitten.
Kvadratiske kanaler anordnet som vist på figuren medfører at monolittens vegger
får et sikksakk mønster, dette fordi de kvadratiske kanalene ligger på rekker
parallelt og langsetter hele sideveggene. Kontaktpunkt for kanaler av samme gass
25 blir da i hjørnene.

En monolitt ekstrudert som vist i Figur 3.1 åpner for muligheten til å anordne flere
uavhengige monolitter sammen som vist i Figur 3.2. Figur 3.2 viser en
sammensetning der kun monolittenes yttervegger er vist. Et slikt system gir
30 mulighet får å utnytte alle gasskanalene og samtidig stabilisere eller "låse"
monolittene til hverandre.

Figur 4

Figur 4 viser tilsvarende monolitt 1 og fordeling som i Figur 2.3. Som i Figur 2.3 er kanaler for gass 1 gjort mørke, mens kanaler for gass 2 er lyse eller hvite. På figuren er også vist to hullplater 2 med åpninger som passer over kanalåpningene i monolitten. Denne hullplaten forsegles til monolitten, og de to gassene (her angitt som gass 1 og gass 2) vil da føres inn og/eller ut av disse hullene som vist med piler på figuren. På Figur 4 vises hullene med oval fasong. Hullene kan også være runde eller ha en annen fasong. Det viktige er at hullene for de to gassene ligger slik i forhold til hverandre at det er mulig å plassere en skilleplate mellom hullrekkene for gass 1 og gass 2. Ytterkanten av hullene bør da ligge innenfor den avgrensning som skilleveggen setter, slik at lekkasjer ikke oppstår mellom de to gasser.

Figur 5.1-5.2

Figur 5.1-5.2 viser tilsvarende monolitt med samme hullplatesystem som vist i Figur 4. Figur 5.1 viser monolitten med hullplatene som skal forsegles til monolittens kortende. Åpninger i platen er plassert slik at gassen fra en kanal skal ledes ut i et bestemt hull, det vil si slik at når platen forsegles til monolittens ende så er alle hullene plassert slik at gass fra kanalåpningene kan ledes ut gjennom sine respektive hull. Figur 5.2 viser monolitten med hullplaten forseglet til monolittens kortende over kanalåpningene.

Figur 6.1-6.2

Figur 6.1-6.2 viser en tilsvarende monolitt som i Figur 5.1-5.2. Her er i tillegg til hullplaten vist utforming av et manifoldhode 3 som kan føre gass 1 og gass 2 inn til eller ut fra sine respektive hullrekker i hullplaten. Hver hullrekke (som avgir eller mottar samme type gass) er innelukket mellom to vegger, og avstanden mellom veggene er tilpasset størrelsen av hullene. Dette rommet, som dannes mellom skilleplatene 4, inneholder kun én type gass og betegnes for plenumsspalte 5. Platene kan produseres enkeltvis og to eller flere kan kobles sammen som vist på

Figur 6.2 slik at plenumsspalter dannes. Én eller flere plenumsspalter satt sammen som vist på Figur 6.2 danner så manifoldhodet 3 som vist på Figur 6.1.

På Figur 6.2 er vist plater med avstandsholder 6 eller kanter som blir yttervegg i manifoldhodet og dermed inneslutter plenumsspaltene når enkeltplater forsegles/-tettes plate mot plate. Av Figur 6.1 ses at en side av platene er uten kant eller avstandsholdere. På annenhver plate mangler denne sidekant på motstående side. Den manglende sidekant vil når platene forsegles sammen gi en åpning der gassen skal strømme inn eller ut. Gass i tilstøtende plenumsspalte vil da ha sin åpning i motstående sidekant hvor andre gass går inn eller ut. Den ene gass vil nå ledes ut eller inn på den ene side, mens den andre gass nå tilsvarende vil ledes ut eller inn på den andre siden. I manifoldhodet vil da gass 1 og gass 2 få utløp på hver sin side av manifoldhodet, se Figur 7 og 8.

Manifoldhodet 3 må nødvendigvis ikke lages av plater som forsegles sammen. Andre produksjonsteknikker, f.eks. ekstrudering, kan også benyttes. Det viktige er at manifoldhodet lages slik at det fanger opp og separerer gass fra de forskjellige hullrekkene uten at de blandes og at disse kan ledes separat ut av manifoldhodet.

20 **Figur 7**

Figur 7 viser gassgjennomstrømning i to utvalgte gassrekker gjennom monolitt-systemet, det vil si selve monolitten 1 med dens kanaler og ett manifoldhode 3 i hver kortende for inn- og utmating av de to gasser til monolitten. For lettere å se gassgjennomstrømningen så er disse løftet i forhold til hverandre på figuren, og kanalene for den ene gassen (gass 1) er mørke, mens gasskanalene for den andre gassen (gass 2) er lyse. Gassgjennomstrømningen er vist med piler, og på figuren anvendes motstrøms gjennomstrømning. Det er også vist at gassene kommer ut på motsatt side av der de har innløp. Dersom det ene manifoldhodet snues motsatt vei, så vil innløp og utløp side for samme gass bli på samme side av monolitten.

Figur 8

Figur 8 viser et tilsvarende system som i Figur 7, men her vises en monolitt 1 der de kvadratiske kanalene er ordnet på rekker der kanalene på samme rekke har felles vegger. Dersom disse rekkene av kanaler inneholder samme gass, så vil manifoldhodet 3 kunne forsegles direkte til kanalveggene uten bruk av hullplate. På figuren er manifoldhodet løftet fra monolitten for lettere å vise hvorledes gassene strømmer. Den ene gassen er ført gjennom lyse eller hvite kanalåpninger (gass 2), mens den andre (gass 1) er ført gjennom åpninger med mørke eller skyggelagte kanalåpninger. For to utvalgte kanalrekker er det vist med piler hvorledes de to gassene strømmer. Eksemplet viser motstrøm. Ulempen med et slikt gassfordelingssystem er som tidligere nevnt at kontaktarealet mellom de to gassene halveres i forhold til en sjakkemønster fordeling av gassene. Fordelene er at trykktapet i systemet reduseres når hullplate ikke anvendes. Ved anvendelser i prosesser der et høyt trykkfall vil være kritisk så vil et slikt system som vist i Figur 8 være nyttig. Det er også en fordel å ha færrest mulige komponenter i systemet.

Figur 9

Det vil kunne tenkes en rekke forskjellige utforminger av manifoldhodet 3. Gasstrømmenes retning vil også kunne variere. Figur 9 viser to forskjellige gasser i motstrøm (her betegnet A og B), men også medstrøm kan tenkes. Sideveggene i manifoldhodet 3 kan være både parallelle og skråstilte i forhold til monolittens vegger. Rette vegger som i rektangelet vil være best egnet der gassene føres direkte inn eller ut av kun én monolitt. Når mange monolitter skal kobles sammen vil manifoldhoder med skråstilte vegger være best egnet fordi det da vil dannes langsgående kanaler mellom monolittene som stables inntil hverandre. Gassene kan føres inn eller ut av monolittene gjennom disse kanalene.

Systemet gir en frihet til at gass A og gass B kan bytte plass i motsatt ende av monolitten, dvs. at gass 1 kan ledes ut i spalter på motsatt sidevegg i forhold til innløp og omvendt.

Figur 10

I Figur 10 vises hvorledes hullplater 2 kan brukes til å forsegle flere monolitter 1 sammen i kanalenes lengderetning. Dette gir en frihet til å koble monolitter av samme standard størrelse sammen slik at den totale kanallengden kan bli alle
5 ønskelige lengder. I prinsippet kan da de sammenkoblede monolittene betraktes som en monolitt, og manifoldhode monteres da i hver ende av den sammenkoblede "monolittsøyle" på tilsvarende måte som vist for en monolitt i Figur 7 og 8.

Figur 11.1-11.2

10 Figur 11.1 viser et system av sammenkoblede monolitter 1 som vist i Figur 10, men nå med manifoldhoder 3 påmontert. Et slikt system av monolitter vil kunne plasseres i en lukket beholder, eksempelvis en trykktank. Her vises at et stort antall monolitter kan kobles sammen samtidig som muligheten for å lede de to
15 gassene inn og ut av manifoldhodet som for den enkelte monolitt beholdes. Det beskrevne manifoldhodet gir derfor på en enkel måte mulighet for oppskalering, det vil si et system der mange enkeltmonolitter kobles sammen med mulighet for å lede gasser inn og ut av alle de sammenkoblede monolitter. Dette er viktig for å kunne håndtere store gassmengder. Figur 11.2 viser samme system som i Figur
20 11.1, men her med kun en monolitt i høyden.

Figur 12

Figur 12 viser som Figur 11 et system av sammenkoblede monolitter 1. Her er det med piler vist hvorledes de to gassene kan ledes ut fra kanalene mellom manifold-
25 hodene 3 og føres ut på hver sin side. I et ferdig system må hele den samlede monolittstrukturen plasseres i en lukket og isolert reaktor/tank/beholder. Denne beholderen må da være utstyrt med et innløp og et utløp for gass 1 og tilsvarende et innløp og et utløp for gass 2. Figuren viser hvordan skråveggene i manifold-
30 hodet danner kanaler for samme gass når monolittene stables vegg mot vegg. Innenfor beholderen som den hele monolittstruktur plasseres i så vil det for de fire gasstrømmer (innløp og utløp for hver gass) være egne plenumsspalter 5 for gassene inn og ut av beholderen/monolittstrukturen. Disse plenumsspaltene lages

tette slik at gass ikke lekker fra den ene til den andre plenumsspalten i beholderen.

På figuren er videre vist en alternativ sammenkobling (i forhold til det vist i Figur 10) av monolitter kanalende mot kanalende. Her vises monolitter koblet sammen ved hjelp av manifoldhodene. Her ses at det er den tette flaten parallelt med monolittens kortende som benyttes. Når bunn og topp på manifoldhodet settes mot hverandre som vist på figuren, så vil dette kunne utgjøre en tetteflate mellom de to gasser. For eksempel kan det legges en fleksibel tetning mellom de to flater. En slik sammenkoblingsteknikk vil være en mulighet der monolitter med forskjellige ekspansjonskoeffisienter skal kobles sammen. Det vil si at systemet tillater at monolitter av forskjellige materialer kobles sammen, f.eks. sammenkobling av en keramisk membran- og varmevekslerstruktur.

15 **Figur 13**

Figuren viser hvordan fem plater (platene 1-5) mellom monolitt og manifoldhodets skilleplater 4 kan lede gass 1 og gass 2 ut i separate rekker slik at avstanden mellom de to gasstrømmene øker. Dette skjer ved at gass fra nabokanaler føres sammen i et felles utløp eller innløp slik at utløp eller innløp for samme gass samles. Slike rekker av utløp eller innløp av samme gass vil da kunne skilles fra hverandre med et manifoldhode 3 med større avstanden mellom skilleplatene i forhold til en direkte kobling til monolitten. Figur 13 viser kun et lite antall monolittkanaler. Normalt vil det være et meget høyere antall kanaler i en virkelig monolitt. På figuren er hullene vist sirkulære, men også andre utforminger av hullene kan tenkes. F.eks. vil kvadratiske hull som er mer tilpasset tverrsnittsarealene være mulig. Slike hull vil ha et høyere tverrsnittsareal og gi et lavere trykkfall. På figuren er vist fem plater, men en kan også tenke seg at plate 2 og 3 lages som én plate og tilsvarende for 4 og 5.

Figur 14

Figur 14 viser hvordan bruk av 6 plater kan tilnærmet firedoble arealene av utløpskanalene i et sjakkemønster i plate 6 i forhold til det enkelte areal i monolitten. Dette vil igjen gjøre det mulig å øke avstand mellom skilleplatene i manifoldhodet i forhold til om de skulle forsegles direkte til monolitten. Videre kan plate 2 til 5 fra Figur 13 legges på plate 6 slik at utløp og innløpshull ble anordnet på rader eller rekker. Dette vil ytterligere øke avstanden mellom skilleplatene i manifoldhodet samt redusere antallet.

- 10 I kjemiske prosesser er transport av komponenter, blanding, kjemisk reaksjon, separasjon og varmeoverføring sentrale enhetsoperasjoner der man hele tiden søker etter mer effektive løsninger som kan være økonomisk fordelaktige.

Figur 15

- 15 Figur 15 viser et utsnitt fra monolitten parallelt med kanalenes lengderetning. Gasstrømmer er angitt med tykke piler. T4 angir temperatur for varm gass og T3 angir temperatur for kald gass. Vegg mellom varm og kald gass er angitt med temperatur T1, mens veggen mellom de to kanalene med kald gass er angitt med temperatur T2. Som også angitt på figur vil temperaturene være fra høy til lav: T4>T1>T2>T3. Vegg T2 vil da bli oppvarmet gjennom bestråling P3 fra varm vegg T1 som igjen vil bli oppvarmet av den varme gassen T4. Kald gass T3 vil da bli varmet opp både fra den varme veggen T1 og den oppvarmede veggen T2 som angitt av de tynne piler P1 og P2.

Figur 16

- 25 Figur 16 viser forskjellige gassfordelingsmønstre som alle utnytter strålings-effekten der en vegg som skiller to kanaler av kald gass kan bli bestrålt fra en vegg som oppvarmes av en varmere gass. Som beskrevet i tekst så er det også på figuren vist mulighetene av å ha flere skillevegger internt mellom de kalde gasskanalene. Strålingseffekten vil da gradvis avta, men fortsatt gi et bidrag til
- 30

oppvarming som ligger høyere enn om det ikke hadde vært interne vegger mellom kalde gasskanaler.

Figur 17

- 5 Figuren viser et gassfordelingsarrangement i kanalene som muliggjør inn og utmating internt i monolitten uten et manifoldhode. Som beskrevet i teksten må da vegger mellom kanalene av samme gass som ligger på rekker skjæres ned i en viss dybde av monolitten for så å tettes i en kortere dybde enn innskjært slik at det dannes åpninger i sidevegg i monolitt. Som angitt med hvite kanaler så ligger her samme gass på rekker som krysser hverandre (vinkelrett) og det kan dermed dannes åpninger i alle monolittens fire sidevegger.

Eksempel

- 15 Tabell 1 viser to alternativer som er beregnet for å se effekten av stråling når en vegg internt mellom to kaldere gasskanaler bestråles av en varmere vegg. T_3 og T_4 angir midlere gasstemperatur for hhv. kald gass og varm gass.

Alt.		Varm gass inn	Varm gass ut	Kald gass inn	Kald gass ut	Varm gass middel (T_4)	Kald gass middel (T_3)
1	(°C)	1 256	1 050	1 019	gass ut	1 153	1 120
1	(°K)					1 426	1 393
2	(°C)	1 093	505	453	1 000	799	727
2	(°K)					1 072	1 000

- 20 **Tabell 1** Tallverdier brukt for å beregne effekten av stråling fra en varm vegg mot en vegg mellom to gasskanaler med kaldere gass.

Det antas en veggtemperatur T_1 midtveis mellom varm og kald gasstemperatur, og følgende oppnås:

25

	Alt 1	Alt 2	
T_1 (°K)	1 410	1 036	(Temperatur vegg mellom varm og kald gass)
T_2 (°K)	1 393	1 000	(Temperatur av kald gass)

$\lambda=0,1$ W/mK

(Varmekapasitet gass)

$b=2,0$ mm

(Avstand mellom vegger)

$\epsilon_0=5,67 \cdot 10^{-8}$ W/m²K

(Stefan Bolzmanns konstant)

$\epsilon_r=0,9$

(Emissivitet av vegger)

$$P_1 = \lambda / b * 3,75 * (T_1 - T_3) = 3,2 \text{ kW/m}^2$$

$$P_2 = \lambda / b * 3,75 * (T_2 - T_3)$$

$$P_3 = \varepsilon_0 * \varepsilon_r * (T_1^4 - T_2^4)$$

- 5 Settes $P_2 = P_3$, får vi $T_2 = 1406^\circ\text{K}$ (1133°C) med $P_2 = P_3 = 2,4 \text{ kW/m}^2$ for alternativ 1 og $T_2 = 1019^\circ\text{K}$ (746°C) med $P_2 = P_3 = 3,6 \text{ kW/m}^2$ for alternativ 2.

		Alternativ 1	Alternativ 2
Med direkte kald/varm gass skillevegger	2 * P1	6,4 kW / m ²	13,6 kW / m ²
Med interne bestrålte vegger i kald gass	P1 + P2	5,6 kW / m ²	10,4 kW / m ²

- 10 Gjennom å ekstrudere monolitten med 2 mm kvadratiske kanaler og arrangere kanalene med samme gass i doble rekker, så vil det kunne oppnås endeavslutninger tilsvarende 4 mm kvadratiske kanaler. Som eksemplet viser så oppnås 88, henholdsvis 76%, varmetransporteffektivitet sammenlignet med enkle rekker av 2 mm kvadratiske kanaler både internt i monolittstrukturen og i endeavslutningene.

15

Eksemplet er gjort med vegger mellom kanaler av kald gass. Temperaturgradientene over veggen er neglisjert. Tilsvarende er varmeveksling gjennom stråling direkte fra vegg til gass også neglisjert. Begge disse effekter er imidlertid av liten betydning.

20

Foreliggende oppfinnelse gir muligheter for forbedring og forenkling av disse enhetsoperasjonene ved å utnytte monolittstrukturenes kompakthet (dvs. stort overflateareal pr. volumenhet med små kanaler), lav gjennomstrømningsmotstand for gasser og strukturens høytemperaturbestandige keramiske materiale som kan

25

belegges med en katalysator.

- Forbedringene vil være knyttet til bruk av monolittene i masse- og varmeoverføring mellom to forskjellige gasser og at disse enhetsoperasjonene i monolittstrukturen vil kunne integreres med en kjemisk reaksjon. En slik kombinasjon av enhetsoperasjonene masse- og varmeoverføring og kjemisk reaksjon i monolittene vil bidra til å gi kompakte løsninger hvor transport og separasjon forenkles. En anvendelse vil være en kombinasjon av endoterme og eksoterme reaksjoner, for
- 30

eksempel dampreforming av naturgass eller andre hydrokarbonholdige stoffer til syntesegass (hydrogen og karbonmonoksyd) med endoterm steamreforming i katalysatorbelagte kanaler og eksoterm forbrenning i tilstøtende nabokanaler (motstrøm). Slike monolittstrukturer vil kunne gi meget kompakte reformere og kan for eksempel benyttes for småskala hydrogenproduksjon. Men syntesegass kan også prosesseres videre til en rekke andre produkter, f.eks. metanol, ammoniakk og syntetisk bensin/diesel.

Et annet eksempel kan være kompakte reformere anvendt for partiell oksidasjon av naturgass eller andre hydrokarboner. Luft eller oksygen vil da ledes gjennom manifoldhodet inn i de aktuelle turkanaler i monolitten og varmes opp av utstrømmende syntesegass i de tilstøtende returkanaler. Syntesegassen ledes ut av manifoldhodet skilt fra innkommende luft eller oksygen. I motsatt ende av monolitten der manifoldhodet sitter vil det måtte være et blande- og snukammer der luft/oksygen blandes med naturgass. Denne gassblandingen strømmer inn i et katalysatorbelagt område av returkanalene der gassblandingen reagerer (partiell oksidasjon) til syntesegass. Reaksjonen utvikler varme, og syntesegassen i returkanalene vil derfor varme opp luft/oksygen i turkanalene (motstrøm).

Mange kjemiske reaksjoner er likevektsmessig eller termodynamisk sett be- gunstiget av høyere temperaturer enn det metalliske materialet i en reaktor/varme- veksler kan operere ved (8-900°C). I slike prosesser vil keramiske monolitter som både kan belegges med katalysator og tåler høyere temperaturer kunne være svært fordelaktige. Både dampreformeringsprosessen og den partielle oksidasjon av naturgass til syntesegass er eksempler på prosesser der slike høye temperaturer vil være fordelaktige.

En annen aktuell anvendelse er innenfor ammoniakkproduksjon der vann-gass skiftreaksjon inngår ($\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$). Denne reaksjon benyttes innenfor produksjon av ammoniakk for å fjerne CO fra syntesegassen før selve ammoniakksyntesen. Reaksjonen er svakt eksoterm (- 41.1 kJ/kmol). Dette betyr at likevektskonstanten reduseres med temperaturen, og dermed er økt omsetning

begunstiget av lave temperaturer. Ved adiabatisk forhold i en katalysatorseng vil reaksjonen øke temperaturen og dermed begrense den likevektsmessige omsetningsgrad. I dagens prosesser omgås dette problem ved at reaksjonen utføres i to trinn, såkalt høytemperatur (HT) og lavtemperatur (LT) skift.

- 5 Reaksjonsvarme fjernes da mellom HT og LT reaktorene slik at siste trinn, LT skift, kan kjøres til en høyere omsetning. Med det monolittbaserte system vil en kunne fjerne reaksjonsvarme direkte ved å kjøre en kjølegass i tilstøtende kanaler til der reaksjonen foregår (katalysatorbelagte). Dermed kan det oppnås en kompakt reaktor som vil kunne operere under mer gunstige likevektsbetingelser enn
- 10 dagens todelte system.

Ammoniakk vil også kunne være et aktuelt råstoff for hydrogenproduksjon, og eksempelvis vil monolittstrukturer da kunne benyttes for den endoterme ammoniakksplitting til hydrogen. Den monolittiske reaktor eller reformer vil da

15 bestå av vekselvis katalysatorbelagte ammoniakkgass kanaler og en varm gass i tilstøtende kanaler som tilfører energi til ammoniakksplittingen.

- Også innenfor energimarkedet (kraftproduksjon) vil bruk av monolittstrukturer kunne anvendes, for eksempel som varmevekslere i mikroturbiner for å gjøre
- 20 disse mer energieffektive. Slike varmevekslere vil derfor kunne komme til anvendelse både for stasjonær kraftproduksjon og til alle turbindrevne fremkomstmidler på land, sjø og i luft. Disse vil da kunne dra nytte av kompakte monolittiske keramiske varmevekslere til en mer energieffektiv drift. De monolittiske varmevekslerne vil da overføre varme fra eksosgassen til inn-
- 25 kommende luft/oksygen til brennkammeret og således redusere forbruk av drivstoff.

- Også innenfor smelteverksindustrien (aluminium, magnesium, stål, glass, etc.) vil monolittiske varmevekslere kunne benyttes til å overføre varme fra ovngassen
- 30 (forbrenningsgassen) til luften til brennere og således bidra til energibesparelse.

Monolittiske varmevekslere vil også kunne benyttes for destruksjon av organiske komponenter, f.eks. destruksjon av dioksiner, som foregår ved høye temperaturer. Gass med den uønskede komponent kjøres da i sine respektive kanaler, mens en varmetilførende gass kjøres i tilstøtende nabokanaler.

Patentkrav

- 5 1. Fremgangsmåte for å lede to gasser med forskjellige kjemiske og/eller
fysikalske egenskaper inn og ut av kanalene i en flerkanals monolitt-
struktur hvor kanalåpningene er jevnt fordelt over hele monolittens
tverrsnittflate og hvor kanalene har felles vegger,
karakterisert ved at
- 10 nevnte gasser føres inn i en åpning i henholdsvis en eller flere
plenumsspalter (5) for den ene gassen og en eller flere plenumsspalter for
den andre gassen hvor nevnte plenumsspalter er i et manifoldhode (3)
som er forseglet til den ene siden av nevnte monolittstruktur (1),
de to gassene fordeles fra nevnte spalter inn i monolittens kanaler på en
15 slik måte at minst en av kanalveggene er felles for de to gassene,
de to gassene samles deretter i henholdsvis en eller flere plenumsspalter
for den ene gassen og en eller flere plenumsspalter for den andre gassen
hvor nevnte plenumsspalter er i et manifoldhode som er forseglet til
motstående side av monolittstrukturen hvor det førstnevnte manifold-
20 hodet er forseglet,
gassene ledes deretter ut av sine respektive åpninger i de sistnevnte
plenumsspaltene.
- 25 2. Fremgangsmåte for å lede to gasser med forskjellige kjemiske og/eller
fysikalske egenskaper inn og ut av kanalene i en flerkanals monolitt-
struktur hvor kanalåpningene er jevnt fordelt over hele monolittens tverr-
snittflate og hvor kanalene har felles vegger,
karakterisert ved at
- 30 den ene gassen føres inn i en åpning i en eller flere plenumsspalter (5)
hvor nevnte plenumsspalter er i et første manifoldhode (3) som er
forseglet til den ene siden av nevnte monolittstruktur (1),
den andre gassen føres inn i en åpning i en eller flere plenumsspalter
hvor nevnte plenumsspalter er i et andre manifoldhode som er forseglet til

motstående side av nevnte monolittstruktur hvor det førstnevnte manifoldhodet er forseglet,

de to gassene fordeles fra nevnte spalter inn i monolittens kanaler på en slik måte at minst én av kanalveggene er felles for de to gassene,

5 den første gassen samles deretter i én eller flere plenumsspalter hvor nevnte plenumsspalter er i det andre manifoldhodet,

den andre gassen samles deretter i én eller flere plenumsspalter hvor nevnte plenumsspalter er i det første manifoldhodet,

10 og de to gassene ledes deretter ut av åpninger i plenumsspaltene i henholdsvis det første og andre manifoldhodet.

3. Fremgangsmåte som angitt i krav 1 eller 2,

karakterisert ved at

15 de to gasstrømmene fra nevnte spalter (5) fordeles inn i monolittens kanaler slik at gassen som strømmer i én kanal har den andre gassen strømmende i alle tilstøtende kanaler.

4. Fremgangsmåte som angitt i krav 1 eller 2,

karakterisert ved at

20 de to gassene fra nevnte spalter fordeles inn i monolittens kanaler som i et sjakkmønster hvor den ene gassen føres i de "sorte" kanalene og den andre gassen føres i de "hvite" kanalene.

5. Fremgangsmåte som angitt i krav 1 eller 2,

25 **karakterisert ved at**

de to gasstrømmene ledes inn og ut av samme manifoldhode.

6. Manifoldhode for å lede to gasser med forskjellige kjemiske og/eller fysikalske egenskaper inn og ut av kanalene i en flerkanals monolittstruktur hvor kanalåpningene er jevnt fordelt over hele monolittens tverrsnittflate og hvor kanalene har felles vegger,

30

karakterisert ved at

manifoldhodet (3) omfatter minst tre parallelle skilleplater (4) som er forseglet sammen med avstandsholdere (6) på én eller to av platenes sider slik at det dannes minst to tilstøtende plenumsspalter (5) med åpninger hvorigjennom de to gassene ledes til eller fra kanalene i monolittstrukturen (1) og hvor bredden på nevnte avstandsholder er tilpasset kanalstørrelsen i monolittstrukturen.

5

7. Monolittsystem for utveksling av masse og/eller varme mellom to gasser med forskjellige kjemiske og/eller fysikalske egenskaper,

10

karakterisert ved at

systemet omfatter en monolittstruktur (1) hvor kanalåpningene er jevnt fordelt over hele monolittens tverrsnittflate og hvor kanalene har felles vegger og et manifoldhode (3) som angitt i krav 6 som er forseglet til minst én av sidene til nevnte monolittstruktur.

15

8. Monolittsystem som angitt i krav 7,

karakterisert ved at

én eller flere av kanalveggene i nevnte monolittstruktur er belagt med én eller flere katalytiske aktive komponenter.

20

9. Monolittsystem som angitt i krav 7,

karakterisert ved at

kanalåpningene for de to gassene i monolittstrukturen er jevnt fordelt over hele monolittens tverrsnittflate som et sjakkmønster med den ene gassen i de "sorte" kanalene og den andre gassen i de "hvite" kanalene.

25

10. Monolittsystem som angitt i krav 7,

karakterisert ved at

plenumsspaltene (5) kommuniserer med nevnte kanaler ved at én eller flere hullplater (2) med en nærmere fastsatt hullkonfigurasjon er anbrakt mellom manifoldhodet (3) og monolittstrukturen (1).

30

-
11. **Monolittsystem som angitt i krav 7, karakterisert ved at skilleplatene (4) i manifoldhodet (3) er forseglet til den tilliggende hullplaten (2).**
- 5
12. **Monolittsystem som angitt i krav 7, karakterisert ved at skilleplatene (4) er forseglet direkte til monolittens kanalvegger.**
- 10 13. **Monolittsystem som angitt i krav 7, karakterisert ved at manifoldhodet (3) er forseglet til de sidene av monolittstrukturen (1) der kanalåpningene er.**
- 15 14. **Anvendelse av ett eller flere monolittsystem som angitt i kravene 7-13 for å utveksle masse og/eller varme mellom to gasstrømmer hvor gassstrømmene ledes gjennom nevnte monolittsystem.**
- 20 15. **Anvendelse av ett eller flere monolittsystem som angitt i kravene 7-13 i en reaktor for produksjon av en kjemisk forbindelse.**

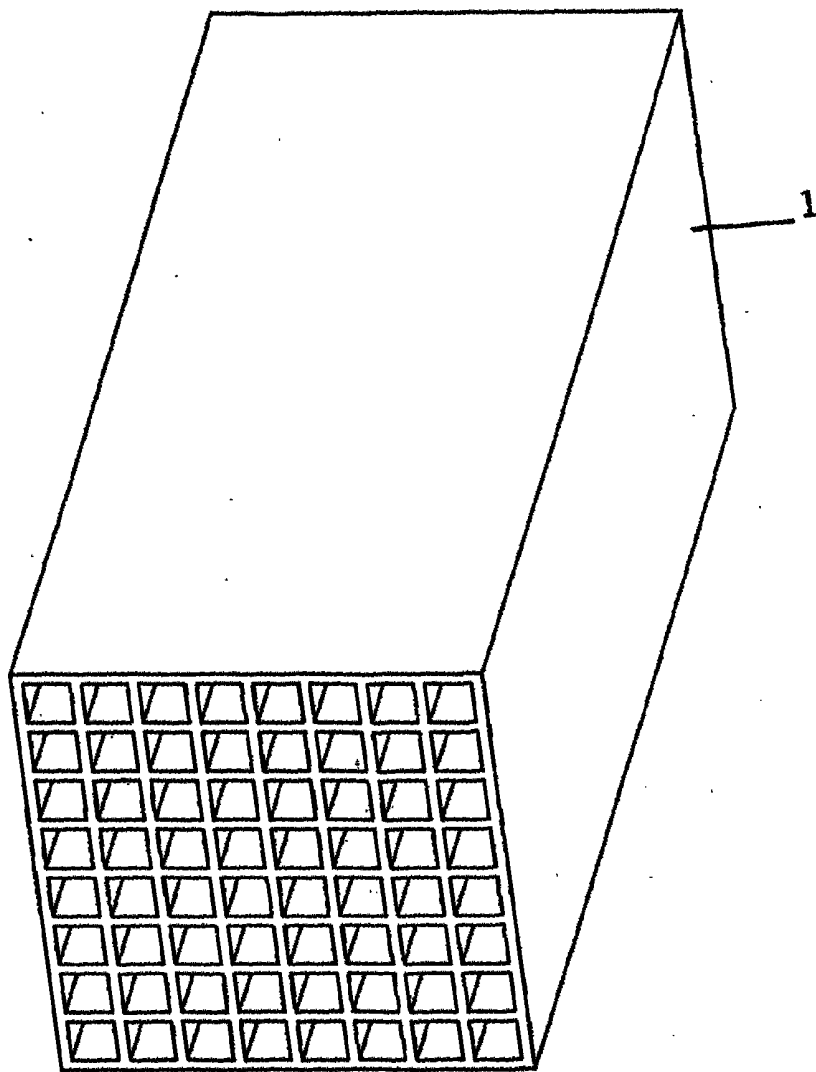


Fig.1

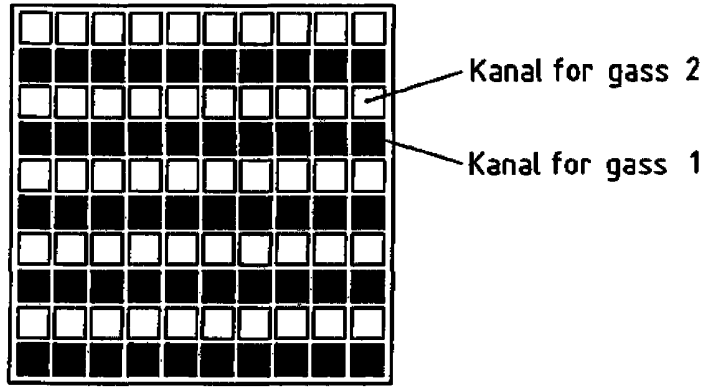


Fig.2.1

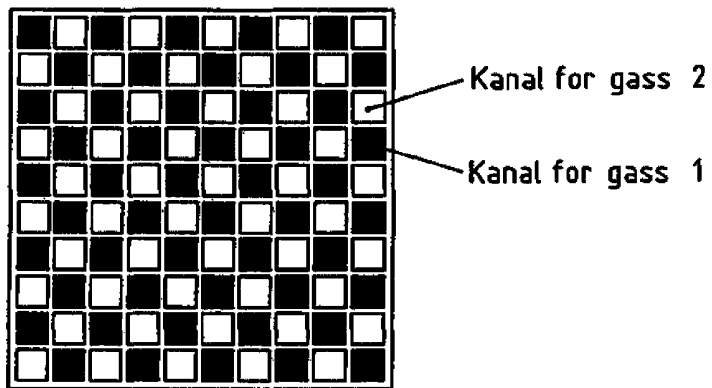


Fig.2.2

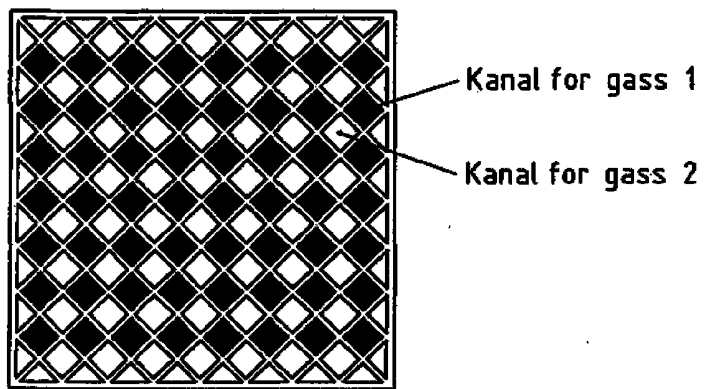


Fig.2.3

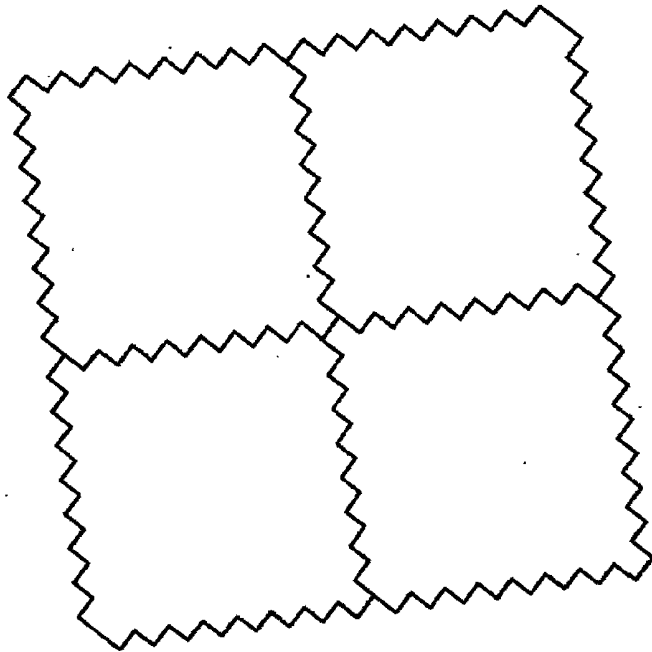


Fig.32

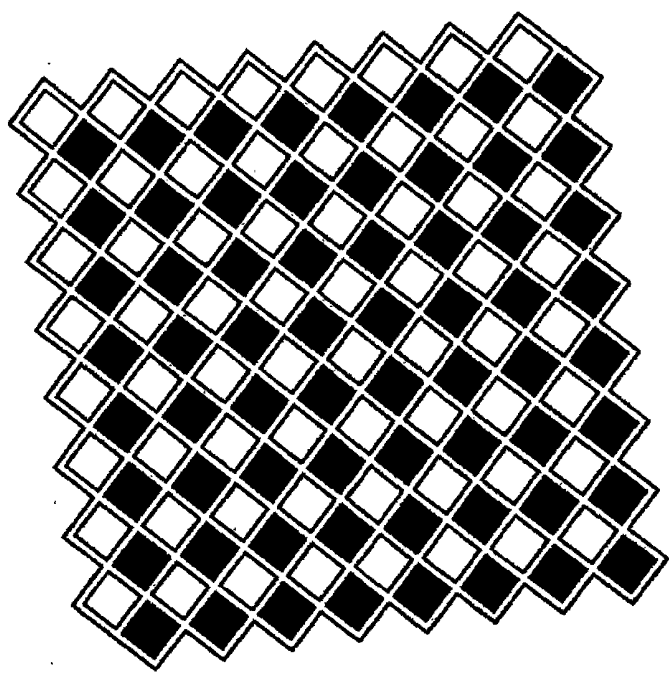


Fig.31

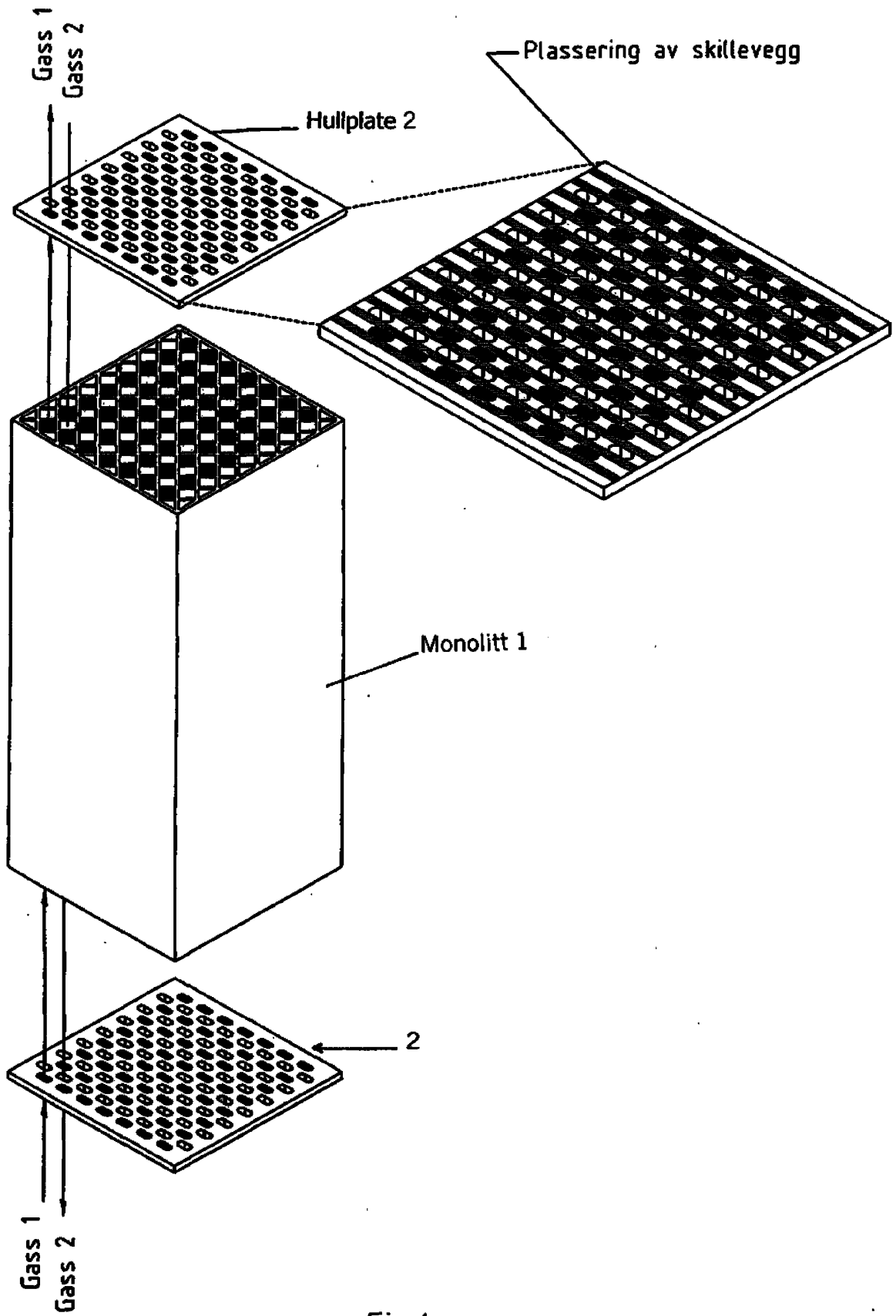


Fig.4

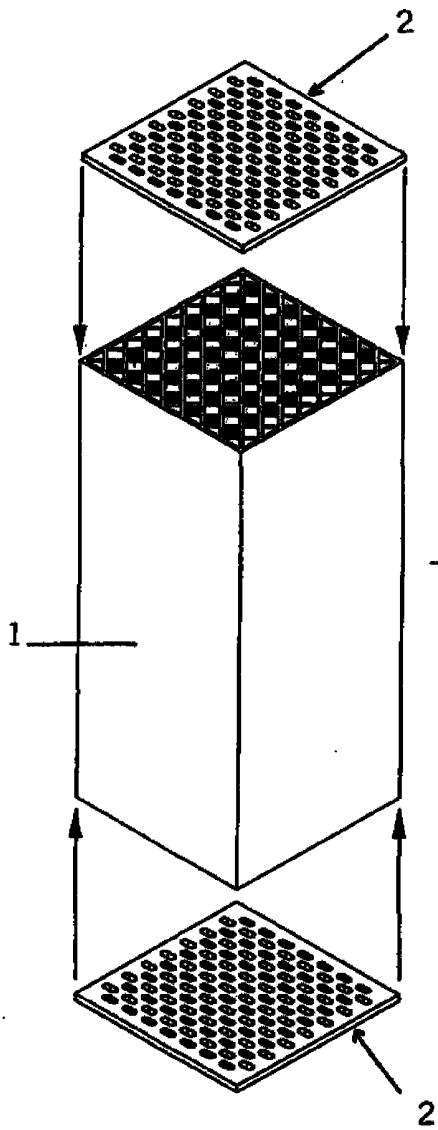


Fig.5.1

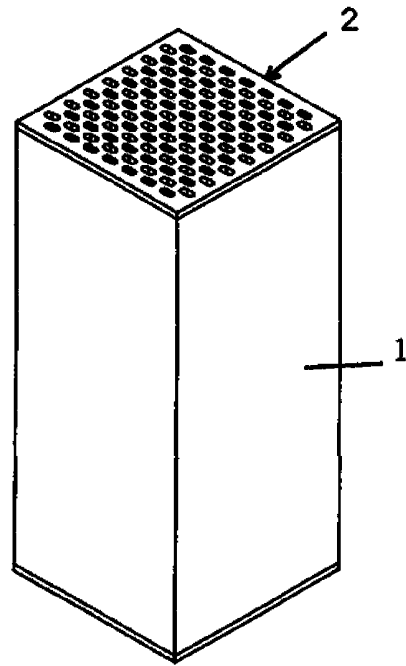


Fig.5.2

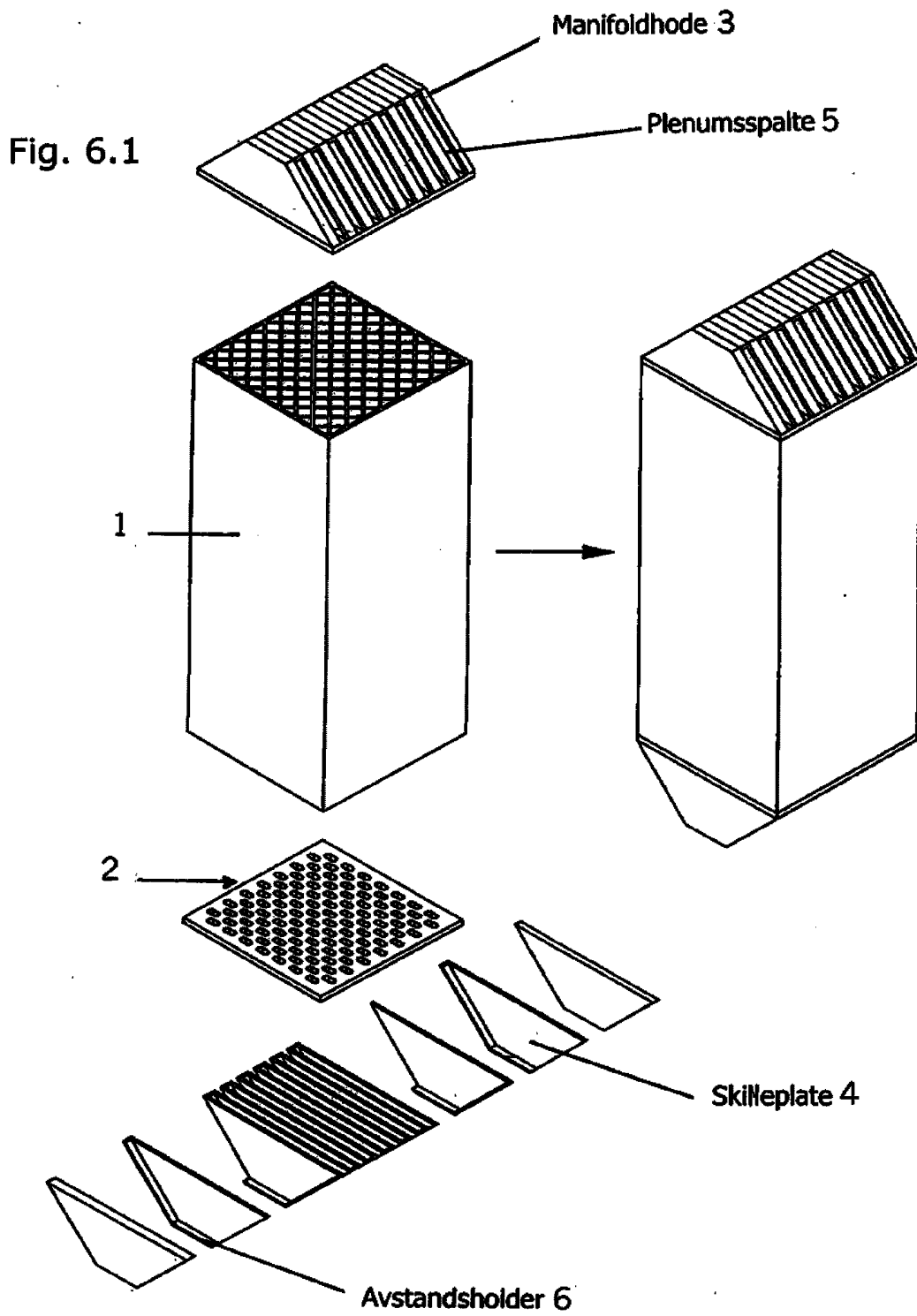


Fig. 6.2

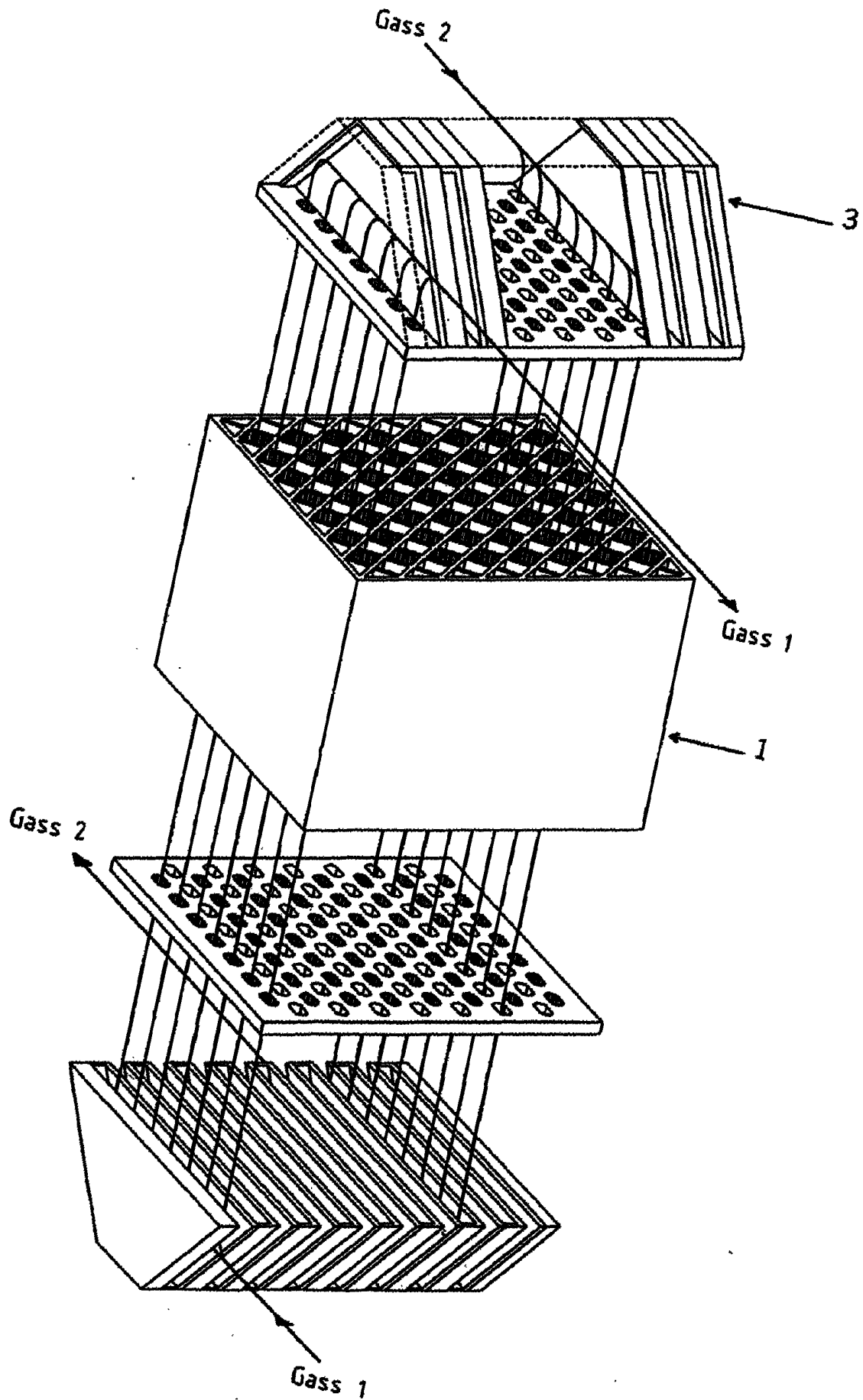


Fig. 7

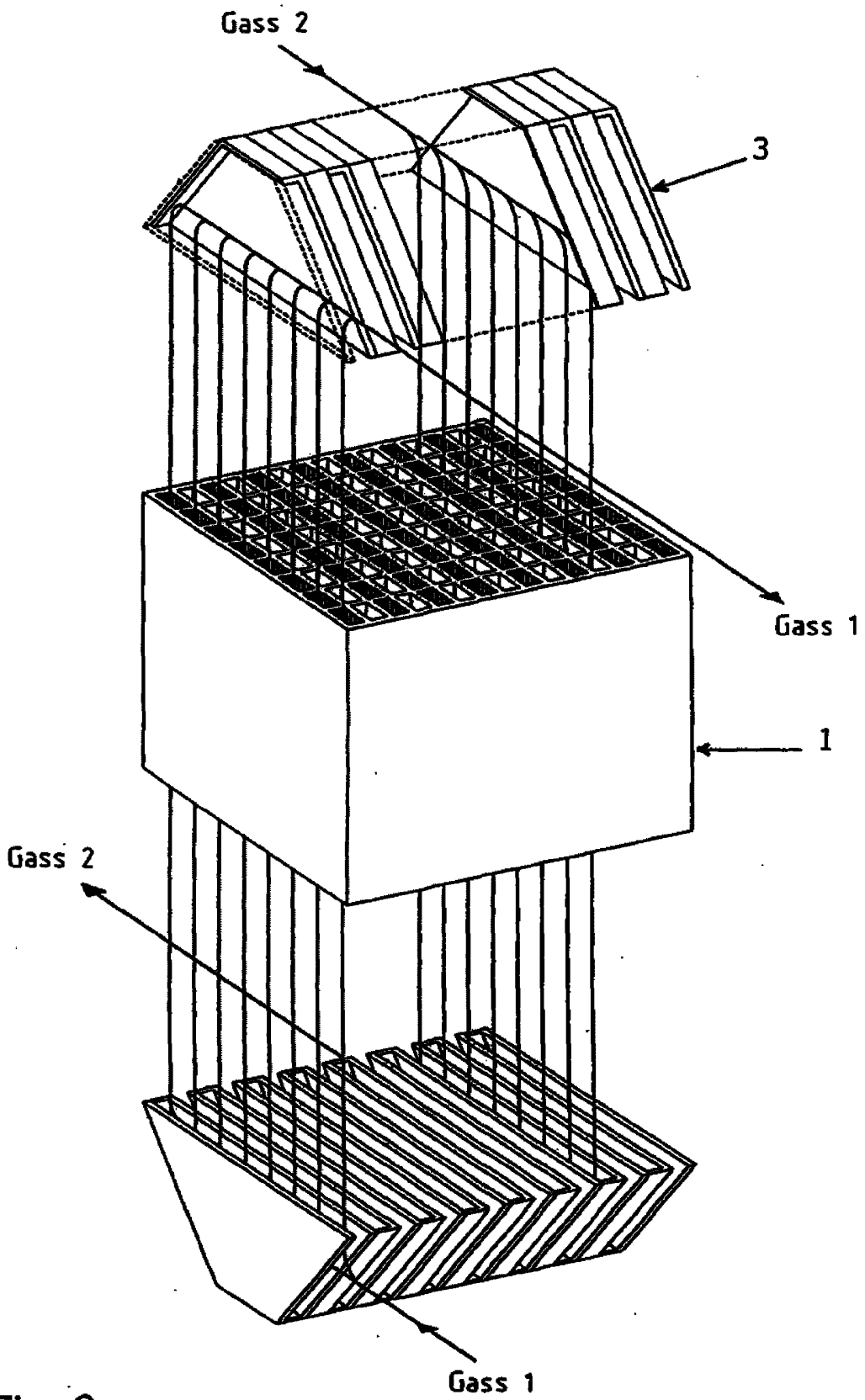


Fig. 8

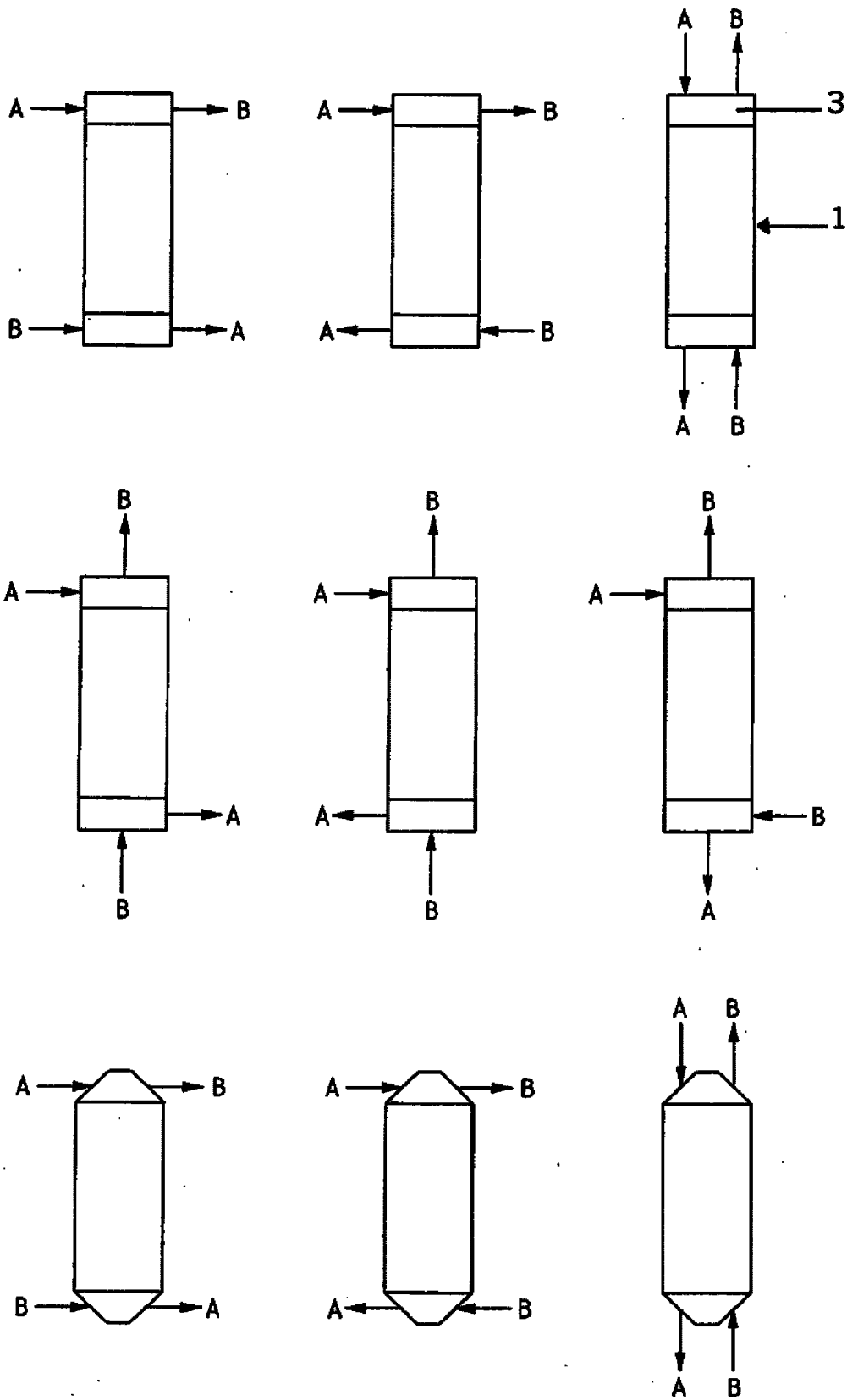


Fig.9

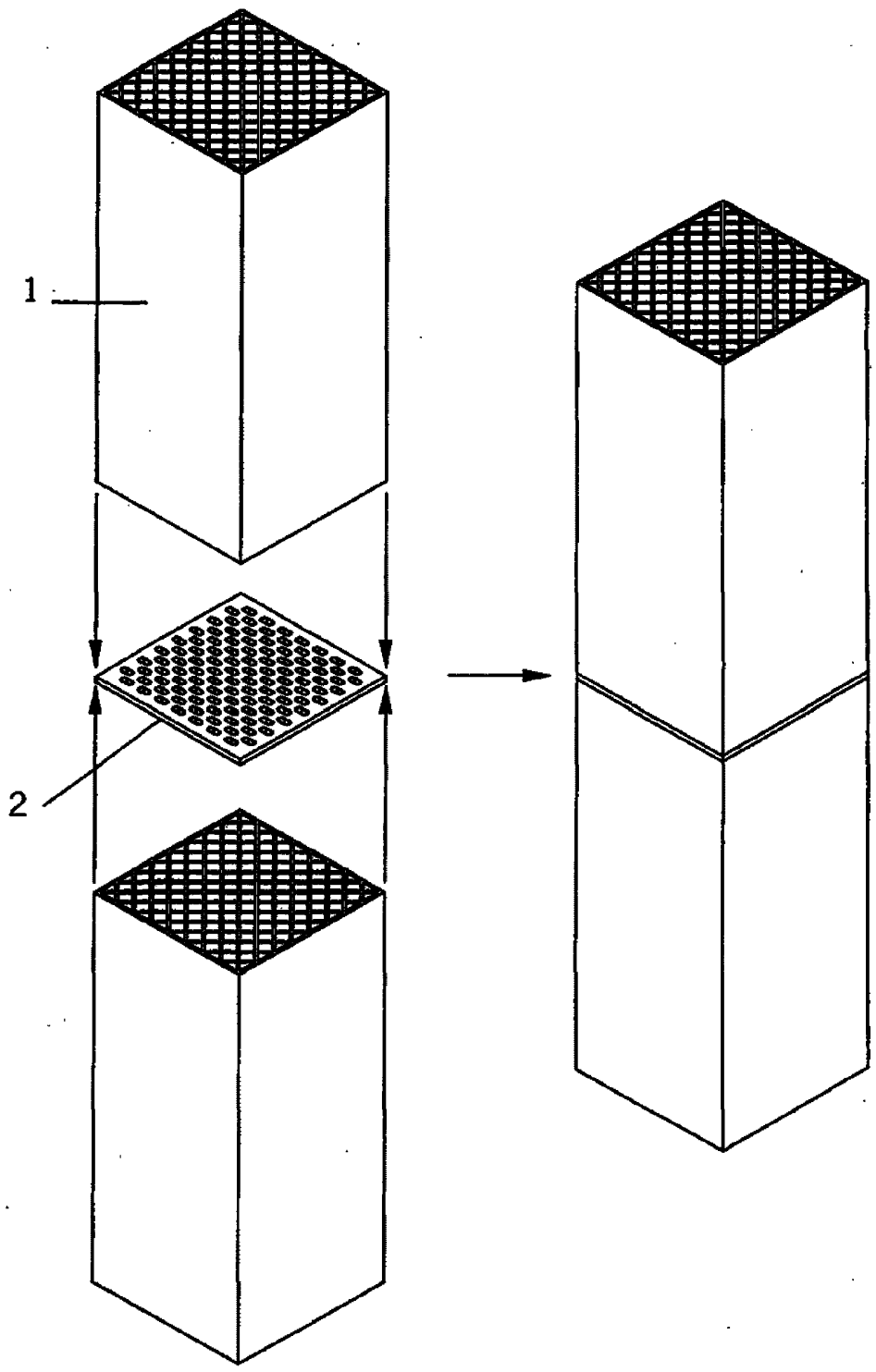


Fig.10

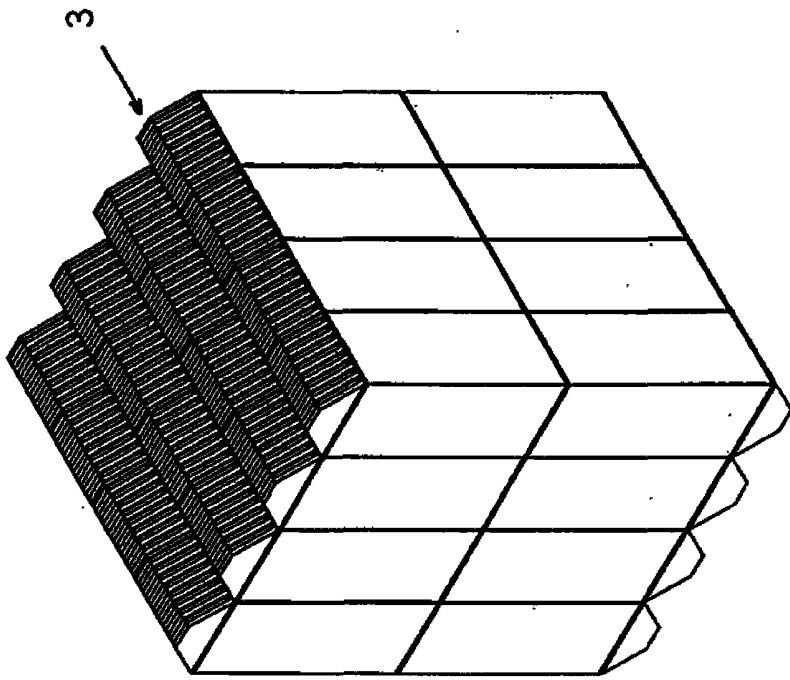


Fig. 11.1

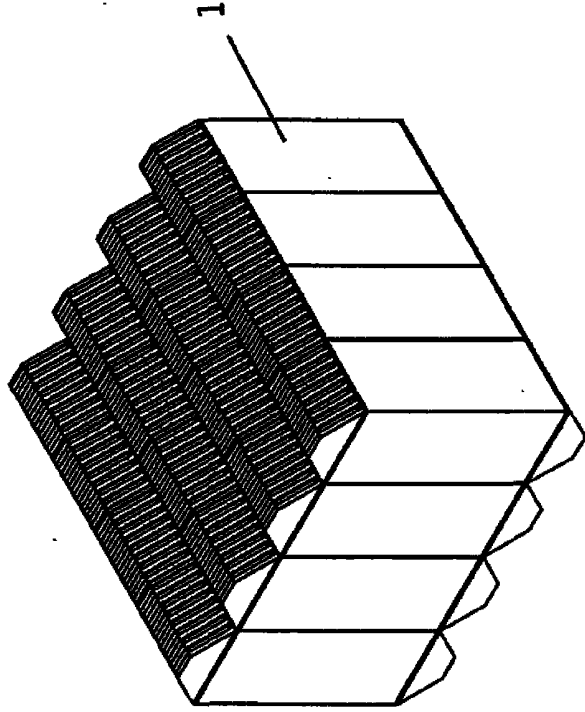


Fig. 11.2

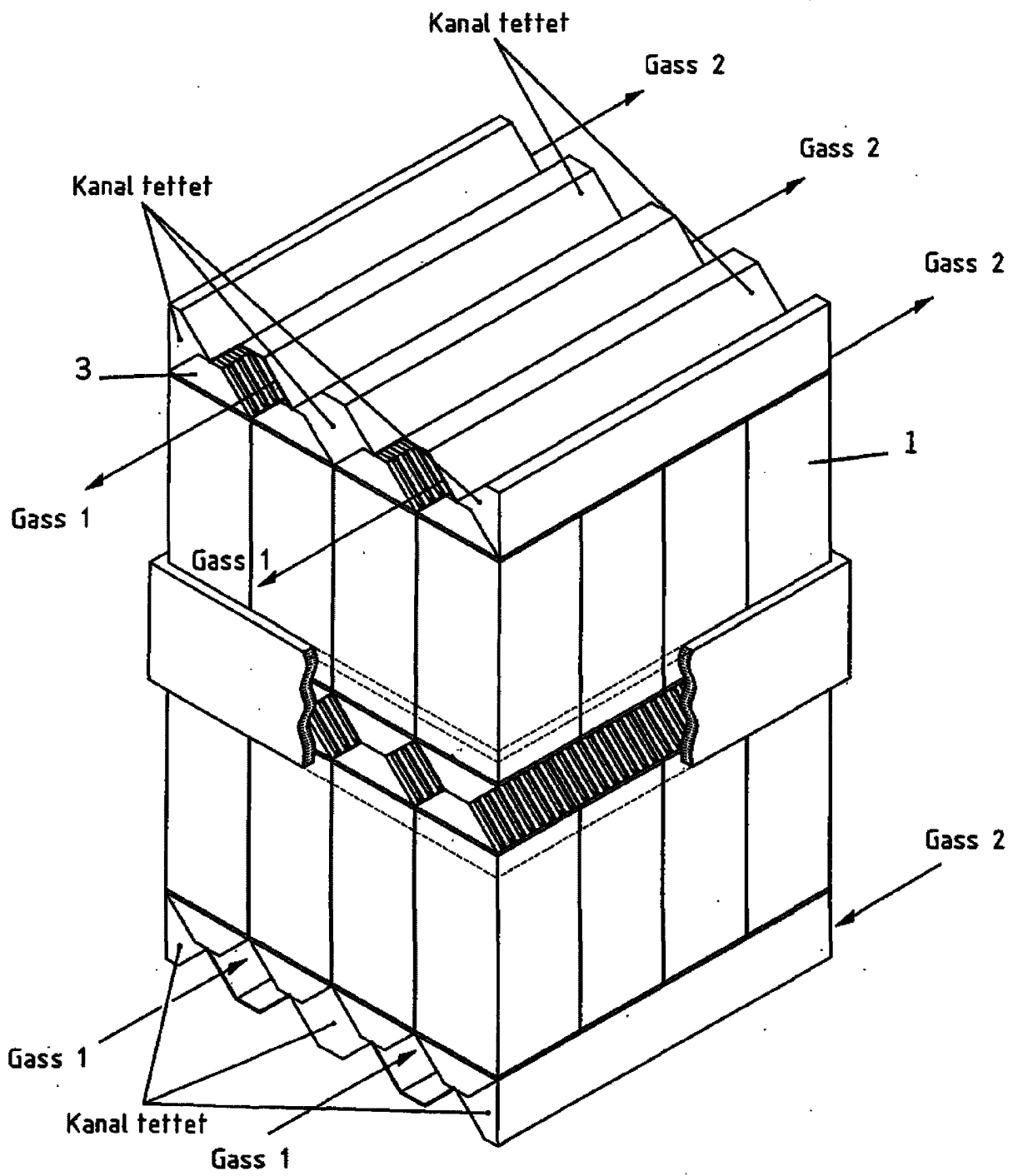


Fig. 12

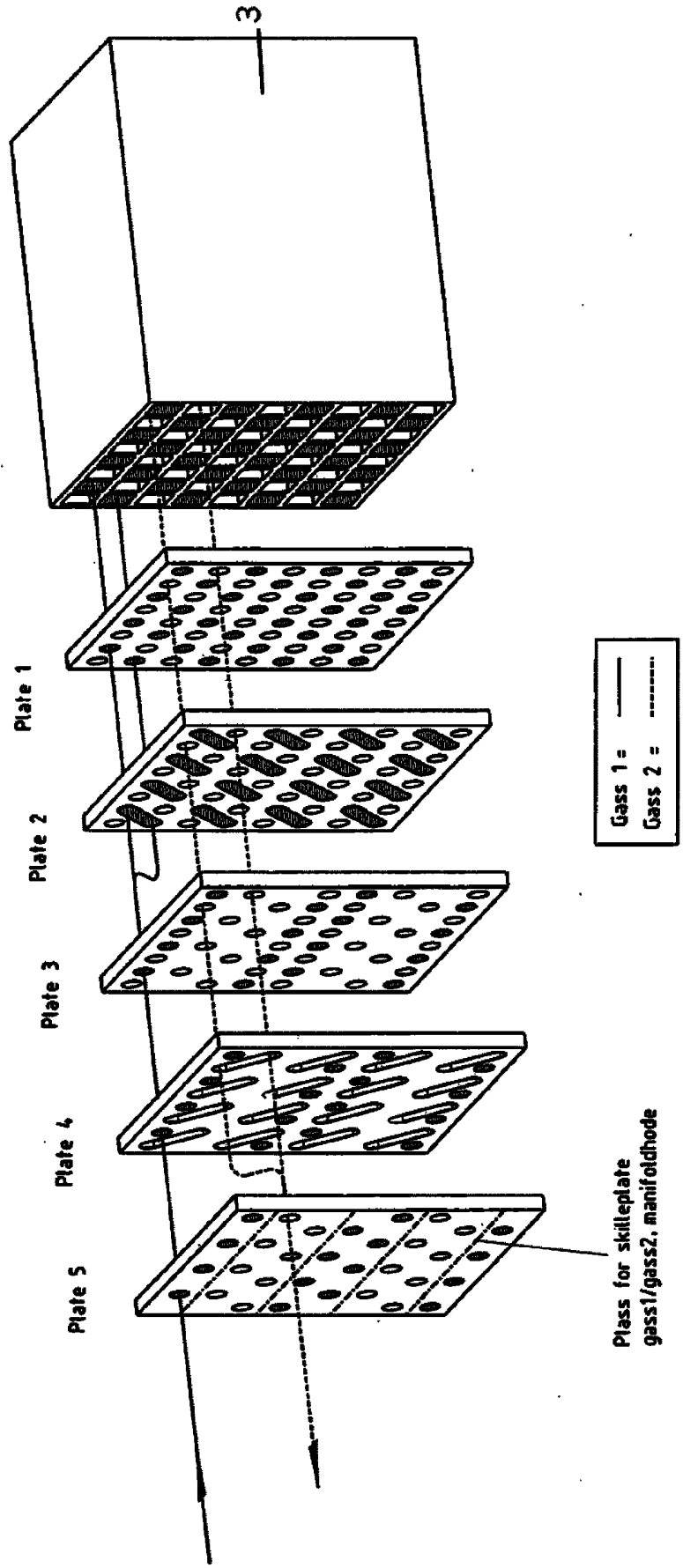


Fig. 13

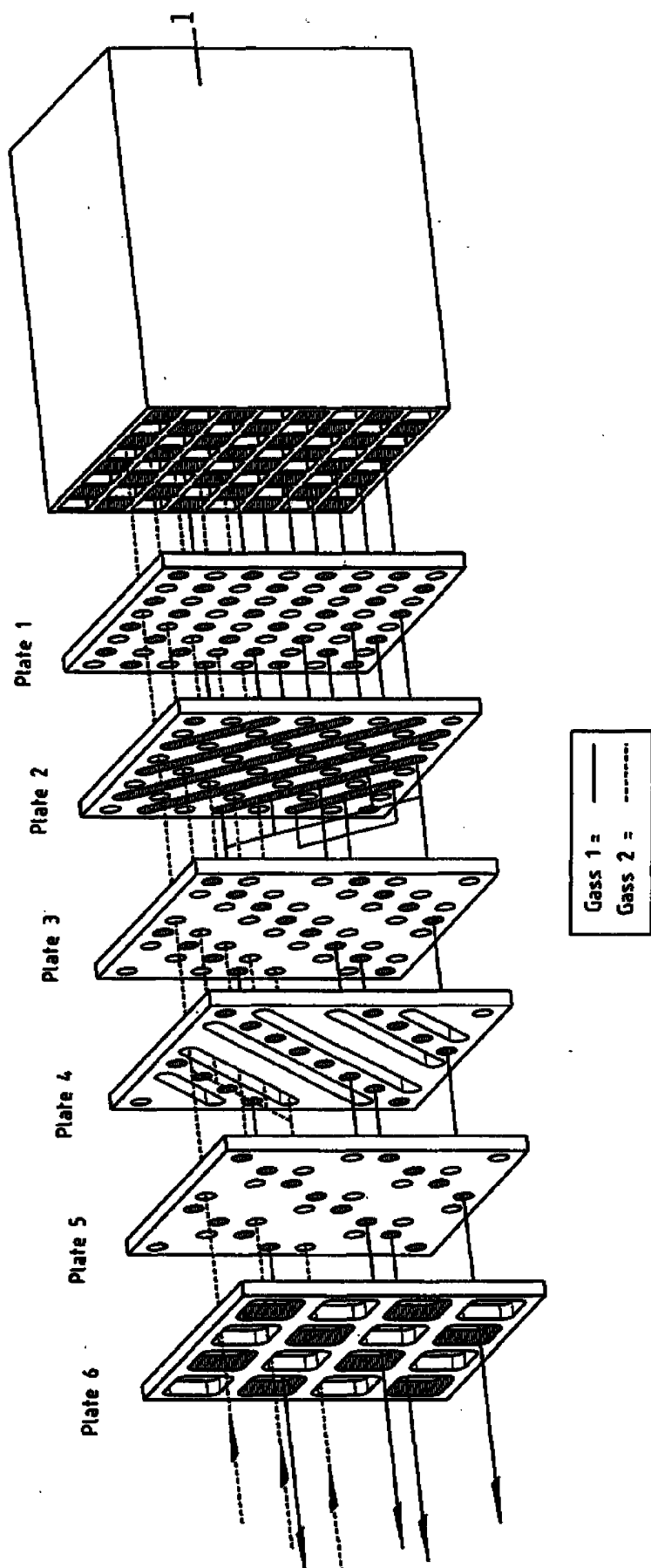


Fig. 14

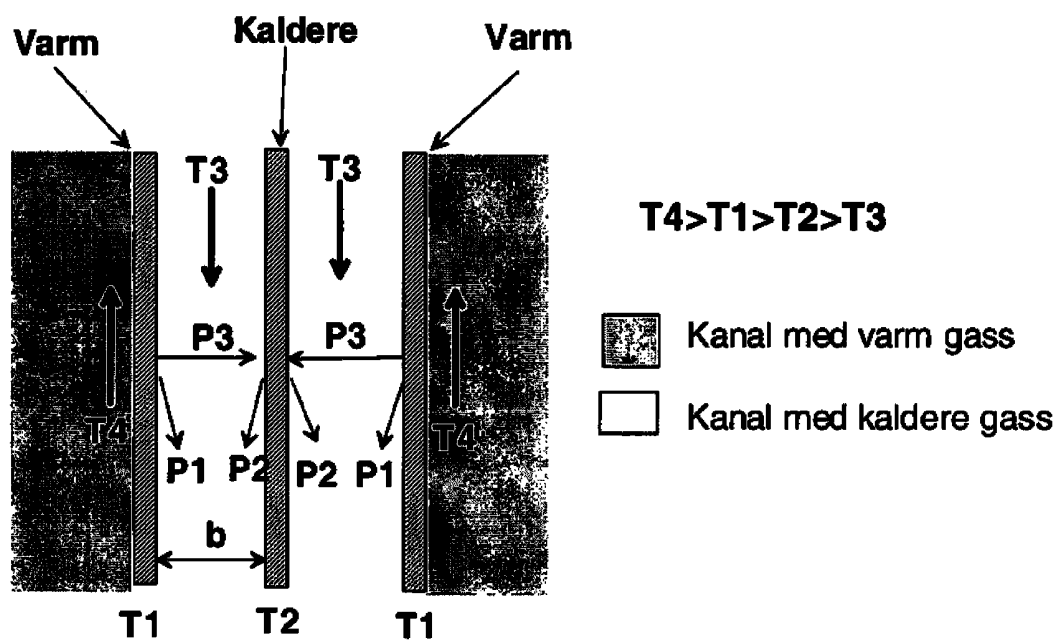
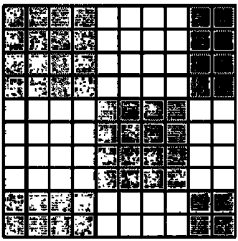
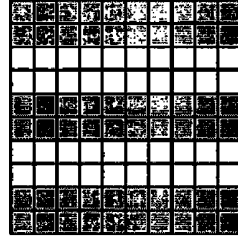
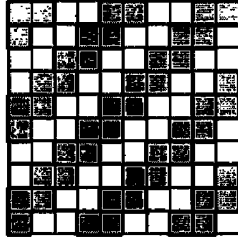
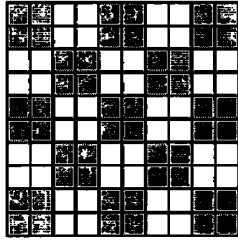




Fig. 15



 Kanal med varm gass
 Kanal med kaldere gass

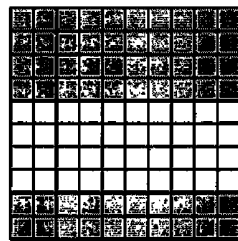


Fig. 16

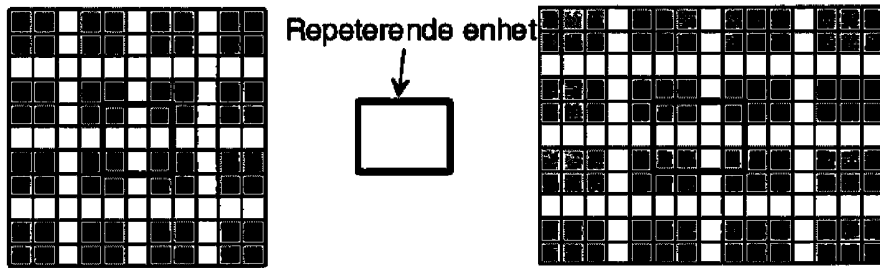


Fig. 17