

(19)



(11)

EP 2 761 240 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
21.06.2017 Patentblatt 2017/25

(51) Int Cl.:
F26B 21/00 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12756377.3**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2012/003751

(22) Anmeldetag: **07.09.2012**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2013/045026 (04.04.2013 Gazette 2013/14)

(54) VORRICHTUNG FÜR DEN WÄRME- ODER STOFFÜBERGANG MIT HEXAGONALEN PRALLSTRAHLDÜSEN UND VERFAHREN ZUR BEHANDLUNG VON OBERFLÄCHENSCHICHTEN

DEVICE FOR TRANSFERRING HEAT OR MASS, COMPRISING HEXAGONAL JET NOZZLES, AND METHOD FOR TREATING SURFACE LAYERS

DISPOSITIF DE TRANSFERT DE CHALEUR OU DE SUBSTANCE AU MOYEN DE BUSES À JET INCIDENT HEXAGONALES ET PROCÉDÉ DE TRAITEMENT DE COUCHES SUPERFICIELLES

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **29.09.2011 DE 102011115257**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
06.08.2014 Patentblatt 2014/32

(73) Patentinhaber: **Karlsruher Institut für Technologie 76131 Karlsruhe (DE)**

(72) Erfinder:
• **CAVADINI, Philipp**
73760 Ostfildern (DE)
• **SCHABEL, Wilhelm**
76229 Karlsruhe (DE)
• **SCHARFER, Philip**
76344 Eggenstein-Leopoldshafen (DE)
• **WENGELER, Lukas**
76135 Karlsruhe (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 1 696 474 GB-A- 1 417 121
US-A- 2 042 610 US-A- 3 060 590
US-A- 3 060 595 US-A- 3 229 377

EP 2 761 240 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung für den Wärme- und Stoffübergang, insbesondere zum Trocknen von dünnen Schichten oder Beschichtungen. Im Vordergrund steht hierbei die hexagonale Geometrie der Prallstrahldüsen und der darum angeordneten Effusionsöffnungen, denn in dieser Anordnung ist ein besonders günstiger Wärmeübergangskoeffizient bei ausgezeichneter Homogenität zu erzielen. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Behandlung von Oberflächenschichten, insbesondere ein Verfahren zur schonenden Trocknung organischer (opto-) elektronischer Bauteile.

[0002] Prallstrahlen werden verbreitet in industriellen Produktionsverfahren eingesetzt, wo Werkstücke gekühlt, erhitzt oder getrocknet werden müssen. Wenn gleich Prallstrahlen in der Lage sind, konvektiv getriebene Prozesse zu forcieren, so erzeugen sie jedoch eine stark inhomogene Verteilung des Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten.

[0003] Bei der Trocknung von dünnen Beschichtungen organischer Elektronik ist die Homogenität des Wärmeübergangs von großer Bedeutung, denn die Anforderungen an die Oberflächengüte multifunktionaler, flüssigphasenapplizierter Polymerfilme steigen drastisch mit sinkender Schichtdicke. Neben Einflussgrößen wie dem Applizierverfahren und den Substrateigenschaften stellt die Wärme- und Stoffübertragung einen entscheidenden Einflussparameter im Prozess der Oberflächenstrukturierung dar. Inhomogenitäten in der Verteilung des Stoffübergangskoeffizienten führen somit potentiell zu oberflächenspannungsgetriebenen Konvektionsströmungen, deren Auswirkung sich im erstarrten Film durch Inhomogenität in der Oberflächentopologie detektieren lässt. Die Möglichkeiten, flächig homogene und definierte Stoffübergangsbedingungen zu erzeugen sind limitiert. Sowohl der Grenzfall der Trocknung in ruhender Umgebung (limitiert durch Konvektion in der Gasphase) als auch die Trocknung bei paralleler Überströmung (beeinflusst durch Konzentrationsgrenzschicht) führen zu einer lokalen Verteilung des Stoffübergangskoeffizienten. Ein System, das homogene und definierte Stoffübergangsbedingungen ermöglicht muss beide Effekte minimieren.

[0004] Derzeit bestehen auf dem Gebiet der Trocknung von Beschichtungen mittels Prallstrahlen zwei konkurrierende Lösungsansätze. Einsatz finden Schlitz- und Runddüsenysteme. In beiden Systemen kommt es zwangsläufig zu Inhomogenitäten im Feld der Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten. Der Einsatz von Runddüsen in Fließbandtrocknungsverfahren führt zu Inhomogenität in Band- und quer zur Bandrichtung. Aus diesem Grund sind die den Markt dominierenden Systeme Schlitzdüsenysteme, wie z.B. in DE 196 19 547 A1 beschrieben. Diese weisen bei durchdachter Konstruktion lediglich an den Rändern und in Bandrichtung einen Gradienten im Feld der Wärme- und Stoffkoeffizienten auf.

Der Gradient in Bandrichtung ist bei wenig sensitiven Produkten (in DE 196 19 547 A1: Papier), die hohe Bandgeschwindigkeiten zulassen, tolerierbar, da jeder Bereich trotz Inhomogenität, schlussendlich identische Bedingungen erfährt. Ferner offenbart US3060595 eine Vorrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Limitierungen der Anwendbarkeit treten dann in den Vordergrund, wenn Systeme verarbeitet werden sollen, die lediglich niedrige Bandgeschwindigkeiten zulassen. Hier kann nicht mehr argumentiert werden, dass identische Bedingungen in Bandrichtung auch zu einheitlichen Produkteigenschaften führen. Ein weiterer Punkt, der berücksichtigt werden muss, ist die Inhomogenität im Impulsaustausch. Bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten kann es vorkommen, dass das Produkt aufgrund der aufprallenden Fluidstrahlen eine Oberflächendeformation erfährt. Dies kann zu einer Reduzierung der Leistungsfähigkeit führen.

[0005] Eine Möglichkeit, die Homogenität des Trocknungsvorgangs zu erhöhen und die Beeinflussung der Prallstrahlen untereinander zu minimieren, bietet die lokale Absaugung des eingedüsten Fluids über Effusionsöffnungen, indem das Fluid direkt nach dem Aufprall abgeführt wird. Potentiell sind für die Platzierung der Effusionsöffnungen zwei Ausführungen - in der Prall- oder in der Düsenplatte - denkbar. Die Ausführung hängt dabei vom Anwendungsfall und den daraus abgeleiteten geometrischen Beschränkungen ab.

[0006] Huber und Viskanta (AM Huber, R Viskanta (1994) Int. J. Heat Mass Transfer, 37(18), 2859-69) beschäftigen sich mit kreisförmigen Effusionsöffnungen in der Düsenplatte. Die von ihnen gewählte Anordnung entspricht einem äquidistanten Düsenfeld mit versetzt angeordneten Düsen. Sie untersuchen den Wärmeübergang in der Umgebung der zentralen und somit theoretisch nicht von Querströmung beeinflussten Düse. Ihre Studien zeigen, dass durch die Absaugung ein höherer Grad an Homogenität im Vergleich zu querströmungsbeeinflussten Systemen erzielen lässt. Jedoch sind die von ihnen gewählten Lochabstände mit sechs Mal dem Düsendurchmesser relativ groß. Dies führt trotz Absaugung zu stark ausgeprägten Wandstrahlbereichen und somit zu ausgedehnten Bereichen mit relativ niedrigem Wärmeübergang was der Homogenität abträglich ist.

[0007] Onstad et al. (AJ Onstad, CJ Elkins, RJ Moffat, JK Eaton, (2009) J. Heat Transfer, 131(8), 082201) untersuchten ein äquidistantes Düsenfeld mit Runddüsen versetzter Anordnung. In ihrer Studie umringen sie jeden Prallstrahl mit sechs regelmäßig angeordneten Effusionsöffnungen ($A_{\text{effusion}}/A_{\text{Strahl}}=2.23$). Das Feld des Wärmeübergangskoeffizienten wird nicht lokal aufgelöst dargestellt, sondern es werden nur gemittelte Werte angegeben. Jedoch konnte durch Geschwindigkeitsmessungen mittels Magnetresonanz gezeigt werden, dass die Interaktion der Strahlen mit ihren Nachbarn minimiert werden kann und sich somit für eine homogenere Anströmung Einheitszellen schaffen lassen, d.h. es kann durch lokale Extraktion gelingen, dass sich die Strahlen

in einem Feld wie Einzelstrahlen verhalten.

[0008] Eine Trocknungsvorrichtung, die den Anforderungen für Beschichtungen in organischer Elektronik gerecht werden soll, muss eine homogenere Trocknungsarbeit leisten als die im Stand der Technik bekannten Trocknungstechnologien. Derzeit müssen großflächige elektronische Bauteile, die in peripheren Zonen aufgrund einer inhomogenen Trocknung Unebenheiten aufweisen, an diesen Zonen beschnitten werden, oder wenn die Unebenheiten im Film auftreten und kritisch sind, dann können diese Regionen nicht verwendet werden. Großflächige optische Folien werden somit teuer. Des Weiteren besteht Bedarf an einem zügigen bzw. effizienten Trocknungsverfahren mit guten Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten, das gleichzeitig schonend für die zu trocknenden Flächen ist.

[0009] Ausgehend hiervon ist es die Aufgabe der Erfindung, die genannten Probleme bei der Trocknung von sensiblen flächigen Beschichtungen zu überwinden. Insbesondere soll eine Vorrichtung bereitgestellt werden, die zum Trocknen flächiger Substrate geeignet ist und gute Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten bei gleichzeitig homogener Verteilung aufweist. Diese Vorrichtung muss besonders geeignet sein, sensible dünne Schichten organischer Elektronik gleichmäßig und effizient zu Trocknen, sodass sich möglichst keine oder möglichst geringe Unebenheiten in der Schicht ausbilden.

[0010] Die vorliegende Erfindung löst die Aufgabe durch die in Anspruch 1 beanspruchte Vorrichtung und die in Anspruch 3 beanspruchte Trockenhaube sowie das in Anspruch 5 beanspruchte Verfahren. Bevorzugte Ausführungsformen der Vorrichtungen bzw. des Verfahrens sind in den rückbezogenen Ansprüchen beschrieben.

[0011] Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Vorrichtung für den Wärme- und Stoffübergang auf Oberflächen in Prallstrahlssystemen bei simultaner Absaugung über in das Prallstrahlfeld eingebettete Effusionsöffnungen. Die Prallstrahldüsen haben eine hexagonale Form und sind regelmäßig und äquidistant über das Prallstrahlfeld verteilt, sodass ein gitterförmiger Aufbau entsteht. Die Prallstrahldüsen dienen dazu, dass ein Fluid für den Wärme- und Stoffübergang auf die Substratoberfläche aufgestrahlt wird. Zwischen den Prallstrahldüsen bzw. um die Prallstrahldüsen herum sind die Effusionsöffnungen angeordnet, durch welche das ausgestrahlte Fluid abgesaugt wird. Darüber hinaus sind die Effusionsöffnungen hexagonal um die Prallstrahldüsen angeordnet, sodass sich eine wabenförmige Struktur aus Prallstrahldüsen und Effusionsöffnungen ergibt.

[0012] Es wurde überraschender Weise gezeigt, dass durch die hexagonale Geometrie der Prallstrahldüsen und gezieltes Absaugen durch direkt benachbarte Effusionsöffnungen die auftretenden Interaktionseffekte zwischen benachbarten Strahlen reduziert und die Wandstrahlregion minimiert wird. Durch diese dicht gruppierten Felder aus hexagonalen Prallstrahldüsen und den

direkt benachbarten Effusionsöffnungen wird die Möglichkeit geschaffen, eine nahezu flächige Prallregion zu erzeugen. Die aus dieser Geometrie resultierenden Effekte sind eine sehr homogene Verteilung der Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten über das gesamte Prallstrahlfeld und eine gute Verteilung des Fluidstroms, wodurch auch Unebenheiten auf den zu trocknenden Substraten verhindert werden können.

[0013] Vorzugsweise ist die Vorrichtung für den Wärme- und Stoffübergang eine Trocknungsvorrichtung. Diese Trocknungsvorrichtung kann bei sämtlichen Prozessen eingesetzt werden, bei denen eine effiziente und homogene Trocknung von flächigen Substraten erfolgen muss. Ideal ist diese Trocknungsvorrichtung für die Trocknung von organischer (polymerer) Elektronik.

[0014] Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann ebenfalls eine Sublimations-, Kondensations- oder Abscheidervorrichtung sein, bei der aus der Gasphase ein Stoff auf ein Substrat abgeschieden werden kann oder bei der ein Stoff in die Gasphase sublimiert. Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist auch für diese Anwendungen vorteilhaft, da man aufgrund der hohen Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten und deren homogener Verteilung über das Prallstrahlfeld längere Verweilzeiten des Substrats beim Prallstrahlfeld erreichen kann.

[0015] Die Erfindung betrifft weiterhin eine Trocknungshaube, die mit einer Vorrichtung für den Wärme- und Stoffübergang gemäß der obigen Beschreibung ausgestattet ist. Die Haube umfasst ein luftdichtes äußeres Gehäuse, wobei die Vorrichtung für den Wärme- und Stoffübergang am distalen Ende dieses Gehäuses angeordnet ist. Das Gehäuse umfasst auch Anschlüsse zum Absaugen von Prozessgas aus dem Inneren dieses Gehäuses. Weiterhin ist an dem Gehäuse mindestens ein Anschluss zum Beaufschlagen von Prozessgas unter Druck angeordnet, der die Prallstrahldüsen der Vorrichtung am distalen Ende über einen Prozessgasverteiler mit Prozessgas versorgt. Die Gesamtheit aus Prozessgasanschluss, Prozessgasverteiler und Prallstrahldüsen ist hermetisch gegen die Bereiche reduzierten Drucks im Gehäuseinneren abgetrennt. Der Gehäuseinnenraum, also der Bereich mit reduziertem Druck ist mit den Effusionsöffnungen am distalen Ende verbunden. Dadurch ist gewährleistet dass das abgesaugte Prozessgas über das Gehäuseinnere und die Anschlüsse zum Absaugen erfolgt. Mit Hilfe dieses Aufbaus der Trocknungshaube ist das Prozessgas nach außen in distaler Richtung ausstrahlbar und das ausgestrahlte Prozessgas aus distaler Richtung in die Effusionsöffnungen ansaugbar.

[0016] Die erfindungsgemäße Trocknungshaube ist vorteilhaft, da somit eine bewegliche Vorrichtung, die alle Vorzüge der Vorrichtung für den Wärme- und Stoffübergang umfasst auch in Richtung der zu trocknenden Bauteile bewegt werden kann, im Gegensatz zum Fließbandsystem, bei welchem das Bauteil an einer Trocknungseinrichtung vorbeitransportiert wird. Das batchweise Trocknen mit ruhendem Substrat ist mit anderen Systemen nicht möglich.

[0017] In einer bevorzugten Ausgestaltung der Trocknungshaube ist die Verbindung der Effusionsöffnungen mit den Anschlüssen zum Absaugen von Prozessgas über den inneren Hohlraum des äußeren Gehäuses direkt gewährleistet, somit ist keine weitere Verteilerstruktur notwendig.

[0018] In einer weiteren bevorzugten Ausführung ist die Verbindung der Prallstrahldüsen mit den Anschlüssen für das Prozessgas über ein inneres Gehäuse, das hermetisch geschlossen im äußeren Gehäuse befindlich ist, gewährleistet. Mittels dieser Verteilerstruktur werden die einzelnen Prallstrahldüsen, gespeist durch ein Plenum, mit identischen Anströmbedingungen versorgt.

[0019] Die Erfindung umfasst auch ein Verfahren Behandlung von Oberflächenschichten auf Werkstücken unter Verwendung einer der oben beschriebenen Vorrichtungen. Ein flächiges Werkstück (Substrat), das mit einer zu behandelnden Oberflächenschicht versehen ist, wird mit der Vorrichtung in Kontakt gebracht. Das in Kontakt bringen bedeutet nicht das Berühren der beiden Gegenstände, sondern dass das Substrat in einem gewissen Abstand zur Vorrichtung verbleibt, oder beim kontinuierlichen Fließbandverfahren vorbeitransportiert wird.

[0020] Im Folgeschritte wird ein Volumenstrom auf die Oberfläche des Werkstücks aufgebracht, in einem derartigen Abstand, dass die Prallstrahlen aus den Prallstrahldüsen die zu behandelnde Oberfläche des Werkstücks erreichen und das ausgedüste Fluid, vorzugsweise ein Prozessgas, durch die Effusionsdüsen wieder abgesaugt wird.

[0021] In einer bevorzugten Ausführung ist dieses Verfahren ein Trocknungsverfahren von feuchten Oberflächenschichten auf Werkstücken.

[0022] In einer weiteren bevorzugten Ausführung ist dieses Verfahren ein Abscheideverfahren zum Auftragen von Stoffen aus der Gasphase auf eine Oberflächenschicht eines Werkstücks. Beispielsweise können diese Abscheideverfahren auch Sublimations- oder Kondensationsverfahren sein.

[0023] Dieser Abstand definiert sich individuell je nach Bedarf und ist abhängig von der Düsengröße, der Konfiguration des Prallstrahlfelds, dem Abstand der Düsen untereinander, der Form der Düsen, der Fluidstromgeschwindigkeit, dem zu trocknenden Substrat (schonende oder schnelle Trocknung), der Bandgeschwindigkeit, Temperatur etc. Der Fachmann muss nicht erfinderisch tätig werden, um die Parameter für einen Trocknungsvorgang den Prozessgegebenheiten anzupassen. Grundsätzlich sollte der Abstand aber so gewählt werden, dass der Kernstrahl des Prallstrahls (Region im Freistrahl die noch unbeeinflusst von der Umgebung ist) beim Auftreffen auf die Oberfläche des Substrats noch erhalten ist.

[0024] Dieses Verfahren lässt offen, ob das Werkstück auf einem Fließband an der Trocknungsvorrichtung vorbeitransportiert wird oder die Trocknungsvorrichtung in Form einer Trocknungshaube dem ruhenden Werkstück genähert wird (batch-weises Trocknen).

[0025] In einer bevorzugten Ausführung des Verfahrens kann der Volumenstrom derart oszillieren, dass das Fluid abwechselnd aus den Prallstrahldüsen und den Effusionsdüsen strömt und das Absaugen von den jeweils anderen Düsen übernommen wird. Das bedeutet, dass es keine feste Zuordnung zwischen Ein- und Ausdüsung mehr gibt. Das kommt daher, dass Bereiche unter der Absaugung niedrige Übergangskoeffizienten aufweisen. Die Oszillation lässt nun zu, hier im Mittel homogen zu sein. Wird das Verfahren für Abscheideprozesse bzw. Kondensations- oder Sublimationsprozesse verwendet, so wird durch die Oszillation die Verweilzeit des Massenstroms auf dem Substrat erhöht.

[0026] Die Erfindung wird im Folgenden mit Ausführungsbeispielen und folgenden Figuren erläutert.

Fig. 1 Prallstrahlfelder und deren resultierende Verteilung des Wärmeübergangskoeffizienten an der Prallfläche.

Fig. 2 Relative Häufigkeit des Wärmeübergangskoeffizienten an der Prallfläche in einem Runddüsenfeld und einem Wabenfeld.

Fig. 3 Schematische Darstellung einer Trocknungshaube mit Wabenfeld.

Beispiel 1: Verteilung der Wärmeübergangskoeffizienten

[0027] Im Folgenden werden Untersuchungen an Systemen von Prallstrahlfeldern einander gegenüber gestellt. In **Fig. 1**, obere Reihe, sind die untersuchten Prallstrahlfelder dargestellt. In schwarzer Farbe sind die Prallstrahldüsen abgebildet, während die Effusionsöffnungen in hellgrauer Farbe unterlegt sind. Die untere Reihe in **Fig. 1** stellt die aus den entsprechenden Prallstrahlfeldern resultierenden Wärmeübergangskoeffizienten dar, wie sie über die Fläche verteilt sind.

[0028] **Fig. 1 a) - c)** entspricht Systemen aus dem Stand der Technik. **Fig. 1 a)** ist ein Runddüsenfeld ohne zusätzliche Absaugung, **Fig. 1 b)** ein Runddüsenfeld mit zusätzlicher Absaugung und **Fig. 1 c)** entspricht einem Schlitzdüsenfeld mit zusätzlicher Absaugung. Das erfindungsgemäße System mit hexagonalen Prallstrahl- und Effusionsdüsen mit zusätzlicher Absaugung ist in **Fig. 1 d)** abgebildet. Die bestehenden Untersuchungen wurden mittels CFD-Simulationen durchgeführt und dienen der qualitativen Bewertung der Verteilungen des Wärmeübergangskoeffizienten an der Prallfläche.

[0029] Das System in **Fig. 1 a)** lässt keine zusätzliche Abfuhr des Fluids zu. Hier kann das Fluid nur zu den Seiten entweichen. Deutlich zu sehen sind die Interaktionseffekte der einzelnen Prallstrahlen. Die Strahlen werden abgelenkt und bilden keine definierten Staupunkte mehr. Dargestellt ist ein System mit einer sehr niedrigen Anzahl an Strahlen. Vergrößert man die Ausdehnung für ein ähnliches System werden die äußeren Strahlen kom-

plett abgelenkt und es wird sich eine Kanalströmung ausbilden. Hieraus folgt, dass dieses System eine sehr inhomogene Randbedingung für Trocknungssysteme erzeugt.

[0030] Die Systeme gem. **Fig. 1 b)** und **c)** berücksichtigen eine zusätzliche Abfuhr des eingedüsten Fluids. Die Konfiguration in **Fig. 1 b)** ist der eben beschriebenen ähnlich, jedoch ist hier jeder Strahl von Absaugungsöffnungen umringt. Das System in **Fig. 1 c)** entspricht einer Schlitzdüsenanordnung. Klar zu sehen ist, dass im Runddüsenfeld durch die lokale Abfuhr die Querströmung reduziert und somit die Homogenität erhöht werden konnte.

[0031] Es ist zu erkennen, dass es in Systemen mit Runddüsen als auch mit Schlitzdüsen zwangsläufig zu Inhomogenitäten im Feld der Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten kommt. Der Einsatz von Runddüsen führt zu Inhomogenität in Band- und quer zur Bandrichtung. Aus diesem Grund sind die den Markt dominierenden Systeme Schlitzdüsenanordnungen. Diese weisen bei durchdachter Konstruktion lediglich an den Rändern und in Bandrichtung einen Gradienten im Feld der Wärme- und Stoffkoeffizienten auf. Der Gradient in Bandrichtung ist bei wenig sensitiven Produkten, die hohe Bandgeschwindigkeiten zulassen, tolerierbar, da jeder Bereich trotz Inhomogenität schlussendlich identische Bedingungen erfährt. Limitierungen der Anwendbarkeit treten dann in den Vordergrund, wenn Systeme verarbeitet werden sollen, die lediglich niedrige Bandgeschwindigkeiten zulassen. Hier kann nicht mehr argumentiert werden, dass identische Bedingungen in Bandrichtung auch zu einheitlichen Produkteigenschaften führen. Ein weiterer Punkt, der berücksichtigt werden muss, ist die Inhomogenität im Impulsaustausch. Bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten kann es vorkommen, dass das Produkt aufgrund der auflaufenden Strahlen eine Oberflächenverformung erfährt. Dies kann zu einer Reduzierung der Leistungsfähigkeit führen.

[0032] Die Darstellung in **Fig. 1 d)** stellt das Feld des Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten an der Prallplatte in dem erfindungsgemäßen hexagonalen Düsenfeld dar. Deutlich zu sehen ist, dass hier unter den gewählten Bedingungen zwar ein gewisser Gradient quer zur Bandrichtung auftritt, dies aber einen viel geringeren Gradienten in Bandrichtung mit sich bringt. Des Weiteren ist die Verteilung des Wärmeübergangskoeffizienten wesentlich homogener als bei Rund- oder Schlitzdüsenanordnungen. **Fig. 2** verdeutlicht die Homogenisierung der Verteilung anhand der Darstellung der relativen Häufigkeiten der Wärmeübergangskoeffizienten über die angeströmte Fläche. Es wird deutlich, dass im Vergleich zu einem, dem momentanen Stand der Technik entsprechenden, Runddüsenfeld (vgl. **Fig. 1 a)**) bei der hier vorgestellten Wabenstruktur die Verteilung der auftretenden Wärmeübergangskoeffizienten deutlich schmaler ist. Dies stellt, unter dem Gesichtspunkt eines gleichmäßigen Energieeintrages, ein wesentliches Kriterium bei der Auswahl eines Düsenfeldes dar. Hierbei sind schmale Verteilun-

gen vorzuziehen. Der zu erwartende Wärmeeintrag und/oder Stoffübergang an eine ebene Fläche ist in erster Linie sehr viel gleichmäßiger, gleichzeitig sollte er bei gegebenem Massenstrom und fester Anzahl an Düsen mindestens gleich oder sogar höher sein.

Beispiel 2: Trocknungshaube

[0033] In **Fig. 3 a)** ist schematisch eine technische Realisierung einer Trocknungshaube unter Verwendung einer nicht erfindungsgemäßen hexagonalen Düsengeometrie dargestellt. Die Haube umfasst ein äußeres Gehäuse **1**, an welchem eine Vorrichtung zum Absaugen von Prozessgas (Absaugrohr) **2** aus dem Inneren dieses Gehäuses **1** angeordnet ist. Am distalen Ende des äußeren Gehäuses **1** befindet sich ein Prallstrahlfeld **3** mit hexagonalen Prallstrahldüsen **5** und den Effusionsöffnungen **4**, die in dieser Ausführung in Schlitzform die jeweiligen Prallstrahldüsen **5** umgeben. In **Fig. 3 b)** ist das Prallstrahlfeld **3** aus distaler Sicht dargestellt. Hier sind die hexagonalen Prallstrahlöffnungen sowie die schlitzförmigen Zwischenräume der Effusionsöffnungen **4** visualisiert.

[0034] In dem äußeren Gehäuse **1** ist ein luftdichtes inneres Gehäuse **8** angeordnet, das als Verteiler für das Prozessgas von den Anschlüssen für das Prozessgas **6** auf die jeweiligen Prallstrahldüsen **5** dient. Diese Art der Einspeisung des Prozessgases auf die Prallstrahldüsen **5** durch ein Plenum gewährleistet identische Anströmbedingungen für die einzelnen Düsen. Das Prozessgas kann nur über die Prallstrahldüsen **5** in distaler Richtung entweichen. Die Prallstrahldüsen **5** selbst haben eine längliche Form und sind parallel zueinander in einem gewissen Abstand angeordnet, sodass zwischen den einzelnen Düsen ein Zwischenraum entsteht. Dieser Zwischenraum hat in seiner Verlängerung zum distalen Ende hin die Funktion der Effusionsöffnungen **4**. Die Effusionsöffnungen **4** bzw. die Zwischenräume sind in direktem Kontakt zum Bereich reduzierten Drucks im inneren Hohlraum **7**. Somit wird auch im Bereich der Effusionsöffnungen **4** eine größtmögliche Homogenität in der Druck- bzw. Vakuumverteilung über das gesamte Prallstrahlfeld **3** erreicht.

[0035] Um zu gewährleisten, dass in dieser Ausführungsform der Trocknungshaube der Druckverlust der einzelnen Effusionsöffnungen **4** über das Prallstrahlfeld **3** gering gehalten wird, so kann die Länge der Prallstrahldüsen **5** über das Prallstrahlfeld **3** variiert werden, und zwar derart, dass die in der Mitte des Feldes angeordneten Prallstrahldüsen **5** kürzer sind als die äußeren Prallstrahldüsen **5**. Dadurch kann gewährleistet werden, dass die Sogwirkung auf die Effusionsöffnungen **4**, ausgelöst durch den reduzierten Druck im inneren Hohlraum **7**, im zentralen Bereich des Prallstrahlfeldes **3** zu denselben Massenströmen führen, wie in den peripheren Bereichen. Diese besondere Ausführungsform hat den Effekt, dass der statische Druck im Bereich der Prallstrahlfeldes **3** an jeder Stelle gleich ist. Der gleiche Effekt kann

auch erreicht werden, wenn die Prallstrahldüsen **5** ausreichend lang sind.

Patentansprüche

1. Vorrichtung für den Wärme- und Stoffübergang auf Oberflächen, umfassend eine regelmäßige gitterförmige Anordnung von

- i) Prallstrahldüsen (**5**) in äquidistanter Anordnung, mit welchen ein Fluid auf die zu trocknende Oberfläche aufstrahlbar ist, und
- ii) Effusionsöffnungen (**4**), welche die Prallstrahldüsen (**5**) umgeben und durch welche das eingedüste Fluid absaugbar ist sowie
- iii) zwischen jeweils zwei benachbarten Prallstrahldüsen jeweils mindestens eine Effusionsöffnung angeordnet ist, die an diese beiden Prallstrahldüsen zugleich angrenzt,

dadurch gekennzeichnet, dass

- iv) die Prallstrahldüsen (**5**) jeweils einen hexagonalen Querschnitt aufweisen sowie
- v) die Effusionsöffnungen (**4**) hexagonal um die Prallstrahldüsen (**5**) angeordnet sind, sodass sich eine wabenförmige Struktur aus Prallstrahldüsen (**5**) und Effusionsöffnungen (**4**) ergibt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Vorrichtung für den Wärme- und Stoffübergang eine Trocknungsvorrichtung, eine Kondensationsvorrichtung, eine Sublimationsvorrichtung oder eine Abscheidevorrichtung ist.

3. Trocknungshaube umfassend ein luftdichtes äußeres Gehäuse (**1**) mit Anschlüssen zum Absaugen (**2**) von Prozessgas aus dem Inneren dieses Gehäuses (**1**) und einer Vorrichtung für den Wärme- und Stoffübergang (**3**) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, die am distalen Ende des Gehäuses angeordnet ist, wobei die Effusionsöffnungen (**4**) der Vorrichtung (**3**) mit den Anschlüssen zum Absaugen (**2**) verbunden sind, und wobei die Prallstrahldüsen (**5**) der Vorrichtung (**3**) mit Anschlüssen zum Einbringen von Prozessgas (**6**) verbunden sind, sodass das Prozessgas nach außen in distaler Richtung ausstrahlbar ist und das ausgestrahlte Prozessgas aus distaler Richtung in die Effusionsöffnungen (**4**) einleitbar ist.

4. Trocknungshaube nach Anspruch 3, wobei die Verbindung der Effusionsöffnungen (**4**) mit den Anschlüssen zum Absaugen (**2**) von Prozessgas über den inneren Hohlraum des äußeren Gehäuses (**7**) gewährleistet ist und die Verbindung der Prallstrahldüsen (**5**) mit den Anschlüssen für das Prozessgas (**6**) über ein inneres Gehäuse (**8**), das hermetisch

geschlossen im äußeren Gehäuse (**1**) befindlich ist, gewährleistet ist.

5. Verfahren zur Behandlung von Oberflächenschichten auf Werkstücken umfassend folgende Schritte:

- i. Bereitstellen einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
 - ii. Bereitstellen eines zu behandelnden flächigen Werkstücks,
 - iii. in Kontakt bringen der Oberflächenschicht des Werkstücks mit der Vorrichtung und Aufbringen eines Volumenstroms auf die Oberfläche des Werkstücks, in einem derartigen Abstand, dass die Prallstrahlen aus den Prallstrahldüsen (**5**) die zu behandelnde Oberfläche des Werkstücks erreichen und das ausgedüste Prozessgas durch die Effusionsdüsen (**4**) wieder abgesaugt wird,
- wobei das Werkstück entweder auf einem Fließband an der Vorrichtung vorbeitransportiert wird oder die Vorrichtung in Form einer Haube dem Werkstück genähert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das Verfahren ein Trocknungsverfahren von feuchten Oberflächenschichten ist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei das Verfahren ein Abscheideverfahren zum Auftragen von Stoffen aus der Gasphase auf eine Oberflächenschicht ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei der Volumenstrom derart oszilliert, dass das Prozessgas abwechselnd aus den Prallstrahldüsen (**5**) und den Effusionsöffnungen (**4**) strömt und das Absaugen von den jeweils anderen Düsen übernommen wird.

Claims

1. Device for transferring heat or mass onto surfaces, comprising a regular gridpattern arrangement of

- i) jet nozzles (**5**) in an equidistant arrangement, with which a fluid can be sprayed onto the surface which is to be dried, and
- ii) effusion openings (**4**) which surround the jet nozzles (**5**) and through which the nozzle-applied fluid can be suctioned up, and
- iii) arranged between every two adjacent jet nozzles in each case is at least one effusion opening, which delimits both these jet nozzles at the same time, **characterised in that**
- iv) the jet nozzles (**5**) in each case comprise a hexagonal cross-section, and
- v) the effusion openings (**4**) are arranged hex-

agonally about the jet nozzles (5), such that a honeycomb structure of jet nozzles (5) and effusion openings (4) is produced.

2. Device according to claim 1, wherein the device for transferring heat and mass is a drying device, a condensation device, a sublimation device, or a separation device.
3. Drying hood, comprising an air-tight outer housing (1) with connections for the suction extraction (2) of process gas out of the interior of the housing (1) and a device for the transfer of heat and mass (3) according to any one of claims 1 to 4, which is arranged at the distal end of the housing, wherein the effusion openings (4) of the device (3) are connected to the openings for suction extraction (2), and wherein the jet nozzles (5) of the device (3) are connected to connections for the introduction of process gas (6), such that the process gas can be caused to flow outwards in the distal direction, and the process gas which has flowed out can be conveyed from the distal direction into the effusion openings (4).
4. Drying hood according to claim 3, wherein the connection of the effusion openings (4) to the connections for suction extraction (2) of process gas from the interior cavity of the outer housing (7) is guaranteed, and the connection of the jet nozzles (5) to the connections for the process gas (6) is guaranteed via an inner housing (8), which is located hermetically sealed in the outer housing (1).
5. Method for the treatment of surface layers on workpieces, comprising the following steps:
 - i. providing a device according to one of claims 1 to 4,
 - ii. providing a flat workpiece which is to be treated,
 - iii. bringing in contact of the surface layer of the workpiece with the device, and application of a volume flow onto the surface of the workpiece, at such a distance interval that the jets from the nozzles (5) reach the surface which is to be treated of the workpiece, and the nozzle-applied process gas is suctionextracted again through the effusion nozzles (4),
 wherein the workpiece is transported past at the device on a conveyor belt, or the device is brought into the proximity of the workpiece in the form of a hood.
6. Method according to claim 5, wherein the method is a drying method for wet surface layers.
7. Method according to claim 6, wherein the method is a separation method for the application of masses

from the gas phase onto a surface layer.

8. Method according to any one of claims 5 to 7, wherein the volume flow oscillates in such a way that the process gas flows alternating out of the jet nozzles (5) and the effusion openings (4) and the suction extraction is undertaken by the other nozzles in each case.

Revendications

1. Dispositif permettant un transfert de chaleur et de matières sur des surfaces, comprenant un arrangement en forme de réseau régulier

i) de buses à jet d'impact (5) équidistantes par lesquelles un fluide peut être projeté sur la surface à sécher, et

ii) des ouvertures d'effusion (4) qui entourent les buses à jet d'impact (5) et par lesquelles le fluide projeté peut être évacué par aspiration, et

iii) entre deux buses à jet d'impact voisines respectives respectivement montée au moins une ouverture d'effusion qui est en même temps limitrophe de ces deux buses à jet d'impact,

caractérisé en ce que,

iv) les buses à jet d'impact (5) ont chacune une section hexagonale, et

v) les ouvertures d'effusion (4) sont situées autour des buses à jet d'impact (5) selon une configuration hexagonale de façon à obtenir une structure en forme de nids d'abeilles constituée par les buses à jet d'impact (5) et les ouvertures d'effusion (4).

2. Dispositif permettant un transfert de chaleur et de matières conforme à la revendication 1, constitué par un dispositif de séchage, un dispositif de condensation, un dispositif de sublimation ou un dispositif de séparation.

3. Capot de séchage comprenant un boîtier externe (1) étanche à l'air équipé de raccords (2) permettant d'évacuer par aspiration des gaz de process de la partie interne de ce boîtier (1) ainsi qu'un dispositif permettant un transfert et de matières (3) conforme à l'une des revendications 1 et 4 qui est monté à l'extrémité distale du boîtier, les ouvertures d'effusion (4) du dispositif (3) étant reliées aux raccords d'évacuation par aspiration (2) et les buses à jet d'impact (5) du dispositif (3) étant reliées à des raccords d'introduction de gaz de process (6) de sorte que les gaz de process puissent être dispersés vers l'extérieur en direction distale et qu'à partir de la direction distale les gaz de process puissent être transférés

dans les ouvertures d'effusion (4).

4. Capot de séchage conforme à la revendication 3, dans lequel la liaison des ouvertures d'effusion (4) avec les raccords d'évacuation par aspiration (2) des gaz de process est garantie par le volume creux interne du boîtier extérieur (7), et la liaison des buses à jet d'impact (5) avec les raccords de gaz de process (6) est garantie par un boîtier interne (8) qui est situé en étant fermé hermétiquement dans le boîtier externe (1). 5
10
5. Procédé de traitement de couches de surface de pièces comprenant des étapes consistant à : 15
 - i) se procurer un dispositif conforme à l'une des revendications 1 à 4,
 - ii) se procurer une pièce plate devant être traitée,
 - iii) mettre en contact la couche de surface de la pièce avec le dispositif et appliquer un débit sur la surface de cette pièce à une distance telle que les jets d'impact provenant des buses à jet d'impact (5) atteignent sa surface, et que les gaz de process projetés puissent être à nouveau évacués par aspiration par les buses d'effusion (4), 20
25
 - la pièce étant transportée devant le dispositif sur un tapis roulant, ou soit le dispositif positionné au voisinage de la pièce sous la forme d'un capot. 30
6. Procédé conforme à la revendication 5, constitué par un procédé de séchage de couches de surface humides. 35
7. Procédé conforme à la revendication 6, constitué par un procédé de séparation destiné à permettre d'appliquer des matières provenant d'une phase gazeuse sur une couche de surface. 40
8. Procédé conforme à l'une des revendications 5 à 7, selon lequel le débit oscille de sorte que les gaz de process sortent alternativement des buses à jet d'impact (5) et des ouvertures d'effusion (4) et que l'évacuation par aspiration soit assurée par les autres buses respectives. 45

50

55

Fig. 1

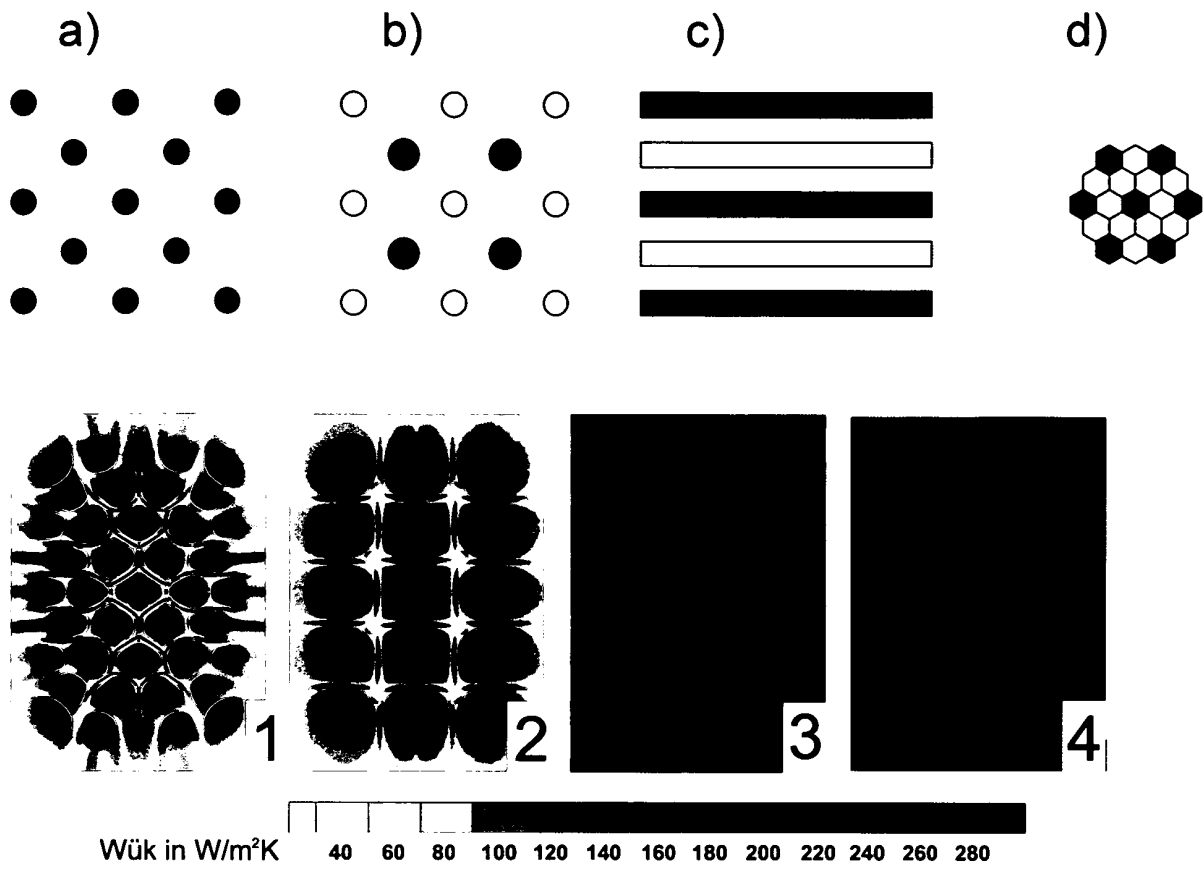


Fig. 2

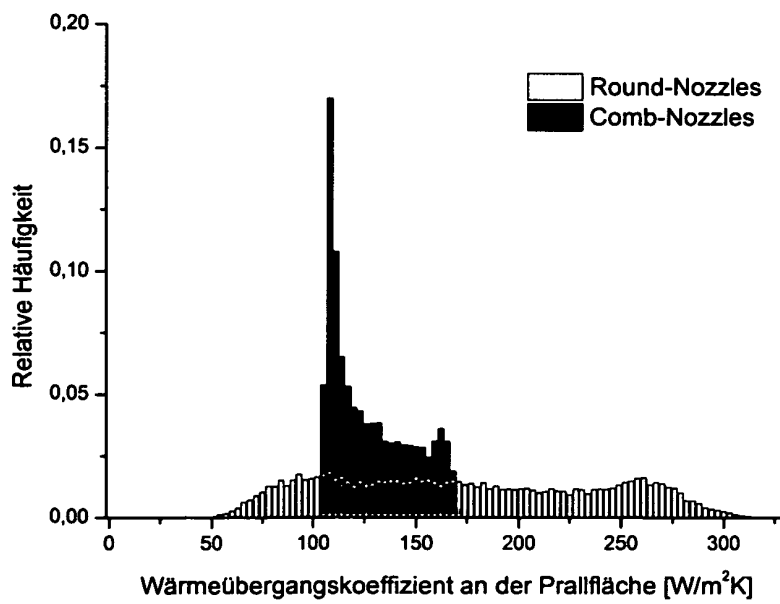


Fig. 3a

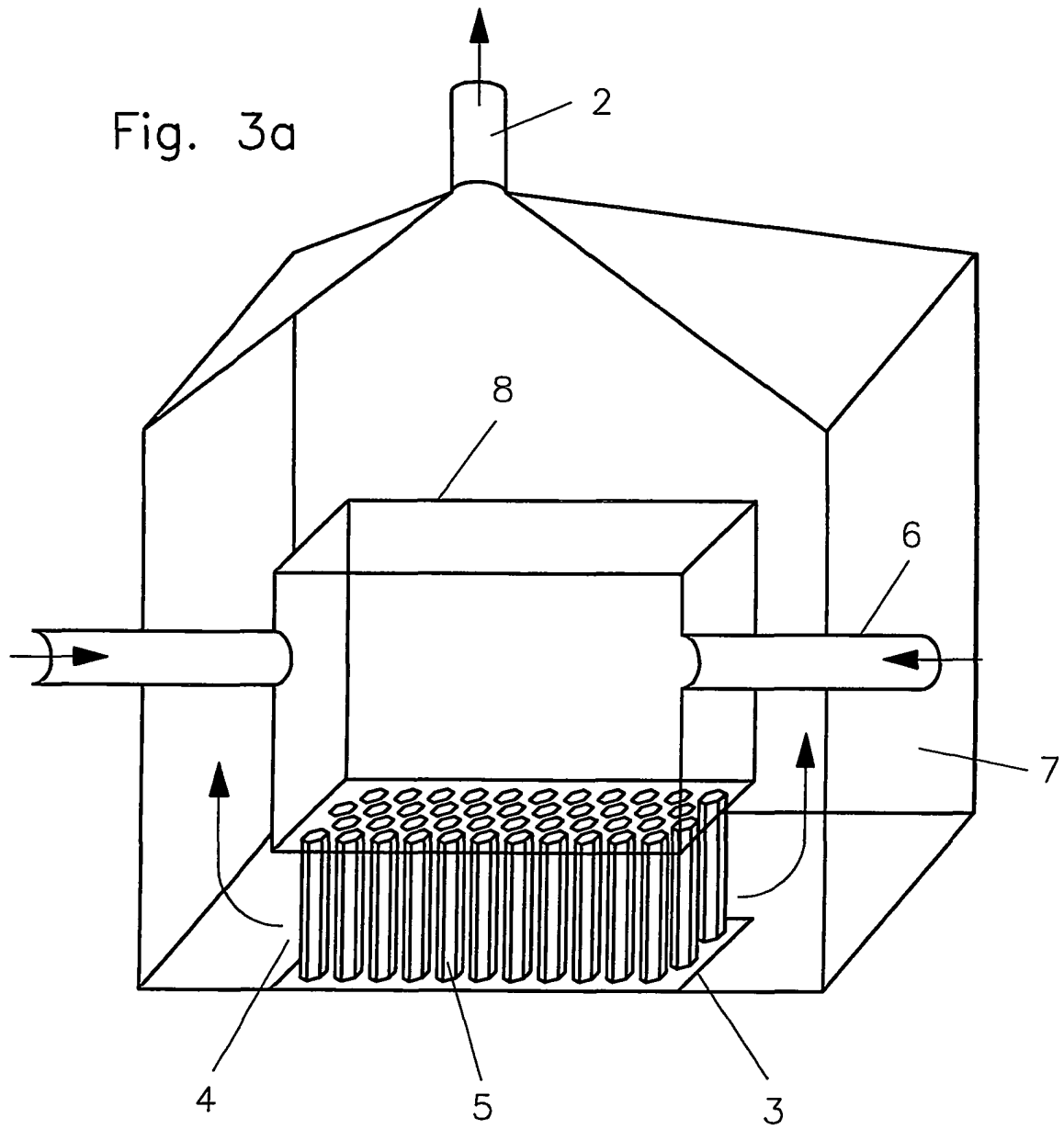
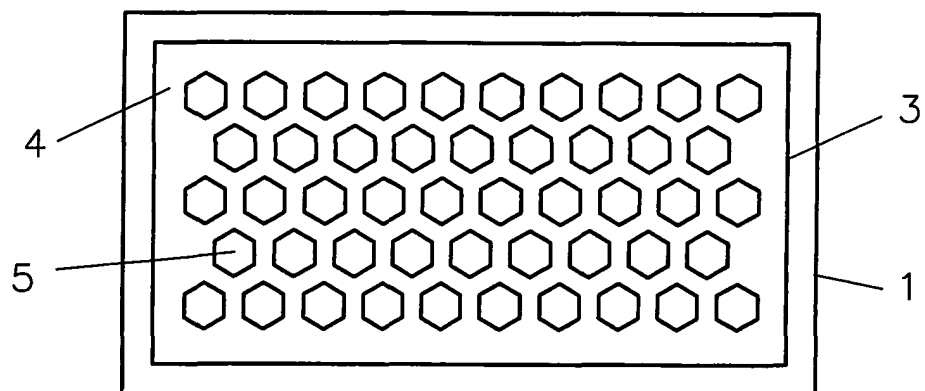


Fig. 3b



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 19619547 A1 [0004]
- US 3060595 A [0004]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **AM HUBER ; R VISKANTA.** *Int. J. Heat Mass Transfer*, 1994, vol. 37 (18), 2859-69 [0006]
- **ONSTAD et al.** *J. Heat Transfer*. 2009, vol. 131, 082201 [0007]