



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 696 35 530 T2** 2006.08.10

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 191 295 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **696 35 530.2**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 129 624.1**

(96) Europäischer Anmeldetag: **09.09.1996**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **27.03.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **30.11.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **10.08.2006**

(51) Int Cl.⁸: **F26B 25/00** (2006.01)
F26B 13/10 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

536593	18.09.1995	US
699522	04.09.1996	US

(73) Patentinhaber:

**3M Company (n.d.Ges.d. Staates Delaware), St.
Paul, Minn., US**

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(84) Benannte Vertragsstaaten:

BE, DE, ES, FR, GB, IE, IT, NL, PT

(72) Erfinder:

**Huelsmann, Gary L., Saint Paul, US; Kolb, William
B., Saint Paul, US**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Trocknen eines Substrats**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung**ERFINDUNGSGEBIET**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Trocknen eines Substrats.

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

[0002] Für das Trocknen beschichteter Substrate, wie etwa Bahnen, ist es erforderlich, der Beschichtung Energie zuzuführen und dann die verdampfte Flüssigkeit zu entfernen. Die von der Beschichtung zu verdampfende Flüssigkeit kann jede Flüssigkeit sein, die Lösungsmittel, wie etwa organische Lösungsmittelsysteme und anorganische Systeme, die wasserbasierte Lösungsmittelsysteme enthalten, enthält. Konvektion, Leitung, Strahlung und Mikrowellenenergie werden verwendet, um beschichteten Bahnen Energie zuzuführen. Ausgeübte Konvektion oder erzwungene Gasströmung werden verwendet, um die verdampfte Flüssigkeit zu entfernen. Die ausgeübte Konvektion ist als eine Konvektion definiert, die durch die Zufuhr von Energie erzeugt und absichtlich hervorgerufen wird. Sie schließt Konvektion aus, die lediglich durch eine Bahnbewegung, natürliche Konvektion und andere unvermeidliche Kräfte hervorgerufen wird. In einigen Fällen, in denen die Dämpfe ungiftig sind, wie etwa der Wasserverdampfung, wird der Dampf durch Ablüften in die umgebende Atmosphäre entfernt.

[0003] Bei der herkömmlichen Trocknungstechnologie sind große Gasvolumina, ob inert oder nicht, erforderlich, um verdampfte Flüssigkeit von der Gas-Flüssigkeit-Grenzfläche zu entfernen. Bei diesen Trocknern sind zwischen der beschichteten Bahn, die getrocknet wird, und der Oberseite des Trocknungsgehäuses große Räume erforderlich, um die großen Gasströme aufzunehmen. Das Trocknen wird an der Gas-Flüssigkeit-Grenzfläche durch Diffusion, Konvektion, Grenzschichtluft von der sich bewegenden Bahn und auftreffende Luftströme, Dampfkonzentrationen und Konvektion bei der Zustandsänderung von flüssig nach gasförmig sowie andere Faktoren bestimmt. Diese Phänomene treten unmittelbar oberhalb der beschichteten Bahn auf, typischerweise innerhalb von 15 Zentimeter von der Oberfläche. Weil sich bei herkömmlichen Trocknern über der beschichteten Bahn ein großer Raum befindet und sie nur die durchschnittliche Geschwindigkeit und Temperatur des Volumengasstroms steuern können, weisen sie eine begrenzte Fähigkeit zum Steuern dieser Phänomene in der Nähe der Gas-Flüssigkeit-Grenzfläche auf.

[0004] Für organische Lösungsmittelsysteme werden die Dampfkonzentrationen in diesen Volumengasströmen niedrig gehalten, in der Regel zwischen 1–2%, um unter den Entflammargrenzen für die

Dampf-Gas-Mischung zu bleiben. Diese großen Gasströme sollen die verdampfte Flüssigkeit von dem Prozeß entfernen. Der Aufwand zum Einschließen, Erwärmen, unter Druck setzen und Steuern dieser Gasströme ist ein Hauptteil der Trocknerkosten. Es wäre vorteilhaft, diese großen Gasströme überflüssig zu machen.

[0005] Diese Gasströme können zu Kondensationssystemen gerichtet werden, um die Dämpfe vor dem Ausstoßen unter Verwendung großer Wärmetauscher oder gekühlter Walzen mit Abstreifblättern abzutrennen. Diese Kondensationssysteme befinden sich verhältnismäßig weit von der beschichteten Bahn in dem Volumengasstrom. Infolge der geringen Dampfkonzentration in diesem Gasstrom sind diese Systeme groß und kostspielig und müssen bei niedrigen Temperaturen arbeiten.

[0006] Es wäre vorteilhaft, die Kondensationssysteme dicht beim beschichteten Substrat anzuordnen, wo die Dampfkonzentrationen hoch sind. Herkömmliche Wärmetauscher würden jedoch die kondensierte Flüssigkeit durch Schwerkraft wieder auf die Beschichtungsfläche laufen lassen und die Produktqualität beeinflussen, wenn sie nicht geneigt wären oder eine Sammelwanne hätten. Wenn sie eine Sammelwanne hätten, wären sie von der eine hohe Konzentration aufweisenden Bahnfläche isoliert. Wenn sie geneigt wären, wäre das Tropfen wahrscheinlich immer noch ein Problem. Weiterhin sind herkömmliche Wärmetauscher nicht planar, um dem Weg der Bahn zu folgen und die Trocknungsbedingungen zu steuern.

[0007] US-Patent Nr. 4,365,423 beschreibt ein Trocknungssystem, das eine durchlöcherter Fläche oberhalb der getrockneten Bahn verwendet, um die Beschichtung vor Turbulenzen zu schützen, die durch die großen Gasströme erzeugt werden, damit Sprengungen verhindert werden. Dieses System macht jedoch die herbeigeführte Konvektion nicht überflüssig, erfordert die Verwendung einer sekundären Lösungsmittelrückgewinnung mit einem geringen Wirkungsgrad und hat verringerte Trocknungsraten. Wegen der verringerten Trocknungsraten lehrt dieses Patent weiterhin die Verwendung dieser Abschirmung über nur 5–25% der Länge des Trockners.

[0008] Die deutsche Offenlegungsschrift Nr. 4009797 beschreibt ein Lösungsmittel-Rückgewinnungssystem, das sich innerhalb eines Trocknergehäuses befindet, um verdampfte Flüssigkeit zu entfernen. Eine gekühlte Walze mit einem Abstreifmesser befindet sich oberhalb der Bahnfläche und entfernt die Dämpfe in flüssiger Form. Keine herbeigeführte Konvektion entfernt die verdampfte Flüssigkeit. Die Walze befindet sich jedoch nur für einen kurzen Abschnitt der Länge des Trockners in der hohen Dampfkonzentration in der Nähe der Fläche. Hier-

durch wird keine optimale Steuerung der Bedingungen an der Gas-Flüssigkeit-Grenzfläche bereitgestellt. Tatsächlich kann das Drehen der Walze Turbulenzen in der Nähe der Bahnfläche erzeugen. Weiterhin kann dieses System seine Form nicht an die Reihe von planaren Flächen der beschichteten Bahn anpassen, während sie durch den Trockner läuft. Daher kann das System nicht mit einem kleinen planaren Spalt arbeiten, um die Trocknungsbedingungen zu steuern, und kann nicht die optimale Kondensationswirksamkeit erreichen.

[0009] In dem GB-Patent Nr. 1 401 041 ist ein Lösungsmittel-Rückgewinnungssystem beschrieben, das ohne die großen Gasströme arbeitet, die zum herkömmlichen Trocknen unter Verwendung von Heiz- und Kondensationsplatten in der Nähe des beschichteten Substrats erforderlich sind. Das Lösungsmittel kondensiert an der Kondensationsplatte, und die kondensierte Flüssigkeit fließt dann durch Schwerkraft zu einer Sammeleinrichtung ab. Diese Vorrichtung verwendet nur die Schwerkraft zum Entfernen der Flüssigkeit von der Kondensationsfläche. Dementsprechend kann sich die Kondensationsfläche nicht oberhalb des beschichteten Substrats befinden, weil die Schwerkraft die kondensierte Flüssigkeit auf das beschichtete Substrat zurückträgt. In den Zeichnungen und der Erörterung (Seite 3, Zeilen 89–92) wird die Kondensationsfläche als vertikal oder sich mit dem beschichteten Substrat, dessen beschichtete Seite nach unten weist, oberhalb der Kondensationsfläche befindend beschrieben.

[0010] Das Aufbringen einer Beschichtung auf die Unterseite des Substrats oder das Umkehren des Substrats nach dem Aufbringen der Beschichtung ist in der Industrie kein bevorzugtes Verfahren.

[0011] Das Beschichten in einer umgekehrten Position und das Umkehren eines beschichteten Substrats vor dem Trocknen kann Beschichtungsdefekte erzeugen.

[0012] Diese Beschränkungen verringern stark die Flexibilität des Verfahrens und ziehen erhebliche Kosten nach sich, um es an Standard-Herstellungsverfahren anzupassen. Die Anforderung zum vertikalen oder umgekehrten Trocknen ist sehr wahrscheinlich der Grund dafür, daß dieses Verfahren in der Industrie nicht aufgegriffen oder erörtert worden ist.

[0013] In dem UK-Patent Nr. 1 401 041 sind auf Seite 2, Zeile 126, bis Seite 3, Zeile 20, auch die Probleme dieses Verfahrens mit dem Wachstum der Flüssigkeitsfilmschicht auf der Kondensationsfläche und mit der Tröpfchenbildung beschrieben. Weil "der sich ergebende Flüssigkeitsfilm 14 zum unteren Ende des Kondensators hin dicker werden kann", ist die Länge der Kondensationsfläche durch das Anwachsen und die Stabilität dieser Filmschicht begrenzt. Durch Be-

grenzen der Länge der Kondensationsfläche wird die Länge des Trockners begrenzt oder es wird dadurch notwendig, das Trocknungssystem zu verlassen, ohne daß die Beschichtung getrocknet ist. Dies hat den unerwünschten Effekt, daß ein Teil der Lösungsmitteldämpfe an die Atmosphäre verloren geht, wodurch die Kontrolle der Trocknungsphänomene verloren geht und Defekte erzeugt werden. Eine weitere Beschränkung besteht darin, daß der Abstand der Kondensationsfläche von dem beschichteten Substrat "kaum unter etwa 5 mm abfallen kann", um zu verhindern, daß der kondensierende Flüssigkeitsfilm in Kontakt mit dem Substrat gelangt, und um zu verhindern, daß Tröpfchen in Kontakt mit dem Substrat gelangen.

[0014] Die Beschränkungen dieses Systems auf das vertikale oder umgekehrte Trocknen, Grenzen hinsichtlich der Länge des Trockners und die Tatsache, daß es nicht möglich ist, in gewünschten Abständen von dem beschichteten Substrat zu arbeiten, machen es unzureichend, um die gewünschten Vorteile des Trockners zu erreichen.

[0015] Aus dem US-Patent Nr. 4,112,586 ist ein Verfahren zum Trocknen von Pappe oder Papier bekannt. Die Pappe oder das Papier liegt in Bahnform vor und wird getrocknet, indem die von einem Trocknungsband getragene naße Bahn in Kontakt mit einer erwärmten Trocknungsfläche geführt wird. Die untere Fläche des Trocknungsbands gegenüber der Bahn befindet sich in Kontakt mit einer gekühlten Fläche. Das Wasser in der Bahn wird verdampft und dann kondensiert und in dem Trocknungsband gefangen. Das Wasser wird danach durch mechanische Kraft (Saugen) aus dem Trocknungsband entfernt, nachdem das Trocknungsband und die Bahn mechanisch getrennt wurden. Während des Verdampfungsprozesses befindet sich das Trocknungsband in Kontakt mit der Bahn. Ein direkter Kontakt mit der Bahn kann unerwünscht sein, wenn Hochleistungsbeschichtungen mit strengen Flächenqualitätsanforderungen erzeugt werden.

[0016] Es besteht ein Bedarf an einem Verfahren zum Trocknen beschichteter Substrate, das eine verbesserte Steuerung der Bedingungen in der Nähe der Gas-Flüssigkeit-Grenzfläche bietet, das die Notwendigkeit für herbeigeführte Konvektion zum Transportieren der verdampften Flüssigkeit überflüssig macht und die Wirksamkeit der Kondensationsdampf-Rückgewinnungssysteme verbessert.

[0017] Es besteht außerdem ein Bedarf an einem Verfahren, das mit kleinen Spalten neben dem Substrat arbeiten kann.

KURZE DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0018] Die vorliegende Erfindung ist in Anspruch 1

spezifiziert.

[0019] Eine Filmschicht aus Kondensat kann auf der Kondensationsfläche erzeugt werden, um die Ausbildung von Tröpfchen von Kondensat und das Überbrücken des Kondensats zum Substrat zu verhindern.

[0020] Die Kondensationsfläche kann sich in einem Abstand von weniger als 5 mm von dem Substrat befinden. Bei einer anderen Ausführungsform kann sich die Kondensationsfläche über dem Substrat befinden.

[0021] In einer anderen Ausführungsform wird die kondensierte Flüssigkeit zu einem Seitenrand der Kondensationsfläche transportiert.

[0022] Die kondensierte Flüssigkeit kann zumindest teilweise unter Verwendung von Kapillarkräften entfernt werden. Zusätzlich kann die Schwerkraft ebenfalls das Entfernen des Kondensats von der Kondensationsfläche unterstützen. Beispielsweise kann die Kondensationsfläche zumindestens einer Querseite des beschichteten Substrats geneigt werden. Mehrere Kondensationsflächen könnten verwendet werden.

[0023] Eine könnte eine Kondensationsplatte sein, die sich oberhalb mindestens einer Querseite des beschichteten Substrats befindet und zu dieser geneigt ist, und andere könnten Folien mit einer oberen und unteren Fläche sein. Die Folien können sich unterhalb der Kondensationsplatte derart befinden, daß sie von der Horizontalen weg geneigt sind, wobei ihr unterer Rand dem unteren Rand der Kondensationsplatte zugewandt ist. Die Folien können einander überlappen und im Überlappungsgebiet beabstandet sein.

[0024] Die Trocknungsrate kann durch Steuern der Höhe des Spalts und des Temperaturdifferenzials zwischen dem beschichteten Substrat und der Kondensationsfläche gesteuert werden.

[0025] Die Kondensationsfläche kann auf einem stationären oder einem rotierenden Riemen ausgebildet sein. Alternativ kann die Kondensationsfläche aus flachen oder mit Rillen versehenen Platten eines beliebigen Typs, Rohren, Rippen oder anderen Formen bestehen. Die Kondensationsfläche kann aus einer durchlöcherten Platte gebildet sein, bei der Young-LaPlace-Oberflächenspannungskräfte zum Zurückhalten und Kapillarkräfte zum Transportieren des Kondensats verwendet werden.

[0026] Falls die Kondensationsfläche bewirkt, daß die kondensierte Flüssigkeit in Längsrichtung fließt, kann ein Sammelsystem verwendet werden, um die Flüssigkeit zu sammeln, oder eine Struktur auf der

Kondensationsfläche kann die Flüssigkeit lenken. Eine Struktur, wie beispielsweise Rippen, auf der Kondensationsfläche kann das Ansammeln von Kondensat begrenzen und die Ausbildung von Tröpfchen verhindern.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0027] [Fig. 1](#) ist eine Perspektivansicht der Trocknungsvorrichtung zum Ausführen der Erfindung.

[0028] [Fig. 2](#) ist eine Stirnansicht der Vorrichtung von [Fig. 1](#).

[0029] [Fig. 3](#) ist eine Querschnittsansicht entlang der Linie 3-3 von [Fig. 1](#).

[0030] [Fig. 4](#) ist eine Perspektivansicht der Trocknungsvorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform zum Ausführen der Erfindung.

[0031] [Fig. 5](#) ist eine Stirnansicht der Vorrichtung von [Fig. 4](#).

[0032] [Fig. 6](#) ist eine Querschnittsansicht der Trocknungsvorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform zum Ausführen der Erfindung.

[0033] [Fig. 7](#) ist eine Querschnittsansicht der Trocknungsvorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform zum Ausführen der Erfindung.

[0034] [Fig. 8](#) ist eine Querschnittsansicht der Trocknungsvorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform zum Ausführen der Erfindung.

[0035] [Fig. 9](#) ist eine schematische Seitenansicht der Trocknungsvorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform zum Ausführen der Erfindung.

[0036] [Fig. 10](#) ist eine Querschnittsansicht der Trocknungsvorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform zum Ausführen der Erfindung.

[0037] [Fig. 11](#) ist eine Seitenansicht der Trocknungsvorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform zum Ausführen der Erfindung.

[0038] [Fig. 12](#) ist eine schematische Seitenansicht einer Vorrichtung, die Prozeßvariablen zeigt.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0039] Die vorliegende Erfindung stellt ein Verfahren bereit zum Steuern des Transports von Masse und Energie und zum Trocknen von Beschichtungen auf einem beschichteten Substrat wie etwa einer sich bewegendem Bahn, wobei eine Kondensationsfläche über der Beschichtungsfläche einen kleinen Spalt mit kontrollierter Umgebung erzeugt.

[0040] Andere physikalische und chemische Phänomene, die während des Trocknungsprozesses auftreten, wie etwa chemische Reaktionen, Härtung und Phasenänderungen, können ebenfalls durch die Erfindung beeinflusst werden.

[0041] Bei der Ausführungsform der [Fig. 1](#), [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) geschieht das Trocknen (das Erwärmen der Flüssigkeit, um sie zu einem Dampf zu verdampfen, transportieren des Dampfes von der Bahn weg, Kondensieren des Dampfes und Transportieren des kondensierten Dampfes (auch als Kondensat bekannt) von der Bahn weg), ohne daß die angewendete Gaskonvektion erforderlich wäre, die mit herkömmlichen Trocknungsverfahren assoziiert ist. Hierdurch wird die Bildung von Sprenkelung verringert, die mit vielen Präzisionsbeschichtungen assoziiert ist, und das Trocknen mit erhöhten Trocknungsraten ermöglicht. Bei der Ausführungsform der [Fig. 4–Fig. 12](#) geschieht zumindest das Entfernen der verdampften Flüssigkeit aus der Bahn, ohne daß die angewendete Gaskonvektion erforderlich wäre. Alle Versionen dieses Systems erreichen eine verbesserte Steuerung der Phänomene, die in der Nähe der Gas-Flüssigkeit-Grenzfläche auftreten, und erreichen eine hohe Flüssigkeitsrückgewinnungswirksamkeit.

[0042] Alle Versionen verwenden Kondensation zum Entfernen verdampfter Flüssigkeit in einem Spalt, der im wesentlichen planar sein kann, ohne daß das Anwenden von Konvektionskräften erforderlich wäre, und wobei Umgebungs- und Grenzschichtkonvektionskräfte minimiert werden. Das Trocknungssystem hat gegenüber der herkömmlichen Trocknungstechnologie zahlreiche Vorteile, indem neben der Beschichtungsoberfläche ein kleiner Spalt mit einer kontrollierten Umgebung erzeugt wird und indem die Notwendigkeit für das Anwenden von Konvektion aus dem Trocknungsmechanismus eliminiert wird. Bei manchen Produkten erfolgen eine chemische Reaktion oder andere physikalische und chemische Prozesse während des Trocknens in der Beschichtung. Das Trocknungssystem funktioniert unabhängig davon, ob diese Prozesse innerhalb des Prozesses ablaufen oder nicht. Das Trocknungssystem kann diese Prozesse während des Trocknens beeinflussen. Ein Beispiel sind feuchtigkeitsgehärtete Polymere, die in einem Lösungsmittel dispergiert oder gelöst sind, die während des Trocknungsprozesses durch die Anwesenheit von Feuchtigkeit in der Trocknungsatmosphäre beeinträchtigt werden können. Weil die Erfindung über der Beschichtungsfläche einen kleinen Spalt mit kontrollierter Umgebung erzeugen kann, ist es wesentlich einfacher, eine Trocknungsatmosphäre mit kontrollierter Feuchtigkeit bereitzustellen, um das Härten dieser Polymere zu verbessern. Durch Verbessern der Steuerung der Trocknungsphänomene und Erzeugen eines kleinen Spalts mit kontrollierter Umgebung über der beschichteten Fläche gibt es viele andere Anwendun-

gen, bei denen andere physikalische und chemische Prozesse, die während des Trocknungsprozesses auftreten, davon profitieren können.

[0043] Bei einer Ausführungsform des Verfahrens kann das Trocknungssystem mit ausgeübter Konvektion kombiniert werden, und die ausgeübte Konvektion kann erzeugt werden durch Leiten von Gas über die Beschichtung, entweder in Längsrichtung, in Querrichtung oder in einer beliebigen anderen Richtung. Dadurch kann man zusätzliche Stoffübertragung oder eine andere Modifikation an der Atmosphäre über der beschichteten Fläche erhalten. Dieses Verfahren könnte verwendet werden, wenn die angewendete Konvektion für die Produkteigenschaften nicht abträglich ist.

[0044] Die Erfinder haben herausgefunden, daß beim Trocknen von Substraten erhebliche Trocknungsverbesserungen und erhöhte Trocknungsraten auftreten, wenn der Abstand von der Kondensationsfläche zum beschichteten Substrat geringer als 5 Millimeter ist. Das System des UK-Patents Nr. 1 401 041 läßt sich in dem Bereich, in dem erhebliche Verbesserungen an der Trocknungssteuerung vorgenommen werden können, nicht praktisch anwenden.

[0045] Es können viele Arten von Kondensationsstrukturen verwendet werden, wie etwa Platten jedes beliebigen Typs, ob flach oder nicht, porös oder nicht, strukturiert oder nicht, oder andere Formen wie etwa Rohre oder Rippen. Die Kondensationsflächenstruktur kann makroskopische, mesoskopische und mikroskopische Geometrien und Abmessungen kombinieren. Die Kondensationsstruktur kann parallel oder schräg zur Bahn verlaufen und planare oder gekrümmte Flächen aufweisen.

[0046] Die Kondensationsfläche muß drei Kriterien erfüllen. Sie muß erstens zu einer ausreichenden Energieübertragung in der Lage sein, um die latente Kondensationswärme zu entfernen. Zweitens muß das Kondensat die Kondensationsfläche zumindest teilweise benetzen. Drittens muß die Kondensationsfläche verhindern, daß der kondensierte Dampf (das Kondensat) auf die beschichtete Fläche der Bahn zurückkehrt. Einer Kondensationsfläche ist eine effektive kritische Kondensatfilmdicke zugeordnet, die das Einsetzen von Filmungleichmäßigkeiten markiert. Diese Dicke ist eine Funktion des Materials, der Geometrie, der Abmessungen, der Topologie, der Orientierung, der Konfiguration und anderer Faktoren der Kondensationsfläche sowie der physikalischen Eigenschaften des Kondensats (wie etwa der Oberflächenspannung, der Dichte und der Viskosität). Ein weiteres Merkmal des Systems ist der Transport und das Entfernen des Kondensats. Dies hält die Kondensatfilmdicke kleiner als die effektive kritische Dicke und kann erreicht werden durch Kapillarkräfte, Gravitationskräfte, mechanische Kräfte oder ver-

schiedene Kombinationen dieser Kräfte.

[0047] Die Kapillarkraft oder der Kapillardruck kann beschrieben werden als die Resultierende der auf die gekrümmten Menisken wirkenden Oberflächenspannung und wird bestimmt als die als die Young-LaPlace-Gleichung bekannte Grundgleichung der Kapillarität. Die Young-LaPlace-Gleichung lautet $\Delta P = \sigma(1/R_1 + 1/R_2)$, wobei ΔP der Druckabfall an der Grenzfläche, σ die Oberflächenspannung und R_1 und R_2 die Hauptkrümmungsradien der Grenzfläche sind.

[0048] Die Kapillarität wird ausführlich beschrieben in Adamson, A. W. "Physical Chemistry of Surfaces", 4. Auflage 11, John Wiley & Sons, Inc. (1982). Die [Fig. 1](#), [Fig. 2](#), [Fig. 4](#), [Fig. 5](#), [Fig. 8](#), [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) zeigen Beispiele für die Verwendung von Kapillarkräften zusammen mit anderen Kräften, um das Kondensat auf der Kondensationsfläche zu bewegen.

[0049] Gravitationskräfte ergeben sich aus der Position der Fluidmasse in einem Gravitationsfeld, was die hydrostatische Fallhöhe ist. Die [Fig. 6](#), [Fig. 7](#) und [Fig. 9](#) zeigen Beispiele, bei denen Gravitationskräfte zusammen mit anderen Kräften verwendet werden, um das Kondensat auf der Kondensationsfläche zu bewegen.

[0050] Andere Mechanismen können zusammen mit Kapillarkräften verwendet werden, um die kondensierte Flüssigkeit von der Kondensationsfläche zu entfernen, um zu verhindern, daß die kondensierte Flüssigkeit zum Substrat zurückkehrt.

[0051] Beispielsweise können mechanische Einrichtungen wie etwa Pumpsysteme verwendet werden, um die kondensierte Flüssigkeit von der Kondensationsfläche zu entfernen. [Fig. 11](#) zeigt ein Beispiel, das mechanische Kräfte zusammen mit Kapillarkräften verwendet, um das Kondensat von der Kondensationsfläche zu entfernen.

[0052] Die [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) zeigen eine Vorrichtung, die zwei Platten verwendet. [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) zeigen eine Vorrichtung, die eine Platte verwendet. Bei beiden Versionen hat die eine Platte eine Flüssigkeitstransport-Kondensationsfläche, die sich in einem geringen Abstand von der beschichteten Fläche des Bahnmaterials befindet. Abstände von weniger als 15–20 cm sind bevorzugt. Abstände von weniger als 5 mm ergeben weitere Vorteile. Abstände unter 0,5 mm und sogar Abstände von nur 0,1 mm und weniger sind erreichbar.

[0053] In den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) enthält die Vorrichtung **10** eine kühlbare Kondensationsplatte **12**, die von einer erwärmten Platte **14** beabstandet ist. Die Kondensationsplatte **12** ist auf eine Temperatur T_1 eingestellt, die über oder unter Umgebungstempera-

tur liegen kann, und die erwärmte Platte **14** ist auf eine Temperatur T_2 eingestellt, die über oder unter Umgebungstemperatur liegen kann. Die Temperatur der beschichteten Bahn **16** ist T_3 . Die Bahnposition wird definiert durch h_1 und h_2 , die Abstände zwischen jeweiligen zugewandten Flächen der Bahn **16** und der Kondensations- und der erwärmten Platte. [Fig. 12](#) zeigt die relativen Orte dieser Variablen. Der Gesamtspace zwischen der Kondensationsplatte und einer etwaigen Heizplatte h ist die Summe aus h_1 , h_2 und der Dicke der beschichteten Bahn. Die Bahn **16** mit einer Beschichtung **18** läuft mit beliebiger Geschwindigkeit zwischen den beiden Platten. Alternativ kann die Bahn stationär sein und die ganze Vorrichtung **10** bewegt sich oder sowohl die Bahn als auch die Vorrichtung bewegen sich. Die Platten sind innerhalb der Vorrichtung stationär. Die erwärmte Platte **14** befindet sich auf der unbeschichteten Seite der Bahn **16** entweder in Kontakt mit der Bahn oder mit einem kleinen Spalt h_2 zwischen der Bahn und der Platte. Die Kondensationsplatte **12** befindet sich auf der beschichteten Seite der Bahn **16**, wobei ein kleiner Spalt h_1 zwischen der Bahn und der Platte ausgebildet ist. Durch die Kondensationsplatte **12** und die erwärmte Platte **14** entfällt die Notwendigkeit für das Ausüben von Konvektionskräften sowohl über als auch unter der Bahn **16**. Das Trocknen wird durch Einstellen der Temperaturen T_1 , T_2 und der Abstände h_1 , h_2 gesteuert.

[0054] Die Kondensationsplatte **12**, die stationär oder mobil sein kann, ist in der Nähe der beschichteten Fläche (etwa 5 cm entfernt oder näher) angeordnet. Die Anordnung der Platten erzeugt neben der beschichteten Bahn einen kleinen Spalt. Der Spalt ist im wesentlichen konstant, wodurch kleine Konvergenz- oder Divergenzbeträge möglich werden. Weiterhin ist der Spalt unabhängig von irgendwelchen Rillen (unten erörtert) auf der Kondensationsfläche im wesentlichen konstant. Die Orientierung der Platten ist nicht kritisch. Die Kondensationsplatte **12** kann sich über der Bahn (wie in den [Fig. 1](#), [Fig. 2](#), [Fig. 4–Fig. 8](#) und [Fig. 11–Fig. 12](#) gezeigt) oder unter der Bahn (mit der Beschichtung auf der unteren Fläche der Bahn) befinden, und das System kann bei vertikaler oder unter einem beliebigen anderen Winkel befindlichen Bahn arbeiten, einschließlich um die Achse der Bahnbewegungsrichtung geneigt.

[0055] Die erwärmte Platte **14** führt Energie durch die Bahn **16** der Beschichtung **18** zum Verdampfen von Flüssigkeit aus der Beschichtung **18** zum Trocknen der Beschichtung, ohne daß angewendete Konvektion erforderlich wäre. Energie wird durch eine Kombination aus Leitung, Strahlung und Konvektion übertragen, wodurch hohe Wärmeübertragungsraten erreicht werden. Dies verdampft die Flüssigkeit in der Beschichtung **18** auf der Bahn **16**. Die verdampfte Flüssigkeit von der Beschichtung **18** wird dann (unter Verwendung von Diffusion und Konvektion) über den

Spalt h_1 zwischen der Bahn **16** und der Kondensationsplatte **12** transportiert und kondensiert an der unteren Fläche der Kondensationsplatte **12**.

[0056] Wie in [Fig. 3](#) gezeigt ist die untere Fläche der Kondensationsplatte **12** die Kondensationsfläche **22**, und sie weist in Querrichtung verlaufende offene Kanäle oder Rillen **24** auf, die über Kapillarkräfte verhindern, daß die kondensierte Flüssigkeit durch Schwerkraft zu der Beschichtung zurückkehrt und die kondensierte Flüssigkeit in Querrichtung zu Randplatten **26** bewegt. Die Rillen können dreieckig, rechteckig oder kreisförmig sein oder andere komplexere Formen oder Kombinationen von Formen aufweisen.

[0057] Das Material, die Geometrie und die Abmessungen der Rillen sind so ausgelegt, daß sie den erforderlichen Massenfluß und die physikalischen Eigenschaften des Kondensats wie etwa Oberflächenspannung, Viskosität und Dichte berücksichtigen.

[0058] Ein spezifischer Typ von Kondensationsfläche ist einer, der offene Kanäle oder Rillen mit Ecken aufweist. Dieser Typ von Kapillarkondensationsfläche, beispielsweise in [Fig. 3](#) gezeigt, ist eine geometrisch spezifische Fläche, die mit Hilfe der Concus-Finn-Ungleichung (Concus P. und Finn R. "On the Behavior of a Capillary Surface in a Wedge", *Proceeding of the National Academy of Science*, Band 63, 292–299 (1969) ausgelegt werden kann, die lautet:

$\alpha + \theta_s < 90^\circ$, wobei α die Hälfte des eingeschlossenen Winkels einer beliebigen Ecke und θ_s der statische Kontaktwinkel Gas-Flüssigkeit-Festkörper ist. Der statische Kontaktwinkel wird von der Oberflächenspannung der Flüssigkeit für ein gegebenes Flächenmaterial in Gas bestimmt. Falls die Ungleichung nicht erfüllt ist, ist die Grenzfläche begrenzt; falls die Ungleichung erfüllt ist, besitzt die Grenzfläche keine endliche Gleichgewichtsposition und der Meniskus ist unbegrenzt. In diesem letzteren Fall bewegt sich die Flüssigkeit durch Kapillarwirkung unbeschränkt vor oder bis zum Ende des Kanals oder der Welle. Flächen mit Ecken aufweisenden Rillen sind nützlich, wenn die Beschichtungsflüssigkeit eine hohe Oberflächenspannung aufweist, wie etwa Wasser. Kapillarflächen mit Ecken werden ausführlich erörtert in Lopez de Ramos, A. L., "Capillary Enhanced Diffusion Of CO₂ in Porous Media", Doktorarbeit, University of Tulsa (1993).

[0059] Die Rillen **24** können auch in Längsrichtung oder einer beliebigen anderen Richtung verlaufen. Wenn die Rillen in Längsrichtung verlaufen, kann an den Enden der Rillen ein geeignetes Sammelsystem angeordnet werden, um zu verhindern, daß die kondensierte Flüssigkeit auf die beschichtete Fläche **18** zurückfällt. Diese Ausführungsform begrenzt die Länge einer Kondensationsplatte **12** und begrenzt auch den Mindestspalt h_1 .

[0060] Wenn die Flüssigkeit das Ende der Rillen **24** erreicht, schneidet sie den Winkel zwischen den Randplatten **26** und der Kondensationsfläche **22**. Ein Flüssigkeitsmeniskus entsteht und erzeugt ein Niederdruckgebiet, das das Kondensat von der Kondensationsfläche zu mindestens einer Randplatte zieht. Die Schwerkraft überwindet die Kapillarkraft in dem Meniskus, und die Flüssigkeit fließt als ein Film oder Tröpfchen **28** an der Fläche der Randplatten **26** hinab. Die Randplatten **26** können zusammen mit einer beliebigen Kondensationsfläche verwendet werden, nicht nur einer, die Rillen aufweist. Die Tröpfchen **28** fallen von jeder Randplatte **26** und können in einer nichtgezeigten Sammeleinrichtung gesammelt werden. Beispielsweise kann ein mit Schlitzen versehenes Rohr um den unteren Rand jeder Randplatte **26** angeordnet werden, um die Flüssigkeit zu sammeln und zu einem Behälter zu leiten. Die Randplatten **26** werden in der ganzen Anmeldung so gezeigt, daß sie die Enden der Kondensationsfläche der Kondensationsplatten berühren. Die Randplatten können sich jedoch auch neben den Kondensationsplatten befinden, ohne sie zu kontaktieren, solange sie funktional dicht genug liegen, um die kondensierte Flüssigkeit aufzunehmen.

[0061] Alternativ braucht die kondensierte Flüssigkeit überhaupt nicht von der Platte entfernt zu werden, solange sie von der Kondensationsfläche **22** entfernt wird oder zumindest daran gehindert wird, zur Bahn **16** zurückzukehren. Außerdem sind die Randplatten **26** senkrecht zu der Kondensationsfläche **14** gezeigt, wenngleich sie sich unter anderen Winkeln zu ihr befinden können, und die Randplatten **26** können glatt, mit Rillen versehen oder porös sein oder aus anderen Materialien bestehen.

[0062] Die erwärmte Platte **14** und die Kondensationsplatte **12** können innere Durchgänge wie etwa Kanäle aufweisen. Ein Wärmeübertragungsfluid kann durch ein externes Heizsystem erwärmt und durch die Durchgänge umgewälzt werden, um die Temperatur T_2 der erwärmten Platte **14** einzustellen. Die gleiche oder ein anderes Wärmeübertragungsfluid kann durch einen äußeren Kühler gekühlt und durch die Durchgänge umgewälzt werden, um die Temperatur T_1 der Kondensationsplatte **12** einzustellen. Es können auch andere Mechanismen zum Erwärmen der Platte **14** und Kühlen der Platte **12** verwendet werden.

[0063] Die Vorrichtung **30** der [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) ähnelt der der [Fig. 1–Fig. 3](#), außer daß keine Heizplatte vorliegt.

[0064] Bei der Vorrichtung **30** wird die Bahn **16** erwärmt, um die Flüssigkeit aus der Beschichtung durch ein beliebiges Heizverfahren oder Kombination von Heizverfahren zu verdampfen, sei es Leitung, Strahlung, Mikrowelle, Konvektion oder Umgebungs-

energie, wobei eine beliebige Art von Heizungstyp verwendet wird. Dies kann unter anderem eine geheizte Trommel, Strahlungsheizeinrichtungen oder erzwungene Gasströme beinhalten. Dieses System kann sogar ohne angewendete Energie arbeiten, selbst außerhalb des Trockners, nur unter Verwendung von Umgebungsenergie, um die Flüssigkeit zu verdampfen. Die Vorrichtung arbeitet ansonsten ebenso wie diejenige der [Fig. 1–Fig. 3](#), ohne daß das Anwenden von Konvektion für den Transport der verdampften Flüssigkeit von der Bahn **16** zu der Kondensationsfläche **22** auf der Kondensationsplatte **12** erforderlich wäre. Der Spalt h zwischen der beschichteten Bahn **16** und der Kondensationsfläche **22** ist durch eine beliebige Kombination der Bahn **16** und Bahnträger oder andere Barrieren von den Heizeinrichtungen isoliert. Dadurch kann der Bereich gegenüber jeder angewendeten Konvektion isoliert werden.

[0065] Die Kapillarwirkung kann mit der Schwerkraft kombiniert werden. Die [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) zeigen Ausführungsformen der Vorrichtung, in denen die Schwerkraft zusammen mit der Kapillarwirkung verwendet wird, um das flüssige Lösungsmittel auf der Kondensationsfläche zu bewegen. Die Kondensationsfläche **22** befindet sich auf einer Platte **42**, die zu einer Querseite der Bahn **16** in [Fig. 6](#) geneigt ist, und die Kondensationsfläche **22** befindet sich auf einer oder zwei Platten **44**, die von der Mitte aus zu beiden Querseiten der Bahn **16** in [Fig. 7](#) geneigt sind. In beiden Fällen wird die Flüssigkeit über Kapillarwirkung und Schwerkraft von der Kondensationsfläche weg bewegt. Der Winkel könnte auf der Längsmittellinie der Bahn zentriert sein oder sich außerhalb der Mitte befinden.

[0066] [Fig. 8](#) ist eine weitere Ausführungsform, bei der Kapillarkräfte die Flüssigkeit auf der Kondensationsfläche bewegen.

[0067] Bei dieser Ausführungsform ist die Kondensationsplatte **46** ein poröses oder dochtartiges Material wie etwa gesintertes Metall oder ein Schwamm, wobei zum Transportieren des flüssigen Lösungsmittels Kapillarkräfte verwendet werden. Das Lösungsmittel kondensiert an der Kondensationsfläche **22** und wird aufgrund der Kapillarkräfte über die Kondensationsplatte **46** verteilt. Die Randplatten **26** neben der Kondensationsplatte **46** bilden eine Kapillarfläche. Ein Flüssigkeitsmeniskus entsteht und erzeugt ein Niederdruckgebiet, das das Kondensat von der Kondensationsfläche zu mindestens einer Randplatte zieht. Die Schwerkraft überwindet die Kapillarkraft, und die Flüssigkeit fließt als Film oder Tröpfchen die Fläche der Randplatte **26** herab.

[0068] [Fig. 9](#) zeigt eine weitere Ausführungsform, bei der Kapillar- und Schwerkraft verwendet werden, um die kondensierte Flüssigkeit auf den Kondensationsflächen **22** zu transportieren. Wie gezeigt

sind Kondensationsflächen **22** auf vielen Flächen ausgebildet. Eine Kondensationsplatte **50** ist zu einer Seite oder von der Mitte zu beiden Seiten über der Bahn **16** geneigt. Dünne Folien **48** aus Material sind unter der Kondensationsplatte **50** aufgehängt und derart angeordnet, daß sie von der Horizontalen weg geneigt sind, wobei ihr unterer Rand dem unteren Rand der Kondensationsplatte **50** gegenüberliegt. Wie gezeigt überlappen sich die Folien **48** aus Material um mindestens 0,05 cm und sind im Überlappungsbereich um einen Spalt von 0,01–0,25 cm beabstandet.

[0069] Dampf, der auf den Kondensationsflächen **22** kondensiert, wird über Oberflächenspannung auf den Flächen zurückgehalten.

[0070] Die Schwerkraft führt die kondensierte Flüssigkeit an jeder oberen Fläche der Folien **48** in einem Kaskadeneffekt hinunter, bis sich die Flüssigkeit jenseits des Rands der Bahn **16** befindet. Flüssigkeit, die an der unteren Fläche der dünnen Folien **48** kondensiert, wird zu dem Überlappungsgebiet transportiert, und durch den Spalt erzeugte Kapillarkräfte ziehen die Flüssigkeit in den Spalt. Die Flüssigkeit wird dann zu der oberen Fläche der nächsten Folie **48** übertragen, und Schwerkraft trägt sie auf Kaskadenweise zum Rand des Substrats. Somit bildet an der unteren Fläche der Folien kondensierende Flüssigkeit keine Tröpfchen, die auf das beschichtete Substrat zurückfallen. In einigen Fällen ist es wünschenswert, daß die Flüssigkeit den Spalt zwischen den Folien **48** und der Kondensationsplatte **50** vollständig füllt.

[0071] [Fig. 10](#) ist eine weitere Ausführungsform, die zum Transportieren der Flüssigkeit auf der Kondensationsfläche Schwerkraft- und Kapillarkräfte kombinieren kann. Bei dieser Ausführungsform wird an und unter einer Kondensationsplatte **54** ein poröses, mit Spalten versehenes, schwammartiges, wabenartiges, siebartiges oder auf andere Weise löchriges Material **52** angebracht. Der Abstand zwischen der Kondensationsplatte **54** und dem löchrigen Material **52**, die Abmessungen der Löcher in dem Material **52** und das Verhältnis des offenen Bereichs zum festen Bereich auf dem löchrigen Material **52** sind alle so ausgelegt, daß bewirkt wird, daß die Oberflächenkräfte die Flüssigkeit an den drei Kondensationsflächen **22** zurückhalten. Die Vorrichtung befindet sich neben der Bahn **16**. An den Kondensationsflächen **22** kondensierender Dampf wird als Flüssigkeit in den Hohlräumen des löchrigen Materials und in dem Plattenabstandsgebiet **56** zurückgehalten. Während Flüssigkeit aus dem Plattenabstandsgebiet **56** entfernt wird, wird Flüssigkeit auf der Seite des löchrigen Materials **52** der Bahn **16** zugewandt durch Kapillarkräfte transportiert, um den Hohlraum in dem Plattenabstandsgebiet **56** zu füllen. Flüssigkeit kann entweder durch Schwerkrafts-, Kapillar- oder mechanische

Kräfte aus dem Plattenabstandsgebiet **56** entfernt werden. Durch Neigen der Kondensationsplatte **54** weg von der Horizontalen in einer beliebigen Richtung entfernt Schwerkraft die Flüssigkeit aus dem Plattenabstandsgebiet **56** zu einem Punkt jenseits des Rands der Bahn **16**. Alternativ kann die Flüssigkeit aus dem Plattenabstandsgebiet **56** entfernt werden, indem mindestens eine Randplatte **26** am Rand der Kondensationsplatte **54** positioniert wird.

[0072] Die Randplatte **26** berührt die Kondensationsplatte **54** unter Bildung einer Kapillarfläche. Die Randplatten können bei einigen Anwendungen das löchrige Material **22** berühren. Ein Flüssigkeitsmeniskus entsteht und erzeugt ein Niederdruckgebiet, das das Kondensat in Richtung auf mindestens eine Randplatte zieht.

[0073] Schwerkraft überwindet die Kapillarkraft, und die Flüssigkeit fließt als Film oder Tröpfchen die Oberfläche der Randplatte **26** hinunter. Außerdem kann das Kondensat mechanisch aus dem Plattenabstandsgebiet **56** herausgepumpt werden.

[0074] [Fig. 11](#) zeigt schematisch eine Ausführungsform, bei der mit einer Pumpe **80** die kondensierte Flüssigkeit von der Kondensationsfläche entfernt wird. Bei der Pumpe kann es sich um einen beliebigen Pumpentyp handeln, und jede andere Einrichtung zum Erzeugen eines Unterdrucks kann verwendet werden. Wie auch in [Fig. 11](#) gezeigt, kann die kondensierte Flüssigkeit vor dem Entfernen, etwa durch Kapillarwirkung und Schwerkraft, in Richtung auf die Mitte der Kondensationsfläche in Querrichtung getrieben werden.

[0075] Bei einer anderen Verwendung kann das System zuerst Fluid von einem beschichteten Substrat entfernen. Dann kann das System an einer entlang der Bahn stromabwärts gelegenen Stelle von dem Trocknungsort "umgekehrt" verwendet werden, um zum Modifizieren der Beschichtung dem Substrat einen geringen Anteil an Feuchtigkeit oder zusätzlichem Reaktionsmittel hinzuzufügen.

[0076] Die Vorrichtung kann außerhalb einer Trocknerkonfiguration ohne irgendwelche angelegte Energie arbeiten, und mit nur Umgebungswärme, um die Flüssigkeit zu verdampfen. Indem die Temperatur der Kondensationsfläche **22** gesteuert wird, daß sie bei oder in der Nähe der Umgebungstemperatur liegt, kommt es zur Verdampfung der Flüssigkeit nur solange, bis sich die Dampfkonzentration in dem Spalt **h** zwischen der Kondensationsfläche und der Bahn **16** bei einer gesättigten Konzentration befindet, wie durch die Temperaturen der Kondensationsfläche **22** und der Bahn **16** definiert. Die Flüssigkeit, die verdampft ist, wird eingeschlossen und von dem viskosen Sog der Bahn durch den Spalt **h** zum Austritt des Systems geführt. Unerwünschtes Trocknen kann re-

duziert werden und Dampfemissionen können gegenüber Umgebungsbedingungen isoliert werden.

[0077] Das Trocknungsverfahren der Erfindung kann dazu verwendet werden, das Trocknen der Beschichtung zu reduzieren oder so gut wie anzuhalten.

[0078] Die Trocknungsrate ist eine Funktion der Spaltenhöhe und des Dampfkonzentrationsgradienten zwischen der beschichteten Fläche **18** der Bahn **16** und der Kondensationsfläche **22**.

[0079] Für einen gegebenen Spalt h_1 definiert das Temperaturdifferenzial zwischen der Bahn **16** und der Kondensationsfläche **22** den Dampfkonzentrationsgradienten. Je höher die Temperatur der beschichteten Fläche **18** relativ zu der Kondensationsfläche **22** liegt, um so größer ist die Trocknungsrate.

[0080] Mit Annäherung der Temperatur der Kondensationsfläche **22** an die Temperatur der beschichteten Fläche **18** geht die Trocknungsrate gegen Null. Beim herkömmlichen Trocknen kann der Dampfkonzentrationsgradient nicht gesteuert werden, ohne daß ein aufwendiges Inertgas-Trocknungssystem verwendet wird.

[0081] Einige flüssige Beschichtungen weisen mehrere Lösungsmittel auf, wobei eines oder mehrere der Lösungsmittel das Verlangsamen der Trocknungsrate bewirken, damit optimale Produkteigenschaften erzielt werden. Durch Einstellen der Temperatur der beschichteten Fläche **18** und der Kondensationsfläche **22** kann die Erfindung die Trocknungsrate reduzieren und die Anforderung, daß zum Verzögern der Trocknungsrate Lösungsmittel verwendet werden, möglicherweise eliminieren.

[0082] Die Trocknungsrate wird durch die Höhe des Spalts h_1 und das Temperaturdifferenzial zwischen der beschichteten Fläche **18** und der Kondensationsfläche **22** gesteuert.

[0083] Für ein gegebenes Temperaturdifferenzial kann deshalb die Trocknungsrate durch die Position der Kondensationsplatte gesteuert werden, die den Spalt h_1 definiert. Durch Ändern der Abmessungen des Trocknungssystems, wie etwa durch Ändern der relativen Spalten, ist es somit möglich, die Trocknungsrate zu steuern. Herkömmliche Trockner weisen diese Fähigkeit nicht auf.

[0084] Durch das Trocknen mancher beschichteter Bahnen unter Verwendung der angewendeten Konvektion können in den Beschichtungen Sprenkelmuster entstehen. Sprenkelmuster sind Defekte in Filmbeschichtungen, die durch Dampfkonzentrations- oder Gasgeschwindigkeitsgradienten über der Beschichtung gebildet werden, was an der Flüssigkeitsfläche ein ungleichförmiges Trocknen hervorruft. Oft-

mals reichen normale Raumluftröme aus, um diese Defekte zu erzeugen. Die Erfindung kann dazu verwendet werden, die durch natürliche Konvektion induzierten Defekte wie etwa Sprengelung an Stellen außerhalb der gewünschten Trocknungsposition zu reduzieren und zu steuern. An Stellen, wo sich die beschichtete Fläche nicht in dem Trocknungsgebiet befindet und ansonsten einer Konvektion entweder von Umgebungsluftströmen oder von einer turbulenten Grenzschichtluft aufgrund einer Bahnbewegung exponiert wäre, kann sich die Vorrichtung mit Rillen oder anderen Flüssigkeitstransport- und -entfernungseigenschaften, -einrichtungen, -strukturen oder ohne diese durch einen Spalt h_1 getrennt neben der beschichteten Bahn **16** befinden. Die Stelle der Kondensationsplatte **12** neben der beschichteten Bahn **16** kann die Umgebungsluftströme gegenüber der Beschichtungsfläche isolieren. Sie kann auch verhindern, daß die Grenzschichtluft über der beschichteten Fläche turbulent wird.

[0085] Dementsprechend können Defekte, die auf eine Konvektion außerhalb der Trocknungsposition zurückgehen, wie etwa Sprengelung, reduziert oder eliminiert werden. Die Vorrichtung kann mit einem Entfernen von Kondensation und Lösungsmittel ähnlich [Fig. 4–Fig. 12](#) arbeiten, und sie kann sogar ohne das Entfernen von Kondensation und Lösungsmittel arbeiten, indem die Temperatur der Kondensationsfläche **22** über den Taupunkt der Dämpfe in dem Spalt h_1 angehoben wird.

[0086] Es kann bei allen Ausführungsformen wünschenswert sein, mehrere Zonen von Heiz- und Kondensationskomponenten unter Verwendung mehrerer Paare bereitzustellen. Die Temperaturen und Spalten jedes Paares von Heiz- und Kondensationskomponenten kann unabhängig von den anderen Paaren gesteuert werden. Die Zonen können voneinander beabstandet sein oder nicht.

[0087] Die Systeme aller Ausführungsformen verwenden eine Kondensation in der Nähe der beschichteten Bahn **16** mit einem kleinen Spalt zwischen der Beschichtung auf der Bahn **16** und der Kondensationsfläche **22**. Es besteht keine Anforderung für eine angewendete Konvektion, und es gibt sehr wenig Dampfvolument. Die Dampfkonzentration und die Konvektionskräfte können gesteuert werden, indem die Bahntemperatur, der Spalt und die Kondensationsflächentemperatur eingestellt werden. Dadurch erhält man eine verbesserte Steuerung der Bedingungen in der Nähe der Gas-Flüssigkeit-Grenzfläche. Weil die Plattentemperaturen und der Spalt durch das Trocknungssystem hinweg kontinuierlich und konstant sein können, werden Wärme- und Stoffübertragungsraten gleichförmiger gesteuert als mit herkömmlichen Trocknungssystemen. Alle diese Faktoren tragen zu einer verbesserten Trocknungsleistung bei. Es verbessert auch die Effizienz der

Kondensationsdampf-Rückgewinnungssysteme und sorgt für eine Flüssigkeitsrückgewinnung mit hohen Effizienzen bei keinen zusätzlichen Kosten im Vergleich zu bekannten aufwendigen Verfahren des Brennens, der Adsorption oder Kondensation in einem Sekundärgasstrom.

[0088] Weiterhin bestehen weniger Bedenken dahingehend, daß die Umgebungsluft über der Bahn explodiert oder sich über der Entflammbarkeitsgrenze befindet. Wenn der Spalt sehr klein ist, etwa weniger als 1 cm, können tatsächlich Bedenken hinsichtlich der Entflammbarkeit eliminiert werden, weil der ganze Raum über der Bahn unzureichend Sauerstoff aufweist, um eine Entflammbarkeit zu unterstützen.

[0089] Außerdem entfällt bei diesem System die Notwendigkeit für große Gasströme. Die mechanische Ausrüstung und das Steuersystem sind nur 20% der Kosten eines herkömmlichen Luftflotationstrocknungssystems.

[0090] Mit 30,5 cm breiten Platten mit Querrillen wurden Versuche durchgeführt. Die untere Platte wurde mit einem Wärmeübertragungsfluid, das durch Durchgänge in den Platten geschickt wurde, auf Temperaturen im Bereich von 15°C bis 190°C erhitzt. Bei Übertragung der Wärme auf die Beschichtung verdampft die Flüssigkeit in der Beschichtung.

[0091] Die Temperatur der Kondensationsplatte wurde durch ein beliebiges geeignetes Verfahren im Bereich von –10°C bis 65°C gesteuert, um die Antriebskraft für den Dampftransport und Kondensation bereitzustellen. Ein effektiver Bereich des Spalts h_1 liegt zwischen 0,15–5 cm. Es wurden sprengelungsfreie Beschichtungen erhalten.

[0092] Bei einem Beispiel wurde eine für Sprengelung anfällige Polymer-MEK-Lösung mit 11,5% Feststoffen, 2 Centipoise, einer Naßdicke von 7,6 Mikrometern und einer Breite von 20,3 cm aufgetragen. Die Bahn war 21,6 cm breit und bewegte sich mit einer Geschwindigkeit von 0,635 m/s. Die Temperatur der zum Erwärmen der Bahn verwendeten Heizplatte wurde auf 82°C gesteuert. Die Temperatur der Kondensationsplatte wurde auf 27°C gesteuert. Die Gesamtlänge der Platten betrug 1,68 m, und sie waren unter einem Winkel von 3,4° von der Horizontalen angebracht, wobei sich die Einlaßseite in einer geringeren Höhe befand. Der Einlaß zu den Platten lag 76 cm vom Beschichtungsauftragungspunkt entfernt. Die Heizplatte war mit einem Spalt von etwa 0,076 cm von der Bahn entfernt. Der Spalt h_1 war auf 0,32 cm eingestellt.

[0093] Die Kapillarrillen waren 0,0381 cm tief mit einem Spitze-Spitze-Abstand von 0,076 cm, einem Winkel α von 30° und einem 0,013 cm großen Steg auf der Oberseite der Rillen. Die Bahn trocknete ohne

Sprenkel über die Länge von 1,68 m der Platten, obwohl sich in der Beschichtung, als sie die Platten verließ, etwas Rest Lösungsmittel befand. Ein herkömmlicher Trockner würde etwa 9 m erfordern, um den gleichen Trocknungspunkt zu erreichen, was erfordert, daß der Trockner mehr als fünfmal größer ist.

[0094] Andere Anwendungen für dieses System enthalten das Trocknen von Klebern, wo Blasendefekte üblich sind. Blasendefekte können dadurch verursacht werden, daß die Beschichtungsfläche eine getrocknete Haut bildet, bevor der Rest der Beschichtung getrocknet ist, wodurch unter dieser Haut Lösungsmittel gefangen wird. Bei herkömmlicher Trocknung liegt die Lösungsmitteldampfkonzentration im Gasvolumen wegen der Entflammbarkeitsgrenzen sehr niedrig. Falls auf die Beschichtung zu viel Wärme einwirkt, verflüchtigt sich das Lösungsmittel an der Fläche sehr schnell in den eine geringe Dampfkonzentration aufweisenden Gasstrom und bildet die Haut auf der Fläche. Das System der vorliegenden Erfindung erzeugt eine kontrollierte Dampfkonzentration in dem Raum über der Bahn, wodurch die Tendenz zur Ausbildung einer Haut auf der Fläche reduziert werden kann. Andere Anwendungen liegen in Bereichen, wo Trockner mit hohen Lösungsmittelkonzentrationen betrieben werden, um eine spezifische Produktleistung zu erreichen.

[0095] Das System liefert über die Leistung bei der Lösungsmittelnückgewinnung und dem Trocknen Vorteile. Ein weiterer Vorteil beinhaltet einen vereinfachten Prozeß, um das Beschichtungsfluid einem Magnetfeld auszusetzen. Anstatt einen Magnetfeldgenerator innerhalb eines bekannten Trockners zu positionieren, kann der Magnetfeldgenerator bei der vorliegenden Erfindung außerhalb des Trockners positioniert werden (d.h. außerhalb der Vorrichtung **10**, **30**). Ermöglicht wird dies durch den kompakten Charakter der Vorrichtung. Dies eignet sich insbesondere dann, wenn ein mit Metallteilchen beladenes Fluid auf einem Substrat aufgetragen wird, um solche Produkte wie etwa Video- und Audioaufzeichnungsband, Computer- und Datenspeicherungsband, Computerdisketten und dergleichen herzustellen. Die Magnetfeldgeneratoren lassen sich leicht einstellen und warten, da sie sich außerhalb der Vorrichtung befinden.

[0096] Dieser Aufbau verbessert auch die Teilchenorientierung.

[0097] Die magnetische Ausgangsleistung wird verbessert, wenn die Teilchen physisch in der Aufzeichnungsrichtung orientiert sind.

[0098] Herkömmlicherweise ist die Orientierungseinrichtung innerhalb des Trockners enthalten, und die Teilchen werden an einem einzelnen Punkt oder an mehreren Punkten orientiert, wenn das Lösungsmittel entfernt wird.

[0099] Hierbei besteht ein Vorteil darin, daß die Einrichtung zum magnetischen Orientieren, da sie sich außerhalb des Trockners befindet und nicht stört (herkömmliche Orientierungseinrichtungen innerhalb des Trockners unterbrechen die Konvektionswärme und die Stoffübertragung), die Raten der Entfernung des Lösungsmittels auf keinerlei Weise beeinflusst. Dies gestattet ein gleichförmiges Entfernen des Lösungsmittels. Die magnetischen Teilchen werden leicht orientiert, wenn das Fluid in den früheren Stadien des Trocknens bei der vorliegenden Erfindung weniger viskos ist. Wenn die Teilchen eine herkömmliche Orientierungseinrichtung in den frühen Stadien des Trocknens verlassen, orientieren etwaige Komponenten des Magnetfelds, die sich nicht in der Ebene der Beschichtung befinden, die Teilchen in einer nicht bevorzugten Richtung neu, indem sie beispielsweise vertikal umgekippt werden. Während das Lösungsmittel entfernt wird, nimmt die Viskosität zu, wodurch es für die Orientierungseinrichtung schwierig wird, die Teilchen zu drehen. Die Teilchen werden nicht neu orientiert, wenn sie das Feld verlassen, oder durch Kräfte zwischen den Teilchen.

[0100] Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß die Erfindung wegen ihrer geringen Größe und ihren erhöhten Raten beim Entfernen des Lösungsmittels das Orientieren von Teilchen am Beginn des Trockners und der Orientierungseinrichtung gestattet. Das gleichförmige Feld hält die Teilchen in der bevorzugten Richtung, während das Lösungsmittel in einer gleichförmigen Trocknungsumgebung auf ein derartiges Niveau entfernt wird, daß die Viskosität zu dem Punkt erhöht ist, wo die viskosen Kräfte dominieren. Dies verhindert eine unerwünschte Disorientierung der Teilchen, wenn sie die Orientierungseinrichtung verlassen, oder aufgrund von Kräften zwischen den Teilchen. Das Trocknen in herkömmlichen Trocknern bewirkt, daß sich die Fläche des Produkts aufräut. Das Entfernen des Lösungsmittels in der kontrollierten Umgebung des Trockners der vorliegenden Erfindung scheint bei höheren Raten des Entfernens des Lösungsmittels glattere Flächen zu erzeugen. Dies verbessert auch die magnetische Ausgangsleistung, da beispielsweise das entstehende Band dichter am Aufzeichnungskopf vorbeiläuft.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Trocknen eines Substrats, aufweisend:

- (a) Anordnen einer Kondensationsfläche in unmittelbarer Nähe zu einer Fläche des Substrats, um einen Spalt zwischen dem Substrat und der Kondensationsfläche zu definieren;
- (b) Anlegen von Energie an das Substrat, um eine Flüssigkeit von dem Substrat zu verdampfen, um einen Dampf zu erzeugen;
- (c) Kondensieren des Dampfes an der Kondensationsfläche, um ein Kondensat zu erzeugen;

(d) Bewegen des Kondensats auf der Kondensationsfläche unter Verwendung zumindest von Kapillarkräften; und

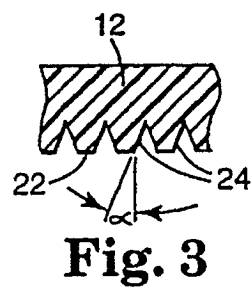
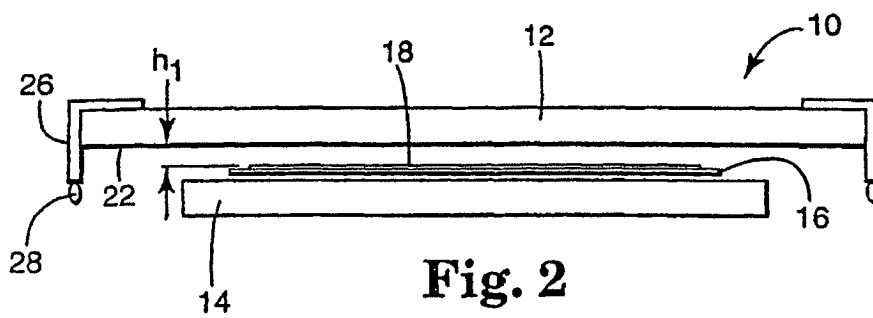
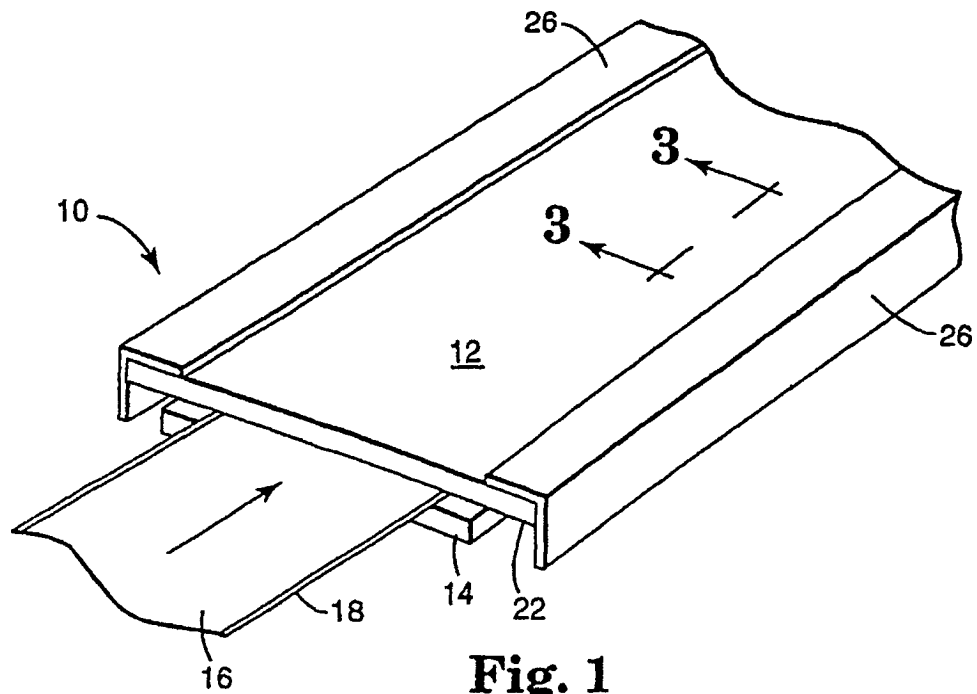
(e) Steuern des Spalts, der Temperatur der Kondensationsfläche, der Temperatur des Substrats, um die Trocknungsrate zu steuern.

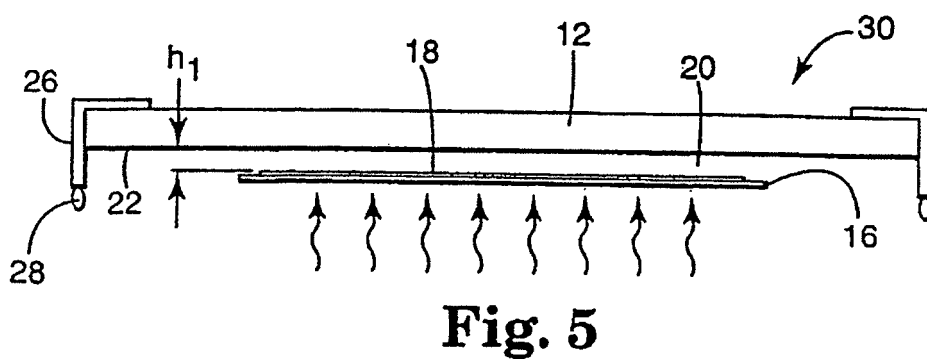
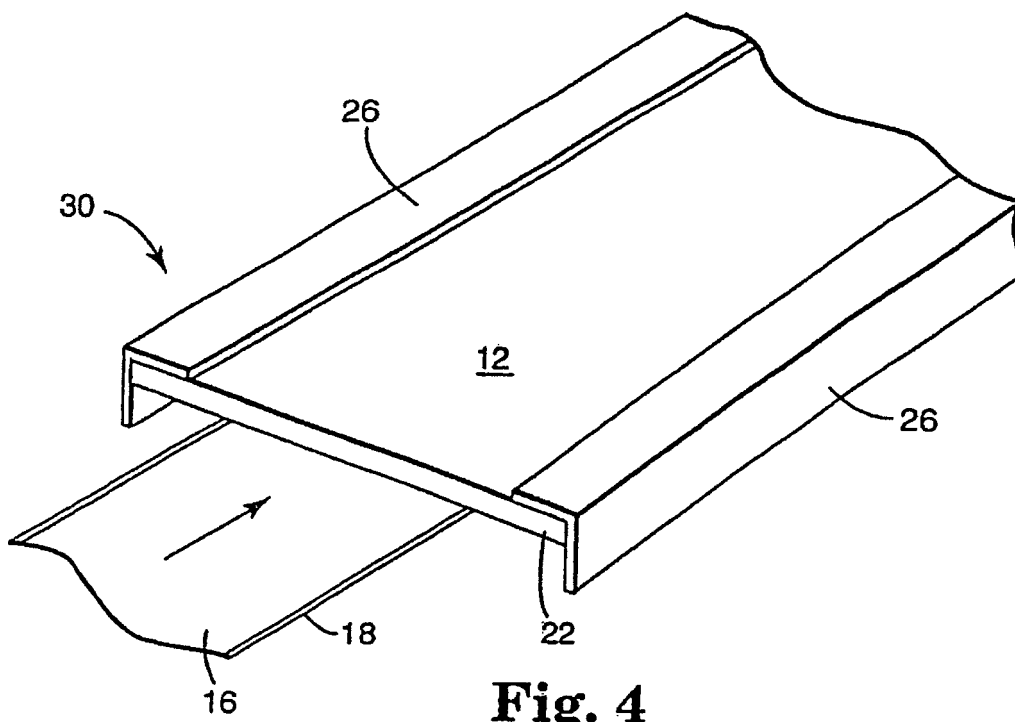
2. Verfahren nach Anspruch 1, ferner beeinflussend andere physikalische und chemische Phänomene.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, ferner verwendend eine angewendete Konvektion durch Leiten von Gas über das Substrat zum weiteren Bewirken einer Masse- und Energieübertragung.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, wobei bei Schritt (a) der Spalt klein genug ist, um Umgebungsströme von dem Substrat im wesentlichen zu isolieren.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen





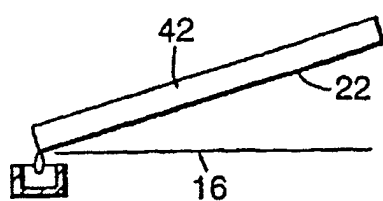


Fig. 6

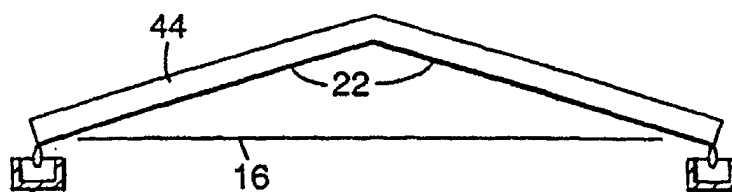


Fig. 7

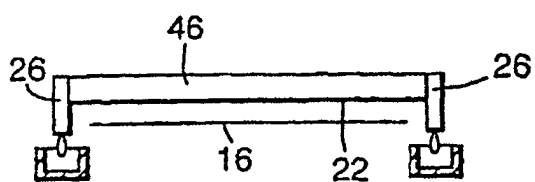
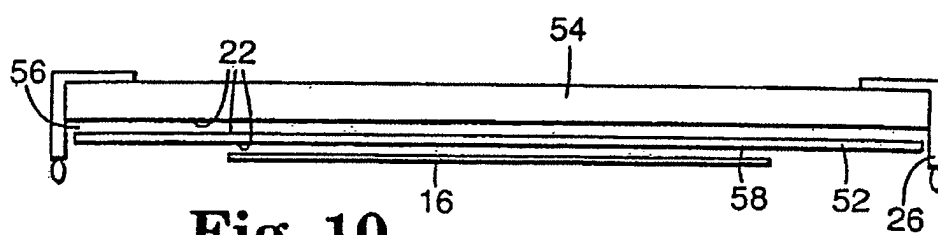
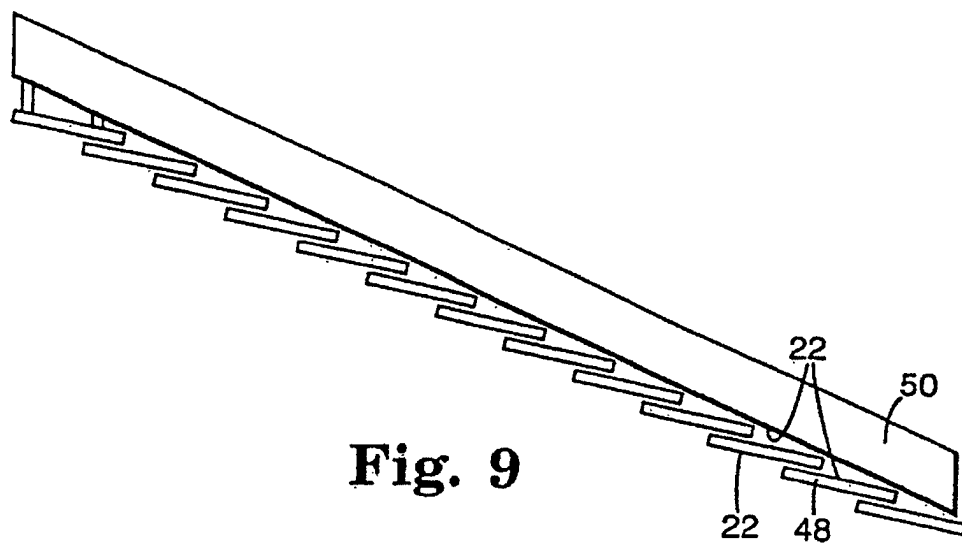


Fig. 8



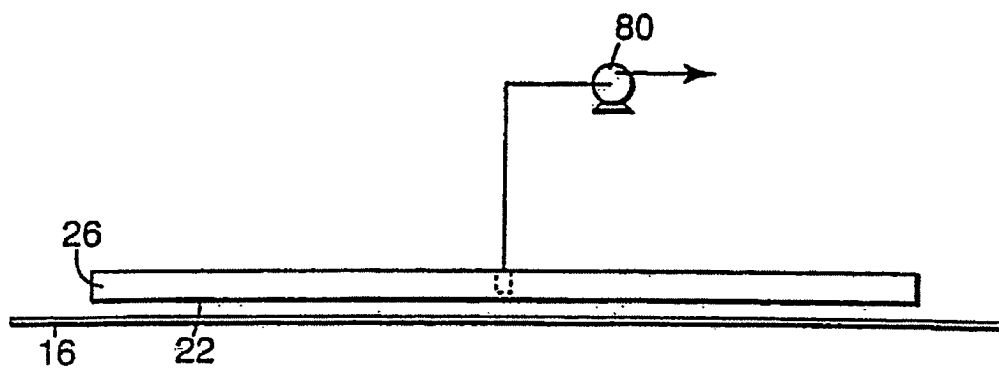


Fig. 11

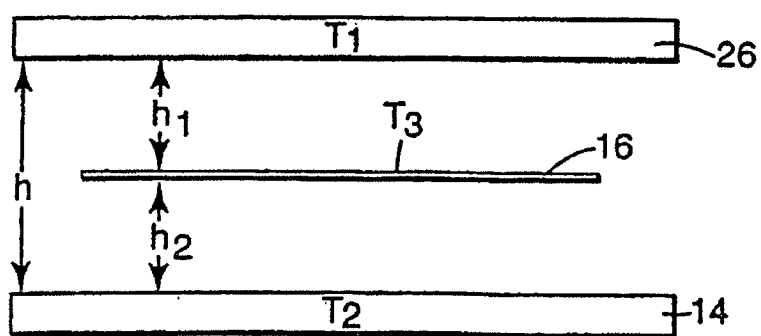


Fig. 12