(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 696 29 743 T2** 2004.07.01

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 733 919 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **696 29 743.4**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **96 301 856.9**
(96) Europäischer Anmeldetag: **19.03.1996**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **25.09.1996**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **03.09.2003**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **01.07.2004**

(51) Int Cl.[7]: **G02B 5/28**

(30) Unionspriorität:
406566 **20.03.1995** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
3M Innovative Properties Co., St. Paul, Minn., US

(74) Vertreter:
Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker, 70188 Stuttgart

(72) Erfinder:
Shaw, David G., Tucson, Arizona 85718, US; Dawson, Eric, Tucson, Arizona 85741, US; Cline, Daniel, Tucson, Arizona 85745, US; Langlois, Marc, Tucson, Arizona 85718, US

(54) Bezeichnung: **Mehrfarbige Interferenzbeschichtung**

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

[0001] Die Erfindung betrifft die Bildung einer Mehrfarben-Interferenzbeschichtung für ein durchsichtiges oder undurchsichtiges Substrat. Das Beschichtungsmaterial ist ein Acrylatpolymer und verschiedene Farben werden erhalten, indem verschiedene Dicken einer durchsichtigen Beschichtung in angrenzenden Bereichen vorliegen.

[0002] In den letzten Jahren ist ein Interesse am Schutz von Währungen und anderen Dokumenten vor Fälschung durch die Verwendung von Interferenzfiltern entstanden. Die Farbvariationen, die von Interferenzfiltern erhalten werden können, können durch Kopierer nicht vervielfältigt werden. Die spezielle Ausrüstung, die zur Herstellung von Interferenzfiltern notwendig ist, ist Fälschern nicht leicht zugänglich. So ist vorgeschlagen worden, kanadische Währung mit mehrfarbigen Interferenzfiltermustern zu markieren, um ein Fälschen zu unterbinden. Siehe zum Beispiel "Optical Interference Coatings for Inhibiting Counterfeiting" by J. A. Dobrowolski, et al., Optica Acta, 1973, 20, Nr. 12, Seiten 925–937 und US-Patent Nr. 5,009,486 von Dobrowolski, et al..

[0003] Interferenzfilter sind seit Jahrzehnten bekannt, wie zum Beispiel aus dem US-Patent Nr. 2,590,906 von Tripp ersichtlich ist. Ein typischer Interferenzfilter wiest einen stark reflektierenden Metallfilm auf einem weichen Substrat auf. Der reflektierende Film ist von einer dünnen Lage aus durchsichtigem dielektrischen Material überlagert. Der Filter wird von einer halbreflektierenden Metallschicht über dem Dielektrikum vervollständigt. Eine durchsichtige Schutzbeschichtung kann über der reflektierenden Schicht aufgetragen werden, formt jedoch keinen Teil des Interferenzfilters selbst.

[0004] Wenn ein einfallender Lichtstrahl auf die vorderseitige, halbreflektierende Beschichtung des Interferenzfilters trifft, wird ein Teil des Lichts reflektiert und der andere Teil gelangt über die halbreflektierende Schicht in das Dielektrikum. Der durchgelassene Anteil des Strahls wird dann von der rückseitigen, reflektierenden Schicht reflektiert und durch das Dielektrikum zurückgeleitet. Ein Teil der reflektierten Welle gelangt durch die halbreflektierende, vorderseitige Schicht, wo er sich mit dem reflektierten Licht konstruktiv oder destruktiv überlagern kann.

[0005] Die Dicke des dielektrischen Materials ist für konstruktive Interferenz ein kleines Vielfaches einer Viertellichtwellenlänge (unter Berücksichtigung des Brechungsindex des dielektrischen Materials). Somit sind bei dem Licht, wenn es von dem Interferenzfilter reflektiert wird, die reflektierten und transmittierten Strahlen für konstruktive Interferenz in Phase. Licht anderer Farben weist wenigstens teilweise destruktive Interferenz auf. Wenn also ein reflektierender Interferenzfilter in weißem Licht beobachtet wird, reflektiert er eine sehr charakteristische Farbe.

[0006] Der Interferenzfilter hat die gewünschte Fähigkeit als eine Maßnahme gegen Fälschung zu dienen. Die von dem Filter reflektierte Farbe hängt von der Weglänge des Lichts ab, welches durch das dielektrische Material geht. Wenn der Filter mit Licht bei normalem Einfall beobachtet wird, wird eine bestimmte Farbe, zum Beispiel Blau, gesehen. Wenn der Einfalls- und Reflexionswinkel des Interferenzfilters spitzer ist, ist die gesamte Weglänge durch das dielektrische Material länger als für normalen Einfall. Wenn also der Interferenzfilter bei einem dem Glanzwinkel näheren Winkel betrachtet wird, wird eine Farbe längerer Wellenlänge beobachtet, zum Beispiel Lila. Eine solche charakteristische Farbänderung, welche von dem Betrachtungswinkei des Interferenzfilters abhängt, kann durch Kopierer nicht vervielfältigt werden.

[0007] Eine ähnliche Wirkung zur Übertragung von Licht kann erhalten werden, wenn der Interferenzfilter ein dünnes Dielektrikum aufweist, das zwischen zwei teilweise reflektierenden Schichten sandwichartig angeordnet ist. Ein Typ Interferenzfilter wird wegen seiner charakteristischen Dicke von ¼ Wellenlänge manchmal als Viertelwellen-Platte bezeichnet.

[0008] US-Patent Nr. 3,711,176 zeigt einen stark reflektierenden, farbigen Plastikfilm, welcher aus durchsichtigem Plastik ohne Pigment oder anorganischem Material hergestellt wird. Der Film ist aus einer Anzahl von Schichten aus verschiedenem thermoplastischen Material, welches sich im Brechungsindex unterscheidet, geformt.

[0009] Um es Fälschern noch schwieriger zu machen, ist vorgeschlagen worden, Interferenzfilterschichten mit einer verschiedenen Dicke in verschiedenen Bereichen zu verwenden. Da Farbe des Lichts, welches von einem Interferenzfilter reflektiert wird, eine Funktion der Dicke des dielektrischen Materials ist, kann man hierdurch eine Mehrfarbenwirkung erzielen, indem man verschiedene Bereiche des Filters mit verschiedener Dicke hat.

[0010] Das Dobrowolski-Konzept liegt darin, einen Interferenzfilter unter Verwendung eines anorganischen optischen Beschichtungsmaterials, wie jene, die im US-Patent Nr. 5,009,486 aufgezählt sind, herzustellen. Eine Schicht aus einem solchen Material wird mit einer bestimmten Dicke hergestellt. Eine Maske wird überlagert und eine zweite Schicht dieses Materials wird über einen Abschnitt der ersten Schicht geschichtet. Zusammen definieren diese beiden Schichten Bereiche einer verschiedenen Dicke und somit verschiedener Interferenzfarben.

[0011] Eine solche Technik ist teuer. Die metallischen und dielektrischen Schichten werden typisch auf ein Dünnfilm-Polyestersubstrat mittels einer Sputter-Technik bei einer Durchlaufgeschwindigkeit von ca. 3 bis 10

Meter pro Minute des Films an den Abscheidestationen aufgebracht. Eine viel schnellere Abscheidung ist wünschenswert. Ferner müssen zwei getrennte Abscheideschritte mit einem zwischenliegenden Maskieren der Oberfläche durchgeführt werden, um die beiden Dielektrikumschichten bereitzustellen, die gemeinsam einen Farbunterschied ergeben.

[0012] Es wäre wünschenswert, die Geschwindigkeit der Herstellung eines Interferenzfilters um wenigstens eine Größenordnung, verglichen mit den zuvor eingesetzten anorganische dielektrischen Materialien, zu erhöhen. Es ist auch stark wünschenswert, verschiedene Dicken des dielektrischen Materials in dem Interferenzfilter in einem einzigen Abscheideschritt zum Bilden einer monolithischen Schicht verschiedener Dicke bereitzustellen. Es ist auch wünschenswert, das Interferenzfiltermaterial in vorbestimmten Mustern verschiedener Farbe abzuscheiden.

[0013] Gemäß der vorliegenden Erfindung werden Verfahren zum Formen einer Interferenzfarbbeschichtung auf einem Substrat, wie in den Ansprüchen 1 und 7 definiert, und ein Interferenzfarbfilter, wie in Anspruch 20 definiert, gezeigt.

[0014] Eine Anzahl verschiedener Techniken kann zum Formen eines vorbestimmten Bereichs des Films mit einer von den angrenzenden Bereichen verschiedenen Dicke verwendet werden. Zum Beispiel kontrolliert eine Steuerung der Temperatur des Substrats, welche in verschiedenen Flächen verschieden ist, die Effizienz der Abscheidung und somit die Dicke des abgeschiedenen Films. Der Film schrumpft, wenn er polymerisiert ist, und man kann den Grad der Polymerisierung in verschiedenen Bereichen variieren, um eine verschiedene Schrumpfung und somit Dicke zu erhalten. Eine Polymerisierung des Films kann durch einen Elektronenstrahl oder ultraviolette Strahlung induziert werden, und der Grad der Polymerisierung wird von der Gesamtexposition solcher Strahlung gesteuert. Beispielsweise ist ein einfaches Abscheiden des Films mit verschiedenen Dicken in angrenzenden Flächen nützlich, um mehrfarbige Streifen zu formen.

[0015] Diese und andere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus deren besseren Verständnis, wobei Bezug auf die folgende genaue Beschreibung genommen wird, welche in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen betrachtet wird, welche zeigen:

[0016] **Fig.** 1 zeigt eine fragmentarischen, schematischen Querschnitt eines reflektierenden Mehrfarben-Interferenzfilters, welcher gemäß den Prinzipien dieser Erfindung aufgebaut ist;

[0017] **Fig.** 2 ist ein Querschnitt eines Mehrfarben-Interferenzfilters mit Klebstoff zum Übertragen auf ein anderes Substrat;

[0018] **Fig.** 3 ist ein Querschnitt eines Transmissions-Mehrfarben-Interferenzfilters;

[0019] **Fig.** 4 ist eine schematische Veranschaulichung der Beschichtungsvorrichtung zum Formen eines Mehrfarben-Interferenzfilters;

[0020] **Fig.** 5 ist eine schematische Veranschaulichung einer Verdampfungsdüse;

[0021] **Fig.** 6 ist eine Kurve, welche die Kondensationseffizienz als eine Funktion der Temperatur veranschaulicht;

[0022] **Fig.** 7 ist eine fragmentarische Ansicht der Vorderseite einer Trommel mit verschiedenen thermischen Eigenschaften;

[0023] **Fig.** 8 veranschaulicht ein Farbmuster, das von einer in **Fig.** 7 gezeigten Trommel erhalten wird;

[0024] **Fig.** 9 ist eine fragmentarische Ansicht der Vorderseite einer Trommel mit ausgesparten Flächen;

[0025] **Fig.** 10 ist eine schematische Veranschaulichung einer zusätzlichen Beschichtungsvorrichtung;

[0026] **Fig.** 11 veranschaulicht eine Maske für eine Elektronenkanone oder andere Strahlungsquelle zum Polymerisieren eines Acrylatfilms;

[0027] **Fig.** 12 veranschaulicht ein Fragment einer bewegbaren Maske für eine Strahlungsquelle;

[0028] **Fig.** 13 veranschaulicht eine weitere Spielart einer Verdampfungsdüse; und

[0029] **Fig.** 14 veranschaulicht eine weitere Ausführungsform eines Interferenzfilters, welcher gemäß den Prinzipien dieser Erfindung aufgebaut ist.

[0030] **Fig.** 1 veranschaulicht in einem fragmentarischen Querschnitt einen Dünnfilm-Reflexionsinterferenzfilter. Es ist klar, dass dies eine schematische Veranschaulichung ist, wo die Dicken der verschiedenen Schichten des Filters aus Gründen der Klarheit übertrieben sind.

[0031] Der reflektierende Interferenzfilter wird auf einem Lagesubstrat **10** mit einer weichen Oberfläche abgeschieden. Das Substrat ist typisch eine dünne Lage aus einem Material, wie Polyester, Folypropylen oder Kraftpapier. Dünne flexible Substrate sind für eine Hochgeschwindigkeitsbeschichtung, wo eine Rolle des Substratmaterials in eine Vakuumvorrichtung kontinuierlich beschichtet werden kann, wünschenswert. Mit eine eindeutigen Einbuße in der Beschichtungsgeschwindigkeit können dünne Filme auf starre Substrate geschichtet werden.

[0032] Das Substrat wird zuerst mit einer dünnen Metallschicht **11** beschichtet, welche größtenteils undurchsichtig und reflektierend ist. Ein leicht abzuscheidendes Metall, wie Aluminium, Chrom, Nickel, Nickel-Chrom-Legierung, rostfreier Stahl, Silber oder dergleichen, kann für die reflektierende Schicht verwendet werden. Im wesentlichen farblose Metalle sind gegenüber Metallen mit Eigenfarbe, wie Kupfer, bevorzugt. Typisch hat die undurchsichtige reflektierende Metallschicht eine Dicke im Bereich von 200 bis 2000 Angström.

[0033] Eine dünne Schicht **12** aus einem durchsichtigen, dielektrischen Material wird auf der reflektierenden Schicht abgeschieden. Die Dicke der dielektrischen Schicht und ihr Brechungsindex bestimmen die Weglänge von Licht durch den Filter, und somit die Farbe des reflektierten Lichts. Wie auf der linken Seite von **Fig.** 1 ersichtlich ist, wird eine vorbestimmte Fläche der dielektrischen Schicht mit einer Dicke t_1 geformt, welche von der Dicke t_2 einer angrenzenden Fläche, die in **Fig.** 1 rechts gezeigt ist, verschieden ist. Beide Dicken t_1 und t_2 liegen in einem Bereich von ca. 800 bis 4000 Å. Solche Dicken liegen in einem Bereich zum Erzeugen einer Interferenzfarbe durch den Filter. Das bevorzugte dielektrische Material ist ein monolithisches Acrylatpolymer, wie im weiteren beschrieben ist.

[0034] Die nächste Schicht in dem Interferenzfilter ist eine Schicht **13** aus einem Metall, welche dünn genug ist, dass sie halbdurchlässig ist. Wieder kann die Metallschicht jedes Metall sein, das in herkömmlicher Weise als ein dünner Film abgeschieden wird, wie zum Beispiel Aluminium, Chrom, Nickel, Nickel-Chrom-Legierung, rostfreier Stahl oder Silber. Chrom ist ein besonders bevorzugtes Material, da es mit einem kontrollierten Reflexionsvermögen gut abgeschieden werden kann und beständig gegenüber Korrosion ist. Die halbdurchlässige (oder halbreflektierende) Schicht ist wenigstens zu 25% durchlässig und ist vorzugsweise zu ca. 50% durchlässig und zu 50% reflektierend. Die typische Dicke der Schicht beträgt ca. 50 bis 200 Å.

[0035] Die beiden Metallschichten können durch jede herkömmliche Abscheidetechnik, wie Vakuummetallisierung oder Sputtern, abgeschieden werden. Allgemein gesprochen ist es wünschenswert das Substrat für darauffolgende Beschichtungen zunächst durch Abscheiden der reflektierenden Metallschicht vorzubereiten. Ein mit Aluminium oder anderen Metallen vorbeschichteter Polyesterfilm ist im Handel erhältlich und bildet ein geeignetes Substrat.

[0036] Nach dem Bilden des Interferenzfilters mit den beiden reflektierenden Metallschichten, die durch ein durchsichtiges Dielektrikum beabstandet sind, können die dünnen Filme durch ein abgeschiedenes Superstrat **14** geschützt werden. Das Superstrat ist ein Material, welches eine Abriebbeständigkeit schafft und eine Oberfläche haben kann, welche zur Aufnahme von Tinten zum Drucken über den Filter geeignet ist. Es kann entweder ein organisches oder anorganisches Material sein, dass durch eine herkömmliche Walzenbeschichtung oder Dampfabscreidung abgeschieden wird. Ein bevorzugtes Material ist ein Acryl mit einer Dicke von 2 Mikrometer oder mehr.

[0037] Der Acrylatfilter, weicher das dielektrische Material **12** des Filters bildet, wird vorzugsweise in Form von verdampftem Acrylatmonomer abgeschieden. Der Monomerfilm wird mit ultraviolettem Licht oder einem Elektronenstrahl bestrahlt, um eine Polymerisierung des Acrylats zum Bilden eines monolithischen Films zu bewirken. Eine Polymerisierung durch Bestrahlung ist eine gängige Übung und der erforderlichen Elektronenfluss oder die verwendete Wellenlänge und Gesamtfluss des ultravioletten Lichts sind in herkömmlicher Weise bekannt.

[0038] Eine Verdampfung des Monomers erfolgt vorzugsweise durch Entspannungsverdampfungsvorrichtungen, wie sie in den US-Patenten Nr. 4,722,515, 4,696,719, 4,842,893, 4,954,371 und 5,097,800 beschrieben sind. Diese Patente beschreiben auch eine Polymerisierung von Acrylat durch Bestrahlung. In solchen Entspannungsverdampfungsvorrichtungen wird flüssiges Acrylatmonomer in eine Heizkammer in Form von 1 bis 50 Mikrometer Tröpfchen eingespritzt. Die erhöhte Temperatur des Kammer verdampft die Tröpfchen um einen Monomerdampf zu erzeugen. Der Monomerdampf füllt eine im allgemeinen zylindrische Kammer mit einem Längsschlitz, durch welchen der Monomerdampf strömt. Eine typische Kammer hinter der Düse ist ein Zylinder von ca. 10 Zentimeter Durchmesser, mit einer Länge, welche der Breite des Substrats, auf welchem das Monomer kondensiert, entspricht. Die Wände der Kammer können auf einer Temperatur in der Größenordnung von 200 bis 320°C gehalten werden.

[0039] Zwei Typen von Verdampfern sind geeignet. In einem davon, ist sind die Öffnung zum Injizieren von Tröpfchen und der Entspannungsverdampfer mit einem Ende des Düsenzylinders verbunden. In dem anderen Typ sind der Injektor und der Entspannungsverdampferabschnitt in der Mitte der Düsenkammer wie ein T befestigt.

[0040] Eine Gruppe von Acrylatharzen, die zur Herstellung der dielektrischen Schicht verwendet werden, sind Monomere mit einem Molekulargewicht in dem Bereich von 150 bis 600. Vorzugsweise haben die Monomere ein Molekulargewicht in dem Bereich von 200 bis 300. Wenn das Molekulargewicht zu niedrig ist, ist das Monomer zu flüchtig und kondensiert nicht gut zum Bilden eines Monomerfilms. Ein Monomer, welches nicht auf dem gewünschten Substrat kondensiert, verstopft Vakuumpumpen und behindert die Funktion einer Elektronenkanone, welche zum Polymerisieren des Harzes verwendet wird. Wenn das Molekulargewicht zu groß ist, verdampft das Monomer nicht gut in dem Entspannungsverdampfer bei Temperaturen die gut unterhalb der Zersetzungstemperatur des Monomers sind.

[0041] Wenn das Monomer polymerisiert ist, kann ein Schrumpfen des Films auftreten. Ein übermäßiges Schrumpfen kann eine schlechte Adhäsion des Films auf dem Substrat verursachen. Wie im weiteren erklärt wird, ist eine gewisse Schrumpfung in bestimmten Ausführungsformen dieser Erfindung wünschenswert. Die Adhäsion des Films an das Substrat ist auch von der Dicke des Films abhängig. Ein dünner Film kann eine größere Schrumpfung ohne Verlust der Adhäsion aushalten als ein dickerer Film. Eine Schrumpfung bis zu ca.

15 bis 20% kann in den dünnen Filmen toleriert werden, die in der dielektrischen Schicht des Interferenzfilters verwendet werden.

[0042] Um eine geringe Schrumpfung zu erhalten, sollte eine relativ geringe Vernetzungsdichte vorliegen. Hochdicht vernetzte Monomere, wie Hexandioldiacrylat (HDDA) und Trimethylolpropandiacrylat (TMPTA) haben eine schlechte Adhäsion an Metall. Ein Weg zum Definieren der Vernetzungsdichte und der Schrumpfung liegt darin, die Größe des Moleküls und die Zahl der Acrylatgruppen pro Molekül zu betrachten.

[0043] Vorzugsweise hat das Acrylatmonomer ein mittleres Molekulargewicht zu Acrylatgruppenverhältnis im Bereich von 150 bis 400. Mit anderen Worten, wenn das Acrylat ein Monoacrylat ist, liegt das Molekulargewicht in dem Bereich von 150 bis 400. (Derzeit ist bevorzugt, dass das Molekulargewicht eines Monoacrylats aus anderen Gründen größer als 200 ist.) Andererseits, wenn ein Diacrylat verwendet wird, kann das Molekulargewicht in dem Bereich von 300 bis 800 liegen. Wie im weiteren beschrieben ist, können Mischungen von Acrylaten mit verschiedener Funktionalität und Molekulargewichten auch verwendet werden. In diesem Fall sollte das mittlere Molekulargewicht zu Acrylatgruppenverhältnis in dem Bereich von 150 bis 400 liegen. Dieser Wertebereich liefert eine ausreichend geringe Schrumpfung der Acrylatschicht nach dem Härten, so dass eine gute Adhäsion erzielt wird. Wenn das Molekulargewicht zu Acrylatgruppenverhältnis zu hoch ist, kann eine übermäßige Schrumpfung und eine schlechte Adhäsion an eine Metallschicht vorliegen.

[0044] Einige Beispiele des Verhältnisses sind wie folgt:

Trimethylolpropandiacrylat	98
Hexandioldiacrylat	113
Betacarboxyethylacrylat	144
Tripropylenglycoldiacrylat	150
Polyethylenglycoldiacrylat	151
Tripropylenglycolmethylethermonoacrylat	260

[0045] Eine 50/50-Mischung von Tripropylenglycoldiacrylat und Tripropylenglycolmethylethermonoacrylat hat ein mittleres Verhältnis von 205. Höher molekulargewichtige Materialien können mit Betacarboxyethylacrylat (BCEA) gemischt werden, um ein Material mit einem geeigneten mittleren Molekulargewicht zu erhalten.

[0046] Geeignete Molekulargewichte haben nicht nur ein Molekulargewicht in dem geeigneten Bereich, sie haben auch eine "Chemie", welche eine Adhäsion nicht behindert. Im allgemeinen Zeigen polarem Acrylate eine bessere Adhäsion als weniger polare Monomere. Lange Kohlenwasserstoffketten können eine Adhäsion behindern. Zum Beispiel hat Laurylacrylat eine lange Kette, von welcher angenommen wird, dass sie von dem Substrat weggerichtet ist und eine Polymerisation behindert, und zu einer relativ schlechten Adhäsion auf den meisten Substraten führt.

[0047] Ein typisches Monomer, das für eine Entspannungsverdampfung verwendet wird, umfasst eine nennenswerte Menge an Diacrylat und/oder Triacrylat, um die Polymerisation zu fördern. Mischungen aus Acrylaten können verwendet werden, um eine gewünschte Charakteristik der Verdampfung und Kondensation und Adhäsion für eine kontrollierte Schrumpfung des abgeschiedenen Films während der Polymerisierung, zu erhalten.

[0048] Geeignete Polymere sind jene, die in einer Vakuumkammer bei einer Temperatur unterhalb der Wärmezersetzungstemperatur des Monomers und unterhalb einer Temperatur, bei welcher eine Polymerisation erfolgt, in weniger als ein paar Sekunden bei der Verdampfungstemperatur entspannungsverdampft werden können. Die mittlere Zeit des Monomers in der Entspannungsverdampfungsvorrichtung beträgt typisch weniger als eine Sekunde. Eine Wärmezersetzung oder Polymerisation sind zu vermeiden, um ein Verstopfen der Verdampfungsvorrichtung zu vermeiden. Die gewählten Monomere sollten auch zur Vernetzung gut geeignet sein, wenn sie einer ultravioletten Bestrahlung oder einem Elektronenstrahl ausgesetzt werden.

[0049] Die Monomerzusammensetzung kann eine Mischung aus Menoacrylaten und Diacrylaten umfassen. Triacrylate neigen dazu, reaktiv zu sein, und können bei den Verdampfungstemperaturen polymerisieren, können jedoch in Mischungen nützlich sein. Abhängig von den Techniken, die zum Herstellen eines mehrfarbigen Interferenzfilters verwendet werden, kann ein Film mit hoher oder geringer Schrumpfung wünschenswert sein. Allgemein. gesprochen verringert sich die Schrumpfung mit Materialien eines höheren Molekulargewichts. Mischungen aus Monomeren mit verschiedenen Schrumpfeigenschaften können zum Erhalten einer gewünschten Schrumpfung verwendet werden. Allgemein ist für eine gute Adhäsion an einen Metallfilm eine geringe Schrumpfung wünschenswert.

[0050] Vorzugsweise liegt das Molekulargewicht des Acrylatmonomers in dem Bereich von 200 bis 300. Wenn das Molekulargewicht weniger als ca. 200 ist, verdampft das Monomer gut, kann jedoch ohne ein Abschrecken des Substrats nicht in nennenswerter Menge auf dem Substrat kondensieren. Wenn das Molekulargewicht mehr als ca. 300 ist, sind die Monomere zunehmend schwieriger zu verdampfen und höhere Verdampfungstemperaturen sind erforderlich.

[0051] Es gibt ca. fünf Monoacrylate, zehn Diacrylate, zehn bis fünfzehn Triacrylate und zwei oder drei Tetra-

acrylate, die in der Zusammensetzung enthalten sein können. Ein besonders gutes Acrylat ist eine 50 : 50 Mischung von TRPGDA und Tripropylenglyconmethylethermonoacrylat mit einem Molekulargewicht von ca. 260 (erhältlich als Henkel 8061).

[0052] Beispielhafte Acrylate, die verwendet werden können, manchmal in Kombination, umfassen Monoacrylate 2-Phenoxyethylacrylat (Molekulargewicht 192), Isobornylacrylat (Molekulargewicht 208) und Laurylacrylat (Molekulargewicht 240), Diacrylate Dicetylenglykoldiacrylat (Molekulargewicht 214), Neopentylglycoldiacrylat (Molekulargewicht 212) und Polyethylenglyceldiacrylat (PEGDA) (Molekulargewicht 151) oder Tetraethylenglycoldiacrylat (Molekulargewicht 302), Triacrylate Trimethylolpropantriacrylat (Molekulargewicht 296) und Pentaerythritoltriacrylat (Melekulargewicht 298), Monomethacrylate Isobornylmetracrylat (Molekulargewicht 222) und 2-Fhenoxyethylacrylat (Molekulargewicht 206) und Dimethacrylate Triethylenglycoldimethacrylat (Molekulargewicht **286**) und 1,6-Hexanedioldimethacrylat (Molekulargewicht 254).

[0053] Wie erwähnt worden ist, umfasst die Düse für den Entspannungsverdampfer typisch einen Schlitz, welcher längs der Verdampfungskammer verläuft. In einem beispielhaften Verdampfer kann der Düsenschlitz eine Breite im Bereich von 0,75 bis 1 mm haben. Die Oberfläche eines Substrats, auf welchem das Monomer kondensiert wird, kann mit einem Abstand von der Düse von ca. 2 bis 4 mm an der Düse vorbei bewegt werden. Eine typische Durchlaufgeschwindigkeit an der Düse liegt in der Größenordnung von 150 bis 300 Metern pro Minute.

[0054] **Fig.** 2 ist ein fragmentarischer Querschnitt einer weiteren Ausführungsform eines Interferenzfilters, welcher gemäß dieser Erfindung hergestellt ist. In dieser Ausführungsform gibt es ein temporäres Substrat **16**, wie ein Polyesterfilm, auf welchem eine dünne Abzugsschicht **17**, wie ein Wachs oder Silikon, vorliegt. Ein Superstratmaterial **18** wird auf dem temporären Substrat über der Abzugsschicht durch eine Technik, wie Entspannungsverdampfung eines Acrylatmonomers, abgeschieden. Das Acrylatmonomer wird durch Bestrahlen polymerisiert.

[0055] Eine halbreflektierende Metallschicht **19** wird dann auf dem Superstrat abgeschieden. Anschließend wird eine durchsichtige, dielektrische Schicht **21** aus polymerisiertem Acrylat, wie oben beschrieben, gebildet. Vorzugsweise hat eine vorbestimmte Fläche der dielektrischen Schicht eine erste Dicke t_1, während eine angrenzende Fläche eine verschiedene Dicke t_2 hat. Eine undurchsichtige reflektierende Metallschicht **22** wird über dem Dielektrikum abgeschieden. Die reflektierende Metallschicht **22**, dielektrische Schicht **21** und halbreflektierende Metallschicht **19** formen einen Interferenzfilter. Ein permanentes Substratmaterial **23** wird auf der undurchsichtigen Metallschicht abgeschieden. Schließlich wird eine Schicht **24** aus druckempfindlichem Klebstoff über dem permanenten Substrat platziert.

[0056] Diese Ausführung des Interferenzfilters ist zum Übertragen auf ein Substrat, das herkömmlich nicht in einem Vakuumsystem gehandhabt wird, oder zur Anwendung auf kleine Flächen eines größeren Substrats, wie beispielsweise Markieren von begrenzten Flächen auf einer Währung, geeignet. Wenn dieser Interferenzfilter verwendet wird, wird der druckempfindliche Klebstoff auf das gewünschte Substrat aufgebracht und das temporäre Substrat **16** wird abgezogen. Dies lässt das Superstrat **18** exponiert und der Interferenzfilter ist dann im wesentlichen wie jener, der in **Fig.** 1 beschrieben und gezeigt ist.

[0057] Ein Teil der soeben beschriebenen Schichten kann ohne den druckempfindlichen Klebstoff verwendet werden, um ein Pigment zu formen. In einer solchen Ausführungsform wird eine dünne Schutzschicht aus Acrylat, ähnlich dem Superstratmaterial, über einer Abziehschicht abgeschieden und polymerisiert. Eine Metallschicht wird dann auf der Schutzschicht abgeschieden und eine durchsichtige Schicht aus polymerisiertem Acrylat wird, wie oben beschrieben, geformt. Eine zweite Metallschicht wird über dem Acrylat abgeschieden und eine Endschutzschicht aus Acrylat wird über dem Metall hinzugefügt. Wenigstens eine der Metallschichten ist halbreflektierend und beide können halbreflektierend sein. Das Sandwich aus Acrylat, Metall, Acrylat, Metall und Acrylat formt einen geschützten Interferenzfilter. Dieses Sandwich kann von der Abziehschicht entfernt und aufgebrochen worden, um farbbige Pigmentflocken zu bilden.

[0058] **Fig.** 3 veranschaulicht eine weitere Ausführungsform des Interferenzfilters, die von jeder Seite betrachtet werden kann. Ein Substrat **26**, wie ein Polyesterfilm, ist mit einer Schicht **27** aus Metall beschichtet, die dünn genug ist, so dass die Schicht halbreflektierend ist. Eine dielektrische Schicht **28** mit einer Dicke t_1 in angrenzenden Bereichen ist auf dem halbreflektierenden Metall gebildet. Eine zweite halbreflektierende Metallschicht **29** ist über der dielektrischen Schicht abgeschieden und durch ein darüber liegendes Superstrat **31** aus polymerisiertem Acrylat geschützt. Die beiden halbreflektierenden Schichten **27** und **29** reflektieren vorzugsweise ca. 50% und transmittieren ca. 50% des darauf einfallenden Lichts. Die halbreflektierenden Schichten und die zwischenliegende, dielektrische Schicht bilden ein Interferenzfilter, welches eine Mehrfarbenerscheinung auf beiden Seiten der Lage bereitstellt.

[0059] Ein flexibles Substratmaterial ist für jede dieser Ausführungsformen eines Mehrfarben-Interferenzfilters bevorzugt, da ein Lage eines solchen Materials mit den oben beschriebenen mehreren Schichten schnell beschichtet werden kann. Eine geeignete Vorrichtung zum Beschichten des Substrats ist schematisch in **Fig.** 4 gezeigt. Die gesamte Beschichtungsausrüstung ist in einer herkömmlichen Vakuumkammer **36** angeordnet. Eine Rolle aus einer Polyesterlage, die auf einer Seite mit einer reflektierenden Schicht aus Aluminium be-

schichtet ist, ist auf einer Abwickelhaspel **38** montiert. Die Lage **39** ist um eine drehbare Trommel **38** gewickelt und wird einer Aufwickelhaspel **41** zugeführt. Mitlaufrollen **42** werden in geeigneter Weise verwendet, um die Materiallage von der Abwickelhaspel zur Trommel und zur Aufwickelhaspel zu führen.

[0060] Ein Entspannungsverdampfer **41**, wie oben beschrieben, ist in der Nähe der Trommel an einer ersten Beschichtungsstation montiert. Der Entspannungsverdampfer scheidet eine Schicht oder Film aus Acrylatmonomer auf der Substratlage ab, wenn sie um die Trommel wandert. Nachdem sie mit dem Acrylatmonomer beschichtet ist, passiert die Substratlage eine Bestrahlungsstation, wo das Acrylat von einer Quelle **44**, wie eine Elektronenkanone oder Quelle einer ultravioletten Strahlung, bestrahlt wird. Eine bewegbare Maske **46** kann auf Rollen zur Bewegung durch eine Lücke zwischen der Bestrahlungsquelle und der Trommel in Synchronizität mit der Drehung der Trommel positioniert werden. Die Bestrahlung induziert eine Polymerisation des Acrylatmonomers.

[0061] Die Lage passiert dann eine Metallisierungsstation **47**, wo eine halbreflektierende Beschichtung aus Metall durch Vakuummetallisieren oder Sputtern aufgebracht wird. Dies vervollständigt den Interferenzfilter. Die Lage passiert dann einen weiteren Entspannungsverdampfer **48**, wo eine weitere Schicht aus Acrylatmonomer zum Bilden eines Superstrats abgeschieden wird. Diese Schicht aus Monomer wird durch Bestrahlung mit einer ultravioletten Licht- oder Elektronenstrahlquelle **49**, welche der Trommel benachbart ist, gehärtet.

[0062] Es gibt eine Vielzahl von Techniken zum Erzeugen verschiedener Dicken einer dielektrischen Schicht in verschiedenen Bereichen des Interferenzfilters. Grob gibt es zwei Kategorien von Techniken. Eine ist verschiedene Mengen von Monomer in verschiedenen Bereichen der dielektrischen Schicht zu kondensieren, um direkt verschiedene Dicken zu erzeugen.

[0063] Mehrere Techniken sind hierfür geeignet. Alternativ kann man eine einheitliche Picke von Monomer in allen Bereichen abscheiden und dann die Filmdicke in einem verschiedenen Ausmaß in verschiedenen Bereichen schrumpfen. Wie oben erwähnt wurde, schrumpft das Acrylatmonomer nach Polymerisierung. Durch Kontrollieren des rolymerisationsgrads des Films, kann die Dicke der dielektrischen Schicht kontrolliert werden. Wieder gibt es verschiedene Techniken um dies zu erreichen.

[0064] **Fig.** 5 zeigt schematisch eine Anordnung zum Abscheiden verschiedener Dicken von Acrylatmonomer auf verschiedenen Abschnitten eines Substrats. In dieser Ausführung gibt es einen länglichen Schlitz **51**, der eine Düse entlang der Länge einer Entspannungsverdampfungskammer **52** formt. Anstelle einer einheitlichen Breite entlange der Länge der Düse, gibt es unterschiedlich enge Bereiche **53** und Bereiche eines weiten Schlitzes **54**. Wie offensichtlich ist, verdampft mehr Acrylat durch die weiten Abschnitte **54** der Düse, als durch die engeren Abschnitte. Als ein Folge werden, wenn sich das Substrat an der Düse vorbei bewegt (senkrecht zur Länge der Düse), abwechselnd dicke und dünne Streifen aus Acrylatmonomer abgeschieden. Wegen der Unterschiede in der Dicke in der sich ergebenden dielektrischen Schicht, werden abwechselnde Streifen einer Farbe, wie Blassgrün und Rosa, erhalten.

[0065] Eine solche Düse mit abwechselnd weiten und engen Bereichen, kann stationär gehalten werden, wenn sich die Lage bewegt, um parallele Streifen herzustellen. Alternativ kann eine solche Düse in Längsrichtung bewegt werden, wenn sich die Lage an ihr vorbei bewegt und eine Zick-Zack-Muster von Farben von dem Interferenzfilter erzeugen.

[0066] Eine im wesentlichen analoge Technik kann verwendet werden, um verschiedene Dicken in verschiedenen Bereichen des Interferenzfilters zu erhalten. Die Ähnlichkeit kann durch Bezugnahme auf **Fig.** 11 gesehen werden, welche eine Bestrahlungsquelle **56**, wie eine ultraviolette Lampe oder eine Elektronenstrahlkanone, zeigt. Eine Maske **57** wird zwischen der Bestrahlungsquelle und dem Substrat mit dem zu polymerisierenden Monomerfilm (nicht gezeigt in **Fig.** 11) angeordnet. Ein Schlitz **58** mit abwechselnd weiten und engen Bereichen in der Maske erlaubt einen Durchtritt von größeren oder kleineren Strahlungsmengen. Wo der größere Gesamtstrahlungsfluss auf das Monomer trifft, liegt ein größerer Polymerisationsgrad vor, als in angrenzenden Breichen, wo der Gesamtstrahlungsfluss geringer ist. Wegen der inherenten Schrumpfung des Monomers nach der Polymerisierung, sind die Gebiete mit einer größeren Gesamtenergie der Strahlung dünner als die Gebiete mit weniger Gesamtstrahlung (und Polymerisierung). Parallele Streifen verschiedener Farben werden hierdurch von dem Interferenzfilter erhalten.

[0067] Es sollte klar sein, dass durch Kombinieren einer Düse mit verschiedenen Schlitzweiten und einer Strahlungsquelle mit verschiedenen Maskenweiten in geeigneten Ausrichtungen drei oder vier verschiedene Streifenfarben von einem Interferenzfilter erhalten werden können. Ferner können die Schlitze in Masken zum Abscheiden oder Polymerisierung drei oder mehr Weiten, anstelle von nur zwei, für eine zusätzliche Farbvariation haben.

[0068] Einfach nur farbige Streifen von einem Mehrfarben-Interferenzfilter zu haben, kann für einige Zwecke als nicht ausreichend angesehen werden. Die bewegbare Riemenmaske **46**, welche in **Fig.** 4 und wieder in **Fig.** 12 gezeigt ist, kann zum Erzeugen einer großen Vielfalt von Mehrfarbenmustern verwendet werden. In der schematischen Darstellung von **Fig.** 12 hat eine solche bewegbare Maske Löcher **61** in Form von Sternen und Fenster **62** in Form von Rechtecken. Nur als Beispiel können die sternförmigen Löcher halbdurchlässige Bereiche in einem andererseits undurchsichtigen Riemen sein. Die rechtwinkligen Fenster können vollständig

durchsichtig sein.

[0069] Eine solche Maske wird in Synchronizität mit einer Drehung der Trommel und der Beschichtungsvorrichtung bewegt. Utraviolettes Licht **41** hinter der Maske ergibt eine volle Bestrahlung durch die rechtwinkligen Bereiche und eine teilweise Bestrahlung durch die sternförmigen Bereiche. Wenn eine solche Maske verwendet wird, ist es wünschenswert eine zusätzliche Bestrahlungsquelle (nicht gezeigt) in Reihe mit der ultravioletten Lampe zu verwenden, so dass alle Monomere wenigstens einen minimalen Strahlungspegel empfangen.

[0070] Es ist klar, dass in einer solchen Ausführung die dielektrische Schicht drei verschiedene Dicken haben wird. Das meiste der Fläche, welche durch eine weitere Strahlungsquelle bestrahlt wird, hat einen begrenzten Polymerisationsgrad und ist somit relativ dicker. Die volle Bestrahlung durch die offenen Fenster **62** erzeugt rechtwinklige Bereiche auf dem dielektrischen Filter, die vollständig polymerisiert sind und somit auf die minimale Dicke schrumpfen. Der zwischenliegende Pegel der Bestrahlung durch die sternförmigen Öffnungen **61** erzeugt eine zwischenliegende Polymerisierung und zwischenliegende Dicke. Der sich ergebene Interferenzfilter hat drei verschiedene Farben.

[0071] Ein ähnlicher Maskentyp mit vollständig offenen Fenstern in einem ansonsten undurchlässigen Riemen, kann zwischen einem Entspannungsverdampfer und der drehenden Trommel bewegt werden. Die Bereiche, welche den sternförmigen und rechwinkligen Öffnungen gegenüberliegen, werden mit einer Monomerschicht beschichtet. Ein weiterer Entspannungsverdampfer, entweder stromaufwärts oder stromabwärts von dem einen, welcher durch die bewegbare Maske verdunkelt ist, scheidet eine einheitliche Monomerschicht auf dem Substrat ab. Die sich ergebenden verschiedenen Dicken von abgeschiedenem Monomer werden dann polymerisiert, um einen menolithischen Acrylatfilm mit verschiedenen Dicker in verschiedenen Gebieten und somit mit einem zweidimensionalen Mehrfarbenmuster zu erzeugen.

[0072] Ein weiterer Weg zum Variieren der Dicke von Acrylatmonomer auf dem Monomer ergibt sich durch Kontrollieren der Effizienz der Kondensation. Die Effizienz der Kondensation des Monomers ist in hohem Maße von der Temperatur des Substrats abhängig, auf welchem das Monomer auftrifft. Die Wirkung der Temperatur hängt von dem bestimmten Monomer ab. Eine beispielhafte Angabe der Effizienz als eine Funktion der Temperatur ist in dem Graph von **Fig.** 6 veranschaulicht. Bei niedrigen Temperaturen, wie nahe 0°C, liegt eine Effizienz von im wesentlichen 100% vor und das gesamte Monomer kondensiert. Bei einer etwas höheren Temperatur, wie zum Beispiel 25°C, wird, wenn überhaupt, wenig Monomer auf dem Substrat kondensiert. Es ist ersichtlich, dass in einigen Temperaturbereichen die Effizienz der Kondensation ziemlich empfindlich auf relativ kleine Temperaturänderungen ist.

[0073] Dieser Temperatureffekt auf die Effizienz der Kondensation wird ausgenutzt, um Filme mit Monomeren zu erzeugen, welche verschiedene Dicken in verschiedenen Gebieten des Interferenzfilters aufweisen. Ein Niedrigtemperatur-Substrat mit hoher Kondensationseffizienz erzeugt eine relativ dickere dielektrische Schicht, wohingegen ein Bereich mit einer etwas höheren Temperatur mit einer weniger effizienten Kondensation eine relativ dünnere dielektrische Schicht erzeugt. Eine Anzahl von Techniken kann verwendet werden, um die Temperatur des Substrats zu variieren.

[0074] Ein Weg liegt darin, eine bewegbare Maske zu verwenden, wie in **Fig.** 12 veranschaulicht ist, unmittelbar stromaufwärts des Entspannungsverdampfers, welcher das Acrylatmonomer aufbringt, welcher zu dem dielektrischen Film wird. Eine Infrarotlape hinter der Maske bestrahlt Bereiche auf dem Substrat, welche die Infrarotstrahlung absorbieren, und dadurch erhitzt werden. Die Bereiche mit höherer Temperatur haben eine weniger effiziente Kondensation und somit eine dünnere Monomerschicht als angrenzende kältere Bereiche.

[0075] Weil sich die Effizienz der Kondensation ziemlich rasch in der allgemeinen Umgebung der Raumtemperatur ändert, und da die Entspannungsverdampfung und Bestrahlung dazu neigen, die Temperatur des Substrats zu erhöhen, ist es wünschenswert, die Rolle des Substrats zu kühlen, bis sie auf der Abwickelhaspel in der Beschichtungsvorrichtung platziert wird. Es ist auch wünschenswert, die Drehtrommel zu kühlen, wie zum Beispiel mit Abschreckwasser, so dass das Substrat auf einer niedrigen Temperatur bleibt.

[0076] **Fig.** 7 zeigt ein Fragment der Oberfläche einer gekühlten Trommel **63**, welche ein dünnlagiges Substrat (nicht gezeigt) trägt, das durch eine Beschichtungsvorrichtung bewegt wird. Eine Anzahl von gewöhnlichen Papiersternen **64** wird auf die Oberfläche der Trommel geklebt. Das Substrat, welches während der Beschichtung um die Trommel gewickelt ist, ist in einem guten thermischen Kontakt mit der Trommel zwischen den Sternen. Wo die Papiersterne zwischen der Oberfläche der Trommel und dem Substrat liegen, ist die Temperatur des Substrats höher, da das Substrat von der Kühltrommel isoliert ist. Als eine Folge dieser thermischen Isolierung und verschiedener Wärmemuster, ergibt sich, den Sternen angrenzend, eine relativ dünnere Monomerschicht und eine relativ dickere Schicht anderswo auf dem Substrat. Dies führt zu einem Mehrfarben-Interferenzfilter.

[0077] **Fig.** 8 zeigt den Effekt, der in einem wirklichen Experiment erhalten wird, wo Papiersterne auf die Cberfläche einer wassergekühlten Trommel geklebt wurden. Im Bereich des Sterns erzeugt der Interferenzfilter eine Goldfarbe mit Flecken von Rot oder Purpur. Die Farbe hängt natürlich von dem Winkel ab, in dem der Interferenzfilter betrachtet wird. Die genannten Farben liegen bei einer Betrachtung mit ungefähr senkrechtem Einfall vor. Wenn er bei ca. 45° betrachtet wird, wird die Farbe des Sterns als eine blau-grüne Farbe gesehen.

Der Stern ist von einem Halo **66** umgeben, welches eine blau oder blaugrüne Farbe hat. Das Halo ist von einem Streifen **67** mit einer allgemeinen Goldfarbe mit einem rötlichen Farbton entlang der Mitte des Streifens umgeben. Der Rest des Bereichs des Interferenzfilters, welcher in einem besseren thermischen Kontakt mit der Trommel war, ist in der Farbe blau oder violett. Es wird angenommen, dass der Streifen mit einer Farbe, welche derjenigen des Sterns ähnelt, aufgrund einer Halbwellenlängen-Änderung in der Dicke der dielektrischen Schicht vorliegt.

[0078] **Fig.** 9 zeigt einen weiteren Weg zum Kontrollieren der Temperatur des lagigen Substrats. **Fig.** 9 zeigt ein Fragment der Oberfläche **68** einer wassergekühlten Trommel. Die Oberfläche ist mit einem Muster von flachen Aussparungen **69** bedeckt. Wenn die dünne Lage um die Trommel gewickelt ist, ist sie in einem guten thermischen Kontakt mit der Oberfläche **68**, ist jedoch, den Aussparungen gegenüberliegend, von der Trommeloberfläche beabstandet. Das Vakuum in der Beschichtungsvorrichtung ist ein ausgezeichneter Isolator und die Bereiche über den Aussparungen sind im wesentlichen ungekühlt, wohingegen die Bereiche in Kontakt mit der Oberfläche der Trommel gekühlt sind. Das sich ergebende Muster unterschiedlicher Temperatur führt zu einer verschiedenen Effizienz der Kondensation von Monomer auf dem Substrat, und somit zu verschiedenen Dicken der dielektrischen Schicht in dem Interferenzfilter.

[0079] Ein sehr einfaches Muster von diagonalen Quadraten ist für die Aussparungen gezeigt, jedoch ist klar, dass jedes gewünschte Aussparungsmuster auf der Cberfläche der Trommel erzeugt werden kann.

[0080] Eine solche Trommel ist auch in einer Ausführungsform nützlich, wo es eine verschiedene Polymerisierung und somit eine verschiedene Schrumpfung in einem Monomer gibt. Wenn das Monomer durch einen Elektronenstrahl polymerisiert wird, sind die Bereiche des Substrats, die in Kontakt mit der Oberfläche **68** der Trommel sind, gut geerdet. Die Bereiche, die den Aussparungen **69** gegenüberliegen, sind nicht so gut geerdet, und laden sich elektrostatisch auf, was dazu neigt, den Elektronenstrahl abzustoßen. Die sich ergebenden Unterschiede in der Gesamtbestrahlung des Elektronenstrahls auf dem Monomer führen zu Unterschieden in der Polymerisierung in der dielektrischen Schicht. Die sich ergebenden Schrumpfunterschiede führen zu mehrfarbigen Bildern.

[0081] Eine elektrische Erdung kann auch in einer verschiedenen Weise in einer Elektronenkanone verwendet werden, insbesondere zum Bilden von Farbstreifen entlang einer bewegten Lage. Der Elektronenstrahl in einer Kanone wird von einer Potenzialdifferenz zwischen der Elektronenquelle und einem Beschleunigungsschirm beschleunigt. Durch Ändern der Effektivität der Erdung auf dem Schirm, kann der Elektronenstrahl einen verschiedenen Gesamtfluss in verschiedenen Bereichen haben, und somit eine verschiedene Polymerisierung erzeugen.

[0082] Es ist auch klar, dass eine Elektronenkanone einen eng lenkbaren Strahl haben kann, der verwendet werden kann, um auf den Monomerfilm zu "beschreiben" um ein gewünschtes Bild in mehreren Farben zu erzeugen. Ein besonders gewünschter Weg dies zu tun, ist mit einer Elektronenkanone, die das bewegte Substrat senkrecht zur Bewegungsrichtung des Substrats abtastet. Die Intensität des Elektrorenstrahls wird während des Abtastens als eine Funktion der Zeit moduliert, um eine veränderliche Polymerisierung und, in der Wirkung, Abtastungen über den Film zu erzeugen. Eine solche Technik ist ganz analog der Erzeugung eines Fernsehbilds mit einer Rasterabtastung und ziemlich komplizierte Mehrfarbenmuster können in einem Interferenzfilter erzeugt werden.

[0083] **Fig.** 10 zeigt eine weitere Technik zum Herstellen von Wärmeeindrücken auf einem dünnlagigen Substrat **71** vor der Entspannungsverdampfung eines Acrylatmonomers. In dieser Beschichtungsvorrichtung wird eine gekühlte Rolle von Substrat auf einer Abwickelhaspel **72** in einem Vakuumsystem **73** platziert. Das Substrat läuft durch die Vorrichtung und an einer Anzahl von Beschichtungs- und Härtestationen vorbei und wird auf einer Aufwickelhaspel **74** aufgewickelt.

[0084] Das Substrat **71** passiert zunächst eine Metallisierungsstation **76**, wo eine der Metallschichten zum Bilden des Interferenzfilters durch Vakuummetallisieren oder Sputtern abgeschieden wird. Der dünne Film läuft dann durch eine Wärmeeindrückstation, wo die Oberfläche zum Aufnehmen des Acrylatmonomers zwischen einer Stützrolle **77** und einer Wärmeeindrückrolle **78** geführt ist. Eine beispielhafte Wärmeeindrückrolle weist erhabene Bereiche aus einem relativ wenig leitfähigen Gummi auf, welche in Eingriff mit der Oberfläche des Substrats sind. Die erhabenen Gummiflächen werden von einer geheizten Rolle **79** kontaktiert. Die geheizte Rolle erhöht die Temperatur der erhabenen Bereiche auf der Eindrückrolle und das sich ergebende Wärmemuster wird auf das Substrat "gedruckt". Alternativ kann die Druckrolle **78** selbst erhitzt oder gekühlt werden, um dem Substrat ein unterschiedliches Temperaturmuster aufzuerlegen.

[0085] Das Substrat, welches das Wärmemuster zeitweilig im Vakuum beibehält, passiert als nächstes eine Entspannungsverdampfungsstation **80**, wo ein Acrylatmonomer auf dem Substrat kodensiert wird. Wie eben dargestellt, führt die unterschiedliche Temperatur zu verschiedenen Monomerdicken, welches auf dem Substrat abgeschieden wird. Das Substrat passiert dann eine Bestrahlungsquelle **81**, wo ultraviolettes Licht oder eine Elektronenkanone das Monomer polymerisiert. Der Film passiert dann die letzte Metallisierungsstation **82**, wo die zweite Metallschicht abgeschieden wird. Zusätzliche Stationen können, wenn gewünscht, vorliegen, um ein schützendes Superstrat usw. hinzuzufügen.

[0086] Ein Mehrfarben-Interferenzfilter kann durch Verdampfen von Acrylatmonomer durch einen Längsschlitz **84** hergestellt werden, wie in **Fig.** 13 gezeigt ist, mit zwischenliegenden Bereichen **85**, wo der Schlitz im wesentlichen blockiert ist. Eine solche Düse erzeugt eine Beschichtung mit zwei Farben. Zum Beispiel war in einem Experiment die einem offenen Bereich **84** des Schlitzes gegenüber liegende Beschichtung goldfarben, mit einer ca. 7 mm breiten, hellen blauen Linie gegenüber dem blockierten Bereich **85**. Die dielektrische Schicht gegenüber dem blockierten Schlitz war wesentlich dünner als der goldene Bereich, welcher den blauen Streifen angrenzt.

[0087] In einem weiteren Experiment wurde die Temperatur der Beschichtungstrommel während der Abscheidung schnell geändert. Die Trommeltemperatur wurde schnell von ca. 20°C bis ca. 0°C abgesenkt. Der Polyesterfilm, der in Kontakt mit der Trommel war, erfuhr eine Temperaturänderung, die eine Wiederspiegelung der sich ändernden Temperatur der Trommel war. Wenn sich die Trommel abkühlte, änderte sich die Farbe des sich ergebenden Interferenzfilters von Violett, zu Blau, zu Gelb.

[0088] Die Farbmuster, welche sich durch Kleben von Papiersternen auf eine wassergekühlte Trommel ergaben, sind in **Fig.** 8 dargestellt. In diesem Experiment waren die Papiersterne entweder 75 oder 150 Mikrometer dick und ca. 9,5 breit.

[0089] Die Dickenänderung aufgrund einer unterschiedlichen Schrumpfung nach Polymerisation des Acrylats wurde durch Verändern des Elektronenfluss von einer Elektronenkanone demonstriert. Dies erfolgte durch eine Änderung des Erdungszustands des Beschleunigungsschirms, durch welchen die Elektronen hindurchtreten. Eine größerer Elektronenfluss wird durch Bereiche emittiert, wo der Schirm gut geerdet ist. Somit liegt ein Vorhang von Elektronen mit abwechselnden Streifen mit hohem und niedrigem Fluss vor.

[0090] Aufgrund von Zonen mit abwechselnd hohem und niedrigem Fluss, war der Polymerisationsgrad des Acrylats unterschiedlich. In diesen Beispielen war das Polyesterfilmsubstrat 50 cm breit. In einem Experiment wurden drei rosafarbene Streifen mit drei leicht-grünen Streifen verwoben. In ähnlicher Weise wurden abwechselnd blaue und goldene Streifen hergestellt, mit einer verschiedenen Dicke der dielektrischen Schicht. Durch Verdreifachen der Zahl der Erdungspunkte auf dem Elektronenkanonenschirm, wurde die Zahl der Streifen mit veränderlicher Elektronendichte verdreifacht und doppelt so viele engere Farbstreifen erzeugt.

[0091] **Fig.** 14 zeigt eine weitere Ausführungsform eines Interferenzfilters, welcher gemäß den Prinzipien dieser Erfindung aufgebaut ist. In dieser Ausführungsform wird Farbe erhalten, indem man mehrere durchsichtige Schichten hat, welche abwechselnd Materialien mit einer hohen Brechungsindex bzw. mit einem niedrigen Brechungsindex sind. Interferenzeffekte aufgrund von Änderungen im Brechungsindex zwischen den Schichten erzeugen Farbe für entweder ein reflektierendes oder durchsichtiges Objekt.

[0092] Ein solches Objekt umfasst ein Substrat **90**, das entsprechend einer bestimmten Anwendung durchsichtig oder undurchsichtig sein kann. Das Substrat, auf dem die mehreren Acrylatschichten abgeschieden werden, kann entweder ein starres Objekt oder ein flexibles lagiges Substrat sein. Wenn erwünscht, kann für ein größeres Reflexionsvermögen eine Metallschicht (nicht gezeigt) über dem Substrat aufgebracht werden. Eine Vielzahl von abwechselnden Schichten einer Materials **91** mit geringem Brechungsindex und einem Material **92** mit hohem Brechungsindex wird auf dem Substrat abgeschieden. Wie oben dargestellt ist, können die Dicken der Materialien mit hohem und niedrigem Brechungsindex in verschiedenen Bereichen des Objekts variieren, um verschiedene Farben zu liefern, und betragen in jedem Fall deutlich weniger als 1 Mikrometer.

[0093] Das zum Abscheiden der mehreren Schichten verwendete Acrylat ist aufgrund von Kompatibilität und Brechungsindex ausgewählt. Allgemein gesprochen neigen die fluorierten Acrylate zu einem niedrigen Brechungsindex und sind für die Schichten mit niedrigem Index geeignet. Ein beispielhaftes Material mit hohem Index umfasst ein Bisphenol A-Diacrylat. Es ist bevorzugt, dass das Acrylatmoromer ein Molekulargewicht zu Acrylatgruppenverhältnis von 150 bis 400 aufweist. Zwei Schichten können ausreichend sein, wo eine Spur von Farbe genügt. Im allgemeinen werden jedoch mehrere Schichten mit abwechselnd hohem und niedrigem Brechungsindex verwendet.

[0094] Obgleich eine wesentliche Anzahl von Methoden zum Bilden eines Mehrfarben-Interferenzfilters hier beschrieben und gezeigt wurden, ist den Fachleuten klar, dass zusätzliche Ausführurgsformen leicht ausgedacht werden können. Andere Techniken können zum Abscheiden von nichteinheitlichen Schichten von Acrylatdielektrikum verwendet werden um gewünschte Farbmuster zu erzeugen. In ähchlicher Weise können andere Techniken zum Kontrollieren der Schrumpfung eines kondensierten Monomerfilms durch Kontrollieren des Polymerisationsgrads verwendet werden. Es sollte deshalb klar sein, dass diese Erfindung im Rahmen der beigefügten Ansprüche anders als spezifisch beschrieben ausgeführt werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bilden einer Interferenzfarbbeschichtung auf einem Substrat, welches die Schritte umfasst:

Verdampfen eines Acrylatmonomers, in welchem das Molekulargewicht des Monomermoleküls, geteilt durch die Zahl der Acrylatgruppen pro Molekül in dem Bereich von 150 bis 400 liegt;

Kondensieren des Acrylatmonomers auf einem Substrat als ein Monomerfilm; und Polymerisieren des Acrylats zum Bilden eines Polymerfilms mit einer Dicke, die geeignet ist, eine Interferenzfarbe zu erzeugen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine der reflektiven Beschichtungen Metall umfasst, welches genügend dick ist, dass es im wesentlichen vollständig reflektiv ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Metallbeschichtung zwischen dem Substrat und dem Acrylat ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass beide reflektive Beschichtungen semi-reflektiv sind.

5. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Trennschicht zwischen einer der reflektiven Beschichtungen und dem Substrat zum Entfernen des Films und der Beschichtungen von dem Substrat.

6. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Schutzschicht über wenigstens einer der reflektiven Beschichtungen.

7. Verfahren zum Bilden einer Interferenzfarbbeschichtung auf einem Substrat, welches die Schritte umfasst:
Verdampfen eines Acrylatmonomers, in welchem das Molekulargewicht des Monomermoleküls, geteilt durch die Zahl der Acrylatgruppen pro Molekül in dem Bereich von 150 bis 400 liegt;
Kondensieren des Acrylatmonomers auf einem Substrat als ein Monomerfilm; und Polymerisieren des Acrylats zum Bilden eines Polymerfilms mit einer Dicke, die geeignet ist, eine Interferenzfarbe zu erzeugen,
wobei die genannten Schritte zum Verdampfen, Kondensieren und Polymerisieren umfassen
Verdampfen eines ersten Acrylatmonomers;
Kondensieren des ersten Acrylatmonomers auf einem Substrat als ein Monomerfilm, der weniger als ein Mikrometer dick ist;
Polymerisieren des Acrylats zum Bilden eines ersten Polymerfilms mit einem ersten Brechungsindex; und
Verdampfen eines zweiten Acrylatmonomers;
Kondensieren des zweiten Acrylatmonomers auf dem ersten Film als ein Monomerfilm, der weniger als ein Mikrometer dick ist;
Polymerisieren des Acrylats zum Bilden eines zweiten Polymerfilms mit einem zweiten Brechungsindex, wobei der zweite Brechungsindex verschieden von dem ersten Brechungsindex ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, gekennzeichnet durch die Schritte:
Verdampfen eines dritten Acrylatmonomers;
Kondensieren eines dritten Acrylatmonomers auf dem zweiten Film als ein Monomerfilm, der weniger als ein Mikrometer dick ist;
Polymerisieren des Acrylats zum Bilden eines dritten Polymerfilms mit dem ersten Brechungsindex;
Verdampfen eines vierten Acrylatmonomers;
Kondensieren des vierten Acrylatmonomers auf dem dritten Film als ein Monomerfilm, der weniger als ein Mikrometer dick ist;
Polymerisieren des Acrylats zum Bilden eines vierten Polymerfilms mit dem zweiten Brechungsindex;
Verdampfen eines fünften Acrylatmonomers;
Kondensieren des fünften Acrylatmonomers auf dem vierten Film als ein Monomerfilm, der weniger als ein Mikrometer dick ist;
Polymerisieren des Acrylats zum Bilden eines fünften Polymerfilms mit dem ersten Brechungsindex;
Verdampfen eines sechsten Acrylatmonomers;
Kondensieren des sechsten Acrylatmonomers auf dem fünften Film als ein Monomerfilm, der weniger als ein Mikrometer dick ist;
Polymerisieren des Acrylats zum Bilden eines sechsten Polymerfilms mit dem zweiten Brechungsindex.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine vorbestimmte Fläche des Polymerfilms mit einer anderen Dicke als die Dicke einer angrenzenden Fläche des Polymersfilms gebildet wird, um verschiedene Interferenzfarben von den jeweiligen Flächen zu erzeugen.

10. Verfahren nach Anspruch 9, gekennzeichnet durch den Schritt des Kontrollierens der Temperatur des Substrats, die in der vorbestimmten Fläche anders sein soll, als die Temperatur des Substrats in der angrenzenden Fläche während des Kondensierungsschritts.

11. Verfahren nach Anspruch 10, gekennzeichnet durch Drucken eines Wärmemusters auf der Oberfläche des Substrats unmittelbar vor dem Kondensierungsschritt.

12. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Kontrollschritt ein Kondensieren des Acrylatmonomers auf einer Vorderseite eines dünnen Filmsubstrats umfasst, während eine Rückseite des Substrats in Kontakt mit einer temperaturkontrollierten Oberfläche ist, und Aufrechterhalten eines thermischen Kontakts zwischen der temperaturkontrollierten Oberfläche und der vorbestimmten Fläche, welcher verschieden von dem thermischen Kontakt zwischen der Oberfläche und der angrenzenden Fläche ist.

13. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Polymerisierschritt ein Polymerisieren des Acrylats in der vorbestimmten Fläche bis zu einem von der Polymerisation des Acrylats in der angrenzenden Fläche verschiedenen Grad umfasst.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Polymerisierschritt das Aussetzen des Films einer Strahlung umfasst, und enthält, die vorbestimmte Fläche des Films mit einer Gesamtexposition zu bestrahlen, die von der Gesamtexposition der angrenzenden Fläche des Films verschieden ist.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Expositionsschritt umfasst, einen Abschnitt des Films vor der Strahlung abzuschirmen.

16. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Polymerisierschritt eine Bestrahlung des Films mit einem Elektronenstrahl umfasst, und einschließt die vorbestimmte Fläche des Films mit einer Gesamtexposition der Elektronenenergie zu bestrahlen, die von der Gesamtexposition der Elektronenenergie der angrenzenden Fläche des Films verschieden ist.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Bestrahlungsschritt ein Lenken des Elektronenstrahls zum Bestrahlen verschiedener Abschnitte des Films mit verschiedenen Gesamtexpositionen umfasst.

18. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die vorbestimmte Fläche eine erste Mehrzahl von Streifen umfasst und die angrenzende Fläche eine zweite Mehrzahl von Streifen umfasst, die zwischen die ersten Streifen eingelegt sind.

19. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Bildungsschritt ein selektives Schrumpfen der Dicke der vorbestimmten Fläche des Films auf einen Grad umfasst, welcher von dem Schrumpfgrad der Dicke der angrenzenden Fläche des Films verschieden ist.

20. Interferenzfarbfilter, welcher umfasst:
eine erste, wenigstens teilweise reflektive Schicht (**11**),
eine quervernetzte, durchsichtige Acrylatschicht (**12**) auf der wenigstens teilweise reflektiven Schicht (**11**), gefertigt aus einem Monomer, in welchem das Molekulargewicht des Monomermoleküls, geteilt durch die Zahl der Acrylatgruppen pro Molekül in dem Bereich von 150 bis 400 liegt, wobei die Acrylatschicht (**12**) eine Dicke aufweist, die ausreicht, um eine Inferferenzfarbe zu erzeugen; und
eine zweite, teilweise reflektive Schicht (**13**) auf der gegenüberliegenden Seite der Acrylatschicht (**12**) der ersten wenigstens teilweise reflektiven Schicht (**11**).

21. Interferenzfarbfilter nach Anspruch 20, bei welchem eine erste Fläche der quervernetzten Acrylatschicht eine Dicke (t_1) hat, die verschieden ist von der Dicke (t_2) einer angrenzenden zweiten Fläche der quervernetzten Acrylatschicht, derart, dass verschiedene Interferenzfarben von den jeweiligen Flächen erzeugt werden.

22. Interferenzfarbfilter nach Anspruch 21, bei welchem die erste Fläche der quervernetzten Acrylatschicht auf einen anderen Grad polymerisiert wird, als die zweite Fläche der quervernetzten Acrylatschicht.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

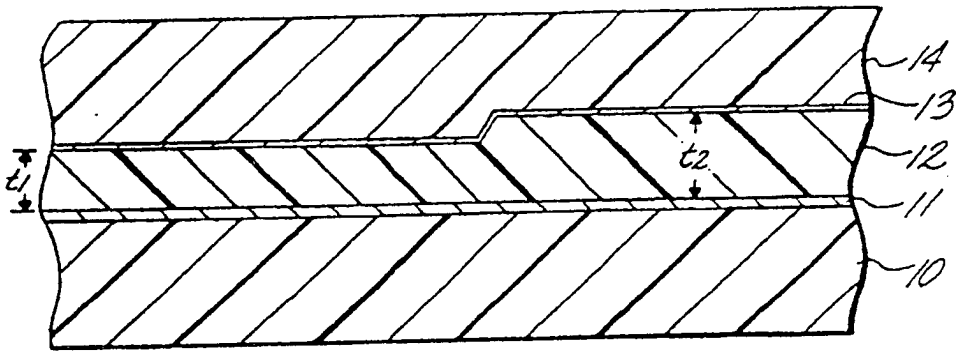


Fig. 2

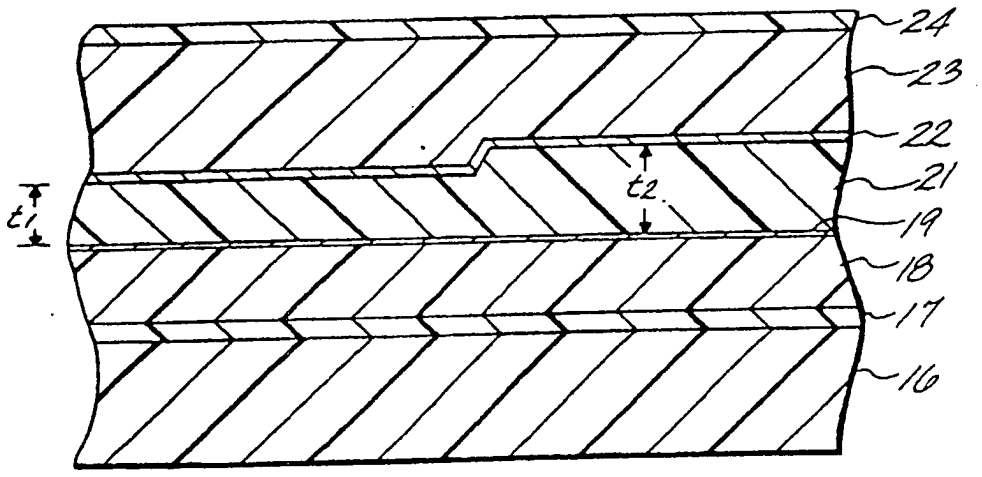


Fig. 3

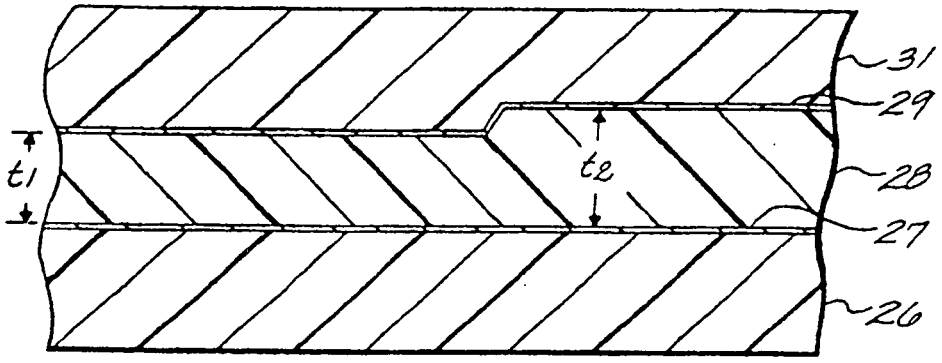


Fig. 4

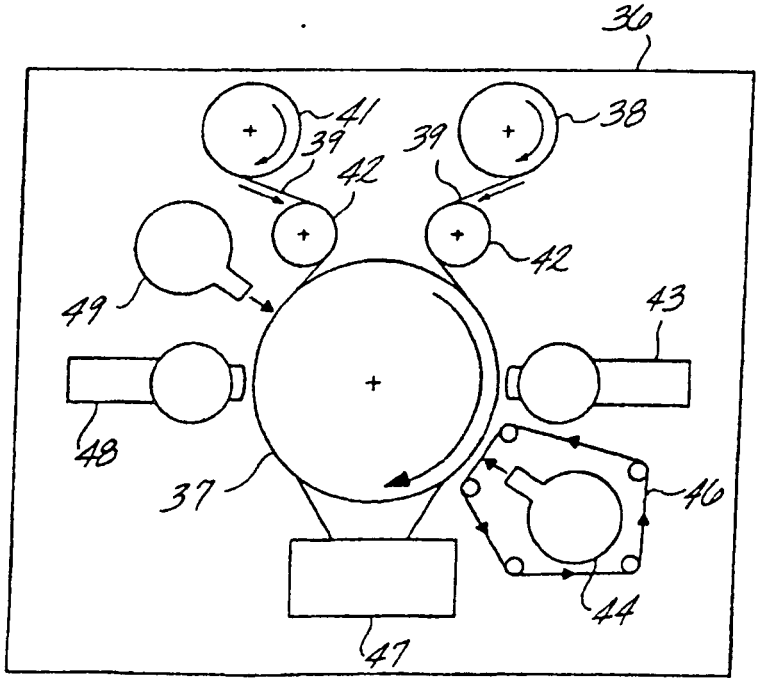


Fig. 5

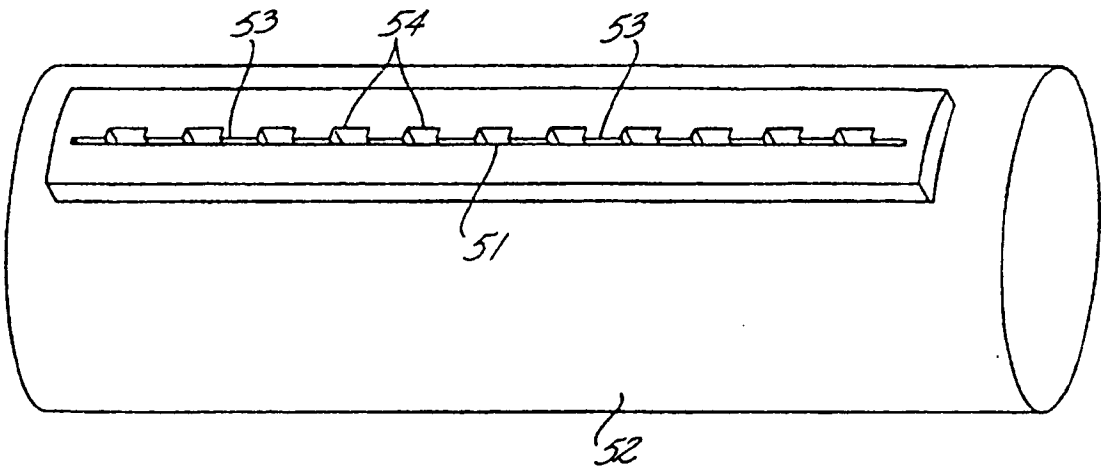

53
54
53
51
52

Fig. 6

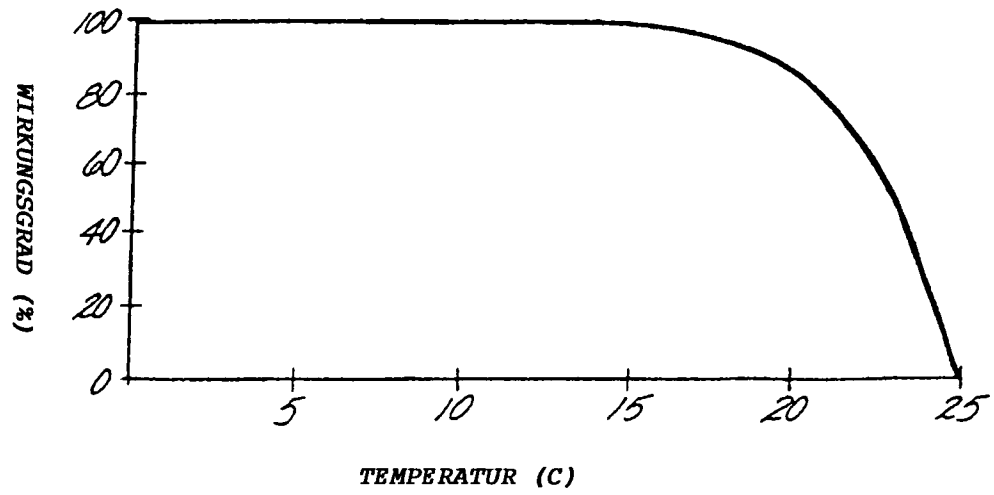

100
80
60
40
20
0
WIRKUNGSGRAD (%)
5
10
15
20
25
TEMPERATUR (C)

Fig. 7

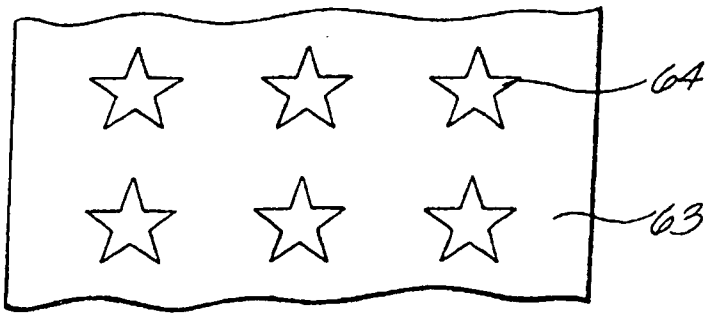


Fig. 8

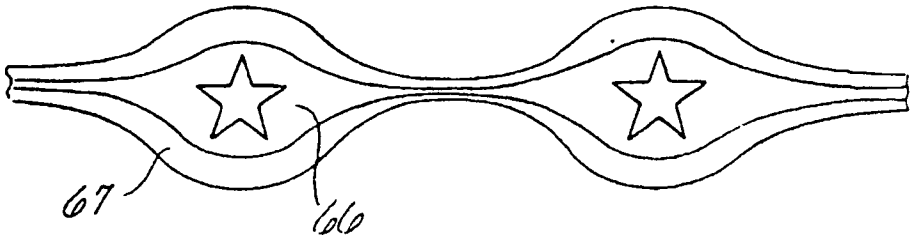


Fig. 9

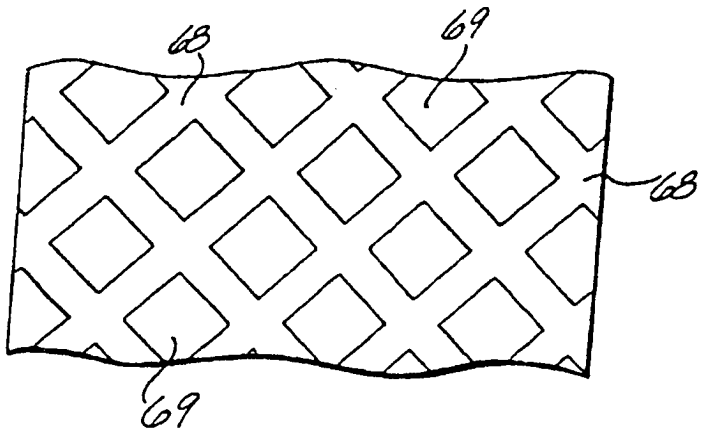


Fig. 10

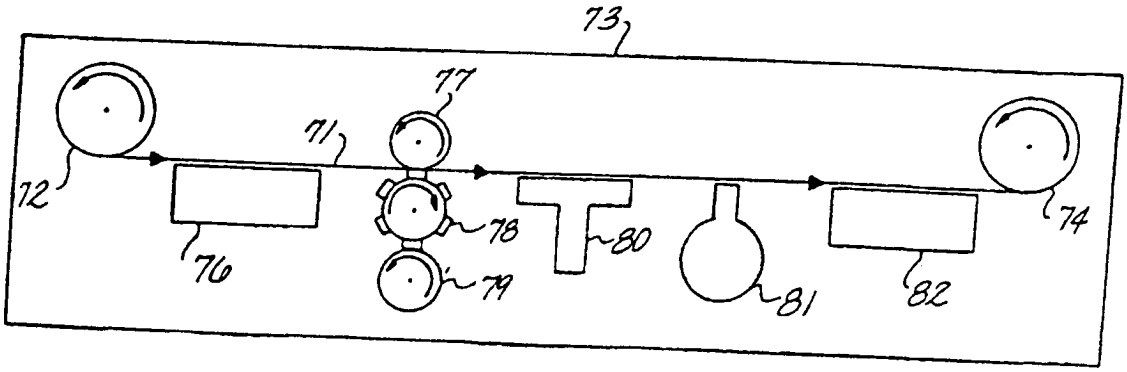


Fig. 11

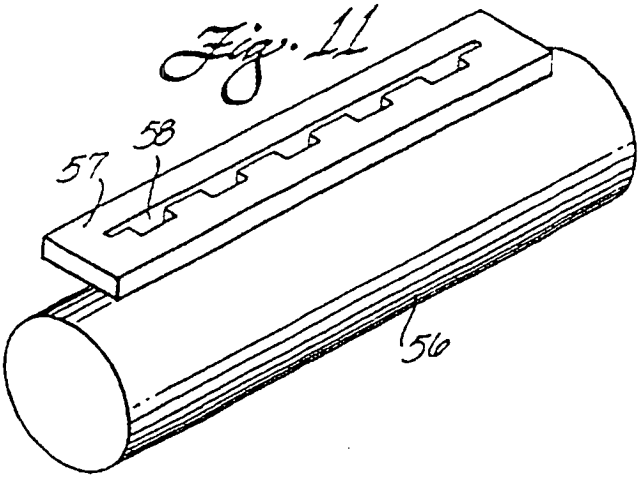


Fig. 12

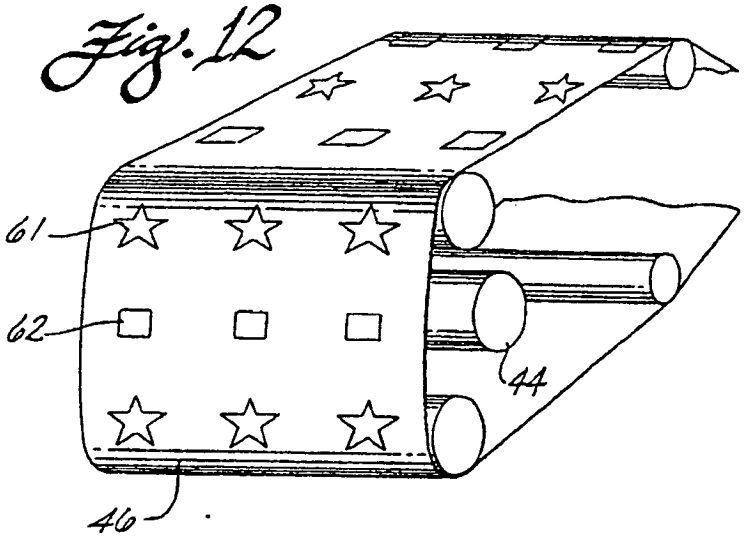


Fig. 13

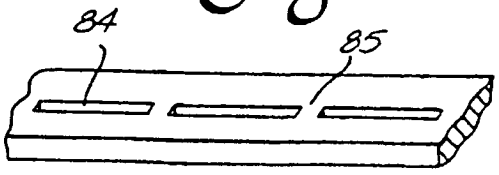


Fig. 14

