

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6396451号
(P6396451)

(45) 発行日 平成30年9月26日(2018.9.26)

(24) 登録日 平成30年9月7日(2018.9.7)

(51) Int.Cl.

G02F 1/167 (2006.01)

F 1

G02F 1/167

請求項の数 16 (全 44 頁)

(21) 出願番号 特願2016-524587 (P2016-524587)
 (86) (22) 出願日 平成26年10月16日 (2014.10.16)
 (65) 公表番号 特表2016-534383 (P2016-534383A)
 (43) 公表日 平成28年11月4日 (2016.11.4)
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2014/072241
 (87) 國際公開番号 WO2015/059029
 (87) 國際公開日 平成27年4月30日 (2015.4.30)
 審査請求日 平成29年9月20日 (2017.9.20)
 (31) 優先権主張番号 1318614.3
 (32) 優先日 平成25年10月22日 (2013.10.22)
 (33) 優先権主張国 英国(GB)
 (31) 優先権主張番号 1319945.0
 (32) 優先日 平成25年11月12日 (2013.11.12)
 (33) 優先権主張国 英国(GB)

(73) 特許権者 509354662
 ヴライト イノヴェーションズ リミテッド
 アイルランド国 カウンティ クレア シャノン エアポート ノックベグ ポイント 4エー
 (74) 代理人 100147485
 弁理士 杉村 憲司
 (74) 代理人 100136858
 弁理士 池田 浩
 (74) 代理人 100174001
 弁理士 結城 仁美

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】広作動温度範囲の電気泳動装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1の電極(60)と；前記第1の電極から離間した第2の電極(60)と；前記第1の電極および前記第2の電極の間に配置された、電気泳動インク(830)および1つ以上の光透過性・非平面状固体ポリマーエレメント(808)を含む電気泳動セル(809)とを含む電気泳動装置であって、

前記インクは、光透過性の懸濁流体(820)に懸濁された少なくとも1種の帶電粒子(11)を含み、

可視光波長において、前記固体ポリマーエレメントおよび前記懸濁流体の屈折率を差が0.0075未満となるように一致させており、

前記電気泳動装置の、少なくとも30にわたる動作温度範囲の半分以上において、前記固体ポリマーエレメントおよび前記懸濁流体の熱光学係数(屈折率nの温度Tに対する微分値dn/dT)を算術平均の差が0.0002/K未満の大きさとなるように一致させている、電気泳動装置(101)。

【請求項 2】

25における波長589.3nmの光に対する、前記固体ポリマーエレメントおよび前記懸濁流体の屈折率は1.460未満、好ましくは1.445未満、より好ましくは1.434未満、特に好ましくは1.426未満である、請求項1に記載の電気泳動装置。

【請求項 3】

前記懸濁流体の75質量%以上は有機シリコーンまたは脂肪族炭化水素であり、

10

20

前記固体ポリマーはフッ素化エラストマー性ポリマーである、請求項1に記載の電気泳動装置。

【請求項4】

前記非平面状固体ポリマーエレメントは光透過性エラストマーであり、ガラス転移温度Tgは20未満であり、かつ、架橋を有する、請求項1に記載の電気泳動装置。

【請求項5】

前記帯電粒子は、前記電気泳動装置に印加した電界に応答して、(1)粒子が前記セル内で最大限広がり、前記セルを通過する太陽光の経路に位置して前記セルを透過する光を強く減衰させる第1の極限光状態、および、(2)前記粒子がセル内で最大限凝集して前記セル内の太陽光の経路から除去され、前記セル内に光を実質的に通過させて当該セル内を可視化する第2の極限光状態の間を移動する、請求項1に記載の電気泳動装置。

【請求項6】

前記一致させた熱光学係数は両方とも負であり、その大きさは $2.25 \times 10^{-4} / K$ よりも大きく、好ましくは $3.0 \times 10^{-4} / K$ よりも大きく、特に好ましくは $3.25 \times 10^{-4} / K$ よりも大きい、請求項1に記載の電気泳動装置。

【請求項7】

前記一致させた熱光学係数の算術平均の差の大きさは $0.000125 / K$ 未満であり、より好ましくは $0.0001 / K$ 未満であり、特に好ましくは $0.000075 / K$ 未満である、請求項1に記載の電気泳動装置。

【請求項8】

前記エラストマー性固体ポリマーの架橋密度は、前記固体ポリマーの前記熱光学係数が前記懸濁流体の前記熱光学係数と厳密に一致するように選択されている、請求項4に記載の電気泳動装置。

【請求項9】

前記動作温度範囲は、0から70、より好ましくは-10～70、さらに好ましくは-20～85、特に好ましくは-40～100である、請求項1に記載の電気泳動装置。

【請求項10】

前記光透過性のエラストマー性・非平面状固体ポリマーエレメントは主鎖にフレキシブルな結合を有し、エーテル結合(すなわち、R-O-R')、シロキサン結合(すなわち、Si-O-Si)、フルオロエーテル結合(すなわち、CF₂-O-CF₂)、チオエーテル結合(すなわち、R-S-R')、メチレン結合(すなわち、CH₂)、ジフルオロメチレン結合(すなわち、CF₂)、フォスファゼン結合(すなわち、N=P)のうちの1つ以上の結合を含む、請求項4に記載の電気泳動装置。

【請求項11】

前記エラストマー性・非平面状固体ポリマーは、下記ポリマー：フルオロアルカンポリマー、パーフルオロエーテルポリマー、フルオロシリコーンポリマー、フッ素化(メタ)アクリレートポリマー、フルオロシリコーン(メタ)アクリレートポリマー、フッ素化ポリオレフィンポリマー、フッ素化脂肪族ポリカーボネート、または、フッ素化ポリウレタン；あるいは、前記ポリマーのうちの1つ以上を使用したコポリマーまたはターポリマーを含み、40

コポリマーは、フルオロシリコーン-co-シロキサンコポリマー、フルオロシリコーン-co-フルオロアルカンコポリマー、または、フルオロエーテル-co-シロキサンコポリマーを含む、請求項3に記載の電気泳動装置。

【請求項12】

前記懸濁流体は、ジメチルシロキサン、メチルアルキルシロキサン、メチルフェニルシロキサンのうちの1つ以上の繰り返し単位を75モル%以上含むシリコーンオイルあり、

前記固体ポリマーは、10モル%を超える、好ましくは20モル%を超える、特に好ましくは25モル%を超える、メチルトリフルオロプロピルシロキサン(MTFPS)、メ

10

20

30

40

50

チルペントフルオロブチルシロキサン、メチルヘプタフルオロベンチルシロキサンもしくはメチルノナフルオロヘキシルシロキサンを含むフルオロアルキルシロキサン系、または、フルオロアルコキシアルキルシロキサン系の繰り返し単位を含む、フルオロシリコーンまたはフルオロシリコーン含有コポリマーもしくはターポリマーである、請求項1に記載の電気泳動装置。

【請求項13】

前記懸濁流体は、フェニル基を含むペンダント基を少なくとも1つ有するフルオロシリコーンまたはフルオロシリコーン含有コポリマーであり、前記非平面状固体ポリマーはポリシロキサンエラストマーであり；

好ましくは、前記懸濁流体は、10モル%を超える、好ましくは20モル%を超える、特に好ましくは25モル%を超えるメチルトリフルオロプロピルシロキサンを含み、前記固体ポリマーはポリジメチルシロキサンである、請求項1に記載の電気泳動装置。 10

【請求項14】

前記電気泳動セルは、互いに分離または半分離された区域に分配された前記電気泳動インクを含み、前記電気泳動インクの前記区域は、一方の面が前記電極の一方と隣接し、かつ、反対の面が、密集した凸部の単層を含む前記非平面状ポリマー構造体と隣接する単層を形成し、

前記凸部は前記区域内へ突出して前記懸濁流体と接触し、

前記帯電粒子は、印加された電界に応答して、前記区域内へ突出する凸部表面上を移動して前記第2の光状態で凸部間のスペースに凝集する、請求項5に記載の電気泳動装置。 20

【請求項15】

前記電極は透明であり一対のフィルム基板上に塗工されており、

使用中、フレームの開口部に取り付けられたエレクトロアクティブウィンドウである、
請求項1に記載の電気泳動装置。

【請求項16】

前記固体ポリマーの比誘電率は前記懸濁流体の比誘電率よりも大きい、請求項12に記載の電気泳動装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

30

【関連出願】

本出願は、に関する。2013年3月22日に出願された「An Electrophoretic Device Having a Transparent Light State」と題されるアイルランド国特許出願第S2013/0104号明細書（代理人整理番号：P106878IE00）に関する。

【0002】

本発明は、広い動作温度範囲で使用するための電気泳動装置に関する。

【背景技術】

【0003】

1つ以上の光状態で可視光を透過し、他の光状態では光を減衰する電気光学装置のニーズがある。かかる装置の用途としては、スマートガラスの光減衰器、シースルーディスプレイ、太陽光下でも可読な反射型ディスプレイとしての使用が挙げられる。窓、ガラスファサードまたは屋根システムの光透過率を制御することにより、シースルー性（すなわち、透明性）、プライバシー（不透明性）、電気的に可変な着色（つまり調光）、暗化などの機能を提供することができる。ディスプレイ装置の場合、シースルー（つまり、透明）ディスプレイの提供や、野外公告板や公共標識などの野外用の大型で太陽下でも可読な反射型ディスプレイの提供といった、新しい領域に機能を拡張することができる。 40

【0004】

地上野外の広範な温度範囲（すなわち、地域気候）で電気泳動装置を動作させるニーズがある。積層電気泳動装置を外側ガラス板に搭載した絶縁ガラスユニット（IGU）では

50

、当該装置は野外温度近くに曝される。さらに、IGUを搭載した装置は太陽光に曝され、必要な光安定性（すなわち、耐候性）を要する。

【0005】

高温気候の地表において、太陽が頂点にある時の3つの太陽光スペクトルにおける1平方メートル当たりのエネルギーレベルは、UVスペクトルの32ワット（3%）、可視光スペクトルの445ワット（44%）、赤外スペクトルの527ワット（53%）であり、合計で約1004ワットである。一般的に、スマートガラスや野外用ディスプレイの従来技術では、かかる太陽エネルギーが光状態により吸収された際に何が起こるかについて述べておらず、また、入射太陽エネルギーを吸収する装置内では熱が蓄積するため、高温での動作についてはほとんど記載されていない。10

【0006】

電気泳動装置を高温で使用することによる問題としては、標準（すなわち、基準）大気温度に対してヘイズが著しく上昇することや、電気泳動セル内に存在し、懸濁流体と接触するポリマーエレメント（例えば、非平面性ポリマー構造体および帯電粒子）に対する当該懸濁流体の溶解／可溶化能または膨潤能が上昇することが挙げられる。ヘイズの問題は温度に比例し、また可逆的である。 20 （屈折率の基準温度）においてヘイズが最小（すなわち、約3%以下）である電気泳動装置では、約30から認知可能なヘイズの上昇が生じ、さらに温度が上昇して約70では装置が白濁化または半透明化する。ポリマーが溶解または膨潤する問題は経時に発生し、従来技術の装置／方法では、選択した材料や高温に曝された時間の合計によっては、数日または数ヶ月で装置が故障してしまう。例えば、脂肪族炭化水素（例えば、ExxonMobil社の「Isopar range」）を懸濁流体に使用した装置では、当該懸濁流体は室温では非溶媒であるが、高温ではポリマーの効果的な溶媒となり得る。さらに、非常に高温な気候下では、熱の蓄積に対処しないとポリマーの最大連続使用温度を超えると、経時にポリマーが熱分解してしまうことがある。例えば、PMMA（すなわち、ポリメチルメタクリレート）および多くのポリウレタンの最大連続使用温度（サービス温度としても知られている）は約90以下である。20

【0007】

また、動作温度が非常に低いと、標準動作温度に対してヘイズが著しく上昇し、また、懸濁流体の粘性は 20 の場合の値の数倍にも増加し、スイッチング時間が許容できないほど長期化したり、スイッチングができなくなることがある。直鎖脂肪族炭化水素を懸濁流体に使用する従来の装置では、流体内でワックスの結晶が形成することがあり、約-10以下から外観の白濁化や半透明化が生じる。30

【0008】

以上をまとめると、使用予定の地理的エリアにおける野外の広範な温度範囲で、電気泳動装置をヘイズフリー（すなわち、最小ヘイズ）のまま信頼性良く動作させるニーズがある。さらに、ある光状態では太陽エネルギーが吸収されるため、ピーク大気温度よりも大幅に高温で動作させる必要がある。従来の装置を広い温度領域で動作させ、かつ、太陽光に曝したときの主要な問題には、下記a)～f)の一部または全てが含まれる。すなわち40

- a) 標準、つまり基準温度に対する温度差に比例してヘイズが増加し、温度差が約10以上でヘイズが感知できるようになること
- b) 懸濁流体によりポリマーが経時に溶解または膨潤すること
- c) サービス温度よりも高温でポリマーを連続使用すると、ポリマーが経時に熱分解すること
- d) 大気温度が低いと、スイッチング時間が許容できない程長期化するか、またはスイッチングが不能になること
- e) 大気温度が低いと、懸濁流体が結晶化すること
- f) 太陽光により、ポリマーおよび懸濁流体の経時的な光分解が誘発されること

【発明の概要】

10

20

30

40

50

【課題を解決するための手段】

【0009】

第1の態様において、電気泳動装置は、第1の電極と、当該第1の電極から離間した第2の電極と、前記電極間に配置された、電気泳動インクおよび1つ以上の光透過性・非平面状固体ポリマーエレメントを含む電気泳動セルとを含み、前記インクは、光透過性の懸濁流体に懸濁された少なくとも1種の帯電粒子を含み、前記固体ポリマーエレメントおよび前記懸濁流体の屈折率を差が0.0075未満となるように一致させており、前記電気泳動装置の動作温度範囲の半分以上において、前記固体ポリマーエレメントおよび前記懸濁流体の熱光学係数(1ケルビン当たりの屈折率の温度係数、または、屈折率の温度に対する微分値 $d n / d T$ としても知られている)を算術平均の差が0.0002/K未満の大きさとなるように一致させている。 10

【0010】

第2の態様において、電気泳動装置は、第1の電極と、当該第1の電極から離間した第2の電極と、前記電極間に配置された、電気泳動インクおよび1つ以上の光透過性・非平面状固体ポリマーエレメントを含む電気泳動セルとを含み、前記インクは、光透過性の懸濁流体に懸濁された少なくとも1種の帯電粒子を含み、前記固体ポリマーエレメントおよび前記懸濁流体の屈折率を基準温度において差が0.0075未満となるように一致させており、前記非平面状固体ポリマーエレメントおよび前記懸濁流体の色分散を、およそ目の最小解像度または目の最小解像度未満となるように一致させており、前記色分散はアッペ数 V_d で表したとき、前記非平面状固体ポリマーエレメントおよび前記懸濁流体の V_d は両方とも39以上である。 20

【0011】

第3の態様において、電気泳動装置は、第1の電極と、当該第1の電極から離間した第2の電極と、前記電極間に配置された、電気泳動インクおよび1つ以上の光透過性・非平面状固体ポリマーエレメントを含む電気泳動セルとを含み、前記インクは、光透過性の懸濁流体に懸濁された少なくとも1種の帯電粒子を含み、前記固体ポリマーエレメントおよび前記懸濁流体の屈折率を差が0.0075未満となるように一致させており、25における波長589.3nmの光に対する前記一致させた屈折率(すなわち、 $n_{D_{25}}$)は1.460未満である。 30

【0012】

第4の態様において、電気泳動装置は、第1の電極と、当該第1の電極から離間した第2の電極と、前記電極間に配置された、電気泳動インクおよび1つ以上の非平面状固体ポリマーエレメントを含む電気泳動セルとを含み、前記インクは、光透過性の懸濁流体に懸濁された少なくとも1種の帯電粒子を含み、前記懸濁流体の75質量%以上は有機シリコーンまたは脂肪族炭化水素であり、前記固体ポリマーはフッ素化エラストマー性ポリマーである。

【0013】

実施形態では、前記非平面状固体ポリマーエレメントはエラストマーであり、ガラス転移温度(すなわち、 T_g)は20未満であり、架橋を有する。

【0014】

実施形態では、前記帶電粒子は、前記電極を用いて印加した電界に応答して、前記懸濁流体内で位置移動(すなわち、転移)する。

【0015】

実施形態では、前記帶電粒子は、前記電気泳動装置に印加した電界に応答して、(1)粒子が前記セル内で最大限広がり、前記セルを通過する太陽光の経路に位置して前記セルを透過する光を強く減衰させる第1の極限光状態、および、(2)前記粒子がセル内で最大限凝集して前記セル内の太陽光の経路から除去され、前記セル内に光を実質的に通過させる第2の極限光状態の間を移動する。

【0016】

実施形態では、前記一致させた熱光学係数は両方とも負であり、その大きさは2.25 50

$\times 10^{-4}$ / K よりも大きく、好ましくは 3.0×10^{-4} / K よりも大きく、特に好ましくは 3.25×10^{-4} / K よりも大きい。

【0017】

いくつかの実施形態では、前記熱光学係数の一致は、算術平均の差の大きさが 0.000125 / K 未満であり、より好ましくは 0.0001 / K 未満であり、特に好ましくは 0.000075 / K 未満である。

【0018】

いくつかの実施形態では、前記熱光学係数の一致は全動作温度範囲である。

【0019】

いくつかの実施形態では、前記ガラス転移温度（すなわち、T_g）は前記電気泳動装置の最低動作温度よりも低く、好ましくは 0（すなわち、273K）よりも低く、より好ましくは -10（すなわち、263K）よりも低く、さらに好ましくは -20（すなわち、253K）よりも低く、特に好ましくは -40（すなわち、233K）よりも低い。

10

【0020】

実施形態では、前記エラストマー性固体ポリマーの前記熱光学係数は、その架橋密度の選択により前記懸濁流体と厳密に一致する（すなわち、前記エラストマーにおいて、d_n/dT は架橋の密度、程度またはレベルに比例する）。

【0021】

実施形態では、前記懸濁流体は前記非平面状固体ポリマーエレメントの 1 つ以上と接触しており、前記固体ポリマーは前記懸濁流体による膨潤に耐性を有し、前記耐性は前記電気泳動装置の動作温度範囲において膨潤が 15% 未満であり、好ましくは 10% 未満であり、より好ましくは 5% 未満であり、さらに好ましくは 2% 未満であり、特に好ましくは 1% 未満である。

20

【0022】

いくつかの実施形態では、前記エラストマー性・非平面状固体ポリマーエレメントおよび前記懸濁流体の色分散は最小限であり、（色分散の指標としてアッペ数 V_d を用いた場合）両者の V_d は好ましくは 4.2 よりも大きく、特に好ましくは 4.3 よりも大きい。

【0023】

いくつかの実施形態では、上記材料（すなわち、固体ポリマー、懸濁流体）の一方または両方のアッペ数は目の色分散解像限界未満とされ得、かかる実施形態では、最も小さいアッペ数を有する材料を、他方の材料の V_d または目の最少解像 V_d のいずれか小さい方との差が 8 未満、より好ましくは 5 未満、特に好ましくは 3 未満となるように一致させる。

30

【0024】

実施形態では、前記非平面状固体ポリマーおよび前記懸濁流体の芳香族（すなわち、アリール）分は、各材料のアッペ数を最大にするために最小限にされる。

【0025】

実施形態では、前記芳香族分は、非平面状固体ポリマーの屈折率を低減させて芳香族分を殆どまたは全く含まない低屈折率懸濁流体（アルカン流体およびシリコーン流体を含む）の屈折率と一致させる装置において、最小限とされているかまたは含まれない。

40

【0026】

実施形態では、許容可能な色分散の限界（すなわち、材料の最少アッペ数）は、目の明順能視（つまり、比視感度）を考慮する。

【0027】

実施形態では、動作温度範囲は少なくとも 30 の範囲に亘り、好ましくは 0 ~ 70（後者の温度は、高温気候の太陽エネルギーの吸収により熱が著しく蓄積した場合の高温使用を可能とする温度である）、より好ましくは -10 ~ 70 、さらに好ましくは -20 ~ 85 、特に好ましくは -40 ~ 100 の動作を可能にする。

【0028】

50

実施形態では、前記非平面状固体ポリマーエレメントは、前記ガラス転移温度よりも高温（好ましくは前記電気泳動装置の動作温度範囲よりも高温）で粘弾性であり；そのヤング率（すなわち、E）は50 MPa未満、その硬度（ショアA）は90未満である。

【0029】

いくつかの実施形態では、前記屈折率の一致の差は0.005未満であり、より好ましくは0.0035未満であり、特に好ましくは0.002未満である。

【0030】

いくつかの実施形態では、前記屈折率の一致は1つの温度範囲の中間点であり、これは、最も使用する範囲（つまり、最も遭遇する範囲）または動作範囲である。

【0031】

いくつかの実施形態では、25における波長589.3 nmの光に対する前記一致させた屈折率（すなわち、 $n_{D_{25}}$ ）は、好ましくは1.445未満であり、より好ましくは1.434未満であり、特に好ましくは1.426未満である。

【0032】

好ましくは、前記固体ポリマーの屈折率は、脂肪族炭化水素などの典型的な懸濁流体の低屈折率、または、本願明細書の好ましい懸濁流体である有機シリコーンの低屈折率と一致させるために低減される。

【0033】

実施形態では、前記光透過性のエラストマー性・非平面状固体ポリマーエレメントのヘイズは、そのバルク（すなわち、内側の厚さ50 μm未満の部分）において、3%以下であり、好ましくは2%未満であり、特に好ましくは1%未満である。

【0034】

実施形態では、前記光透過性のエラストマー性・非平面状固体ポリマーエレメントの複屈折率は0.005未満である。

【0035】

実施形態では、前記光透過性のエラストマー性・非平面状固体ポリマーエレメントは、非晶性（好ましい）であるか、または、本来は非晶性であるポリマー中にナノメートル規模の結晶性セグメントを有する半結晶性である。

【0036】

半結晶性ポリマーを有する実施形態では、結晶性セグメントの少なくとも50%、好ましくは少なくとも85%は、最大寸法が200 nmであり、好ましくは125 nmであり、より好ましくは85 nmであり、特に好ましくは65 nmである。

【0037】

非晶性のエラストマー性・非平面状固体ポリマーエレメントを有する実施形態では、前記粘弾特性は、オリゴマーからポリマー高分子（複数のモノマー単位を含む）の範囲の分子を架橋する共有結合（すなわち、化学）架橋の密度に依存し、前記エラストマーは均質な熱硬化性ゴムである。

【0038】

半結晶性のエラストマー性・非平面状固体ポリマーエレメントを有する実施形態では、前記粘弾特性は結晶性セグメントにより提供される物理架橋の密度に依存し、前記エラストマーは熱可塑性ゴムである。

【0039】

実施形態では、前記エラストマー性・非平面状固体ポリマーエレメントはその主鎖にフレキシブルな結合を有し、エーテル結合（すなわち、R-O-R'）、シロキサン結合（すなわち、Si-O-Si）、フルオロエーテル結合（すなわち、CF₂-O-CF₂）、チオエーテル結合（すなわち、R-S-R'）、メチレン結合（すなわち、CH₂）、ジフルオロメチレン結合（すなわち、CF₂）、フォスファゼン結合（すなわち、N=P）のうちの1つ以上の結合を含む。なかでも、シロキサン結合が好ましい。

【0040】

実施形態では、前記懸濁流体の75%以上は脂肪族炭化水素化合物、有機シリコーン化

10

20

30

40

50

合物、有機フッ素化合物（例えば、フルオロカーボン、パーフロオロカーボン、パーフロオロアルコキシ）、フルオロシリコーン化合物（例えば、フルオロアルキルシロキサン）のうちの1つ以上、または、これらのうちの2つのコポリマーを含む。好ましい懸濁流体は低分子量ポリマーであり、ジメチルシロキサン、ジエチルシロキサン、メチルアルキルシロキサン、ジアルキルシロキサン、メチルフェニルシロキサンの1つ以上を含む繰り返し単位を有する。

【0041】

実施形態では、前記懸濁流体は75%以上のオリゴマーまたは短鎖ポリマー（またはコポリマー）を含み、75¹⁰における得られる動粘度は2cStよりも大きく、好ましくは3cStよりも大きく、特に好ましくは3.5cStよりも大きい。

【0042】

いくつかの実施形態では、-25¹⁰における得られる動粘度は350cSt未満であり、好ましくは200cSt未満であり、特に好ましくは125cSt未満である。

【0043】

いくつかの実施形態では、少量の高分子量ポリマーが前記懸濁流体に少量添加物として溶解しており、これは、ポリジメチルシロキサン、ポリジエチルシロキサン、または、ポリメチルアルキルシロキサンである。

【0044】

実施形態では、前記懸濁流体の大気圧における沸点は、前記電気泳動装置の最高動作温度（²⁰）の少なくとも2倍であって、好ましくは少なくとも200²⁰であり、流動点は最低動作温度よりも少なくとも1.5倍低く、好ましくは少なくとも-30²⁰（すなわち、243K）、より好ましくは少なくとも-45²⁰（すなわち、228K）、特に好ましくは少なくとも-55²⁰（すなわち、218K）である。前記懸濁流体は、前記電気泳動装置の最低動作温度において寸法200nmを超える結晶を含まない（流体の結晶化が発生しない）。

【0045】

実施形態では、前記エラストマ－性・非平面状固体ポリマ－エレメントの最大連続使用温度（すなわち、サービス温度）は、前記電気泳動装置の最高動作温度よりも大幅に高く、好ましくは125³⁰よりも高く、より好ましくは150³⁰よりも高く、特に好ましくは175³⁰よりも高い。

【0046】

実施形態では、前記エラストマ－性・非平面状固体ポリマ－エレメントは、下記のポリマー、または、下記のポリマーうちの1つ以上を使用したコポリマーまたはターポリマー（他のポリマーとのものを含む）を含む：ポリシロキサン、フルオロアルカンポリマー、パーフルオロエーテルポリマー、フルオロシリコーンポリマー、フッ素化（メタ）アクリレートポリマー、フルオロシリコーン（メタ）アクリレートポリマー、フッ素化ポリオレフィンポリマー、フッ素化脂肪族ポリカーボネット、フッ素化ポリウレタン。コポリマーには、フルオロシリコーン-co-シロキサンコポリマー、フルオロシリコーン-co-フルオロアルカンコポリマー、フルオロエーテル-co-シロキサンコポリマーが含まれる。

【0047】

フッ素化エラストマーを有する実施形態では、そのポリマー（またはコポリマー）は、CF₃（部分）を含むペンダント基を少なくとも1つ有し、フッ素化ポリマーは、限定されないが、メチルトリフルオロプロピルシロキサン（MTFPS）、メチルペンタフルオロブチルシロキサン、メチルヘプタフルオロベンチルシロキサン、メチルノナフルオロヘキシリルシロキサンを含む、フルオロアルキルシロキサン系の繰り返し単位を含む。あるいは、上記フッ素化ポリマーはフルオロアルコキシアルキルシロキサン系の繰り返し単位を有する。

【0048】

いくつかの実施形態では、前記懸濁流体は有機シリコーンおよび／または脂肪族炭化水

10

20

30

40

50

素であり、前記非平面状固体ポリマーはフッ素化エラストマー性ポリマーである。好ましくは、前記懸濁流体は、ジメチルシロキサン、メチルアルキルシロキサン、および、メチルフェニルシロキサンの1つ以上のポリマー繰り返し単位を75%（モル%）以上含むシリコーンオイルであって、前記固体ポリマーはフルオロシリコーンまたはフルオロシリコーン含有コポリマーであり、10モル%を超える、好ましくは20モル%を超える、特に好ましくは25モル%を超えるメチルトリフルオロプロピルシロキサンを含む。

【0049】

有利には、かかる実施形態では、フッ素化シロキサンエラストマーの比誘電率は、有機シリコーン流体または脂肪族炭化水素流体の比誘電率よりも大きい。

【0050】

代替実施形態では、前記懸濁流体は、フェニル基を含むペンドント基を少なくとも1つ有するフルオロシリコーンまたはフルオロシリコーン含有コポリマーであり、前記非平面状固体ポリマーはポリシロキサンエラストマーである。好ましくは、前記懸濁流体は、10モル%を超える、好ましくは20モル%を超える、特に好ましくは25モル%を超えるメチルトリフルオロプロピルシロキサンを含み、前記固体ポリマーはポリジメチルシロキサンである。

【0051】

いくつかの実施形態では、前記エラストマー性・非平面状固体ポリマーは、熱硬化性基および光硬化性基を含む複数の硬化性官能基を有し得る。

【0052】

実施形態では、シロキサン主鎖を有する前記エラストマー性・非平面状固体ポリマーエレメントの架橋硬化化学は、白金触媒ヒドロシリル化付加システム；過酸化物フリーラジカル触媒システム；スズまたは亜鉛触媒縮合システム；チオール-エンフリー-ラジカル付加システム；紫外線硬化メタクリレート・アクリレート官能性ポリマー（すなわち、アクリルオキシプロピルまたはメタアクリルオキシプロピル官能性シロキサン）のうちの1つを有する。中でも、白金触媒ヒドロシリル化付加硬化が好ましい。

【0053】

いくつかの実施形態では、前記シロキサン主鎖のエラストマーは、一方が主剤（すなわち、触媒およびビニル）成分であり、他方が硬化剤（すなわち、架橋剤）成分である2液型の液体キットの形態のプレポリマーを有し；前記架橋密度は、得られるプレポリマー内の上記2成分の比率を選択し、次いで硬化して前記エラストマー性固体ポリマーとすることにより変えられる。

【0054】

いくつかの実施形態では、前記架橋密度はまた、前記主剤成分のビニル末端フルオロシリコーン（またはフルオロシリコーンコポリマー）の鎖長を選択かつ／または当該鎖にビニル置換基を導入し、かつ、前記硬化成分中の水素化物の比率を選択することにより、変えられる。

【0055】

いくつかの実施形態では、前記エラストマーのプレポリマーおよび前記懸濁流体のロットを一致させており；代替実施形態では、前記硬化したエラストマー性・非平面状固体ポリマーおよび前記懸濁流体のロットを一致させる。

【0056】

いくつかの実施形態では、上述したように、電気泳動セル内の非平面状固体ポリマーエレメントの屈折率と光透過性の懸濁流体の屈折率とを、当該固体ポリマーの熱光学係数と当該流体の熱光学係数とを一致させることにより、動作温度範囲の半分以上で一致させる。これは、光透過性のエラストマー性固体ポリマーを使用することにより達成される。さらに、いくつかの実施形態では、固体ポリマーおよび懸濁流体の色分散を一致させる。

【0057】

いくつかの実施形態では、エラストマー性・非平面状固体ポリマーの屈折率を低減して低屈折率懸濁流体の屈折率と一致させることにより、懸濁流体の可溶性および毒性の上昇

10

20

30

40

50

を防止する。いくつかの実施形態では、そのためにフッ素化固体ポリマーを使用する。さらに、フッ素化固体ポリマーは、シリコーンオイルおよび脂肪族炭化水素オイルなどの低屈折率流体に対する良好な化学耐性（溶解や膨潤しない）を長期の高温下および年単位のライフタイムにわたって付与する。懸濁流体にポリシロキサンを、また固体ポリマーにフルオロシリコーンを使用するなど、好ましい材料の選択により、光安定性、サービス温度、低温動作が得られる。

【0058】

実施形態では、前記帯電粒子は前記第1の光状態と前記第2の光状態との間を移動して、前記第1の光状態および前記第2の光状態の中間である少なくとも1つの光状態を提供し、当該中間の光状態の光透過率は前記第1の光状態および前記第2の光状態の光透過率の中間である。10

【0059】

いくつかの実施形態では、前記電気泳動装置は、可視光を実質的に透過させて当該装置内を可視化する少なくとも1つの光状態を有する。

【0060】

いくつかの実施形態では、前記電気泳動装置はガラス積層体の1つの層であり、窓であり得る。あるいは、装置は鏡面反射面を組み込み、鏡であり得る。あるいは、光減衰器を光シャッター、光モジュレータ、可変光透過率シート、可変光吸収率シート、可変光反射率シート、太陽光の眩輝防止窓またはバイザー、シースルーディスプレイ、単色反射ディスプレイ、または、前記単色ディスプレイと共にカラーフィルターを使用したカラー反射ディスプレイとして使用され得る。20

【0061】

いくつかの実施形態では、前記電気泳動セルは、分離(discrete)または半分離された(semi-discrete)区域(volume)に分配された前記電気泳動インクを含み、前記電気泳動インクの当該区域は、一方の面が前記電極のうちの一方と隣接し、かつ、反対の面が、密集した凸部(すなわち、ポリマーボールまたは半球体)の単層を含む前記非平面状ポリマー構造体と隣接する単層を形成する。前記凸部は前記区域内へ突出し、前記懸濁流体と接触する。そして、前記帯電粒子は、印加された電界に応答して、前記区域内へ突出する凸部表面上を移動して(すなわち、凸部表面で偏向されて)、前記第2の光状態で凸部間のスペース(すなわち、隙間)に凝集する。30

【0062】

いくつかの実施形態では、前記電極は透明であり一対の基板上に塗工されており、そして、好ましくは、前記基板はフィルム基板であって、前記電気泳動装置は電気泳動フィルム装置である。

【0063】

いくつかの実施形態では、前記電気泳動フィルム装置は、一対の接着剤層(例えば、EVA中間層)と一対のガラス板との間に積層されており、各接着剤層は各ガラス板の略全面を被覆し、かつ、前記電気泳動装置の対向面をガラス板の面に接着し、そして、前記電気泳動積層体はモノリスである。

【0064】

代替実施形態では、電気泳動積層体は、接着剤層で剛体ガラス板に接着された前記電気泳動フィルム装置を含む。

【0065】

更に他の代替実施形態では、電気泳動積層体は、接着剤層を用いてガラス積層体(例えば、ガラス板+PVB中間層+ガラス板)に接着された電気泳動フィルム装置を含み、好ましくは、前記接着剤は感圧接着剤である。

【0066】

いくつかの実施形態では、前記ガラス板が熱ショックからより早く回復するように、熱強化、化学強靭化、熱強靭化のプロセスのうちの1つを使用して、当該ガラス板を処理する。50

【 0 0 6 7 】

いくつかの実施形態では、熱強化、化学強靭化、熱強靭化のうちの1つを行ったガラス板をヒートソーキ試験または処理することにより、熱応力によりガラス板が自然に破壊されるリスクが大幅に減少するか完全になくなる。上記リスクを排除するプロセスを行うことにより、前記電気泳動積層体のガラス板として使用するのに良好なガラス板が特定される。

【 0 0 6 8 】

本発明の実施形態は、内側ガラス板と外側ガラス板の間にキャビティーを有し、内側ガラス板および外側ガラス板の一方が前記電気泳動積層体である絶縁ガラスユニット（IGU）の一部として組み込むことが可能である。

10

【 0 0 6 9 】

使用に際して、いくつかの実施形態は開口部を画定するフレームに取り付けられ、エレクトロアクティブウィンドウとして機能する。

【 0 0 7 0 】

いくつかの実施形態では、太陽光エネルギーを吸収する帯電粒子により引き起こされる熱の蓄積は、太陽光の赤外スペクトルを実質的に透過または反射する波長選択性帯電粒子を使用することにより（全てのバンドを吸収する帯電粒子と比較して）約半分になる。

【図面の簡単な説明】**【 0 0 7 1 】**

【図1A】第1の光状態の本発明の実施形態101を示す。電気泳動インク830は負に帯電した黒色粒子11を有し、当該インクはPIPSプロセス工程を使用してキャビティー80に分割されている。

20

【図1B】図1Bは第2の光状態の図1Aの実施形態101を示す。

【発明を実施するための形態】**【 0 0 7 2 】**

以下、添付の図面を参照して本発明の実施形態を例示を目的として説明する。

【 0 0 7 3 】

本発明は、電気泳動セルが1つ以上の光状態を有する電気泳動装置を提供する。この装置は、世界の人口密度の高い地域の気候の多くに好適である広い動作温度範囲を有する。有利には、この装置は野外温度および太陽光に暴露される用途に好適である。

30

【 0 0 7 4 】

第1の態様において、電気泳動セル内の非平面状固体ポリマーエレメントの屈折率は、当該固体ポリマーの熱光学係数（すなわち、1ケルビン当たりの屈折率の温度係数であり、屈折率の温度に対する微分値 $d n / d T$ としても知られている）を光透過性流体の熱光学係数と一致させることにより、動作温度範囲の半分以上において当該懸濁流体の屈折率と一致させられている。これは、光透過性かつエラストマー性の固体ポリマーを使用することにより達成される。

【 0 0 7 5 】

他の態様において、非平面状固体ポリマーエレメントおよび懸濁流体の色分散は、標準化した観測者の目の解像度付近またはそれ未満となるように最小限にされ、好ましくは、両者の色分散は、目で感知される範囲内である場合、一致させる。これは、両方の芳香族（つまり、アリール）分を最小限とすることにより達成される。

40

【 0 0 7 6 】

他の態様において、一致させた非平面状固体ポリマーエレメントおよび懸濁流体の屈折率は1.46未満である。これには、非平面状固体ポリマーの屈折率を低減して低屈折率の懸濁流体と一致させ、高屈折率の流体に認められる流体の可溶性および毒性の上昇を防止する効果がある。いくつかの実施形態では、フッ素化（本願明細書において「部分フッ素化」と同義）固体ポリマーが非平面状固体ポリマーの屈折率を低減させるための一手段として使用される。

【 0 0 7 7 】

50

他の様において、懸濁流体および非平面状固体ポリマーエレメントの組み合わせには、有機シリコーンおよび／または脂肪族炭化水素の懸濁流体、および、フッ素化エラストマー性・非平面状ポリマーが含まれる。フッ素化固体ポリマーは、シリコーンオイルおよびイソパラフィンオイル（脂肪族炭化水素、つまりアルカン）などの低屈折率流体に対する良好な化学耐性（溶解や膨潤しない）を長期高温下および年単位のライフタイムにわたって付与する。

【0078】

本願明細書に記載の方法および材料により、実施形態の動作温度範囲は従来の電気泳動装置よりも大幅に広く、少なくとも30°の範囲に亘り、好ましくは50°以上の範囲に亘り、より好ましくは70°以上の範囲に亘る。いくつかの実施形態では、動作温度範囲は0°～70°であり（後者の温度は、高温気候の太陽エネルギーの吸収により熱が著しく蓄積した場合の高温使用を可能とする温度である）、より好ましくは-10°～70°であり、さらに好ましくは-20°～85°であり、特に好ましくは-40°～100°である。実施形態で使用するための本願明細書に記載の材料は高性能材料である。かかるクラスの材料は野外使用に関するものだからである。有利には、これらの材料はまた、非常に良好な光安定性を付与する。

【0079】

実施形態では、電気泳動セルは、懸濁流体と接触する1つ以上の非平面状固体ポリマーエレメントを有する。非平面状固体ポリマーエレメントとは、懸濁流体に接触する任意の固体ポリマー表面であって、電気泳動セルの面に対して連続的に平行ではないものをいう。かかる点に関して、1つの基板の表面上に形成される連続絶縁層（すなわち、誘電固体ポリマー層）は非平面状ポリマーを構成せず、パターン化された絶縁層が非平面状エレメントを構成する。別の定義では、屈折率を懸濁流体と一致させなければ光散乱を引き起こす電気泳動セル内の任意の固体ポリマーエレメントが非平面状エレメントを構成する。電気泳動セルの面と平行な表面を有する連続ポリマー層は、光散乱を避けるために屈折率を一致させる必要がないことが理解されよう。かかる層の例には、PET基板、厚さが均一な接着剤層、厚さが均一な絶縁層が含まれる。光散乱を防止するためにPET基板の屈折率をITO電極または電気泳動セルの屈折率と一致させる必要はない。かかる基板は連続的であり電気泳動装置の面と平行だからである。

【0080】

好適な電気泳動装置の例は、2013年3月22日に出願された「An Electrophoretic Device Having a Transparent Light State」と題される関連するアイルランド国特許出願第S2013/0104号明細書（代理人整理番号：P106878IE00）に記載されている。図1Aおよび図1Bは、かかるタイプの装置に基づいた実施形態101を示しており、後述する。かかる文献で言及されている製造様には、非平面状構造体において球形キャップ状のキャビティを使用し、光透過状態で帯電粒子を凝集・収集する装置に関する記載が含まれ、本願明細書の実施形態も同様にかかるタイプであることが理解されよう。米国特許出願第2011/0149376号明細書にはハイブリッド型の電気泳動装置が記載されており、本願明細書の方法および材料をこのような装置に適用すると光透過状態を得ることができる。かかる文献に記載のパターン化誘電層は、本願明細書の非平面状固体ポリマーエレメントに対応する。かかる実施形態では、帯電粒子は、光透過状態では非平面状固体ポリマーエレメント内にフォトリソグラフィーで形成した凹部に集まり、暗状態では懸濁流体内に分散している。上記凹部と懸濁流体との界面は、屈折率を懸濁流体と一致させない場合、（特に、急な視野角では）著しい光散乱を発生させる。これらのおよび他の実施形態は本願明細書の方法および材料から明白であろう。

【0081】

従来技術において、懸濁流体の屈折率を電気泳動セル内の封入カプセル／シェルおよびポリマーバインダー／マトリックス（すなわち、非平面状ポリマーエレメント）と一致させることが知られている（例えば、E Ink社の米国特許第6,515,649号明細

10

20

30

40

50

書を参照）。しかしながら、電気泳動装置の従来技術では好適な光透過性ポリマーについて記載されておらず、また、E I n k 社の米国特許第 6 , 5 1 5 , 6 4 9 号明細書に記載されているポリウレタンバインダーは半結晶性の熱硬化性脂肪族ポリウレタンであって、結晶界面における光散乱 / 反射に起因する無視できないヘイズにより若干半透明なものである。これらの水性ポリウレタンラテックスは塗料や木材コーティング用に開発されたものであり、低ヘイズの光透過性装置に適さない。反射型ディスプレイ装置に使用される電気泳動セルに使用する固体ポリマーの光学品質（すなわち、< 3 % のヘイズ）に要件はない。反射型ディスプレイ装置は可視光を拡散反射させるからである。しかしながら、若干半透明な半結晶性ポリマー（熱硬化性脂肪族ポリウレタンを含む）は、鏡面反射光を透過し、窓に組み込まれた際などに視認性を制限しない光透過性装置には適さない。

10

【 0 0 8 2 】

従来技術には、標準または基準温度において可視光の特定波長（例えば、5 4 6 nm (n_e) または 5 8 9 nm (n_D) ）に対して屈折率を一致させることが記載されている。基準の温度および波長において一致させる以外に、従来技術には屈折率について記載されておらず、また、大きな温度変化（すなわち、1 5 以上）により屈折率が大幅に変化することや、可視光スペクトルに亘って光の波長と共に屈折率が変化することは無視されている。

【 0 0 8 3 】

試験（すなわち、実施形態が解決する課題の一部を例示する比較例）において、出願人は、図 1 A および図 1 B に示す 8 0 8 （すなわち、懸濁流体に接触している密集した固体ポリマーの半球体）に類似する非平面状固体ポリマー構造体を作製した。使用した固体ポリマーは PMMA (屈折率 = 1 . 4 9 0) であり、使用した懸濁流体は、Isopar M (www . exxonmobilchemical . com から入手可能) および o - キシレン (www . sigmaaldrich . com から入手可能) を 1 8 : 8 2 (質量比) でブレンドしたものであって、 n_{D_2} における屈折率を上記固体ポリマーの屈折率と差 0 . 0 0 2 以内で一致させたものとした。出願人は、上記光透過性・非平面状固体ポリマー半球体 (PMMA) と上記光透過性懸濁流体 (Isopar M + o - キシレン) との屈折率を一致させて基準温度でのヘイズを最小限（例えば、3 % 以下）にした電気泳動装置は、当該基準温度 ± 1 0 以上で認知可能なヘイズ（約 6 % ~ 8 % ）を発生させ、また、当該基準温度 ± 5 0 以上で不快なヘイズが生じて白濁化または半透明化することを発見した。基準温度に戻すと、ヘイズ最小である外観に直ちに回復した。出願人は、この温度と関連したヘイズの問題は、非平面状固体ポリマーエレメントおよび懸濁流体の屈折率の温度係数（すなわち、熱光学係数）が一致していないことに起因することを発見した。かかる不一致は、固体ポリマーおよび液体懸濁流体の温度による体積変化速度の違いに関係している。

20

【 0 0 8 4 】

さらに、それほどではないにせよ、基準温度および基準可視光波長における屈折率のマッチングは、屈折率が入射光の波長で変化する（色分散として知られている）こと、そして、非平面状固体ポリマーおよび液体懸濁流体の色分散が顕著に相違することがあり、基準温度において僅かな着色ヘイズを生じ、色分散差が広範な視野角および動作温度範囲にわたって悪化することを考慮していない。比較試験において、露出させた半球体を有する PMMA 製固体ポリマーフィルムの屈折率を Isopar M + o - キシレン (1 8 : 8 2 (質量比) ブレンド) の屈折率と一致させたところ、PMMA 製固体ポリマーフィルムの表面に対して 9 0 ° の角度で見たとき、または、当該フィルムを通して均一に光照射した物体を鋭角で見たときにヘイズフリーのようであった。しかしながら、裸蛍光灯等の明るい物体を上記装置を通して見ると、カラーフリンジ効果（つまり、白熱光または光輪）がこの明るい物体の端部（または周囲）にはっきりと見える。（色分散の不一致により発生する）上記カラーフリンジ効果は、夜に外から（上記装置を組み込んだ）窓を通して明るい部屋に置かれた物体を見る場合など、装置の両側で環境光の量が著しく不均衡である場合にも感知される。（色分散の不一致により発生する）カラーフリンジ効果は、窓側面

30

40

50

にランプを立設した場合や窓上方にランプを直接配置した場合など、夜間、表面に対して鋭角で光を照射した（上記装置を組み込んだ）窓でもはっきり見える。

【0085】

屈折率を一致させる波長（すなわち、 n_{D_20} ）の光は視野角や光量に関係なく屈折されない一方、他の可視光波長の光は屈折率が相違し、特に青色光は最も屈折率が一致せず、そのため、最も屈折が大きいと考えられる。この不一致は、固体ポリマーおよび液体懸濁流体の色分散の差に関係している。本例において、PMMA製固体ポリマーは芳香族（すなわち、アリール）分を含まない一方、懸濁流体はo-キシレン成分を含み芳香族分が顕著であるため色分散が一致しないものと考えられる。

【0086】

公知の市販の電気泳動装置（例えば、ebookリーダー）では、懸濁流体の屈折率は周囲のポリマーエレメントの屈折率と一致しない。懸濁流体の屈折率は、ポリマーエレメントの屈折率（通常、約1.48～1.54）よりも一層低く（通常、約1.42～1.44）、そのような装置では透明状態が得られない。従来技術では、芳香族炭化水素、アリール置換基またはハロゲン化炭化水素を添加することにより、電気泳動セル内において懸濁流体の屈折率をポリマーエレメントの屈折率まで上げることが提案されている。かかる懸濁流体の例は、セイコーエプソン社の米国特許第8,174,755号明細書（溶媒と記載）に記載されている。セイコーエプソン社の本特許文献では、高温・高湿度下の長時間は60°、90%RHで24時間であると記載されており、従来の装置は、当該高温に24時間曝しただけで、光学性能（つまり、ディスプレイのコントラスト）が悪化するとされている。E Ink社の米国特許出願公開第2008/0130092号明細書では、クロロナフタレンを典型的な芳香族炭化水素懸濁流体と約55%の濃度で混合して、電気泳動セルにおいて懸濁流体の屈折率を1.42から周囲の非平面状固体ポリマー（すなわち、封入コアセルベーションポリマーカップセルおよびポリウレタンバインダー）の屈折率である1.53まで上昇させている。しかしながら、従来技術では、懸濁流体の屈折率を上げると懸濁流体の溶解性および毒性プロファイルが著しく上昇するという、懸濁流体と接触するポリマーエレメントに対する影響については言及されていない。

【0087】

溶媒がポリマーを溶解、可溶化または膨潤させる力は、そのハンセン溶解度パラメータ（www.wikipedia.orgのエントリーを参照）で推測することができ、試験でも推測することができる。Isopar M（電気泳動装置で使用される一部の懸濁流体の代表的なもの）等の脂肪族炭化水素系の懸濁流体のハンセン溶解度パラメータは低く、極性パラメータおよび水素結合パラメータを有さず、具体的には、分散 = 16.0 (MPa^{1/2})、極性 = 0.0 (MPa^{1/2})、水素結合 = 0.0 (MPa^{1/2})である。そのため、分散 = 18.1 (MPa^{1/2})、極性 = 9.3 (MPa^{1/2})、水素結合 = 4.5 (MPa^{1/2})である典型的なポリウレタンなどの極性溶解度パラメータおよび/または水素結合溶解度パラメータが著しく大きいポリマーバインダー（すなわち、ポリマーマトリックス）に対しては非溶媒である。しかしながら、懸濁流体の屈折率を上げるためにクロロナフタレン（分散 = 19.9 (MPa^{1/2})、極性 = 4.9 (MPa^{1/2})、水素結合 = 2.5 (MPa^{1/2}））を添加すると、溶媒の溶解度パラメータがポリウレタンバインダーと近くなり25でもポリウレタンバインダーは経時に膨潤・劣化してしまう。第1の組み合わせ（すなわち、ポリウレタン製固体ポリマーおよびIsopar M懸濁流体）のRED比（後述）は1.15であり、膨潤や親和性がないことが示される。第2の組み合わせ（ポリウレタン+クロロナフタレン）のRED比は0.62であり、膨潤および親和性が著しいことが示される。

【0088】

固体PMMAポリマーおよびIsopar M+o-キシレンの懸濁流体（後者は18:82（質量比）のブレンド）を使用した比較試験において、懸濁流体によるPMMAポリマーの溶解開始には高温・短時間（2～3時間）で十分であり、懸濁流体の屈折率を上げることを目的としたo-キシレンの添加は、かかる点において影響が大きかった。従来

10

20

30

40

50

技術に対して本発明の実施形態では、固体ポリマーの屈折率を低減させて低屈折率懸濁流体の屈折率と一致させ、それによって懸濁流体の溶解性および毒性の上昇を防止することが好ましい。さらに、いくつかの実施形態では、フッ素化固体ポリマーを使用して、シリコーンオイルおよび脂肪族炭化水素オイルなどの低屈折率流体に対する良好な化学耐性（溶解や膨潤しない）が長期高温下かつ年単位のライフタイムにわたって得られる。高温でも溶解せずかつ膨潤が防止される、屈折率が一致した固体ポリマーおよび懸濁流体の好適な組み合わせを以下のセクションで説明する。これらの組み合わせはまた、非常に良好な光安定性を得るために選択され、一般的に高性能材料クラスのものである。

【0089】

次のセクションにおいて、前述の利点を詳しく説明する。実施形態では、電気泳動装置（例えば、図1Aおよび図1Bの101）は、2つの電極（60）に挟まれた電気泳動セル（809）を含む。電気泳動セル（809）は、当該セル（809）内に電気泳動インク（830）と、1つ以上の光透過性・非平面状固体ポリマーエレメントまたは構造体（808）を含む。電気泳動インク（830）は、光透過性の懸濁流体（820）に懸濁された少なくとも1種の帯電粒子（11）を含み、帯電粒子（11）は、電極（60）を使用して印加された電界に応答して、位置移動（すなわち、転移）する。帯電粒子（11）は、電気泳動装置（101）に印加された電界（図1Aおよび図1Bにおいて不図示）に応答し、帯電粒子（11）がセル（809）内で最大限広がり、当該セルを通過する太陽光（光線1405を参照）の経路に位置して前記セルを透過する光を強く減衰させる第1の極限光状態（図1A）、および、帯電粒子（11）がセル（809）内で最大限凝集して当該セル内の太陽光の経路から除去され、当該セル内に光（光線1406を参照）を実質的に通過させる第2の極限光状態（図1B）の間を移動する。いくつかの実施形態（例えば、図1B）では、光透過状態は、非平面状固体ポリマーエレメント（808）および懸濁流体（820）の屈折率を差が0.0075未満となるように厳密に一致させ続けるより達成される。本願明細書において懸濁流体の屈折率は電気泳動インクの屈折率と同義である。

【0090】

負の電界は、負に帯電した粒子（11）を、先の第1の光状態（図1Aを参照）から電界の方向に移動させる。この方向は電極（60）の面に対して垂直である。非平面状固体ポリマー（808）の凸部に到達すると、帯電粒子（11）の本来の通路（電気泳動インク830に隣接する上部電極60から非平面状固体ポリマー構造体808に隣接する下部電極60までの通路）がロックされ、帯電粒子（11）は固体ポリマー（808）の凸部の表面上で偏向される。同時に、凸部の固体表面および電界によって偏向されることにより、帯電粒子（11）は、凸部間のスペース／体積（すなわち、間隙）に凝集させられ、それにより、帯電粒子（11）は、凸部に対応する領域であって図1Aおよび図1Bにおいて開口部（1006）として表される領域において、電気泳動セル（809）内の光路から実質的に除去される。

【0091】

中間光状態では、帯電粒子（11）が第1の光状態から第2の光状態への転移を完了する前に、電界は除去される（すなわち、0ボルトが印加される）。これにより、開口部（1006）の直径は、電界の印加期間（すなわち、シグナル時間）に比例して、第2の光状態のときよりも小さくなる。図1Aおよび図1Bにおいて、光透過性・非平面状固体ポリマー808およびインク830の間の界面は、ポリマーマイクロスフィア802の半球体表面、ポリマーセルギャップスペーサー803、ポリマーセル壁835、および、固体ポリマー815により形成される。固体ポリマー（815）は、図1Bの分解図1100に示すように、間隙を赤道面1003まで充填する。キャビティ壁835は、インク830を分離された区域80に分割する。図1Aおよび図1Bのこれらおよび他の特徴は後述する。

【0092】

いくつの実施形態の装置の動作温度範囲の半分以上（好ましくは全範囲）で屈折率の一

10

20

30

40

50

致を維持する第1の態様において、非平面状固体ポリマーエレメント(808)および懸濁流体(802)の熱光学係数(すなわち、1ケルビン当たりの屈折率の温度係数、つまり、 $d n / d T$)を算術平均の差の大きさが $0.0002 / K$ 未満となるように一致させる。本願明細書で示す熱光学係数は、特段断わりのない限り、波長 589.3 nm (すなわち、 n_D)で測定したものであるが、表5と関連して後述するように、その値は他の可視光波長のものと同等である(つまり、顕著に相違しない)。

【0093】

実施形態では、非平面状固体ポリマーエレメントの熱光学係数の大きさ(負の値)を上昇させて、懸濁流体の熱光学係数(同様に負の値)と一致させる。これは、光透過性のエラストマー性(すなわち、エラストマー型)ポリマーを非平面状固体ポリマーエレメント(808)に用いることにより達成される。このエラストマーはガラス転移温度が 20 (すなわち、 $293 K$)未満であり、かつ、架橋を有する。かかる要件は、光透過性のエラストマー性ポリマーを電気泳動セル内の非平面状エレメントに使用することは知られていない電気泳動装置の従来技術と対照的である。10

【0094】

いくつかの実施形態では、1つ以上のエラストマー性・非平面状固体ポリマーおよび懸濁流体の熱光学係数を、算術平均の差の大きさが $0.000125 / K$ 未満、より好ましくは $0.0001 / K$ 未満、特に好ましくは $0.000075 / K$ 未満となるように、一致させている。一致させた熱光学係数は両方とも負であり、その大きさは $2.25 \times 10^{-4} / K$ よりも大きく、好ましくは $3.0 \times 10^{-4} / K$ よりも大きく、特に好ましくは $3.25 \times 10^{-4} / K$ よりも大きい。20

【0095】

いくつかの実施形態では、透明なエラストマー性・非平面状固体ポリマー(808)のガラス転移温度(すなわち、 T_g)は電気泳動装置の最低動作温度よりも低く、好ましくは 0 (すなわち、 $273 K$)よりも低く、より好ましくは -10 (すなわち、 $263 K$)よりも低く、さらに好ましくは -20 (すなわち、 $253 K$)よりも低く、特に好ましくは -40 (すなわち、 $233 K$)よりも低い。出願人は、実施形態において固体ポリマーをその T_g よりも高い温度、好ましくは T_g よりも $10 \sim 20$ 高い温度で使用することにより、熱光学係数が通常 $-3.0 \times 10^{-4} / K \sim -5.5 \times 10^{-4} / K$ の範囲内となり、懸濁流体と一致させることができることを見出した。30

【0096】

光学用途の光学ポリマーは、一般的に(すなわち、従来技術において) T_g 未満で使用され、熱光学係数は、表1に示すとおり、約 $-0.8 \times 10^{-4} / K \sim -1.6 \times 10^{-4} / K$ の範囲である。表1に示す光透過性ポリマーの T_g は 20 超であり、 T_g 未満の温度域の熱光学係数を懸濁流体と一致させることができないため、実施形態には適さない。例えば、屈折率を一致させた(すなわち、 $n_{D20} = 1.490$)PMMA製の非平面状固体ポリマーおよび懸濁流体(I sopar M+o-キシレン)に係る前述の比較試験において、PMMAの $d n / d T$ は $-1.1 \times 10^{-4} / K$ (表1を参照)、I sopar Mの $d n / d T$ は $-4.1 \times 10^{-4} / K$ 、o-キシレンの $d n / d T$ は $-5.0 \times 10^{-4} / K$ である。そして、得られた懸濁流体の $d n / d T$ は約 $-4.8 \times 10^{-4} / K$ であったため、熱光学係数の不一致の大きさは $3.7 \times 10^{-4} / K$ である。 $d n / d T$ がこのレベルで不一致であると、 10 超では屈折率の不一致が 0.0037 となって認知可能なヘイズ上昇が生じ; 15 超では不一致が 0.0056 (すなわち、 0.0037×15)となって顕著なヘイズ上昇が生じ; 30 超では不一致が 0.011 となって不快なヘイズが生じ; 50 超では不一致が 0.0185 となって外観が白濁化または半透明となってしまう。40

【0097】

表1において、PMMAは、ポリメチルメタクリレート($T_g = 110$)であり; PC(BPA)は、ポリカーボネートビスフェノールA($T_g = 147$)であり; PC(CR-39)は、ポリカーボネート(ポリアリルジグリコールカーボネート($T_g = 85$ 50

)) であり ; P A は、透明ポリアミド ($T_g = 140$) であり ; C O P は、シクロオレフィンポリマー ($T_g = 138$) であり ; P M P は、ポリメチルペンテン ($T_g = 22$) であり ; S A N は、スチレンアクリルニトリル ($T_g = 105$) であり ; C Y T O P (www.A G C . c o m を参照) は、非晶性フルオロポリマー ($T_g = 108$) であり ; テフロン A F (www.D u p o n t . c o m を参照) も非晶性フルオロポリマー ($T_g = 160$) である。また、 $n_{D_{20}}$ は、20、波長 589.3 nm における屈折率であり、E はヤング率、 T_s は最大サービス温度である。

【0098】

下記表(すなわち、表1～6)に示すデータは、複数のソースから収集したもの(入手可能な場合)あるいは出願人が測定したものであり、実施形態の特徴を明らかにするものである。屈折率の測定はアッペル折計を使用して行った。好適な測定装置は、N A R - 2 T (測定温度範囲 = 5 ~ 120)、N A R - 3 T (高精度液体・固体測定)、D R - M 2 (マルチ波長・アッペル数測定)などのモデルであり、www.a t a g o . n e t から入手できる。ある温度間隔 / 範囲の熱光学係数は、その間隔(例えば、5 K または 10 K の差の間隔)を画定する2点の温度における屈折率を測定し、その屈折率の差を温度差で除することにより算出することができる。この計算は、温度が一旦材料のガラス転移温度の両側約 20 K になると、温度と熱光学係数とが直線関係に近くなることに基づく。

【0099】

出願人は、光透過性ポリマーの、ガラス転移温度未満における熱光学係数(すなわち、1ケルビン当たりの温度変化に対する屈折率の変化の割合)は通常、表1に示すように、 $-0.8 \times 10^{-4} / K$ ~ $-1.6 \times 10^{-4} / K$ であり、これらの固体ポリマーは、動作温度範囲のこの部分(すなわち、温度 T_g)で懸濁流体と一致させることができないことを見出した。熱光学係数および T_g の上記関係は、表1に示すP M P により明らかである。すなわち、 T_g 未満では熱光学係数は $-1.9 \times 10^{-4} / K$ であるが、 T_g よりも約 10 ~ 20 高い温度では $-4.1 \times 10^{-4} / K$ となっている。

【0100】

表1とは対照的に、実施形態に好適な光透過性ポリマーの熱光学係数は $-2.25 \times 10^{-4} / K$ ~ $-5.5 \times 10^{-4} / K$ である。例をいくつか表2に示す。これらのポリマーは、表4と関連して後述する好適な懸濁流体などと一致させることができる。例えば、ポリメチルトリフルオロプロピルシロキサンとポリジフェニルシロキサンとのコポリマー(すなわち、P(M T F P S - c o - D P h S))を使用して、屈折率を表4に示すシリコーンオイル懸濁流体 P D M S ($n = 7$) と $n_{D_{25}}$ で一致させることができる(すなわち、1.396)。P(M T F P S - c o - D P h S)の $d n / d T$ は、架橋の程度または密度により $-4.5 \times 10^{-4} / K$ となるように選択される(表2を参照)。P D M S ($n = 7$)の $d n / d T$ は $-4.88 \times 10^{-4} / K$ であり、熱光学係数の不一致の大きさは $0.38 \times 10^{-4} / K$ (すなわち、 $4.88 - 4.5 \times 10^{-4} / K$)となる。 $d n / d T$ の不一致がこのレベルであると、15 超で屈折率の不一致は 0.00057(すなわち、 0.000038×15)でありハイズを認知することはできず；30 超では屈折率の不一致は 0.0011 であり同様にハイズを認知することはできず；50 超では屈折率の不一致は 0.0019 であり同様にハイズを認知することができないか、観測者が解像可能なハイズ差の限界値である。

【0101】

実施形態に使用するための表2に示す光透過性ポリマー例はエラストマー性かつ非晶性であり、 T_g は実施形態の動作温度範囲未満である。表2において、P D M S は架橋ポリジメチルシロキサンであり、光透過性のエラストマーである。P D M S の T_g は -100 ~ -125 の範囲であり、実施形態の動作温度範囲よりも十分低い。そのため、P D M S エラストマーは実施形態の動作温度範囲において線形性の熱光学係数を有し、エラストマーの架橋密度(程度またはレベル)を変えることにより、熱光学係数を $-3.0 \times 10^{-4} / K$ ~ $-5.1 \times 10^{-4} / K$ の範囲から選択することができる。S y l g a r d - 184 は、d o w c o r n i n g . c o m から2液キットとして入手可能な市販のポリ

10

20

30

40

50

シロキサンエラストマーブレポリマーである。推奨の 10 : 1 で混合すると、得られる架橋固体ポリマーは光透過性であり、その熱光学係数は $-4.5 \times 10^{-4} / K$ 、Tg は -115 である。Sylgard-184 は、白金触媒による付加硬化型架橋を使用する（後述）。

【0102】

PMTFPS は、架橋ポリメチルトリフルオロプロピルシロキサンであり、これはフッ素化シロキサン（フッ素含有ポリシロキサンと同義）である。実施形態では、PMTFPS の Tg は -65 ~ -75 の範囲であり、また、熱光学係数は $-3.25 \times 10^{-4} / K \sim -5.0 \times 10^{-4} / K$ の範囲であり、これは、架橋度を調節して選択することができる。表 2 に、メチルトリフルオロプロピルシロキサン (MTPS) の繰り返し単位を含む架橋コポリマーであって、コポリマーの屈折率は他方の繰り返し単位のモル百分率に応じて高くすることができる以外は MTPS の繰り返し単位の特徴で占められている多くの架橋コポリマーを示す。これらのコポリマーは、Tg が -65 以下、熱光学係数が $-3.25 \times 10^{-4} / K \sim -5.0 \times 10^{-4} / K$ の範囲であり、熱光学係数は架橋度を調節して選択することができる光透過性エラストマーである。P(MTPS-co-DMS) は、メチルトリフルオロプロピルシロキサンおよびジメチルシロキサンの繰り返し単位のコポリマーであり；P(MTPS-co-MPHS) は、メチルトリフルオロプロピルシロキサンとメチルフェニルシロキサンとのコポリマーであり；P(MTPS-co-DPHS) は、メチルトリフルオロプロピルシロキサンとジフェニルシロキサンとのコポリマーである。

10

20

【0103】

懸濁流体の一部または全部として使用可能ないくつかの流体の熱光学係数を表 3 および表 4 に示す。表 3 に示す流体例は実施形態に対する適合性が制限されており、使用する場合は懸濁流体の少量成分とする。流体の熱光学係数をエラストマー性固体ポリマーと一致させることに関して、表 3 には、熱光学係数が $-3.5 \times 10^{-4} / K \sim -5.5 \times 10^{-4} / K$ の範囲である流体の例がいくつか示されており、一致させることができる。例えば、n-デカン（直鎖アルカン）の熱光学係数は $-4.5 \times 10^{-4} / K$ 、屈折率 ($n_D @ 25$) は 1.4097 であり、屈折率および熱光学係数の両方を、Sylgard-184 ($n_{D25} = 1.4118$ 、 $d n / d T = -4.5 \times 10^{-4} / K$) などのエラストマー性 PDMs と一致させることができる。しかしながら、後述するように、動作温度範囲において懸濁流体がエラストマー性の固体ポリマーを顕著に膨潤させないという実施形態の要件は、n-デカンとエラストマー性の PDMs 製固体ポリマーとの組み合わせでは満たすことができない。さらに、n-デカンのサービス温度範囲は制限されている（表 3 の T ハーピスの欄を参照）。流体内でワックスの結晶化が起こるため最低温度は約 -10 だからである。

30

【0104】

表 3 からの他の例として、光学流体 50350 (www.cargill.com から入手可能) の熱光学係数は約 $-4.1 \times 10^{-4} / K$ 、屈折率 ($n_D @ 25$) は 1.4587 であるため、屈折率および熱光学係数をポリマー PMP と Tg よりも十分高い温度で一致させることができる（表 1 を参照 ($n_{D20} = 1.460$ 、 $d n / d T = -4.1 \times 10^{-4} / K > > Tg$)）。しかしながら、Tg 未満の場合、十分に一致させることができず、動作温度範囲が不当に制限される。さらに、PMP は高温で光学流体 50350（アルカンのブレンド）により顕著に膨潤し、装置の故障につながる可能性がある。

40

【0105】

表 4 に実施形態に好適な光透過性流体のいくつかの例を示す。懸濁流体の主要成分として好適なものもあれば、得られる電気泳動インクの 1 つ以上の特徴または性質を向上させるためにブレンドされる少量成分として好適なものもある。例えば、超高分子量直鎖ポリマーを低粘度流体に少量ブレンドして帶電粒子の安定性を向上させることができている。本例において、PDMs はポリジメチルシロキサンのポリマー流体であって、無視できる程度に架橋しており、表 4 に繰り返し単位数（概算）を示す。P(DMS-co-DP)

50

h S) はジメチルシロキサンとジフェニルシロキサンとのコポリマーであるポリマー流体であり、ジフェニルシロキサンは懸濁流体の屈折率の向上に有用である。実施形態の懸濁流体に使用するための他のジメチルシロキサンコポリマーには、メチルフェニルシロキサンとのコポリマー、ジエチルシロキサンなどの直鎖側基を有するシロキサンとのコポリマー、分岐側基を有するシロキサンとのコポリマーが含まれる。示したポリマー性シロキサン流体は、多くのメーカー（例えば、www.dowcorning.com、www.shin-etsu.com、www.wacker.com）から入手できる。表4は、ポリジメチルシロキサン流体の熱光学係数はポリマーの繰り返し単位数に依存し、 $n = 1$ の約 $-5.54 \times 10^{-4} / K$ から、 $n = 5$ の $-4.78 \times 10^{-4} / K$ 、 $n = 50$ の $-4.37 \times 10^{-4} / K$ へ減少することを示している。

10

【0106】

脂肪族炭化水素（アルカンとしても知られている）系のIsoparシリーズ（www.exxonmobilchemical.comから入手可能）は実施形態に好適であり、電気泳動ディスプレイ装置の従来技術で知られている。しかしながら、実施形態では、懸濁流体の屈折率を高くする従来技術とは異なり、電気泳動セル内の非平面状エレメント（構造体）を構成する固体ポリマーエレメントの屈折率を低減させて脂肪族炭化水素流体の屈折率と一致させる。そして、懸濁流体および固体ポリマーの組み合わせは、動作温度範囲において互いに不溶であることが要求される。これら要件は後でより詳しく説明する。脂肪族炭化水素系のShell solシリーズ（www.shell.com/chemicalsから入手可能）は、Isoparシリーズとは異なるアルカンブレンドである。

20

【0107】

出願人は、25°の粘度が同じ場合、アルカンの熱光学係数は、対応するポリシロキサン流体よりもわずかに低いことを見出した。例えば、Shell sol-Tの動粘度は1.9 cSt、熱光学係数は $-4.9 \times 10^{-4} / K$ であるのに対して、PDMS ($n = 3$) の粘度は2.0 cSt、熱光学係数は $-5.47 \times 10^{-4} / K$ である。しかしながら、アルカンはPDMS流体よりもかなり高い屈折率を有し、各PDMS流体の屈折率が1.391であるのに対して、1.423である。

【0108】

表4に示す任意の光透過性流体を主要流体（すなわち、純粋な流体）として使用するかあるいはブレンドして、実施形態のエラストマー性・非平面状固体ポリマーと屈折率および熱光学係数を一致させることができる。例えば、PDMS ($n = 1$) 流体はエラストマー性PMTPS（ポリメチルトリフルオロプロピルシロキサン）と一致しており、屈折率はそれぞれ1.382、熱光学係数はそれぞれ $-5.5 \times 10^{-4} / K$ および約 $-4.5 \times 10^{-4} / K$ （平均的な架橋または低架橋の場合）である。他の例では、PDMS ($n = 3$) 流体は、エラストマー性コポリマーP(MT FPS-co-DMS)と、MT FPS：約35モル%で一致する。表2の他の全てのコポリマーとは異なり、MT FPSのモル%を変えても得られる屈折率がわずかに変化するだけであり、最大値約1.394に限定される。表2に示されるように、PDMS ($n = 26$) 流体は、エラストマー性コポリマーP(MT FPS-co-MPhS)と、MT FPS：約86モル%で一致させることができ、屈折率はそれぞれ1.400、熱光学係数はそれぞれ $-4.71 \times 10^{-4} / K$ 、約 $-4.5 \times 10^{-4} / K$ である。コポリマーのMT FPS成分のモル%が減少するにつれて、屈折率が約45%で最大1.459まで上昇する。同様に、PDMS ($n = 79$) 流体は、P(MT FPS-co-DPhS)と、MT FPS：約92.5モル%で一致させることができ、1.459の最大屈折率は約70モル%に相当する。

30

【0109】

これらの実施形態の例において、PMTPSエラストマーおよびそのコポリマーは、広い動作温度範囲においてPDMS流体に不溶なフッ素化シロキサン固体ポリマーである。他の実施形態では、上記光透過性フッ素化エラストマーコポリマーを使用してIsopar MやShell sol-Tなどのアルカンと屈折率および熱光学係数を一致させる

40

50

ことができる事が理解されよう。

【0110】

【表1】

表1：実施形態に適さない光学ポリマー例

| 光学 ポリマー | dn/dT ($\times 10^{-4}/K$) | Tg (°C) | $n_p @20°C$ | アッベ数 (v_d) | E (MPa) | 硬度 (ショアD) | T_s (°C) |
|------------|-----------------------------------|------------|-------------|-------------------|------------|--------------|---------------|
| PMMA | -1.1 | 110 | 1.490 | 53~57 | 2,500 | 92 | 80~85 |
| PC (BPA) | -1.4 | 147 | 1.586 | 30~34 | 2,400 | 90 | 116~120 |
| PC (CR-39) | -1.43 | 85 | 1.504 | 56~59 | 3,000 | 88 | 95~100 |
| PA | -1.6 | 140 | 1.516 | 52 | 1,400 | 81 | 100~105 |
| COP | -1.1 | 138 | 1.525 | 56 | 2,400 | 90 | 103~108 |
| PMP | -1.9 (<Tg) -4.1 (>>Tg) | 22 | 1.46 | 52 | 1,900 | 90 | 144~149 |
| SAN | -1.1 | 105 | 1.567 | 34.8 | 3,600 | 85 | 75~85 |
| CYTOP | -0.8 | 108 | 1.34 | 90 | 1500 | 81 | |
| テフロン AF | -0.9 | 160 | 1.31 | 92 | 1800 | 75 | |

10

20

【0111】

【表2】

表2：実施形態に使用するための光透過性エラストマー例

| 光学 ポリマー | dn/dT ($\times 10^{-4}/K$) | Tg (°C) | n_p @25°C | アッペ数 (V_d) | E (MPa) | 硬度 (シヨア A) | T _s (°C) |
|------------------------------------|-----------------------------------|---------------|-----------------|-------------------|-------------|------------------|------------------------|
| PDMS | -3.0～ -5.1 | -100～ -125 | 1.395～ 1.42 | 44～50 | 2～3 | 25～75 | 200 |
| Sylgard-184 (10:1) | -4.5 | -115 | 1.4118 | 44 | 2.66 | 48 | 200 |
| PMTFPS | -3.25～ -5.0 | -65～ -75 | 1.382 | 45～50 | 0.5～ 6.2 | 20～80 | 200～230 |
| P(MTFPS- co-DMS) | -3.25～ -5.0 | -65～ -75 | 1.382～ 1.394 | 45～50 | 0.5～ 6.2 | 20～80 | 200～230 |
| P(MTFPS- co-MPhS) | -3.25～ -5.0 | -65～ -75 | 1.382～ 1.459 | 42～50 | 0.5～ 6.2 | 20～80 | 200～230 |
| P(MTFPS- co-MPhS) (86:14) | -3.25～ -5.0 | -65～ -75 | 1.400 | 45～50 | 0.5～ 6.2 | 20～80 | 200～230 |
| P(MTFPS- co-DPhS) | -3.25～ -5.0 | -65～ -75 | 1.382～ 1.459 | 40～50 | 0.5～ 6.2 | 20～80 | 200～230 |
| P(MTFPS- co-DPhS) (92.5:7.5) | -3.25～ -5.0 | -65～ -75 | 1.403 | 45～50 | 0.5～ 6.2 | 20～80 | 200～230 |

10

20

30

【0112】

【表3】

表3：流体ブレンドに使用しない場合実施形態に対する適合性が制限されている光透過性
流体例

| 光学流体 | $\frac{dn}{dT} \times 10^{-4}/K$ | $n_p @ 25^\circ C$ | アッベ数 (v_d) | $T_{\text{流動点}} (^\circ C)$ | $T_{\text{沸点}} (^\circ C)$ | $T_{\text{サービス}} (^\circ C)$ | 粘度 ($-25^\circ C$) cSt | 粘度 ($25^\circ C$) cSt | 粘度 ($75^\circ C$) cSt |
|----------------------------|----------------------------------|--------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| テトラクロローエチレン | -6.1 | 1.502 | 38.6 | -22 | 121 | -10～約80 | 半固体 | 0.52 | 約0.35 |
| トルエン | -5.68 | 1.496 | 31 | -95 | 111 | -60～約75 | 約1.03 | 0.63 | 0.40 |
| シクロヘキサン C_6H_{12} | -5.56 | 1.427 | 56.5 | 6.5 | 81 | 10～約50 | 半固体 | 1.16 | 約0.62 |
| m-キシリソ | -5.00 | 1.495 | 31.6 | -48 | 139 | -30～約90 | 約1.13 | 0.69 | 約0.44 |
| 50350 (アルカン) | -3.9～ -4.2 | 1.4587 | 56.7 | -7 | 262 | | 半固体 | 19 | 約4 |
| P(DMS-co-DPhS) | -4.36 | 1.505 | 37.5 | -30 | >300 | -30～ 250 | 約24,800 | 450 | 約75 |
| PMTFPS | -4.1 | 1.382 | 42.4 | -47 | >300 | -40～ 200 | 約10,500 | 300 | 約50 |
| FC-43 $(C_{12}F_{27}N)$ | -3.8 | 1.291 | 約100 | -50 | 174 | -30～ 120 | 約40 | 2.5 | 約0.75 |
| n-オクタソ | -4.7 | 1.395 | 約60 | -57 | 125 | -30～ 85 | | 0.7 | |
| トリメチル一ペンタン C_8H_{18} | -4.2 | 1.389 | 約60 | -107 | 98 | -40～ 65 | | 0.7 | |
| n-デカン $C_{10}H_{22}$ | -4.5 | 1.4097 | 59.6 | -30 | 174 | -10～ 115 | | 1.2 | |
| n-ドデカソ $C_{12}H_{26}$ | -4.3 | 1.4194 | 59.3 | -9 | 215 | 0～130 | 半固体 | 1.84 | 約0.95 |

10

20

30

【0113】

【表4】

表4：実施形態に好適な光透過性流体例

| 光学流体 | $dn/dT \times 10^{-4}/K$ | $n_p@25^\circ C$ | アッペ 数 (V_d) | $T_{\text{流动点}} (^\circ C)$ | $T_{\text{沸点}} (^\circ C)$ | $T_s (^\circ C)$ | 粘度 (-25°C) cSt | 粘度 (25°C) cSt | 粘度 (75°C) cSt |
|--------------------|--------------------------|------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| シリコサン: | | | | | | | | | |
| PDMS (n=1) | -5.54 | 1.382 | 41~42 | -85 | 153 | -50~100 | 3 | 1.0 | 約 0.5 |
| PDMS (n=3) | -5.47 | 1.391 | 41~42 | -80 | 229 | -50~150 | 約 7 | 2.0 | 約 0.9 |
| PDMS (n 約 7) | -4.88 | 1.396 | 41~42 | -65 | >300 | -40~150 | 約 17 | 5.0 | 約 2.1 |
| PDMS (n 約 15) | -4.78 | 1.399 | 41~42 | -60 | >300 | -40~150 | 約 37 | 10 | 約 4.2 |
| PDMS (n 約 26) | -4.71 | 1.400 | 41~42 | -60 | >300 | -40~150 | 約 62 | 20 | 約 9 |
| PDMS (n 約 38) | -4.49 | 1.401 | 41~42 | -50 | >300 | -40~150 | 約 98 | 30 | 約 13 |
| PDMS (n 約 50) | -4.37 | 1.402 | 41~42 | -50 | >300 | -40~150 | 約 164 | 50 | 約 23 |
| PDMS (n 約 79) | -4.34 | 1.403 | 41~42 | -50 | >300 | -40~150 | 約 324 | 100 | 約 43 |
| PDMS (n 約 126) | -4.34 | 1.403 | 41~42 | -50 | >300 | -40~150 | 約 650 | 200 | 約 87 |
| PDMS (n 約 232) | -4.34 | 1.403 | 41~42 | -50 | >300 | -40~150 | 約 1,650 | 500 | 約 217 |
| PDMS (n 約 377) | -4.29 | 1.403 | 41~42 | -50 | >300 | -40~150 | 約 3,400 | 1,000 | 約 430 |
| PDMS (n 約 846) | -4.29 | 1.403 | 41~42 | -50 | >300 | -40~150 | 約 34,100 | 10,000 | 約 4,300 |
| P(DMS-co-DP hS) | -4.66 | 1.425 | 40.5 | -65 | >300 | -60~200 | 約 435 | 100 | 約 40 |
| P(ジエチル -シリコサン) | -4.75 | 1.437 | 42~43 | -110 | >300 | -60~200 | 約 37 | 10 | 約 4.2 |
| アルカン | | | | | | | | | |
| Isopar M | -4.1 | 1.436 | 約 58 | -57 | 202+ | -40~130 | 約 21 | 3.25 | 約 1.25 |
| ShellSol T | -4.9 | 1.423 | 約 58 | -50 | 175+ | -40~110 | 約 7.5 | 1.9 | 約 0.95 |
| ShellSol TD | -4.8 | 1.418 | 約 58 | -50 | 172+ | -40~110 | 約 4.0 | 1.6 | 約 0.81 |

【0114】

他の様において、非平面状固体ポリマーエレメント(808)および懸濁流体(820)の色分散を、人間の目の約最小解像度または最小解像度未満となるように一致させ、それぞれの色分散をアッペ数 V_d で表したとき、両者の V_d は39以上である。アッペ数で表した人間の目の最小解像度は約43から47であり、これよりも高いアッペ数は、人間の目の明順能視(つまり、比視感度)を考慮して目が感知できる色分散よりも色分散が小さいことに相当する。好ましくは、実施形態では、非平面状固体ポリマーエレメントおよび懸濁流体の両材料のアッペ数は42よりも大きく、特に好ましくは43よりも大きい。

【0115】

両材料(すなわち、固体ポリマーおよび懸濁流体の)のアッペ数が目の色分散解像限界(同様にアッペ数で表す)を超えると、 V_d の如何なる不一致も感知することはできない。いくつかの実施形態では、上記材料の一方または両方のアッペ数は目の色分散解像限界未満とされ得、かかる実施形態では、最も小さいアッペ数を有する材料を、他方の材料の V_d または目の最少解像 V_d のいずれか小さい方との差が8未満、より好ましくは5未満、特に好ましくは3未満となるように一致させる。

10

20

30

40

50

【0116】

例えば、P MMA 製の非平面状固体ポリマーおよび懸濁流体 (Isopar M および o - キシレンの 18 : 82 (質量比) ブレンド) に関する前述の比較試験において、両者は $n_{D_{20}}$ で屈折率が一致している (すなわち、屈折率: 1.490 @ 589.3 nm, 20)。P MMA のアッベ数は 53 ~ 57 (表 1 を参照) であるため、その色分散は目で解像できない。Isopar M のアッベ数は約 58 であり、o - キシレンのアッベ数は約 31.6 である。ここで、o - キシレンは懸濁流体の主要成分 (82 質量 %) である。そのため、懸濁流体のアッベ数は約 35 となり、懸濁流体および非平面状固体ポリマーのアッベ数が著しく相違し、感知可能な着色ヘイズが生じる場合がある。このレベルの色分散の不一致は、目の解像限界において約 12 の V_d 不一致 (すなわち、47 (目) マイナス 35 (流体)) を生じさせ、裸蛍光灯を見る際、光量レベルが著しく低い側から装置を通して明るく照らされた場所を見る際、または、明るく照らされた物体を鋭角で見る際に、カラーフリンジ効果 (つまり、光輪) として目立つ。10

【0117】

前述したとおり、芳香族分 (すなわち、アリール置換基) が顕著な色分散を生じさせ、先の例では o - キシレン成分のために懸濁流体のアッベ数が 39 未満となったものと考えられる。出願人は、固体ポリマーまたは懸濁流体の一方が芳香族分を顕著に含有することにより、望ましくない色分散が生じることを見出した。表 1 および表 2 の芳香族分を含む 2 つの固体ポリマーである、PC (BPA) および SAN は、アッベ数が 39 未満である (表 1 および表 2 における) 唯一のポリマーである。同様に、表 3 および表 4 において芳香族分を顕著に含む懸濁流体である、トルエン、m - キシレン、および、P (DMS - c o - DP HS) は、アッベ数が 39 未満である。表 3 および表 4 の純粹なアルカンは全て、アッベ数が目の解像度よりも高い (> 47)。テトラクロロエチレン ($V_d = 38.6$) は、塩素分も材料のアッベ数を低減し得ることを示している。芳香族分を顕著に含む材料の更なる例としては、トルエン ($V_d = 31$)、イソブチルベンゼン ($V_d = 35$)、テトラヒドロナフタレン ($V_d = 34$) などの流体や、光学ポリマーであるポリスチレン ($V_d = 29$) が挙げられる。20

【0118】

アッベ数 39 を超えるように材料を別個に選択することは、表 1 ~ 4 で当該要件を満たす数多くの材料に示されるように、難しくはない。しかしながら、実施形態において非平面状固体ポリマーおよび懸濁流体を別個に (すなわち、お互いを参照せずに) 選択することはできず、非平面状固体ポリマーおよび懸濁流体は、屈折率が一致する材料のペアとして選択される。従来技術では、懸濁流体の屈折率を高くして固体ポリマーと一致させていたり、多量の芳香族分を流体に添加するため、アッベ数を前述の Isopar M + o - キシレンの流体例と同程度の 39 未満に低減させてしまう。実施形態では、固体ポリマーおよび懸濁流体のペアの芳香族分は、各材料のアッベ数が 39 以上となるように最小限とされる。芳香族分 (そして、色分散) を最小限とするために、非平面状固体ポリマーの屈折率を低減して、アルカンやシリコーンオイルなどの芳香族分を殆どまたは全く含まない懸濁流体 (表 4 を参照) と一致させる。これらの流体は従来の光学ポリマーよりも屈折率が低く、実施形態では、当該光学ポリマーは屈折率の一一致をさせるために架橋ポリシロキサンまたはフッ素化ポリマーとすることが提案される。有利には、実施形態では、フッ素分の添加は屈折率を低下させ、かつ、色分散を低下させる (すなわち、アッベ数を上昇させる)。3040

【0119】

アッベ数 V_d は、光学材料の色分散 (すなわち、材料の屈折率の波長依存性) の有用な尺度であり下記式で求められる。

【0120】

$$V_d = (n_D - 1) / (n_F - n_C)$$

式中、 n_D 、 n_F 、 n_C は、それぞれ、フラウンホーファーの D 線、F 線、C 線の波長 (すなわち、それぞれ、589.3 nm、486.1 nm、656.3 nm) における光50

学材料の屈折率である。様々なスペクトル線における他のアッベ数の式でも同様な結果が得られる(www.wikipedia.orgのアッベ数のエントリーを参照)。実施形態では、可視光スペクトル内の2つ以上のスペクトル線の屈折率を使用した任意の式を色分散の等価な尺度として使用することが可能であり、また、光学装置で広く使用されているため本願明細書ではアッベ数 V_d を使用していることが理解されよう。さらに、本願明細書に記載する実施形態のアッベ数の許容限度は、人間の目の明順能視(つまり、比視感度)を考慮する。人間の目は、黄色のヘイズよりも青色のヘイズに対する感度が遙かに低いからである(www.wikipedia.orgの「比視感度(luminosity function)」を参照)。材料の屈折率の波長依存性は、スペクトル線において直接測定することが可能であり、あるいは、コーチー方程式またはセルマイヤー方程式などの経験式の係数により定量化することができる(www.wikipedia.orgの関連エントリーを参照)。

【0121】

表5は、直鎖アルカンの懸濁流体であるn-ドデカンの様々なスペクトル線における屈折率を、各スペクトル線の熱光学係数と共に示す。アッベ数 V_e は5.9であり、 V_d と同程度である。表5に示す色分散レベルは、目の比視感度のため目の最小解像度未満である。懸濁流体および非平面状固体ポリマーの屈折率が $n_{598.3}$ で一致していると仮定すると、 $n_{643.8}$ と $n_{436.1}$ との間の屈折率の >0.01 の不一致は容易にはわからないが、 $n_{598.3}$ において懸濁流体および非平面状固体ポリマーの屈折率がこのレベルで不一致であると、感知可能なヘイズが発生し得る。可視光波長に対する熱光学係数の大きさのバラツキは小さいことと、このバラツキは、実施形態では、動作温度範囲において色分散に特に影響がないことがわかる。有利には、この結果は、表4に示す流体を含む、実施形態に使用する他の好適な流体にも当てはまる。

【0122】

【表5】

表5：n-ドデカンの色分散および熱光学係数

| 波長 (nm) | 436.1 (25°C) | 480.0 (25°C) | 546.1 (25°C) | 589.3 (25°C) | 643.8 (25°C) | 657.2 (25°C) |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 屈折率 (n) | 1.4287 | 1.4248 | 1.4212 | 1.4194 | 1.4177 | 1.4173 |
| dn/dT (x 10 ⁻⁴ /K) | -4.45 | -4.40 | -4.36 | -4.34 | -4.33 | -4.35 |

【0123】

他の態様では、いくつかの実施形態において、25における波長589.3 nm(すなわち、 n_{D25})の光に対する非平面状固体ポリマー(808)および懸濁流体(820)の一致させた屈折率は、1.460未満であり、好ましくは1.445未満であり、より好ましくは1.434未満であり、特に好ましくは1.426未満である。マッチングした材料ペア(すなわち、非平面状固体ポリマーおよび懸濁流体)の屈折率が低いことは従来技術と対照的であり、実施形態において固体ポリマーの屈折率を如何に低減してアルカンやシロキサンなどの低屈折懸濁流体(表4を参照)と一致させるかを実証している。いくつかの実施形態では、非平面状固体ポリマーの屈折率を低減させる手段としてフッ素化固体ポリマーを使用する。光透過状態(すなわち、鏡面反射光を無視できるレベルのヘイズで透過する光状態)の実施形態では、低屈折懸濁流体を使用し、かつ、固体ポリマーの屈折率をこれと一致させると下記のような多くの利点がもたらされる。

【0124】

- 流体に接触している非平面状固体ポリマーの当該流体による溶解が最小限となること

10

20

30

40

50

- フッ素化（部分フッ素化と同義）ポリマーを非平面状エレメントに使用することができること

- 動作温度範囲の拡大、光安定性の向上、および、熱光学係数の一一致（前述の熱光学係数の考察を参照）の向上を図るために容易にシロキサン主鎖を固体ポリマーに使用することできること

- 流体および固体ポリマーの芳香族分が最小限とされるかまたは除去されること（前述の色分散の考察を参照）

【0125】

表2に、実施形態の非平面状固体ポリマーとして好適な光透過性エラストマーの一部の屈折率($n_{D_{25}}$)を示す。全ての光透過性エラストマーが屈折率1.46未満であり、上述のとおり、硬化させて1.426未満とすることができます。エラストマ-性ホモポリマーであるポリジメチルシロキサン(PDMS)およびポリメチルトリフルオロプロピルシロキサン(PMTFPS)の屈折率は、それぞれ、1.412および1.382において最も低い(PDMSの $n_{D_{25}}$ は架橋レベルおよび架橋鎖の選択に依存する)。いずれのポリマーも、1つまたは2つのフェニル置換基(すなわち、芳香族分)を有するシロキサンとのコポリマーにおける繰り返し単位として使用することが可能であるが、後者は、上述したとおり、得られるコポリマーの屈折率を僅かに上方調節して懸濁流体(これもまた低屈折材料である)の屈折率と一致させるために使用される。しかしながら、PMTFPSおよびそのコポリマーなどのフッ素化シロキサンだけが、表4に示す懸濁流体による膨潤に対する化学耐性を有する(後述)。

10

【0126】

(屈折率を高くするために)コポリマーに芳香族分を添加する方法の代替法として、メチルトリフルオロプロピルシロキサンとのコポリマーにおいて、他方のシロキサンにメチルアルキルシロキサンを組み込むことができる。より長鎖の脂肪族置換基は(置換するメチル基と比較して)追加された炭化水素分に比例して屈折率を上昇させる。好適な繰り返し単位としては、メチルオクチルシロキサン(この部分の $n_{D_{25}} = 1.445$)、メチルヘキサデシルシロキサン($n_{D_{25}} = 1.451$)、および、メチルテトラデシルシロキサン($n_{D_{25}} = 1.455$)が挙げられる。類似の代替法では、他方のシロキサンは、重合性モノメタアクリルオキシプロピル置換基でメチル基を置換させることができ、追加されたメタアクリレート官能基は、得られるコポリマーの屈折率を上昇させ、かつ、架橋部位を提供する(後者は後述する)。

20

【0127】

メチルトリフルオロプロピルシロキサン-ジフェニルシロキサンコポリマー(すなわち、P(MTFPS-co-DPhS))またはメチルトリフルオロプロピルシロキサン-メチルフェニルシロキサンコポリマー(すなわち、P(MTFPS-co-MPhS))の形態のフッ素化シロキサンが好ましい。前者において、コポリマー中のジフェニルシロキサン繰り返し単位のモル百分率(通常、10%未満)は、表4に示すPDMS流体の屈折率と一致させるために容易に調整することができる。有利には、いくつかの実施形態では、フェニル基のモル百分率は、低温特性を向上させるために十分高いが(>3%)、機械特性への影響を回避するために十分低い(<10%)。さらに、非平面状固体ポリマーの芳香族分は、PDMS懸濁流体の屈折率と一致させる際に得られるアップ数が約45以上となるように十分低い。

30

【0128】

固体ポリマーエレメントおよび懸濁流体の屈折率を、差が0.0075未満となるように、好ましくは0.005未満となるように、より好ましくは0.0035未満となるように、特に好ましくは0.002未満となるように、温度範囲の中間点で一致させる。好ましくは、実施形態では、屈折率を一致させる基準温度として選択される温度(必ずしも25である必要はない)は、ある用途または気候の最も使用される温度の中間点である。あるいは、基準温度は動作温度範囲の中間点とすることができます。上述のように熱光学係数を一致させることにより、(基準温度で一致させた)屈折率の一一致が、動作温度範囲

40

50

において、許容可能な屈折率範囲内に維持される。

【0129】

他の態様において、懸濁流体(820)および非平面状固体ポリマー(808)の組み合わせには、有機シリコーンおよび／または脂肪族炭化水素の懸濁流体、および、フッ素化エラストマー性・非平面状ポリマーが含まれる。非平面状ポリマー(808)は、フッ素化エラストマー性材料を使用することにより、懸濁流体(820)による膨潤に対する実質的な化学耐性を達成する。膨潤は、装置の動作温度範囲で15%未満であり、好ましくは10%未満であり、より好ましくは5%未満であり、さらに好ましくは2%未満であり、特に好ましくは1%未満である。

【0130】

いくつかの実施形態では、電気泳動装置は、第1の電極と、当該第1の電極から離間した第2の電極と、前記電極間に配置された、電気泳動インクおよび1つ以上の非平面状固体ポリマーエレメントを含む電気泳動セルとを含み、前記インクは、光透過性の懸濁流体に懸濁された少なくとも1種の帶電粒子を含み、前記懸濁流体の75質量%以上は有機シリコーンおよび／または脂肪族炭化水素であり、前記固体ポリマーはフッ素化エラストマー性ポリマーである。

【0131】

いくつかの実施形態では、懸濁流体および非平面状固体ポリマーの組み合わせは、有機シリコーン(ポリジメチルシロキサン、ポリジエチルシロキサン、ポリメチルアルキルシロキサン)の1つ以上、または、脂肪族炭化水素(石油製品由来の直鎖、分岐または環状アルカン)の1つ以上を含み、固体ポリマーはフルオロシリコーンまたはフルオロシリコーン含有コポリマーである。いくつかの実施形態では、フルオロシリコーンエラストマーは、10モル%を超える、好ましくは20モル%を超える、特に好ましくは25モル%を超えるメチルトリフルオロプロピルシロキサンを含む。いくつかの実施形態では、フルオロシリコーンエラストマーは、メチルトリフルオロプロピルシロキサン、ジフェニルシロキサン(またはメチルフェニルシロキサン)、および、ジメチルシロキサンの繰り返し単位を組み込んだターポリマーである。

【0132】

表6は、好ましいエラストマーであるPMTFPSのハンセン溶解度パラメータ、および、ポリシロキサン懸濁流体およびアルカン懸濁流体に対するその相対エネルギー差(RED)比を示す。関連する理論、方程式、および、パラメータ測定方法は、「Hansen Solubility Parameters - A User's Handbook」と題された書籍(Charles M. Hansen, 2007, CRC Press.)に見出すことができる。1.0よりも顯著に低いRED比は、流体による固体ポリマーのかなりの膨潤(すなわち、化学親和性)を示し；1.0のRED比は、流体が僅かに溶解能または膨潤能(境界の親和性)を有することを示し；1.0よりも顯著に大きいRED比は、溶解能または膨潤能がないこと(化学親和性なし)を示す。表6は、実施形態に好適な材料の組み合わせの例と、その全てのRED比が、平衡状態において(すなわち、時間に関係なく)固体ポリマーおよび流体の間で膨潤がないこと(親和性がないこと)を示している。PMTFPSエラストマーのPDMS流体(2cSt)との組み合わせのRED比は1.33であり；PDMS流体(100cSt)との組み合わせのRED比は1.27であり、3つのRED比は全ての1.0よりも顯著に大きい。

【0133】

10

20

30

40

【表6】

表6：実施形態に好適な組み合わせのハンセン溶解度パラメータ

| | 分散 (MPa ^{1/2}) | 極性 (MPa ^{1/2}) | 水素結合 (MPa ^{1/2}) | 相互作用 半径 | RED (PMTFPS+流体) |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------|--------------------|
| 固体ポリマー | | | | | |
| PMTFPS (エラストマー) | 15.9 | 20.1 | 6.9 | 16.8 | - |
| 流体との組み合 わせ | | | | | |
| PDMS (2cSt @ 25°C) | 12.4 | 0.0 | 0.0 | - | 1.332 |
| PDMS (100cSt @ 25°C) | 15.1 | 0.0 | 0.0 | - | 1.269 |
| Isopar M | 16.0 | 0.0 | 0.0 | - | 1.265 |

10

20

【0134】

有利には、実施形態では、熱光学係数を一致させることにより（前述）、熱膨張係数（CTE）も一致する。両者は以下のとおりローレンツ・ローレンツ方程式を介して関連しているからである。

【0135】

$$\frac{dn}{dT} = -f(n)\beta \quad (\text{式中、}\beta\text{は体積CTEである})$$

$$f(n) = (n^2 - 1)(n^2 + 2) / 6n \quad (\text{式中、}\text{n}\text{は}\text{n}_{D_{25}}\text{における屈折率である})$$

【0136】

30

材料ペアのCTE値が一致する結果、動作温度範囲のRED比の変化が表1の光学ポリマー（すなわち、硬いポリマー）を使用した場合と比較して著しく小さくなる。特に、PMTFPSエラストマーと低屈折率流体との間の極性溶解性パラメータの差が動作温度範囲で安定し続けるため、当該材料の間で化学親和性が無い状態が維持される。

【0137】

フッ素化シロキサンエラストマー（例えば、PMTFPS繰り返し単位）を有する実施形態では、CF₃部分が極性溶解度パラメータ、および、低屈折懸濁流体に対する非常に優れた化学耐性の大きく影響する。これに対して、PDMSエラストマーの極性溶解度パラメータは小さく、低屈折率流体に対して著しい親和性を有する。PDMSエラストマーのハンセン溶解度パラメータは、分散 = 13.8 (MPa^{1/2})、極性 = 5.0 (MPa^{1/2})、水素結合 = 1.2 (MPa^{1/2})、相互作用半径 = 14.3 である。PDMSエラストマーのIsopar Mに対するRED値は0.47であり、PDMS流体(100cSt)の場合0.40であり、PDMS流体(2cSt)の場合0.41である。これらのRED値は、これら3種類の流体はPDMSを25%において膨潤させ、その結果、これらの材料の組み合わせを実施形態で使用することはできないことを示す。

40

【0138】

フルオロシリコーンエラストマーがPDMS流体により高温下で膨潤しないことを実証する化学耐性試験において、フルオロシリコーンエラストマーFE-271-UをPDMSオイルKF-96-100cSt（両方ともwww.shinetsu.comから入手可能）に150℃で250時間浸漬させた。試験の最後（未だ温度は150℃ある）

50

における膨潤（すなわち、体積変化）の程度は、たった0.5%であった。これに対して、同じ流体に同じ時間・温度で浸漬したシリコーンエラストマーKE-951-Uは50%膨潤した。

【0139】

有利には、Oリング／シール産業で開発されているフルオロシリコーンエラストマー材料は、実施形態の非平面状固体ポリマーとして使用するためのエラストマーの化学耐性に関するさらなるバックグラウンドを提供している。Oリングで使用されるエラストマーには、溶融シリカおよび／または他の分散ハードフィラーおよび添加剤が充填され、外観が半透明（溶融シリカ充填）、黒色（カーボンブラック充填）、白色（TiO₂充填）、カラ－（顔料充填）となる。よって、Oリング／シール用途に製造された配合物（またはキット）は不均質であるため実施形態の非平面状ポリマーに使用することはできない。後者（非平面状ポリマー）は均一（すなわち、同じ材料からなる）である。さらに、Oリング用途の架橋硬化化学は一般的に過酸化水素フリーラジカル触媒システムであって、硬化の一部として揮発性物質を生成する。好ましい実施形態では、揮発性物質を生成しない白金触媒システムを使用する。フルオロシリコーンエラストマー性のOリングは、FVMQまたはFMQとして知られている（ISO1629またはASTM D 1418を参照）。フルオロシリコーンOリングの光学特性および機械特性はフィラー材料と周囲のフルオロシリコーンポリマーとの相互作用により支配されてはいるものの、流体に対する化学特性はほぼフルオロシリコーンポリマーのみに依存している。PMTFPSは、OリングではPDMSとのコポリマーに一般的に使用されている。FVMQエラストマー製Oリングで実証される化学耐性は、実施形態で使用する均質なフルオロシリコーンの耐性に対する有用な指針である。10

【0140】

ガソリンなどの石油製品との連続接触に対するフルオロシリコーンOリングの化学耐性は自動車産業および航空産業で証明されており、エラストマーでは最も広い動作温度範囲を示している。ASTM D 2000「自動車用途に使用される製品の標準分類」-2008では、試験用石油オイルIRM 903に150（試験オイルの最大温度）で70時間浸漬させたときの体積変化が10%未満（すなわち、膨潤が<10%）としてフルオロシリコーンOリング／シールを評価する。オイルIRM 903は、実施形態に好適な低屈折率流体よりも毒性が高く、オイルの屈折率は1.503、芳香族分は14%、ナフテン分は>40%、38における動粘度は32cStである。フルオロシリコーンOリングの低温耐性は-55に3分間置いた後に亀裂がないことで評価される（ASTM D2008-08の表6のFK材料を参照）。20

【0141】

航空エンジン用のフルオロシリコーンOリングの関連化学耐性試験では、コポリマーにおけるジメチルシロキサン（DMS）に対するメチルトリフルオロプロピルシロキサン（MTPFS）のモル百分率を変化させることにより、コポリマー組成の膨潤耐性への影響が示されている。コポリマーAはMTPFS:DMS比が20:80（モル%）であり、コポリマーBは50:50であり、コポリマーCは100:0である。航空燃料JP5(40)における粘度=~1.5cStは、コポリマーAを28%、コポリマーBを6%、コポリマーCを16%膨潤させた。航空油圧油Hydro1は、コポリマーAを43%、コポリマーBを28%、コポリマーCを6%膨潤させた。この例は、実施形態では、コポリマーとして使用する場合、PMTFPSのモル%の範囲について試験を行って、選択した懸濁流体（つまり電気泳動インク）との組み合わせに最適なレベルを同定することが有利であることを示している。30

【0142】

いくつかの実施形態では、電気泳動フィルム装置は、一対の接着剤層（例えば、EVA中間層）と一対のガラス板との間に積層されており、各接着剤層は各ガラス板の略全面を被覆し、かつ、前記電気泳動装置の対向面をガラス板の面に接着し、そして、電気泳動積層体はモノリスである。有利には、実施形態では、材料ペア（すなわち、エラストマー性

10

20

30

40

50

・非平面状固体ポリマーおよび懸濁流体)により付与される高温における膨潤耐性は、フィルム装置をガラスに積層することに適合している。中間層はポリビニルブチラール(PVB)、エチレン-ビニルアセテート(EVA)またはポリウレタン(PU)とすることができます、入射UV光の99%以上を吸収するUVフィルター機能を組み込むとよい。好ましくは、EVA中間層を使用する。最高加工温度が最も低く、また、PET基板に対する接着性が優れているからである。真空バッグガラス積層プロセスがオートクレーブよりも好ましい。本発明との併用に好適な中間層フィルムとしては、株式会社ブリヂストン(日本)のEVASAFE、および、積水(日本)のS-LECENが挙げられる。PETフィルムをガラスに積層するためのプロセスガイドラインは両メーカーから入手できる。ガラス積層プロセスの一部として、実施形態の装置は約105のピーク温度に10分間以上暴露されるが、本願明細書に記載の材料の組み合わせは膨潤が小さく(ほぼ無視できる)、装置をガラスへ積層することによる電気泳動セル性能の劣化もない。

【0143】

以下のセクションでは、広い動作温度範囲において電気泳動セル(809)内において相分離したままであり、かつ、適合性を維持する(すなわち、化学親和性がない)という要件を満たす、懸濁流体(820)および非平面状固体ポリマー(808)に好適な材料の選択について更に説明する。本記載は、一態様により限定/排除される場合以外は上述の4つ態様に共通するものである。便宜的に、本願明細書に記載した4つ態様を以下という:

- 材料ペアの熱光学係数を一致させること
- 材料ペアの色分散を一致させること
- 一致させた材料ペアについて屈折率を低くすること
- 好適な材料ペア(すなわち、好適な組み合わせソリューション)として、有機シリコーンおよび/または脂肪族炭化水素の流体、および、フッ素化エラストマー性・非平面状ポリマーを使用すること

【0144】

有利には、シロキサンおよびフッ素化シロキサン(すなわち、フルオロシリコーン)の熱安定性・酸化安定性は高く、化学的に不活性であり、また、紫外線耐性が非常に良好であるため、環境安定性が優れている。両材料は、近赤外スペクトルの特性吸収帯を除いて、太陽光のUVスペクトルおよび赤外スペクトルで透明である。シロキサンは、建築産業やガラス産業においてシーラント(充填エラストマー:光透過性ではない)として多用されており、数十年単位で耐候性および耐用性を有することがわかっている。同様に、ポリジメチルシロキサンは、太陽光LEDや高輝度LEDの用途において封止剤として使用されており、当該用途では、光透過性を確保するためにPDMSEラストマーが選択され、野外環境で優れた光安定性を示している。

【0145】

実施形態では、帶電黒色粒子は電界内で転移し、スイッチング時間は懸濁流体の粘度に対して準比例的である。電気泳動ディスプレイの従来技術では、ディスプレイは連続更新されることからスイッチング時間を最短にすることが非常に望まれているため、粘度を最小限にしている。しかしながら、スマートガラス用途に使用する光透過性電気泳動装置では、同様にスイッチング時間を可能な限り速くする必要性はなく、最高動作温度において、懸濁流体の粘度(分子量の代わりとして)が十分高く、懸濁流体が、電気泳動セル(25で当該流体は溶媒ではない)内の非平面状固体ポリマーの溶媒にならないことの方がより重要である。さらに、スイッチング動作を確実にするために、懸濁流体の材料を選択して低温に適した粘度とができる。

【0146】

実施形態では、懸濁流体は、75%以上のオリゴマーまたは短鎖ポリマー(またはコポリマー)を含む。残りの懸濁流体は、帶電粒子に関連する電荷制御剤や、電気泳動インクの帶電粒子懸濁液を安定化するための界面活性化剤、分散剤、高分子量溶解ポリマーなどの様々な任意の添加剤を含むことができる。これらは電気泳動インクの従来技術で公知で

10

20

30

40

50

ある。懸濁流体の 25 における動粘度は 3 ~ 100 cSt の範囲内であり、好ましくは 5 ~ 50 cSt の範囲内であり、あるいは、典型的な電気泳動ディスプレイの動粘度の約 2 倍以上である。さらに、25 では溶媒ではないものの、懸濁流体が非平面状構造体の溶媒となるリスクを最小限ために、75 における動粘度は 2 cSt よりも大きく、好ましくは 3 cSt よりも大きく、特に好ましくは 3.5 cSt よりも大きい。表 4 は、従来の電気泳動ディスプレイに見られる典型的なアルカン流体の 75 における粘度は約 1.25 cSt 以下であり、電気泳動セル内で流体と接触している固体ポリマーの溶解（および膨潤）能を著しく上昇させていることを示す。対照的に、PDMS 流体はより広い粘度範囲で利用可能であり、アルカン流体と比べて温度変化が小さい。表 4 中、繰り返し単位数が約 7 個以上の PDMS 流体は、75 で 2.0 cSt を超える粘度を維持している。PDMS 流体は、高温で所望する最小粘度および / または低温で所望する最大粘度を得るためにブレンドすることができる。

【0147】

いくつかの実施形態では、超低温でのスイッチングを確保するために、-25 における得られる動粘性率は 350 cSt 未満であり、好ましくは 200 cSt 未満であり、特に好ましくは 125 cSt 未満である。繰り返すが、PDMS 流体は、アルカン流体と比べて低温での粘度変化が小さい。表 4 中、25 における粘度が 5.0 cSt である PDMS 流体は、-25 における粘度が約 17 cSt であるのに対して、Isopar M はそれぞれ 3.25 cSt、21 cSt である。直鎖（つまりノルマル）アルカンは、通常、低温の実施形態に適さない。すなわち、表 3 の n-ドデカンは、25 における粘度がほんの 1.84 であるにもかかわらず、-25 で半固体である。適合性が制限された他の例では、表 3 のブレンドアルカン（つまり脂肪族炭化水素）50350 は、-25 で半固体、25 の粘度が 19 cSt、75 の粘度が 4 cSt であり、-25 の粘度が 37 cSt、25 の粘度が 10 cSt、75 の粘度が 4 cSt である PDMS (n ~ 15) よりも適合性がかなり悪い。後者は、ポリジエチルシロキサンと同様の粘度の温度変化を示す（表 4 を参照）。

【0148】

帯電粒子の懸濁液を改善するために少量成分として懸濁流体に添加した超高分子ポリマーは、高温下で粘度が低下して害されたり、低温下で許容できない程に高粘性となることがある。いくつかの実施形態では、粘度の温度変化が最小限となるため、超高分子のポリジメチルシロキサン、ポリジエチルシロキサンまたはポリメチルアルキルシロキサンを従来のポリマー添加剤の代わりに添加する。例えば、表 3 において、P(DMS-co-DPhS) は、対応する高分子量炭化水素ポリマーと同様の粘度変化を示す。具体的には、-25 の 24800 cSt から始まって、25 では 450 cSt、75 ではたった 75 cSt であり、-25 で 1650 cSt、25 で 500 cSt、75 で 217 cSt である PDMS (n ~ 232) の場合と比較して、75 における安定化能が非常に悪くなる（後者については表 4 を参照）。表 4 に示す PDMS 流体の最大繰り返し単位数は 846 (25 の粘度 10000 cSt) であるが、実施形態の懸濁流体では、少量添加剤の繰り返し単位数は限定されず、PDMS は、架橋されていない場合（または架橋が無視できる場合）、有利なことに、繰り返し単位数に関係なく流体のままである。

【0149】

スイッチング中に、実施形態の装置のコントローラ（すなわち、シグナル発生器）が実施形態の装置の表面温度を感知し、かつ、温度を低くするために波形持続期間を長くするかあるいは電圧振幅を大きくし（またはその逆）、温度補償することが好ましい。実施形態に使用可能なコントローラおよび駆動波形の例は、2013 年 3 月 22 日に出願された「An Electrophoretic Device Having a Transparent Light State」と題される関連するアイルランド国特許出願第 S2013/0104 号明細書（代理人整理番号：P106878IE00）に記載されている。

【0150】

10

20

30

40

50

高温下および低温下における懸濁流体の粘度は、それぞれ、懸濁流体の沸点および流動点と関係し、これらの性質を表3および表4に示す。しかしながら、実施形態では、上述の粘度範囲により自動的に補足されない、懸濁流体の沸点および流動点の要件がある。高温動作では、蒸気圧が低く、かつ、最高動作温度よりも十分沸点が高い懸濁流体が必要とされる。懸濁流体は様々な成分のブレンドであるため、純粋な流体又は材料としての各成分が最高動作温度で揮発しないことが重要である。逆に、低温動作を可能にするために、懸濁流体の流動点を最低動作温度よりも十分低くする。流動点は、実施形態の装置が耐えることができる最低温度の指標である。かかる温度では懸濁流体の粘度が高すぎるためスイッチングに対応できない（すなわち、動作不可能）が、そうでなければ、電気泳動セル内の流体を流動点温度に安全に暴露することができる。

10

【0151】

いくつかの実施形態では、懸濁流体の大気圧における沸点は、装置の最高動作温度（）の少なくとも2倍であって、好ましくは少なくとも200であり、流動点は最低動作温度よりも少なくとも1.5倍低く、好ましくは少なくとも-30（すなわち、243K）、より好ましくは少なくとも-45（すなわち、228K）、特に好ましくは少なくとも-55（すなわち、218K）である。表4中、繰り返し単位数が約7個以上（n7）であるP D M S流体の沸点は、最高動作温度の3倍よりも大きい。有利には、P D M S流体は、繰り返し単位数に関係なく、流動点が最低動作温度の（大きさで）2倍（すなわち、最低温度-25に対して流動点-50）である（例えば、25における粘度が1M c S tであるP D M S流体は、流動点が未だ約-50未満である）。

20

【0152】

直鎖アルカンなどの一部の流体は、低温下でナノメートル規模のワックスの結晶を形成する。ワックスの結晶による光の散乱を防止するために、ワックスの結晶の最大寸法は、実施形態の最低動作温度で200nm未満とする。実施形態の最低動作温度において懸濁流体中で結晶化が発生しないことが好ましく、この点において、懸濁流体が直鎖アルカン成分を多量に含まないようにする。

【0153】

流体のサービス温度（表3および表4に示す）は、その流体のメーカーが通常に推奨（または指導）するように、正常動作における純粋な流体の使用可能範囲であり、流動点から沸点までの温度で示される範囲よりも著しく狭い。実施形態では、動作温度範囲は、表3および表4に示す純粋な流体のサービス温度よりも狭い（すなわち、控えめ）である。繰り返し単位数が3以上（すなわち、n3）であるP D M S流体は、繰り返し単位数に関係なくサービス温度が-40～150と広いため、広い動作温度範囲の装置を得る点で、アルカン流体（-40～130）よりも実施形態で使用することが好ましい（表4を参照）。

30

【0154】

直鎖型および分岐型の置換基と共に含むポリジアルキルシロキサン流体は、実施形態に好適であり、表4は、ポリジエチルシロキサンは、粘度10c S t（25）において、P D M S（n=15）と同様の粘度の温度変化を示し、サービス温度、沸点、流動点、および、d n / d Tも同様であり、また、アッペ数（V_d）が1大きく（すなわち、より好ましい）、これは、増加した炭化水素分を反映している。後者の点は実施形態に一般化することができ、（アルキル置換基の分子量を増加させて）シロキサン懸濁流体の炭化水素分を増加させることにより、流体のアッペ数を、対応するP D M A流体粘度よりも高くする。いくつかの実施形態では、P D M Sはポリジエチルシロキサンよりも屈折率が低い（1.437に対して1.399）、ポリジエチルシロキサンよりも有利である。しかしながら、他の実施形態では、より大きいアルキル置換基は（アッペ数の増加の他に）他の利点がある。炭化水素からなる帯電粒子表面との相互作用を増強し、流体中に粒子を良好に懸濁させるからである。さらに他の実施形態では、1つ以上のP D M S流体を、ポリジエチルシロキサンなどの、アルキル置換基がより大きい1つ以上のシロキサン流体とブレンドする。

40

50

【0155】

懸濁流体では、性質を調整するために少量の揮発性流体を主要な非揮発性成分にブレンドしないことが好ましい。さらに、懸濁流体を蒸留または他の方法で処理して、沸点が上述未満である揮発性成分を実質的に除去することが好ましい。揮発性成分は相対的なものである。例えば、P D M S 流体 ($n = 0$ または $n = 1$) は、繰り返し単位数が多いシリコーン流体中に存在する場合、揮発性であると考えられる。同様に、 $C_{12}H_{26}$ 以上の高級アルカン中の C_8H_{18} 以下の低級アルカンは揮発性である。実施形態で使用する懸濁流体の調製に際して、揮発性成分のレベルは 1 % 未満に低減することが好ましく、0.5 % 未満に低減することがより好ましい。さらに、電気泳動インクは、水分を最小限とし(約 100 ppm 以下)、かつ、装置内で使用する前に脱ガスすることが好ましい。懸濁流体の水分が 100 ppm 未満であると、懸濁流体の屈折率および比誘電率に対する水分の影響を無視できる。10

【0156】

実施形態では、懸濁流体の 75 % 以上は、脂肪族炭化水素(すなわち、アルカン)化合物、有機シリコーン化合物、フルオロシリコーン化合物(例えば、フルオロアルキルシリコン)、有機フッ素化合物(例えば、フルオロカーボン、パーフロオロカーボン、パーフロオロアルコキシ)のうちの 1つ以上、または、これらのうちの 2つのコポリマーを溶液中に含む。好ましくは、懸濁流体の大部分(75 %)が低分子量ポリマーであり、ジメチルシリコン、ジエチルシリコン、メチルアルキルシリコン、ジアルキルシリコン、メチルフェニルシリコンのうちの 1つ以上を含む繰り返し単位を有することが好ましい。好ましくは、かかる懸濁流体は、電気泳動セル内において、フルオロシリコーン製のエラストマー性・非平面状固体ポリマーと組み合わされる。いくつかの実施形態では、有機シリコーン流体は、オクタメチルシクロテトラシリコン、デカメチルシクロペニタシリコン、ドデカメチルシクロヘキサシリコンなどの 1つ以上の環状シリコン成分を有する。20

【0157】

表に列挙した懸濁流体の電気特性は実施形態の要件を満たすものの、フルオロシリコーン懸濁流体の比誘電率は残りの全ての流体よりも著しく大きいため、(後述のとおり)あまり望ましくない。表 4 に示す P D M S 流体の 50 ヘルツにおける比誘電率は 2.28 ~ 2.76 の範囲であり、アルカンのそれは 2.0 ~ 2.1 の範囲である。また、これらの P D M S 流体の体積抵抗率は $> 1 \times 10^{12} \text{ ohm} \cdot \text{m}$ であり、アルカンのそれも $1 \times 10^{12} \text{ ohm} \cdot \text{m}$ である。 25 における粘度が $< 6 \text{ cSt}$ である P D M S 流体の絶縁破壊電圧は $> 14 \text{ V / ミクロン}$ であり、粘度が $> 6 \text{ cSt}$ では $> 20 \text{ V / ミクロン}$ である。これらの P D M S 流体の 50 ヘルツにおける誘電正接は 0.0001 である。粘度が $< 50 \text{ cSt}$ である P D M S 流体の熱伝導性は $0.10 \sim 0.15 \text{ W / (m \cdot K)}$ の範囲であり、粘度が 50 cSt では $0.16 \text{ W / (m \cdot K)}$ である。30

【0158】

フルオロシリコーン懸濁流体を使用する実施形態は、流体とエラストマー性固体ポリマーとの別の組み合わせを提供する。フルオロシリコーン流体 P M T F P S の例を表 3 に示す。これはフッ素化ポリマー懸濁流体であり、フッ素化シリコン懸濁流体とも記載される。これは、架橋されていなければ、繰り返し単位に関係なく流体のままである。十分に架橋すると、P M T F P S は表 2 に示すようなエラストマー(固体ポリマー)になる。P M T F P S ポリマー流体は P D M S エラストマーを溶解または顕著に膨潤させない(表 2 を参照)。P M T F P S ポリマー流体の粘度の温度変化は、 25 における粘度が同様である P D M S 流体よりも著しく大きい(表 3 および表 4 を参照)。好ましくは、P M T F P S 官能基は、ポリジフェニルシリコンなどのポリシリコンとのコポリマーの主要なコポリマー成分として組み込まれる。コポリマーにおける後者の役割は、懸濁流体の屈折率を 1.382 (P M T F P S) から約 1.4118 以上 (P D M S エラストマーと一致) に高めることである。フルオロシリコーン流体の他の例では、フッ素は、ヘプタフルオロイソプロポキシプロピル基などの、シリコン上に置換したフルオロアルコキシ置換基4050

として存在する。

【0159】

フルオロシリコーン懸濁流体は、フェニル基を含むペンドント基を少なくとも1つ有するフルオロシリコーンホモポリマーまたはフルオロシリコーンコポリマーを含み、かつ、10モル%を超える、好ましくは20モル%を超える、特に好ましくは25モル%を超える、メチルトリフルオロプロピルシロキサンを含む。これと組み合わされる電気泳動セル内の非平面状ポリマーはポリメチルアルキルシロキサンであり、好ましくはポリジメチルシロキサンである。懸濁流体は極性のCF₃(部分)で占められるため、50ヘルツにおける比誘電率は約6.5~7.0となり、前述の、フルオロシリコーンエラストマーと有機シリコーンまたは脂肪族炭化水素の懸濁流体との組み合わせよりもかなり好ましくない。フルオロシリコーン流体の絶縁破壊電圧は約15ボルト/ミクロンであり、体積抵抗率は約1×10¹³ohm·mである。10

【0160】

有機フッ素懸濁流体を使用する実施形態は、流体とエラストマー性固体ポリマーとの別の組み合わせを提供する。従来の有機フッ素化合物それ自体は、屈折率が低すぎて非平面状構造体の適切な固体ポリマーと屈折率が一致する可能性がないため、実施形態に好適ではない(例えば、www.3m.comから入手可能な表3の「FC-43」を参照)。フルオロポリマーエラストマーは好適な低屈折率を有するが、有機フッ素化合物流体と使用することができない。後者は当該エラストマーを溶解または膨潤させるからである。しかしながら、フッ素分を好適に低くするか、コポリマーとして組み込む(全体のフッ素分を低くする)ことにより、有機フッ素化合物を実施形態の懸濁流体に使用することができる。CF₃(部分)の形態で好適なフッ素分を得る指針として、PMTFPS流体のフッ素分と同等とすることができる。このようにして、PDMSエラストマー性固体ポリマーと屈折率が一致する、実施形態に好適な有機フッ素化合物を得ることができる。PMTFPSと同様に、この有機フッ素化合物はPDMSエラストマーを溶解または膨潤させない。20

【0161】

第1の態様で上述したように、懸濁流体と非平面状固体ポリマーとの熱光学係数を一致させるために、後者としては、ガラス転移温度(すなわち、Tg)が好ましくは最低動作温度未満であるエラストマーを選択する。実施形態では、エラストマー性・非平面状ポリマーの低ガラス転移温度Tgは、主鎖のフレキシブルな結合によるものである。エラストマー主鎖は、エーテル結合(すなわち、R-O-R')、シロキサン結合(すなわち、Si-O-Si)、フルオロエーテル結合(すなわち、CF₂-O-CF₂)、チオエーテル結合(すなわち、R-S-R')、メチレン結合(すなわち、CH₂)、ジフルオロメチレン結合(すなわち、CF₂)、フォスファゼン結合(すなわち、N=P)のうちの1つ以上の結合を含む。Tgが非常に低いためシロキサン主鎖が好ましい。すなわち、PDMSエラストマーのTgは-100未満であり、また、PMTFPSなどのフッ素化シロキサンエラストマーのTgは、フッ素分が存在するにもかかわらず、-65未満である(表2を参照)。30

【0162】

実施形態では、光透過性エラストマー(すなわち、非平面状固体ポリマー)のヘイズは、厚さ50μm(すなわち、電気泳動セル内のz軸方向の約最大寸法)におけるそのバルクにおいて、3%以下であり、好ましくは2%未満であり、特に好ましくは1%未満である。その結果、関連性質としては、固体ポリマーの複屈折率も低くなり、その値は0.005未満、好ましくは0.001未満、特に好ましくは0.0005未満である。有利には、非常に低いヘイズおよび複屈折率(すなわち、それぞれ、<1%および<0.0005)は、そのガラス転移温度よりも十分高い温度で非晶性エラストマーを、特に、表2に示すようなシロキサン主鎖を有するエラストマーを使用することにより達成することができる。40

【0163】

50

光透過性・エラストマー系非平面状固体ポリマーは、非晶性（好ましい）であるか、または、本来は非晶性であるポリマー中にナノメートル規模の結晶性セグメントを有する半結晶性である。後者の場合、ナノメートル規模の結晶性セグメントの最大寸法（つまり軸）は、可視光の屈折を防止するために青色光の波長よりも著しく小さくなるように制限される。半結晶性ポリマーを有する実施形態では、結晶性セグメントの少なくとも 50%、好ましくは少なくとも 85% は、最大寸法が 200 nm、好ましくは 125 nm、より好ましくは 85 nm、特に好ましくは 65 nm である。

【0164】

非平面状固体ポリマーはエラストマーであるため、そのガラス転移温度よりも高温（好ましくは装置の動作温度範囲）で粘弾特性を有し、この粘弾特性は 50 MPa 未満のヤング率（すなわち、E）および 90 未満の硬度（ショア A）により定義される。実施形態に適さない光学ポリマーと実施形態に使用するための光透過性エラストマーとの粘弾特性の差は、表 1 および表 2 の値を比較することによりわかる。表 1 の全てのポリマーのヤング率（E）は 1400 MPa 以上であるが、表 2 および表 3 では 3 MPa 以下である。これに対応する差が固体ポリマーの硬度において見られる。すなわち、表 1 の硬度の値は全て、ショア A スケールで利用可能な範囲を超えており（すなわち、ショア D スケールである）が、表 2 の値は全てショア A である。有利には、そして電気泳動セル内で非平面状ポリマーが粘弾特性を有する結果、実施形態の電気泳動セルは動作温度範囲でフレキシブルである。この電気泳動セルを、ITO を塗工した PET シートなどのフレキシブル基板で挟むと得られる装置も同様にフレキシブルである。電気泳動セルをフレキシブルに維持することは、超低温中で動作させる超低温に耐える実施形態で重要である。例えば、車の屋根やビルのドアに組み込んだ実施形態は、極端な気候で超低温に曝すことが可能であり、また、機械的衝撃や風を受けても、破壊やひび割れが起きないように屈曲状態が維持される。さらに、いくつかの実施形態では、電気泳動セルは、ガラスに接着される電極塗工基板に接着される。各パーツの熱膨張係数（すなわち、CTE）は顕著に相違し、別々のパート間の界面においてヤング率を低く保たないとせん断応力が発生してしまう。表 2 に示す非平面状固体ポリマーのヤング率の値は、極端な温度間をサイクルした際に電気泳動装置内で発生する破壊的な応力を防止するために十分低い。

【0165】

非晶性エラストマーを有する実施形態では、粘弾特性は、高分子量モノマーからオリゴマー、ポリマー高分子までの（複数のモノマー単位を含む）の範囲の分子を架橋する共有結合（すなわち、化学）架橋の密度に依存し、その結果、これらの実施形態の非平面状ポリマーは熱硬化性ゴムである。あるいは、半結晶性エラストマーでは、粘弾特性は、軟らかい非晶性ポリマー中に分散した硬い結晶性セグメントにより形成される物理架橋の密度に依存し、その結果、このエラストマーは熱可塑性ゴムである。

【0166】

表 2 に示す実施形態に好適な光透過性エラストマーの表 1 に示す光学ポリマーに対する更なる利点は、前者の最大連続使用サービス温度（すなわち、T_s）が実施形態の最高動作温度の約 2 倍であることである。これに対して、表 1 に示す光学ポリマーの多くは、T_s が必須動作温度未満であり、もし 90 ~ 100 で長期間使用すると致命的な熱分解を受ける可能性がある。実施形態では、エラストマー性・非平面状固体ポリマーエレメントの最大連続使用温度（すなわち、T_s またはサービス温度）は装置の最高動作温度よりも大幅に高く、好ましくは 125 よりも高く、より好ましくは 150 よりも高く、特に好ましくは 175 よりも高い。

【0167】

実施形態では、エラストマー性・非平面状固体ポリマーは、下記ポリマーの 1 つ、あるいは、下記の 1 つ以上を使用したコポリマーまたはターポリマーを含む：ポリシロキサン、フルオロアルカンポリマー、パーフルオロエーテルポリマー、フルオロシリコーンポリマー、フッ素化（メタ）アクリレートポリマー、フルオロシリコーン（メタ）アクリレートポリマー、フッ素化ポリオレフィンポリマー、フッ素化脂肪族ポリカーボネート、フッ

10

20

30

40

50

素化ポリウレタン。コポリマーには、フルオロシリコーン - c o - シロキサンコポリマー、フルオロシリコーン - c o - フルオロアルカンコポリマー、フルオロエーテル - c o - シロキサンコポリマーが含まれる。

【 0 1 6 8 】

フッ素化（本願明細書において、部分フッ素化と同義）エラストマーを有する実施形態では、そのポリマーは、C F₃（部分）を含むペンドント基を少なくとも1つ有する。C F₃（部分）は、ポリシロキサン流体およびアルカン流体による膨潤に抵抗する上で特に効果的であり、C F₂として存在する対応するフッ素分よりも顕著に効果的である。
いくつつかの実施形態では、このフッ素化ポリマーはフルオロアルキルシロキサン系の繰り返し単位を含み、これは、限定されないが、メチルトリフルオロプロピルシロキサン（M T F P S）、メチルペンタフルオロブチルシロキサン、メチルヘプタフルオロペンチルシロキサン、メチルノナフルオロヘキシルシロキサンを含む。あるいは、このフッ素化ポリマーはフルオロアルコキシアルキルシロキサン系の繰り返し単位を有し、これは、限定されないが、ヘプタフルオロイソプロポキシプロピルテトラメチルシクロトリシロキサンを含む。
。

【 0 1 6 9 】

フルオロアルキルシロキサンエラストマーの電気特性は、実施形態での使用に好適である。
P M T F P S エラストマーの50ヘルツにおける比誘電率は6.75～7.35の範囲である。有利には、フッ素化シロキサンエラストマーは、シリコーン / P D M S 流体および脂肪族流体よりも常に大きい比誘電率を有し、これは、帯電粒子を電気泳動インク内で移動させるのに利用可能な流体（およびセル）内電界強度を増大させる効果を有する。
逆の関係（フルオロシリコーン懸濁流体およびシリコーン / P D M S エラストマー）では、帯電粒子を電気泳動インク内で移動させるのに利用可能な電界強度が低減するため、あまり望ましくない。
P M T F P S エラストマーの体積抵抗率は $> 1 \times 10^{12} \text{ ohm.m}$ であり、絶縁破壊電圧は約13V / ミクロンである。50ヘルツにおける誘電正接は約0.04である。

【 0 1 7 0 】

実施形態では、エラストマー性・非平面状固体ポリマーは、熱硬化または光硬化することができる、つまり、熱硬化性基および光硬化性基を含む複数の硬化性官能基を有する。
後者の場合、光硬化性基は少数成分であり得、初期の最小機械特性を付与する迅速な初期硬化を得るために利用される一方、熱硬化性基は多数成分であり、利用可能な重合部位で高度に重合させ、均一な性質を得るために利用される。

【 0 1 7 1 】

実施形態では、シロキサン主鎖を有するエラストマー性・非平面状固体ポリマーの架橋硬化化学は、白金触媒ヒドロシリル化付加システム、過酸化物フリーラジカル触媒システム、スズまたは亜鉛触媒縮合システム、チオール - エンフリーラジカル付加システム、紫外線硬化メタクリレート・アクリレート官能性ポリマー（すなわち、アクリルオキシプロピルまたはメタアクリルオキシプロピル官能性シロキサン）のうちの1つを含む。なかでも、白金触媒ヒドロシリル化付加硬化が好ましい。硬化中に副生成物が形成されない（すなわち、経時的に電気泳動インク内に侵入し得る硬化由来揮発性成分が形成されない）からである。白金硬化は、硬化ポリマーに最良の機械・光学性能を付与する（また、最も繰り返し使用できる）。エラストマー性固体ポリマーの熱光学係数は、架橋密度またはレベルを制御することにより微細に変更することができる。触媒硬化システムでは、触媒量、または、より重要にはその錯化流体からの放出速度を使用して、硬化プロファイルを制御することができる。有利には、P M T F P S や先に列挙したものなどのフッ素化シロキサンの架橋硬化化学は、ポリジメチルシロキサンなどの非フッ素化シロキサンと同じであるため、後者に使用する材料および反応方法を前者に適用することができ、また、コポリマーおよび架橋エラストマーに両方の繰り返し単位を組み込むことができる。

【0172】

更なる利点は、ポリシロキサンに反応機能性および製品機能性を付与するための材料が充実しており、実施形態では、もう一方の（すなわち、非フッ素化）シロキサン繰り返し単位を使用するフルオロシリコーンコポリマーにこのような機能を任意に組み込むことができることである。例えば、導入可能なシリコーン反応性および製品には以下のものが含まれる：ビニル（パーオキサイド活性化硬化）、ビニル+ヒドリド（ビニル付加、ヒドロシリル化、白金触媒硬化）、ヒドリド+シラノール（金属塩硬化）、シラノール（湿気硬化、RTV-1液）、シラノール+アルコキシ/ポリマーアルコキシド（縮合硬化、RTV-2液）、アルコキシ/ポリマーアルコキシド（セラミックスおよびオルモシリ製品）、アミン（ポリウレア、ポリイミド製品）、アミン+エポキシ（エポキシ付加硬化）、エポキシ（カチオン性UV硬化）、カルビノール（ポリエステルまたはポリウレタン製品）、（メタ）アクリレート（熱開始およびUV開始を含むフリーラジカン硬化）、メルカブト（熱開始およびUV開始を含むチオール-エン硬化）アセトキシ/塩素/ジメタミン（湿気硬化）、ポリマーアルコキシド（二酸化ケイ素製品）、シルセスキオキサン（二酸化ケイ素製品）、ポリシラザン（窒化ケイ素製品）、ポリシラン（炭化ケイ素製品）。 10

【0173】

いくつかの実施形態では、シロキサン主鎖のエラストマーは、一方が主剤（すなわち、白金触媒およびビニル鎖）成分であり、他方が硬化剤（すなわち、ヒドリド官能性架橋剤鎖および任意の追加のビニル）成分である2液型の液体キットの形態のプレポリマーを有する。上記2成分（すなわち、主剤成分および硬化剤成分）は、一般的に配合により混合され、その方法にはシグマブレードミキサー、遊星型ミキサー、2軸ミルが含まれる。実施形態の熱光学係数は、得られるプレポリマー中の上記2成分の比率を変え、次いで硬化してエラストマー性固体ポリマーとすることにより変えられる。 20

【0174】

白金触媒ヒドロシリル化付加硬化（好ましい）によれば、実施形態のフッ素化シロキサンエラストマーを50未満の温度で硬化させることができ（室温加硫（RTV）と称される）、50～130の温度で硬化させることができ（低温加硫（LTV）と称される）、また、130を超える温度で架橋させることができる（高温加硫（HTV）と称される）。 30

【0175】

2液型液体キットの例では、粘度が200～60000cStである、ビニル末端ポリメチルトリフルオロプロピルシロキサンまたはそのコポリマー（例えば、ポリメチルトリフルオロプロピルシロキサン-c0-ジメチルシロキサン、ポリメチルトリフルオロプロピルシロキサン-c0-メチルフェニルシロキサン、ポリメチルトリフルオロプロピルシロキサン-c0-ジフェニルシロキサン）が主剤のポリマー鎖を形成し、これらを蒸留（またはその他の方法）し、ポリマー流体で述べたように揮発性成分を除去する。例えば、主剤のフッ素化ポリマー鎖は、MTPSを35～45モル%含むビニル末端ポリメチルトリフルオロプロピルシロキサン-c0-ジメチルシロキサンであり得る（CAS番号68951-98-4）である。 40

【0176】

上記キット例の硬化剤では、架橋性ポリマー鎖が3つ以上のヒドリド基を提供し、これは、メチルヒドロシロキサン繰り返し単位を15～50モル%含むメチルヒドロシロキサン-ジメチルシロキサンコポリマーであり得る。いくつかの実施形態では、架橋性ポリマーにはフェニル基が組み込まれ、例えば、メチルヒドロシロキサン-メチルフェニルシロキサンコポリマーである。架橋性コポリマーはヒドリド末端であり得、かかる場合、少なくとも1つのヒドリド繰り返し単位を有する。ヒドリド官能性架橋剤は、フッ素化された高分子量のモノマー、オリゴマー又はポリマー鎖であって、1つ以上のCF₃部分が組み込まれていることが好ましい。例えば、フッ素化架橋剤はトリフルオロプロピルトリス（ジメチルシロキシ）シラン（CAS番号3410-32-0）であり得る。他の例では、フッ素化架橋剤は、メチルヒドロシロキサンを15～50モル%含むメチルヒドロシロキ 50

サン - メチルトリフルオロプロピルシロキサンコポリマーなどの、メチルトリフルオロプロピルシロキサン繰り返し単位が組み込まれたコポリマーであり得る。

【0177】

白金触媒は、反応媒体に溶解して均質な流体を形成するように選択された錯体である。白金触媒の例には、白金(0) + ジビニルシロキサン錯体、白金(0) + 環状ジビニルシロキサン錯体、白金(+2) + オクタノール錯体が含まれる。例えば、白金触媒は、ジビニルテトラメチルジシロキサン錯体(CAS番号68478-92-2)またはシクロビニルメチルシロキサン錯体(CAS番号68585-32-0)であり得る。白金触媒は、通常、全配合物質量中、白金濃度(錯体濃度と混同しないこと)ベースで1~30 ppmの範囲である。

10

【0178】

(2液キットの)主剤成分および硬化剤成分の混合物を硬化すると、主剤及び硬化剤のそれぞれの鎖において、(主剤の)前のビニル基と(硬化剤の)前のヒドリド基との間にエチルブリッジが形成される。このように、エチルブリッジは架橋であり、実施形態の非平面状固体ポリマーのエチルブリッジを増やすことにより、架橋密度が増加する。原則、モル当量数の(架橋剤、つまり硬化剤成分中の)ヒドリドが(ポリマー鎖、つまり、主剤成分中の)ビニルと反応するが、実際は、最適な物性を得るために、通常、ビニルよりも多いモル数のヒドリド(例えば、1.5:1.0)が存在する。上記2成分の比率は、ビニル末端フルオロシリコーン(またはフルオロシリコーンコポリマー)の鎖長および架橋剤中のヒドリドのモル百分率に依存し得る。いくつかの実施形態では、硬化部位および架橋を増やすために、ビニル末端フルオロシリコーン鎖にビニル置換基を組み込むことができる。実施形態では、架橋密度を制御または選択するために、(ビニル末端)フルオロシリコーンの鎖長、および/または、ビニル置換基、および/または、架橋剤中のヒドリドのモル百分率、および/または、架橋剤の分子量を使用することができる。

20

【0179】

均質な白金触媒ヒドロシリル化により、多種多様な官能基を実施形態の非平面状固体ポリマー用のプレポリマーに導入することができる。好適な末端アルケン官能基またはヒドリド官能基を利用できることが唯一の要件である。例えば、市販の出発材料を使用して、アルキル基、アリール基等の炭化水素、エポキシ基、ニトリル/シアノ基、アミン基、エステル基、エーテル基、追加のフッ素化基官能基といった官能基を、(白金触媒)硬化の一部として実施形態のフルオロシリコーンエラストマーに導入することができる。これにより、非平面状固体ポリマーの性質を微調整することが可能となり、例えば、バルクポリマーの性質、固体ポリマーと電気泳動インクおよび当該インクの様々な成分との相互作用に影響する性質、固体ポリマーの電極塗工基板(例えば、ITO塗工PET)に対するピール接着力を微調整することができる。いくつかの実施形態では、ビニルQ樹脂またはヒドリドQ樹脂をポリマー樹脂またはモノマー(すなわち、非平面状固体ポリマーのプレポリマー)に組み込むことにより、機械強度が増強され、また、光学特性が微細に変更される。

30

【0180】

いくつかの実施形態では、官能性シランを使用して電極塗工基板を下塗りし、フルオロシリコーンエラストマー性・非平面状固体ポリマーの当該基板に対するピール接着性(すなわち、結合力)を向上させる。シランは、インジウムスズ酸化物(ITO)塗工PET基板などの無機基板と反応して安定な共有結合を形成することができる加水分解性基を有し、かつ、フルオロシリコーンエラストマーが硬化された際に、これと共に共有結合を形成することができる第2の反応基(例えば、ビニル基またはヒドリド基)を有する。ITOの表面は、加水分解に安定であり、また、シリカ基板に適用される条件と同じ条件でカップリングさせるのに十分なヒドロキシル基を有する傾向がある。第2の反応基は白金触媒付加硬化に関して下塗り基板に接触する非平面状固体ポリマーを下塗り基板にカップリングさせる。反応性シランは、通常、トリアルコキシシランとして添加され、水および縮合触媒の存在下で下塗りポリマー面を形成する。いくつかの実施形態では、シランおよび縮

40

50

合触媒は、基板表面に非常に薄い、光透過性の平らなポリマー層を形成する。この層は、単層堆積と称すことができる。有利には、実施形態では、ビニル付加ポリシロキサンと共に使用するために開発された市販の下塗り剤も同様に、本願明細書に記載の好適なフッ素化シロキサンと共に使用することができ、その例には、アリルトリメトキシシラン、メタアクリルオキシプロピルトリメトキシシラン、ポリビニルメトキシシロキサンが含まれる（これらの材料は、www.gel est.comを含む多くのメーカーから入手できる）。

【0181】

好適な基材および反応性シリコーン、反応性フルオロシリコーン、反応性コポリマー、および、白金触媒錯体は、多くの供給源から入手可能であり、例えば、www.dowcoring.com、www.shin-etsu.com、www.momentive.com、www.gel est.com、www.unitedchem.comが挙げられる。本願明細書に記載の要件を満たすようにこれらの材料を配合・ブレンドして、実施形態のエラストマ－性・非平面状固体ポリマーのプレポリマー流体を作製する。

【0182】

いくつかの実施形態では、エラストマーブレポリマー（例えば、2液キット）および懸濁流体（つまり電気泳動インク）のロットを一致させ、基準温度（例えば、25℃）において屈折を一致させる。これは、両材料（すなわち、ブレポリマーおよび懸濁流体）の代表サンプルを取って、必要に応じて懸濁流体を調整してその屈折率の一致を微調整しながら、光学特性を測定することにより行うことができる。この場合、屈折率の一致は、材料のそのロット（すなわち、量またはバッチ）についての、装置内の硬化エラストマ－を代表する硬化エラストマ－サンプルに対して行う。代替実施形態では、硬化したエラストマ－性・非平面状固体ポリマーの屈折率を、1つの装置、1バッチの装置または1枚の装置フィルム内での硬化後に測定し、次いで、それらの装置のロットに基づいて、懸濁流体の屈折率を低成分または高成分の流体を添加することにより微調整する。さらなる代替例において、懸濁流体（つまり電気泳動インク）のロットまたはバッチの屈折率を測定し、次いで、エラストマ－のブレポリマー成分をそれに応じて調整して、硬化時点の屈折率を（そのロットの）流体の屈折率と一致させることができる。さらに、あるロットの熱光学係数は、エラストマ－の架橋密度（またはレベル）を調節して懸濁流体のロット（すなわち、電気泳動インクのロット）の代表サンプルの値と一致させることにより、微細に一致させることができる。

【0183】

上述したとおり、電気泳動インクは、含水率を最小（約100ppm以下）に低減し、かつ、装置内で使用する前に脱ガスすることが好ましい。これはエラストマ－のブレポリマーにも当てはまる。硬化後、大気空気に暴露された非平面状ポリマーは直ちに水分を吸収し、含水率が250ppm以上となり得る。ポリマーの屈折率、比誘電率、ならびに、体積抵抗性および絶縁破壊電圧を含む関連する電気特性に対する影響が無視できるようになり、固体ポリマー中に水分が入らないようにするか含水率を約100ppm未満とすることが好ましい。製造に際して、ロットを一致させた材料で再現可能な屈折率の一致（差0.001以下）が図れるように、電気泳動インクおよび非平面状固体ポリマーの含水率および溶解ガス含有率を制御することが有利であり、好ましくは無視できるレベルまで両方を低減することが好ましいことが理解されよう。

【0184】

図1A及び図1Bは、実施例101を2つの図で示す。一方の図は実施形態に係る電気泳動セル809の断面図を示し、他方の図は本実施形態の面を示す図であり前面または裏面であり得る。各断面図は平面図の対角線断面図を表す。図1Aは第1の光状態を示し、図1Bは第2の光状態を示す。

【0185】

装置101は、電気泳動セル809内に電気泳動インク830を有する。電気泳動セル809は矢印で示された部分であり、上部電極60と下部電極60との間に挟まれた全て

10

20

30

40

50

のエレメントを含む。インク 830 は、上述の要件に従う透明な等方性の懸濁流体 820 内に帯電粒子 11 を有する。帯電粒子 11 は負の電荷を有しており、黒色に見える（実施形態では、粒子は正または負に帯電され得る）。帯電粒子 11 の z 軸方向への移動は、上部電極 60（あるいは、存在する場合、絶縁層 95）の表面と、分解図 1100 においてレベル、つまり面 1003 で示されるポリマー 815 の表面とによって制限される。

【0186】

装置 101 では、ほぼ単分散であり全ボールの > 90 % を占める光透過性ポリマー ボール（すなわち、マイクロスフィアまたはマイクロ粒子）802 と、単分散であり全ボールの残りの部分を占めるポリマー ボール 803 とによって凸部が形成されている。ポリマー ボール 803 は、セル 809 の厚さを（透明接着剤層 45 の厚さと共に）規定することにより、セルギャップスペーサとして機能する。ポリマー ボール 803 はまた、電気泳動インク層 810 内でインク 830 が自由にポリマー ボール 802 を包囲または飲み込むことができるようにして、かつ、粒子 11 が、第 1 の光状態において、妨害されずにポリマー ボール 802 上方に広がることができるようとする。

【0187】

ポリマー ボール 802 及びポリマー ボール 803 は、電気泳動インク 830 内部に突出し、本来なら電気泳動インク 830 で満たされる部分である電気泳動インク層 810 の一部を満たす。ポリマーエレメント 808 は、セル 809 内で透明接着剤（optical ly clear adhesive；OCA）45 に結合し、かつ、下部電極 60 に隣接する非平面状構造体を示す。ポリマー 815 は、ポリマー ボール 802 とポリマー ボール 803 との間のスペース（すなわち、隙間）を満たす。また、ポリマー 815 と電気泳動インク 830 との界面の面は、符号 1003 で示される。図 1B の平面図において、ポリマー ボール 802 およびポリマー ボール 803 は、単一層に密接配置されて示されており、かつ、ランダムな最密充填を有するものとして描写されている。

【0188】

電気泳動セル 809 は、透明接着剤（OCA）層 45 および絶縁層 95 の 2 つの任意のエレメントを含む。OCA 層 45 は、一方の面で電極 60 と、他方の面で非極性固体ポリマー 808 と強固に結合する（図 1B の分解図 1100 を参照）。非平面状固体ポリマー 808 は、ポリマーマイクロスフィア 802、ポリマーセルギャップスペーサ 803、ポリマーセル壁 835、および、固体ポリマー 815 を含む。非平面状固体ポリマー 808 のこれら様々なパーツは、それぞれ、電気泳動セル 809 内の非平面状エレメントであり、ポリマー 808 が単一の連続ポリマー（すなわち、個々のポリマーエレメントを含まず、同時形成されたもの）である場合と同様、上述の要件に従う。

【0189】

電気泳動セル 809 は電極 60 間に挟まれ、そして、透明基板 90 間に挟まる。基板 90 は、ガラスやポリマー（例えば PET）などの任意の好適なシート材料でよく、また、硬くてもフレキシブルでもよい。電極 60 は、駆動波形を著しい信号ひずみを発生させずに印加するのに十分低いシート抵抗（例えば、700hm, cms）を有する任意の好適な透明導電体（例えば ITO）である。絶縁層 95 は任意であり、ポリマー層、接着剤層または酸化ケイ素層（すなわち、SiO_x）などの任意の好適な透明誘電体であり得る。絶縁層 95 は、電気泳動インク 830 と電極 60 との電気接触を防止する。電極が透明であり一対のフレキシブル基板上に塗工されている場合、実施形態に係る装置は電気泳動フィルム装置である。

【0190】

図 1A および図 1B にはポリマー壁 835 が示され、これらの壁は、電気泳動セル 809 内で電気泳動インク 830 を互いに分離または半分離された区域（つまり領域）に分割するキャビティーまたは区域 80（図 1B の平面図を参照）を画定する。「半分離された区域」とは、隣接するキャビティー壁 835 同士が、相互貫通領域（すなわち、穴）を有しており、1 つの区域のインク 830 を他の区域のインク 830 と混和させることができるという。上記断面図では、壁 835 は主に垂直であり（すなわち、セル 809 の z

10

20

30

40

50

軸方向)、かつ、ポリマーボール 802 およびポリマーボール 803 の表面から絶縁層 95まで(あるいは、絶縁層 95 が無い場合、上部電極 60 まで)延在して示されている。壁 835 の目的は 3 つある。第 1 の目的は、電気泳動ディスプレイ装置の従来技術において周知のように、電気泳動インク 830 を互いに分離または半分離された区域に分割して、インク 830 の経時安定性を向上させることである。第 2 の目的は、基板に広がる、セル 809 のための固体構造体を提供することである。第 3 の目的は、電気泳動インク 830 を電気泳動セル 809 内に効果的に自己封止するためである。ポリマー壁 835 は、ポリマー誘導相分離プロセス(従来技術において「polymer induced phase separation process (PIPS)」として知られている)により形成される。一代替実施形態では、フォトリソグラフィプロセスを使用して壁/リブ 835 およびキャビティ 80 を形成する。
10

【0191】

図 1A は第 1 の光状態の実施形態 101 を示し、上部電極に隣接する面において帯電粒子 11 が最大限に拡散・分布した状態を表している。負に帯電した黒色粒子 11 は、上部電極 60 および下部電極 60 の間に正の電位を生じさせる電界に応答して、上部電極 60 と平行してほぼ均一に広がっている。セル 809 に入射する光線 1405 は、粒子 11 により強く吸収され、実施形態 101 の前面は黒色に見える(図 1A の平面図を参照)。

【0192】

図 1B は第 2 の光状態の実施形態 101 を示し、帯電粒子 11 が非平面状構造体 808 の表面(つまり、インクと非平面状構造体 808 との界面)上に最大限に凝集している状態を表す。負に帯電した黒色粒子 11 は、上部(つまり、絶縁層 95 に隣接する)電極 60 および下部(つまり、OCA 層 45 に隣接する)電極 60 の間に負の電位を生じさせる電界に応答して、ポリマーボール 802 およびポリマーボール 803 の間のスペース(隙間)に凝集する。各ポリマーボール 802 または各ポリマーボール 803 は、(1)粒子 11 が実質的に存在せず、(2)鏡面反射光を透過し、(3)実施形態 101 の後ろに位置する物体の視認を可能にする、開口部 1006 を画定する。セル 809 に入射した光線 1406 は、ポリマーボール 802 により画定された開口部 1006 を通過し、実質的に減衰または散乱されずにセル 809 から出射する。
20

【0193】

実施形態 101 において、隣接するポリマーボール 802 同士の赤道面 1003 における最大離間距離(すなわち、凝集粒子 11 が第 2 の光状態で占めるスペース)は、観察者がそのような領域を黒色スペックつまり光学欠陥として解像・認識できないように、所定の観察距離において典型的な観察者の目の最小解像度を超えないことが好ましい。実施形態 101 において、光状態は感知可能な黒味を帯びる(すなわち、電気泳動インクが黒色の帯電粒子を含む場合)。観察者による色味の感知は、周囲の連続した黒色スペース(すなわち、凝集状態の粒子 11)において、(ポリマーボール 802 により画定される)開口部 1006 の大きさがミクロスケールであること、開口部 1006 が離散して分布していること、および、開口部 1006 が密集して分布していることのうちの 1 つに起因する均一な着色による。第 2 の光状態の色味の外観は、スモークガラスを使用した車両のフロントガラスの黒味と同等である。
30

【0194】

実施形態 101 の説明において、開口部 1006 には粒子 11 がほぼ存在しないものとして説明した。より一般的には、開口部 1006 とは、粒子 11 の密度の高い凝集粒子に対応する周囲の領域よりも、(特に、中間光状態において)著しく多い光が通過するよう粒子 11 の密度が低い 1 つの分離した領域をいう。さらに、開口部 1006 の縁部で粒子密度の大きさが急激に変化しなくてもよく、むしろ、粒子密度は、粒子凝集領域の高密度から開口部中心部の低密度へ勾配(傾斜)して減少してもよい。このような配慮は、帯電粒子の電界内における応答性は多くのファクターに依存し、必ずしも均一ではないからである。例えば、粒子 11 は様々な電荷移動度を有し得るため、電界内で様々な速度で移動する。
40
50

【 0 1 9 5 】

いくつかの実施形態では、装置は絶縁ガラスユニット（ I G U ）の一部分として組み込まれる。 I G U は、内側ガラス板および外側ガラス板の間に封止されたキャビティを有し、内側ガラス板および外側ガラス板の一方に、電気泳動フィルム装置がガラス積層体または貼付フィルム（つまり、感圧接着剤を使用してガラス板に張り付けたフィルム装置）として組み込まれる。使用に際して、ある実施形態では開口部を画定するフレームに取り付けられ、エレクトロアクティブウィンドウ（スマートガラスと同義）として機能する。

【 0 1 9 6 】

いくつかの実施形態では、電気泳動積層体はガラス積層体に接着された電気泳動フィルム装置を含み得る。かかる場合、ガラス積層体は安全ガラス構造（例えば、ガラス板 + P V B 製中間層 + ガラス板）を有し、電気泳動フィルム装置は透明感圧接着剤（ press ure sensitive adhesive ; P S A ）などの好適な接着剤層を使用して安全ガラスに接着される。ガラス積層体は安全ガラスの要件を充足し、そして、電気泳動フィルム装置は、その光状態により電気的に可変な光透過性を提供する。

10

【 0 1 9 7 】

強い日差しの太陽エネルギーの吸収により熱が蓄積し得るが、電気泳動フィルム装置に積層した（強い日差しに曝される）ガラス板に対して、熱ショックからより早く回復するように熱強化、化学強靭化、熱強靭化のいずれか 1 つを行うことが好ましい。さらに、熱強化、化学強靭化または熱強靭化を行ったガラス板をヒートソーク試験・処理することにより、熱応力によりガラス板が自然に破壊されるリスクが大幅に減少するか排除される。かかる場合、上記リスクを排除するプロセスを行うことにより、電気泳動積層体のガラス板としての使用に良好なガラス板を特定することができる。

20

【 0 1 9 8 】

いくつかの実施形態では、太陽光エネルギーを吸収する帯電粒子により引き起こされる熱の蓄積は約半分になる。上記装置の電気泳動インクは、（全ての帯域の光を吸収する帯電粒子と比較して）太陽光の赤外スペクトルを実質的に透過または反射する波長選択性の帯電粒子を使用し、太陽光の赤外スペクトルの吸収を最小限（太陽光エネルギーの半分以上）にする。有利には、波長選択性の帯電粒子を使用することにより、実施形態のピーク動作温度が低減し、また、積層ガラス板への熱応力が低減する。

30

【 0 1 9 9 】

本願明細書で記載した実施形態は、野外温度や太陽光への暴露を含む様々な用途に好適である。用途には、スマートガラスの光減衰器としての使用、シースルーディスプレイとしての使用、太陽光下で可読な反射型ディスプレイとしての使用が含まれる。窓、ガラスファサードまたは屋根システムの光透過率を制御することにより、シースルー性（すなわち、透明性）、プライバシー（不透明性）、電気的に可変な着色（つまり調光）、暗化などの機能を提供することができる。ディスプレイ装置の場合、シースルー（つまり、透明）ディスプレイの提供、野外公告板や公共標識などの野外用途用の、太陽下で可読な大型反射型ディスプレイの提供といった、新しい領域に機能を拡大することができる。

【図1A】

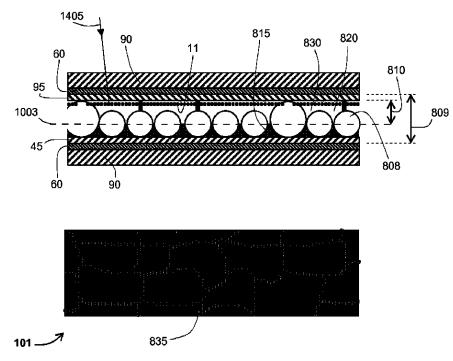


Fig. 1A

【図1B】

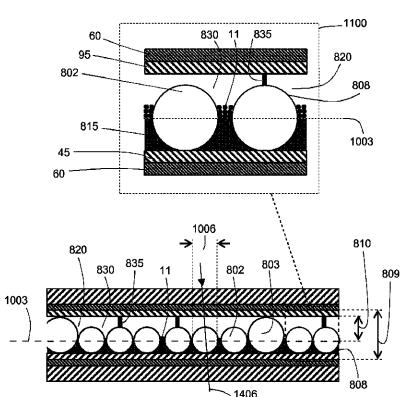
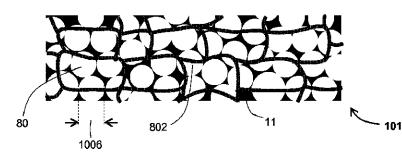


Fig. 1B



フロントページの続き

(72)発明者 ドナル オキーフェ

アイルランド国 カウンティー クレア カウンティー クレア パーティーン フェアリー・フィ
ールド 13

審査官 岩村 貴

(56)参考文献 特開2013-213953(JP,A)

特開2008-158067(JP,A)

米国特許出願公開第2012/0250141(US,A1)

特開2004-151553(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 02 F 1 / 167

G 09 F 9 / 37

G 09 G 3 / 16

G 09 G 3 / 34