

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7233082号
(P7233082)

(45)発行日 令和5年3月6日(2023.3.6)

(24)登録日 令和5年2月24日(2023.2.24)

(51)国際特許分類	F I	
G 0 2 B 26/00 (2006.01)	G 0 2 B 26/00	
G 0 2 B 26/08 (2006.01)	G 0 2 B 26/08	H
G 0 2 B 3/00 (2006.01)	G 0 2 B 3/00	A
G 0 2 B 3/14 (2006.01)	G 0 2 B 3/14	
G 0 2 B 5/02 (2006.01)	G 0 2 B 5/02	C
請求項の数 16 (全25頁) 最終頁に続く		

(21)出願番号	特願2018-243598(P2018-243598)	(73)特許権者	504180239 国立大学法人信州大学 長野県松本市旭三丁目1番1号
(22)出願日	平成30年12月26日(2018.12.26)	(74)代理人	100107766 弁理士 伊東 忠重
(65)公開番号	特開2019-120947(P2019-120947 A)	(74)代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦
(43)公開日	令和1年7月22日(2019.7.22)	(72)発明者	山田 泰美 大阪府茨木市下穂積1丁目1番2号 日 東電工株式会社内
審査請求日	令和3年12月15日(2021.12.15)	(72)発明者	平井 利博 長野県上田市常田三丁目15番1号 国 立大学法人信州大学繊維学部内
(31)優先権主張番号	特願2017-254351(P2017-254351)	審査官	堀部 修平
(32)優先日	平成29年12月28日(2017.12.28)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		
最終頁に続く			

(54)【発明の名称】 光学素子、マイクロレンズアレイ、及び光学素子の作製方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の電極層と、
第2の電極層と、
前記第1の電極層と前記第2の電極層の間に配置される高分子材料層と、
を有する光学素子であって、
電圧印加の下で前記高分子材料層が変形して前記光学素子の表面に光散乱体が形成され、
前記高分子材料層は、ゲル状の高分子材料に25%以下の負イオンの輸率が0.4以上であるイオン液体が添加されていることを特徴とする光学素子。

【請求項2】

前記高分子材料に対する前記イオン液体の重量比率は0.2wt%以上、1.5wt%以下であることを特徴とする請求項1に記載の光学素子。

【請求項3】

前記第2の電極層は開口を有し、
前記電圧印加の下で、前記光散乱体は前記開口から前記第2の電極層の表面に突出していることを特徴とする請求項1または2に記載の光学素子。

【請求項4】

前記第2の電極層は、所定の形状の非導電領域を有し、
前記非導電領域は、電氣的に中性で、かつ前記高分子材料層の変形に追従して変形する光透過性の材料で形成されており、

前記電圧印加の下で、前記高分子材料層と前記非導電領域が前記第 2 の電極層の表面に突出して前記光散乱体を形成していることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光学素子。

【請求項 5】

前記第 2 の電極層は、前記高分子材料層と面接触していることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

【請求項 6】

前記光散乱体は、凸形状であることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

【請求項 7】

前記第 2 の電極層は陽極層であり、前記第 1 の電極層は陰極層であることを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

【請求項 8】

前記第 2 の電極層は、金属材料で形成されていることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

【請求項 9】

前記第 2 の電極層は、絶縁体を導電膜で覆った構成であることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

【請求項 10】

前記第 1 の電極層と前記第 2 の電極層の少なくとも一方は、透明電極層であることを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

【請求項 11】

第 1 の電極層と、
第 2 の電極層と、
前記第 1 の電極層と前記第 2 の電極層の間に配置される高分子材料層と、
を有し、電圧印加の下で前記第 2 の電極層の表面に複数の光散乱体の配列を有し、
前記高分子材料層は、ゲル状の高分子材料に 2.5 での負イオンの輸率が 0.4 以上であるイオン液体が添加されていることを特徴とするマイクロレンズアレイ。

【請求項 12】

請求項 11 に記載のマイクロレンズアレイと、
前記マイクロレンズアレイに対向して配置される撮像素子アレイと、
を有することを特徴とする撮像装置。

【請求項 13】

請求項 11 に記載のマイクロレンズアレイと、
光源と、
を有することを特徴とする照明装置。

【請求項 14】

第 1 の電極層の上に高分子材料層を形成し、
前記高分子材料層の上に、第 2 の電極層を配置し、
前記第 1 の電極層と前記第 2 の電極層の間に電圧を印加して前記高分子材料層を変形させて、前記第 2 の電極層の表面に前記高分子材料層の一部を突出させて光散乱体を形成する、
工程を含み、前記高分子材料層は、ゲル状の高分子材料に 2.5 での負イオンの輸率が 0.4 以上であるイオン液体が添加されている、
光学素子の作製方法。

【請求項 15】

前記第 2 の電極層にあらかじめ所定の開口を形成し、
前記電圧の印加により、前記開口から前記高分子材料層の一部を突出させることを特徴とする請求項 14 に記載の光学素子の作製方法。

【請求項 16】

10

20

30

40

50

前記第2の電極層に、電氣的に中性で、かつ、前記高分子材料層の変形に追従して変形可能な光透過性の材料で所定の形状の非導電領域を形成し、

前記電圧の印加により、前記高分子材料層と前記非導電領域を変形させて前記第2の電極層の表面に前記光散乱体を形成することを特徴とする請求項14に記載の光学素子の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学素子、マイクロレンズアレイ、及び光学素子の作製方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、電圧の印加によって変形する高分子材料を用いて、レンズを光軸方向に移動させる焦点調節機構（たとえば、特許文献1参照）、レンズ駆動機構（たとえば、特許文献2参照）等が知られている。高分子材料はレンズを保持するレンズホルダに用いられており、電圧印加による高分子材料の伸縮を利用して、レンズの位置を光軸に沿って動かしている。

【0003】

また、電界の印加方向に伸縮する有機材料を一对の電極で挟み、有機材料層の電界印加方向と垂直な面内で単位電場当たりの電歪性歪量に分布を持たせることで、有機材料層と電極を変形させて凸レンズ、凹レンズ等を形成する方法が提案されている（たとえば、特許文献3参照）。

【0004】

人工筋肉アクチュエータに適用される高分子柔軟アクチュエータとして、ポリ塩化ビニル1～50重量部に対してイオン液体を1～30重量部含むゲル材料が知られている（たとえば特許文献4参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特許第4530163号

特許第5180117号

特許第5029140号

特許第5392660号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

レンズを光軸に沿って移動させる構成は、レンズホルダに配置された高分子材料を伸縮させることで、単一のレンズの位置を変化させている。この構成は、まずホルダを変形させ、ホルダの変形によってレンズ位置を変えるので、レンズ駆動の応答性と精度を十分に高めることが難しい。

【0007】

有機材料層の面内方向に電歪性歪量の分布を持たせる構成は、インクジェットやマイクロコンタクトプリンティングなどで、特性の異なる材料を微量ずつ所望の位置に塗布するため、レンズ作製の工程が複雑であり時間がかかる。

【0008】

また、上述した従来構成はいずれも単一のレンズの調整を目的としているが、イメージングや映像関連製品では、多数の微細なレンズを用いたマイクロレンズアレイに対する需要が高まっている。マイクロレンズアレイに焦点調整機能を付与することができれば、付加価値を高めることができる。

【0009】

上記の課題に鑑みて、本発明は、簡単な構成で光学特性を調整することのできる光学素

10

20

30

40

50

子とその作製方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明では、電圧印加による高分子材料の伸縮または変形を利用して、光学素子の表面に光散乱体を形成する。

【0011】

第1の態様では、第1の電極層と、第2の電極層と、前記第1の電極層と前記第2の電極層の間に配置される高分子材料層とを有する光学素子は、電圧印加の下で前記高分子材料層が変形して前記光学素子の表面に光散乱体が形成される。

【0012】

第2の態様では、光学素子の作製方法は、
第1の電極層の上に高分子材料層を形成し、
前記高分子材料層の上に、第2の電極層を配置し、
前記第1の電極層と前記第2の電極層の間に電圧を印加して前記高分子材料層を変形させて、前記第2の電極層の表面に前記高分子材料層の一部を突出させて光散乱体を形成する、
工程を含む。

【発明の効果】

【0013】

上記の構成と手法により、簡単な構成で光学特性を調整することのできる光学素子とその作製方法が実現される。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】実施形態の光学素子の基本構成を示す概略模式図である。

【図2】実施形態の光学素子の動作原理を説明する図である。

【図3】図1の光学素子の変形例を示す図である。

【図4】実施形態のマイクロレンズアレイの概略模式図である。

【図5A】実施形態のマイクロレンズアレイの変形過程を示す3D画像である。

【図5B】実施形態のマイクロレンズアレイの変形過程を示す3D画像である。

【図6】図5A及び図5Bのマイクロレンズアレイで用いる電極構成を示す図である。

【図7】図5A及び図5Bのマイクロレンズアレイの断面プロファイルを電圧の関数として示す図である。

【図8】図5A及び図5Bのマイクロレンズアレイの形態の光学素子の動作原理を説明する図である。

【図9】比較例としてメッシュ電極を用いたときの3D画像である。

【図10】図9で用いたポリマーゲルの断面プロファイルを示す図である。

【図11】比較例のポリマーゲルの変形を説明する模式図である。

【図12】光学素子のさらに別の変形例を示す図である。

【図13】実施形態の光学素子の光拡散分布を評価するテスト装置の模式図である。

【図14】図13のテスト装置での評価結果を示す画像である。

【図15】実施形態のマイクロレンズアレイを用いた撮像装置の模式図である。

【図16】実施形態のマイクロレンズアレイを用いた照明装置の模式図である。

【図17】高分子材料に種々のイオン液体を添加したときの高分子材料層の応答特性を示す図である。

【図18】イオン液体の物性とポリマーゲルの変位状態を示す図である。

【図19】イオン液体の添加量とポリマーゲルの変位の関係を示す図である。

【図20】電圧印加により形成された光散乱体の評価結果をイオン液体の添加量ごとに示す図である。

【図21】イオン液体の電極劣化への影響を示す図である。

【発明を実施するための形態】

10

20

30

40

50

【0015】

図1は、実施形態の光学素子10の基本構成図である。光学素子10は、一对の電極12と電極13の間に、高分子材料層11が挟持された三層の積層構造を有する。電極12と電極13の間に電圧が印加された状態で、少なくとも一方の電極（たとえば電極13）の表面13sに、光散乱体15を有する。光散乱体15は、高分子材料層11と同じ材料で形成されている。

【0016】

高分子材料層11と光散乱体15は、ゲル状のポリマー材料（以下、適宜「ポリマーゲル」と呼ぶ）で形成されている。光散乱体15は、電圧の印加によるポリマーゲルの伸縮または変形を利用して形成されている。図1(A)の例では、光散乱体15は、凸形状を有する。本明細書及び特許請求の範囲で「凸形状」というときは、とは、変形したポリマーゲルの少なくとも一部が電極の表面13s（ゼロ面）から上方に少なくとも一部が突出した状態を意味し、図1(A)のようにすべてが突出した状態に限られるものではない。

10

【0017】

図1(B)及び図1(C)に示すように、凸形の光散乱体の中央付近が凹状にくぼんだ形状も、光散乱体15全体としてみたときに電極13の開口14から突出しており、光散乱効果を有する。図1(B)のように、光散乱体15Aの頂点がわずかにくぼんだ状態だけではなく、図1(C)のように、光散乱体15Bの中央部が電極13の表面13sよりも下方にある場合も、「凸形状」に含まれる。

【0018】

ポリマーゲルは、ポリ塩化ビニル（PVC：polyvinyl chloride）、ポリメタクリル酸メチル、ポリウレタン、ポリスチレン、ポリ酢酸ビニル、ポリビニルアルコール、ポリカーボネート、ポリエチレンテレフタレート、ポリアクリロニトリル、シリコーンゴム等であり、使用波長に対して透明な高分子（または樹脂）材料を適宜選択することができる。

20

【0019】

実施形態では、電場の作用による変形例が大きく、取扱いが容易なPVCを用いる。PVCに適切な可塑剤を添加してもよいし、PVCを溶媒に溶解させてもよい。可塑剤を用いる場合は、アジピン酸ジブチル（DBA：dibutyl adipate）、アジピン酸ジエチル（DEA：diethyl adipate）、セバシン酸ジエチル（DES：diethyl sebacate）、フタル酸ジオクチル（DOP：dioctyl phthalate）、フタル酸ジエチル（DEP：diethyl phthalate）等を用いることができる。溶媒として、テトラヒドロフラン（THF）等を用いることができる。

30

【0020】

可塑剤の混合比率は50wt%以上、好ましくは75wt%以上である。混合比率が50wt%未満だと、電圧を印加しても高分子材料層11を変形させることが困難になる。混合比率が50wt%以上75wt%未満のときは、電圧印加により高分子材料層11を変形させることができるが、印加する電圧レベルが高くなるおそれがある。混合比率を75wt%以上とすることで、適切な電圧レベルで高分子材料層11を変形させることができる。

【0021】

電極12と電極13は、導電性を有する材料であれば、特に制限はない。電極12と電極13の少なくとも一方を金属で形成する場合は、白金、金、銀、ニッケル、クロム、銅、チタン、タンタル、インジウム、パラジウム、リチウム、ニオブ、これらの合金などを用いることができる。電極12と電極13の少なくとも一方をITO（Indium Tin Oxide：酸化インジウムスズ）等の透明な酸化物半導体材料で形成してもよいし、導電性ポリマー、導電性カーボン等を用いてもよい。

40

【0022】

電極12と電極13の極性は、高分子材料層11の形状を変化させる方向に応じて設定することができる。図1(A)～図1(C)の例では、電極12は陰極層、電極13は陽極層である。電極12と電極13は、高分子材料層11と面接触している。

50

【 0 0 2 3 】

電極 1 3 は開口 1 4 を有し、電圧が印加された状態で、光散乱体 1 5、1 5 A、及び 1 5 B が、開口 1 4 から電極 1 3 の表面 1 3 s を超えて突出している。開口 1 4 の径は、光学素子 1 0 の用途に応じて適宜設定することができるが、1 mm 未満、好ましくは 3 0 0 μ m 以下である。開口 1 4 の径が 1 mm 以上になると、電圧の印加によってポリマーゲルを開口 1 4 から突出させることが困難になる。開口の径が 3 0 0 μ m 以下とすることで、電圧印加に対するポリマーゲルの変形効率を高め、開口 1 4 の中心に対してほぼ均等な凸形状を形成することができる。

【 0 0 2 4 】

開口 1 4 の形状は、円、楕円、多角形等、目的に応じて決定することができる。

10

【 0 0 2 5 】

光学素子 1 0 の作製方法としては、所定の寸法に形成された電極 1 2 の上に、可塑剤が添加された P V C の溶液をキャスト法等で塗布して、高分子材料層 1 1 を形成する。高分子材料層 1 1 の上で、あらかじめ開口 1 4 のパターンを形成した電極 1 3 を配置する。電極 1 2 と電極 1 3 の間に所定の電圧を印加して、電極 1 3 の表面に光散乱体 1 5、1 5 A、または 1 5 B を形成する。

【 0 0 2 6 】

高分子材料層 1 1 の厚さは、開口 1 4 のサイズ、形成したい光散乱体 1 5 の高さ h 、用いる電極 1 2、1 3 の厚さ等に応じて適宜決定されるが、一例として、1 mm 以下、好ましくは 0 . 1 mm ~ 0 . 5 mm である。高分子材料層 1 1 の厚さが 0 . 1 mm 以下のときは多少ハンドリングしにくくなるが、あくまでも電極 1 3 の開口サイズとの兼ね合いがあるので、微細な多数のレンズを有するマイクロレンズアレイシートを作製する場合は、高分子材料層 1 1 の厚さが 0 . 1 mm 以下になる場合もあり得る。

20

【 0 0 2 7 】

図 2 は、図 1 (A) の形状を例にとり、実施形態の光学素子 1 0 の動作原理を説明する図である。図 2 (A) は電圧が印加されていない状態を示す。図 2 (B) は電圧が印加されたときの状態を示す。

【 0 0 2 8 】

図 2 (A) の状態では、高分子材料層 1 1 は表面がフラットな状態で開口 1 4 の内部にある。このときの高分子材料層 1 1 の表面位置は、高さ方向（積層方向）で電極 1 3 の表面 1 3 s よりも低い。電極 1 3 の表面 1 3 s を高さ方向のゼロ面とする。

30

【 0 0 2 9 】

図 2 (B) のように、電極 1 2 と電極 1 3 の間に電圧が印加されると、陰極である電極 1 2 からポリマーゲルの高分子材料層 1 1 に電子が注入される。電子を含むポリマーゲルは陽極である電極 1 3 の開口 1 4 の端面に引き付けられる。ゲルの弾性により、微細な開口 1 4 で圧縮された分のポリマーゲルが開口 1 4 の中央から押し上げられ、電極 1 3 の表面 1 3 s から突出し、光散乱体 1 5 が形成される。

【 0 0 3 0 】

ポリマーゲルの変形は、ゲルの弾性と電圧応答特性に基づくものであり、開口 1 4 から隆起して、開口 1 4 の中心に対して対称な突起となる。高分子材料層 1 1 の組成が均一であれば、同じレベルの電圧を印加することで、ばらつきの少ない凸形状の光散乱体 1 5 を形成することができる。

40

【 0 0 3 1 】

トータルのポリマーゲルの体積は同じであるから、開口 1 4 からポリマーゲルが突出した分だけ、高分子材料層 1 1 の厚さが若干、低減する。高分子材料層 1 1 の厚さが低減すると、高分子材料層 1 1 と面接触している電極 1 3 の位置も下方に下がる。

【 0 0 3 2 】

高分子材料層 1 1 の変形は可逆的であり、電圧の印加を停止することで、図 2 (B) の初期状態に戻すことができる。また、後述するように、印加する電圧のレベルに応じて、光散乱体 1 5 の高さ h を調整することができる。

50

【 0 0 3 3 】

図 3 は、光学素子 1 0 の変形例である光学素子 1 0 A の模式図である。光学素子 1 0 A では、図 1 の金属等の電極 1 3 に替えて、絶縁体 1 6 を導電膜 1 7 でコーティングした電極 1 3 A を陽極として用いる。絶縁体 1 6 は、二酸化ケイ素、アルミナセラミクス等の無機絶縁体や、絶縁樹脂を用いることができる。導電膜 1 7 は、白金、金、銀、ニッケル、クロム、銅、チタン、タンタル、インジウム、パラジウム、リチウム、ニオブ、これらの合金などの薄膜、導電性のポリマー、導電性カーボン、酸化物半導体の薄膜等で形成される。絶縁体 1 6 と導電膜 1 7 の双方を透明な材料で形成してもよい。

【 0 0 3 4 】

光散乱体 1 5 は、図 2 で説明したのと同様に、電圧印加の有無による可逆的な変形過程で形成される。上述のように、光散乱体 1 5 は、高分子材料層 1 1 の弾性と電圧応答特性を利用して開口 1 4 から押し出されて形成されるので、電圧印加により良好な凸形状を得ることができる。

10

【 0 0 3 5 】

図 3 の構成においても、光散乱体 1 5 の凸形状は、図 1 (B) の光散乱体 1 5 A の断面形状と、図 1 (C) の光散乱体 1 5 B の断面形状を含む。

【 0 0 3 6 】

図 3 の構成は、透明絶縁体と透明導電膜を用いることで、透明な光学素子の作製が可能になるという利点がある。また、金属材料の使用を減らして、光学素子 1 0 A 全体の質量を軽くできる。

20

【 0 0 3 7 】

図 1 の構成と、図 3 の構成は、光学素子の両面に光散乱体 1 5 を有する構成に拡張することが可能である。たとえば、陰極である電極 1 2 を共通電極として用い、電極 1 2 の両面に高分子材料層 1 1 を配置して 2 つの陽極の電極 1 3 で挟むことで、電圧印加により、光学素子の両面に光散乱体 1 5 を発生させることができる。中間にある電極 1 2 を透明電極にすることで、両側が凸のレンズユニットを形成することができる。

【 0 0 3 8 】

図 4 は、図 1 の光学素子 1 0 の適用例として、マイクロレンズアレイ 1 0 0 を示す模式図である。マイクロレンズアレイ 1 0 0 は、電極 1 3 の表面 1 3 s に複数の光散乱体 1 5 の配列を有する。

30

【 0 0 3 9 】

マイクロレンズアレイ 1 0 0 は、一对の電極 1 2 と電極 1 3 の間に、高分子材料層 1 1 が挟持された三層の積層構造を有する。高分子材料層 1 1 は、図 1 を参照して説明したように、PC、ポリメタクリル酸メチル、ポリウレタン、ポリスチレン、ポリ酢酸ビニル、ポリビニルアルコール、ポリカーボネート、ポリエチレンテレフタレート、ポリアクリロニトリル、シリコーンゴム等のポリマーゲルである。

【 0 0 4 0 】

ポリマーゲルに、DBA、DEA、DES、DOP、DEP等の可塑剤を添加してもよい。可塑剤の混合比は、50wt%以上、より好ましくは75wt%以上である。

【 0 0 4 1 】

電極 1 2 と電極 1 3 は、適切な導電性の材料で形成されている。電極 1 2 は陰極層、電極 1 3 は陽極層であり、光散乱体 1 5 の配列は、陽極の表面 1 3 s に形成されている。一例として、高分子材料層 1 1 の厚さは500 μ m、光散乱体 1 5 の径は150 μ m、中心心間のピッチは200 μ m、隣接する2つの光散乱体 1 5 の間隔は50 μ mである。

40

【 0 0 4 2 】

マイクロレンズアレイ 1 0 0 は、フィルム状の電極 1 3 に形成されたミクロンオーダーの開口とポリマーゲルの弾性を利用して形成されており、電極 1 3 の表面 1 3 s に、均一な凸形状の光散乱体 1 5 が配列されている。

【 0 0 4 3 】

図 2 を参照して説明したように、電極 1 2 と電極 1 3 の間に印加される電圧のレベルに

50

応じて、光散乱体 15 の配列を出現させ、及び/または光散乱体 15 の高さを変更することができる。

【0044】

図 5 A 及び図 5 B は、図 4 のマイクロレンズアレイ 100 に印加する電圧のレベルを変えながら観察した 3D 画像である。印加電圧を 0 V、600 V、700 V、800 V と変化させて得られた各画像が図 5 A の (A)、(B)、及び図 5 B の (A)、(B) である。電極 13 の表面 13s の位置を 0 μm として、光散乱体 15 が突出する方向をプラス側、表面 13s よりも低い側をマイナス側とする。3D 観測は、キーエンス社製のデジタルマイクロスコープ VHX 1000 を用いて行う。

【0045】

図 6 は、図 5 A 及び図 5 B の 3D 観察に用いたサンプルの電極 3 の諸元を説明する図である。電極 13 は、複数の開口 14 を有する。6 mm \times 6 mm の開口領域に、径が 150 μm の開口 14 を 30 \times 30 のマトリクスに配置する。開口 14 のピッチ P は 200 μm 、隣接する開口 14 と開口 14 の間隔は 50 μm である。

【0046】

陰極となる電極 12 に ITO フィルムを用い、陽極となる電極 13 に金属膜を用いる。電極 12 の厚さ t_1 は 30 μm 、電極 13 の厚さ t_2 は 30 μm 、高分子材料層 11 の厚さ t_3 は 500 μm である。

【0047】

高分子材料層 11 は、PVC にアジピン酸ジブチル (DBA) を混合比率が 80 wt % となるように添加し、THF の溶媒に完全に溶解させてゲル溶液とした後、ゲル溶液を電極 12 の上に厚さ 500 μm でキャストしたものである。可塑剤である DBA はマイナスイオンを帯びやすく、電圧の印加により、ポリマーゲルを陽極の開口 14 に引き付けることができる。高分子材料層 11 の上に、電極 13 を配置する。

【0048】

図 5 A 及び図 5 B に戻って、図 5 A の画像 (A) で電圧の印加がない場合は ($V = 0\text{ V}$)、高分子材料層 11 は開口 14 の内部でフラットな状態にある。同図の画像 (B) で、600 V の電圧を印加すると、開口 14 内に部分的な突起が観察される。図 5 B の画像 (A) で、700 V の電圧を印加すると、ポリマーゲルが開口 14 の全体にわたって凸形状に変形して、電極 13 の表面から突出する。同図の画像 (B) で、800 V の電圧を印加すると、さらに高さが増大して中心に対してほぼ対称の凸形状が得られる。

【0049】

図 7 は、図 5 A 及び図 5 B の 3D 画像から、対角上に並ぶ 3 つの連続する光散乱体 15 の高さを電圧印加の関数としてプロットしたものである。縦軸が電極 13 の表面 13s からの高さ、横軸が電極 13 の面内位置であり、1 グリッドを 150 μm としている。

【0050】

電圧の印加がないとき (0 V)、開口 14 の内部でのポリマーゲルの高さ位置は、-30 μm よりも数 μm 浅い位置にある。これは電極 3 の自重により高分子材料層 11 の表面がわずかに開口 14 に中に入るからである。開口 14 内でのポリマーゲルのプロファイルは平坦になっている。

【0051】

電圧の印加が 500 V のとき、ポリマーゲルの変形が始まり、開口 14 の中心近傍でポリマーゲルの表面位置が、初期位置よりも低くなる。これは、プラスの開口 14 のエッジがプラス極になり、ポリマーゲルが開口 14 の側壁に張り付いて引き上げられたことにより、開口の中央近傍でポリマーゲルの表面位置が下がったためである。

【0052】

電圧の印加が 600 V のとき、ポリマーゲルは部分的に、開口 14 から電極 13 の表面位置を超えて突出する。突出は、開口 14 の中央部分から始まる。

【0053】

電圧の印加が 700 V のとき、ポリマーゲルの突出が顕著になり、凸型に変形する。電

10

20

30

40

50

圧の印加が 800 V で、高さが 40 μm の凸形状が得られる。図 7 のプロファイルから分かるように、各光散乱体の端面形状は均一な形状となる。図 4 の構成を採用することで、電圧の印加により均一なマイクロレンズアレイが得られる。

【0054】

図 8 は、図 5 A 及び図 5 B の電圧印加によるマイクロレンズアレイの動作原理を説明する図である。図 8 (A) で、印加電圧が 500 V 未満のときは、高分子材料層 11 は表面がフラットな状態で開口 14 の内部にある。このときの高分子材料層 11 の表面位置は、高さ方向 (積層方向) で電極 13 の表面 13 s よりも低い。ここで、印加電圧が 500 V 未満というのは、用いる高分子材料層 11 の弾性率、電極 13 の開口 14 の径 等によって決まる電圧レベルであり、一例にすぎないことに留意されたい。

10

【0055】

図 8 (B) のように、印加される電圧レベルを 600 V とすることで、電子を帯びたポリマーゲルが陽極の電極 13 の開口 14 の端面に引き付けられる。ポリマーゲルの変形の初期は、プラスの電荷をおびている開口 14 の端面に優先的に引き付けられ、開口 14 の中央部でポリマーゲルは、電極 13 の表面 13 s 位置よりも低い。図 5 A、図 5 B、及び図 7 を参照すると、ポリマーゲルが開口 14 の周囲に引き付けられた凹状態から凸状態に遷移するときの最初の突起は、開口 14 の中央部から生じると考えられる。

【0056】

図 8 (C) で、印加される電圧レベルが 600 V を超えると、ポリマーゲルの弾性により、ポリマーゲルは開口 14 内に全体的に押し上げられる。開口 14 で圧縮された分のポリマーゲルは開口 14 からさらに押し上げられ、電極 13 の表面 13 s から突出し、光散乱体 15 が形成される。

20

【0057】

なお 800 V を印加してもポリマーゲルに流れる電流は 10 μA 以下と非常に低く、発熱量が抑制され、長期の使用に耐えられる。

【0058】

図 8 のポリマーゲルの変化は、すべての開口 14 で発生する。高分子材料層 11 の組成が完全に均一、かつすべての開口 14 が完全に同一な理想的な状態では、均一な形状の光散乱体 15 のアレイが得られるはずである。実際は、開口 14 の加工ばらつき、高分子材料層 11 の内部での組成のばらつき等により、図 7 のように、光散乱体 15 の形状に若干のばらつきが含まれるが、図 5 B で観察されるように、全体として均一なマイクロレンズアレイ 100 が実現される。

30

【0059】

図 9 は、比較例として、電極 13 に替えて、断面が円形の金属配線を用いたメッシュ電極を用いたときのポリマーゲルの変化を観察した 3D 画像である。直径 70 μm の銅線を 140 μm 間隔のメッシュに編み込んで、140 μm x 140 μm の開口 114 を有するメッシュ電極を形成する。図 5 A 及び図 5 B で用いたのと同じ厚さ 30 μm の陰極の上に、同一組成のポリマーゲルを用いた高分子材料層 11 を厚さ 150 μm に塗布する。高分子材料層 11 の上にメッシュ電極を配置し、図 5 B と同様に、陰極とメッシュ電極の間に 800 V の電圧を印加する。3D 観察では、800 V の電圧を印加してもメッシュ電極の開口 114 内に、突起が観察されない。

40

【0060】

図 10 は、図 9 の 3D 画像から、X - X' ラインに沿って並ぶ開口内の高分子材料層 11 の高さをプロットしたものである。縦軸がメッシュ電極の表面からの高さである。メッシュ電極は、断面が円形の銅電線で形成されており、同電線の最も高い位置を 0 μm としている。

【0061】

図 10 からわかるように、800 V の電圧をかけても、メッシュ電極の開口 114 から表面に突出する突起は形成されない。これは、実施形態のマイクロレンズアレイ 100 に用いられる電極 13 が高分子材料層 11 と面接触しているのに対し、導電線を編み込んだ

50

メッシュ電極は、垂直断面で高分子材料層 1 1 と点接触に近い状態にあるからと考えられる。

【 0 0 6 2 】

なお、図 1 0 で電圧印加がない状態での高さ位置が - 2 0 0 μm になっているのは、メッシュ構造で導電線がクロスする点では、導電線が 2 本分の厚さになるからである。メッシュの編み込みは必ずしも均一でなく、導電線に隙間や歪みが含まれるとクロス位置での深さ位置は若干変動する。光学的な測定で光が入りづらい深さ方向での誤差 ($\pm 2 0 \mu\text{m}$ 程度) を考慮すると、図 1 0 の測定結果は妥当な結果である。

【 0 0 6 3 】

図 1 1 は、図 9 の比較例の構成で電圧が印加されたときの動作を説明する図である。図 1 1 (A) で印加電圧が 0 V のときは、高分子材料層 1 1 の表面はフラットである。高分子材料層 1 1 の上に配置されるメッシュ電極の導電線は、接線方向で高分子材料層 1 1 の表面と接触している。

10

【 0 0 6 4 】

図 1 1 (B) で 8 0 0 V の電圧を印加した場合、負の電荷をおびたポリマーゲルは、陽極線 (メッシュ電極) の周囲に張り付くように、流動する。しかし、開口 1 1 4 内でゲルが突起するほどの変形は生じない。陽極線と高分子材料層 1 1 の接触は点接触であり、ポリマーゲルを開口 1 1 4 内で均一に押し上げる変形をもたらすだけの均一な電圧印加が得られていないためと考えられる。

【 0 0 6 5 】

印加電圧をさらに高くした場合 (たとえば 1 0 0 0 V 以上にした場合) は、開口 1 1 4 内にポリマーゲルが突出する可能性があり得るが、消費電力が大きくなるうえに、実施形態のような均一な形状の光散乱体 1 5 の配列を有するマイクロレンズアレイは期待できない。

20

【 0 0 6 6 】

図 1 2 は、光学素子 1 0 のさらに別の変形例として、光学素子 1 0 B の構成を示す。図 1 ~ 図 3 の構成では、電極 1 3 は開口 1 4 を有しており、電圧印加の下で光散乱体 1 5 を開口 1 4 から突出させている。図 1 2 の構成では、電極 1 3 は、所定の形状の非導電性領域 1 9 を有する。非導電性領域 1 9 は、電気的に中立で、かつ高分子材料層 1 1 の変形に追従して変形可能な光透過性の材料で形成されている。

30

【 0 0 6 7 】

変形可能な非導電性かつ光透過性の材料は、高分子材料層 1 1 と同じ材料であってもよいし、異なる材料であってもよい。非導電性領域 1 9 を高分子材料層 1 1 と異なる材料で形成する場合は、屈折率の違いを利用して、光の拡散を制御することができる。

【 0 0 6 8 】

非導電性領域 1 9 の平面形状は、光学素子の目的、用途に応じて適宜選択され、円、楕円、多角形等である。非導電性領域 1 9 は、たとえば、電極 1 3 にあらかじめ所定の形状の開口 1 4 を形成し、開口内に、電気的に中立、かつ高分子材料層 1 1 の変形に追従して変形可能な光透過性の材料の層を充填することで形成される。

【 0 0 6 9 】

図 1 2 (B) に示すように、電極 1 2 と電極 1 3 の間に電圧が印加されると、高分子材料層 1 1 が変形する。高分子材料層 1 1 の変形に追従して非導電性領域 1 9 が変形する。高分子材料層 1 1 の変形部 1 8 と、非導電性領域 1 9 とで、光散乱体 1 5 が形成される。

40

【 0 0 7 0 】

非導電性領域 1 9 を構成する層の厚さは、必ずしも電極 1 3 の厚さと一致している必要はなく、電極 1 3 の厚さよりも薄くてもよい。また、非導電性領域 1 9 と高分子材料層 1 1 はかならずしも面接触していなくてもよく、間に空気層が介在していてもよい。後者の場合、電圧の印加により高分子材料層 1 1 が変形して非導電性領域 1 9 と接触すると、高分子材料層 1 1 の変形に追従して非導電性領域 1 9 が変形して、光散乱体 1 5 を形成することができる。

50

【 0 0 7 1 】

図 1 3 は、実施形態の光学素子 1 0 の光拡散分布を評価するテスト装置の模式図である。光学素子 1 0 は、陽極に 1 5 0 μm 径の開口が形成された厚さ 3 0 μm の金属フィルムを用い、陰極に、厚さ 1 5 0 μm の I T O フィルムを用いている。陽極と陰極の間に挟まれる高分子材料層として、可塑剤 D B A の含有率が 8 3 % の P V C ゲルを用いる。P V C ゲルの厚さは 1 5 0 μm である。この三層構造の光学素子 1 0 をポリエチレンテレフタレート (P E T) のベースフィルム上に保持し、種々の直流電圧を印加して光散乱体 1 5 を陽極の表面に形成する。

【 0 0 7 2 】

光学素子 1 0 は、陰極となる I T O 膜がレーザ源の側にあり、光散乱体 1 5 がスクリーンの方向に向かって突出するように保持されている。電極に印加される電圧を、0 V、6 0 0 V、7 0 0 V、8 0 0 V と変化させる。各電圧レベルで、レーザ源から赤色平行光 L を光学素子 1 0 に入射して、光散乱体 1 5 による集光と拡散を評価する。上述のように、赤色レーザ光は光学素子 1 0 の透明な陰極側から入射し、光散乱体 1 5 によって集光される。

10

【 0 0 7 3 】

光学素子 1 0 の光散乱体 1 5 の径は 1 5 0 μm 、高さは 0 ~ 4 0 μm である。陽極の表面に光散乱体 1 5 が形成されて集光機能が発現した場合、その焦点位置は光学素子 1 0 のきわめて近傍にあり、肉眼での観察が困難である。そこで、焦点を超えた位置にスクリーンを配置し、一度集光した後の光拡散を観察する。

20

【 0 0 7 4 】

図 1 4 は、図 1 3 のテスト装置での評価結果を示す画像である。画像 (A) は、印加電圧が 0 V のときのスクリーン上の光拡散画像である。画像 (B) は、印加電圧が 6 0 0 V のときのスクリーン上の光拡散画像である。画像 (C) は、印加電圧が 7 0 0 V のときのスクリーン上の光拡散画像である。画像 (D) は、印加電圧が 8 0 0 V のときのスクリーン上の光拡散画像である。

【 0 0 7 5 】

図 1 4 の (A) で、電圧が印加されていないときは、光学素子 1 0 の陽極面に光散乱体 1 5 は形成されておらず、陰極の I T O フィルムから入射した光は、フラットな P V C ゲル層をそのまま透過して、スクリーンに投射される。光の拡散は小さく、スクリーンの中央に明るいスポットが観察される。

30

【 0 0 7 6 】

図 1 4 の (B) で、印加電圧が 6 0 0 V のときは、P V C ゲルの変形初期であり、変形が開始されても集光機能を発現する凸形状には至っていない。したがって、光学素子 1 0 の陰極側から入射した光は、集光作用をほとんど受けずにスクリーンに投射され、印加電圧が 0 V のときと類似した光スポットが観察される。

【 0 0 7 7 】

図 1 4 の (C) で、印加電圧が 7 0 0 V のときは、陽極の表面に凸状の光散乱体 1 5 が形成される。レーザ光は光散乱体 1 5 で集光された後に拡散して、拡散光がスクリーンに投射される。7 0 0 V の電圧印加では、光散乱体 1 5 の曲率半径は比較的大きく、焦点距離が長いため、スクリーン位置での光の拡散はそれほど顕著ではない。

40

【 0 0 7 8 】

図 1 4 の (D) で、印加電圧が 8 0 0 V のときは、陽極の表面により高さの高い凸状の光散乱体 1 5 が形成される。光散乱体の曲率半径は小さく、焦点距離が短くなり、光学素子 1 0 の近傍で焦点を結んだあとに拡散される。スクリーンの位置では、大きく拡散された光が観察される。

【 0 0 7 9 】

これらの光拡散分布から、印加電圧を調整することにより、光散乱体 1 5 の焦点距離を可変にできることが確認される。実施形態の光学素子 1 0 は、可変焦点レンズ、または可変形状レンズとして用いることができる。

50

【 0 0 8 0 】

図 1 5 は、実施形態のマイクロレンズアレイ 1 0 0 を用いた撮像装置 1 5 0 の模式図である。撮像装置 1 5 0 は、複数の光散乱体 1 5 の配列を有するマイクロレンズアレイ 1 0 0 と、複数の撮像素子が配列された撮像素子アレイ 1 3 0 を有する。撮像素子は、CCD (charge coupled device)、CMOS (complementary metal oxide semiconductor) センサなどで形成されている。撮像素子の配列に対応して、三色のカラーフィルタ 1 3 1 が配置されていてもよい。この例では、赤 (R)、緑 (G)、青 (B) のカラーフィルタ 1 3 1 R、1 3 1 G、1 3 1 B が交互に配置されている。

【 0 0 8 1 】

図 1 6 は、実施形態のマイクロレンズアレイ 1 0 0 を用いた照明装置 2 5 0 の模式図である。照明装置 2 5 0 は、たとえば LED ランプ等の光源 2 3 0 と、光源 2 3 0 の出力側の前面に配置されたマイクロレンズアレイ 1 0 0 を有する。マイクロレンズアレイ 1 0 0 を配置することで、光拡散を制御して、輝度を高く保った状態で拡散光を平行光に変換することができる。また、微細な発光素子の出力面の近傍に実施形態の光学素子、または複数個の光散乱体 1 5 を有するマイクロレンズアレイ 1 0 0 を配置することで、顕微鏡用、産業用等の照明装置に適用することもできる。

10

【 0 0 8 2 】

マイクロレンズアレイ 1 0 0 は、1 mm 以下の薄型に形成され、陽極、陰極ともに透明化することができるので、超薄型カメラ、ヘッドマウントディスプレイ (HMD)、マイクロレンズアレイ (MLA) シート、等への適用のほか、内視鏡システム等の医療分野にも適用可能である。単一の光散乱体 1 5 を有する光学素子 1 0 も、医療、画像形成の分野で光拡散シート、レンズシート等に適用することができる。

20

【 0 0 8 3 】

< 高分子材料の構成 >

上述のように、実施形態の光学素子とマイクロレンズアレイは、複雑な機構を用いずに電圧をオン / オフ制御、あるいは電圧レベルを調整することで、様々な配向分布をもつ光散乱体を発生させることができる。印加される電圧は低い方が望ましい。そこで、光学素子及びマイクロレンズアレイに用いられる高分子材料の組成を工夫して、印加電圧を低減する。

【 0 0 8 4 】

具体的には、高分子材料層 1 1 で用いられるゲル状の高分子材料 (ポリマーゲル) に、所定の条件を満たすイオン液体を添加することで、光学素子 1 0 またはマイクロレンズアレイ 1 0 0 の駆動電圧を低減する。イオン液体の添加により、高分子材料の変形効率を高めることができる。

30

【 0 0 8 5 】

イオン液体は、カチオン (正の電荷を帯びたイオン) とアニオン (負の電荷を帯びたイオン) で構成される塩であり、2 5 で液体のものをいう。所定の条件のひとつは、イオン液体が、2 5 で一定値以上のアニオン (負イオン) 輸率をもつことである。この条件の詳細については、後述する。

【 0 0 8 6 】

高分子材料は、上述したように、ポリ塩化ビニル (PVC : polyvinyl chloride)、ポリメタクリル酸メチル、ポリウレタン、ポリスチレン、ポリ酢酸ビニル、ポリビニルアルコール、ポリカーボネート、ポリエチレンテレフタレート、ポリアクリロニトリル、シリコーンゴム等である。好ましい構成例では、使用波長に対して透明な高分子または樹脂材料が用いられる。

40

【 0 0 8 7 】

このような高分子材料に対するイオン液体の重量割合は、0 . 2 wt% 以上、1 . 5 wt% 以下であり、より好ましくは、0 . 3 wt% 以上、1 . 0 wt% 以下である。高分子材料の重量を 1 (または 1 0 0 %) としたときに、この重量割合のイオン液体を混合することで、光学素子またはマイクロレンズアレイの駆動電圧を低減することができる。この根拠に

50

ついても後述する。

【0088】

ポリマーゲルに適切な可塑剤を添加してもよいし、溶媒に溶解させてもよい。可塑剤を用いる場合は、アジピン酸ジブチル (DBA : dibutyl adipate)、アジピン酸ジエチル (DEA : diethyl adipate)、セバシン酸ジエチル (DES : diethyl sebacate)、フタル酸ジオクチル (DOP : dioctyl phthalate)、フタル酸ジエチル (DEP : diethyl phthalate) 等を用いることができる。溶媒としては、テトラヒドロフラン (THF) 等のエーテル系の溶媒を用いることができる。

【0089】

イオン液体が添加された高分子材料は、図1及び図2の光学素子10、図3の光学素子10A、図12の光学素子10B、及び図4のマイクロレンズアレイ100のいずれにも適用可能である。以下で詳細に述べるように、高分子材料に所定の条件のイオン液体を添加することで、高分子材料層11の駆動電圧を200V以下、より好ましくは、150V以下に低減することができる。

10

【0090】

図17は、種々のイオン液体を添加したときのポリマーゲルの電圧応答特性を示す。重量平均分子量が230000のPVCをテトラヒドロフラン (THF) の溶媒に溶解させたポリマーゲルを準備し、種々のイオン液体を添加して複数種類のサンプルを作製する。各サンプルを図1及び図2のように電極12と電極13の間に挟み込み、印加電圧を変えてピーク高さhの電圧依存性を測定する。比較例として、イオン液体が添加されていないポリマーゲルを用いて、同じくピーク高さの電圧依存性を測定する。ここで、ピーク高さというときは、電極13の表面13sからの高さhが最も高い部分の値をいう。

20

【0091】

下部電極となる電極12の上に、サンプルと比較例のポリマーゲルを厚さ300µmに塗布する。ポリマーゲルの上に、上部の電極13として、直径100µmのホールが形成された厚さ20µmの金属薄膜を配置する。電極12と電極13の間に印加する電圧を0Vから400Vの間で変化させて、電極13から突出する光散乱体15のピーク高さhを測定する。

【0092】

ラインAは、イオン液体として1-エチル-3-メチルイミダゾリウム=テトラフルオロボラート (EMI-BF₄) を添加したサンプルAのピーク高さの電圧依存性を示す。PVCに対するEMI-BF₄の重量割合は0.5wt%である。EMIはカチオン、BF₄はアニオンである。

30

【0093】

ラインBは、イオン液体として1-オクチル-3-メチルイミダゾリウム=テトラフルオロボラート (OMI-BF₄) を添加したサンプルBのピーク高さの電圧依存性を示す。PVCに対するOMI-BF₄の重量割合は0.5wt%である。OMIはカチオン、BF₄はアニオンである。

【0094】

ラインCは、イオン液体として1-エチル-3-メチルイミダゾリウム=ジシアナミド (EMI-DCA) を添加したサンプルCのピーク高さの電圧依存性を示す。PVCに対するEMI-DCAの重量割合は、0.5wt%である。EMIはカチオン、DCA (C₂N₃) はアニオンである。

40

【0095】

ラインDは、イオン液体としてテトラブチルホスホニウム=テトラフルオロボラート (TBP-BF₄) を添加したサンプルDのピーク高さの電圧依存性を示す。PVCに対するTBP-BF₄の重量割合は、0.1wt%である。TBPはカチオン、BF₄はアニオンである。

【0096】

ラインEは、イオン液体としてテトラブチルホスホニウム=テトラフルオロボラート (T

50

B P - B F₄) を添加したサンプル E のピーク高さの電圧依存性を示す。イオン液体の種類はサンプル D と同じであるが、P V C に対する T B P - B F₄ の重量割合は 0 . 5 wt% である。T B P はカチオン、B F₄ はアニオンである。

【 0 0 9 7 】

ライン F は、イオン液体として 1 - エチル - 3 - メチルイミダゾリウム = トリフルオロメタンスルホンイミド (E M I - T F S I) を添加したサンプル F のピーク高さの電圧依存性を示す。P V C に対する E M I - T F S I の重量割合は 0 . 5 wt% である。E M I はカチオン、T F S I はアニオンである。

【 0 0 9 8 】

ライン G は、イオン液体としてテトラブチルホスホニウム = メタンスルホン酸 (T B P - M E S) を添加したサンプル G のピーク高さの電圧依存性を示す。P V C に対する T B P - M E S の重量割合は、0 . 5 wt% である。T B P はカチオン、M E S はアニオンである。

10

【 0 0 9 9 】

ライン W は、比較例としてイオン液体が添加されていないサンプル W の P V C ポリマーゲルのピーク高さの電圧依存性を示す。

【 0 1 0 0 】

図 1 7 の測定結果から、イオン液体を添加しない場合でも、誘電分極が生じるポリマーゲルを用いることで、電圧印加によりポリマーゲルが変形する。イオン液体を添加していない比較例のポリマーゲル W では、印加電圧に対してほぼリニアに光散乱体 1 5 の高さが増大している。しかし、サンプル W を電極 1 3 の表面 1 3 s から 2 0 μ m の高さに突出させるには、4 0 0 V の電圧が必要である。

20

【 0 1 0 1 】

これに対し、イオン液体として E M I - B F₄ を 0 . 5 wt% 添加したサンプル A と、O M I - B F₄ を 0 . 5 wt% 添加したサンプル B は、1 0 0 V 以下の電圧印加で、高分子材料層 1 1 を 2 0 μ m 以上の高さに駆動することができる。特に、サンプル A は、5 0 V の電圧印加で 2 0 μ m の高さ、2 0 0 V の電圧印加で、4 0 μ m 弱の高さに変位する。サンプル B も、1 0 0 V の電圧印加で 2 5 μ m の高さ、2 0 0 V の電圧印加で 3 0 μ m の高さに変位する。

【 0 1 0 2 】

E M I - D C A を 0 . 5 wt% 添加したサンプル C は、イオン液体を添加しないサンプル W と比較して、約半分の印加電圧 (2 1 0 ~ 2 2 0 V) で同じ 2 0 μ m のピーク高さを得ることができ、変形効率を大きく向上している。

30

【 0 1 0 3 】

T B P - B F₄ を 0 . 1 wt% 添加したサンプル D は、5 0 V の電圧印加で電極 1 3 の表面 1 3 s から光散乱体 1 5 を突出させることができるが、電圧を高くしても、ピーク高さは 1 0 μ m 未満のままであり、5 0 V から 4 0 0 V の範囲でピーク高さの変化が小さい。サンプル D では、電圧制御により光散乱体 1 5 の高さを精度良く調整することが難しい。

【 0 1 0 4 】

T B P - B F₄ を 0 . 5 wt% 添加したサンプル E、E M I - T F S I を 0 . 5 wt% 添加したサンプル F、及び T B P - M E S を 0 . 5 wt% 添加したサンプル G は、4 0 0 V の電圧を印加しても、電極 1 3 の表面 1 3 s から光散乱体 1 5 を突出させることができない。

40

【 0 1 0 5 】

図 1 7 の測定結果から、イオン液体の種類 (すなわち物性) と添加量の少なくとも一方が高分子材料層 1 1 の駆動電圧の低減に関与していると考えられる。

【 0 1 0 6 】

< ポリマーゲルの変位とイオン液体の物性の関係 >

図 1 8 は、ポリマーゲルの変位とイオン液体の物性の関係を示す図である。イオン液体として、図 1 7 のサンプル A ~ G に加えて、1 - エチル - 3 - メチルイミダゾリウム = フルオロスルホニルイミド (E M I - F S I) を添加したサンプル H の物性も併せて測定す

50

る。

【0107】

各種のイオン液体を添加したサンプルA～Hで、変位がプラスのものは、電圧の印加によりポリマーゲルが電極13の表面13sから突出して光散乱体15が形成されたものを示す。変位がマイナスのものは、電圧を印加しても電極13の表面13sからポリマーゲルが突出しないものである。

【0108】

各イオン液体の物性として、導電率、電位窓のサイズ、25℃での負イオンの拡散係数と輸率を測定する。用いたイオン液体の中には、25℃で固体のものもあるため、80℃に加熱して溶融したものについては、80℃での負イオンの拡散係数と輸率を測定する。

10

【0109】

上述のパラメータのうち、まず導電率について検討する。サンプルCは、サンプルA、Bと比較して導電率が2桁小さいが、サンプルCを添加したポリマーゲルはプラスに変位している。これに対し、サンプルHは、サンプルCよりもはるかに導電率が大いだが、ポリマーゲルはプラスに変位していない。イオン液体の導電率は、ポリマーゲルの変形効率に直接関係しないと考えられる。

【0110】

電位窓は、図2の系で電気化学的に安定性が保たれる電位領域のことである。電位窓が広いほど（数値が大きいほど）、系が電気化学的に安定する範囲が広い。サンプルAとサンプルFの電位窓は同じ広さであるにもかかわらず、サンプルAのポリマーゲルはプラスに変位し、サンプルFのポリマーゲルは、プラスの変位が得られていない。イオン液体の電位窓の広さも、ポリマーゲルの変形効率に直接関係しないと考えられる。

20

【0111】

次に、25℃でのアニオン（負イオン）の拡散係数と輸率について検討する。イオン液体に含まれる正負イオンの拡散係数は、測定機器として、固体NMR（Varian社製のVNMR System）を用いて測定する。測定手順は、キャピラリーにイオン液体を注入し、装置にセットする。所定温度（この場合は25℃と80℃）で磁場の変化に対するシグナル強度を計測し、Stokes-Einsteinの式から正負イオンの拡散係数を算出する。

【0112】

負イオンの輸率は、イオン液体に電流を流した際に、全電流に対するアニオンが担う電流の割合を表わす。負イオンの輸率は、上記で求めた負イオンの拡散係数と正イオンの拡散係数の総和に対する負イオンの拡散係数の比（ $D_{\text{anion}} / (D_{\text{cation}} + D_{\text{anion}})$ ）として計算される。

30

【0113】

サンプルA、B、C、F、Hに用いられたイオン液体は、25℃で液体であり、液体クロマトグラフィーによる測定結果から、各イオン液体の負イオンの拡散係数と輸率を算出した。プラスの変位が得られたサンプルA、B、Cで、25℃でのイオン液体の負イオンの輸率は、いずれも0.4以上である。これに対し、プラスの変位が得られないサンプルFとHで用いられたイオン液体の25℃での負イオンの輸率は0.4よりも小さい。ここから、室温での負イオンの輸率がポリマーゲルの変形効率に影響していると考えられる。

40

【0114】

なお、プラスの変位が得られたサンプルDに添加されたイオン液体TBP-BF₄は、用いた液体クロマトグラフの加熱可能温度（80℃）では溶融しないため、拡散係数を測定することができなかった。

【0115】

プラスの変位が得られないサンプルGに添加されたイオン液体TBP-MESも25℃で固体であるため、拡散係数を測定することができない。このイオン液体を80℃に加熱したところ、溶融したので負イオンの拡散係数と輸率を計算したところ、輸率は0.6であった。

【0116】

50

図 1 8 の結果から、高分子材料層 1 1 に添加されるイオン液体の特性として、2 5 での負イオンの輸率が 0 . 4 以上のものが望ましいとわかる。

【 0 1 1 7 】

図 1 7 及び図 1 8 から、イオン液体のアニオンのサイズ（分子量）が小さいほうが、ポリマーゲルの変形効率に寄与することが推定される。一方、イオン液体のカチオンのサイズは、変形効率にはそれほど寄与していないと考えられる。しかし、サンプル D の変形効率が十分でないことから、カチオンの種類によって、陰極の劣化に影響している可能性がある。これについては、図 2 1 を参照して後述する。

【 0 1 1 8 】

なお、サンプル G で用いられたイオン液体のアニオンサイズもカチオンサイズも中程度であるが、イオン液体が 2 5 で固体であるため、攪拌によってポリマーゲル中に分散されても、ゲルの変形効率にはそれほど寄与していないものと考えられる。

【 0 1 1 9 】

以上から、 BF_4 及び D C A 以外にも、アニオンとしてイオンサイズが比較的小さい Cl^- や Br^- を用いることができる。また、カチオンとして、陰極の劣化に影響しないものを選択することで、種々のイオン液体を用いることができる。たとえば、 $\text{Li} - \text{BF}_4$ をイオン液体として用い得る。

【 0 1 2 0 】

< イオン液体の添加量とポリマーゲルの変位の関係 >

図 1 9 は、イオン液体の添加量とポリマーゲルの変位の関係を示す図である。横軸は、ポリマーゲルの高分子材料に対するイオン液体の含有量（wt%）、縦軸が変位のピーク高さである。

【 0 1 2 1 】

高分子材料として、分子量が 2 3 0 0 0 0 の P V C を用い、イオン液体としてサンプル A の E M I - BF_4 を用いる。E M I - BF_4 の添加量を 0 wt% から 5 . 0 wt% の範囲で変化させる。また、印加電圧を 0 V、5 0 V、1 0 0 V、2 0 0 V、4 0 0 V と変える。

【 0 1 2 2 】

印加する電圧のレベルに拠らず、イオン液体の添加量が、0 . 2 wt% ~ 1 . 5 wt% の範囲でプラスの変位が得られる。また、0 . 3 wt% ~ 1 . 0 wt% の範囲で、変位が最大になる。この範囲のイオン液体の添加により、1 0 0 V 以下の電圧印加で、電極 1 3 の表面に光散乱体 1 5 を形成することができる。イオン液体の添加量が 5 . 0 wt% のときは、電圧をオフにしても変形が戻らないメモリー現象が発生する。

【 0 1 2 3 】

図 1 9 から、高分子に対するイオン液体の重量比率は、0 . 2 wt% ~ 1 . 5 wt% が望ましく、より好ましくは、0 . 3 wt% ~ 1 . 0 wt% であることがわかる。これは、図 1 7 の結果とも一致する。

【 0 1 2 4 】

図 2 0 は、高分子材料層 1 1 への電圧印加により形成される光散乱体 1 5 の光拡散分布の評価結果を、イオン液体の添加量ごとに示す図である。イオン液体として E M I - BF_4 を用い、E M I - BF_4 の添加量を変えた高分子材料層 1 1 で、図 2 の光学素子 1 0 を作製する。高分子材料層 1 1 は、ポリマーゲルとして P V C を含み、可塑剤としてアジピン酸ジブチル（D B A）を含む。P V C と D B A の総量に対する D B A の含有割合は 8 3 wt% である。

【 0 1 2 5 】

陰極となる電極 1 2 を、厚さ 1 5 0 μm の I T O で形成し、電極 1 2 と電極 1 3 の間に挟んだ高分子材料層 1 1 に電圧を印加して光散乱体 1 5 を形成する。図 1 3 と同様に、I T O で形成される電極 1 2 の側にレーザを配置し、光散乱体 1 5 が形成される側にスクリーンを配置する。電極 1 2 の裏面側から、赤色平行光のレーザ光を光学素子 1 0 に入射して、スクリーンでの光拡散状態を観察する。

【 0 1 2 6 】

10

20

30

40

50

スクリーンは、光散乱体 15 の光出射側で、光散乱体 15 の焦点よりも遠い位置に配置されている。光散乱体 15 の焦点で一度集光された後の光拡散を、スクリーン上で観察する。光学素子 10 の光散乱体 15 の径は $100\ \mu\text{m}$ 、高さは $0\sim 40\ \mu\text{m}$ 程度と小さく、その焦点位置は光学素子 10 のきわめて近傍にあり、肉眼での観察が困難だからである。光散乱体 15 の焦点を超えた位置での光拡散を観察することで、集光状態を評価することができる。

【0127】

イオン液体が添加されていないサンプル（「w/o IL」と表記）では、 $200\ \text{V}$ の電圧を印加しても電極 13 の表面から突出する光散乱体 15 が形成されない。光学素子 10 の裏面から入射された赤色平行光は、集光されずに平行光のまま光学素子 10 を透過し、印加電圧のレベルにかかわらず、スクリーン上に同じサイズのスポットが形成されている。

10

【0128】

EMI - BF₄ が $0.05\ \text{wt}\%$ 添加されたサンプルでは、 $100\ \text{V}$ の電圧印加により、電極 13 の表面でポリマーゲルがわずかに膨らむが、集光機能が不十分であり、スクリーン位置でほぼ平行光のスポットが維持されている。 $200\ \text{V}$ の電圧印加で、ピーク高さが $10\ \mu\text{m}$ 程度の（曲率の緩やかな）光散乱体 15 が形成される。いったん光散乱体 15 の焦点位置で集光された光は、拡散して広がり、スクリーン上にスポットは現れない。

【0129】

EMI - BF₄ が $0.5\ \text{wt}\%$ 添加されたサンプルでは、 $50\ \text{V}$ の電圧印加により、電極 13 の表面に光散乱体 15 が形成され、集光後に拡散し始めた光がスクリーン位置で観察される。 $100\ \text{V}$ の電圧と $200\ \text{V}$ の電圧印加では、 $50\ \text{V}$ 印加時よりもピーク高さが大きい、すなわち曲率が急な光散乱体 15 が電極 13 の表面に形成される。光学素子の裏側から入射した光は、集光された後に大きく拡散し、スクリーン位置でスポットは観察されない。これらの評価結果は、図 19 の測定結果と一致する。

20

【0130】

図 20 の光拡散分布から、印加電圧を調整することにより、光散乱体 15 の焦点距離を可変にできることが確認される。実施形態の光学素子 10 は、可変焦点レンズ、または可変形状レンズとして用いることができる。

【0131】

<イオン液体（カチオン）の陰極劣化への影響>

30

図 21 は、イオン液体の陰極劣化への影響を示す図である。試験用のサンプルとして、金属基板上に、種々のイオン液体を添加した PVC ゲルを塗布し、PVC ゲルの上に対向電極として ITO 電極を配置する。

【0132】

塗布する PVC ゲルの種類は、サンプル A（ $0.5\ \text{wt}\%$ の EMI - BF₄ を含む）、サンプル B（ $0.5\ \text{wt}\%$ の OMI - BF₄ を含む）、サンプル C（ $0.5\ \text{wt}\%$ の EMI - DCA を含む）、サンプル D（ $0.1\ \text{wt}\%$ の TBP - BF₄ を含む）、サンプル H（ $0.5\ \text{wt}\%$ の EMI - FSI を含む）、及びサンプル G（ $0.5\ \text{wt}\%$ の TBP - MES を含む）の 6 種類である。このうち、図 18 でプラスの変位が得られたのは、サンプル A ~ D である。サンプル D は、イオン液体の重量割合を他のサンプルと同じ $0.5\ \text{wt}\%$ にした場合、変位が得られないので、添加量を $0.1\ \text{wt}\%$ に減らしたサンプルである。

40

【0133】

金属基板を正極、ITO を負極として、PVC ゲルに印加する電圧レベルを変えながら ITO 側から電極の表面状態を観察する。

【0134】

変位効果がなかったサンプル G は、 $50\ \text{V}$ という低い印加電圧で ITO（陰極）の劣化が観察される。また、サンプル D でも電圧印加による ITO 電極の劣化が観察される。これは、カチオンが ITO 電極の劣化に影響しているためと考えられる。これに対し、変位効果の高いサンプル A ~ C では、印加電圧を上げて ITO 電極の劣化は観察されていない。

50

【 0 1 3 5 】

図 1 7 ~ 図 2 1 の考察から、2 5 で負イオンの輸率が 0 . 4 以上のイオン液体を添加することで、イオン液体を添加しないポリマーゲルと比較して、低い印加電圧で大きな変形を得ることができる。特に、サンプル A とサンプル B のように、アニオンサイズが小さいイオン液体を用いると、1 0 0 V 以下の電圧範囲で、ピーク高さを大きく変えることができ、光散乱体 1 5 の制御が容易である。すなわち、印加電圧のレベルに応じて、光散乱体 1 5 を出現させ、その高さを調整することができる。これらのサンプルでは、光学素子 1 0 の駆動時に、陰極に対する悪影響も少ない。

【 0 1 3 6 】

イオン液体を添加した高分子材料は、上述のように、図 4 のマイクロレンズアレイ 1 0 0 に適用可能である。この場合、電極 1 2 と電極 1 3 の間に 2 0 0 V 以下の電圧を印加することで、陽極となる電極 1 3 の表面 1 3 s に光散乱体 1 5 の配列を形成することができる。添加するイオン液体の種類によっては、1 0 0 V 以下の電圧印加で 2 0 μ m 以上の高さの光散乱体 1 5 の配列を形成することができる。

10

【 0 1 3 7 】

イオン液体が添加された高分子材料層 1 1 を用いて、直径 1 0 0 μ m、中心間ピッチが 1 5 0 μ m の光散乱体 1 5 の配列を形成することができる。このとき、隣接する 2 つの光散乱体 1 5 の間隔を 5 0 μ m に設定してもよい。マイクロレンズアレイ 1 0 0 は、フィルム状の電極 1 3 に形成されたマイクロオーダーの開口とポリマーゲルの電圧変位特性を利用して形成されており、電極 1 3 の表面 1 3 s に、均一な凸形状の光散乱体 1 5 が配列されている。電極 1 2 と電極 1 3 の間に印加される 2 0 0 V 以下の電圧のレベルに応じて、光散乱体 1 5 の配列を出現させ、及び/または光散乱体 1 5 の高さを調整することができる。

20

【 0 1 3 8 】

イオン液体が添加された高分子材料層 1 1 を用いる場合も、マイクロレンズアレイの電極 1 3 を単層の導電層で構成する替わりに、図 3 のように所定の開口が形成された樹脂等の絶縁シートの両面と開口内を導電膜でコーティングしたものをを用いてもよい。あるいは図 1 2 のように、開口に替えて、高分子材料層 1 1 の変位に追従して変形することのできる光透過性の非導電領域を電極 1 3 に設けてもよい。

【 0 1 3 9 】

以上、特定の実施例に基づいて本発明を説明したが、本発明は上述した構成例に限定されない。マイクロレンズアレイ 1 0 0 において、光散乱体 1 5 の配列はマトリクス状の配列に限定されず、互い違いの配列にしてもよい。あるいは、電極 1 3 の開口 1 4 の形状を六角形にして細密配置にしてもよい。

30

【 0 1 4 0 】

実施形態の光学素子 1 0、1 0 A、1 0 B と、図 7 のマイクロレンズアレイ 1 0 0 は、両面に光散乱体 1 5 を有する構成に拡張することが可能である。陰極である電極 1 2 を共通電極として用い、電極 1 2 の両面に高分子材料層 1 1 を配置し、陽極となる 2 つの電極 1 3 で挟むことで、電圧印加により、光学素子またはマイクロレンズアレイシートの両面に光散乱体 1 5 を発生させることができる。中間に配置される電極 1 2 を透明電極にすることで、両側が凸のレンズユニットを形成することができる。

40

【 0 1 4 1 】

実施形態の光学素子とマイクロレンズアレイは、複雑な機構を用いずに、様々な配向分布をもつ光散乱体を発生させることができる。特に、イオン液体が添加された高分子材料層を用いることで、低減された駆動電圧で効率良く光散乱体を発生させることができる。

【 符号の説明 】

【 0 1 4 2 】

1 0、1 0 A、1 0 B 光学素子

1 1 高分子材料層

1 2 電極 (第 1 の電極層)

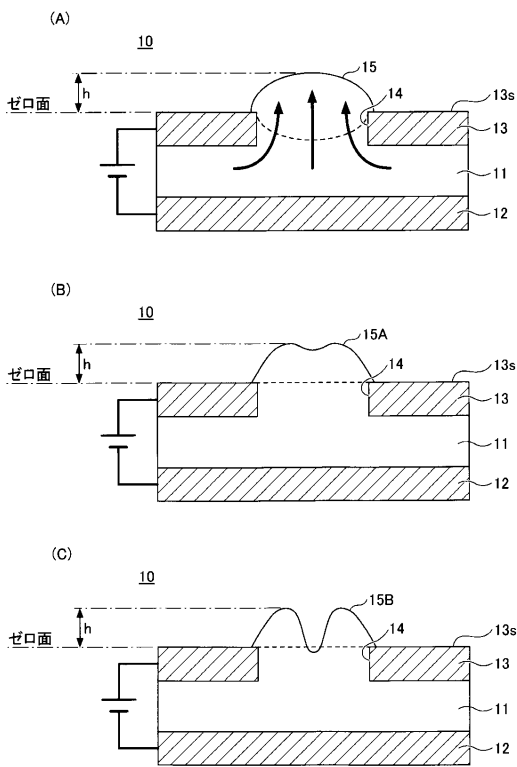
50

- 1 3、1 3 A 電極（第 2 の電極層）
- 1 4 開口
- 1 5、1 5 A、1 5 B 光散乱体
- 1 6 絶縁体
- 1 7 導電膜
- 1 8 変形部
- 1 9 非導電性領域
- 1 0 0 マイクロレンズアレイ
- 1 3 0 撮像素子アレイ
- 1 3 1 R、1 3 1 G、1 3 1 B カラーフィルタ
- 1 5 0 撮像装置
- 2 5 0 照明装置

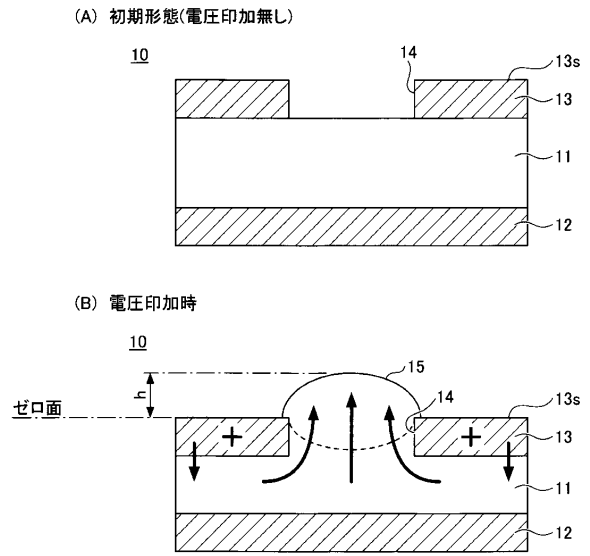
10

【図面】

【図 1】



【図 2】



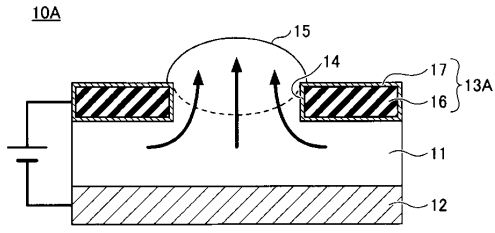
20

30

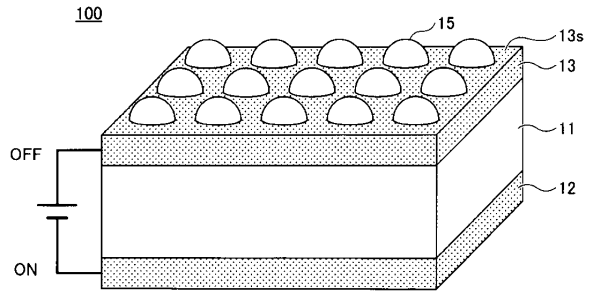
40

50

【図 3】

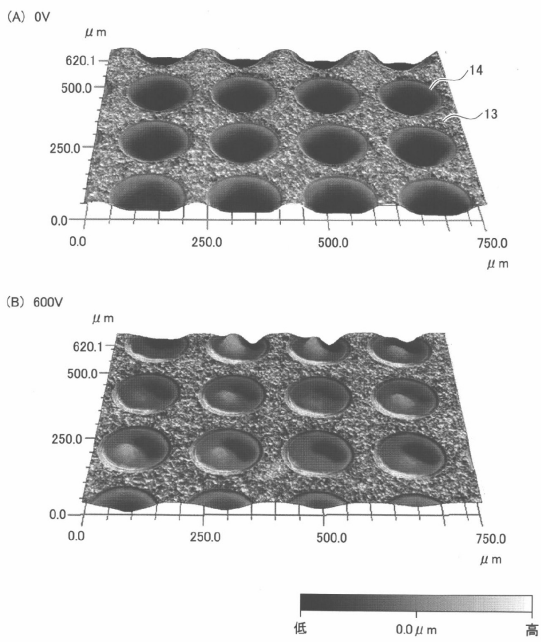


【図 4】

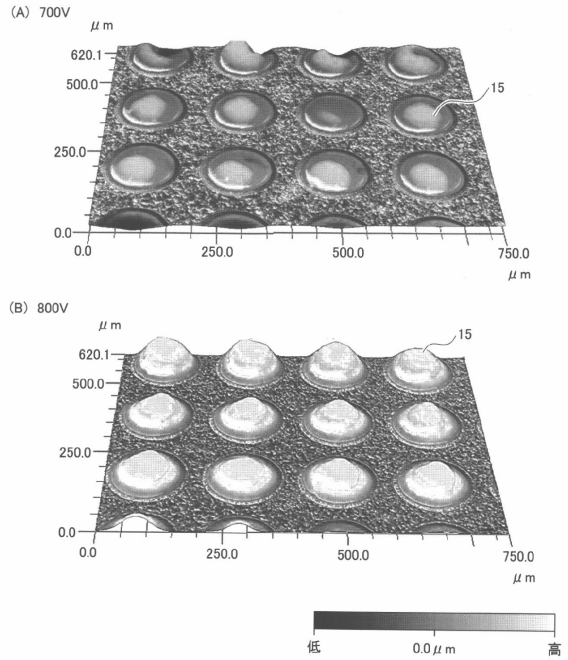


10

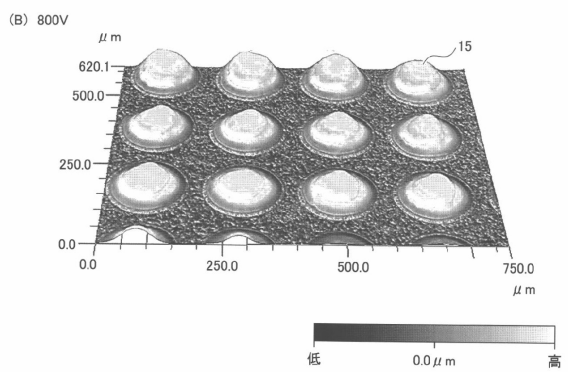
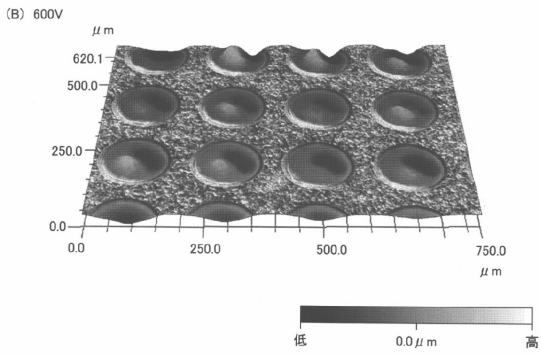
【図 5 A】



【図 5 B】



20

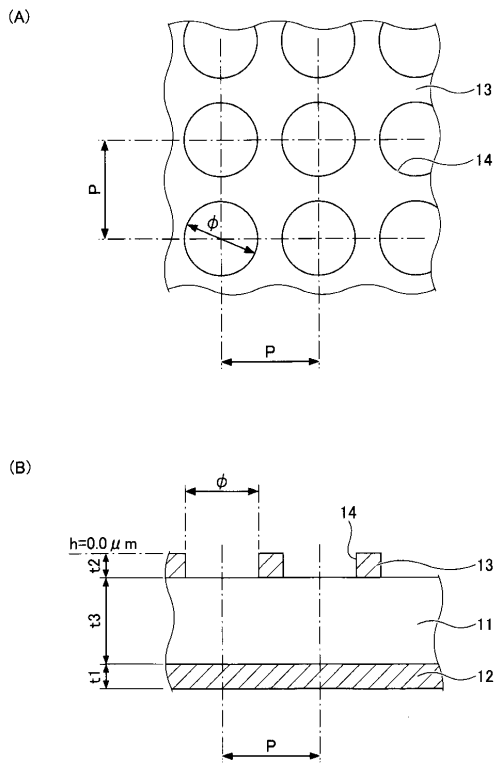


30

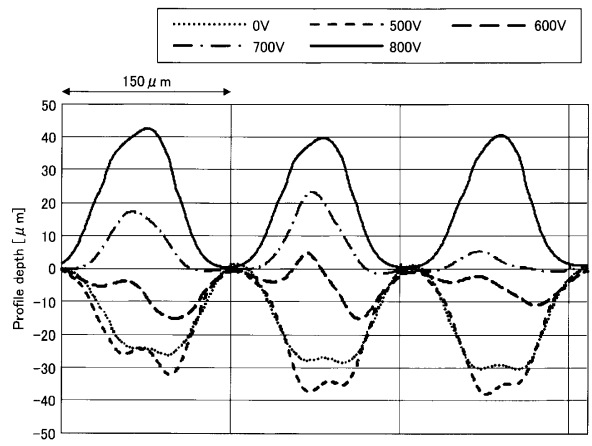
40

50

【 図 6 】



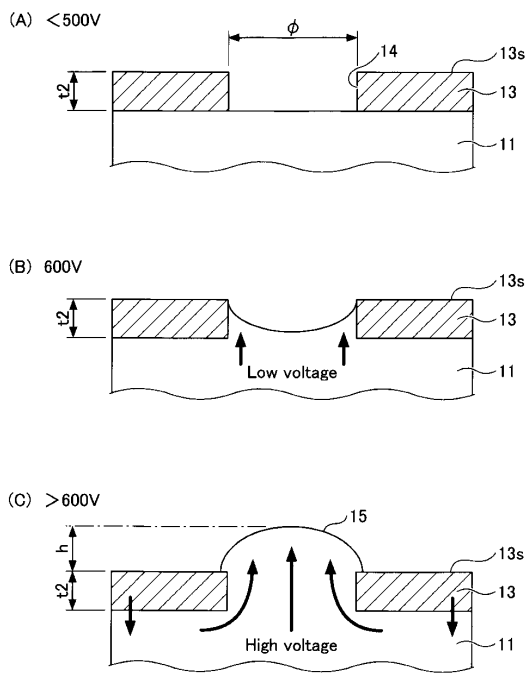
【 図 7 】



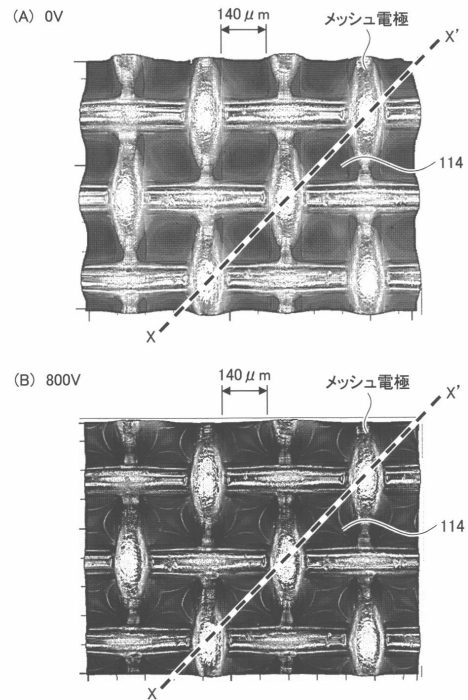
10

20

【 図 8 】



【 図 9 】

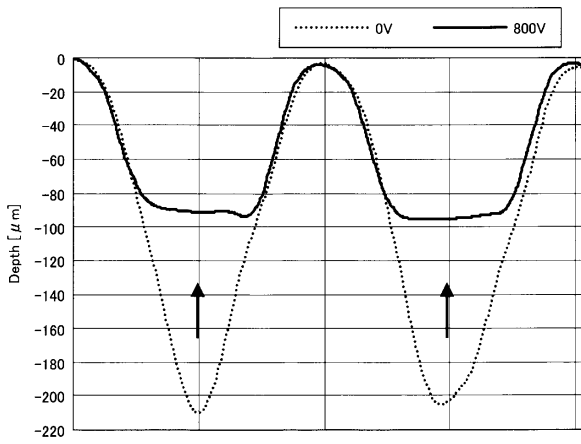


30

40

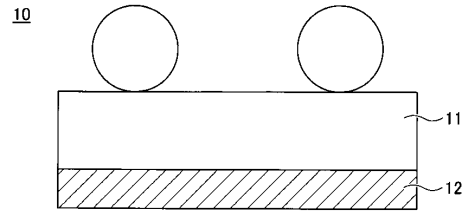
50

【図 1 0】

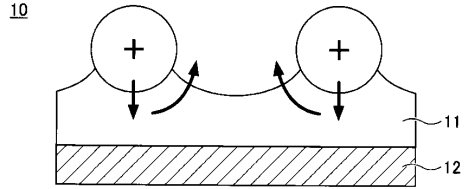


【図 1 1】

(A) 初期形態(電圧印加無し)



(B) 電圧印加時

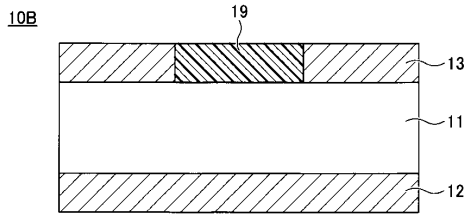


10

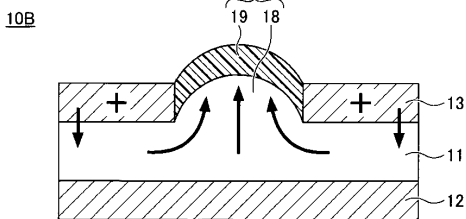
20

【図 1 2】

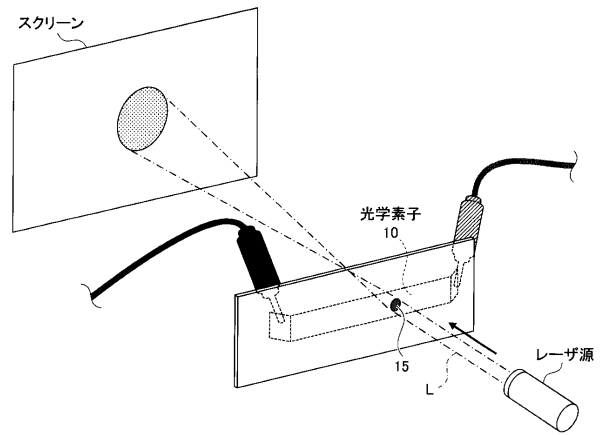
(A) 初期形態(電圧印加無し)



(B) 電圧印加時



【図 1 3】

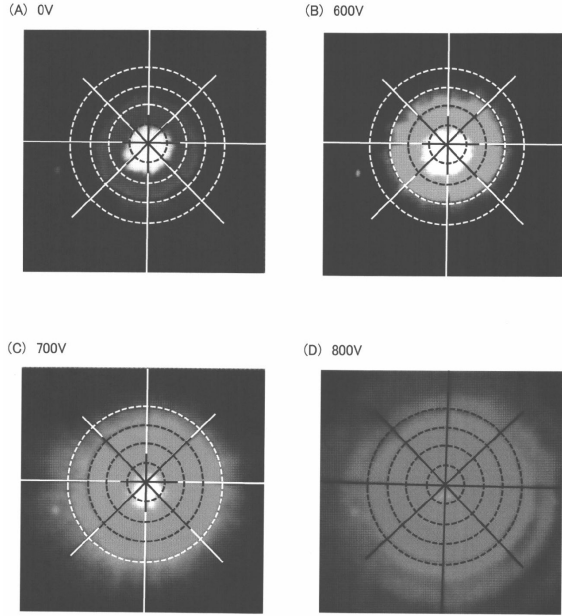


30

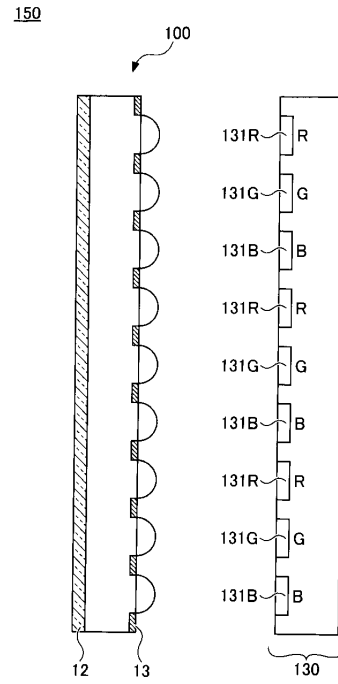
40

50

【図 14】



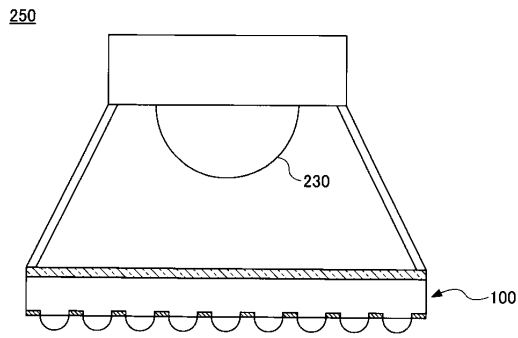
【図 15】



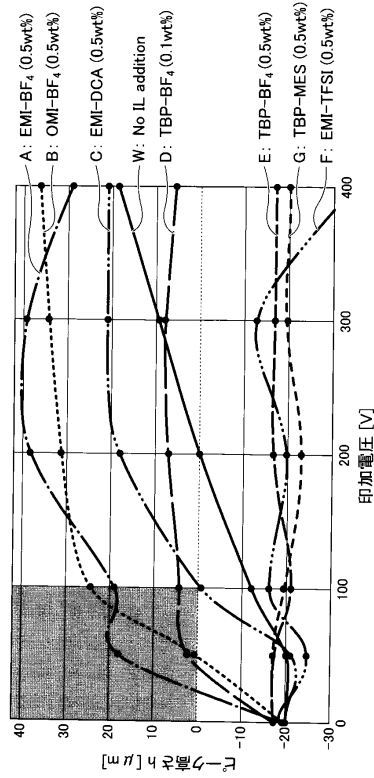
10

20

【図 16】



【図 17】



30

40

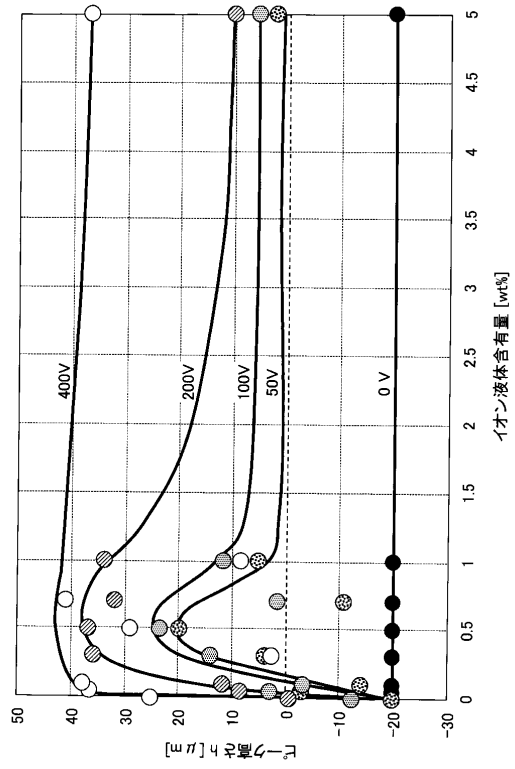
50

【図 18】

イオン液体 ($t-t'$)	変位	導電率 (mS/cm)	電位窓 (R/O)	RT		80°C	
				負イオン 拡散係数 ($1e^{-11}m^2/s$)	負イオン 輸率	負イオン 拡散係数 ($1e^{-11}m^2/s$)	負イオン 輸率
A: EMIm-BF ₄	+	27	Δ4.1	3.9	0.44	21	0.49
B: OMIm-BF ₄	+	12	-2.3/3.7 (Δ6.0)	1.7	0.57	6.4	0.51
C: EMIm-DCA	+	0.43	-2.5/3.4 (Δ5.9)	6.9	0.53		
D: TBP-BF ₄	+	?	-2.9/3.8 (Δ6.7)	—	—		
F: EMIm-TFSI	-	?	Δ4.1	3.7	0.37		
H: EMIm-FSI	-	8.8		6.6	0.36		
G: TBP-MES*	-	?		—	—	1.8	0.6

* 固体のためRT測定できず

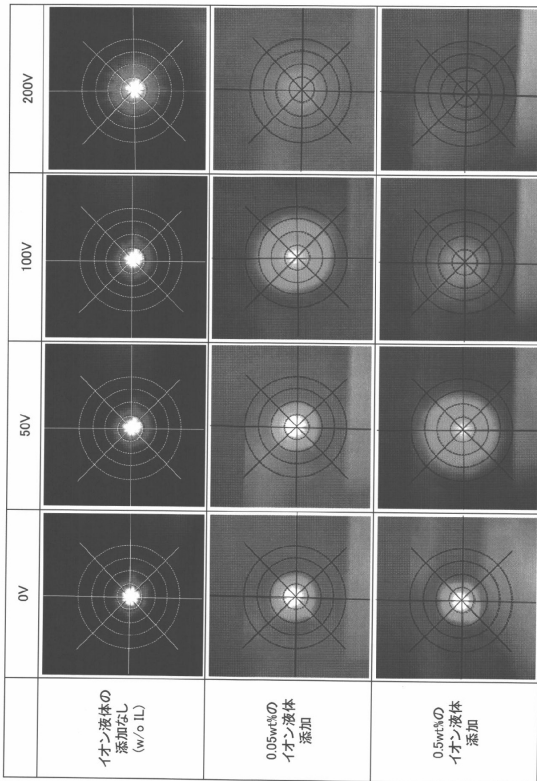
【図 19】



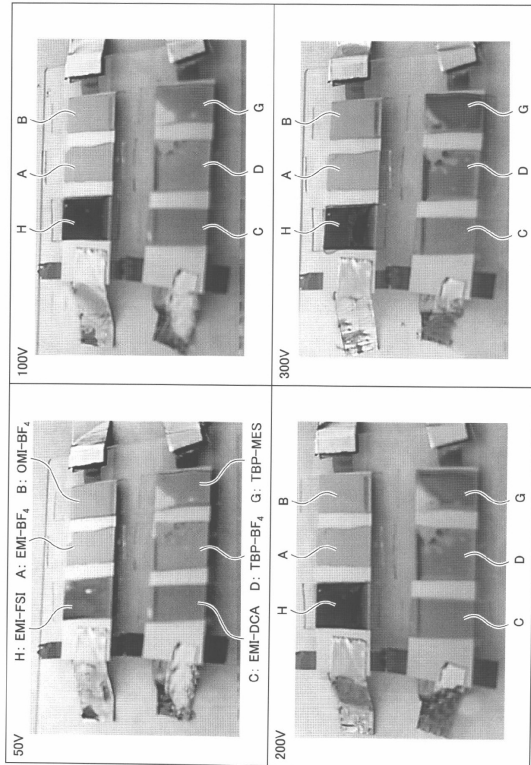
10

20

【図 20】



【図 21】



30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

G 0 3 B 15/00 (2021.01)

F I

G 0 3 B 15/00

B

(56)参考文献

特開平 1 1 - 1 3 3 2 1 0 (J P , A)

特表 2 0 1 1 - 5 3 0 7 1 5 (J P , A)

国際公開第 2 0 0 8 / 0 6 9 0 7 7 (W O , A 1)

特開 2 0 1 4 - 1 6 3 9 6 3 (J P , A)

特表 2 0 1 0 - 5 0 4 5 5 4 (J P , A)

米国特許出願公開第 2 0 1 7 / 0 3 2 2 4 7 8 (U S , A 1)

特開 2 0 0 9 - 2 7 1 0 9 5 (J P , A)

特開 2 0 0 9 - 1 7 5 5 3 6 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B名)

G 0 2 B 2 6 / 0 0 - 2 6 / 0 8

G 0 2 B 3 / 0 0 - 3 / 1 4

G 0 2 B 5 / 0 2

G 0 3 B 1 5 / 0 0