

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4984875号
(P4984875)

(45) 発行日 平成24年7月25日(2012.7.25)

(24) 登録日 平成24年5月11日(2012.5.11)

(51) Int.Cl.

F 1

G02B 3/00 (2006.01)
G02B 3/14 (2006.01)G02B 3/00
G02B 3/14

A

請求項の数 3 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2006-341595 (P2006-341595)
 (22) 出願日 平成18年12月19日 (2006.12.19)
 (65) 公開番号 特開2008-40455 (P2008-40455A)
 (43) 公開日 平成20年2月21日 (2008.2.21)
 審査請求日 平成21年12月17日 (2009.12.17)
 (31) 優先権主張番号 特願2006-188781 (P2006-188781)
 (32) 優先日 平成18年7月10日 (2006.7.10)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000002185
 ソニー株式会社
 東京都港区港南1丁目7番1号
 (74) 代理人 100104215
 弁理士 大森 純一
 (74) 代理人 100117330
 弁理士 折居 章
 (74) 代理人 100072350
 弁理士 飯阪 泰雄
 (72) 発明者 高井 雄一
 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソ
 ニー株式会社内
 審査官 池田 周士郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】レンズアレイ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

導電性の第1の液体と、

前記第1の液体と屈折率が異なる絶縁性の第2の液体と、

前記第1、第2の液体の界面でレンズ面を形成する複数のレンズ素子であって、共通基板と、前記共通基板に対向する蓋体との間に形成された液室内において、前記共通基板上に立設された柱状突起を四隅として区画され、二次元的に配列された複数のレンズ素子とを具備するレンズアレイ。

【請求項 2】

導電性の第1の液体と、

前記第1の液体と屈折率が異なる絶縁性の第2の液体と、

前記第1、第2の液体の界面でレンズ面を形成する複数のレンズ素子であって、共通基板と、前記共通基板に対向する蓋体との間に形成された液室内において、前記共通基板上に立設された液連通を許容する通路が形成された線状突起で区画され、二次元的に配列された複数のレンズ素子とを具備するレンズアレイ。

【請求項 3】

請求項1又は2に記載のレンズアレイであって、

前記共通基板と前記蓋体の間には、前記液室の外部から内部へ前記第1、第2の液体を導入する液導入口と、前記液室の内部から外部へ前記第1、第2の液体を排出する液排出

口が設けられている
レンズアレイ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、エレクトロウェッティング効果（電気毛管現象）を利用したレンズアレイに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、エレクトロウェッティング効果を利用した光学素子の開発が進められている。エレクトロウェッティング効果は、導電性を有する液体と電極との間に電圧を印加したときに電極表面と液体との固液界面のエネルギーが変化し、液体表面の形状が変化する現象をいう。

【0003】

図14A, Bは、エレクトロウェッティング効果を説明する原理図である。図14Aに示すように、電極1の表面には絶縁膜2が形成されており、この絶縁膜2の上に電解液の液滴3が置かれている。絶縁膜2の表面は撥水処理が施されており、図14Aに示す無電圧状態では絶縁膜2の表面と液滴3との間の相互作用エネルギーは低く接触角θ₀は大きい。ここで、接触角θ₀は絶縁膜2表面と液滴3の正接線の間の角度であり、液滴3の表面張力や絶縁膜2の表面エネルギーなどの性質に依存する。

【0004】

一方、図14Bに示すように、電極1と液滴3との間に所定電圧を印加すると、液滴3側の電解質イオンが絶縁膜2表面へ集中することによって電荷二重層の帶電量変化が生じ、液滴3の表面張力の変化が誘発される。この現象がエレクトロウェッティング効果であり、印加電圧の大きさによって液滴3の接触角θvが変化する。すなわち、図14Bにおいて、接触角θvは、電圧Vの関数として以下の(1)式で表される。

【0005】

【数1】

$$\cos \theta_v = \cos \theta_0 + \frac{\epsilon_0 \epsilon}{2e \gamma_{LG}} V^2 \quad \dots (1)$$

γ_{LG} :電解液の表面張力

e:絶縁膜の膜厚

ϵ :絶縁膜の比誘電率

ϵ_0 :真空の誘電率

【0006】

以上のように、電極1と液滴3との間に印加する電圧Vの大きさによって、液滴3の表

10

20

30

40

50

面形状（曲率）が変化する。従って、液滴3をレンズ素子として用いた場合に焦点位置を電気的に制御できる光学素子を実現できることになる。

【0007】

さて、このような光学素子を用いた光学装置の開発が進められている。例えば下記特許文献1には、ストロボ装置向けのレンズアレイが提案されている。これは、基板表面の撥水膜上にアレイ状に配置された絶縁性液体の液滴と導電性液体を封入して可変焦点レンズを構成したものである。この構成では、絶縁性液体と導電性液体との間の界面形状で個々のレンズが形成され、エレクトロウェッティング効果を利用して個々のレンズ形状を電気的に制御し焦点距離を変化させている。

【0008】

また、下記特許文献2には、エレクトロウェッティング効果を利用した表示装置の構成が開示されている。この表示装置は、着色液滴を収容したセルをアレイ状に配列し、セルを選択的に駆動することで所望のカラー画像を表示する。上記セルは、画像の表示部としてだけでなく、可変焦点レンズ等のレンズ素子として構成することも可能である。その構成例を図15A, Bに示す。図15は、当該レンズ素子をアレイ状に配列して構成したレンズアレイ50の概略構成を示しており、Aはレンズアレイ50を構成する共通基板54の平面図、Bはレンズアレイ50の要部断面図である。

【0009】

このレンズアレイ50は、導電性の第1の液体51と絶縁性の第2の液体52との界面でレンズ面を形成する複数のレンズ素子53を備えている。第1, 第2の液体51, 52は互いに異なる屈折率を有しており、互いに混和することなく存在している。各レンズ素子53は、透明な共通基板54と透明な蓋体55との間に形成された密閉性の液室内に二次元的に配列されており、隣接するレンズ素子53の間は仕切壁56を介して仕切られている。共通基板54の下面には透明電極膜58が形成され、共通基板54上面の第2の液体52が接する領域には撥水処理が施されている。蓋体55の下面の第1の液体51が接する領域には対向電極として透明電極膜57が形成されている。

【0010】

以上のような構成のレンズアレイ50は、一対の透明電極57, 58間に印加する電圧を制御することによって、各レンズ素子53の第1, 第2の液体51, 52間の界面形状が変化する。これにより、レンズアレイ50を透過する光の焦点距離を可逆的に変化させることが可能となり、カメラのストロボ装置用の可変焦点レンズに好適に用いることができる。

【0011】

【特許文献1】特開2000-356708号公報

【特許文献2】特開2004-252444号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

しかしながら、上述した従来のレンズアレイ50においては、個々のレンズ素子53の周囲が仕切壁56で囲まれているため、レンズアレイ50の製造工程において、レンズ素子51を構成する第1, 第2の液体51, 52のうち、特に第2の液体52を個々のセルに一つずつ供給する作業が必要であり、素子数の増大により作業量が増加したり、セル間で供給量のバラツキが生じてレンズ素子53の特性の不均一性が発生する場合がある。

【0013】

本発明は上述の問題に鑑みてなされ、レンズ素子の特性の均一化を図ることができるレンズアレイを提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0014】

以上の課題を解決するに当たり、本発明のレンズアレイは、導電性の第1の液体と、第1の液体と屈折率が異なる絶縁性の第2の液体と、第1, 第2の液体の界面でレンズ面を

10

20

30

40

50

形成する複数のレンズ素子とを備え、印加電圧の出力制御によってレンズ素子のレンズ面が可逆的に変化するレンズアレイであって、隣接する複数のレンズ素子間が互いに液的に連通していることを特徴とする。

【0015】

本発明では、個々のレンズ素子の周囲を完全に覆う構成に代えて、隣接する複数のレンズ素子間が互いに液的に連通する構成とすることにより、レンズ素子間における第1，第2の液量のバラツキを回避し、レンズ特性の均一化を図るようにしている。

【0016】

具体的に、本発明のレンズアレイにおいては、複数のレンズ素子が、共通基板と蓋体との間に形成された液室内に配列されており、第1，第2の液体のうち少なくとも一方が、隣接する複数のレンズ素子間において互いに連通している。10

【0017】

この場合、複数のレンズ素子は、上記共通基板上に立設した複数の突起で区画することができる。上記突起は、個々のレンズ素子の四隅位置に配置された柱状突起とすることが可能である。また、上記突起は、隣接するレンズ素子の間に配置され、当該隣接するレンズ素子間における液連通を許容する通路が形成された線状突起で構成することができる。

【0018】

一方、複数のレンズ素子は、液室内に配置した多孔板の非開口部で区画することができる。この多孔板は、少なくとも上記共通基板との間に液連通を許容する通路を形成する。多孔板の開口部の形状は例えば円形とされるが、これに限定されず、橢円、多角形状などでもよい。20

【発明の効果】

【0019】

以上述べたように、本発明のレンズアレイによれば、複数のレンズ素子間が互いに液的に連通しているので、レンズ素子間における第1，第2の液体の構成量のバラツキを回避し、レンズ特性の均一化を図ることができる。また、シリンジやディスペンサノズルなどの方法では液体充填できないような微小な寸法をもつ構造にも対応することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

以下、本発明の各実施形態について図面を参照して説明する。なお、本発明は以下の各実施形態に限定されることではなく、本発明の技術的思想に基づいて種々の変形が可能である。30

【0021】

(第1の実施形態)

図1A，Bは本発明の第1の実施形態によるレンズアレイ10の概略構成を示しており、Aはレンズアレイ10を構成する共通基板14の平面図であり、Bはレンズアレイ10の要部断面図である。本実施形態のレンズアレイ10は、導電性の第1の液体11と絶縁性の第2の液体12との界面13Aでレンズ面を形成する複数のレンズ素子13を備えている。レンズアレイ10は、例えば照明光学系に用いられ、当該レンズアレイ10を透過する光の焦点距離を任意に変化させる可変焦点レンズとして構成されている。40

【0022】

第1の液体11としては、導電性を有する透明な液体が用いられ、例えば、水、電解液（塩化カリウムや塩化ナトリウム、塩化リチウム等の電解質の水溶液）、分子量の小さなメチルアルコール、エチルアルコール等のアルコール類、常温溶融塩（イオン性液体）などの有極性液体を用いることができる。

【0023】

第2の液体12としては、絶縁性を有する透明な液体が用いられ、例えば、デカン、ドデカン、ヘキサデカンもしくはウンデカン等の炭化水素系の材料、シリコーンオイル、フッ素系の材料などの無極性溶媒を用いることができる。

【0024】

10

20

30

40

50

第1，第2の液体11，12は、互いに異なる屈折率を有するとともに、互いに混和することなく存在できる材料が選ばれる。具体的に、本実施形態では、第1の液体11として塩化リチウム水溶液（濃度3.66wt%、屈折率1.34）が用いられ、第2の液体12としてシリコーンオイル（GE東芝シリコーン社製TSF437、屈折率1.49）が用いられる。また、第1，第2の液体11，12は互いに同等の比重をもつことが好ましい。また、必要に応じて、第1，第2の液体11，12は着色されていてもよい。

【0025】

共通基板14と蓋体15との間に形成された密閉性の液室内には、第1，第2の液体11，12によって充填されているとともに、各レンズ素子13が二次元的に配列されている。共通基板14は、光学的に透明で、電気絶縁性のプラスチック材料の射出成形体あるいは切削加工体等で構成することができる。蓋体15は、光学的に透明で、電気絶縁性のプラスチック材料やガラス材料等で構成することができる。

10

【0026】

蓋体15は、共通基板14の側壁14aの上面に密封部材20を介して固定されている。蓋体15の液室側となる内面側には、端子部21aと接続される透明電極膜17が形成されている。なお、透明電極膜17としては、金属、導電性酸化物、半導体材料等を用いることができる。また、透明電極以外にも、光の透過面を避けてパターニングするようすれば、光学的に不透明な電極材料を用いることも可能である。

【0027】

隣接するレンズ素子13の間は、共通基板14の上面に立設された複数の突起16で区画されている。突起16は、共通基板14と一体的に形成されており、個々のレンズ素子13の四隅位置に対応して配置された柱状を有している。突起16は、例えば、共通基板14の射出成形時に同時に形成される。なお、成形した共通基板14に対して接着や圧入などの後加工によって突起16を形成してもよい。

20

【0028】

ここで、共通基板14の上面には透明電極膜18が形成されている。本実施形態においては、透明電極膜18は、共通基板14の側壁14aの内周面と突起16の外表面を覆うようにパターン形成されているが、共通基板14の上面全域に透明電極膜18を形成してもよい。透明電極膜18は、共通基板14の一側壁部を介して端子部21bに接続されている。なお、透明電極膜18としては、金属、導電性酸化物、半導体材料等を用いることができる。また、電極膜がパターン形成される場合には、光の透過を大きく妨げない範囲で非透明な電極膜を用いても構わない。

30

【0029】

また、共通基板14の表面は、透明電極膜18を被覆するように絶縁膜19が形成されている。本実施形態では、絶縁膜19は、共通基板14の外面全域に形成されているが、例えば、共通基板14の上面側にのみ形成するだけでも構わない。

【0030】

絶縁膜19は、電気絶縁性の物質であれば特に制限されず、好適には、誘電率が比較的高い物質が選択される。また、比較的大きな静電容量を得るために絶縁膜19の膜厚は薄い方が好ましいが、絶縁強度を確保できる膜厚以上であることが必要である。誘電率の比較的高い材料としては、例えば、酸化タンタル、酸化チタンなどの金属酸化物が挙げられるが、勿論これに限定されない。絶縁膜19の形成方法も特に制限されず、スパッタ法、CVD法、蒸着法等の真空薄膜形成方法のほか、めっき法、電着法、コート法、ディップ法等の各種コーティング方法が採用可能である。

40

【0031】

また、絶縁膜19は、第2の液体12が接触する領域において撥水性を有することが好ましい。撥水膜の形成方法としては、例えばポリパラキシリレンをCVD法で成膜する方法、フッ素系のポリマーであるPVDF（ポリビニリデンフルオライド）、PTFE（ポリテトラフルオロエチレン）などの材料を共通基板14上にコーティングする方法などが挙げられる。また、高誘電率材料と撥水性材料とを複数組み合わせた積層構造で絶縁膜1

50

9を構成してもよい。

【0032】

本実施形態のレンズアレイ10は、第1の液体11が蓋体15側に、第2の液体12が共通基板14側にそれぞれ偏在した複数のレンズ素子13を備えている。各レンズ素子13は、共通基板14の側壁14a内周部及び突起16によって、それぞれの配列位置が決定される。即ち、図1Aに示した例では、側壁14aの内周部とこれに隣接する突起16の間、及び隣接する複数の突起16間ににおいて、3行4列の合計12個の四角形状のレンズ素子13が面内にアレイ状に配列される。なお、実際は、突起16は図示の例より更に多く立設されるため、レンズ素子13の配列数は更に多くなる。

【0033】

図1Bに示す状態において、各レンズ素子13のレンズ面13Aは、第1の液体11が共通基板14の側壁14a内面又は突起16の周囲に対して所定の接触角で接することで所定の曲面形状を形成している。レンズ面13Aは側壁14a内面と突起16の間、及び突起16間をつなぐ線が稜線を描くような曲面形状を有し、四角形状の素子中央部が凹状に湾曲している。

【0034】

この状態で、端子部21a, 21b間に電圧を印加すると、エレクトロウェッティング効果（電気毛管現象）によって、第1の液体11が側壁14a内周及び突起16の周囲に濡れ広がる。これにより、側壁14a内周及び突起16の周囲に対する第1の液体11の接触角が変化し、レンズ面13Aの形状変化を引き起こす。レンズ面13Aの形状変化は可逆的である。従って、端子部21a, 21bに印加する電圧の大きさにより、各レンズ素子13のレンズ面13Aが任意に変化する。具体的に、印加電圧を大きくするとレンズ面13Aの曲率半径が大きくなり、その結果、焦点距離も大きくなる。これにより、レンズアレイ10を透過する光について当該レンズアレイ10を可変焦点レンズとして機能させることができる。

【0035】

そこで、本実施形態によれば、隣接する複数のレンズ素子13間において第1, 第2の液体11, 12が柱状の突起16間を介して互いに連通しているので、従来のように各レンズ素子の周囲を仕切壁で囲む構成に比べて、レンズ素子間の仕切形成領域をはるかに少なくすることができ、これによりレンズの有効面積を大きくするとともに、透過率の向上を図ることができる。

【0036】

また、各レンズ素子13の形状精度を突起16の加工精度で制御することができるようになるため、レンズ素子13の形状精度を出すための加工領域を従来よりも少なくでき、レンズアレイ10の作製コストの大幅な低減を図ることができる。

【0037】

更に、本実施形態によれば、隣接する複数のレンズ素子13間において第1, 第2の液体11, 12が互いに連通する構成であるので、第1の液体11と第2の液体12との間の界面はひとつにつながっている。そして、この界面エネルギーは最小になるように働くので、個々のレンズ素子13のバラツキは均一化される。これにより、レンズ素子13ごとの第1, 第2の液体11, 12の液量のバラツキを抑えることができる。また、素子単位で液量を高精度に調整する必要がなくなる。以上により、レンズアレイ10を構成する各レンズ素子13のレンズ特性を容易かつ均一化することができるとともに、レンズアレイ10の組立ても容易となる。

【0038】

更に、液室内の気泡の発生が抑えられ、気泡が発生したとしても液室内の液体が素子間で連通しているため外部へ抜き易くなる。また、液室内に混入した異物も排出し易くなるという効果も有する。

【0039】

ここで、レンズ素子13の形状、大きさ等は、突起16の形成間隔、断面形状等に応じ

10

20

30

40

50

てほぼ任意に設定することができる。例えば、突起 16 を図 1において上下左右方向いずれも等間隔で形成することにより、平面視正方形形状のレンズ素子を構成することができると同時に、同様なレンズ特性を備えたレンズアレイを構成することができる。逆に、突起 16 の形成間隔を領域毎に異ならせることで、異なるレンズ特性を有するレンズアレイを構成することができる。

【0040】

また、隣接する複数の突起 16 間の距離あるいは共通基板側壁 14a 内面とこれに隣接する突起 16 間の距離は、毛管長以下の長さに設定される。毛管長とは、界面張力に対して重力の影響を無視できる最大の長さをいい、導電性液体と絶縁性液体との関係においては下記(2)式で表される。

【0041】

【数 2】

10

$$\kappa^{-1} = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}} \quad \cdots (2)$$

20

γ : 導電性液体と絶縁性液体の界面張力

ρ : 導電性液体と絶縁性液体の比重差

g : 重力加速度

30

【0042】

図 2 A は、突起 16 間の距離が毛管長(κ^{-1})以下のときの第 1, 第 2 の液体 11, 12 の界面形状を示している。突起 16 間の距離が毛管長以下のとき、第 1, 第 2 の液体 11, 12 の界面は重力の影響を受けずに曲面形状を維持し、電気毛管現象による界面形状の制御が可能となる。これに対して、突起 16 間の距離が毛管長より長くなると、図 2 B に示すように、重力による影響を受けて第 1, 第 2 の液体 11, 12 の界面は中央部において平坦となり、電気毛管現象を利用した界面形状の変化が困難になる。従って、隣接する複数の突起 16 間の距離あるいは共通基板側壁 14a 内面とこれに隣接する突起 16 間の距離は、毛管長以下の長さに設定される必要がある。換言すると、四角形状のレンズ素子の一辺の長さ及び対角線長が毛管長以下に設定されることになる。

40

【0043】

毛管長は、界面を構成する 2 つの媒体の種類によって異なる。図 3 は、2 媒体が水と空気、水と油の場合のそれぞれの界面張力、密度差、毛管長を比較して示している。水と空気の場合の毛管長は 2.7 mm であるのに対して、水と油の場合の毛管長は 15.2 mm である。従って、上述の第 1, 第 2 の液体 11, 12 の密度差(比重差)を 0.0129 まで小さくすることで、15.2 mm まで突起 16 の間隔を広げられることになる。

【0044】

50

柱状の突起 16 の断面形状は図示の例では円形とされるが、勿論これに限らず、橢円体、三角系や四角形等の多角形状であってもよい。また、突起 16 の高さは、図 1B に示したように共通基板 14 の側壁 14a の高さよりも低くする場合に限らず、側壁 14a の高さと一致させてもよい。この場合、突起 16 の上端が蓋体 15 に接するため、レンズアレイ 10 の面積を大きくしても外力等によって基板 14 と蓋体 15 との間隔が変化することが防止される。従って、レンズアレイ 10 の大きさや使用条件によって、突起 16 の上端と蓋体 15 との間に隙間を設けてもよいし、突起 16 の幾つかだけを蓋体 15 と接する高さに形成するようにしてもよい。

【0045】

更に、突起 16 の側面は基板 14 に対して垂直である場合に限らず、先細り形状あるいは先太り形状としてもよい。図 4 は突起形状の相違による第 1、第 2 の液体 11、12 の界面の初期形状を比較して示す。図 4A は直筒形状の突起 16 の例を示し、図 4B は先細り形状の突起 16A の例を示し、図 4C は先太り形状の突起 16B の例を示している。

【0046】

突起側面に対する第 1 の液体 11 の接触角は同一であるが、突起側面の形成角度によって 2 液体の界面形状が大きく変化する様子がわかる。先細り形状の突起 16A の場合は直筒形状の突起 16 と比較して界面の曲率が小さくなり、先太り形状の突起 16B の場合は直筒形状の突起 16 と比較して界面の曲率が大きくなる。突起形状を最適化することにより、レンズアレイの可変焦点範囲を任意に調整することが可能となる。

【0047】

(第 2 の実施形態)

図 5A、B は本発明の第 2 の実施形態を示している。本実施形態では、個々のレンズ素子の形成範囲を区画する突起が線状に形成されている点で、上述の第 1 の実施形態と異なっている。なお、図において上述の第 1 の実施形態と対応する部分については同一の符号を付し、その詳細な説明は省略するものとする。

【0048】

図 5A は、レンズアレイを構成する共通基板 14 の平面図であり、線状の突起 26 を 2 次元の格子状に配列して、隣接する複数の突起 26 間において 3 行 × 4 列の合計 12 個の四角形状のレンズ素子形成領域を区画した例を示している。突起 26 には、隣接するレンズ素子間における液連通を許容するための通路 27 が形成されている。通路 27 は、直線的に並ぶ複数の突起 26 間に形成されているが、突起 26 の一部を切り欠いて形成してもよい。

【0049】

図 5B は、レンズアレイを構成する共通基板 14 の平面図であり、線状の突起 26 を 1 次元の格子状に配列して、隣接する複数の突起 26 間において 1 行 × 4 列の合計 4 本のシリンドリカルレンズ（あるいはレンチキュラーレンズ）の形成領域を区画した例を示している。この例においても、隣接するレンズ素子間における液連通を許容するための通路 27 が形成されている。

【0050】

これらの例においても、上述の実施形態と同様に、レンズの有効面積の増大と透過率の向上を図れるようになる。また、素子間における液量のバラツキを抑制してレンズ特性の均一化を図れるようになる。

【0051】

(第 3 の実施形態)

図 6A、B は本発明の第 3 の実施形態によるレンズアレイ 30 の概略構成を示しており、A はレンズアレイ 30 の内部構造を示す平面図、B はレンズアレイ 30 の要部断面図である。なお、図において上述の第 1 の実施形態と対応する部分については同一の符号を付し、その詳細な説明は省略するものとする。

【0052】

上述の第 1 の実施形態と同様に、共通基板 14 と蓋体 15 との間に形成された液室内に

10

20

30

40

50

は、第1，第2の液体11，12からなる複数のレンズ素子13が二次元的に配列されている。なお、本実施形態において、共通基板14は、蓋体15と同様に、その表面及び裏面が平坦な透明な板材で構成されている。

【0053】

本実施形態では、共通基板14と蓋体15との間に多孔板31を配置し、この多孔板31の面内に形成された複数の円形の開口部32内に個々のレンズ素子13を収容し、多孔板31の非開口部33によって各々のレンズ素子13を区画するようにしている。多孔板31と共に基板14との間には、隣接する開口部32間の液連通を許容する通路35が形成されており、多孔板31と蓋体15との間には、隣接する開口部32間の液連通を許容する通路36が形成されている。一方の通路35は、多孔板31の共通基板34と対向する側の面を凹状に形成することで形成され、他方の通路36は、液室構成時における密封部材20の形成厚で形成される。10

【0054】

多孔板31は、その周囲の枠部31Fの下面が共通基板14上に接合されているとともに、この枠部31Fの上面が密封部材20を介して蓋体15に密着固定されている。本実施形態において、多孔板31は、シリコン基板等の半導体材料で構成されているが、これ以外にも、金属板や、ガラス、セラミックス、樹脂等の絶縁性基板で構成されていても構わない。絶縁性樹脂の場合は、導電性材料による電極膜を形成する。多孔板31は端子部21bを介して外部の電圧源（図示略）に接続されている。多孔板31の表裏面および開口部32の周縁は、絶縁膜34で被覆されており、導電性の第1の液体11と当該多孔板31との間の電気的絶縁が図られている。20

【0055】

絶縁膜34は、撥水性、透明性、所定の絶縁耐圧、均一な膜厚・膜質であれば、特に材料は限られない。レンズ素子13の動作電圧は、絶縁膜34の厚さと誘電率によって変化する。絶縁膜34の膜厚が薄く、誘電率が高くなるほど動作電圧は低くなる。絶縁膜34の形成は、多孔板31と共に基板14の接合前に行ってもよいし、接合後に行ってもよい。20

【0056】

多孔板31と共に基板14との間の接合は、多孔板31及び共通基板14の材質等によって各種接合法を採用することができる。例えば、上述のように多孔板31がシリコン基板で構成され、共通基板14がガラス材料で構成される場合には、多孔板31と共に基板14との間は陽極接合法により接合することができる。また、多孔板31及び共通基板14がともに合成樹脂で構成される場合には、拡散接合法や超音波接合法等が採用可能である。更に、接着剤を用いた接合法も適用可能であり、多孔板31及び共通基板14の材質の組合せを問わず使用することができる。30

【0057】

上述した構成の本実施形態のレンズアレイ30においては、第1の実施形態と同様に、第1の液体11が蓋体15側に、第2の液体12が共通基板14側にそれぞれ偏在した複数のレンズ素子13を備えている。各レンズ素子13は、多孔板31の開口部32の形成位置によってそれぞれの配列位置が決定され、図6Aに示した例においては、3行×3列の合計9個の円形状のレンズ素子13が面内にアレイ状に配列される。なお、レンズ素子13の配列数はこれに限定されず、開口部32の形成数に合わせてレンズ素子13の配列数を任意に調整することができる。40

【0058】

図6Bに示す状態において、各レンズ素子13のレンズ面13Aは、第1の液体11が多孔板31の開口部32の周縁に対して所定の接触角で接することで所定の曲面形状を形成している。レンズ面13Aは、素子中央部が凹状に湾曲した曲面形状を有している。

【0059】

この状態で、端子部21a, 21b間に電圧を印加すると、エレクトロウェッティング効果（電気毛管現象）によって、第1の液体11が開口部32の周縁部に濡れ広がる。50

れにより、開口部 3 2 の周縁部に対する第 1 の液体 1 1 の接触角が変化し、レンズ面 1 3 A の形状変化を引き起こす。レンズ面 1 3 A の形状変化は可逆的である。従って、端子部 2 1 a , 2 1 b に印加する電圧の大きさにより、各レンズ素子 1 3 のレンズ面 1 3 A が任意に変化する。具体的に、印加電圧を大きくするとレンズアレイ 3 0 を透過する光について当該レンズアレイ 3 0 を可変焦点レンズとして機能させることができる。

【 0 0 6 0 】

本実施形態によれば、共通基板 1 4 と蓋体 1 5との間に多孔板 3 1 を配置し、当該多孔板 3 1 の非開口部 3 3 で複数のレンズ素子 1 3 を区画するとともに、通路 3 5 , 3 6 を介して、隣接する複数のレンズ素子 1 3 間の液的連通を図るようにしている。これにより、レンズ素子 1 3 ごとの第 1 , 第 2 の液体 1 1 , 1 2 の液量のバラツキを抑えることができる。また、素子単位で液量を高精度に調整する必要がなくなる。以上により、レンズアレイ 3 0 を構成する各レンズ素子 1 3 のレンズ特性を容易かつ均一化することができるとともに、レンズアレイ 3 0 の組立ても容易となる。

【 0 0 6 1 】

本実施形態において、開口部 3 2 を構成する多孔板 3 1 の厚さは、印加電圧の設定範囲においてレンズ面 1 3 A の形状変化を妨げない程度の厚さとされる。また、開口部 3 2 の形状は円形に限らず、四角形等の多角形、楕円形などの他の幾何学的形状でも構わない。なお、開口部 3 2 を円形とすることで、レンズ素子 1 3 のレンズとしての有効面積を大きくすることができるので、光学特性に優れたレンズ素子 1 3 を構成することができる。また、開口部 3 2 を多角形状とすることにより、開口部 3 2 の開口面積を大きくすることができる。開口部 3 2 の大きさは、第 1 の実施形態において説明したように、毛管長以下の長さに設定されることが好ましい。

【 0 0 6 2 】

また、開口部 3 2 の形成位置は、図 6 A に示したように縦方向および横方向に整列配置させる場合に限らず、例えば図 7 A に示すように、行方向に整列する開口部 3 2 の間に次の行の開口部 3 2 がそれぞれ位置するような開口部 3 2 の稠密配置構造を採用してもよい。

【 0 0 6 3 】

一方、多孔板 3 2 をガラスやプラスチック、セラミック等の絶縁性材料で構成する場合には、図 7 B に示すように、各々の開口部 3 2 の周縁部に、電極 3 7 として I T O 等の透明導電膜をパターン形成し、図 8 に示すように電極 3 7 を撥水性の絶縁膜 3 4 で被覆すればよい。電極 3 7 は、各開口部 3 2 間で網目状に引き回され、多孔板 3 1 の枠部 3 1 F の外面に形成した連絡部 3 7 P を介して、共通基板 1 4 の表面の一側部に形成した端子部 2 1 b に共通に接続される。なお、各開口部 3 2 の電極 3 7 を各々独立して形成し、各開口部に対応して設けた端子部 2 1 b に個別に接続することで、個々のレンズ素子 1 3 を独立して駆動させることができる。

【 0 0 6 4 】

また、多孔板 3 1 が共通基板 1 4 及び蓋体 1 5 に対し、それぞれ液連通用の通路 3 5 及び通路 3 6 を介して対向する構成に代えて、例えば、多孔板 3 1 と蓋体 1 5 との間を密着させ、多孔板 3 1 と共に基板 1 4 との間の通路 3 5 のみで液連通を確保する構成を採用しても構わない。

【 0 0 6 5 】

更に、図 9 A に示すように、多孔板 3 1 と共に基板 1 4 との間に支柱 3 8 を配置することで、多孔板 3 1 と共に基板 1 4 との間のクリアランスを一定に保持でき、レンズ素子 1 3 間の液量のバラツキを防止できる。また、外部ストレスに対する耐久性の向上を図ることが可能となる。ここで、支柱 3 8 は、多孔板 3 1 の非開口部 3 3 と共に基板 1 4 との間に形成される。支柱 3 8 の大きさ、形状、形成数は特に制限されない。支柱 3 8 は、共通基板 1 4 側に形成してもよいし、多孔板 3 1 側に形成してもよい。支柱 3 8 は、共通基板 1 4 または多孔板 3 1 と一体形成する場合に限らず、別部材で構成されていても構わない。

10

20

30

40

50

【0066】

一方、図9Bは、多孔板31の下面に通路35を形成して隣接する開口部32間を液的に連通可能とした構成例の要部断面図である。通路35の形状、大きさ、形成数、形成位置は特に制限されないが、開口部32内への第1、第2の液体11、12の導入のし易さを確保できる程度に設計するのが好ましい。

【0067】

続いて、本実施形態のレンズアレイ30の製造方法について説明する。

【0068】

図10は、レンズアレイ30の一製造方法を説明するための要部工程断面図である。図示の例では、多孔板31としてシリコン基板を用い、共通基板14としてパイラックスガラス（商品名）等のガラス基板を用いた例を示している。10

【0069】

まず、図10Aに示すように、多孔板31を構成するシリコン基板41の一方の面に、フォトリソグラフィ技術を用いて所定形状にパターニングされたレジスト層42を形成する。そして、図10Bに示すように、レジスト層42をマスクとしてシリコン基板41の一方の面を所定量エッティングする。これにより、シリコン基板41の一方の面に所定深さの凹部43が形成される。この凹部43は、レンズアレイ30において、多孔板31と共通基板14との間に形成される液連通用の通路35（図6B）を構成する。

【0070】

次に、レジスト層42を除去し、図10Cに示すように、シリコン基板41の他方の面に、フォトリソグラフィ技術を用いて所定形状にパターニングされたレジスト層44を形成する。そして、図10Dに示すように、レジスト層44をマスクとしてシリコン基板41の他方の面をエッティングし、シリコン基板41を貫通する複数の開口部32を形成する。以上のようにして、共通基板14と蓋体15との間に配置される多孔板31が作製される。20

【0071】

続いて、レジスト層44を除去し、図10Eに示すように、多孔板31の一方の面と共通基板14の上面とを陽極接合して一体化する。その後、図10Fに示すように、多孔板31及び共通基板14の各々の表面に絶縁膜34を形成する。これにより、多孔板31の非開口部33が絶縁膜34で被覆される。30

【0072】

次に、図10Gに示すように、多孔板31の枠部上面に密封部材20を設けることで液室を形成するとともに、多孔板31の開口部32内に導電性の第1の液体11と絶縁性の第2の液体12を充填する。第1、第2の液体11、12の充填方法としては、シリンジあるいはディスペンサノズル等の液滴下手段を用いて各開口部32に所定量の第2の液体12を注入した後、液室を第1の液体11で充填する方法のほか、最初に第1の液体11で液室を充填した後、各開口部32に個々に第2の液体12を所定量注入する方法がある。

【0073】

最後に、図10Hに示すように、密封部材20の上に蓋体15を配置し、液室内の第1、第2の液体11、12を封止する。これにより、第1、第2の液体11、12からなるレンズ素子13が複数二次元的に配列されたレンズアレイ30が作製される。40

【0074】

本実施形態によれば、隣接する複数のレンズ素子13間が液的に連通された構成であるので、レンズ素子13間の液量のバラツキを抑えることができる。また、素子単位で液量を高精度に調整する必要をなくすことができる。以上により、レンズアレイ30を構成する各レンズ素子13のレンズ特性を容易かつ均一化することができるとともに、レンズアレイ30の組立ても容易となる。

【0075】

次に、図11～図13を参照して、レンズアレイ30の他の製造方法を説明する。ここ50

で、図11Aは、レンズアレイ30の構成を示す要部断面図、図11Bは図11Aにおける[B]-[B]線方向断面図、図12及び図13はレンズアレイ30の製造方法を説明する工程断面図である。

【0076】

図11に示すレンズアレイ30は、多孔板31の枠部31Fの所定位置に、液室内へ第1, 第2の液体11, 12を導入するための液導入口47Aと、液室内から第1, 第2の液体11, 12を排出するための液排出口47Bがそれぞれ形成されるとともに、これら液導入口47A及び液排出口47Bがシール部材46A, 46Bによってそれぞれ封止された構成を有している。液導入口47A及び液排出口47Bの形成位置は特に限定されないが、本例では、多孔板31の中心に関して対称な位置にそれぞれ形成されている。10

【0077】

また、図11に示すレンズアレイ30は、多孔板31の非開口部33と共に基板14との間に支柱38が設けられている。支柱38は図9Aに示したような構成を有しており、ここではその詳しい説明は省略する。なお、本例において支柱38は、多孔板31と一体形成されている。

【0078】

上述した構成のレンズアレイ30の製造方法について図12及び図13を参照して説明する。まず、図12Aに示すように、多孔板31を構成するシリコン基板61の一方の面に、フォトリソグラフィ技術を用いて所定形状にパターニングされたレジスト層62を形成する。そして、図12Bに示すように、レジスト層62をマスクとしてシリコン基板61の一方の面を所定量エッチングする。これにより、シリコン基板61の一方の面上に所定深さの凹部63が形成されるとともに、支柱38、液導入口47A及び液排出口47Bが形成される。なお、凹部63は、多孔板31と共に基板14との間に形成される液連通用の通路を構成する。20

【0079】

次に、レジスト層62を除去し、図12Cに示すように、シリコン基板61の他方の面上に、フォトリソグラフィ技術を用いて所定形状にパターニングされたレジスト層64を形成する。そして、図12Dに示すように、レジスト層64をマスクとしてシリコン基板61の他方の面をエッチングし、シリコン基板61を貫通する複数の開口部32を形成する。以上のようにして、共通基板14と蓋体15との間に配置される多孔板31が作製される。30

【0080】

続いて、レジスト層64を除去し、図12Eに示すように、多孔板31の枠部の上記一方の面及び支柱38の先端と共に基板14の上面とを陽極接合して一体化する。その後、図13Fに示すように、多孔板31及び共通基板14の各々の表面に絶縁膜34を形成する。これにより、多孔板31の支柱38を含む非開口部33が絶縁膜34で被覆される。

【0081】

次に、図13Gに示すように、多孔板31の枠部上面に密封部材20を介して蓋体15を配置することで液室を形成する。次に、図13Hに示すように、液導入口47Aから第1の液体11を導入し、多孔板31と共に基板14および蓋体15との間に形成された液連通用の通路を介して液室内に第1の液体11を充填する。このとき、液排出口47Bは開放しておき、液室内の残留空気と第1の液体11の余剰分を当該液排出口47Bから排出する。なお、図13H以降においては、液導入口47A及び液排出口47Bを断面で示す。40

【0082】

次に、図13Iに示すように、液排出口47Bを開放した状態のまま、液導入口47Aから第2の液体12を導入する。第2の液体12は、多孔板31と共に基板14との間の液連通用の通路を介して液室の全域に行き渡り、撥水性の絶縁膜34によって多孔板31の開口部32周縁に濡れ広がる。第2の液体12の導入当初、液排出口47Bから第1の液体11が排出されるが、第2の液体12が液排出口47Bに達すると、第1の液体1150

は排出されなくなる。最後に、図13Jに示すように、液導入口47Aと液排出口47Bをシール部材46A, 46Bを用いてそれぞれ封止する。

【0083】

なお、第2の液体12の濡れ広がり速度が遅い場合には、液排出口47Bに到達後も第2の液体12の導入作業を続行し、液室内における第2の液体12の液量を増やして、第1の液体11と第2の液体の界面の上昇を促すようにする。

【0084】

以上のようにして、液室内に第1、第2の液体11, 12からなるレンズ素子13が複数二次元的に配列されたレンズアレイ30を作製することができる。本実施形態によれば、隣接する複数のレンズ素子13間が液的に連通された構成であるので、レンズ素子13間の液量のバラツキを抑えることができる。また、素子単位で液量を高精度に調整する必要をなくすことができる。以上により、レンズアレイ30を構成する各レンズ素子13のレンズ特性を均一化するとともに、レンズアレイ30の組立ても容易となる。

【0085】

本実施形態によれば、液室の側方から第1、第2の液体11, 12を順に導入することでレンズアレイ30を作製するようにしているので、第2の液体12を液量調整して個々に滴下注入する作業が不要となり、レンズアレイ30の組立て作業を更に容易に行うことができる。更に、シリンジやディスペンサノズル等を用いる方法では液体充填できないような微小なレンズ径（例えば数μm～数十μm）をもつ構造にも容易に対応することができるようになる。

【0086】

また、本実施形態によれば、第1、第2の液体11, 12の導入圧を適宜調整することが可能である。例えば、液室内を大気圧よりも大きな圧力状態に保つことで、外部環境（例えば高山での減圧、水中での加圧）などの影響を受けにくいデバイスを構成することができる。

【0087】

また、シール部材46A, 46Bとしては、ゴム栓のような弾性体を液導入口47A, 液排出口47Bに圧入した後、接着剤で外側を接着硬化させたり、液導入口47A, 液排出口47Bに直接接着剤を注入して硬化させたりする方法がある。また、シール部材46A, 46Bを、液流れ方向を規制したチェック弁（逆止弁）で構成するようにしてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0088】

【図1】本発明の第1の実施形態によるレンズアレイの概略構成図であり、Aは共通基板の平面図、Bはレンズアレイの要部断面図である。

【図2】図1のレンズアレイにおいて各レンズ素子を区画する突起の形成間隔を説明する断面図である。

【図3】水と空気、水と油の組合せ例における界面張力、密度差、毛管長の大きさを比較して説明する図である。

【図4】図1のレンズアレイにおいて各レンズ素子を区画する突起の形状の相違によるレンズ面の初期形状を説明する断面図である。

【図5】本発明の第2の実施形態によるレンズアレイの構成を説明する共通基板の平面図である。

【図6】本発明の第3の実施形態によるレンズアレイの概略構成図であり、Aはレンズアレイの内部構造を示す平面図、Bはレンズアレイの要部断面図である。

【図7】本発明の第3の実施形態によるレンズアレイの構成の変形例を示す多孔板の平面図である。

【図8】図7Bに示した構成の多孔板を有するレンズアレイの要部断面図である。

【図9】本発明の第3の実施形態によるレンズアレイの構成の他の変形例を示す多孔板の

10

20

30

40

50

断面図である。

【図10】本発明の第3の実施形態のレンズアレイの製造方法を説明する要部の工程断面図である。

【図11】本発明の第3の実施形態のレンズアレイの構成の変形例を示す図であり、Aはレンズアレイの要部断面図、Bは図11Aにおける[B]-[B]線方向断面図である。

【図12】図11に示したレンズアレイの製造方法を説明する要部の工程断面図である。

【図13】図11に示したレンズアレイの製造方法を説明する要部の工程断面図である。

【図14】電気毛管現象を説明する原理図である。

【図15】従来のレンズアレイの概略構成図であり、Aは共通基板の平面図、Bはレンズアレイの要部断面図である。

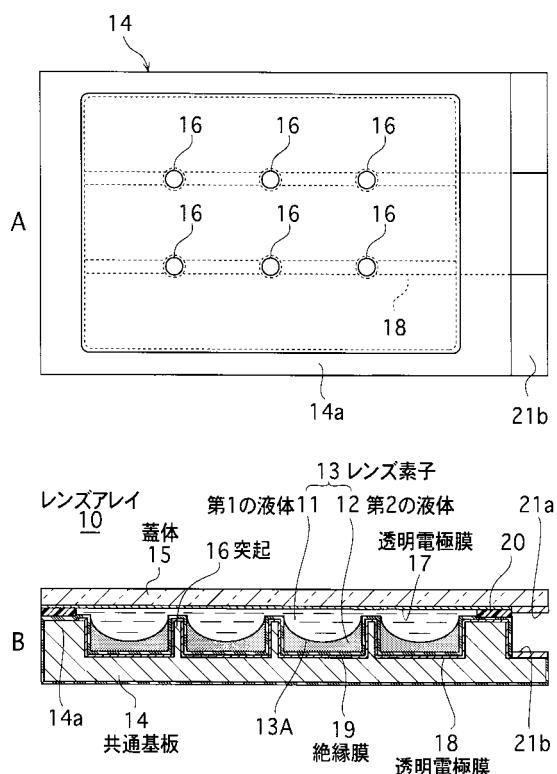
【符号の説明】

[0 0 8 9]

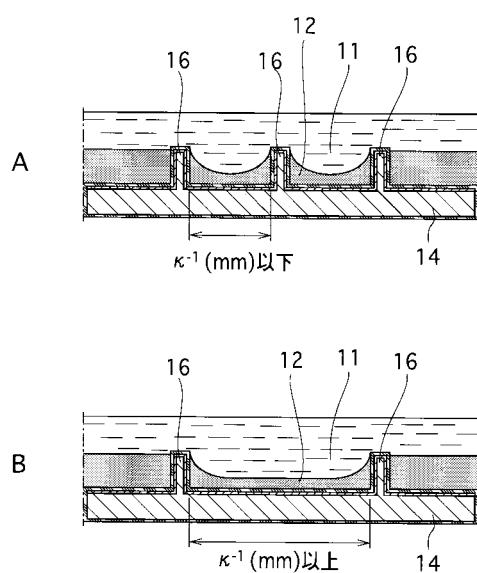
10, 30...レンズアレイ、11...第1の液体、12...第2の液体、13...レンズ素子、13A...界面(レンズ面)、14...共通基板、15...蓋体、16...突起(柱状突起)、17, 18, 37...透明電極、19, 34...絶縁膜、20...密封部材、26...突起(線状突起)、27, 35, 36...通路、31...多孔板、32...開口部、33...非開口部、38...支柱、46A, 46B...シール部材、47A...液導入口、47B...液排出口

10

〔 1 〕



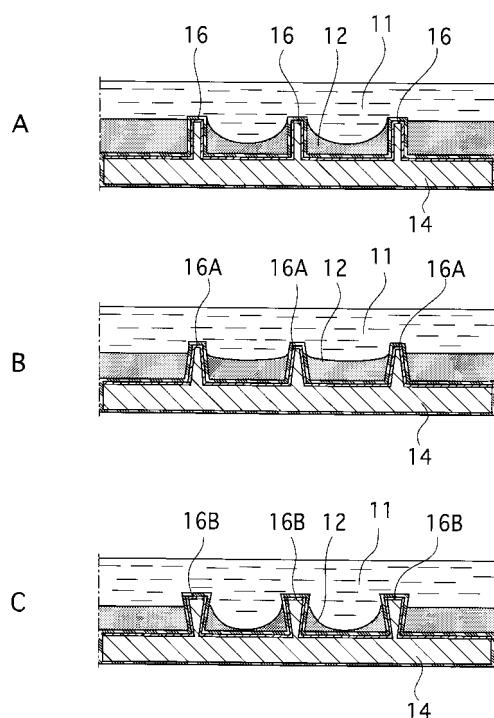
〔 2 〕



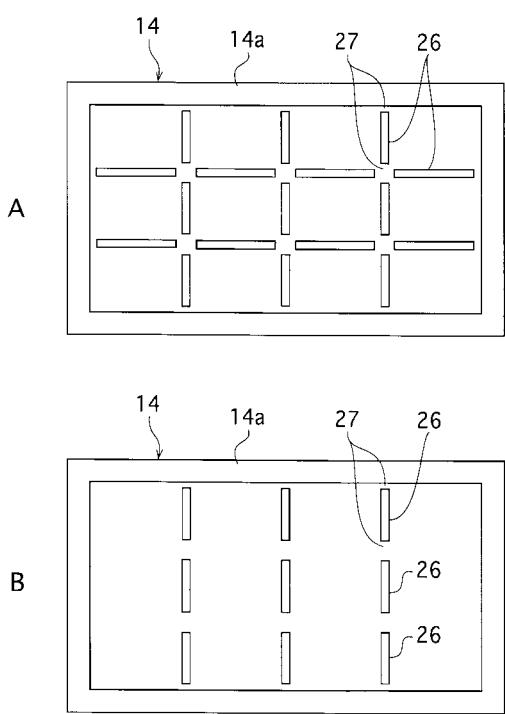
【図3】

	界面張力 [mN/m]	密度差 [g/cm ³]	毛管長 [mm]
水と空気	72.88	0.99997	2.7
水と油	29.5	0.0129	15.2

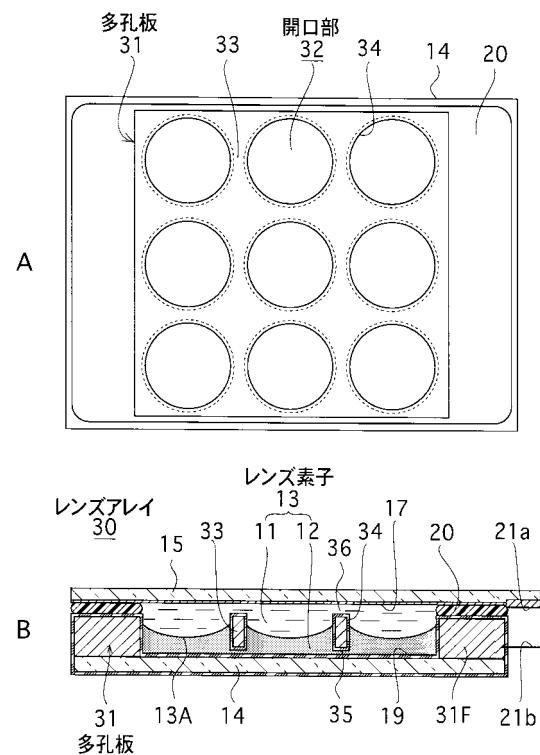
【図4】



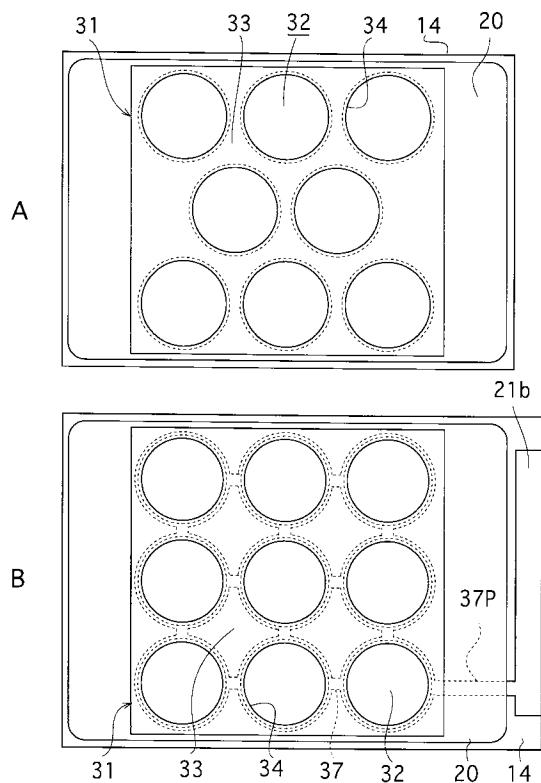
【図5】



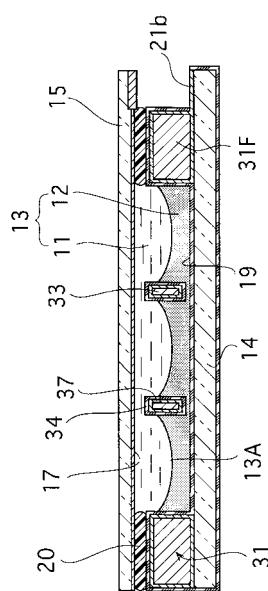
【図6】



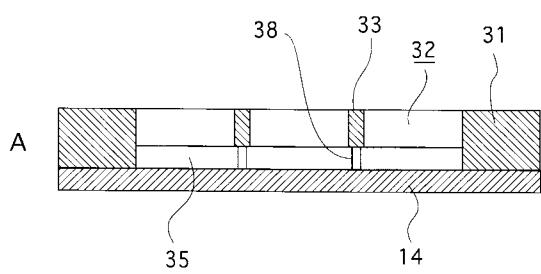
【図7】



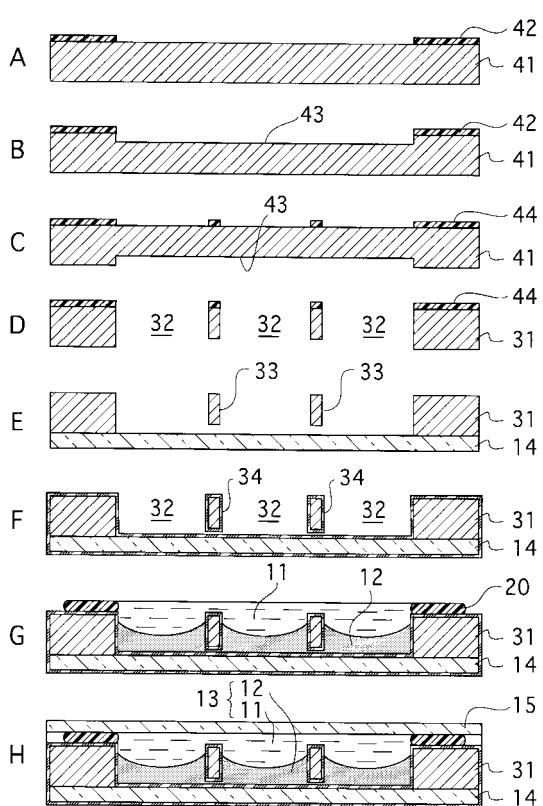
【図8】



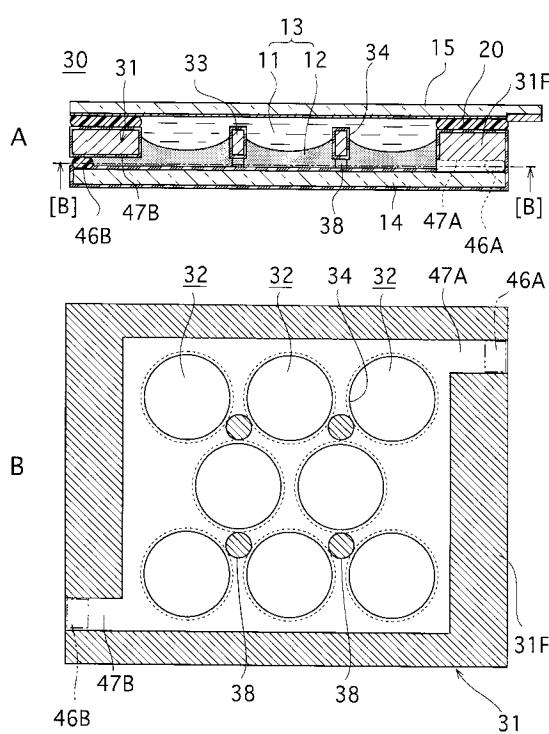
【図9】



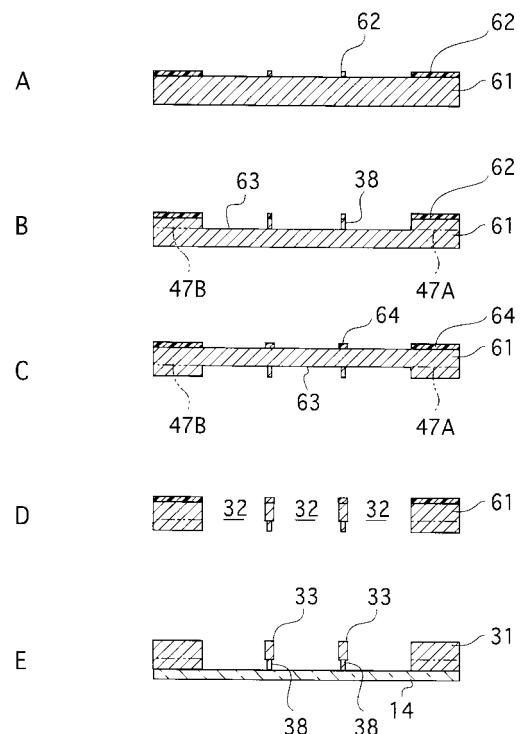
【図10】



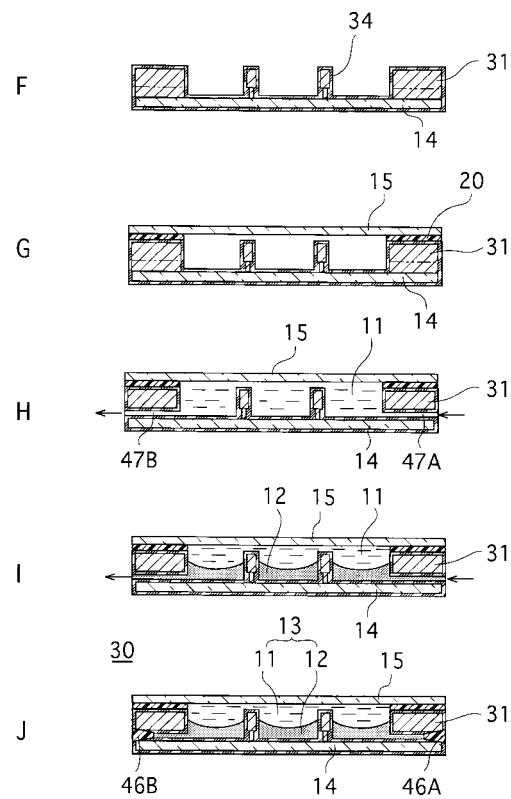
【図11】



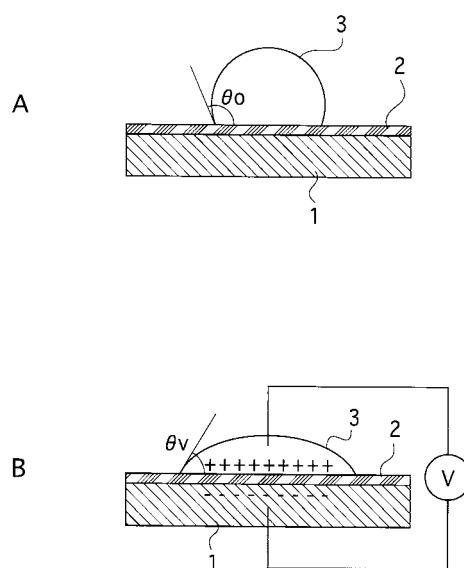
【図12】



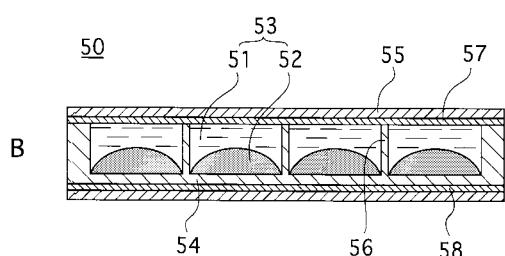
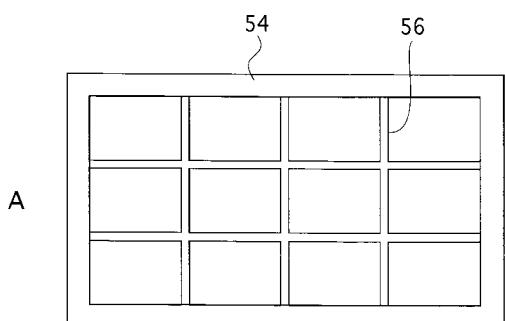
【図13】



【図14】



【図 1 5】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2000-356708(JP,A)
特開2005-062864(JP,A)
特開2002-169110(JP,A)
特開2002-162507(JP,A)
特開平10-039799(JP,A)
特開2000-356750(JP,A)
特表2006-500618(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 02 B 3 / 1 4
G 02 B 2 6 / 0 0