

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4777624号  
(P4777624)

(45) 発行日 平成23年9月21日 (2011.9.21)

(24) 登録日 平成23年7月8日 (2011.7.8)

(51) Int. Cl.	F I
GO2B 26/08 (2006.01)	GO2B 26/08 J
GO2B 3/12 (2006.01)	GO2B 3/12

請求項の数 9 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2004-230148 (P2004-230148)	(73) 特許権者	596092698
(22) 出願日	平成16年8月6日 (2004.8.6)		アルカテルルーセント ユーエスエー
(65) 公開番号	特開2005-62864 (P2005-62864A)		インコーポレーテッド
(43) 公開日	平成17年3月10日 (2005.3.10)		アメリカ合衆国 07974 ニュージャ
審査請求日	平成19年5月22日 (2007.5.22)		ーシー, マレイ ヒル, マウンテン アヴ
(31) 優先権主張番号	10/637837		ェニュー 600-700
(32) 優先日	平成15年8月8日 (2003.8.8)	(74) 代理人	100094112
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 岡部 譲
		(74) 代理人	100064447
			弁理士 岡部 正夫
		(74) 代理人	100085176
			弁理士 加藤 伸晃
		(74) 代理人	100106703
			弁理士 産形 和央

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 エレクトロウェットティング作動を有する光学ビームスプリッター

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

液滴を容れるための囲壁と、  
 前記囲壁内に配置された導電性液体の液滴と、  
 前記液滴の少なくとも 2 つの側で前記囲壁内に配置された複数の電極とを含み、  
 前記複数の電極は、該複数の電極に印加される少なくとも第 1 電圧に応答して、前記導電性液体の液滴の少なくとも第 1 表面の上に複数の液体レンズが形成されるように、前記液滴の幅にわたる部分的に延在するように配置されていることを特徴とする装置。

【請求項 2】

前記複数の電極の各電極が、前記複数の電極の他の電極から電氣的に絶縁されることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

10

【請求項 3】

前記複数の液体レンズが少なくとも第 2 電圧に応答して形成されるように、前記複数の電極が配置されることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 4】

前記第 1 電圧が前記第 2 電圧と同じであることを特徴とする請求項 3 に記載の装置。

【請求項 5】

液滴を容れるための囲壁と、  
 前記囲壁内に配置された導電性液体の液滴と、  
 前記液滴の少なくとも 2 つの側で前記囲壁内に配置された複数の電極とを含み、

20

前記複数の電極は、該複数の電極に印加される少なくとも第1電圧に応答して、前記導電性液体の液滴の少なくとも第1表面の上に複数の液体レンズが形成されるように、前記液滴の幅にわたり部分的に延在するように配置されていることを特徴とする光学ビームスプリッタ。

【請求項6】

前記複数の電極の各電極が、前記複数の電極の他の電極から電氣的に絶縁されることを特徴とする請求項5に記載の光学ビームスプリッタ。

【請求項7】

前記複数の液体レンズが少なくとも第2電圧に応答して形成されるように、前記複数の電極が配置されることを特徴とする請求項5に記載の光学ビームスプリッタ。

10

【請求項8】

光ビームを分割する方法であって、前記方法が、

囲壁に収容された導電性液体の液滴の幅にわたり部分的に延在するように前記液滴の少なくとも2つの側で前記囲壁内に配置された複数の電極に少なくとも第1電圧を印加する工程であって、前記印加する工程は複数の液体レンズを前記導電性液体の液滴の少なくとも第1表面の上に形成する、工程と、

光ビームが前記複数の液体レンズ内の少なくとも1つのレンズに入射するように、前記光ビームを受ける工程とを含む方法。

【請求項9】

第2電圧を前記複数の電極に印加する工程をさらに含むことを特徴とする請求項8に記載の方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ネットワーク構成要素に関し、具体的には、流体のエレクトロウェットティング作動(electrowetting actuation)によって調整可能である光学ビームスプリッタに関する。

【背景技術】

【0002】

光信号は、現在の通信システムの多くの応用分野にとって有用である。通常の光通信システムは、光信号の送信器(たとえば、1550nmなど、光の望ましい波長を生成するレーザベースの送信器)、信号源に結合されたある長さの伝送光ファイバ、および信号を受信するためにファイバに結合された受信器を備える。送信信号を増幅するために、1つまたは複数の増幅システムをファイバに沿って配置することができる。そのようなシステム内の受信器または他の構成要素の内部では、単一の光ビームの伝播を、異なる方向(たとえば、異なる光検出器)に伝播する2つ以上の分割光ビームに分割することがしばしば望ましい。光学ビームスプリッタは、このビーム分割機能を行うために、従来使用されてきた。

30

【0003】

通常の光学ビームスプリッタは、例示として、ビームに対して所望の事前に設定された入射角度で伝播ビームの経路に配置された半反射キューブおよび/またはプレートである。そのような入射角度で配置されたとき、入力ビームは、ビームの一部が、一方向に反射され、一方、ビームの少なくとも1つの他の部分は、他の方向でビームスプリッタを通過することが可能であるような形で、ある角度でビームスプリッタの部分反射表面に到達する。当業者なら理解するように、これらのタイプのビームスプリッタの性能は、通常、入射光ビームおよび行先光学構成要素に対するビームスプリッタの正確な位置決めに大きく依存する。

40

【特許文献1】米国特許出願第10/135973号明細書

【特許文献2】米国特許出願第10/139124号明細書

【特許文献3】米国特許出願第10/231614号明細書

50

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

従来の調整可能光学ビームスプリッタは、多くの使用にとって受け入れられるが、ある点に関して限定される傾向がある。具体的には、従来のビームスプリッタは調整可能でない。すなわち、従来のビームスプリッタは、製造後、最適入射角度など、ある固定された光学特性によって特徴付けられる。したがって、分割ビームの進行方向および/またはビームスプリッタの焦点距離のあらゆる変更（調整）は、光ビームの伝播特性を変更するために、ビームスプリッタの手動移動または構成要素の追加（レンズなど）を必要とした。本発明者らは、光通信システムがより進化して、複雑になるにつれ、新しく、かつ費用効果の高い調整可能な光学ビームスプリッタ、および、それらの装置を使用して結果的な分割光信号の伝播行動を変更する方法に対する要求が高まっていることを認識している。

10

## 【課題を解決するための手段】

## 【0005】

したがって、本発明者らは、囲壁内に配置された液体の液滴（droplet）として複数のレンズを形成するエレクトロウェットティングの技法を使用する調整可能光学ビームスプリッタを発明した。例示として、光ビームが複数のレンズに入射したとき、複数のレンズは、対応する複数の出力分割ビームにおいて光ビームの一部を変形する。流体の領域は、分割ビームの少なくとも1つの伝播特性を変更するために、前記複数のレンズにおける少なくとも第1レンズの少なくとも第1光学特性を修正するように、囲壁内を制御可能に移動する。一実施形態では、第1光学特性は、複数のうちの少なくとも1つのレンズの曲率半径であり、修正されたとき、対応する出力分割ビームの集束または発散を変化させる。第2実施形態では、第1光学特性は、ビームスプリッタ内におけるレンズの少なくとも1つの位置であり、修正されたとき、対応する出力ビームの離脱方向を変化させる。

20

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0006】

図1は、例示的な周知の従来の技術の光学システムであり、このシステムでは、ビームスプリッタを使用して、伝播光学ビームを、異なる方向に向けられる2つの分割ビームに分割する。この図では、ビームスプリッタ101は、光ネットワーク化装置内に例示的に配置され、入射伝播光ビーム102の経路に配置される。ビームスプリッタ101の表面107は、光ビーム102がビームスプリッタ101の表面107上に入射したとき、光ビーム102の一部103が、装置105に向かって反射され、光ビーム102の他の部分104が、装置106に向かってビームスプリッタ101を通過するように、部分反射する。装置105および装置106は、例示として、光学受信器における光検出器である。当業者には明らかであるように、ビームスプリッタ101は、ビームスプリッタが、入射ビームならびに装置105および106と位置合わせされるように、図1の光学システム内に設置されなければならない。ビームスプリッタ101の位置合わせがずれた場合、ビームスプリッタとビームおよび装置との物理的な再位置合わせが必要である。これまで、この再位置合わせは、機械的作動装置の使用および/または手動再位置決めにより、ビームスプリッタ装置を物理的に再位置決めすることによってのみ可能であった。

30

40

## 【0007】

本発明者らは、調整可能であり、かつ、ビームスプリッタ装置の物理的な再位置決めを必要としない光学ビームスプリッタを使用することが望ましいことを理解している。したがって、本発明者らは、エレクトロウェットティングを使用して、1つまたは複数の分割光ビームの伝播特性（たとえば、進行方向および発散）を変化させる調整可能光学ビームスプリッタを発明した。得られる装置は、ほとんど電力を消費せず（たとえば、いくつかの場合では1ミリワット未満）、製造が比較的安価であり、かつ、従来の光学システムと適合する。エレクトロウェットティングの原理（すなわち、電場を使用して、液体ベース装置の特性を可変的に変化させる）は、液体マイクロレンズの焦点距離および位置を変化させるために従来使用されてきた。そのようなエレクトロウェットティングに基づくマイクロレ

50

ンズは、「Method and Apparatus for Aligning a Photo-Tunable Microlens」という名称の同時継続の米国特許出願第10/135973号明細書、および「Method and Apparatus for Calibrating a Tunable Microlens」という名称の同時継続の米国特許出願第10/139124号明細書の主題である。両方とも、参照によって本明細書に組み込まれている。最も簡単な形態では、エレクトロウェッティングに基づくマイクロレンズは、液体の透明液滴を使用して、入射光を所望の焦点に集束させる。

【0008】

図2は、上記で参照した'973および'124の米国特許出願に記載されている簡単な液体マイクロレンズ201の1つの従来の技術の実施形態を示す。この実施形態では、エレクトロウェッティングの現象を使用して、導電性液体の液滴202（透明でも透明でなくてもよい）と、厚さ「d」および誘電率  $\epsilon_r$  を有する誘電体絶縁層203との接触角度  $\theta_1$  を可逆的に変化させることが可能である。液滴と絶縁層との接触角度は、一般にメートルあたりのミリニュートン（mN/m）で測定される表面張力（界面エネルギーとしても既知）「 $\gamma$ 」によって決定される。本明細書では、 $\gamma_{S-V}$  は、絶縁層203と、液滴を囲む空気、気体、または他の液体との間の表面張力、 $\gamma_{L-V}$  は、液滴202と、液滴を囲む空気、気体、または他の液体との間の表面張力、 $\gamma_{S-L}$  は、絶縁層203と液滴202との間の表面張力である。接触角度  $\theta_1$  は、以下の関係によって決定される。

【数1】

$$\cos\theta_1 = \frac{\gamma_{S-V} - \gamma_{S-L}}{\gamma_{L-V}} \quad (1)$$

金属電極などの電極204が、誘電体層203の下に配置され、電極204は、その層によって液滴202から絶縁される。液滴202は、たとえば、水滴とすることが可能であり、誘電体絶縁層203は、たとえば、テフロン（登録商標）/パリレン表面とすることが可能である。

【0009】

液滴202と電極204との間に電位差が存在しないとき、液滴202は、液滴の容積によって画定される形状、および接触角度  $\theta_1$  を維持する。 $\theta_1$  は、上記で説明したように、表面張力  $\gamma$  によって決定される。電圧Vが電極204に印加されたとき、電極204と液滴202との電位差により、液滴は拡散する。破線205は、液滴202が、電極204に対する中心位置から層203全体に等しく拡散することを示す。具体的には、接触角度  $\theta_1$  は、電圧が電極204と液滴202との間に印加されたとき、 $\theta_1$  から  $\theta_2$  に減少する。この拡散を達成するために必要な電圧Vは、数ボルトから数百ボルトにわたる可能性がある。拡散の量は、すなわち  $\theta_1$  と  $\theta_2$  との差によって決定され、印加電圧Vの関数である。接触角度  $\theta_2$  は、以下の関係によって決定することができる。

【数2】

$$\cos\theta_2(V) = \cos\theta_1(V=0) + \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{2d\gamma_{L-V}} V^2 \quad (2)$$

上式で、 $\theta_1$  は、電圧が液滴202と電極204との間に印加されていないときの絶縁層203と液滴202との接触角度、 $\gamma_{L-V}$  は、上述した液滴表面張力、 $\epsilon_r$  は、絶縁層203の誘電率、 $\epsilon_0$  は、 $8.85 \times 10^{-12}$  F/M（真空の誘電率）である。

【0010】

10

20

30

40

50

図3は、従来の構造103の実施形態を示す。これは、たとえば円形断面のガラス管である囲壁309を通して導電性流体302の液滴を移動させるために、上述したエレクトロウェットティングの原理に依拠する。そのような実施形態は、やはり参照によって本明細書に完全に組み込まれている、「Optical Waveguide Devices With Electro-Wetting Actuation」という名称の同時継続の米国特許出願第10/231614号明細書の主題である。図2とは対照的に、図3の実施形態は、導電性液体液滴302の回りに剛性囲壁を使用して、x方向を除く全方向で液滴の運動を完全に制約する。図3の実施形態では、液滴は、例示として、環状断面の管によって制約される。上述したようなエレクトロウェットティングの原理を使用して、液体と囲壁309の表面との接触角度 $\theta_1$ を可逆的に変化させる。液滴と絶縁層との接触角度 $\theta_2$ は、再び、表面張力によって決定され、式1を参照することによって計算することができる。液滴302と電極305との間に電位差がないとき、液滴302は、囲壁309内においてその位置を維持し、接触角度は、 $\theta_1 = \theta_2$ である。 $\theta_1$ は、上記で説明したように、表面張力 $\gamma$ によって決定される。

#### 【0011】

電圧Vが電極305に印加されたとき、電極305と液滴302との間の電位差により、図2に示した場合のように、液滴は、拡散しようとする。具体的には、境界303Aが囲壁309の表面に到達する接触角度は、電圧が電極305と液滴302との間に印加されたとき、 $\theta_2$ から $\theta_1$ に減少する。この変化を達成するために必要な電圧Vは、数ボルトから数百ボルトにわたる可能性がある。運動量は、すなわち $\theta_1$ と $\theta_2$ との差によって決定され、印加電圧Vの関数である。接触角度 $\theta_2$ は、再び、式2を参照することによって決定することができる。 $\theta_1$ は、電圧が液滴302と電極305との間に印加されていないときの囲壁309の表面と液滴302との接触角度、 $\gamma_L$ は液滴の表面張力、

$\epsilon_0$ は絶縁層306の誘電率、 $\epsilon_0$ は $8.85 \times 10^{-12}$  (真空の誘電率)である。図3の液滴は、x方向を除く全方向で運動が制約されるので、印加電圧Vによって生じる接触角度の差は、流体液滴の対向側面303Aと303Bとの間の力の不均衡をもたらす。その結果、流体液滴は、より高い印加電圧の下で、液滴の片側に向かって方向310に移動する。

#### 【0012】

本発明者らは、調整可能ビームスプリッタを作成するために、上述したエレクトロウェットティングの技法を使用することが有利であると理解している。したがって、本発明の原理によれば、図4A、4B、および4Cは、それぞれ、エレクトロウェットティングの原理により流体の運動を制御するビームスプリッタ401の側面断面図、前面断面図、および上面断面図を示す。この実施形態では、図4Aを参照すると、液滴403は、例示的な囲壁402の内部に配置され、囲壁402は、例示として反射性誘電体材料の層である反射内表面408を有する。液滴403と囲壁402との間の摩擦を低減するために、潤滑液体を囲壁402の内部に配置することが可能である。表面408は、例示として、周知のテフロン(登録商標)材料の基板の上に配置されたCYTOP(登録商標)の透明コーティングを有することが可能である。CYTOP(登録商標)は、旭硝子株式会社(Asahi Glass, Inc.)によって製造されたアモルファス・フッ化炭素ポリマーであり、一部には、有利な疎水性特性を特徴とする。当業者なら、多くの材料が、本明細書において記述するようなビームスプリッタの表面に必要な特性を達成するのに適していることを理解するであろう。囲壁402は、例示的として、矩形の断面であるが、当業者なら、多くの断面形状(たとえば、楕円)が等しく有利であることを理解するであろう。電極405および406は、それぞれ、液滴403の上および下に配置され、誘電体層407によって液滴403から分離される。誘電体層407のチャンネル409は、液体を接地電極412と接触させることによって、液体液滴の接地を可能にする。以前に議論したように、電極406と405との相対電圧を変化させることによって、液滴403の1つまたは複数の部分を、囲壁402内においてx方向に移動させることができる。接触角度 $\theta_2$ および $\theta_3$ は、それぞれ、これ以後、液滴の前縁および後縁の垂直接触角度と呼ばれ、

再び、式 1 および 2 によって決定することができる。

【 0 0 1 3 】

図 4 B は、図 4 A のビームスプリッタの断面を示す。具体的には、図 4 B は、図 4 に示した面 A - A' におけるビームスプリッタ 4 0 1 の例示的な断面を示す。図 4 B では、囲壁内において液滴を移動させる従来の実施形態とは異なり、電極 4 0 6 A / C および 4 0 6 B / D が、液滴 4 0 3 の幅の一部にわたってのみ延びることがわかる。したがって、液滴 4 0 3 は、これ以後移行領域 4 0 4 と呼ぶ領域 4 0 4 によって、部分 4 0 3 A および 4 0 3 B に分割される。

【 0 0 1 4 】

図 4 C は、例示的な光ビーム 4 0 9 を複数の光ビームに分割するために使用される図 4 A のビームスプリッタの上面断面図を示す。具体的には、図 4 C は、図 4 B に示した面 B - B' におけるビームスプリッタの例示的な断面を示す。図 4 C の例示的な実施形態では、等しい電圧が電極 4 0 6 C ( および / または図 4 B に示した 4 0 6 A ) ならびに 4 0 6 D ( および / またはやはり図 4 B に示した 4 0 6 B ) に印加されたとき、液滴 4 0 3 の部分 4 0 3 A および 4 0 3 B は、方向 4 1 3 に移動する。したがって、電極 4 0 6 C ( および / または図 4 B に示した 4 0 6 A ) ならびに 4 0 6 D ( および / またはやはり図 4 B に示した 4 0 6 B ) に印加された所与の電圧について、部分 4 0 3 A および 4 0 3 B は、それぞれ、曲率半径 R 2 を有する 2 つのレンズ 4 1 1 および 4 1 0 を形成すると言える。当業者には以上のエレクトロウェットティングの議論から明らかなように、液滴部分 4 0 3 A および 4 0 3 B の変位量 ( したがって、レンズ 4 1 1 および 4 1 0 の曲率半径 ) は、電極 4 0 6 C ( および / または図 4 B に示した 4 0 6 A ) ならびに 4 0 6 D ( やはり図 4 B に示した 4 0 6 B ) に印加された電圧量に直接依存する。曲率半径 R 3 を有する移行領域 4 0 4 は、液滴を分割して、液滴 4 0 3 の 2 つの部分 4 0 3 A および 4 0 3 B を創出するように作用する。この移行領域は、電極 4 0 6 C と 4 0 6 D との間の移行領域 4 0 4 において、液滴に電圧が印加されていないことによる。移行領域 4 0 4 に電極がないことにより、大きな垂直接触角度  $\theta_3$  が創出される。その結果、領域 4 0 4 の両側の液滴は、半円形断面を有する 2 つのレンズを形成し、例示として、レンズの最大変位は、移行領域 4 0 4 の境界 4 0 2 と側壁 4 2 1 との間の中間点に位置する。曲率半径 R 1、R 2、および R 3 は、それぞれ、垂直接触角度  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、および  $\theta_3$  に依存する。具体的には、液滴の前縁上の移行領域の曲率半径 R 3 は、液滴の後縁の曲率半径 R 1、後縁の接触角度  $\theta_1$ 、および移行領域の接触角度  $\theta_3$  に依存する。移行領域 4 0 4 の曲率半径 R 3 は、以下のよう

【 数 3 】

$$R3 = \frac{h}{2(\cos\theta_1 - \cos\theta_3)} - R1 \quad (3)$$

上式で、h は、図 4 A に示した囲壁の高さである。同様に、図 4 C のレンズ 4 1 0 および 4 1 1 の曲率半径 R 2 は、下式によって決定することができる。

【 数 4 】

$$R2 = R1 - \frac{h}{2(\cos\theta_1 - \cos\theta_2)} \quad (4)$$

したがって、以前に記述したエレクトロウェットティングの技法を使用して、垂直接触角度  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、および  $\theta_3$  を変更することによって、曲率半径 R 1、R 2、および R 3 を変

更または調節することができる。

【 0 0 1 5 】

当業者なら、2つのレンズ(レンズ411および410)Iがこの例示的な実施形態では示されているが、電極を異なるように構成することによって(たとえば、互いに離れている追加の電極を追加することによって)、領域404などの移行領域によって分離されている任意の数のレンズを創出することが可能であることを理解するであろう。再び図4Cの例示的な実施形態を参照すると、やはりエレクトロウェットティングの原理に依拠することによって、電極405を使用して、液滴403の領域403Cを形成し、したがって、半径R1を有する第3レンズ414を形成する。これ以後、レンズ410および411が形成される液滴403の表面の部分を液滴の第1表面と呼び、これ以後、レンズ414が形成される液滴403の表面の部分を液滴の第2表面と呼ぶ。

10

【 0 0 1 6 】

図5は、図4A、4B、および4Cのビームスプリッタを動作して使用して、入射ビーム409を例示的な複数のビーム503および505に分割することが可能である方式を示す。具体的には、レンズ410および411の曲率半径(図4CのR2)は、光ビーム409がこれらのレンズに入射したとき、レンズ410および411が、ビーム409の一部を、焦平面501内の異なる焦点415および416にそれぞれ集束させるように動作するように、上記で議論したエレクトロウェットティングの技法を使用して選択される。レンズ410および411の焦点距離は、下式によって決定される。

【数5】

20

$$f = \left[ \frac{R}{n_{lens} - n_{surround}} \right] \cdot n_{lens} \quad (5)$$

上式で、Rはレンズの半径、 $n_{lens}$ はレンズの屈折率、 $n_{surround}$ はレンズを囲む媒体の屈折率である。焦点415および416を有する2つの得られる分割ビームは、レンズ414に到達するまで、液体を経て伝播する。レンズ414は、分割出力ビーム502および504を、それぞれ方向503および505など、所望の方向に向けるように機能する。これ以後主要レンズ焦平面と呼ぶ焦平面501は、レンズ414の焦平面である。レンズ410および411の焦点415および416が焦平面510内にあるように設定することにより、出力ビーム502および504は、平行ビームとなる(すなわち、集束ビームまたは発散ビームではない)。したがって、平行出力ビームは、本明細書において上記で議論したエレクトロウェットティングの技法でレンズ410および411の曲率半径を調節することによって達成することが可能である。

30

【 0 0 1 7 】

図6A、6B、および6Cは、図4Cに関連して議論した曲率半径の調整など、液体液滴403の特性を調整することによって、レンズ410および411などのレンズの光学特性、したがって分割ビームの伝播特性をどのように変更することができるかを示す。具体的には、図6Aに示すように(図5のビームスプリッタと同様である)、レンズ410および411の曲率半径(図4CのR2)が、焦点415および416が主要レンズ焦平面510に配置されようなものであるとき、出力ビーム605および606は、平行ビームとなる。しかし、図6Bおよび6Cに示すように、レンズ410および411の曲率半径を変更することによって(たとえば、液滴403の垂直接触角度を変更することによって)、出力ビームの集束または発散を変化させることができる。別法として、図4Cのレンズ414の曲率半径を変更することによって、同じ集束または発散を得ることが可能である。これは、たとえば、ビームスプリッタと他の光学構成要素との位置合わせを達成する際に、あるいは、得られる分割ビームの強度を増大または低減させるために、望ましい

40

50

可能性がある。図 6 B の例示的な実施形態では、レンズ 4 1 0 および 4 1 1 の曲率半径は、図 6 A の曲率半径と比べて増大されており、したがって、レンズの焦点距離（式 5 によって決定される）も増大されている。その結果、焦点 4 1 5 および 4 1 6 は、主要レンズ焦平面 5 1 0 から離れて方向 6 0 7 に移動する。同じ結果（焦平面 5 0 1 に対する焦点 4 1 5 および 4 1 6 の変位）を、レンズ 4 1 4 の曲率半径を低減することによって達成することが可能である。その結果、出力ビーム 6 0 1 および 6 0 2 によって示すように、出力ビームは、行先に伝播する際に集束する。反対に、図 6 C に示したように、レンズ 4 1 0 および 4 1 1 の曲率半径が、図 6 A の曲率半径と比較して低減されているとき、レンズの焦点距離は低減される。したがって、この場合、焦点 4 1 5 および 4 1 6 は、主要レンズ焦平面 5 0 1 から離れて方向 6 0 8 に移動する。やはり、レンズ 4 1 4 の曲率を増大させることによって、同じ結果を達成することができる。したがって、出力ビーム 6 0 3 および 6 0 4 によって示すように、出力ビームは、送信先に伝播する際に発散する。

10

#### 【 0 0 1 8 】

上記の議論では、レンズ 4 1 0 および 4 1 1 の曲率半径  $R_2$  は、等しいと想定されていた。しかし、図 7 に示すように、2 つのレンズのそれぞれの曲率半径が異なるような形で、エレクトロウェットティングの技法を使用して、液滴 4 0 3 を調節することが可能である。具体的には、この例示的な実施形態では、電極 4 0 6 D（および図 4 B の電極 4 0 6 B）に印加される電圧より高い電圧が、電極 4 0 6 C（および図 4 B の電極 4 0 6 A）に印加される。その結果、レンズ 4 1 0 の曲率半径は、レンズ 4 1 1 の曲率半径より小さくなり、それにより、レンズ 4 1 0 の焦点 4 1 5 は、主要焦平面 5 1 0 から距離  $d$  にあり、レンズ 4 1 0 により近くなる。この例示的な例では、レンズ 4 1 1 の曲率半径は、焦点 4 1 6 が主要レンズ焦平面 5 0 1 に位置するというものである。その結果、出力ビーム 7 0 2 は、方向 7 0 3 に伝播する平行ビームとなり、一方、出力ビーム 7 0 1 は、方向 7 0 4 に伝播する発散ビームとなる。以前に議論したように、たとえば個々の分割ビームの単位面積あたりの電力を調節するために、分割ビームを互いに無関係に調節することができることが望ましい。

20

#### 【 0 0 1 9 】

最後に、図 8 A および 8 B は、出力分割ビームの伝播特性を調整する他の方法を示す。具体的には、単一電極（図 7 の 4 0 6 D など）とは対照的に、電極の列 8 0 4 を使用することによって、出力ビームの離脱角度および/または強度（電力）を変更することが可能である。図 8 A および 8 B を参照すると、この変更は、列 8 0 4 の電極の一部に電圧を印加するだけで達成される。したがって、液滴 4 0 3 のより小さい部分が、方向 8 0 9 に変位し、したがって、レンズ 8 0 5 を形成する。当業者なら、このより小さいレンズは、たとえばレンズ 8 1 0 と比較して、方向 8 0 1 からビームスプリッタに入る光ビームのより小さい部分を集束させることを理解するであろう。その結果、出力分割ビーム 8 0 7 の電力は、対応してより小さくなる。また、より小さいレンズ 8 0 5 は、移行領域 4 0 4 から離れるように変位するので、方向 8 0 2 に伝播する結果的な出力ビーム 8 0 7 は、離脱角度  $\theta_D$  を有する。図 8 B に示すように、レンズ 8 0 5 が反対方向に変位して、移行領域 4 0 4 により近くなるとき、方向 8 0 3 に伝播する出力ビーム 8 0 8 の離脱角度  $\theta_D$  は、図 8 A のレンズ位置と比較して、小さくなる。やはり、以前に議論したように、焦点 4 1 5 が主要レンズ焦平面 5 0 1 に位置するので、出力ビーム 8 0 7 および 8 0 8 は、平行ビームである。

30

40

#### 【 0 0 2 0 】

以上は、本発明の原理の単なる例示である。したがって、当業者なら、本明細書では明らかに記述または図示されていないが、本発明の原理を実現し、かつその精神および範囲内にある様々な構成を考案することができることを理解するであろう。さらに、本明細書において引用したすべての例および条件言語は、読者が本発明の原理を理解するのを補助する教育的目的であることのみを意図していることが明らかであり、そのような具体的に列挙された例および条件に限定されることなく解釈されるべきである。さらに、本発明の態様および実施形態ならびに具体的な例を列挙している本明細書のすべての記述は、そ

50



の機能上の均等物を包含することを意図する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 1 】

【図 1】ビームスプリッタの例示的な従来の使用を示す図である。

【図 2】エレクトロウェットティングの原理を使用してマイクロレンズの光学特性を変更する、従来の技術の液体マイクロレンズを示す図である。

【図 3】液滴がエレクトロウェットティングの原理を使用して可動であるチャンネルに封入された従来の技術の液体液滴を示す図である。

【図 4 A】液滴が、チャンネル内に封入され、かつエレクトロウェットティングの技法を使用して可動である、本発明の原理によるビームスプリッタの側面図である。

【図 4 B】図 4 A の面 A - A ' における図を示す、図 4 A のビームスプリッタの断面図である。

【図 4 C】図 4 B の面 B - B ' における図を示す、図 4 A および 4 B のビームスプリッタの断面図である。

【図 5】図 4 A、4 B、および 4 C のビームスプリッタが、入射光ビームを複数の分割光ビームに分割する方式を示す図である。

【図 6 A】分割光ビームの発散を変更するために、図 4 A、4 B、および 4 C のビームスプリッタを調節することができる方式を示す図である。

【図 6 B】分割光ビームの発散を変更するために、図 4 A、4 B、および 4 C のビームスプリッタを調節することができる方式を示す図である。

【図 6 C】分割光ビームの発散を変更するために、図 4 A、4 B、および 4 C のビームスプリッタを調節することができる方式を示す図である。

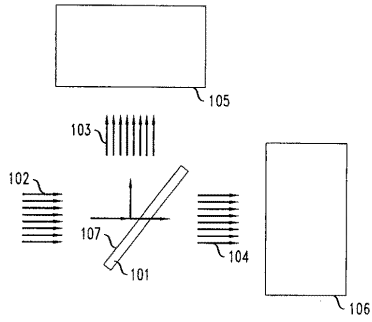
【図 7】他の分割ビームに関係なく、個々の分割光ビームの発散を変化させるために、図 4 A、4 B、および 4 C のビームスプリッタを調節することができる方式を示す図である。

【図 8】図 8 A、8 B は、分割光ビームの進行方向を変化させるために、電極の列を図 4 A、4 B、および 4 C のビームスプリッタにおいて使用することができる方式を示す図である。

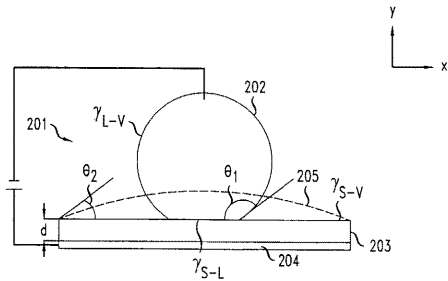
10

20

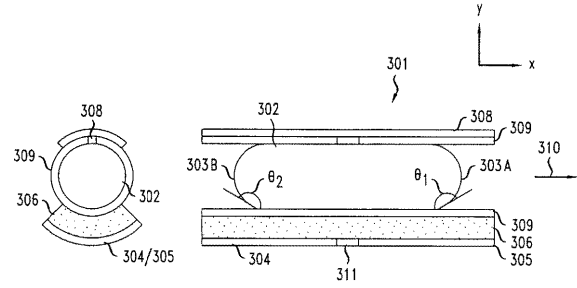
【図 1】



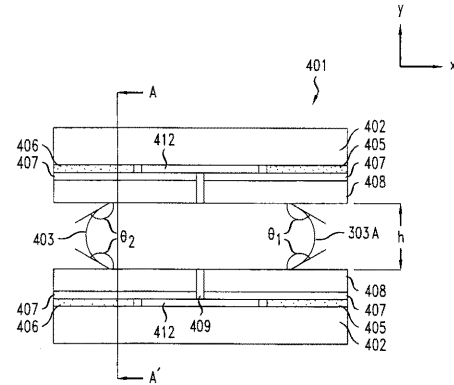
【図 2】



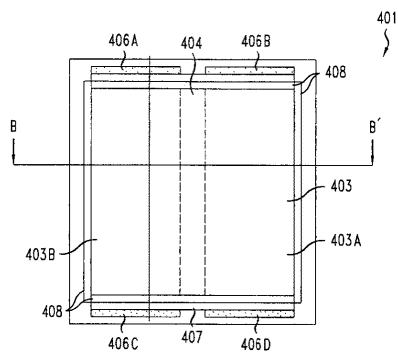
【図 3】



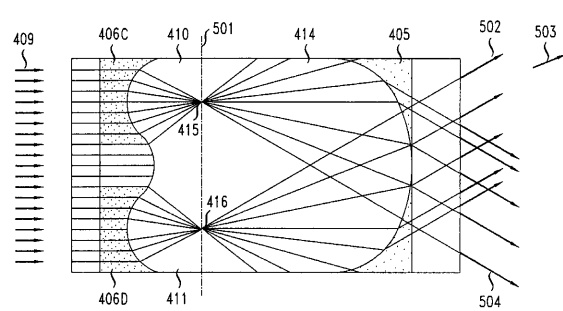
【図 4 A】



【図 4 B】

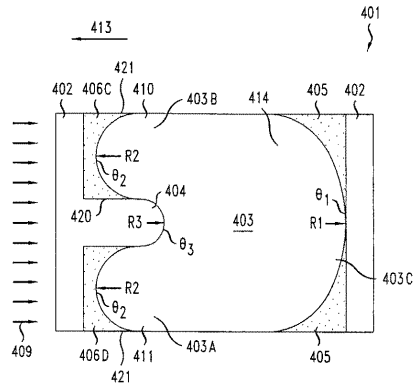


【図 5】

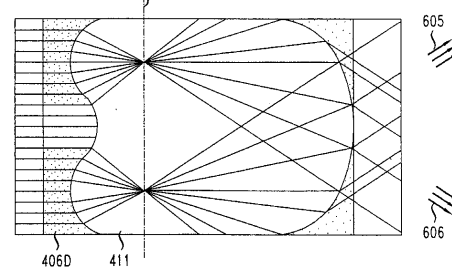


【図 6 A】

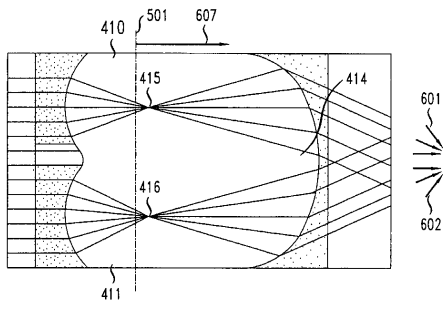
【図 4 C】



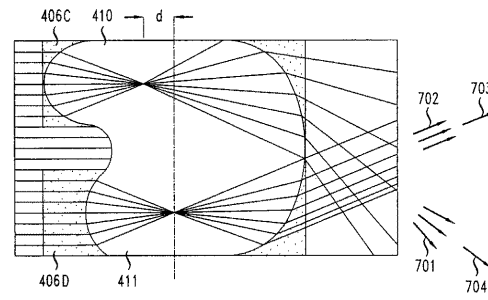
【図 6 B】



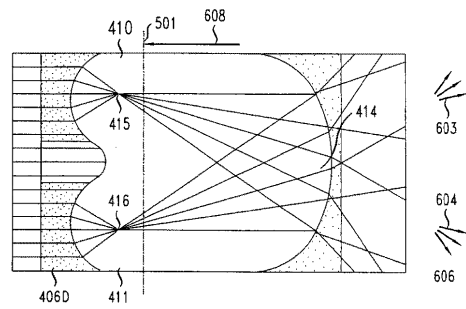
【図 6 B】



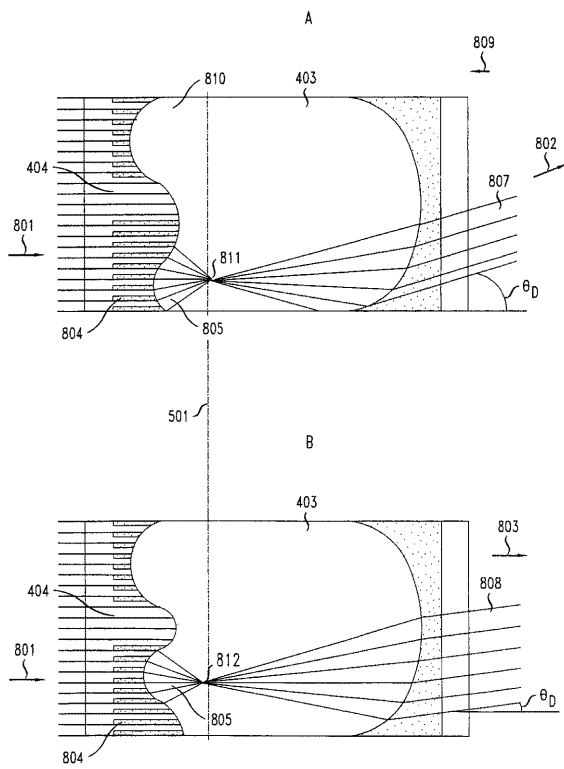
【図 7】



【図 6 C】



【図 8】



---

フロントページの続き

(74)代理人 100096943

弁理士 臼井 伸一

(74)代理人 100101498

弁理士 越智 隆夫

(74)代理人 100096688

弁理士 本宮 照久

(74)代理人 100104352

弁理士 朝日 伸光

(74)代理人 100128657

弁理士 三山 勝巳

(72)発明者 ジョン ピー・デイヴィス

アメリカ合衆国 ユタ, パウンティフル, イースト スカイライン ドライヴ 1378

(72)発明者 ティモフェイ ニキータ クロウベンキン

アメリカ合衆国 07059 ニュージャージー, ワレン, レッド ヒル ロード 22

審査官 林 祥恵

(56)参考文献 特開2000-356750(JP, A)

特開2003-215478(JP, A)

特開平10-039800(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 26/00 - 26/08

G02B 3/12