

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5484904号
(P5484904)

(45) 発行日 平成26年5月7日(2014.5.7)

(24) 登録日 平成26年2月28日(2014.2.28)

(51) Int. Cl.	F I
GO2B 27/00 (2006.01)	GO2B 27/00 U
GO2B 5/04 (2006.01)	GO2B 5/04 F
FO3G 6/06 (2006.01)	FO3G 6/06

請求項の数 9 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2009-521849 (P2009-521849)	(73) 特許権者	505352275
(86) (22) 出願日	平成19年7月26日 (2007.7.26)		スペースデザイン コーポレーション
(65) 公表番号	特表2009-545008 (P2009-545008A)		アメリカ合衆国 テキサス州 77251
(43) 公表日	平成21年12月17日 (2009.12.17)		-1045 ヒューストン ピーオーボックス 1045
(86) 国際出願番号	PCT/US2007/016884	(74) 代理人	100092093
(87) 国際公開番号	W02008/013930		弁理士 辻居 幸一
(87) 国際公開日	平成20年1月31日 (2008.1.31)	(74) 代理人	100082005
審査請求日	平成22年7月23日 (2010.7.23)		弁理士 熊倉 禎男
(31) 優先権主張番号	60/833,336	(74) 代理人	100067013
(32) 優先日	平成18年7月26日 (2006.7.26)		弁理士 大塚 文昭
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100086771
前置審査			弁理士 西島 孝喜
		(74) 代理人	100109070
			弁理士 須田 洋之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光波によって生じる放射圧を伝達する方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光拡大器 / 縮小器 (762) 及び1次プリズム (706) を通って、2次プリズム (707) の面 (707c) に隣接してそこからある一定の距離だけ離間した1次プリズム (706) の面 (706c) を含む圧縮境界光スイッチ (714) まで延びる初期光路を有し、かつ、前記2次プリズム (707) の面 (707c) から、1又は複数の近全反射面 (NTRS) を含む移動可能に装着された複数の反射ミラー又は複数の反射プリズムまで延びる反射光路を有する閉じ込めチャンバを備える光子エンジンの作動をモデル化する方法であって、

(1) 前記閉じ込めチャンバ内で複数の反射ミラー又は複数の反射プリズムに繰り返し衝突する光によって及ぼされる放射圧からの力の蓄積をモデル化する段階、

(2) 可変光学系を含む表面を含む前記圧縮境界光スイッチを含む光子エンジンの前記閉じ込めチャンバにおける光の閉じ込めをモデル化する段階、

(3) 前記光が前記光子エンジンを通る時に該光を増倍させかつ分割することから生じる光束デルタをモデル化する段階、

(4) 前記複数の反射ミラー又は複数の反射プリズムのうちの少なくとも一つを十分に高い速度で移動させて前記処理された光を赤方偏移させることによる、前記光子エンジンにおけるエネルギーの損失をモデル化する段階、

(5) 前記光子エンジンの関与媒体内のエネルギー吸収をモデル化する段階、及び

(6) 以上の(1)から(5)を考慮して前記光子エンジンによって発生された全仕事

10

20

を計算する段階、

を含むことを特徴とする方法。

【請求項 2】

(2)は、

可変光学系を有する前記表面が最初は高度に反射性の表面であると仮定する段階と、
前記表面が第1の有限量の時間の後に透過インタフェースに変わると仮定する段階と、
前記表面がその後の有限量の時間の後に前記高度に反射性の表面に再度変わると仮定する段階と、

を含む、

ことを特徴とする請求項1に記載の方法。

10

【請求項 3】

前記高度に反射性の表面が光の透過をもたらさないと仮定する段階と、

前記透過インタフェースが光の全透過をもたらすと仮定する段階と、

を更に含むことを特徴とする請求項2に記載の方法。

【請求項 4】

前記可変光学系を有する前記表面を前記高度に反射性の表面と前記透過インタフェースとの間で急速に切り換えることによる前記閉じ込めチャンバにおける光の閉じ込めの改善を仮定する段階を更に含むことを特徴とする請求項2から請求項3のいずれか1項に記載の方法。

【請求項 5】

20

可変光学系を有する前記表面が、前記高度に反射性の表面として開始され、すぐに前記透過インタフェースに変わり、かつすぐに該高度に反射性の表面に再度変わると仮定する段階を更に含むことを特徴とする請求項4に記載の方法。

【請求項 6】

(3)は、以下の計算：

$$\Delta F = \frac{m(t_1 - t_0)}{n(t_3 - t_2)}$$

を使用して光束デルタ (ΔF) をモデル化する段階を含み、ここで、

n は、初期サンプル光線の数であり、

m は、前記閉じ込めチャンバに閉じ込められた光線の数であり、

異なるサンプル時間が、

t_0 から t_1 の初期サンプル範囲、及び

t_2 から t_3 の可変光学系切り換え範囲、

である、

ことを特徴とする請求項1から請求項5のいずれか1項に記載の方法。

30

【請求項 7】

q_1 が、 t_0 から t_1 の前記初期サンプル範囲における線形に分布した光束である場合に、次式：

$$q_2 = \Delta F q_1$$

40

を使用して、閉じ込められた光束 (q_2) を判断する段階を更に含むことを特徴とする請求項6に記載の方法。

【請求項 8】

(5)は、

前記光が通過することになる関与媒体を複数のより小さい制御容積に分割する段階と、

前記より小さい制御容積に対する予想エネルギー吸収を定量化する段階と、

前記より小さい制御容積の前記予想エネルギー吸収を追加することにより、前記関与媒体の容積によるエネルギー吸収をモデル化する段階と、

を含む、

50

ことを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 9】

dQ_{x+} が、次に隣接するより小さい制御容積に入るエネルギーであり、
 l が、前記より小さい制御容積まで前記関与媒体を通して進む長さであり、
 t_n が、前記より小さい制御容積の厚みであり、
 α が、真の吸収計数である、
 場合に、次式：

$$dQ_{n,abs} = dQ_{x+} (e^{-\alpha(l+t_n)} - e^{-\alpha l})$$

を使用して、より小さい制御容積における内部加熱 ($dQ_{n,abs}$) を計算する段階と、

10

次式：

$$dQ_{x-} = dQ_{x+} + dQ_{n,abs}$$

を使用して、前記より小さい制御容積への予想エネルギー透過 (dQ_{x-}) をモデル化する段階と、

を更に含むことを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本出願は、2006年7月26日出願の米国特許仮出願出願番号第60/833、336号（現在係属中）の出願日付の恩典を請求する。上述の出願は、あらゆる目的で引用によって本明細書に組み込まれており、本発明の開示の一部を成している。

20

【0002】

本発明は、一般的に電磁光波に存在するエネルギーを利用する方法及び装置に関する。特に、本発明は、光波における放射圧の利用に関する。本発明はまた、光波を伝達又はそうでなければ操作し、及び/又は光波によって生じる放射圧を伝達する方法及び装置に関する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

30

【特許文献 1】米国特許仮出願出願番号第60/833、336号

【特許文献 2】米国特許出願出願番号第10/836、774号

【特許文献 3】国際特許出願番号 PCT/US2004/008495

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0004】

本発明の一態様では、光波によって生じる放射圧を伝達する方法を提供する。本方法は、最初の透過表面と、各々が最初の透過表面に対してある一定の角度で位置決めされた 1 対の反射面とを含む近全反射面を有する反射プリズムを位置決めする段階を伴う。次に、光波は、光波が透過表面に対してほぼ垂直であり、かつそれを通過するように反射プリズムの方向に誘導される。光波は、更に、第 1 及び次に第 2 の反射面から反射し、透過表面を通じてプリズムを出射する。このようにして、反射する光波によって伝達される放射圧が、プリズムに対して作用する。

40

【0005】

別の態様では、光波によって生じる放射圧を伝達するための装置を提供する。装置は、光波の伝播を閉じ込めるように構成された閉じ込めチャンバ、並びに開放モード及び遮断モードで選択的に作動可能な光学スイッチを含む。開放モードでは、光学スイッチは、光波を閉じ込めチャンバに入射させ、遮断モードでは、光学スイッチは、閉じ込めチャンバからの光波の漏出を阻止する。装置は、更に、閉じ込めチャンバの一端に位置決めされた反射ミラーを含む。反射ミラーは、近全反射面を有する。光学スイッチ及び反射ミラーは

50

、光学スイッチが反射ミラーの方向に閉じ込めチャンバ内に光波を導入するように作動可能であるように、かつ光波が近全反射面に対して反射し、放射圧をして反射ミラーに作用させるように位置決めされる。

【0006】

別の態様では、光波によって生じる放射圧を伝達するための装置を提供する。装置は、近全反射面（NTRS）を有する反射プリズムを含み、反射プリズムは、透過表面及び1対の反射面を有する石英プリズムである。装置は、光波が透過表面を通過して反射面から反射し、それによって光波によって伝達された放射圧をしてNTRSに作用させるように、反射プリズムの方向に、かつ透過表面に対してほぼ垂直に光波を誘導するように位置決めされた光波源も含む。

10

【0007】

本発明の別の態様では、光波を伝達及び/又はそうでなければ操作する方法及び装置を提供する。本発明の別の態様では、インタフェースによって及び/又はインタフェースを通じて光波を伝達する方法及び装置を提供する。より具体的には、本発明は、開放と遮断（又は、透過と反射の状態又はモード）の間でインタフェースを作動させる、すなわち、切り換える方法及び装置を提供する。好ましくは、切り換え作動は、インタフェースの全屈折率を操作する段階を伴う。好ましいモードでは、本方法は、圧縮によって境界インタフェースを排除する段階を伴う。

【0008】

本発明のこれら及び他の特徴及び利点は、以下の好ましい実施形態の詳細説明及び図面から当業者には明らかであろう。

20

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1A】光波に付随する放射圧を利用するための光子エンジンのような装置を概略的に例示する図である。

【図1B】光波に付随する放射圧を利用するための光子エンジンのような装置を概略的に例示する図である。

【図2】図1の装置と共に使用するのに適するピストンアセンブリの概略図である。

【図3】代替の光子エンジンの概略図である。

【図4a】光子エンジンと共に用いることができるプリズムの図である。

30

【図4b】光子エンジンと共に用いることができるプリズムの図である。

【図5】更に別の装置の概略図である。

【図6a】代替装置及びこの装置を作動させる方法を示す略平面図である。

【図6b】図6aの装置の側立面図である。

【図7A】エンジンの様々な構成要素及び/又は段の作動及び構造の概略図である。

【図7B】エンジンの様々な構成要素及び/又は段の作動及び構造の概略図である。

【図7C】エンジンの様々な構成要素及び/又は段の作動及び構造の概略図である。

【図7D】エンジンの様々な構成要素及び/又は段の作動及び構造の概略図である。

【図7E】エンジンの様々な構成要素及び/又は段の作動及び構造の概略図である。

【図7F】エンジンの様々な構成要素及び/又は段の作動及び構造の概略図である。

40

【図7G】エンジンの様々な構成要素及び/又は段の作動及び構造の概略図である。

【図7H】エンジンの様々な構成要素及び/又は段の作動及び構造の概略図である。

【図8】エンジン及びエンジン作動の主な段/構成要素の概略図である。

【図9】光増倍器の概略図である。

【図10】光増倍器によって発生する増幅ビームの図である。

【図11】光スイッチの様々なモード又は段の図である。

【図12】光スイッチの性能を示すグラフである。

【図13A】代替実施形態による可動プリズムの平面図である。

【図13B】図13Aを切った断面図である。

【図14A】プリズムの表面と光ビームの間の相互作用を示す可動プリズムの図である。

50

【図 1 4 B】代表的なエネルギーパケットが進む時に通る関与媒質の図である。

【図 1 5】例示的な時間的光線追跡の連続図である。

【図 1 6】例示的な時間的光線追跡のフラット・ランド図である。

【図 1 7】関与媒質領域の例示的な制御容積表現の図である。

【図 1 8 A】例示的な光子エンジン及びそれに対する光線経路の図である。

【図 1 9】代替の例示的光子エンジン及びそれに対する光線経路の図である。

【図 2 0 A】図 1 9 のエンジンに対する代替の光スイッチの概略図である。

【図 2 0 B】図 1 9 のエンジンに対する代替の光スイッチの概略図である。

【図 2 0 C】図 1 9 のエンジンに対する代替の光スイッチの概略図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0010】

本出願は、米国特許出願出願番号第 10 / 8 3 6、7 7 4 号及び国際特許出願番号 P C T / U S 2 0 0 4 / 0 0 8 4 9 5 に関連し、これらの開示内容は、あらゆる目的で引用によって本明細書に組み込まれている。これらの開示内容の実質的な部分は、本明細書の詳細説明に提供しており、本発明の様々な態様に対する背景及び前後関係としての役割を達成する。

【0011】

本発明以前の装置及び / 又は方法を示すために図 1 ~ 7 を提供する。本発明による装置及び方法を示すために図 8 ~ 2 0 を紹介する。本発明の様々な態様をこれらの付加的な図内に例示する。

20

【0012】

一般的に、本発明は、光波固有の又は光波から取得可能な放射圧の利用に関する。放射圧源は、光源によって供給されるか、又はより具体的には、光源から本発明の装置の中又は内に誘導される伝播する電磁波によって供給される。本発明はまた、一般的に、そのような光波を伝達又はそうでなければ操作する方法及び装置に関する。本発明の光子エンジンの作動は、本発明のこの態様の採用を伴っている。一般的に、電磁波は、切り換えモードで機能する少なくとも 1 つの作動可能プリズムを通じて閉じ込めチャンバ内に誘導される。好ましい実施形態では、1 次プリズム及び 2 次プリズムが用いられ、相互に作動して、第 1 のプリズムに入射する光を反射すること又は光を閉じ込めチャンバ内へと通過させることのいずれかを行う光スイッチ注入弁が形成される。

30

【0013】

光スイッチの作動（図 1 ~ 7 に関して下記に解説する）は、2 つの個々の媒体（すなわち、プリズム）をこれらの媒体が 1 つの媒体として作用するようにインタフェースに沿って圧縮することができるという光学現象に基づいている。最初に、光は、1 次プリズムに所定の角度で導入される。光スイッチが遮断又は非作動モードにある時には、光は、1 次プリズムの背面又は壁で反射する。スイッチを開放し、作動モードに入れるために、1 次及び 2 次プリズム、すなわち、第 1 及び第 2 の個々媒体は、外部駆動デバイスの作動によって互いに対して圧縮される（又はより具体的には、2 次プリズムが、1 次プリズムに対して又はそれに向かって圧縮する）。この圧縮を行う上で、2 つのプリズムの境界、すなわち、共通面は除去され、2 つの媒体は 1 つの媒体として機能する。一般的に、この境界は、プリズム材料とは異なる屈折率を有する空隙又は真空によって形成するか、又は設けることができる（遮断モードにおいて）。従って、第 1 のプリズム内に誘導された光は、第 2 のプリズムとの境界を通過し、第 2 のプリズムを通過して閉じ込めチャンバに入射する。光が、閉じ込めチャンバ内に移動可能に装着された反射ミラーに対して垂直な角度で閉じ込めチャンバに入射し、その後閉じ込めチャンバ内で伝播するように、光を 1 次プリズムに所定の角度で誘導することは更に有利である。

40

【0014】

光が閉じ込めチャンバ内に閉じ込められると、光スイッチは遮断される。すなわち、閉じ込めチャンバ内の光波又は光は、柱列構造を維持し、閉じ込めチャンバ内で連続して伝播する。より厳密には、閉じ込められた光は、第 1 の反射ミラーにおいて垂直な角度で反

50

射し、次に、2次プリズムの面に対してほぼ45°の角度又は他の所定の角度で反射し、更に第2のミラーにおいて同じく垂直な角度で反射する。これらの3つの反射は、既知の所定の時間フレーム内で繰り返される完全なサイクルを構成する。また、時間フレームは、好ましくは、開放モード及び遮断モード間の光スイッチの作動頻度の1/2に対応する。各サイクル中に、放射圧が2つのミラー表面へ又は2つのミラー表面によって伝送され、それによって光波のエネルギーが機械の仕事、すなわち、ミラーの移動に変換又は転換されるように、光は、3つの反射面の間で高速度で循環する。好ましい実施形態では、ミラーは、エンジンとして作動するようにピストンに作動的に接続され、シリンダアセンブリ（シリンダは、好ましくは、光を吸収しない）内に収容される。

【0015】

10

本発明の説明を容易にするために、ある一定の概念の簡単な説明を最初に提供する。

【0016】

本発明の方法の対象物である光波は、電磁波である。電磁波は、線形運動量を輸送し、これは、ある一定の表面上に、その表面を電磁波上の光で照射することによって機械的圧力を及ぼすことを可能にする。この圧力は、個々の光の光子に対しては小さいことを理解すべきである。しかし、十分な数の光子が与えられると、有意な機械的圧力を得ることができる。

【0017】

マクスウェル（J・C・）は、完全に吸収される平行な光ビームに対して結果として生じる運動量 p は、エネルギー U を光の速度 c で割ったものであることを示している。

20

【0018】

（式1）

$$p = \frac{U}{c}$$

【0019】

光ビームが完全に反射された場合には、反射への垂直入射において結果として生じる運動量は、全吸収値の2倍である。

【0020】

（式2）

$$p = \frac{2U}{c}$$

30

【0021】

これらの例は、運動量移行におけるスペクトルの2つの端部を表している。一端では、完全に吸収されたビームは、完全非弾性の場合を明示し、この場合は粒子が共に粘着し、大部分の運動エネルギーは、一般的に熱エネルギー又は変形のような別の形態のエネルギーへと損失する。スペクトルの他端では、完全に反射されたビームは、運動エネルギーが保存される完全な弾性衝突を明示する。

【0022】

40

図2を参照して、以下の数節は、本発明による装置及び方法、すなわち、エンジンによって達成されるパワーの計算を提供する。この計算は、力（ F ）、時間（ T ）、仕事（ W ）、及びパワー（ P ）という4つの区域に分割することができる。

【0023】

マクスウェル[2]は、入射に対して垂直の角度で全反射する平行光ビームに対して、結果として生じる運動量 p は、エネルギー U を2倍し、光の速度で割ったものであることを示している。

【0024】

（式3）

$$p = \frac{2U}{c}$$

【 0 0 2 5 】

この圧力は、ビームをその初期長さ l_i から圧縮長さ l_c へと圧縮することによって増倍することができる。増倍されたビームは、初期放射圧 p_0 を有して時間 0 (ゼロ) において光子エンジン閉じ込めチャンバに入射し、この放射圧 p_0 は、次式によって求められる。

【 0 0 2 6 】

(式 4)

$$p_0 = \frac{l_i p}{l_c}$$

10

【 0 0 2 7 】

放射圧の変化は、反射率 (関与媒質による吸収を含む)、可動反射面によって引き起こされる赤方偏移、及び光スイッチによる透過率によって説明することができる。

【 0 0 2 8 】

(式 5)

$$p_1 = \rho_m \tau_s p_0 \frac{c - v_1}{c}$$

20

【 0 0 2 9 】

上述の式を任意の時間 n へと一般化すると、跳ね返り n に対する放射圧 p_n は、次式によって求められる。

【 0 0 3 0 】

(式 6)

$$p_n = \rho_m^n \tau_s^n p_0 \left(\left(\frac{c - v_{n-1}}{c} \right)! \right)$$

30

【 0 0 3 1 】

ビームがミラー上に入射する時間は、赤方偏移の関数である。各赤方偏移の後にビーム長さは増加し、それによって入射時間が増大する。

【 0 0 3 2 】

(式 7)

$$l_1 = l_0 + v_0 t_0 \Rightarrow t_1 = t_0 \frac{c}{c - v_0}$$

【 0 0 3 3 】

上式を任意の時間 n へと一般化すると、入射時間は、次式で示される。

【 0 0 3 4 】

(式 8)

$$t_n = t_0 \left(\left(\frac{c}{c - v_{n-1}} \right)! \right)$$

40

【 0 0 3 5 】

任意の時間 n におけるピストンヘッドの速度増加 v_n は、次式によって計算される。

【 0 0 3 6 】

(式 9)

$$\Delta v_n = \frac{\rho_n \tau_n p_{n-1} A_m}{m} t_{n-1}$$

【 0 0 3 7 】

時間 z における速度 v_z は、時間 0 から z にわたって v の総和を取ることによって計算される。

【 0 0 3 8 】

(式 10)

$$v_z = \sum_{n=1}^z \Delta v_n + v_0 = \sum_{n=1}^z \frac{\rho_n \tau_n p_{n-1} A_m}{m} t_{n-1} + v_0 \quad 10$$

【 0 0 3 9 】

(式 11)

$$v_z = \frac{\rho_m \tau_s A_m}{m} \sum_{n=1}^z p_{n-1} t_{n-1} + v_0$$

【 0 0 4 0 】

(式 12)

$$v_z = \frac{\rho_m \tau_s A_m}{m} \sum_{n=1}^z \rho_m^n \tau_s^n p_0 \left(\left(\frac{c - v_{n-1}}{c} \right)! \right) t_0 \left(\left(\frac{c}{c - v_{n-1}} \right)! \right) + v_0 \quad 20$$

【 0 0 4 1 】

(式 13)

$$v_z = \frac{\rho_m \tau_s A_m}{m} p_0 t_0 \sum_{n=1}^z \rho_m^n \tau_s^n + v_0$$

【 0 0 4 2 】

光子エンジンによって発生する仕事 W は、次式によって計算される。

【 0 0 4 3 】

(式 14)

$$W = \frac{1}{2} m (v_z^2 - v_0^2) \quad 30$$

【 0 0 4 4 】

(式 15)

$$W = \frac{1}{2} m \left(\left(\frac{\rho_m A_m}{m} p_0 t_0 \sum_{n=1}^z \rho_m^n \tau_s^n + v_0 \right)^2 - v_0^2 \right)$$

【 0 0 4 5 】

総和は、べき級数解を用いて書き直すことができる。その結果は、短い形式の支配的仕事方程式である。 40

【 0 0 4 6 】

(式 16)

$$W = \frac{1}{2} m \left(\left(\frac{p_0 A_m t_0}{m} \left(\frac{1 - (\rho_m \tau_s)^z}{1 - \rho_m \tau_s} \right) + v_0 \right)^2 - v_0^2 \right)$$

【 0 0 4 7 】

ここで図 1 ~ 7 に移ると、これらの図は、本発明による装置のいくつかの実施形態を示している。具体的には、図 1、3、5、及び 7 の各々は、本発明による例示的光子エンジ 50

ン、及びこの光子エンジンと共に用いるための同じく本発明による様々なデバイスを示している。また、これらの図は、本発明による光波を伝達するか又はそうでなければ操作するためのデバイスも示している。本発明のデバイスのうちの1つは、圧縮境界光スイッチである。これらのデバイスのうちの別のものは、中に導入される光波の強度を高めるために、この光波を増倍又は分割することができる（すなわち、閉じ込めチャンバ内への導入の前に）1次プリズムである。

【0048】

図1は、各々が本発明により光又は光波を操作又はそうでなければ伝達し、及び/又は放射圧を利用して機械的仕事を発生させるシステム及び/又は装置100の概略図である。特に、装置100は、装置100内に導入されるか、又は装置100によって操作される光波によって生じる放射線を利用する光子エンジン100である。好ましくは、本発明の光子エンジン100は、光波を受光するための1次プリズム106、1次プリズム106と作動的及び集動的に関連付けられた2次プリズム107、及び閉じ込めチャンバ102（図1の破線で示している）を含む。1次プリズム106及び2次プリズム108は、面と面で（又は、壁と壁で）当接し、圧縮境界インタフェース114を形成するように置かれる。上記に簡潔に解説したように、インタフェース114は、1つのモードにおいて、実際には2つの面の間に閉鎖可能又は圧縮可能な空気又は真空の間隙を含むことができ、これに対しては、図1a及び1bに関連してより詳しく解説する。

10

【0049】

例示的光子エンジン100は、ピストンハウジング又はシリンダ108、ピストンアセンブリ110、及び反射ミラー112の実質的に同一の対を更に含む。閉じ込めチャンバ102は、2次プリズム107の前面、シリンダ108、及びミラー112によって形成される。高反射ミラー112は、可動ピストン110の平坦な表面上に装着される。ミラー112及びピストン112は、シリンダ108内を一緒に進む。下記において更に説明することになるが、ピストンアセンブリ110は、クランクシャフトアセンブリなどと機械的に接続することができる。

20

【0050】

図1から明らかなように、反射ミラー112及びピストンアセンブリ110の移動は、閉じ込めチャンバ102の容積が、2次プリズムの少なくともいずれかの側で増大又は減少することを可能にする。好ましくは、ミラー112は、同調して移動することになる（より大きなピストン/クランクシャフトアセンブリの一部として）。更に、1次プリズム106と2次プリズム107の間の圧縮境界114は、同じく本発明による光スイッチによって制御される。上述のように、光スイッチは、空隙の閉鎖を駆動して（圧縮により）光が閉じ込めチャンバ102内へと通過することを可能にする圧電駆動機構116を用いて作動させることができる。従って、駆動機構116の作動は、制御された方式で光スイッチ114の開放及び遮断モードを決める。

30

【0051】

好ましくは、光子エンジン100は、1次プリズム106及び2次プリズム107において石英材料を利用する。より具体的には、光子エンジン100は、圧電効果及び内部全反射（TIR）という石英の性質の2つの基本的な原理に基づいて作動する圧縮境界光スイッチを提供する。圧電効果は、石英が電界内に配置された時に発生する。具体的には、石英は、電界の存在の中で膨張する。石英の結晶構造は、3つの主軸X、Y、Zを有する。結晶構造のX軸に沿って方向付けられた電界を配置することにより、石英は、電界の方向に基づいて膨張又は収縮することになる。電界がX軸に沿って圧縮を生じる場合には、石英は、Y軸に沿って又はY軸において膨張することになる。膨張中にY軸に沿って石英を拘束することにより、石英内でY軸に沿って応力が発生する。X軸に沿って方向付けられた電界によるこの応力の発生、及びその結果として生じるY軸における歪みは、2つの石英（すなわち、1次プリズム106及び2次プリズム107）を圧縮するのに利用される。

40

【0052】

50

図1 aは、遮断又は非作動モードにある間の圧縮境界インタフェース114の詳細図を示している。このモードでは、1次プリズム106の背面106cは、2次プリズム107の前面107cから分離している。スネルの法則及び入射角が与えられると、両方のプリズムの屈折率は、開放モードにおける光スイッチの作動を容易にするのに十分に類似である(例えば、好ましくは、互いに約5%から約20%の範囲内)。また、両方のプリズムにおける屈折率は、遮断モードにおける光スイッチの作動を容易にするのに十分に空隙(又は空間)と異なっている。その結果、空隙170が、2つの面106c、107cの間に設けられる。ここの説明では、空隙170及び面106c、107cを指す上で圧縮境界又はインタフェース114を用いる。また図1 Aは、石英又は1次プリズム106の座標又は軸X、Yを示している。一般的に、空隙170は、遮断又は非作動モードで約2000ナノメートルから50ナノメートルの深さ、より好ましくは、約1000ナノメートルから100ナノメートルの間の深さを有することになる。

10

【0053】

図1 bは、圧電駆動機構116の作動を受けた圧縮境界114の圧縮を示している。その結果、電界の印加又は励起を受けて、空隙170は、約100ナノメートル~0ナノメートルへと圧縮される。上述のように、電界の印加は、X軸線方向の収縮を生じ、この収縮により、Y方向に応力が発生する(石英材料又は面106cがY方向に膨張することが阻止される結果として)。好ましくは、駆動機構116の適用は、1次プリズム106及び2次プリズム107の両方、又はより具体的には面106c及び107の両方に対して行われることになる。好ましくは、空隙170は、約100ナノメートル~約0ナノメートル、より好ましくは、約50ナノメートル~約0ナノメートルの深さへと圧縮されることになる。

20

【0054】

更に、図1 a及び1 bを本発明による1次プリズム106及び/又は圧縮境界170を通じての光波AAの伝達を示すために用いる。図1 aでは、光波AAは、約45°の入射角で背面106cに衝突する。空隙170によって同様に与えられる屈折率に起因して、光波AAは、TIRによって入射角に対してほぼ90°の方向に反射する。図1 bでは、空隙170が実質的に排除され、2次プリズム107の石英材料が1次プリズム106のものと同質的に同様であるから、2つの面106c、107cは、ただ1つの媒体として機能する。すなわち、異なる屈折率の効果(空隙170によって与えられる)が排除される。従って、光波AAは、遮られることなく面106c及び2次プリズム107の面107cを通過する。

30

【0055】

スネルの法則は、放射線又は電磁波が一方の媒体から他方の媒体へと通過する時の効果を説明する。その結果として生じる角度は、両方の媒体の屈折率における入射角の関数である。スネルの法則の結果が虚数であった場合には、電磁波はTIRである。本発明による光子エンジン100は、この現象を利用して、光波を1次プリズム内に閉じ込める(更に別の実施形態に関連して説明するように)。

【0056】

圧電圧縮によるTIRとTIR境界の除去とのカップリングにより、本発明による光スイッチを提供する。停止モードでは電圧が印加されず、光はTIRであり、閉じ込めチャンバ112の外側に留まる。電圧が印加された時、光スイッチは作動モードであると呼び、TIR境界は除去される。それにより、光波は、圧縮境界又はインタフェースCCを通過して閉じ込めチャンバ112内に入ることが可能になる。従って、本発明の方法の重要な段階は、光を捕捉又は閉じ込めるように、光スイッチをオンに作動して、次に迅速にオフにすることである。

40

【0057】

好ましくは、駆動機構116は、信号を圧電石英又はプリズム106、107に送信する高電圧、低電流(ほぼ静電的)の電源を含む。機械的接続は、例えば、1次及び2次プリズム106、107の適切な面に付着された銅板によって設けられる。駆動機構は、非

50

常に迅速な（ギガヘルツ）パルスでの切り換えを達成するために電界効果トランジスタを更に含む。最も好ましくは、パルスは、ナノ秒で開き、次にミリ秒で停止する。

【0058】

図2は、ピストン210及びミラー212を含む可動アセンブリの一実施形態の概略図である。このアセンブリは、質量 m （及び特定の面積）及び反射率によって特徴付けられる。作動時には、ミラー表面は、圧縮境界214を通じて2次プリズム207内に透過する放射線による距離 d にわたる光束 p_1 によって照射される。放射圧 p は、ミラー212及びピストンアセンブリ210に対して作用する機械的力を集合的に発生させる。

【0059】

ここで図3に移ると、本発明による代替実施形態の光子エンジン300が例示されている。同様の要素を指す上で同様の参照番号を用いている図示の変形では、1次プリズム306は、2次プリズム307に隣接して位置する。特に、1次プリズム306の背面306cは、2次プリズム307の前面307cから分離され、1次プリズム306と閉じ込めチャンバ302の間に圧縮境界インタフェース314が形成される。この実施形態では、境界インタフェース314は、八角形断面のスイッチ要素を形成する。設計及び作動の全ての他の態様では、光子エンジン300は、図1に示しているものと実質的に同様である。図1の光子エンジン100と同様に、光子エンジン300は、1対のシリンダ308、その中に移動可能に収容されたピストン310、及びピストン310の上に装着された高反射ミラー312を含む。

【0060】

図4a及び4bは、本発明における1次プリズムとしての使用に適する様々な幾何学構成のプリズム406を示している。好ましくは、プリズム406は、1.45よりも大きい屈折率を有する結晶石英材料で作られる。実際には、光波がそこを通過するか、又はそこから反射することになる高度に研磨された表面を形成することが重要である。図4のプリズム406では、面A、B、及びCが、この目的で研磨される。

【0061】

図5は、本発明により放射エネルギーを異なる形態のエネルギー又は仕事へと変換するためのシステム501の概略図を示している。システム501は、上述のように光子エンジン500を利用する。更に、システム501は、「3M（登録商標）」の放射光膜によって覆うか又は被覆することができる内側放物表面を有する1次集光ミラー541を利用する。システム501は、少なくとも、1次集光装置541の上方に装着され、1次集光装置541の内側放物表面から反射する光波を反射するように位置決めされた2次集光装置ミラー540を更に含むか又は利用することができる。2次集光装置540は、より小さい表面によって特徴付けられるが、有利な態様においては、外面上を「3M（登録商標）」の放射光膜で覆うか又は被覆することができる。このシステムには、2次集光装置ミラー540及び1次集光装置ミラー541からの集中光を光子エンジン500に伝達するための光誘導器545を更に装備することができる。好ましくは、システム501は、スタンド及び基部アセンブリ544、並びにシステム501を放射線源に向かって方向付けするための指向コントローラ543を含むことになる。

【0062】

図6a及び6bは、本発明の光子エンジンの変形、特に多シリンダ光子エンジン600を更に例示する概略図である。またこれらの2つの図は、本発明のエンジン600の作動も例示している。図6aは、同調して往復運動する2つのシリンダ608、608'を含むエンジン600の正面図を提供している。図6bの側立面図には、光子エンジン600の一方の側の4つのシリンダ608を示している。シリンダ608は、クランクシャフトアセンブリ611に作動的に接続したピストンアセンブリ610の進行を可能にする。

【0063】

図6aに移ると、光子エンジン600は、八角形状の2次プリズム607に背面及び前面606c、607cそれぞれによって少なくとも部分的に形成された圧縮境界インタフェース614を通じて隣接して位置決めされた同様の形状の1次プリズム606を含む。

2次プリズム607は、シリンダ608、608'、及び従ってシリンダ608、608'の各々内のミラー612及びピストン610と連通する。図6bの側立面図には、4つの1次プリズム606及び4つの2次プリズム607を示しており、各対は、1対又は1列のシリンダ608及びピストン610、並びにシリンダ608内に位置するクランクアセンブリ611と作動的に関連付けられる。

【0064】

図6aに移ると、圧縮境界インタフェース614は、プリズム圧電駆動機構616によって作動的に駆動されて、上述のように圧縮境界光スイッチ(CBLS)の開放又は遮断を作動する。図6aでは、光スイッチが遮断位置にあることを示すために、614aによって表しているインタフェースを用いており(破線で)、一方で光スイッチが遮断位置にあることを表すために、参照番号614bを用いている。図6aは、光子エンジン600の外部に設けられた光波源617を更に例示している。光波617は、最初に集光装置ミラー618によって捕捉又は集中され、1次プリズム606内へと瞬間放射線として再方向付けされる(矢印AAを参照されたい)。光波AAは、背面606cに約45°の入射角で衝突する。光スイッチが遮断位置(破線及び参照番号614aによって表している)にある場合には、光波AAは、インタフェース614aで反射し(破線を参照されたい)、プリズム606の別の面を通じて再方向付けされる(そして1次プリズム606を射出する)。

【0065】

インタフェース614が開放位置(実線及び614bによって表している)にある時には、光波AAは、インタフェース614bを通じて進み、矢印AA'によって示しているように、閉じ込めチャンバ602に入射し、背面606に衝突する。更に、プリズム606及び608は、光波AA'が閉じ込めチャンバ608内に入射し、シリンダ608内に真っ直ぐに誘導されるように構成される。すなわち、光波AA'は、好ましくは、ほぼ垂直な角度でミラー表面612に接触し、その結果、高度の反射率が得られる。例示しているように、反射光波は、開放インタフェース614bに向ってほぼ真正面に反射して戻るが、この時にインタフェースは遮断位置にあり、反射光波は、約45°の角度でインタフェースに衝突する。従って、反射光波AA'は、遮断インタフェース614bで閉じ込めチャンバ602の第2のシリンダ608の方向に反射する。上述のように、反射光波AA'は、同様にほぼ垂直の向きで第2のミラー612に衝突し、垂直の向きで反射して戻る(高度の反射率で)。従って、光波AA'は、光波AA'が第2のミラー612に達するまでに進んだ同じ経路に沿って反射する。1つの点では、所定の光路は、構成要素の中でも特にプリズム606、607、シリンダ608、608'の向きによって定められる。そのような所定の光路を図6の双方向矢印AA'で表している。

【0066】

同じく前に説明したように、ミラー612の表面上の光波AA'の接触は、この表面上に放射圧を発生させる。この放射圧は、図6で「X」で表している距離だけミラー612及びピストン610アセンブリを変位させるように作用する(それによって仕事が発生する)。更に、この変位は、クランクシャフトアセンブリ611を回転させ、それによって機械的エネルギーが発生する。別のモードでは、光スイッチの開放及び遮断により、光が、2次プリズム607の内側の放射線の振動数に関連する時間スケールで2次プリズム607内に入射することが可能になるように、駆動機構614は、振動数変調モードで作動させることができる。このようにして、ピストン612アセンブリ上の放射圧が強化される。

【0067】

図7の概略図は、本発明による更に別の代替実施形態の光子エンジンを示しており、同様の要素を表す上で同様の参照番号を用いている。特に、図7aは、1次プリズム706内に組み込まれた光ビーム拡大器/縮小器762を利用する1次プリズム706及び2次プリズム707の構成を示している。具体的には、光ビーム拡大器/縮小器770は、光ビームを複数回分割し、それをそれ自体の上に再方向付けし、それによって最終的に閉じ

10

20

30

40

50

込めチャンバ702a内に導入される光波の強度を高めるように機能する。

【0068】

図7の実施形態では、1次プリズム706aは八角形状を有し、従って、8つの面又は壁708a~708hを有する(これらのうちの一部のみを示している)。前の実施形態と同様に、1次プリズム706は、好ましくは、石英材料で作られる。1次プリズム706は、第1の面708aから延びる突出部760を含む。好ましくは、ビーム入口760は、集中円形状を有する。更に、1次プリズム706の別の面706cは、2次プリズム708の前面707cと隣接し、そこから分離して位置決めされ、圧縮境界インタフェース714が形成される。上述のように、インタフェース714は、本発明による適正な駆動機構による作動に基づいて圧縮境界光スイッチを形成する。

10

【0069】

図7bの詳細図を参照すると、本発明の更に別の態様では、1次プリズム706には、1次プリズム706の内部に位置決めされ、石英材料706'内に組み込まれた光ビーム拡大器/縮小器762が装備される。図7c及び7dは、拡大器/縮小器762の更に詳細な図を提供している。

【0070】

図7dに戻ると、光拡大器/縮小器762は、石英材料706'内に組み込まれた切子石英ブロックである。物理的には、光拡大器/縮小器762は、中に同心空気インタフェース786が切削された石英材料706'の彫刻された円形区域である。切子石英ブロック762は、所定の直径を有する到着光ビームAA上の中心に置かれている。図7bに示しているように、石英ブロック762(すなわち、光拡大器/縮小器762)は、石英-空気インタフェースの1組の同心45°切子面を設ける。クロスハッチング区域は、1次プリズム706の石英材料706'、並びに石英ブロック762の石英材料706''を示している。残りのクロスハッチングのない区域は、石英材料のない空気又は真空インタフェース782である。より重要なことには、これらの空気インタフェース782は、石英材料のものとは異なる光学的性質(すなわち、屈折率)を有する。図7b、及び図7cの平面図は、同様に同心インタフェースの外側円筒を形成する同心ミラー780を示している。下記に説明することになるが、ミラー780は、作動中に最外側直径同心円筒の光を反射し、それによって光路を逆転し、光縮小処理を開始するように機能する。

20

【0071】

図7dの概略図には、本発明の光拡大器/縮小器762が、1次プリズム706を通じて進む光ビームAAを如何に伝達又はそうでなければ操作するかということが例示されている。伝達の第1のモードでは、光ビームAA_Eは、45°の石英-空気インタフェース784上で反射する。各入射ビームは、外向き方向の2回の90°反射を受け、それによってビーム直径が大き(拡大)直径へと変換される。逆進モードでは、光ビームAA_Cは、石英-空気インタフェース784に再度当たり、直径をより小さい(縮小)直径に変換する2つの90°反射を再度受ける。

30

【0072】

従って、光拡大器/縮小器762は、光拡大、光反射、及び光縮小という3つの作動をもたらす。光反射(AA_L)は、光ビームAAが最大同心円筒まで拡大された時点で発生する。この発生は、光AA_Lの方向を逆転するミラー780の反射によって促される。光ビームが完全に拡大されて縮小された状態で、光スイッチ(圧縮境界インタフェース714)が始動され、それにより、図7gに示しているように閉じ込めチャンバ702を2つの方向に流し込むことが可能になる。図7hは、ビーム束が1次プリズム706内で増倍された後に結果として生じるミラー710及びピストンアセンブリ712に対して作用するビームパターンを示している。光の全てが閉じ込めチャンバ702内に注入されると、光スイッチは遮断位置に戻され、それがもたらすビームは、閉じ込めチャンバ702内に閉じ込められる。従って、1次プリズム706からの光ビーム束の増倍は、より高いパワー出力を生じる。

40

【0073】

50

図7 e 及び7 f は、圧縮境界光スイッチが遮断又は停止モードにある間の1次プリズム706の一般的な作動を示している。集光された光ビームAAは、ほぼ垂直の角度でビーム入口760を通じて1次プリズム706内に導入される。好ましくは、ビーム入口760は、1次プリズム706内に導入される光ビームAAが、背面706c及び圧縮境界インタフェース714の方向に誘導されるように位置する。最初に、光スイッチは、遮断又は反射段階にある。従って、光ビームAAは、ほぼ垂直の角度で1次プリズム706の別の面706eに向って反射する。この反射光ビームAAの入射角は、光ビームAAが、同様にプリズム面706e(及びその後の面706g)をほぼ垂直な角度で反射することになるようなものである。従って、図7 eに例示しているように、光ビームAAは、最初に、内部全反射に起因して1次プリズム706の周囲を回転する。

10

【0074】

好ましくは、集光されたビームAAは、1次プリズム706に入射して、ビーム拡大器/縮小器762に入射する前に3回の光反射を受ける。光ビームAAが拡大器/縮小器762に入射する方向は、ビームAAが拡大されるか又は縮小されるかを決定する。図7 eでは、光ビームAAは、1次プリズム706内で時計回り方向に周回するように示している。この方向では、ビーム拡大器/縮小器762内への光ビームの入射は、ビームAAが拡大される結果を生じる。逆に、光ビームAAは、1次プリズム内で反時計回り方向に向けることができる。図7 fに例示しているように、光ビームAAは、結果として生じる光ビームが縮小されることになるように拡大器/縮小器762に入射する。各周回及びビーム拡大器/縮小器内への導入により、結果として生じる光ビームAAは、同心円筒の次のレベルへと拡大又は縮小する。しかし、拡大は、最大レベルの同心円筒にある反射ミラー780によって制限される。この時点で、光ビームAAの方向は逆転され、それによって縮小処理が再始動される。

20

【0075】

付加的な本発明の特徴、及び/又は前に説明したように放射線を利用し、及び/又は光波及び放射圧を伝達するための装置及び/又は方法への改善を示すために図8~20を提供する。例示及び便宜目的で、主に光子エンジンを背景として図及び本発明を以下に説明する(図1~7に関して前に説明されているように)。しかし、本発明は、様々な本発明の概念のそのような特定のかつ例示的な構成及び用途に限定すべきではない。これらの様々な概念を他の構成内で、更に他の用途において採用することができることを意図しており、これは、当業者には明らかであろう。そのような他の構成及び他の用途は、本発明によって想定されている。

30

【0076】

例えば、本発明の装置及び方法の様々な態様は、切り換え及び光学関連用途を含む厳密な伝達作動に採用することができることを想定している。特定の用途では、光増幅、発電、及び/又は可動反射面の使用は、関連しない場合がある。例えば、これらの態様は、厳密な切り換え及び/又は制御作動では用いられない場合がある。しかし、そのような更に別の用途は、本発明による光波における放射圧の利用、及び/又は光波(又は放射圧)を伝達する段階を伴うことに注意されたい。

【0077】

図8は、本発明の好ましい実施形態に従って光ビームによって伝えられる放射圧を機械的工作に変換するためのエンジン800(光子エンジン)の概略図である。この好ましい実施形態では、光子エンジン800は、余熱を低減するために光ビームを赤方偏移する段階を有する新しい熱制御技術を採用する。この好ましいモードは、可動ミラーにおける近全反射面(NTRS)、及びこのミラーに移動可能に関連付けられ、直列に位置決めされた複数の共振圧電アクチュエータを用いる。この実施形態では、反射面及び可動ミラーは可動プリズム内に設けられる。好ましいモードでは、機械的工作は、電気出力への変換の前に、NTRSを通じて可動プリズム及び圧縮可能圧電アクチュエータへと移行される。好ましくは、光子エンジンの作動は、本明細書において大部分を説明してきた光ビーム集光、光ビーム増倍、及び光ビーム閉じ込めを含む他の重要な部分処理を含む。

40

50

【 0 0 7 8 】

本発明のエンジンのある一定の構成要素又は処理の作動の背景にある原理は、支配的仕事方程式、光スイッチングに適用されるフレネルの方程式、関与媒質領域中を光が移動する間の光を定量化するための単純な減衰式、及び内部全反射を説明するスネルの法則によって説明することができる。支配的仕事方程式は、光子エンジンの仕事出力を計算するための単一の式を与える。フレネルの方程式は、エバネッセント波の超臨界角トンネル現象を用いて光スイッチングを示し、光を閉じ込めるために必要なスイッチング機構を設計するのに適用することができる。関与媒質は、石英内の光吸収の測定値を供給する。光子エンジンの複数の構成要素は、石英を通じたエネルギー輸送に依存している。スネルの法則は、光の屈折を説明し、結果として生じる屈折角が虚数になる時には、光は内部全反射される (TIR)。

10

【 0 0 7 9 】

エンジンによって発生する機械的仕事 W は、光ビームと可動ミラー表面の間の運動量移行又は放射圧を関連付けるピストン - 質量系の仕事方程式 [1] によって説明することができる。次式は、可動ミラーの初期速度を含み、光ビームの赤方偏移が、光ビーム伸張によって相殺されることを示している。

【 0 0 8 0 】

【 数 1 】

$$W = \frac{1}{2} m \left[\left(\frac{p_0 A_m t_0}{m} \left(\frac{1 - (\rho_m \tau_s)^z}{1 - \rho_m \tau_s} \right) + v_0 \right)^2 - v_0^2 \right] \quad (1)$$

20

【 0 0 8 1 】

ここで、 p_0 は、初期放射圧であり、
 A_m は、各ミラーの面積であり、
 t_0 は、初期ビーム衝突持続時間であり、
 m は、ミラー / ピストンアセンブリの質量であり、
 ρ_m は、ミラーの有効反射率であり、
 τ_s は、光スイッチの有効透過率であり、
 z は、運動量移行中に可能な跳ね返り時間であり、
 v_0 は、ミラーの初期速度である。

30

【 0 0 8 2 】

エンジン効率は、式 (1) に示している仕事を最初の光ビーム内に含まれる全エネルギーによって割算することによって計算される。

【 0 0 8 3 】

光子エンジン 800 は、集光装置 / 集光 810、光増倍器又は増幅器 / 増幅 820、光変換器 / 変換 830、並びに発電器 / 発電 840 という 4 つの主な構成要素 / 相を有するものとして説明することができる。図 8 の概略図は、この 4 つの主な構成要素を示しており、更に所定の経路に沿ってこの構成要素の中を通る光波 $A A$ の例示的な進行を示している。

40

【 0 0 8 4 】

集光装置 810 は、大きい面積の又は大きく分散した集光光から、より小さい集中ビーム $A A$ を発生させる。この集光相では、光源は、好ましくは、大きい放物面集光装置によって捕捉される太陽光入力である。ビームは、逆放物面ミラーに合焦され、集光光 $A A$ は、再度集中ビームへと視準される。次に、この集中ビームは、光増倍器 820 に誘導される。光増倍器 820 は、ビーム $A A$ を操作して、増倍又は増幅済みビームを発生させる。この増幅相中に、集光ビームは、集光装置から連続して入力される。別の態様では、光増倍器 820 は、更に集光相の光変換相との同期を可能にする。その結果は、連続した光処理及びエンジン作動である。

【 0 0 8 5 】

50

図 8 は、光増倍器 820 への拡張タブを有する入口を示している。入射ビームは、意図的に拡張タブに対して垂直に誘導され、それによって反射を引き起こすと考えられるブリュスター角が回避される [4]。従って、機械は、全ての入射ビームを垂直な表面に沿って石英に衝突させるように設計される。同様に、それにより、そうでなければ光を波長に基づいて分散させる（レインボー効果）と考えられる分散又は波長依存屈折が阻止される。垂直な表面に沿って入射する光は、正反射を引き起こすことになる。閉じ込めチャンバ内では、光が依然として反射されることからこの正反射は許容される。

【 0086 】

光増幅相中に、集光光ビーム AA は、それ自体の周囲に巻かれ、ビーム AA は、端部正面から見ると図 10 の 1 組の大きな同心円に見える。この処理は、比較的低いエネルギーの肉薄のビームを取得し、各同心円によってビームを拡幅することによってビームエネルギーを高める。光路 AA は、増倍器 820 の内側で循環を続け、各順方向循環は拡大器に衝突し、次に、大きな直径の同心円へと拡大する。ビームが外側同心円に達すると、光 AA は、ミラー表面上に入射し、逆方向に反射される。次に、光 AA は、逆方向にあること及び反対の周回であることを除いて光増倍器 820 内で上記と同じ経路を戻す。光 AA が光縮小器上に入射すると、ビーム直径は、各逆循環によって低減する。光増倍器 820 は、逆ビームが、増倍器の周りに初期ビーム直径（凝集円）へと再度繰り出された時に最大パワーのビームを発生させる。この時点で、集光光ビーム AA は、増倍済み（強化済み）光ビーム AA へと変換されており、両方の方向で光スイッチに当たる。

【 0087 】

光変換相は、全反射モード（遮断）から全透過モード（開放）へと変化するように光スイッチを作動させることによって始動される。その結果、増倍済みビームは、光増倍器 820 から閉じ込めチャンバ 830 内に注入される。光増倍器から、対象の光ビームが完全になくなると、光スイッチは、全反射モード（遮断）に戻される。

【 0088 】

光を閉じ込めるには、全反射から全透過に迅速に切り換える機構が必要である。この光スイッチの一実施形態を本明細書では圧縮境界光スイッチ（CBLS）と呼ぶ。このスイッチは、図 11 に示しているように 2 つの石英プリズム 1101 を用いる。石英プリズム 1101 は、小さい距離 d が 2 つのプリズム 1101 の間に存在するように分離される。図 11A を参照すると、最初にこの距離は有意に大きくなり（ d_r ）、内部全反射が達成される。図 11C を参照すると、非常に小さい距離 d_t しか存在しないように 2 つのプリズムが互いに非常に近い時に光は全透過される。図 11B を参照すると、中途の表面が互いに移動している間には、光は他方の表面に触れ、光は、透過及び反射の両方を受けることになる。透過量は、フレネルの方程式 [2] を用いて多重境界問題として解くことができる。

【 0089 】

2 つの石英プリズム 1101 の間の空間が十分に幅狭である時には、エバネッセント波が第 2 の表面を励起し、それによって光が透過される。透過量は、入射角、間隙の屈折率、石英プリズムの屈折率、光の波長、及び光の偏光の関数である。

【 0090 】

p 偏光における全透過率を式 (2) に示す。

【 0091 】

【 数 2 】

$$T_p^{tot} = \frac{n_t \cos \theta_t}{n_i \cos \theta_i} \frac{\left| \hat{t}_p^{i \rightarrow m} \right|^2 \left| \hat{t}_p^{m \rightarrow t} \right|^2}{\left| e^{-ik_m d \cos \theta_m} - r_p^{m \rightarrow i} r_p^{m \rightarrow t} e^{ik_m d \cos \theta_m} \right|^2} \quad (2)$$

【 0092 】

s 偏光における全透過率を式 (3) に示す。

【 0093 】

10

20

30

40

50

【数 3】

$$T_s^{tot} = \frac{n_t \cos \theta_t}{n_i \cos \theta_i} \frac{|t_s^{i \rightarrow m}|^2 |t_s^{m \rightarrow t}|^2}{|e^{-ik_m d \cos \theta_m} - r_s^{m \rightarrow i} r_s^{m \rightarrow t} e^{ik_m d \cos \theta_m}|^2} \quad (3)$$

【0094】

フレネル係数 t_p 、 t_s 、 r_p 、及び r_s は、マクスウェルの方程式の直接的な結果である。
p 偏光におけるこれらの係数を式 (4.1 ~ 4.4) に示している。

【0095】

【数 4.1】

10

$$t_p^{i \rightarrow m} = \frac{2 \cos \theta_i \sin \theta_m}{\cos \theta_m \sin \theta_m + \cos \theta_i \sin \theta_i} \quad (4.1)$$

【0096】

【数 4.2】

$$t_p^{m \rightarrow t} = \frac{2 \cos \theta_m \sin \theta_t}{\cos \theta_t \sin \theta_t + \cos \theta_m \sin \theta_m} \quad (4.2)$$

【0097】

【数 4.3】

20

$$r_p^{m \rightarrow i} = -\frac{\cos \theta_m \sin \theta_m - \cos \theta_i \sin \theta_i}{\cos \theta_m \sin \theta_m + \cos \theta_i \sin \theta_i} \quad (4.3)$$

【0098】

【数 4.4】

$$r_p^{m \rightarrow t} = -\frac{\cos \theta_t \sin \theta_t - \cos \theta_m \sin \theta_m}{\cos \theta_t \sin \theta_t + \cos \theta_m \sin \theta_m} \quad (4.4)$$

【0099】

s 偏光におけるこれらの係数を式 (5.1 ~ 5.4) に示している。

30

【0100】

【数 5.1】

$$t_s^{i \rightarrow m} = \frac{2 \cos \theta_m \sin \theta_i}{\cos \theta_i \sin \theta_m + \cos \theta_m \sin \theta_i} \quad (5.1)$$

【0101】

【数 5.2】

$$t_s^{m \rightarrow t} = \frac{2 \cos \theta_t \sin \theta_m}{\cos \theta_m \sin \theta_t + \cos \theta_t \sin \theta_m} \quad (5.2)$$

40

【0102】

【数 5.3】

$$r_s^{m \rightarrow i} = -\frac{\cos \theta_i \sin \theta_m - \cos \theta_m \sin \theta_i}{\cos \theta_m \sin \theta_i + \cos \theta_m \sin \theta_i} \quad (5.3)$$

【0103】

【数 5.4】

$$r_s^{m \rightarrow t} = -\frac{\cos \theta_m \sin \theta_t - \cos \theta_t \sin \theta_m}{\cos \theta_m \sin \theta_t + \cos \theta_t \sin \theta_m} \quad (5.4)$$

50

【0104】

全p偏光透過率は、間隙距離及び波長の関数として解かれ(6)、その結果を図12Aにプロットしている。

【0105】

【数6】

$$T_p^{tot} = \frac{3.686}{e^{4.443 \frac{d}{\lambda}} + e^{-4.443 \frac{d}{\lambda}} + 1.686} \quad (6)$$

【0106】

全s偏光透過率は、間隙距離及び波長の関数として解かれ(7)、その結果を図12Bにプロットしている。

【0107】

【数7】

$$T_s^{tot} = \frac{1.437}{e^{4.443 \frac{d}{\lambda}} - e^{-4.443 \frac{d}{\lambda}} - 0.5604} \quad (7)$$

【0108】

全透過及び全反射状態は、可視光スペクトル(400nm~700nm)に対して、それぞれ、 $d_t = 0$ nm及び $d_r > 1000$ nmで発生する。それにより、CBLSに対する最低作動基準が定められ、完全に平坦な表面でなければ、全透過率状態は、石英プリズムが互いに圧縮されることを必要とすることが示されている。

【0109】

光変換相では、光閉じ込めチャンバは、増幅済み光ビームを受光して閉じ込め、光ビームによって生じる放射圧の動力利用を容易にする。閉じ込められた増倍済みビームは、2つの近全反射面(NTRS)上に誘導される。閉じ込めチャンバは、光ビーム内に含まれるエネルギーが消耗するまでNTRS上で閉じ込められた光ビームの連続反射を起こすように機能する。

【0110】

この実施形態では、可動ミラー及び反射面は、可動石英プリズム1310によって形成される。図13Aは、プリズム1310の平面図を提供しており、透過前面又は前表面1310a、及びプリズム本体1310d内に位置決めされた2つの傾斜した反射面又は反射表面1310b、1310cを示している。図13Bの断面図は、反射面1310b、1310cの相対位置、及びこれらの表面1310a、1310bが形成する角を成すV字形状をより詳細に示している。図13Aの平面図に示しているように、反射面1310b、1310cの上部及び底部の円形稜線は、プリズム1310の前表面1310aの下で一連の同心円を示している。また図13Bの断面図は、最初の反射面1310bに向かい、最初の反射面1310bから戻りの反射面1310cに行き、戻りの反射面1310cから前表面を通じてプリズム1310から離れる方向にある光ビームAAの所定の誘導経路を示している。下記でより詳細に説明することになるが、面1310a、1310b、及び1310cは、光ビームAAが、前面1310aを約90度で通過し、背面1310b、1310cの各々に約45度で衝突し、更に、再度前面を約90度で通過するように相対的に位置決めされる。その結果、光ビームAAは、望ましくは、透過前面1310aを通過し、2つの背面1310b、1310cの各々から反射する。この点から、表面又は面1310a、1310b、1310cを含むプリズム1310を近全反射面(NTRS)と呼ぶ。下記により詳しく説明するように、可動プリズム1310及びNTRSの作動は、これらと作動可能に関連付けられた一連の圧電アクチュエータと連係して有利な熱制御技術をもたらす。

【0111】

本発明に用いる近全反射面(NTRS)は、関与媒質がエネルギー吸収を引き起こし、赤方偏移がエネルギー発散を引き起こすにも関わらず、内部全反射を利用して繰返し反射から

10

20

30

40

50

の損失を排除する。従って、N T R S は、市販のミラーよりも有意に優れた性能の有効ミラー表面を提供する。

【 0 1 1 2 】

この改善された性能を可能にする原理を説明するために、ここで図 1 4 を参照する。図 1 4 は、エネルギーパケットによって表す光ビーム A A の N T R S 内での進行の図を提供している。初期エネルギーパケット $d Q_{INITIAL}$ は、速度 v で真っ直ぐに遠ざかる表面上に入射する。速度ベクトルは、初期エネルギーパケットの方向ベクトルと直接に整列する。その結果として生じる入射エネルギー $d Q_{INCIDENT}$ は、式 (8) のように光の速度 c の関数である赤方偏移によって低減する。

【 0 1 1 3 】

【 数 8 】

$$dQ_{INCIDENT} = dQ_{INITIAL} \left(\frac{c-v}{c} \right) \quad (8)$$

【 0 1 1 4 】

スネルの法則 [4] は、結果として生じる屈折角が虚数である時に、光が内部全反射されるような光の屈折を説明する。反射エネルギー $d Q_{REFLECT}$ は、式 (9) のように入射エネルギーに等しい。

【 0 1 1 5 】

【 数 9 】

$$dQ_{REFLECT} = dQ_{INCIDENT} \quad (9)$$

【 0 1 1 6 】

反射エネルギーは、プリズムの他方の側に速度ベクトルに対して直角に接触することから赤方偏移がなく、従って、 $d Q_{FINAL}$ は、式 (1 0) のように反射エネルギーに等しい。

【 0 1 1 7 】

【 数 1 0 】

$$dQ_{REFLECT} = dQ_{FINAL} \quad (10)$$

【 0 1 1 8 】

入射エネルギーは、速度が高い程低くなるが、結果として生じる力は、ほぼ同じである。一方が低い表面速度に対するもの、及び他方が高い表面速度に対するものである 2 つの等しい力からの仕事出力は、同じではない。高い表面速度は、式 (1) に示すように高い仕事出力を発生させることになり、これは、最終の速度 (第 1 の二乗項) が初期速度 (第 2 の二乗項) を基準とすることによる。ミラー表面を十分に速く移動することによって赤方偏移がミラーの反射率に接近すると、閉じ込められたエネルギーは、赤方偏移によって発散することになり、それによって余熱が低下する。積層圧電アクチュエータは、共振して、機械的仕事を電気に効率的に変換し、赤方偏移に向けて高 N T R S 速度を得るための機構を提供する [5]。放射圧の機械的仕事への変換を起こすのに加えて、本明細書に教示する N T R S とアクチュエータの組合せは、熱制御の潜在的な技術的問題に対する技術的解決法としての役割を達成する。

【 0 1 1 9 】

関与媒質は、容積を通じて放射交換を達成する。放射線がその内部を進む複数の媒体 (又は単一の媒体) は、減衰を引き起こす場合がある。例えば、放射平衡にあるガスのような材料では、波長への依存性を無視することができる。これは、石英のような固体においても可能である。この簡略化により、簡単な吸収係数の使用が可能になる [3]。

【 0 1 2 0 】

初期エネルギーパケット $d Q_{INITIAL}$ は、図示のようにこのエネルギーパケットが相互作用するか又は屈折することができる領域に入射し、ここで関与媒質に遭遇する。エネルギーパケットが関与媒質を通じて進むと、それは、それが媒体によって吸収される ($d Q_{ABSORB}$

10

20

30

40

50

ED) 媒体を損失する。エネルギーパッケージが媒体を出射すると、透過エネルギー $dQ_{TRANSMITTED}$ は、図示のように、再度関与媒質と相互作用するか又は屈折することができる。

【 0 1 2 1 】

このエネルギーパッケージにおけるエネルギー収支は、式 (1 1) のように書くことができる。

【 0 1 2 2 】

【 数 1 1 】

$$dQ_{INITIAL} = dQ_{ABSORBED} + dQ_{TRANSMITTED} \quad (11)$$

【 0 1 2 3 】

吸収の後に残された透過エネルギーは、式 (1 2) のように吸収係数を用いて計算される。

【 0 1 2 4 】

【 数 1 2 】

$$dQ_{TRANSMITTED} = dQ_{INITIAL} e^{-at} \quad (12)$$

【 0 1 2 5 】

吸収エネルギーは、式 (1 3) のように計算することができる。

【 0 1 2 6 】

【 数 1 3 】

$$dQ_{ABSORBED} = dQ_{INITIAL} (1 - e^{-at}) \quad (13)$$

【 0 1 2 7 】

NTRS 有効反射率 ρ_{NTRS} は、式 (1 4) のように計算することができる。

【 0 1 2 8 】

【 数 1 4 】

$$\rho_{NTRS} = \frac{dQ_{OUT}}{dQ_{IN}} = \rho_{QUARTZ} e^{-at} \left(\frac{c-v}{c} \right) \quad (14)$$

【 0 1 2 9 】

この場合には、散乱を無視することができるかと仮定しており、負の吸収を考慮していないことに注意されたい [3]。石英表面反射率 ρ_{QUARTZ} は、 dQ_{OUT} 内に含まれ、 dQ_{IN} は、石英媒体に入射する時に反射されるエネルギーを収容する。

【 0 1 3 0 】

電気発生相は、光変換器相と同時に発生する。積層共振圧電アクチュエータは、NTRS に直接取り付けられる。光変換相の継続期間にわたって、アクチュエータは縮小しており、NTRS 面を入射ビームから高速度で遠ざけることによって閉じ込められた光を赤方偏移させるという必要な熱制御の利点をもたらす。更に、光によって NTRS を通じて圧電アクチュエータに印加される力からの付加的な電流は、H-ブリッジ (又は同様の) 回路を用いて蓄積される。エネルギー伝達構成要素としての圧電アクチュエータの採用は、公知であることに注意すべきである。本発明の開示内容が与えられれば、本発明における圧電アクチュエータの統合は、当業者には明らかであろう。

【 0 1 3 1 】

ここで、本出願人は、このエンジンに対するモデル化のシステム及び方法を提供する。5つの時間的光線追跡機能を提供する。

- (1) 反射によって及ぼされる放射圧からの力蓄積、
- (2) 光スイッチングを用いて閉じ込めをモデル化する可変光学器械、
- (3) ビーム増倍及び分割からの光束デルタをモデル化する封入体、
- (4) 赤方偏移からのエネルギー損失、
- (5) 関与媒質内のエネルギー吸収。

10

20

30

40

50

【 0 1 3 2 】

第1の機能は、直接の加熱成分のみからのノードへの放射圧に加えて、反射エネルギーからの力を含む放射圧（又は放射力）の計算を可能にする。反射エネルギーからの放射圧は、複数の反射の間の光子から可動ピストンへの内部運動量移行をモデル化することにより、作動的な光子エンジンをモデル化する最も基本的な概念である。

【 0 1 3 3 】

第2の機能は、時間で変化する光学性質による光閉じ込めである。この機能は、光子エンジンを光ビームの増倍を含むように拡張するのに必要である。この機能は、高反射なものとして始まる表面をモデル化し、次に、有限の時間量の後に光学性質を瞬時に変更して透過を可能にすることによって達成される。その後の有限の時間量の後に、表面は、高反射のものに瞬時に変更し戻される。第1の場合の機能とは異なり、時間依存の性質を有することにより、第3の場合に示すようにビームパワーの増倍が可能になる。

10

【 0 1 3 4 】

第3の機能は、封入体間の切り換え時の光束変化である。この機能は、長い低光束ビームがそれ自体に巻かれ、次に、可変光学器械スイッチによって分割されて短い高光束ビームが達成される時の光源における光束変化（又は光束デルタ）を計算する。この処理は、ビーム長さを実質的に圧縮し、全エネルギーが同じに留まるので、その結果は、高光束ビームである。

【 0 1 3 5 】

図15及び16は、時間的光線追跡の連続図及び時間的光線追跡のフラット・ランド図を提供している。

20

【 0 1 3 6 】

光束デルタ ΔF は、式(15)のように、サンプル光線数 n 、閉じ込め光線数 m 、及び異なるサンプル時間、初期サンプル範囲 t_0 から t_1 、並びに可変光学器械スイッチ範囲 t_2 から t_3 を考慮に入れることによって計算される。

【 0 1 3 7 】

【数15】

$$\Delta F = \frac{m(t_1 - t_0)}{n(t_3 - t_2)} \quad (15)$$

30

【 0 1 3 8 】

光束デルタは、式(16)のように、モデル1光束 q_1 からの増倍済みビームの閉じ込めチャンバ光束 q_2 を特定するのに用いることができる。

【 0 1 3 9 】

【数16】

$$q_2'' = \Delta F q_1'' \quad (16)$$

【 0 1 4 0 】

第4の機能は、赤方偏移に起因するビーム強度におけるエネルギー損失である。可動ピストンへの運動量移行を有する機械では、入射ビームから遠ざかるピストンの移動は、反射エネルギーの赤方偏移を引き起こすことになる。この赤方偏移は、反射中に表面が移動する速度に基づいて、単純に反射光線エネルギーを低減することによってモデル化することができる。

40

【 0 1 4 1 】

第5の機能は、関与媒質による吸収からのエネルギー損失である。この現象は、光が、石英のような固体を通じて透過される時に発生する。光子エンジン内の光路は、石英との多くの相互作用を必要とする。光増倍器内の相互作用は、石英の内部で長距離を進む光線を生じることになる。石英内で光線がより長く進む程、吸収によってより多くのエネルギーが損失する。それにより、低透過率及び関与媒質の加熱が生じる。光子エンジンの最も望ましい作動は、運動量移行においてエネルギーが利用可能であるように、最も低い吸収（最も

50

高い透過)を有するものである。

【0142】

図17は、関与媒質をモデル化する制御容積手法を示している。関与媒質の領域を連続容積として表す代わりに、この領域を小さい制御容積へとメッシュ分割することにより、関与媒質が領域を通じて移動する時に吸収を量子化することが可能になる。図15に示しているように、2つの制御容積間のインタフェースにおけるエネルギー収支は、式(17.1~17.2)のように内部加熱 $dQ_{n,abs}$ 、及びその後の制御容積に入射するエネルギー dQ_{x+} を生じる。

【0143】

【数17.1】

$$dQ_{x-} = dQ_{x+} + dQ_{n,abs} \quad (17.1)$$

【0144】

【数17.2】

$$dQ_{n,abs} = dQ_{x+} (e^{-\alpha(l+t_n)} - e^{-\alpha l}) \quad (17.2)$$

【0145】

時間的光線追跡機能の各々を例示的作業エンジンを正確に模擬する単一シミュレーションへと組み合わせる解析を実施した。光を光線としてモデル化する時に、収差を回避するように注意すべきである。この歪曲は、光がある一定の点に合焦される時に発生する。このエンジン設計は、収差を回避している。常に内部全反射して、いかなる入射角もなしに1つの媒体から別の媒体へと表面に垂直に移行することにより、プリュースター角も同じく回避される。

【0146】

図18は、例示的光子エンジン1800をこのエンジン1800における光線又はビーム光路を含めて示している。このエンジンは、上述のようにスイッチ1850を用いる(2つの隣接プリズム1840、1842を有する)。図19は、別のエンジン1900及びそれに関連する光線経路を示している。エンジン1900は、光スイッチ1950において単一のプリズムを用いる。これまでは第2のプリズム(例えば、1942)が、閉じ込めチャンバの一部分を形成したが、ここでは、線形スイッチ表面又は簡易に線形スイッチ1950が、圧縮境界スイッチの第2の半分を形成する。

【0147】

線形スイッチ1960は、第2のプリズムの石英材料を通じて進む光ビームの距離を実質的に短縮する(図18の設計及びそれ以前に説明した設計と比較して)。この別の設計は、三角錐区域1960aを用いる点でNTRSのものと同様である。スイッチ1960は、一連の線形三角プリズム1960aから成る。光は、面のうちの1つに垂直に入射し、光スイッチが反射性を有する時には内部全反射する(TIR)。光スイッチが透過性を有する時には、線形スイッチの平坦な表面は、1次プリズム1940に対して圧縮される。この設計は、エンジン内のあらゆるプリズムに対して拡張することができ、それによって石英の関与媒質に起因する減衰量が低減する。

【0148】

CBSを拡張することによってNTRS設計と同様の線形三角プリズム設計(線形スイッチ)を有するように設計を合成するシミュレーションツールを用いた。スプレッドシートを利用して、光線毎の閉じ込めチャンバ内の反射時間、 t_{NTRS} 及び t_{SWITCH} の推定値、並びに最も低い石英の吸収係数 a を用いて各設計の効率を推定した。表1に反映されているように、線形スイッチの使用により、有意に高い効率が得られる。高い効率を得る上で、更に別の技術的解決法(線形スイッチ)が実施され、技術的問題又は難問(サイズ及び製造における効率及び経済性)が解決される。

【0149】

(表1)

10

20

30

40

50

	光線毎の跳ね 返り数、z	ρ_{NTRS}	t_{SWITCH}	a - 石英 (cm^{-1})	効率 (%)
標準CBLS スイッチ	10469	0.9999 9	0.9999 9	1×10^{-5}	2.07
線形スイッチ	136534	0.9999 9	0.9999 9	1×10^{-5}	15.59

【0150】

しかし、本発明の装置の構成要素の本発明による様々な構成及び配備は、特定の環境及び用途に従って行うことができ、これらに従って変化することになることを理解すべきである。これらの変化にも関わらず、あらゆるそのような用途において、上述のように、本発明の様々な態様が適用可能になる。例えば、閉じ込めチャンバ設計、光学切り換えデバイス、並びに光増倍器又は光波増幅器のような本明細書に説明した装置の様々な態様は、他のエンジンを含む他の機械的デバイスと併合することができる。更に別の例として、ピストン及びシリンダアセンブリは、エネルギー蓄積デバイス（例えば、バネデバイス）のような別のエネルギーシステムによって置換することができる。更に、説明した本発明の様々な態様は、他の構成要素なしに他の用途に用いることができる。例えば、光スイッチとNTRSミラー（可動又は非可動）との組合せは、切り換え、伝達、又は制御作動において用いることができる（本明細書に説明した光子エンジン、エンジン構成要素、又は他の構成要素とは独立して）。他の例は、同様の切り換え、伝達、又は制御用途における光増幅器又は増倍器、及び/又は光スイッチの採用を含む。

【0151】

本発明の上述の説明は、例示及び説明目的で提供したものである。この説明は、本発明を本明細書に開示している装置及び方法に限定するように想定されているものではないことには注意されるものとする。上述の本発明の様々な態様は、放射圧を伝達するための他の種類のエンジン及び機械的仕事デバイス並びに方法に適用可能と考えられる。本発明はまた、上述の方法、これらの方法に利用される装置、並びに関連する構成要素及びサブシステムにおいて実施されることには注意されるものとする。本発明のこれらの変形は、本発明の開示が与えられることにより、光学、エンジン技術、又は他の関連技術における技術者には明らかになるであろう。その結果、上述の教示及び技術、並びに関連技術の知識と同等の変形及び修正は、本発明の範囲内である。更に、本明細書に説明及び例示した実施形態は、本発明を実施する最良のモードを説明し、当業者が、本発明及び他の実施形態を利用し、更に本発明の特定の用途又は使用によって必要とされる様々な修正を加えて利用することを可能にすることを意図したものである。

【符号の説明】

【0152】

- 100 光子エンジン
- 106 1次プリズム
- 107 2次プリズム
- 114 圧縮境界インタフェース

10

20

30

40

【 図 1 】

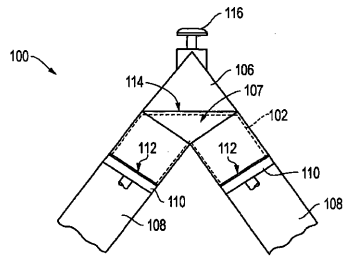


FIG. 1

【 図 1 A 】

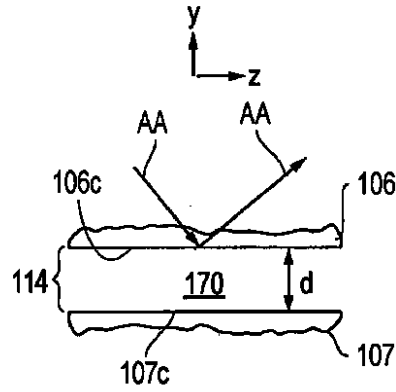


FIG. 1A

【 図 1 B 】

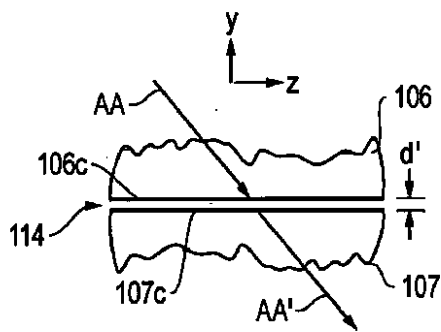


FIG. 1B

【 図 3 】

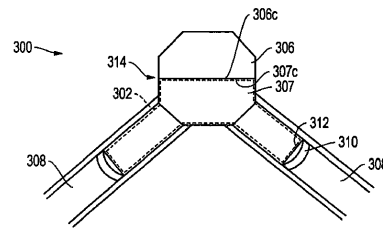


FIG. 3

【 図 4 a 】

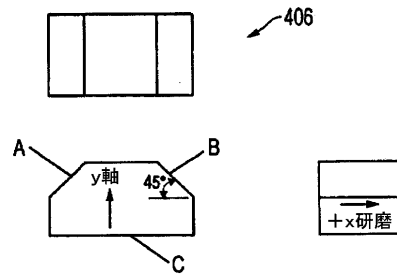


FIG. 4A

【 図 2 】

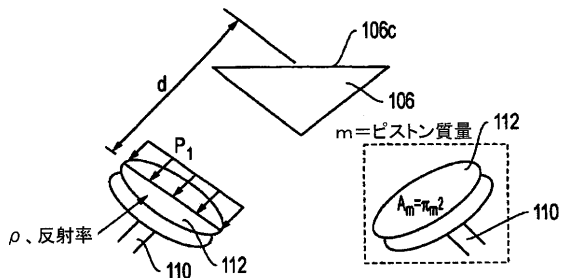


FIG. 2

【 図 4 b 】

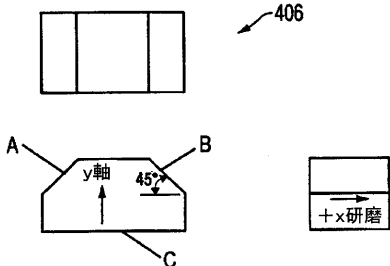


FIG. 4B

【 図 5 】

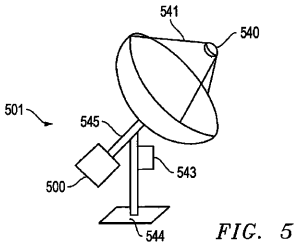


FIG. 5

【 図 6 A 】

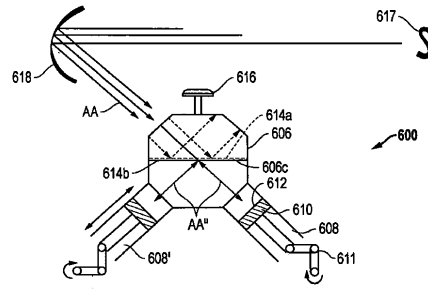


FIG. 6A

【 図 6 B 】

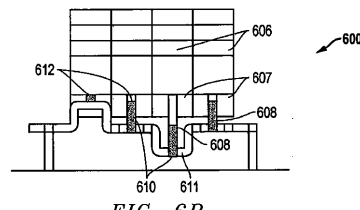


FIG. 6B

【 図 7 A 】

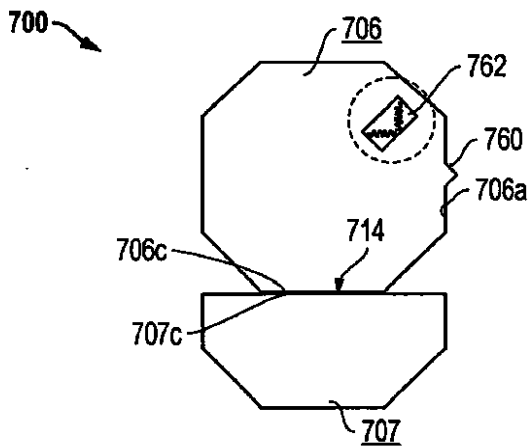


FIG. 7A

【 図 7 C 】

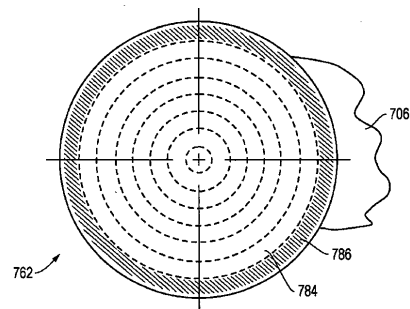


FIG. 7C

【 図 7 B 】

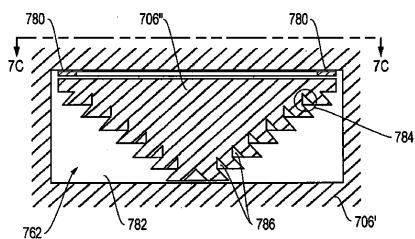


FIG. 7B

【 図 7 D 】

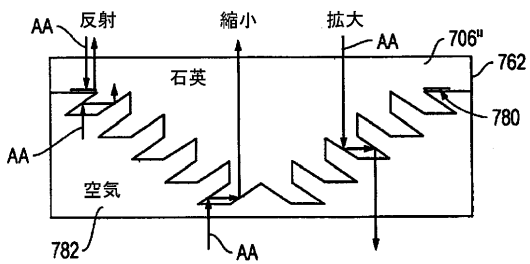


FIG. 7D

【図7E】

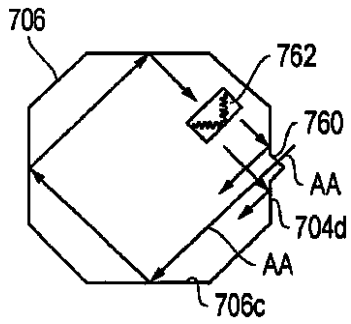


FIG. 7E

【図7G】

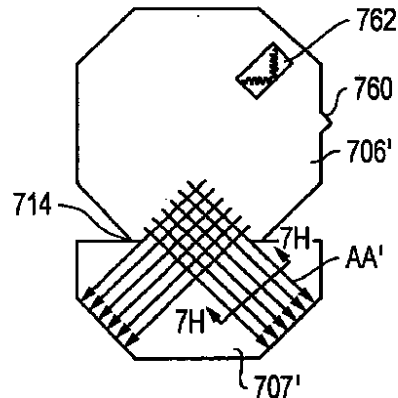


FIG. 7G

【図7F】

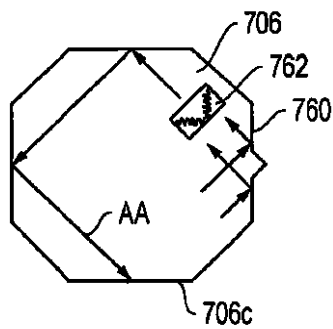


FIG. 7F

【図7H】

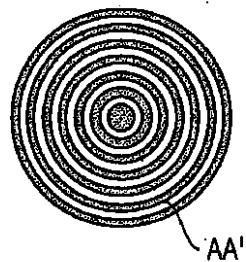


FIG. 7H

【図8】

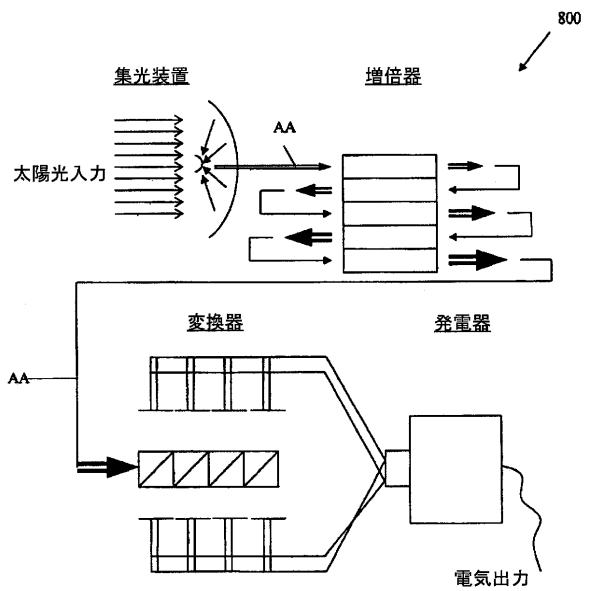


FIG. 8

【 図 9 】

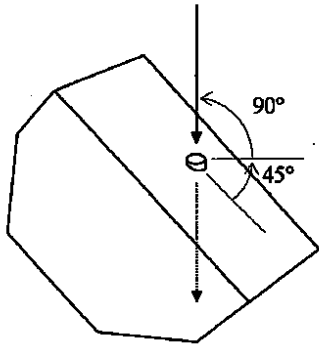


FIG. 9

【 図 10 】

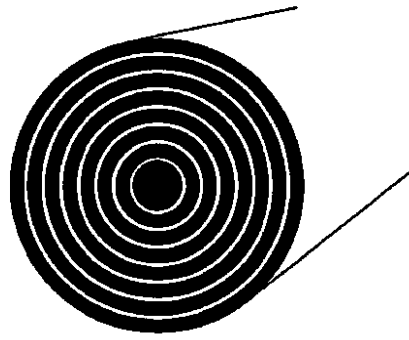


FIG. 10

【 図 11 】

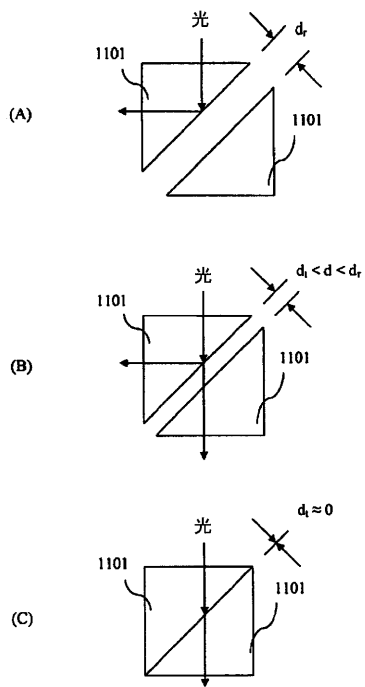


FIG. 11

【 図 12 A 】

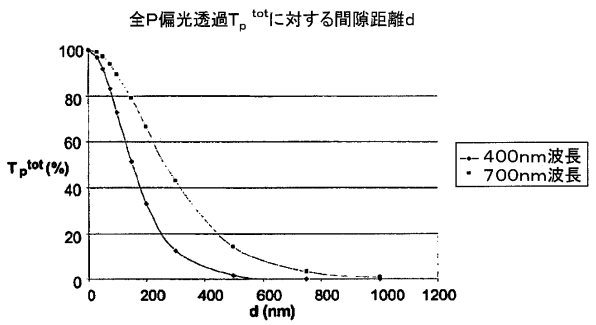


FIG. 12A

【 図 12 B 】

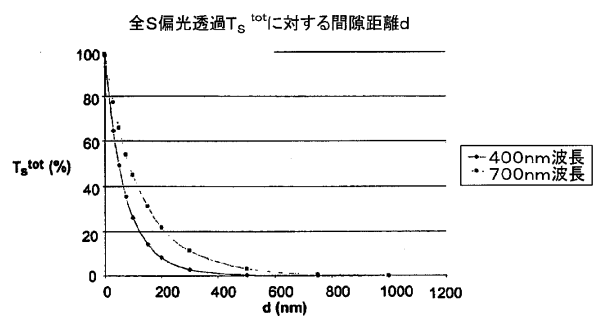


FIG. 12B

【図13A】

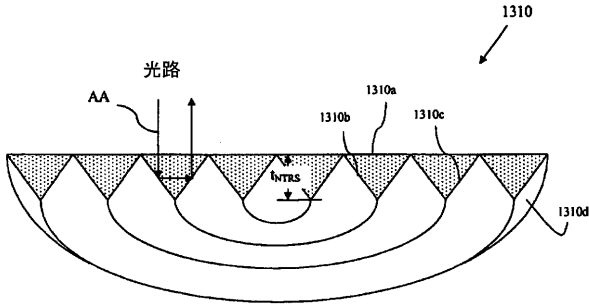


FIG. 13A

【図13B】

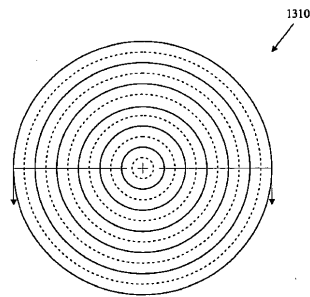


FIG. 13B

【図14A】

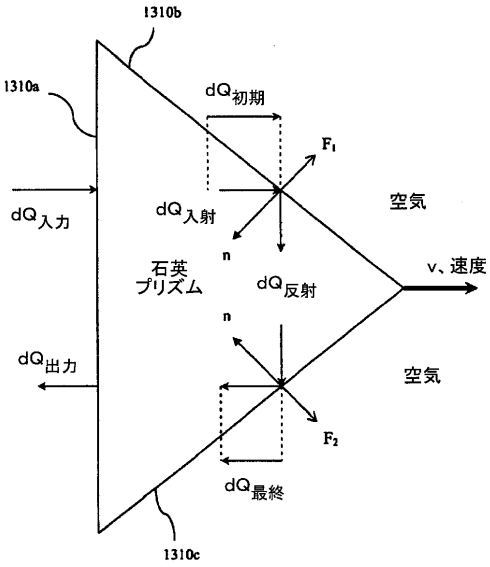


FIG. 14A

【図15】

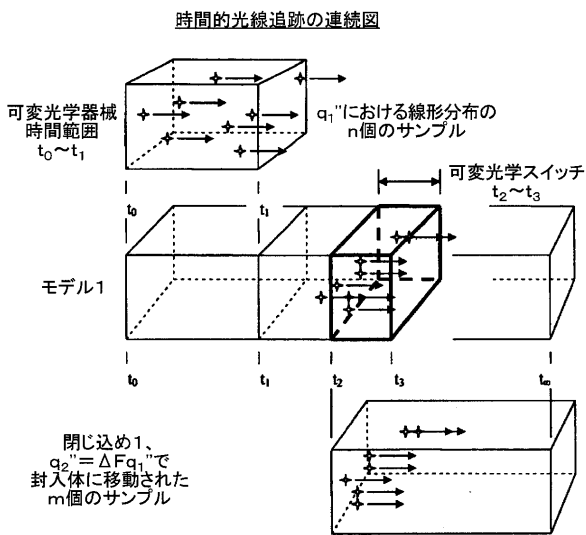


FIG. 15

【図16】

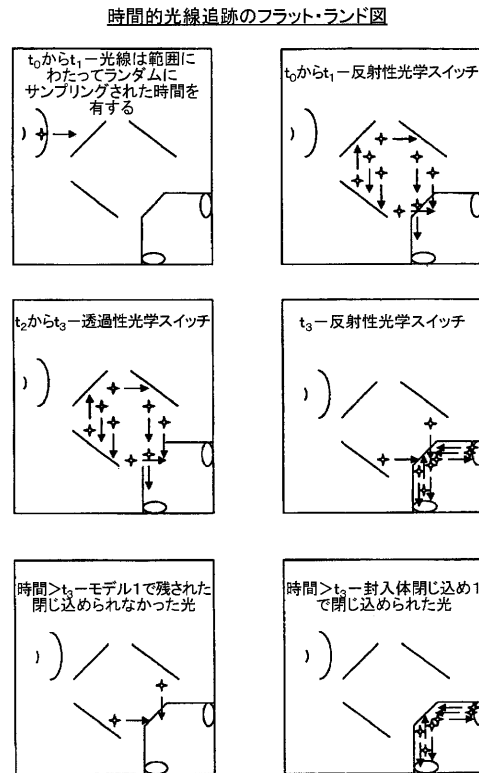


FIG. 16

【 図 17 】

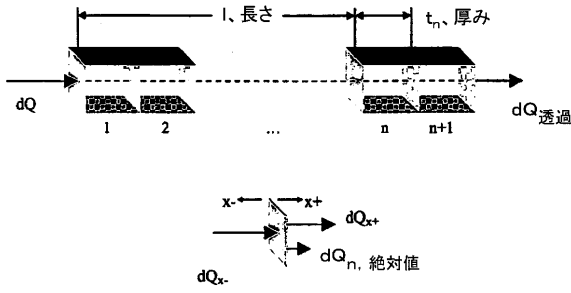


FIG. 17

【 図 18 】

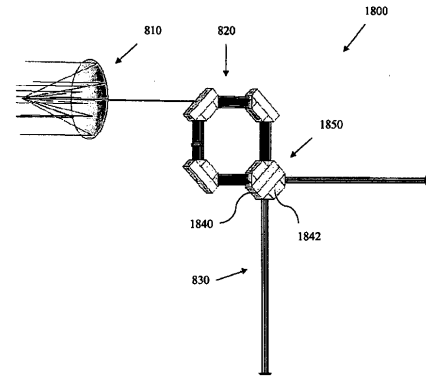


FIG. 18

【 図 19 】

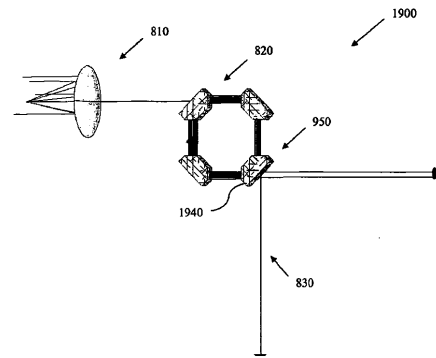
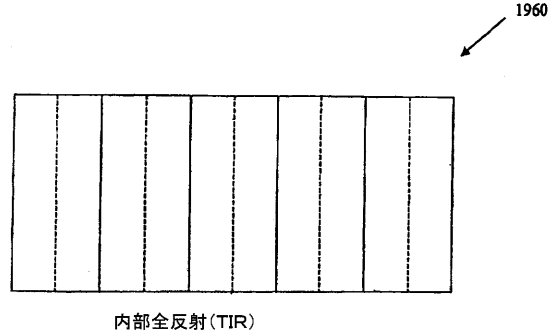


FIG. 19

【 図 20 B 】



内部全反射(TIR)

FIG. 20B

【 図 20 A 】

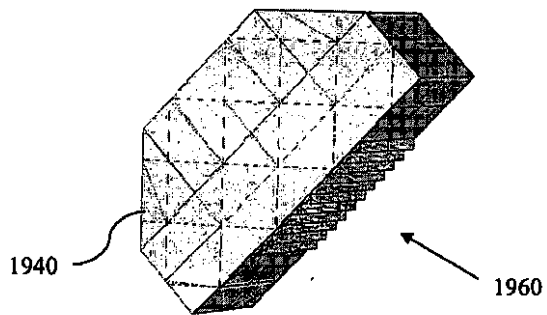


FIG. 20 A

【 図 20 C 】

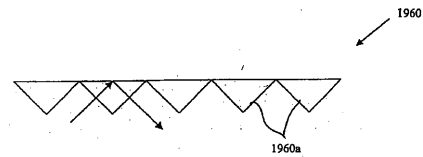


FIG. 20C

フロントページの続き

(74)代理人 100109335

弁理士 上杉 浩

(74)代理人 100136744

弁理士 中村 佳正

(72)発明者 クレイ ジョセフ エム

アメリカ合衆国 テキサス州 77019 ヒューストン ブルン ストリート 1818

審査官 稲葉 大紀

(56)参考文献 国際公開第2004/086100(WO, A2)

特開2003-227910(JP, A)

特開平06-222212(JP, A)

特開平2-211385(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 27/00

G02B 5/00

G02F 1/00