

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
 【部門区分】第2部門第3区分
 【発行日】平成19年12月20日(2007.12.20)

【公表番号】特表2007-508947(P2007-508947A)
 【公表日】平成19年4月12日(2007.4.12)
 【年通号数】公開・登録公報2007-014
 【出願番号】特願2006-527069(P2006-527069)
 【国際特許分類】

B 8 2 B 3/00 (2006.01)
G 0 2 B 21/32 (2006.01)
G 0 2 B 26/08 (2006.01)
B 0 1 J 19/12 (2006.01)
G 0 1 L 1/00 (2006.01)

【F I】

B 8 2 B 3/00
 G 0 2 B 21/32
 G 0 2 B 26/08 A
 B 0 1 J 19/12 B
 G 0 1 L 1/00 Z

【手続補正書】

【提出日】平成19年11月1日(2007.11.1)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

粒子を捕捉するための光トラップ装置であって、
 第1及び第2の光ビームを発生させるための少なくとも1つのレーザ光源と、
 粒子をトラップ領域に捕捉するために逆伝播方式で前記第1及び第2の光ビームを該トラップ領域に集束させるための第1及び第2のレンズと、
 前記トラップ領域を出る前記第1の光ビームのパワー偏向とパワー集中の変化を測定するための第1の検出器と、
 前記トラップ領域を出る前記第2の光ビームのパワー偏向とパワー集中の変化を測定するための第2の検出器と、
 を含むことを特徴とする装置。

【請求項2】

前記第1の検出器は、第1のパワー偏向検出器と第1のパワー集中検出器を含み、
 前記第2の検出器は、第2のパワー偏向検出器と第2のパワー集中検出器を含む、
 ことを特徴とする請求項1に記載の光トラップ装置。

【請求項3】

前記第1及び第2の光ビームの前記パワー偏向の前記測定した変化に基づいて前記粒子に対する横方向の力を計算し、該第1及び第2の光ビームの前記パワー集中の前記測定した変化に基づいて該粒子に対する縦方向の力を計算するためのプロセッサ、
 を更に含むことを特徴とする請求項1に記載の光トラップ装置。

【請求項4】

前記第1及び第2の検出器は、前記第1及び第2の光ビームの前記測定したパワー偏向

の変化にตอบสนองして変化する第 1 及び第 2 の信号を生成し、

前記プロセッサは、 R_L を前記第 1 及び第 2 のレンズの少なくとも一方の焦点距離及び c を光の速度とした時の比 $1 / c R_L$ を前記第 1 及び第 2 の信号の前記変化に乘算することによって前記粒子に対する前記横方向の力を計算する、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の光トラップ装置。

【請求項 5】

前記第 1 及び第 2 の検出器は、前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記測定したパワー偏向の変化にตอบสนองして変化する第 1 及び第 2 の信号を生成し、

前記プロセッサは、 ρ をパワー応答度、 R_D を前記第 1 及び第 2 の検出器の少なくとも一方の正方形区域の半値幅、 R_L を前記第 1 及び第 2 のレンズの少なくとも一方の焦点距離、及び c を光の速度とした時の比 $R_D / c R_L$ を前記第 1 及び第 2 の信号の前記変化に乘算することによって前記粒子に対する前記横方向の力を計算する、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の光トラップ装置。

【請求項 6】

前記第 1 の検出器は、前記第 1 の光ビームの前記測定したパワー偏向の変化の直交する x 及び y 成分にตอบสนองしてそれぞれ X_1 及び Y_1 だけ変化する第 1 及び第 2 の信号を生成し、

前記第 2 の検出器は、前記第 2 の光ビームの前記測定したパワー偏向の変化の直交する x 及び y 成分にตอบสนองしてそれぞれ X_2 及び Y_2 だけ変化する第 3 及び第 4 の信号を生成し、

前記プロセッサは、

$F_x = X_1 R_{D1} / c R_{L2} + X_2 R_{D2} / c R_{L1}$ に従って前記横方向の力の第 1 の成分 F_x を計算し、

$F_y = Y_1 R_{D1} / c R_{L2} + Y_2 R_{D2} / c R_{L1}$ に従って前記横方向の力の第 2 の成分 F_y を計算する、

ことによって前記粒子に対する前記横方向の力を計算し、

ρ_1 は、前記第 1 の検出器のパワー応答度、 R_{D1} は、該第 1 の検出器の正方形区域の半値幅であり、

ρ_2 は、前記第 2 の検出器のパワー応答度、 R_{D2} は、該第 2 の検出器の正方形区域の半値幅であり、

R_{L1} は、前記第 1 のレンズの焦点距離であり、

R_{L2} は、前記第 2 のレンズの焦点距離であり、

c は、光の速度である、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の光トラップ装置。

【請求項 7】

前記第 1 及び第 2 の検出器は、前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記測定したパワー集中の変化にตอบสนองして変化する第 1 及び第 2 の信号を生成し、

前記プロセッサは、 ρ を前記第 1 及び第 2 の検出器の少なくとも一方のパワー応答度、 n を前記粒子の周りのバッファ流体の屈折率、及び c を光の速度とした時の n / c を前記第 1 及び第 2 の信号の前記変化に乘算することによって該粒子に対する前記縦方向の力を計算する、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の光トラップ装置。

【請求項 8】

前記第 1 の検出器は、前記第 1 の光ビームの前記測定したパワー集中の変化にตอบสนองして Z_1 だけ変化する第 1 の信号を生成し、

前記第 2 の検出器は、前記第 2 の光ビームの前記測定したパワー集中の変化にตอบสนองして Z_2 だけ変化する第 2 の信号を生成し、

前記プロセッサは、 n を前記粒子の周りのバッファ流体の屈折率、及び ρ を前記第 1 及び第 2 の検出器の少なくとも一方のパワー応答度とした時の $F_z = (n / c) (\rho (Z_1 - Z_2))$ に従って該粒子に対する前記縦方向の力 F_z を計算する、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の光トラップ装置。

【請求項 9】

前記第 1 及び第 2 のパワー集中検出器の各々は、
フォトダイオード検出器と、
減衰器の中心からの距離の関数として光の伝達率 T が増加又は減少する円形伝達プロフィールを有する減衰器と、
を含む、
ことを特徴とする請求項 2 に記載の光トラップ装置。

【請求項 10】

前記減衰器の前記伝達率 T は、 $T = \text{sqrt}(1 - (r/nR_L)^2)$ に従って該減衰器の前記中心からの距離 r の関数として減少することを特徴とする請求項 9 に記載の光トラップ装置。

【請求項 11】

前記第 1 のレンズを移動して、該第 1 のレンズの焦点域を前記トラップ領域に位置合わせするためのステージ、
を更に含むことを特徴とする請求項 1 に記載の光トラップ装置。

【請求項 12】

前記第 1 及び第 2 のレンズに前記第 1 及び第 2 の光ビームを送出するための光ファイバと、
前記光ファイバの送出端部に力を及ぼしてそのピボット回転を引き起こすための少なくとも 1 つのアクチュエータと、
を更に含むことを特徴とする請求項 1 に記載の光トラップ装置。

【請求項 13】

前記光ファイバの各々に対して、
第 1 のチューブが、前記少なくとも 1 つのアクチュエータが前記光ファイバの送出端部をピボット回転させるために該第 1 のチューブに対して前記力を及ぼすように、該送出端部を取り囲んでいる、
ことを特徴とする請求項 12 に記載の光トラップ装置。

【請求項 14】

前記光ファイバの各々に対して、
前記第 1 のチューブが前記少なくとも 1 つのアクチュエータによって移動される時に、該第 1 のチューブが前記光ファイバの送出端部をピボット回転させるように、第 2 のチューブが、該送出端部を取り囲み、かつ該第 1 のチューブによって取り囲まれている、
ことを特徴とする請求項 13 に記載の光トラップ装置。

【請求項 15】

前記第 1 及び第 2 のレンズと前記第 1 及び第 2 の検出器とが上に取り付けられたレールと、
前記レールに取り付けられて前記粒子を収容し、前記トラップ領域の中に延びている流体チャンバと、
を更に含むことを特徴とする請求項 1 に記載の光トラップ装置。

【請求項 16】

前記レールと前記第 1 及び第 2 のレンズと前記第 1 及び第 2 の検出器と前記流体チャンバとを収容するハウジングと、
前記ハウジングの内部を所定の温度に維持するための加熱装置と、
を更に含むことを特徴とする請求項 15 に記載の光トラップ装置。

【請求項 17】

前記流体チャンバは、前記第 1 及び第 2 のレンズと同じ高さ又はそれよりも下に取り付けられていることを特徴とする請求項 15 に記載の光トラップ装置。

【請求項 18】

前記第 1 及び第 2 の検出器の各々は、受光素子の 2 次元アレイを含むことを特徴とする

請求項 1 に記載の光トラップ装置。

【請求項 19】

前記第 1 の検出器は、前記トラップ領域に入る前記粒子と前記第 1 の光ビームの前記測定したパワー集中の変化とにตอบสนองして $Z_{1\text{empty}}$ から $Z_{1\text{full}}$ まで変化する第 1 の信号を生成し、

前記第 2 の検出器は、前記トラップ領域に入る前記粒子と前記第 2 の光ビームの前記測定したパワー集中の変化とにตอบสนองして $Z_{2\text{empty}}$ から $Z_{2\text{full}}$ まで変化する第 2 の信号を生成し、

前記プロセッサは、前記トラップ領域内の前記第 2 の光ビームの焦点に対して該トラップ領域内の前記第 1 の光ビームの焦点を移動させるために誤差信号 $\{ (Z_1 + Z_2)_{\text{full}} - (Z_1 + Z_2)_{\text{empty}} \}$ を発生させる、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の光トラップ装置。

【請求項 20】

前記誤差信号にตอบสนองして、前記第 1 のレンズ又は該第 1 のレンズに前記第 1 のビームを送出する光ファイバ端部を移動するためのステージ、

を更に含むことを特徴とする請求項 19 に記載の光トラップ装置。

【請求項 21】

粒子を捕捉する方法であって、

第 1 及び第 2 の光ビームを発生させる段階と、

粒子をトラップ領域に捕捉するために逆伝播方式で前記第 1 及び第 2 の光ビームを該トラップ領域に集束させる段階と、

前記トラップ領域を出る前記第 1 及び第 2 の光ビームのパワー偏向の変化を測定する段階と、

前記トラップ領域を出る前記第 1 及び第 2 の光ビームのパワー集中の変化を測定する段階と、

を含むことを特徴とする方法。

【請求項 22】

前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記パワー偏向の前記測定した変化に基づいて前記粒子に対する横方向の力を計算する段階と、

前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記パワー集中の前記測定した変化に基づいて前記粒子に対する縦方向の力を計算する段階と、

を更に含むことを特徴とする請求項 21 に記載の方法。

【請求項 23】

前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記集束段階は、第 1 及び第 2 のレンズを使用して行われ、

前記パワー偏向の変化の前記測定段階は、前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記測定したパワー偏向の変化にตอบสนองして変化する第 1 及び第 2 の信号を生成する第 1 及び第 2 の検出器を使用して行われ、

前記粒子に対する前記横方向の力の前記計算は、 R_L を前記第 1 及び第 2 のレンズの少なくとも一方の焦点距離及び c を光の速度とした時の比 $1 / c R_L$ を前記第 1 及び第 2 の信号の前記変化に乗算する段階を含む、

ことを特徴とする請求項 22 に記載の方法。

【請求項 24】

前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記集束段階は、第 1 及び第 2 のレンズを使用して行われ、

前記パワー偏向の変化の前記測定段階は、前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記測定したパワー偏向の変化にตอบสนองして変化する第 1 及び第 2 の信号を生成する第 1 及び第 2 の検出器を使用して行われ、

前記粒子に対する前記横方向の力の前記計算は、 R_D を前記第 1 及び第 2 の検出器の少なくとも一方の正方形区域の半値幅、 R_L を前記第 1 及び第 2 のレン

ズの少なくとも一方の焦点距離、及び c を光の速度とした時の比 R_{D1} / c R_{L1} を前記第 1 及び第 2 の信号の前記変化に乘算する段階を含む、

ことを特徴とする請求項 2 2 に記載の方法。

【請求項 2 5】

前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記集束段階は、第 1 及び第 2 のレンズを使用して行われ、

前記パワー偏向の変化の前記測定段階は、前記第 1 の光ビームの前記測定したパワー偏向の変化の直交する x 及び y 成分に 응답してそれぞれ X_1 及び Y_1 だけ変化する第 1 及び第 2 の信号を生成する第 1 の検出器を使用して行われ、

前記パワー偏向の変化の前記測定段階は、前記第 2 の光ビームの前記測定したパワー偏向の変化の直交する x 及び y 成分に 응답してそれぞれ X_2 及び Y_2 だけ変化する第 3 及び第 4 の信号を生成する第 2 の検出器を使用して行われ、

前記粒子に対する前記横方向の力の前記計算は、

$F_x = X_1 R_{D1} / c$ $R_{L2} + X_2 R_{D2} / c$ R_{L1} に従って前記横方向の力の第 1 の成分 F_x を計算する段階と、

$F_y = Y_1 R_{D1} / c$ $R_{L2} + Y_2 R_{D2} / c$ R_{L1} に従って前記横方向の力の第 2 の成分 F_y を計算する段階と、

を含み、

R_{D1} は、前記第 1 の検出器のパワー応答度、 R_{L1} は、該第 1 の検出器の正方形区域の半値幅であり、

R_{D2} は、前記第 2 の検出器のパワー応答度、 R_{L2} は、該第 2 の検出器の正方形区域の半値幅であり、

R_{L1} は、前記第 1 のレンズの焦点距離であり、

R_{L2} は、前記第 2 のレンズの焦点距離であり、

c は、光の速度である、

ことを特徴とする請求項 2 2 に記載の方法。

【請求項 2 6】

前記パワー集中の変化の前記測定段階は、前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記測定したパワー集中の変化に 응답して変化する第 1 及び第 2 の信号を生成する第 1 及び第 2 の検出器を使用して行われ、

前記粒子に対する前記縦方向の力の前記計算は、 n を前記第 1 及び第 2 の検出器の少なくとも一方のパワー応答度、 n を前記粒子の周りのバッファ流体の屈折率、及び c を光の速度とした時の n / c n を前記第 1 及び第 2 の信号に乘算する段階を含む、

ことを特徴とする請求項 2 2 に記載の方法。

【請求項 2 7】

前記パワー集中の変化の前記測定段階は、前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記測定したパワー集中の変化に 응답して変化する第 1 及び第 2 の信号を生成する第 1 及び第 2 の検出器を使用して行われ、

前記粒子に対する前記縦方向の力の前記計算は、 n を前記第 1 及び第 2 の検出器の少なくとも一方のパワー応答度、 n を前記粒子の周りのバッファ流体の屈折率、及び c を光の速度とした時の n / c n を前記第 1 及び第 2 の信号間の差に乘算する段階を含む、

ことを特徴とする請求項 2 2 に記載の方法。

【請求項 2 8】

前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記パワー集中の変化の前記測定段階は、第 1 及び第 2 の検出器を使用して行われ、

前記第 1 及び第 2 の光ビームの伝達率が該第 1 又は第 2 の光ビームの中心からの距離の関数として増加又は減少する方法で、該第 1 及び第 2 の光ビームを前記第 1 及び第 2 の光検出器に到着する前に減衰させる段階、

を更に含むことを特徴とする請求項 2 2 に記載の方法。

【請求項 2 9】

前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記伝達率は、 $\sqrt{1 - (r/nR_L)^2}$ に従って該第 1 又は第 2 の光ビームの前記中心からの距離 r の関数として減少することを特徴とする請求項 28 に記載の方法。

【請求項 30】

前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記集束段階は、第 1 及び第 2 のレンズを使用して行われ、

前記第 1 及び第 2 の光ビームは、第 1 及び第 2 の光ファイバを通じて前記第 1 及び第 2 のレンズに送出され、

前記第 1 及び第 2 の光ファイバの送出端部に力を及ぼし、かつそのピボット回転を引き起こす段階、

を更に含むことを特徴とする請求項 21 に記載の方法。

【請求項 31】

前記トラップ領域に入る前記粒子と前記第 1 の光ビームの前記測定したパワー集中の変化とにตอบสนองして Z_{1_empty} から Z_{1_full} まで変化する第 1 の信号を生成する段階と、

前記トラップ領域に入る前記粒子と前記第 2 の光ビームの前記測定したパワー集中の変化とにตอบสนองして Z_{2_empty} から Z_{2_full} まで変化する第 2 の信号を生成する段階と、

前記トラップ領域内の前記第 2 の光ビームの焦点に対して該トラップ領域内の前記第 1 の光ビームの焦点を移動させるために誤差信号 $\{(Z_1 + Z_2)_{full} - (Z_1 + Z_2)_{empty}\}$ を発生させる段階と、

を含むことを特徴とする請求項 21 に記載の方法。

【請求項 32】

前記誤差信号にตอบสนองして、前記第 1 のレンズ又は該第 1 のレンズに前記第 1 のビームを送出する光ファイバ端部を移動する段階、

を更に含むことを特徴とする請求項 31 に記載の方法。

【請求項 33】

粒子を捕捉するための光トラップ装置であって、

第 1 の光ビームを発生させるためのレーザ光源と、

粒子をトラップ領域に捕捉するために前記第 1 の光ビームを該トラップ領域に集束させるための第 1 のレンズと、

前記トラップ領域を通過して伝達された前記第 1 の光ビームを収集するための第 2 のレンズと、

を含み、

前記粒子は、前記第 1 の光ビームの一部分を反射して前記第 1 のレンズによって収集される第 2 の光ビームを作り出し、

前記トラップ領域を出る前記第 1 の光ビームのパワー偏向とパワー集中の変化を測定するための第 1 の検出器と、

前記トラップ領域を出る前記第 2 の光ビームのパワー偏向とパワー集中の変化を測定するための第 2 の検出器と、

を更に含むことを特徴とする装置。

【請求項 34】

前記第 1 の検出器は、第 1 のパワー偏向検出器と第 1 のパワー集中検出器を含み、

前記第 2 の検出器は、第 2 のパワー偏向検出器と第 2 のパワー集中検出器を含む、

ことを特徴とする請求項 33 に記載の光トラップ装置。

【請求項 35】

前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記パワー偏向の前記測定した変化に基づいて前記粒子に対する横方向の力を計算し、該第 1 及び第 2 の光ビームの前記パワー集中の前記測定した変化に基づいて該粒子に対する縦方向の力を計算するためのプロセッサ、

を更に含むことを特徴とする請求項 33 に記載の光トラップ装置。

【請求項 36】

前記第 1 及び第 2 の検出器は、前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記測定したパワー偏向

の変化にตอบสนองして変化する第 1 及び第 2 の信号を生成し、

前記プロセッサは、 R_L を前記第 1 及び第 2 のレンズの少なくとも一方の焦点距離及び c を光の速度とした時の比 $1/c R_L$ を前記第 1 及び第 2 の信号の前記変化に乘算することによって前記粒子に対する前記横方向の力を計算する、

ことを特徴とする請求項 35 に記載の光トラップ装置。

【請求項 37】

前記第 1 及び第 2 の検出器は、前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記測定したパワー偏向の変化にตอบสนองして変化する第 1 及び第 2 の信号を生成し、

前記プロセッサは、 ρ をパワー応答度、 R_D を前記第 1 及び第 2 の検出器の少なくとも一方の正方形区域の半値幅、 R_L を前記第 1 及び第 2 のレンズの少なくとも一方の焦点距離、及び c を光の速度とした時の比 $R_D/c R_L$ を前記第 1 及び第 2 の信号の前記変化に乘算することによって前記粒子に対する前記横方向の力を計算する、

ことを特徴とする請求項 35 に記載の光トラップ装置。

【請求項 38】

前記第 1 の検出器は、前記第 1 の光ビームの前記測定したパワー偏向の変化の直交する x 及び y 成分にตอบสนองしてそれぞれ X_1 及び Y_1 だけ変化する第 1 及び第 2 の信号を生成し、

前記第 2 の検出器は、前記第 2 の光ビームの前記測定したパワー偏向の変化の直交する x 及び y 成分にตอบสนองしてそれぞれ X_2 及び Y_2 だけ変化する第 3 及び第 4 の信号を生成し、

前記プロセッサは、

$F_x = X_1 R_{D1} / c R_{L2} + X_2 R_{D2} / c R_{L1}$ に従って前記横方向の力の第 1 の成分 F_x を計算し、

$F_y = Y_1 R_{D1} / c R_{L2} + Y_2 R_{D2} / c R_{L1}$ に従って前記横方向の力の第 2 の成分 F_y を計算する、

ことによって前記粒子に対する前記横方向の力を計算し、

ρ_1 は、前記第 1 の検出器のパワー応答度、 R_{D1} は、該第 1 の検出器の正方形区域の半値幅であり、

ρ_2 は、前記第 2 の検出器のパワー応答度、 R_{D2} は、該第 2 の検出器の正方形区域の半値幅であり、

R_{L1} は、前記第 1 のレンズの焦点距離であり、

R_{L2} は、前記第 2 のレンズの焦点距離であり、

c は、光の速度である、

ことを特徴とする請求項 35 に記載の光トラップ装置。

【請求項 39】

前記第 1 及び第 2 の検出器は、前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記測定したパワー集中の変化にตอบสนองして変化する第 1 及び第 2 の信号を生成し、

前記プロセッサは、 ρ を前記第 1 及び第 2 の検出器の少なくとも一方のパワー応答度、 n を前記粒子の周りのバッファ流体の屈折率、及び c を光の速度とした時の n/c を前記第 1 及び第 2 の信号の前記変化に乘算することによって該粒子に対する前記縦方向の力を計算する、

ことを特徴とする請求項 35 に記載の光トラップ装置。

【請求項 40】

前記第 1 の検出器は、前記第 1 の光ビームの前記測定したパワー集中の変化にตอบสนองして Z_1 だけ変化する第 1 の信号を生成し、

前記第 2 の検出器は、前記第 2 の光ビームの前記測定したパワー集中の変化にตอบสนองして Z_2 だけ変化する第 2 の信号を生成し、

前記プロセッサは、 n を前記粒子の周りのバッファ流体の屈折率、及び ρ を前記第 1 及び第 2 の検出器の少なくとも一方のパワー応答度とした時の $F_z = (n/c) (\rho (Z_1 - Z_2))$ に従って該粒子に対する前記縦方向の力 F_z を計算する、

ことを特徴とする請求項 3 5 に記載の光トラップ装置。

【請求項 4 1】

前記第 1 及び第 2 のパワー集中検出器の各々は、
フォトダイオード検出器と、
減衰器の中心からの距離の関数として光の伝達率 T が増加又は減少する円形伝達プロフィールを有する減衰器と、
を含む、
ことを特徴とする請求項 3 4 に記載の光トラップ装置。

【請求項 4 2】

前記減衰器の前記伝達率 T は、 $T = \text{sqrt}(1 - (r/nR_L)^2)$ に従って該減衰器の前記中心からの距離 r の関数として減少することを特徴とする請求項 4 1 に記載の光トラップ装置。

【請求項 4 3】

前記第 1 のレンズを移動して、該第 1 のレンズの焦点域を前記トラップ領域に位置合わせするためのステージ、
を更に含むことを特徴とする請求項 3 3 に記載の光トラップ装置。

【請求項 4 4】

前記第 1 のレンズに前記第 1 の光ビームを送出するための光ファイバと、
前記光ファイバの送出端部に力を及ぼしてそのピボット回転を引き起こすための少なくとも 1 つのアクチュエータと、
を更に含むことを特徴とする請求項 3 3 に記載の光トラップ装置。

【請求項 4 5】

前記光ファイバの送出端部をピボット回転させるために前記少なくとも 1 つのアクチュエータによって前記力が及ぼされるように該送出端部を取り囲んだ第 1 のチューブ、
を更に含むことを特徴とする請求項 4 4 に記載の光トラップ装置。

【請求項 4 6】

前記第 1 のチューブが前記少なくとも 1 つのアクチュエータによって移動される時に該第 1 のチューブが前記光ファイバの送出端部をピボット回転させるように、該送出端部を取り囲み、かつ該第 1 のチューブによって取り囲まれた第 2 のチューブ、
を更に含むことを特徴とする請求項 4 5 に記載の光トラップ装置。

【請求項 4 7】

前記第 1 及び第 2 のレンズと前記第 1 及び第 2 の検出器とが上に取り付けられたレールと、
前記レールに取り付けられて前記粒子を収容し、前記トラップ領域の中に延びている流体チャンバと、
を更に含むことを特徴とする請求項 3 3 に記載の光トラップ装置。

【請求項 4 8】

前記レールと前記第 1 及び第 2 のレンズと前記第 1 及び第 2 の検出器と前記流体チャンバとを収容するハウジングと、
前記ハウジングの内部を所定の温度に維持するための加熱装置と、
を更に含むことを特徴とする請求項 4 7 に記載の光トラップ装置。

【請求項 4 9】

前記流体チャンバは、前記第 1 及び第 2 のレンズと同じ高さ又はそれよりも下に取り付けられていることを特徴とする請求項 4 7 に記載の光トラップ装置。

【請求項 5 0】

前記第 1 及び第 2 の検出器の各々は、受光素子の 2 次元アレイを含むことを特徴とする請求項 3 3 に記載の光トラップ装置。

【請求項 5 1】

粒子を捕捉する方法であって、
第 1 の光ビームを発生させる段階と、

粒子をトラップ領域に捕捉するために前記第 1 の光ビームを該トラップ領域に集束させる段階と、

を含み、

前記粒子は、前記第 1 の光ビームの一部を反射して第 2 の光ビームを作り出し、

前記トラップ領域を出る前記第 1 及び第 2 の光ビームのパワー偏向の変化を測定する段階と、

前記トラップ領域を出る前記第 1 及び第 2 の光ビームのパワー集中の変化を測定する段階と、

を更に含むことを特徴とする方法。

【請求項 5 2】

前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記パワー偏向の前記測定した変化に基づいて前記粒子に対する横方向の力を計算する段階と、

前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記パワー集中の前記測定した変化に基づいて前記粒子に対する縦方向の力を計算する段階と、

を更に含むことを特徴とする請求項 5 1 に記載の方法。

【請求項 5 3】

前記第 1 の光ビームの前記集束段階は、第 1 のレンズによって行われ、それによって該集束された第 1 の光ビームは、第 2 のレンズによって収集され、かつ前記第 2 の光ビームは、該第 1 のレンズによって収集されることになり、

前記パワー偏向の変化の前記測定段階は、前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記測定したパワー偏向の変化にตอบสนองして変化する第 1 及び第 2 の信号を生成する第 1 及び第 2 の検出器を使用して行われ、

前記粒子に対する前記横方向の力の前記計算は、 R_L を前記第 1 及び第 2 のレンズの少なくとも一方の焦点距離及び c を光の速度とした時の比 $1/c R_L$ を前記第 1 及び第 2 の信号の前記変化に乗算する段階を含む、

ことを特徴とする請求項 5 2 に記載の方法。

【請求項 5 4】

前記第 1 の光ビームの前記集束段階は、第 1 のレンズによって行われ、それによって該集束された第 1 の光ビームは、第 2 のレンズによって収集され、かつ前記第 2 の光ビームは、該第 1 のレンズによって収集されることになり、

前記パワー偏向の変化の前記測定段階は、前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記測定したパワー偏向の変化にตอบสนองして変化する第 1 及び第 2 の信号を生成する第 1 及び第 2 の検出器を使用して行われ、

前記粒子に対する前記横方向の力の前記計算は、 R_D をパワー応答度、 R_D を前記第 1 及び第 2 の検出器の少なくとも一方の正方形区域の半値幅、 R_L を前記第 1 及び第 2 のレンズの少なくとも一方の焦点距離、及び c を光の速度とした時の比 $R_D/c R_L$ を前記第 1 及び第 2 の信号の前記変化に乗算する段階を含む、

ことを特徴とする請求項 5 2 に記載の方法。

【請求項 5 5】

前記第 1 の光ビームの前記集束段階は、第 1 のレンズによって行われ、それによって該集束された第 1 の光ビームは、第 2 のレンズによって収集され、かつ前記第 2 の光ビームは、該第 1 のレンズによって収集されることになり、

前記パワー偏向の変化の前記測定段階は、前記第 1 の光ビームの前記測定したパワー偏向の変化の直交する x 及び y 成分にตอบสนองしてそれぞれ X_1 及び Y_1 だけ変化する第 1 及び第 2 の信号を生成する第 1 の検出器を使用して行われ、

前記パワー偏向の変化の前記測定段階は、前記第 2 の光ビームの前記測定したパワー偏向の変化の直交する x 及び y 成分にตอบสนองしてそれぞれ X_2 及び Y_2 だけ変化する第 3 及び第 4 の信号を生成する第 2 の検出器を使用して行われ、

前記粒子に対する前記横方向の力の前記計算は、

$F_x = X_1 R_{D1} / c_1 R_{L2} + X_2 R_{D2} / c_2 R_{L1}$ に従って前記横方向の力の第 1 の

成分 F_x を計算する段階と、

$F_y = Y_1 R_{D1} / c_{L2} + Y_2 R_{D2} / c_{L1}$ に従って前記横方向の力の第 2 の成分 F_y を計算する段階と、

を含み、

Y_1 は、前記第 1 の検出器のパワー応答度、 R_{D1} は、該第 1 の検出器の正方形区域の半値幅であり、

Y_2 は、前記第 2 の検出器のパワー応答度、 R_{D2} は、該第 2 の検出器の正方形区域の半値幅であり、

R_{L1} は、前記第 1 のレンズの焦点距離であり、

R_{L2} は、前記第 2 のレンズの焦点距離であり、

c は、光の速度である、

ことを特徴とする請求項 5 2 に記載の方法。

【請求項 5 6】

前記パワー集中の変化の前記測定段階は、前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記測定したパワー集中の変化にตอบสนองして変化する第 1 及び第 2 の信号を生成する第 1 及び第 2 の検出器を使用して行われ、

前記粒子に対する前記縦方向の力の前記計算は、 Y_1 を前記第 1 及び第 2 の検出器の少なくとも一方のパワー応答度、 n を前記粒子の周りのバッファ流体の屈折率、及び c を光の速度とした時の n/c を前記第 1 及び第 2 の信号に乗算する段階を含む、

ことを特徴とする請求項 5 2 に記載の方法。

【請求項 5 7】

前記パワー集中の変化の前記測定段階は、前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記測定したパワー集中の変化にตอบสนองして変化する第 1 及び第 2 の信号を生成する第 1 及び第 2 の検出器を使用して行われ、

前記粒子に対する前記縦方向の力の前記計算は、 $Y_1 - Y_2$ を前記第 1 及び第 2 の検出器の少なくとも一方のパワー応答度、 n を前記粒子の周りのバッファ流体の屈折率、及び c を光の速度とした時の n/c を前記第 1 及び第 2 の信号間の差に乗算する段階を含む、

ことを特徴とする請求項 5 2 に記載の方法。

【請求項 5 8】

前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記パワー集中の変化の前記測定段階は、第 1 及び第 2 の検出器を使用して行われ、

前記第 1 及び第 2 の光ビームの伝達率が該第 1 又は第 2 の光ビームの中心からの距離の関数として増加又は減少する方法で、該第 1 及び第 2 の光ビームを前記第 1 及び第 2 の検出器に到着する前に減衰させる段階、

を更に含むことを特徴とする請求項 5 2 に記載の方法。

【請求項 5 9】

前記第 1 及び第 2 の光ビームの前記伝達率は、 $\sqrt{1 - (r/nR_L)^2}$ に従って該第 1 又は第 2 の光ビームの前記中心からの距離 r の関数として減少することを特徴とする請求項 5 8 に記載の方法。

【請求項 6 0】

前記第 1 の光ビームの前記集束段階は、レンズを使用して行われ、

前記第 1 の光ビームは、光ファイバを通じて前記レンズに送出され、

前記光ファイバの送出端部に力を及ぼし、かつそのピボット回転を引き起こす段階、

を更に含むことを特徴とする請求項 5 1 に記載の方法。