

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2010年7月1日(01.07.2010)

PCT



(10) 国際公開番号
WO 2010/074148 A1

- (51) 国際特許分類:
G02F 1/01 (2006.01) G02F 1/13 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/071439
- (22) 国際出願日: 2009年12月24日(24.12.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2008-330343 2008年12月25日(25.12.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 浜松ホトニクス株式会社(HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 松本 直也 (MATSUMOTO Naoya) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 安藤 太郎 (ANDO Taro) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 井上 卓 (INOUE Takashi) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 大竹 良幸 (OHTAKE

Yoshiyuki) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).

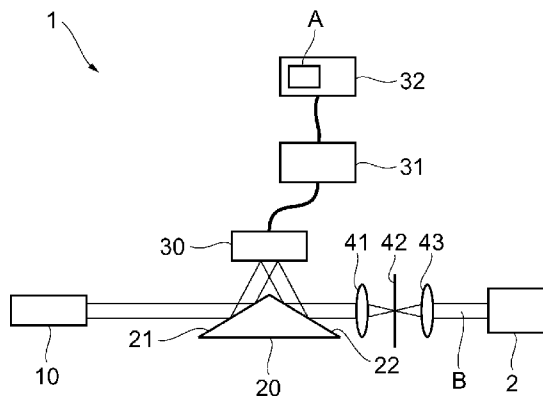
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiaki et al.); 〒1040061 東京都中央区銀座一丁目10番6号銀座ファーストビル 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,

[続葉有]

(54) Title: LIGHT CONTROL DEVICE AND LIGHT CONTROL METHOD

(54) 発明の名称: 光制御装置および光制御方法

[図1]



(57) Abstract: A light control device (1) is provided with a light source (10), a prism (20), a spatial light modulator (30), a drive unit (31), a control unit (32), a lens (41), an aperture (42), and a lens (43). The spatial light modulator (30) is of a phase modulation type, comprises a plurality of pixels which are two-dimensionally arranged, is capable of phase modulation in the range of 4π or more in each of the plurality of pixels, and presents a phase pattern for modulating the phase of light in each of the plurality of pixels. The phase pattern is configured by superimposing a blazed grating pattern for light diffraction and a phase pattern having a predetermined phase modulation distribution, and the phase modulation range thereof is 2π or more.

(57) 要約: 光制御装置1は、光源10、プリズム20、空間光変調器30、駆動部31、制御部32、レンズ41、アパーチャ42、レンズ43を備える。空間光変調器30は、位相変調型のものであって、2次元配列された複数の画素を有し、これら複数の画素それぞれにおける位相変調が 4π 以上の範囲で可能であり、複数の画素それぞれにおいて光の位相を変調する位相パターンを呈示する。この位相パターンは、光回折の為のブレイズドグレーティングパターンと、所定の

位相変調分布を有する位相パターンとが重畳されてなり、位相変調範囲が 2π 以上である。

WO 2010/074148 A1



CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, 添付公開書類:
TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 光制御装置および光制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、光制御装置および光制御方法に関するものである。

背景技術

[0002] 空間光変調器は、2次元配列された複数の画素それぞれにおいて入力光の強度または位相を変調することができる。このような空間光変調器として、強度のみを変調することができる強度変調型のものと、位相のみを変調することができる位相変調型のものと、強度および位相の双方を変調することができる強度位相変調型のものがある。空間光変調器の各画素において強度または位相が変調されて出力された光は、例えば、空間光変調器の後段に設けられた集光光学系により集光されて、その集光位置に存在する対象物を加工することができる。

[0003] 強度変調型の空間光変調器は、画素毎に入力光の透過率を調整するものであり、透過させなかった部分の光を利用することができないので、光の利用効率が悪い。強度位相変調型の空間光変調器は、各画素における強度変調と位相変調とを互いに独立に制御することが容易でなく、取り扱いが困難である。

[0004] 一方、位相変調型の空間光変調器は、画素毎に入力光の位相変化を調整するものであり、殆ど全ての光を出力することができるので、光の利用効率が低い。また、位相変調型の空間光変調器は、計算機プログラムなどから作成される位相パターンを呈示することにより、出力光のビーム断面における位相分布の自由度が高く、集光光学系による出力光の集光位置の自由度が高い。このような位相変調型の空間光変調器を用いた光制御の用途としては、加工対象物の表面や内部の加工や、ラゲールガウシアンモード光の生成などが挙げられる。

[0005] また、位相変調型の空間光変調器において画素ごとに位相変調される出力

される光の強度を変調できることが知られている（非特許文献 1 を参照）。これは、光回折の為のブレードグレーティングパターンと所定の位相変調分布を有する位相パターンとが重畳されてなる位相パターンを位相変調型の空間光変調器に呈示させ、ブレードグレーティングパターンを調整することにより空間光変調器における光回折効率を調整するものである。これによれば、空間光変調器により回折されて出力される光は、そのビーム断面において所望の強度分布および位相分布を有することができるとされている。

[0006] また、一般に、光波の位相 α と位相 $(\alpha + 2n\pi)$ とは同等であるので、空間光変調器の各画素における光位相変調は 2π の範囲で可能であれば充分であるとされている。ここで、 n は任意の整数である。例えば、位相変調量が 2π を超える場合には、その位相変調量に対して $2n\pi$ を加減算すること（「位相折りたたみ」という。）で位相変調量を 0 から 2π までの範囲内の値とすればよい。このように位相折りたたみされた後の位相変調量が空間光変調器の各画素の位相変調量とされても、原理的には何ら問題が生じることはないとされている。

[0007] 従来の空間光変調器は位相変調範囲 2π を有するように設定されている。これは、空間光変調器における位相変調範囲が 2π であれば、位相パターンにおいて位相折りたたみを行うことで原理的には 2π 超の位相変調をも表現できるからである。また、空間光変調器が 2π 超の位相変調範囲を有することは、冗長であるだけでなく、入力階調値と位相変調量との間の関係における分解能の低下や応答速度の低下が起こるからである。

先行技術文献

非特許文献

[0008] 非特許文献1: Joseph P. Kirk and Alan L. Jones, "Phase-only complex-value spatial filter", Journal of the optical society of America, Vol. 61, No. 8, 1971

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] ところで、本発明者は、ブレードグレーティングパターンと所定の位相変調分布を有する位相パターンとが重畳されてなる位相パターンを位相変調型の空間光変調器に呈示させて、この空間光変調器において画素ごとに位相変調される出力される光の強度を変調できることを利用して、様々な研究開発を行っている。本発明者は、その研究開発の際に、空間光変調器から出力される光のビーム断面における強度分布および位相分布が所望のものとは異なる現象が生じる場合があること、すなわち、空間光変調器から出力される光のビーム品質が低下する現象が生じる場合があることを見出した。そして、本発明者は、その現象が位相折りたたみに因るものであることを見出した。

[0010] 本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、ブレードグレーティングパターンと所定の位相変調分布を有する位相パターンとが重畳されてなる位相パターンを位相変調型の空間光変調器に呈示させる技術において所望のビーム断面を有する光を得ることができる光制御装置および光制御方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明に係る光制御装置は、(1) 光を出力する光源と、(2) 2次元配列された複数の画素それぞれにおける位相変調が 4π 以上の範囲で可能であり、光源から出力された光を入力し、複数の画素それぞれにおいて光の位相を変調する位相パターンを呈示して、この位相パターンにより位相変調した後の光を出力する位相変調型の空間光変調器と、(3) 光回折の為のブレードグレーティングパターンと所定の位相変調分布を有する位相パターンとが重畳されて位相変調範囲が 2π 以上である位相パターンを空間光変調器に呈示させ、ブレードグレーティングパターンを調整することにより空間光変調器における光回折効率を調整する制御部と、を備えることを特徴とする。

[0012] 本発明に係る光制御装置では、制御部は、特定指数のラゲールガウシアンモード光のビーム断面における強度分布に応じた光回折効率分布を有するブ

レーズドグレーティングパターンと、ラゲールガウシアンモード光のビーム断面における位相分布に応じた位相変調分布を有する位相パターンとが重畳された位相パターンを、空間光変調器に呈示させるのが好適である。

[0013] また、本発明に係る光制御装置では、制御部は、ビーム断面において特定の強度分布および位相分布を有する光の該強度分布に応じた光回折効率分布を有するブレーズドグレーティングパターンと、位相分布に応じた位相変調分布を有する位相パターンとが重畳された位相パターンを、空間光変調器に呈示させるのが好適である。

[0014] 本発明に係る光制御方法は、(1) 光を出力する光源と、(2) 2次元配列された複数の画素それぞれにおける位相変調が 4π 以上の範囲で可能であり、光源から出力された光を入力し、複数の画素それぞれにおいて光の位相を変調する位相パターンを呈示して、この位相パターンにより位相変調した後の光を出力する位相変調型の空間光変調器と、を用い、(3) 光回折の為のブレーズドグレーティングパターンと所定の位相変調分布を有する位相パターンとが重畳されてなり位相変調範囲が 2π 以上である位相パターンを空間光変調器に呈示させ、ブレーズドグレーティングパターンを調整することにより空間光変調器における光回折効率を調整することを特徴とする。

[0015] 本発明に係る光制御方法は、特定指数のラゲールガウシアンモード光のビーム断面における強度分布に応じた光回折効率分布を有するブレーズドグレーティングパターンと、ラゲールガウシアンモード光のビーム断面における位相分布に応じた位相変調分布を有する位相パターンとが重畳された位相パターンを、空間光変調器に呈示させるのが好適である。

[0016] また、本発明に係る光制御方法は、ビーム断面において特定の強度分布および位相分布を有する光の該強度分布に応じた光回折効率分布を有するブレーズドグレーティングパターンと、位相分布に応じた位相変調分布を有する位相パターンとが重畳された位相パターンを、空間光変調器に呈示させるのが好適である。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、ブレードグレーティングパターンと所定の位相変調分布を有する位相パターンとが重畳されてなる位相パターンを位相変調型の空間光変調器に呈示させる技術において所望のビーム断面を有する光を得ることができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]光制御装置 1 の構成図である。

[図2] ブレードグレーティングパターンを示す図である。

[図3] ブレードグレーティングパターンにおける位相変調分布の一例を示す図である。

[図4] 実際の空間光変調器に呈示されたブレードグレーティングパターンにおける k 値と回折効率との関係を示すグラフである。

[図5] ブレードグレーティングパターンにおける位相変調分布の一例を示す図である。

[図6] ブレードグレーティングパターンにおける各画素の位相変調量の一例を示す図表である。

[図7] 位相パターンにおける位相変調分布の一例を示す図である。

[図8] ブレードグレーティングパターン（図 5，図 6）と所定の位相変調分布を有する位相パターン（図 7）とが重畳された位相パターンにおける位相変調分布を示す図である。

[図9] 位相パターン ϕ_{result} （図 8）に対して位相折りたたみを行った後の位相パターンにおける位相変調分布を示す図である。

[図10] 比較例の場合に空間光変調器から出力された光のビーム断面における強度分布の一例を示す図である。

[図11] $L G_{1,3}$ 光のビーム断面における強度分布を示す図である。

[図12] $L G_{1,3}$ 光のビーム断面における強度分布（図 11）を得るためのブレードグレーティングパターン ϕ_{grating} を示す図である。

[図13] $L G_{1,3}$ 光のビーム断面における位相分布を得るための所望位相パターン ϕ_{desire} を示す図である。

[図14]本実施形態により生成された $LG_{1,3}$ 光のビーム断面における強度分布を示す図である。

[図15]比較例により生成された $LG_{1,3}$ 光のビーム断面における強度分布を示す図である。

[図16]ビーム整形前の強度分布およびビーム整形後の強度分布の一例を示す図である。

符号の説明

[0019] 1…光制御装置、2…撮像装置、10…光源、20…プリズム、30…空間光変調器、31…駆動部、32…制御部、41…レンズ、42…アパーチャ、43…レンズ。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、添付図面を参照して、本発明を実施するための最良の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

[0021] 図1は、光制御装置1の構成図である。この図に示される光制御装置1は、光源10、プリズム20、空間光変調器30、駆動部31、制御部32、レンズ41、アパーチャ42およびレンズ43を備える。なお、この図には光制御装置1に加えて撮像装置2も示されている。

[0022] 本発明において用いられる位相変調型の空間光変調器は、反射型のものであってもよいし、透過型のものであってもよい。反射型の空間光変調器としては、LCOS (Liquid Crystal on Silicon) 型、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 型および光アドレス型の何れであってもよい。また、透過型の空間光変調器としてはLCD (LiquidCrystal Display) 等であってもよい。図1では、空間光変調器30として反射型のものが示されている。

[0023] 光源10は、空間光変調器30により位相変調されるべき光を出力するものであり、好適にはレーザ光源であり、フェムト秒レーザ光源やNd:YAGレーザ光源などのパルスレーザ光源であってもよいし、He-NeなどのC

Wレーザ光源であってもよい。光源 10 から出力された光は、スペイシャルフィルタを経た後にコリメートレンズによりコリメートされるのが好ましい。

[0024] プリズム 20 は、第 1 反射面 21 および第 2 反射面 22 を有する。プリズム 20 の第 1 反射面 21 は、光源 10 から出力された光を入力して、その光を空間光変調器 30 へ反射させる。プリズム 20 の第 2 反射面 22 は、空間光変調器 30 から出力された光を入力して、その光をレンズ 41 へ反射させる。

[0025] 空間光変調器 30 は、位相変調型のものであって、2次元配列された複数の画素を有し、これら複数の画素それぞれにおける位相変調が 4π 以上の範囲で可能であり、複数の画素それぞれにおいて光の位相を変調する位相パターンを呈示することができる。空間光変調器 30 は、光源 10 から出力されプリズム 20 の第 1 反射面 21 で反射されて到達した光を入力し、この位相パターンにより位相変調した後の光をプリズム 20 の第 2 反射面 22 へ出力する。この空間光変調器 30 において呈示される位相パターンは、例えば数値計算により求められた計算機ホログラム (CGH: Computer Generated Hologram) などがある。

[0026] 駆動部 31 は、空間光変調器 30 の 2次元配列された複数の画素それぞれにおける位相変調量を設定するものであり、その画素毎の位相変調量設定のための信号を空間光変調器 30 に与える。駆動部 31 は、空間光変調器 30 の 2次元配列された複数の画素それぞれにおける位相変調量を設定することで、空間光変調器 30 に位相パターンを呈示させる。

[0027] 制御部 32 は、例えばコンピュータで構成され、駆動部 31 の動作を制御することで、駆動部 31 から空間光変調器 30 へ位相パターンを書き込ませる。すなわち、空間光変調器 30 に呈示させるべき位相パターン A を記憶し、或いは、その位相パターン A を作成して、その位相パターン A を駆動部 31 から空間光変調器 30 へ書き込ませる。

[0028] この位相パターン A は、光回折の為のブレードグレーティングパターン

と、所定の位相変調分布を有する位相パターンと、が重畳されてなる。この所定の位相変調分布を有する位相パターンは、光ビーム断面において所望の位相分布を実現するための成分を含み、また、光制御装置 1 における光学系の位相歪みを補正するための成分を更に含むのも好適である。また、この位相パターン A は、位相変調範囲が 2π 以上である。ブレードグレーティングパターンを調整することにより空間光変調器 30 における光回折効率を調整することができる。

[0029] レンズ 41 は、空間光変調器 30 から出力されプリズム 20 の第 2 反射面 22 で反射された光を入力する。レンズ 41 とレンズ 43 とは 4 f 光学系を構成していて、両者の間の焦点位置にアパーチャ 42 の開口が配置されている。このアパーチャは空間光変調器 30 によって回折した光のうち所望の次数の回折光のみを通過するように配置されている。

[0030] 撮像装置 2 は、光制御装置 1 のレンズ 43 から出力された光 B を受光し、その光 B のビーム断面における強度分布を取得する。撮像装置 2 は、光制御装置 1 から出力される光の品質を観察するためのものである。なお、加工などに用いる際には、レンズ 43 の後段に新たにレンズを配置し、その集光点位置に加工対象物を配置する。

[0031] この光制御装置 1 の概略動作は以下のとおりである。制御部 32 により制御された駆動部 31 により、ブレードグレーティングパターンと位相パターンとが重畳されてなる位相パターンが空間光変調器 30 に呈示される。光源 10 から出力された光は、プリズム 20 の第 1 反射面 21 で反射されて、空間光変調器 30 に入力される。

[0032] 空間光変調器 30 に入力された光は、空間光変調器 30 に呈示された位相パターンのうちブレードグレーティングパターンにより回折されて出力される。その光回折の際の回折効率は、ブレードグレーティングパターンの形状によって異なり、また、空間光変調器 30 の入射面上の位置によって異なる場合がある。また、空間光変調器 30 から回折されて出力された光は、空間光変調器 30 に呈示された位相パターンのうち所定の位相変調分布を有

する位相パターンにより位相変調されたものとなっている。

[0033] 空間光変調器 30 から出力された光は、プリズム 20 の第 2 反射面 22 で反射され、レンズ 41、アパーチャ 42 およびレンズ 43 を経て、撮像装置 2 により受光されて光ビーム断面における強度分布が取得される。このとき、レンズ 41、アパーチャ 42 およびレンズ 43 は、空間光変調器 30 から出力される光のうち所望の回折次数の回折光を選択的に通過させる構成とされている。したがって、レンズ 43 から撮像装置 2 へ出力される光 B は、所望の強度分布および位相分布を有する光となっている。

[0034] 次に、空間光変調器 30 に呈示される位相パターンについて詳細に説明する。この位相パターンは、光回折の為にブレードグレーティングパターンと、所定の位相変調分布を有する位相パターンと、が重畳されてなる。図 2 は、ブレードグレーティングパターンを示す図である。この図では、各画素の位相変調量（変調幅 2π ）が濃淡で示されている。このようなブレードグレーティングパターンが呈示された空間光変調器 30 に対して光が入力されると、その光は回折される。その光回折の際の回折効率、ブレードグレーティングパターンの形状によって異なる。

[0035] 空間光変調器 30 の光入射面上の特定方向に沿った N 画素を 1 周期とするブレードグレーティングパターン ϕ_{grating} は、下記（1）式で表される。ここで、 n は、特定方向に沿った周期内の画素位置を表す。 k は、0 以上 1 以下の値をとり得る。したがって、ブレードグレーティングパターン ϕ_{grating} の位相変調範囲は、 2π 以下である $2k\pi$ である。

[0036] [数1]

$$\phi_{\text{grating}}(n) = 2\pi \cdot k \frac{n - N/2}{N} \quad \dots (1)$$

[0037] このブレードグレーティングパターン ϕ_{grating} の理論的な回折効率 $I_{+1\text{th}}$ は、下記（2）式で表され、 k 値によって異なる。 k が値 1 であるときに、理論的な回折効率 $I_{+1\text{th}}$ は最大値 1 となる。

[0038]

[数2]

$$I_{+1th} = \frac{\sin(\pi(1-k))}{\pi(1-k)} \quad \dots (2)$$

[0039] したがって、空間光変調器 30 の光入射面において k 値が一様ではなく分布していれば、空間光変調器 30 の光入射面における光回折効率も分布したものとなる。図 3 は、ブレードグレーティングパターン ϕ_{grating} における位相変調分布の一例を示す図である。この図において、横軸は画素位置を表す。この図に示される例のように、右に向うほど k 値が大きい場合には、右に向うほど回折効率が高くなる。図 4 は、実際の空間光変調器に呈示されたブレードグレーティングパターン ϕ_{grating} における k 値と回折効率との関係を示すグラフである。この図に示されるように、 k 値が大きいほど回折効率は高い。なお、回折角は k 値に依存しない。

[0040] 空間光変調器 30 に呈示される位相パターン ϕ_{result} は、上記のようなブレードグレーティングパターン ϕ_{grating} と、位相パターンとしての所望位相パターン ϕ_{desire} とが重畳されたものであって、下記 (3) 式で表される。或いは、空間光変調器 30 に呈示される位相パターン ϕ_{result} は、上記のようなブレードグレーティングパターン ϕ_{grating} と、位相パターンとしての所望位相パターン ϕ_{desire} および歪み補正パターン $\phi_{\text{correction}}$ とが重畳されたものであって、下記 (4) 式で表される。

[0041] [数3]

$$\phi_{\text{result}} = \phi_{\text{grating}} + \phi_{\text{desire}} \quad \dots (3)$$

[0042] [数4]

$$\phi_{\text{result}} = \phi_{\text{grating}} + \phi_{\text{desire}} + \phi_{\text{correction}} \quad \dots (4)$$

[0043] 所望位相パターン ϕ_{desire} は、光ビーム断面において所望の位相分布を実現するためのパターンであり、その位相変調範囲が 2π 以下である。また、歪み補正パターン $\phi_{\text{correction}}$ は、光制御装置 1 における光学系の位相歪みを補正するためのパターンであり、一般に位相変調範囲が数 π 程度である。光制御装置

1における光学系の位相歪みは、プリズム20の第1反射面21および第2反射面22、空間光変調器30ならびにレンズ41, 43に存在し得る。このような位相パターン ϕ_{result} が呈示された空間光変調器30から回折されて出力された光は、そのビーム断面において所望の強度分布および位相分布を有するものとなる。

[0044] 以下では、説明を簡便化するために、上記(3)式および(4)式を下記(5)式で表すことにする。この(5)式中の位相パターン ϕ_{phase} は、(3)式中の所望位相パターン ϕ_{desired} であり、或いは、(4)式中の所望位相パターン ϕ_{desired} と歪み補正パターン $\phi_{\text{correction}}$ との和である。

[0045] [数5]

$$\phi_{\text{result}} = \phi_{\text{grating}} + \phi_{\text{phase}} \quad \dots(5)$$

[0046] 本実施形態においては空間光変調器30に呈示される位相パターン ϕ_{result} は、位相変調範囲が 2π 以上である。この位相パターン ϕ_{result} に含まれるブレードグレーティングパターン ϕ_{grating} の一例として、図5および図6に示されるものを考える。図5は、ブレードグレーティングパターンにおける位相変調分布の一例を示す図である。この図において、横軸は画素位置を表す。また、図6は、ブレードグレーティングパターンにおける各画素の位相変調量の一例を示す図表である。このブレードグレーティングパターン ϕ_{grating} では、 k 値が0.5であり、 N 値が8であり、隣接する2画素の間の位相変調量の差が 0.125π である。図5では、ブレードグレーティングパターン ϕ_{grating} の略6周期分が示されている。

[0047] また、位相パターン ϕ_{result} に含まれる位相パターン ϕ_{phase} の一例として、図7に示されるものを考える。図7は、位相パターンにおける位相変調分布の一例を示す図である。この図において、横軸は画素位置を表す。この位相パターン ϕ_{phase} は、位相変調量が0である部分と、位相変調量が 1.25π である部分とを含む。

[0048] 図8は、ブレードグレーティングパターン ϕ_{grating} (図5, 図6) と位相パターン ϕ_{phase} (図7) とが重畳された位相パターン ϕ_{result} における位相変調

分布を示す図である。この図において、横軸は画素位置を表す。この図に示される位相パターン ϕ_{result} では、位相変調範囲が 2π 以上となっている。

[0049] 図9は、位相パターン ϕ_{result} （図8）に対して位相折りたたみを行った後の位相パターンにおける位相変調分布を示す図である。この図においても、横軸は画素位置を表す。位相折りたたみ後の位相パターン（図9）における位相変調分布では、位相折りたたみ前の位相パターン ϕ_{result} （図8）のうち位相変調量が 2π を超える画素について該位相変調量から 2π が減じられたものとなっていて、各画素における位相変調量が0から 2π までの範囲にある。

[0050] 位相変調範囲が 4π 以上である空間光変調器30が用いられる本実施形態の場合、その空間光変調器30には位相折りたたみ前の位相パターン（図8）が呈示される。これに対して、位相変調範囲が 2π である空間光変調器が用いられる比較例の場合、その空間光変調器には位相折りたたみ後の位相パターン（図9）が呈示される。

[0051] 位相折りたたみ前の位相パターン（図8）と位相折りたたみ後の位相パターン（図9）とは、原理的には互いに同等の効果を有する。しかし、実際の空間光変調器においては、隣接する2画素の間で位相変調量の差が大きい部分には、折りたたみ領域（flyback region）と呼ばれる位相がなまって正しく表示されない領域が存在する。すなわち、位相折りたたみ前の位相パターン（図8）と比べて、位相折りたたみ後の位相パターン（図9）では、図中で矢印により示される位置に折りたたみ領域が存在することになり、これにより所望の強度分布および位相分布を有する光を得ることができない。

[0052] 位相変調範囲が 2π である空間光変調器に位相折りたたみ後の位相パターン（図9）が呈示される比較例の場合に、位相折りたたみ前には隣接する2画素の間で位相変調量の差が僅かであったものが、位相折りたたみ後には該2画素の間の位相変調量の差が略 2π になる。このような位相折りたたみ後の位相パターンを現実の空間光変調器に呈示させると、その空間光変調器において隣接2画素間で位相変調量の差が大きい部分で、その位相変調量が急峻に変化しきれず、隣接2画素間でクロストークが生じる。このようなクロ

ストークが存在する部分（折りたたみ領域）は、隣接 2 画素間で位相変調量の略 2π の段差があり且つ折りたたみ領域がブレードグレーティングパターンの周期構造内に存在する場合において特に顕著な影響を及ぼすと考えられる。

[0053] 空間光変調器に呈示される位相パターンにおける位相変調量変化が比較的滑らかな場合には、折りたたみ領域が少なく、空間光変調器から出力される光のビーム断面における強度分布および位相分布に対して折りたたみ領域が与える影響はおおむね無視できる。

[0054] 図 10 は、比較例の別の一例として空間光変調器から出力された光のビーム断面における強度分布の一例を示す図である。ここで空間光変調器に呈示される位相パターンは、ブレードグレーティングパターン ϕ_{grating} と所望位相パターン ϕ_{desired} とが重畳されたもので、空間光変調器から出力される光のビーム断面における強度分布が均一になることを意図したものである。意図した光のビーム断面における強度分布は、図中の黒い領域が全面に亘る筈である。しかし、実際に得られた光のビーム断面における強度分布は、上記の意図に反して、強度が強い領域（図中の白い領域）が存在する。これは、ブレードグレーティングパターン ϕ_{grating} が多くの折りたたみ領域を有する上に、これに所望位相パターン ϕ_{desired} および歪み補正パターン $\phi_{\text{correction}}$ が重畳されてなる位相パターン ϕ_{result} が更に多くの折りたたみ領域を有するためである。

[0055] 比較例において、出力光のビーム断面において実際に不具合が見られた部分は、位相パターンで位相変調量が急峻に変化している場所と一致している。現実の空間光変調器では出力光の品質低下が無視できない問題となる。このように、比較例では、折りたたみ領域の影響により、所望の強度分布および位相分布を有する光を得ることができない。

[0056] これに対して、本実施形態では、各画素で位相変調範囲が 4π 以上である空間光変調器 30 に、位相変調範囲が 2π を超える位相パターン（例えば図 8）を呈示する。したがって、位相折りたたみを行う必要がなく、ビーム断面において所望の強度分布および位相分布を有する光を得ることができる。

- [0057] 次に、本実施形態に係る光制御装置 1 を用いてラゲールガウシアンモード光を生成する場合について説明する。ラゲールガウシアンモード光は、ビーム断面において動径指数および偏角指数により特定される強度分布および位相分布を有している。以下では、動径指数が 1 であって偏角指数が 3 であるラゲールガウシアンモード光（以下「 $L G_{1,3}$ 光」と記す。）を生成する場合について説明する。
- [0058] 図 1 1 は、 $L G_{1,3}$ 光のビーム断面における強度分布を示す図である。ビーム断面における強度分布が同図に示されるような分布となるように、ブレードグレーティングパターン ϕ_{grating} が設定される。図 1 2 は、 $L G_{1,3}$ 光のビーム断面における強度分布（図 1 1）を得るためのブレードグレーティングパターン ϕ_{grating} を示す図である。また、図 1 3 は、 $L G_{1,3}$ 光のビーム断面における位相分布を得るための所望位相パターン ϕ_{desire} を示す図である。図 1 2 および図 1 3 それぞれにおいて、各画素の位相変調量が濃淡で示されている。
- [0059] 空間光変調器 30 により $L G_{1,3}$ 光を生成するための位相パターン ϕ_{result} は、上記のブレードグレーティングパターン ϕ_{grating} と所望位相パターン ϕ_{desire} とが重畳され、さらに歪み補正パターン $\phi_{\text{correction}}$ が重畳されたものである。この位相パターン ϕ_{result} が空間光変調器 30 に呈示される。この位相パターン ϕ_{result} は通常は 2π を超える位相変調範囲となっている。
- [0060] 本実施形態では、位相変調範囲が 4π 以上である空間光変調器 30 が用いられるので、位相パターン ϕ_{result} に対して位相折りたたみを行う必要がなく、所望の強度分布および位相分布を有する $L G_{1,3}$ 光を得ることができる。これに対して、比較例では、位相変調範囲が 2π である空間光変調器が用いられるので、その空間光変調器には位相折りたたみ後の位相パターンが呈示され、それ故、所望の強度分布および位相分布を有する $L G_{1,3}$ 光を得ることができない。
- [0061] 図 1 4 は、本実施形態により生成された $L G_{1,3}$ 光のビーム断面における強度分布を示す図である。また、図 1 5 は、比較例により生成された $L G_{1,3}$ 光のビーム断面における強度分布を示す図である。両者を対比して判るように、比

較例により生成された $L G_{1,3}$ 光と比較して、本実施形態により生成された $L G_{1,3}$ 光は、所望のものに近い強度分布を有している。

[0062] このように本実施形態に係る光制御装置 1 により生成されるラゲールガウシアンモード光は、ビーム断面において位相分布だけでなく強度分布も所望のものに近いものであり、モード純度が高いものとなる。したがって、このラゲールガウシアンモード光は、光ピンセットや量子演算において好適に利用され得る。

[0063] 次に、本実施形態に係る光制御装置 1 を用いたビーム整形について説明する。ビーム整形は、ビーム断面における強度分布が不均一である入力光を、ビーム断面における強度分布が所望のものである出力光に変換する技術である。図 16 は、ビーム整形前の強度分布およびビーム整形後の強度分布の一例を示す図である。実線はビーム整形前の強度分布を示し、破線はビーム整形後の強度分布を示す。ビーム整形前の強度分布（実線）は中心に近いほど強度が強いものとし、ビーム整形後の強度分布（破線）は均一であるとする。

[0064] このビーム整形のために用いられるブレードグレーティングパターン ϕ_{grating} は、ビーム断面におけるビーム整形前の強度分布とビーム整形後の強度分布との比に応じた回折効率分布を有するよう k 値の分布が設定される。また、空間光変調器 30 に呈示される位相パターン ϕ_{result} は、このブレードグレーティングパターン ϕ_{grating} に所望位相パターン ϕ_{desire} および歪み補正パターン $\phi_{\text{correction}}$ が重畳されたものとされる。この位相パターン ϕ_{result} における位相変調範囲が 2π を超える場合がある。

[0065] 本実施形態では、位相変調範囲が 4π 以上である空間光変調器 30 が用いられるので、位相パターン ϕ_{result} に対して位相折りたたみを行う必要がなく、所望の強度分布および位相分布を有するビーム整形後の光を得ることができ、これに対して、比較例では、位相変調範囲が 2π である空間光変調器が用いられるので、その空間光変調器には位相折りたたみ後の位相パターンが呈示され、それ故、所望の強度分布および位相分布を有するビーム整形後の

光を得ることができない。

[0066] このように本実施形態に係る光制御装置 1 によりビーム整形することにより、ビーム断面における強度分布が不均一である入力光を、ビーム断面における強度分布が所望のものである出力光に変換することができる。例えば、ガウシアン分布のビーム光を、トップフラットと呼ばれる均一分布のビーム光に整形することができる。このようなビーム整形技術は、加工用途や顕微鏡用の照明などに有用である。

産業上の利用可能性

[0067] 本発明は、ブレードグレーティングパターンと所定の位相変調分布を有する位相パターンとが重畳されてなる位相パターンを位相変調型の空間光変調器に呈示させる技術において所望のビーム断面を有する光を得ることができる光制御装置を提供する。

請求の範囲

[請求項1]

光を出力する光源と、

2次元配列された複数の画素それぞれにおける位相変調が 4π 以上の範囲で可能であり、前記光源から出力された光を入力し、前記複数の画素それぞれにおいて光の位相を変調する位相パターンを呈示して、この位相パターンにより位相変調した後の光を出力する位相変調型の空間光変調器と、

光回折の為にブレードグレーティングパターンと所定の位相変調分布を有する位相パターンとが重畳されてなり位相変調範囲が 2π 以上である位相パターンを前記空間光変調器に呈示させ、前記ブレードグレーティングパターンを調整することにより前記空間光変調器における光回折効率を調整する制御部と、

を備えることを特徴とする光制御装置。

[請求項2]

前記制御部が、特定指数のラゲールガウシアンモード光のビーム断面における強度分布に応じた光回折効率分布を有する前記ブレードグレーティングパターンと、前記ラゲールガウシアンモード光のビーム断面における位相分布に応じた位相変調分布を有する前記位相パターンとが重畳された位相パターンを、前記空間光変調器に呈示させる、

ことを特徴とする請求項1に記載の光制御装置。

[請求項3]

前記制御部が、ビーム断面において特定の強度分布および位相分布を有する光の該強度分布に応じた光回折効率分布を有する前記ブレードグレーティングパターンと、前記位相分布に応じた位相変調分布を有する前記位相パターンとが重畳された位相パターンを、前記空間光変調器に呈示させる、

ことを特徴とする請求項1に記載の光制御装置。

[請求項4]

光を出力する光源と、

2次元配列された複数の画素それぞれにおける位相変調が 4π 以上

の範囲で可能であり、前記光源から出力された光を入力し、前記複数の画素それぞれにおいて光の位相を変調する位相パターン呈示して、この位相パターンにより位相変調した後の光を出力する位相変調型の空間光変調器と、

を用い、

光回折の為にブレードグレーティングパターンと所定の位相変調分布を有する位相パターンとが重畳されてなり位相変調範囲が 2π 以上である位相パターンを前記空間光変調器に呈示させ、前記ブレードグレーティングパターンを調整することにより前記空間光変調器における光回折効率を調整する、

ことを特徴とする光制御方法。

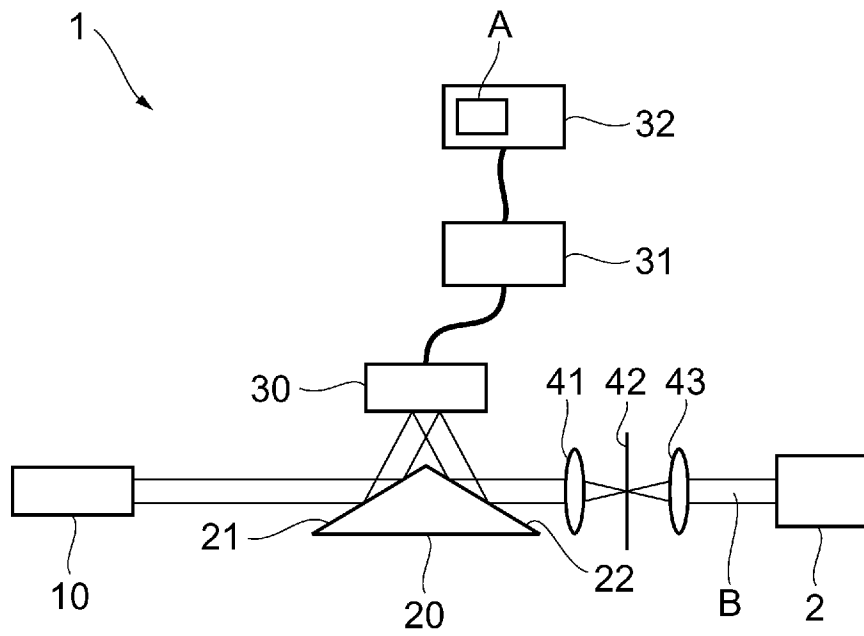
[請求項5]

特定指数のラゲールガウシアンモード光のビーム断面における強度分布に応じた光回折効率分布を有する前記ブレードグレーティングパターンと、前記ラゲールガウシアンモード光のビーム断面における位相分布に応じた位相変調分布を有する前記位相パターンとが重畳された位相パターンを、前記空間光変調器に呈示させる、ことを特徴とする請求項4に記載の光制御方法。

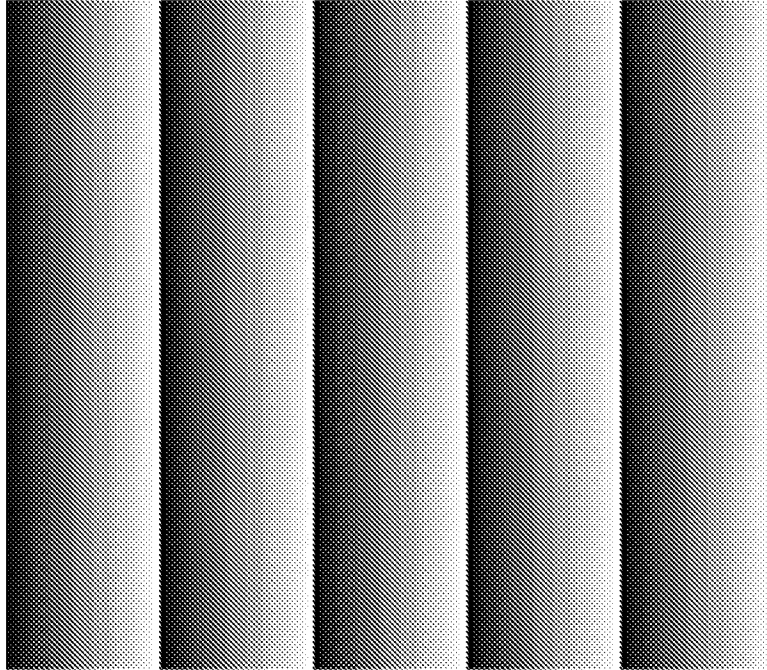
[請求項6]

ビーム断面において特定の強度分布および位相分布を有する光の該強度分布に応じた光回折効率分布を有する前記ブレードグレーティングパターンと、前記位相分布に応じた位相変調分布を有する前記位相パターンとが重畳された位相パターンを、前記空間光変調器に呈示させる、ことを特徴とする請求項4に記載の光制御方法。

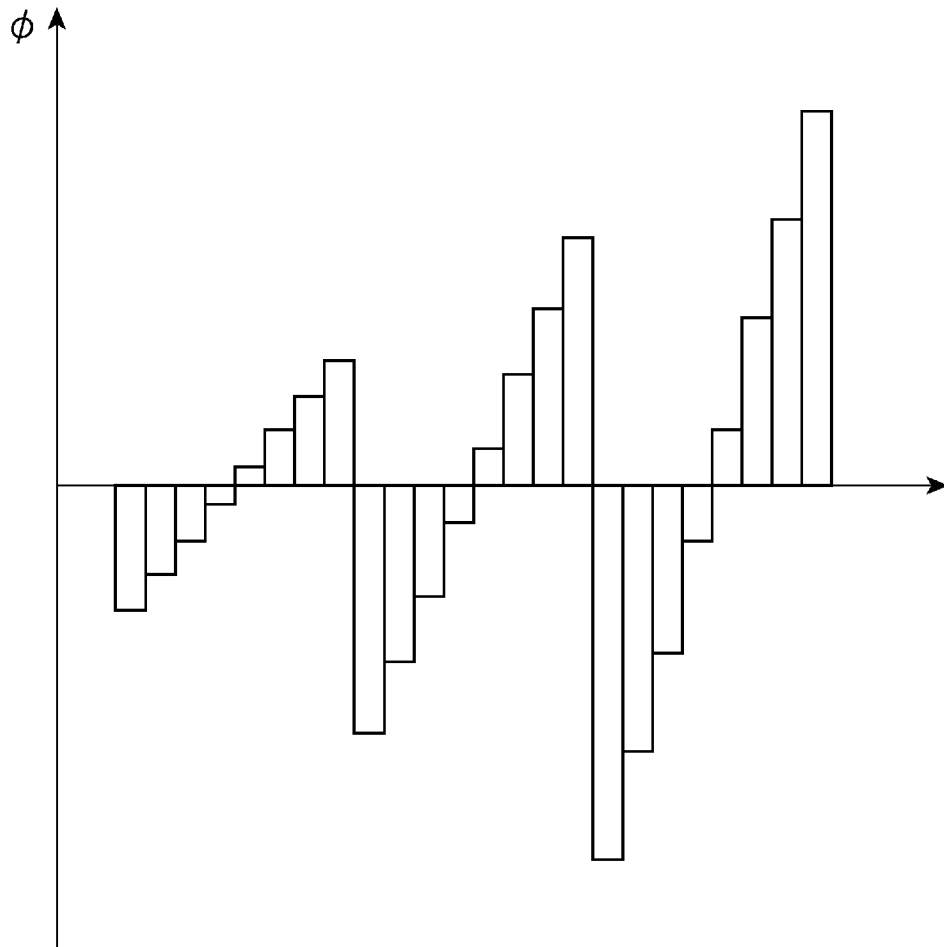
[図1]



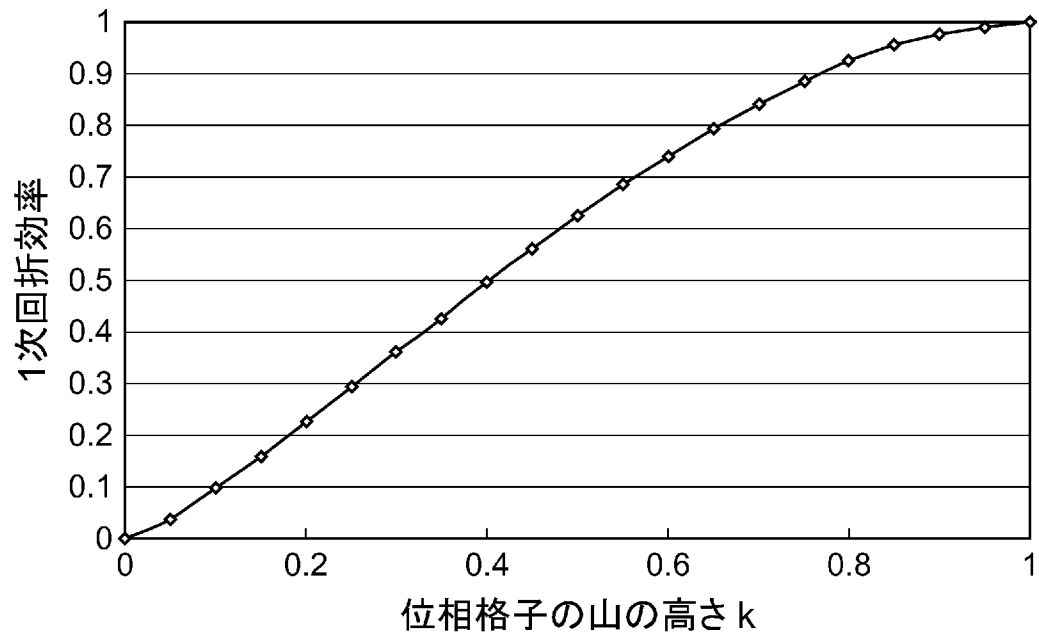
[図2]



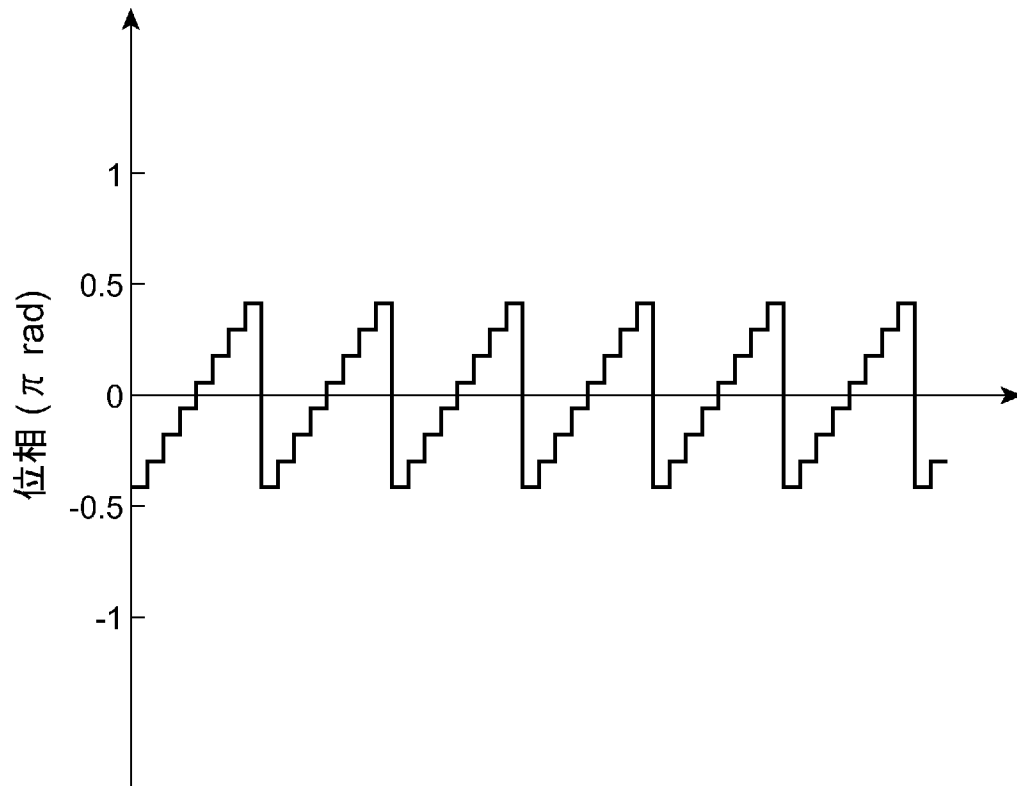
[図3]



[図4]



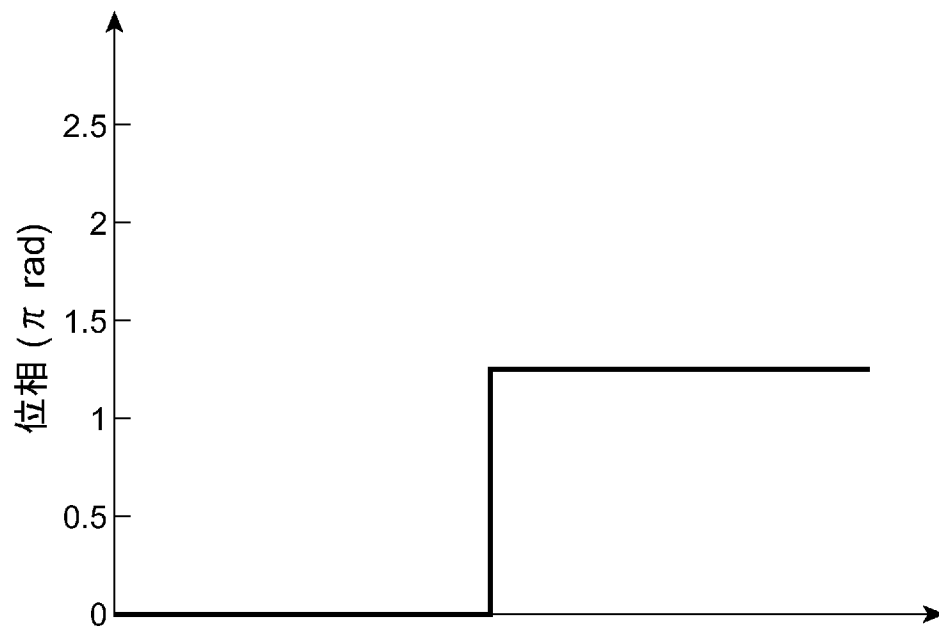
[図5]



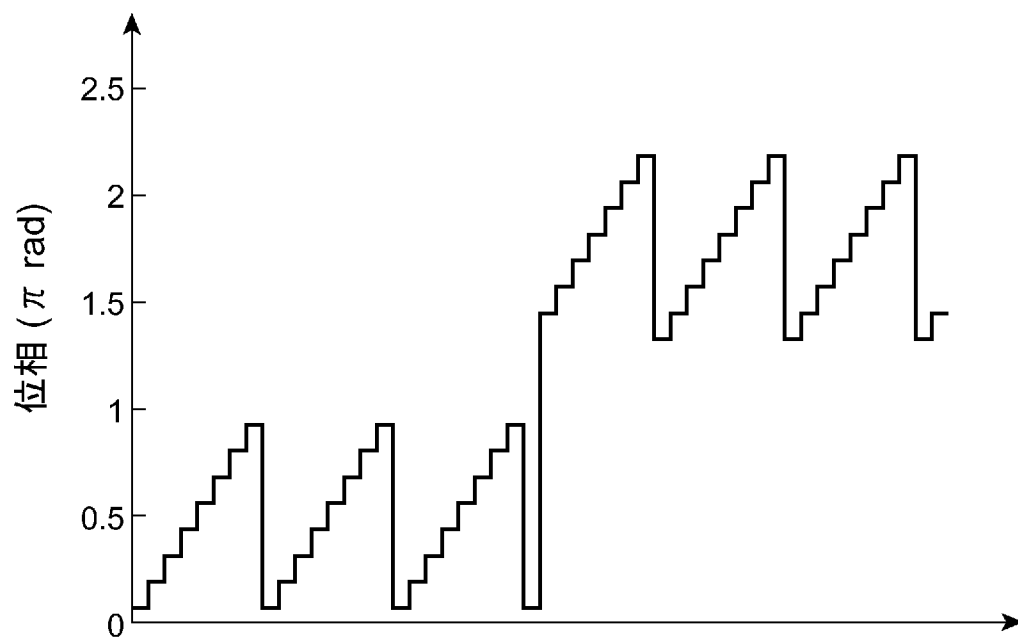
[図6]

周期画素番号	位相値 $\times \pi$ (rad)
1	-0.4375
2	-0.3125
3	-0.1875
4	-0.0625
5	0.0625
6	0.1875
7	0.3125
8	0.4375

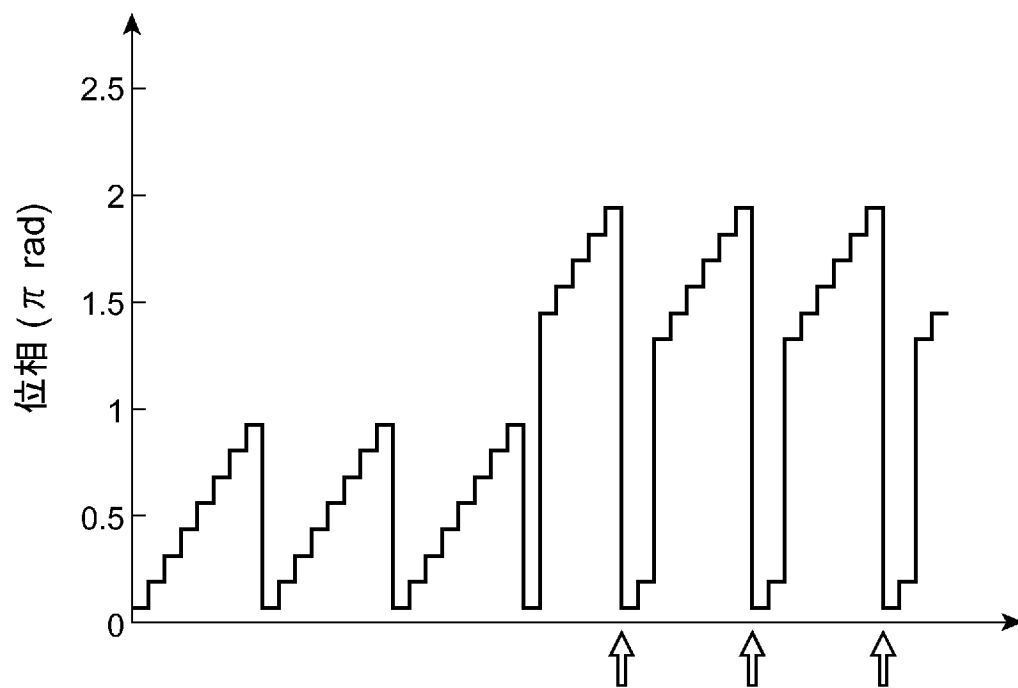
[図7]



[図8]



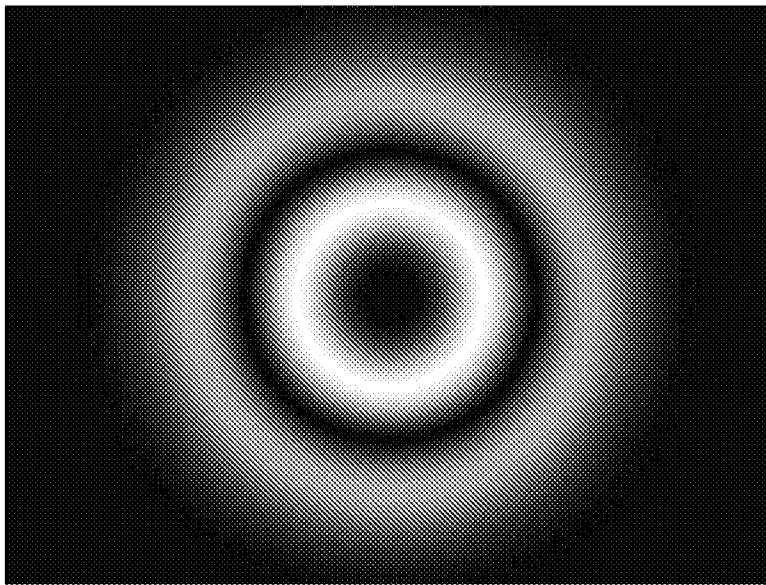
[図9]



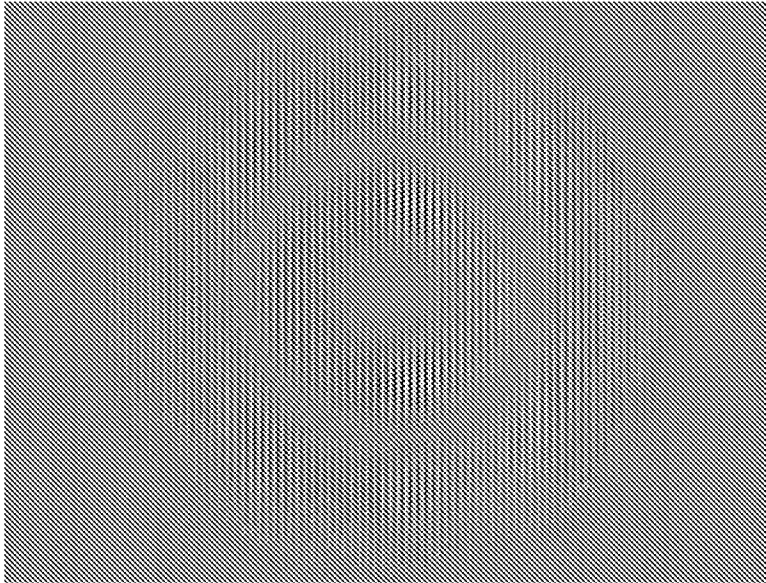
[図10]



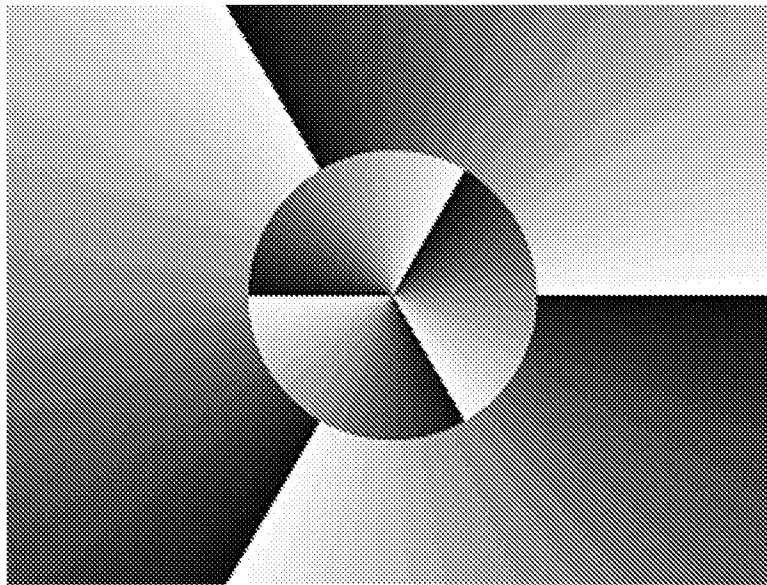
[図11]



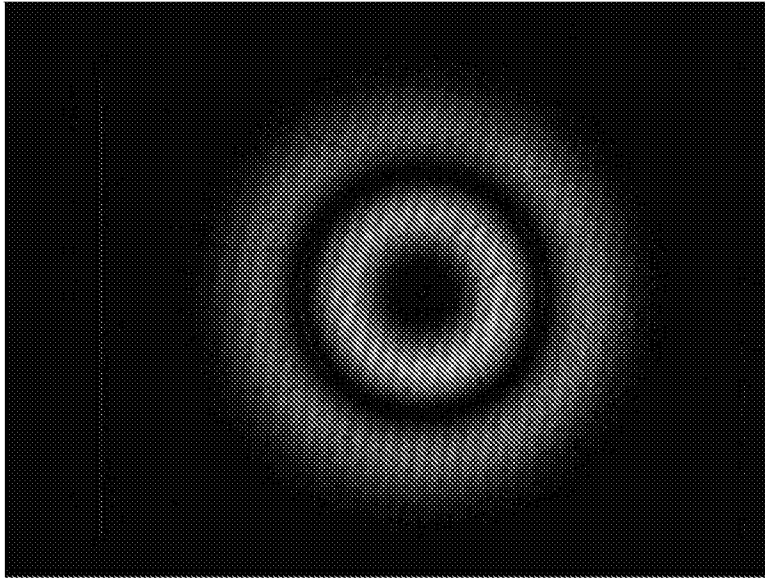
[図12]



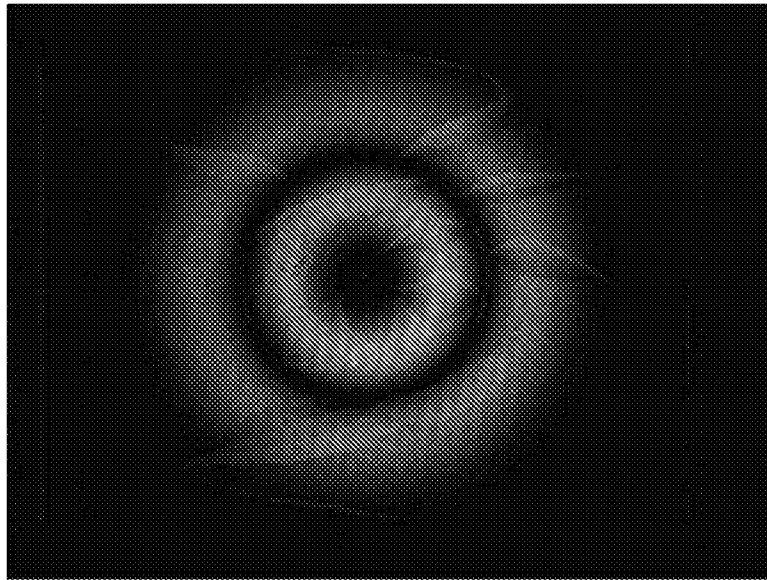
[図13]



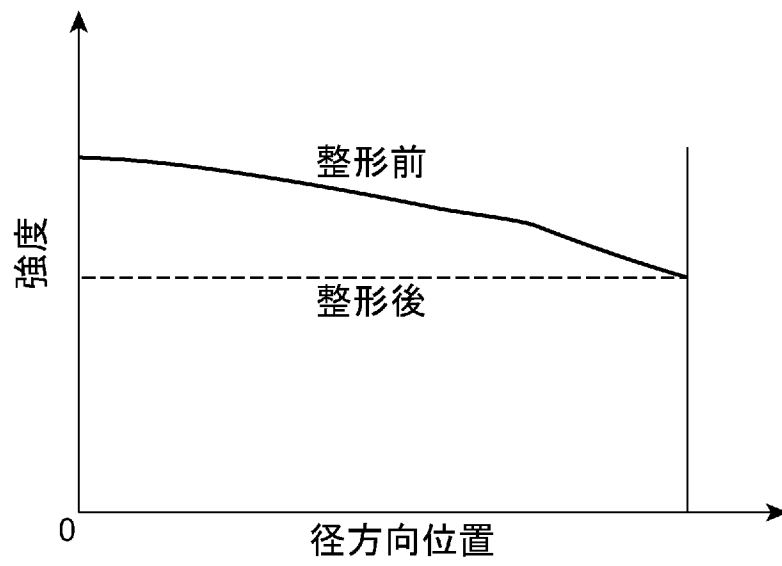
[図14]



[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/071439

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F1/01 (2006.01) i, G02F1/13 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02F1/01, 1/061, 1/13-1/141, B23K26/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2010

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2010 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus (JDreamII), JST7580 (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2006-113185 A (Ricoh Co., Ltd.), 27 April 2006 (27.04.2006), paragraphs [0033] to [0044]; fig. 1, 3-1, 3-2, 4 & WO 2006/041191 A1 & US 2009/0147330 A1 & EP 1800191 A1	1-6
Y	JP 2008-176150 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 31 July 2008 (31.07.2008), paragraphs [0002] to [0011], [0043] to [0044], [0061]; fig. 9, 10, 16 & US 2008/0174581 A1 & CN 101226292 A	1-6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 January, 2010 (29.01.10)

Date of mailing of the international search report

09 February, 2010 (09.02.10)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/071439

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2000-010058 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 14 January 2000 (14.01.2000), paragraphs [0002] to [0004] & WO 1999/066368 A1 & US 6348990 B1 & EP 1089117 A1	1-6
Y	Takashi INOUE, Taro ANDO, Yoshiyuki OTAKE, Naoya MATSUMOTO, Norihiro FUKUCHI, Tsutomu HARA, "Hamen Seigyo ni Tekishita Kukan Hikari Henchoki to Sore o Mochiita Laguerre-Gaussian Beam Seisei", Optics & Photonics Japan Koen Yokoshu, vol.2008, 04 November 2008 (04.11.2008), pages 416 to 417	1-6

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02F1/01(2006.01)i, G02F1/13(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02F1/01, 1/061, 1/13-1/141
B23K26/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

JSTPlus(JDreamII)
JST7580(JDreamII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2006-113185 A（株式会社リコー） 2006.04.27, 段落【0033】 - 【0044】 , 第 1, 3-1, 3-2, 4 図 & WO 2006/041191 A1 & US 2009/0147330 A1 & EP 1800191 A1	1 - 6

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 9 . 0 1 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

0 9 . 0 2 . 2 0 1 0

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官（権限のある職員）

山本 貴一

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 4

2 X

4 0 8 6

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2008-176150 A (浜松ホトニクス株式会社) 2008.07.31, 段落【0002】 - 【0011】, 【0043】 - 【0044】, 【0061】, 第9, 10, 16 図 & US 2008/0174581 A1 & CN 101226292 A	1 - 6
Y	JP 2000-010058 A (浜松ホトニクス株式会社) 2000.01.14, 段落【0002】 - 【0004】 & WO 1999/066368 A1 & US 6348990 B1 & EP 1089117 A1	1 - 6
Y	井上卓, 安藤太郎, 大竹良幸, 松本直也, 福智昇央, 原勉, 波面制御に適した空間光変調器とそれを用いたラゲール・ガウスビ ーム生成, Optics & Photonics Japan 講演予稿集, Vol.2008, 2008.11.04, pp.416-417	1 - 6