(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)公表番号
特表2024-517795
(P2024-517795A)
(43)公表日　令和6年4月23日(2024.4.23)

(51)国際特許分類		FI			テーマコード（参考）
Ｇ０２Ｂ	*5/00 (2006.01)*	Ｇ０２Ｂ	5/00	Ｚ	２Ｈ０４２
Ｂ２３Ｋ	*26/064(2014.01)*	Ｂ２３Ｋ	26/064	Ｋ	４Ｅ１６８
		Ｂ２３Ｋ	26/064	Ａ	

審査請求　未請求　予備審査請求　未請求　（全27頁）

(21)出願番号　特願2023-567127(P2023-567127)
(86)(22)出願日　令和4年5月3日(2022.5.3)
(85)翻訳文提出日　令和5年10月31日(2023.10.31)
(86)国際出願番号　PCT/EP2022/061852
(87)国際公開番号　WO2022/233873
(87)国際公開日　令和4年11月10日(2022.11.10)
(31)優先権主張番号　2106338.3
(32)優先日　令和3年5月4日(2021.5.4)
(33)優先権主張国・地域又は機関
英国(GB)
(31)優先権主張番号　2118634.1
(32)優先日　令和3年12月21日(2021.12.21)
(33)優先権主張国・地域又は機関
英国(GB)
(81)指定国・地域　AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA
最終頁に続く

(71)出願人　523412614
パワーフォトニック リミテッド
イギリス ダルゲティ ベイ ファイフ ケーワイ１１　９ピーエフ，セント デイビッズ ビジネス パーク，セント デイビッズ ドライブ ５エー
(74)代理人　110000659
弁理士法人広江アソシエイツ特許事務所
(72)発明者　マーフィー，エオイン
イギリス ダルゲティ ベイ ファイフ ケーワイ１１　９ピーエフ，セント デイビッズ ビジネス パーク，セント デイビッズ ドライブ ５エー
(72)発明者　ディーデリヒ，ジル
イギリス ダルゲティ ベイ ファイフ ケ
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　レーザ材料加工のためのビーム整形器の光学部品

(57)【要約】
フォーカスレンズの焦点距離において均一な環状強度分布が生じるマルチモードレーザビームのビーム整形を実行するための光ビーム整形素子。既知のシーメンススタービーム整形器と比較して、螺旋構成を与えるよう湾曲させられるようにねじれた放射状のアームを有する表面を有する光ビーム整形素子。螺旋構造におけるアームの各々が、遠視野分布を最適化するために、放射状に変化する傾き及び／又は曲率によって追加的に修正される、実施形態が記載される。２つの光ビーム整形素子間の相対的な回転が、環と中心スポットとの間のパワーを変化させる調節可能なトライデントを形成する。光ビーム整形素子は、レーザ材料加工における用途を見出し、螺旋曲率がホットスポットを除去し、スルーフォーカス性能及び入力感度を向上させるように構成されることができる。
【選択図】図２ｂ

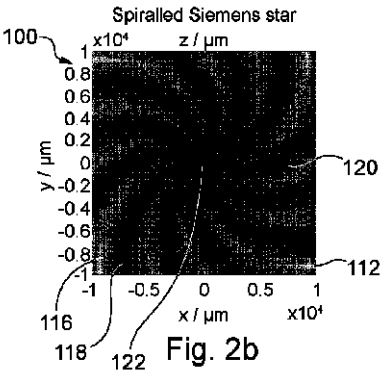


Fig. 2b

【特許請求の範囲】
【請求項１】
円形パターンの扇形状のファセットを有する第１の表面を有するプレートを含む光ビーム整形素子であって、
前記扇形状のファセットは、中心点から円周方向に、前記プレートの平面に対して交互に傾斜しており、
複数のアームが前記中心点から放射状に延在し、各アームが、隣接する扇形状のファセット間のエッジを画定し、
前記エッジは湾曲しており、前記複数のアームが、螺旋状のスター構成で外向きに放射状に延在するに従い湾曲していることを特徴とする、光ビーム整形素子。
【請求項２】
前記光ビーム整形素子は、屈折型光学部品である、請求項１に記載の光ビーム整形素子。
【請求項３】
各エッジの両側における前記ファセットは一定の大きさで傾いており、ｒの関数として回転させられ、ここでｒは径方向の位置である、請求項１又は２に記載の光ビーム整形素子。
【請求項４】
各アームは、
【数１】

$$\theta + \left(\frac{r}{r_0}\right)^2$$

において放射状に延在し、ここでｒは径方向の位置であり、θは３６０をアームの数で除算した値に等しい角度である、請求項１から３のいずれか一項に記載の光ビーム整形素子。
【請求項５】
各エッジは、径方向のｚのスケーリングを有する、請求項１から４のいずれか一項に記載の光ビーム整形素子。
【請求項６】
前記径方向のｚのスケーリングは高さに傾きを与え、前記傾きはｒの関数として減少し、ここでｒは径方向の位置である、請求項５に記載の光ビーム整形素子。
【請求項７】
各ファセットは曲率を有する、請求項１から６のいずれか一項に記載の光ビーム整形素子。
【請求項８】
前記光ビーム整形素子は、第２の表面の中に入れ子にされた前記第１の表面を含む、請求項１から７のいずれか一項に記載の光ビーム整形素子。
【請求項９】
前記螺旋の方向は、前記第１の表面と前記第２の表面との間で反転している、請求項８に記載の光ビーム整形素子。
【請求項１０】
前記光ビーム整形素子は、曲率を有さない複数のアームがシーメンススター構成にある表面の中に入れ子にされた前記第１の表面を含む、請求項１から７のいずれか一項に記載の光ビーム整形素子。
【請求項１１】
前記光ビーム整形素子はフォーカスレンズを含み、前記光ビーム整形素子と前記フォーカスレンズとは別個の素子であり、離隔されて光学系を提供する、請求項１から１０のいずれか一項に記載の光ビーム整形素子。

【請求項１２】
前記光学系にレーザが含まれ、前記レーザのビームは、前記光学系を通して前記フォーカスレンズの焦点距離においてフォーカスされた前記レーザビームの環状強度プロファイルをもたらすように方向付けられる、請求項１１に記載の光ビーム整形素子。
【請求項１３】
前記レーザビームは、ファイバを通して方向付けられる、請求項１２に記載の光ビーム整形素子。
【請求項１４】
前記光ビーム整形素子の前記第１の表面の鏡像である第１の表面を有する第２の光ビーム整形素子が存在する、請求項１から１３のいずれか一項に記載の光ビーム整形素子。
【請求項１５】
請求項１に記載の光ビーム整形素子を製造する方法であって、
（ａ）目標出力遠視野分布を定義するステップと、
（ｂ）前記目標出力遠視野分布に対応する各扇形における角度分布θを得るために、アームの数を決定するステップと、
（ｃ）前記螺旋状のスター構成を提供する前記湾曲したエッジを有する前記第１の表面をもたらすために、各アームの前記エッジの曲率を決定するステップと、
（ｄ）屈折型光ビーム整形素子を提供するために、基板上に第２の表面のプロファイルを機械加工するステップと、を含む、方法。
【請求項１６】
ステップ（ｃ）において、前記表面を修正することが、各アームの前記エッジを
【数２】

$$\theta + \left(\frac{r}{r_0}\right)^2$$

で放射状に延在させることによるものであり、ここでｒは径方向位置である、請求項１５に記載の方法。
【請求項１７】
前記方法は、ステップ（ｃ）において、各ファセットに曲率を加えるステップを含む、請求項１５又は１６に記載の方法。
【請求項１８】
前記曲率を加えるステップは、各ファセットが遠視野においてスポットをもたらすときに、スポットが最近傍のものと結合するように前記遠視野において前記スポットを広げることである、請求項１７に記載の方法。
【請求項１９】
前記曲率を加えるステップは、輪状部において均一な照明を維持するために、入力強度に依存して前記曲率を変化させることである、請求項１７に記載の方法。
【請求項２０】
前記曲率を加えるステップは、スポットを角度分離よりもかなり大きく重ねることである、請求項１７に記載の方法。
【請求項２１】
ステップ（ｂ）における、前記プレートの前記平面に対する前記エッジの高さは、径方向位置ｒの関数としてスケーリングされる、請求項１５から２０のいずれか一項に記載の方法。
【請求項２２】
前記高さは、ｒの関数として傾きが減少する、請求項２１に記載の方法。
【請求項２３】
レーザのビームから環状強度プロファイルをもたらす方法であって、
（ａ）請求項１～１０のいずれか一項に記載の第１の光ビーム整形器素子を提供するス

テップと、
（ｂ）コリメートレンズ及びフォーカスレンズを含む光学系において、前記第１の光ビーム整形器素子を配置するステップと、
（ｃ）被加工物上に環状強度プロファイルをもたらすように、前記光学系をレーザビームと前記被加工物との間に位置させるステップと、を含む、レーザのビームから環状強度プロファイルをもたらす方法。
【請求項２４】
（ｄ）第２の光ビーム整形器素子を提供する追加的なステップであって、前記第２の光ビーム整形器素子は、前記第１の光ビーム整形器素子の鏡像である、追加的なステップと、
（ｅ）前記第１の光ビーム整形器素子と前記第２の光ビーム整形器素子とが、互いに対して回転するように、前記第１の光ビーム整形器素子及び前記第２の光ビーム整形器素子のうちの少なくとも一方を、前記光学系の中心光軸のまわりで回転させて、２つの動作構成、具体的には、
前記第１の光ビーム整形器素子及び前記第２の光ビーム整形器素子の前記第１の表面における前記アームの前記エッジが位置合わせされ、前記被加工物において環状強度プロファイルが生成される、第１の構成と、
前記第１の光ビーム整形器素子の前記第１の表面における前記アームの前記エッジが、前記第２の光ビーム整形器素子の前記第１の表面における前記アーム間の谷と位置合わせされ、前記被加工物においてスポット状強度プロファイルが生成される、第２の構成と、を提供する、追加的なステップと、を含む、請求項２３に記載のレーザのビームから環状強度プロファイルをもたらす方法。
【請求項２５】
前記方法は、前記第１の光ビーム整形器素子及び前記第２の光ビーム整形器素子のうちの少なくとも一方を、前記第１の構成と前記第２の構成との間で互いに対して回転させ、それによって前記強度プロファイル中のパワーを変化させて、調節可能なトライデントを形成することを含む、請求項２４に記載のレーザのビームから環状強度プロファイルをもたらす方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、レーザ材料加工用途のための光ビーム整形器に関する。特に、本発明は、シーメンススター（Ｓｉｅｍｅｎｓ　ｓｔａｒ）ビーム整形器の光学部品の形態が、その中心のまわりにねじれて螺旋状又は渦巻き状の構成をもたらす、光ビーム整形素子に関する。この光ビーム整形素子は、フォーカスレンズの焦点面において及びそのまわりに均一な強度を有する環状分布へと、レーザ強度分布を変換する。
【背景技術】
【０００２】
環状強度プロファイルを有するレーザビームは、溶接、切断、薄膜の材料切除、太陽電池製造、ＰＣＢレーザ穿孔、及び眼科等のレーザ材料加工において、しばしば必要とされる。フォーカスレンズの焦点面において環状強度分布を生成するためには、古典的なアキシコン、円錐レンズ、回転対称プリズム等のビーム整形器が、しばしば使用される。
【０００３】
ＵＳ４２７５２８８は、レーザビームのガウシアンエネルギー分布を、断面が輪状となるような、被加工物に衝突する放射のエネルギー分布に変換する、ガラス円錐又はアキシコンを開示している。これらの単一のアキシコンは、位置合わせ及び入力強度分布に敏感である。
【０００４】
ＵＳ１０６２０４４４は、材料のレーザ加工を意図されたレーザビームに位相分布を付与するための回折型光ビーム整形素子を開示しており、領域として整形され、位相マスク

に入射するレーザビームにおいて複数のビーム整形位相分布を付与するように構成された、位相マスクを含む。仮想光学像が、複数のビーム整形位相分布のうちの少なくとも１つに由来し、仮想像は、加工されるべき材料に修正をもたらすための長細のフォーカスゾーンに結像させられ得る。複数のかかる長細のフォーカスゾーンが、空間的に加算され、互いに干渉して、材料中の強度分布を修正し、例えば、非対称な修正ゾーンを生成することができる。これらの回折型光学部品は、典型的には７５～９５％である低い透過効率に悩まされるものであり、波長依存性がある。

【０００５】

ＵＳ１０４４４５２１は、レーザ放射によって材料を機械加工するためのデバイスであって、レーザビームを被加工物にフォーカスさせるためのフォーカス光学系と、レーザビームのビーム経路中で互いに背中合わせに配置され、円周方向において互いに対して回転可能であり、円周方向においてそれぞれのプレート平面に対して交互に傾斜している扇形のファセットの円形パターンを有する表面を各々が有する、少なくとも２つのプレート状光学素子を含む、強度分布を調節するための調節光学部品と、を含むデバイスを開示している。各プレート状光学素子は、結像品質を試験するための既知のシーメンススターに従った扇形のファセットの円形パターンにより、シーメンススタービーム整形器とみなされ得る。図１（ａ）は、交互に傾斜した扇形のファセットＢが、中心点Ｄから放射状のスポーク又はアームＣの円形パターンを提供する、先行技術によるシーメンススタービーム整形器Ａを示す。シーメンススタービーム整形器における扇形のファセットＢは、平面状であるか又は湾曲しており、図１（ｂ）に示されるように、環状の強度分布中にホットスポットを生じる。ホットスポットは、局所的な損傷及び仕上げの低い品質に導き得るため、レーザ加工用途においては望ましくない。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

それゆえ、本発明の目的は、先行技術の欠点の少なくともいくつかを回避又は軽減する、光ビーム整形素子、及び屈折型光ビーム整形素子を製造する方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

本発明の第１の態様によれば、円形パターンの扇形状のファセットを有する第１の表面を有するプレートを含む光ビーム整形素子であって、
扇形状のファセットは、中心点から円周方向に、プレートの平面に対して交互に傾斜しており、
複数のアームが中心点から放射状に延在し、各アームが、隣接する扇形状のファセット間のエッジを画定し、
エッジは湾曲しており、複数のアームが、螺旋状のスター構成で外向きに放射状に延在するように湾曲していることを特徴とする、光ビーム整形素子が提供される。

【０００８】

このようにして、先行技術のシーメンススタービーム整形器が、その直線がここでは非直線で湾曲したものとなるため、その中心のまわりにねじれて渦巻き状又は螺旋状のスター構成をもたらしているとみなされ得る。その結果、そうでなければホットスポットに集中する光が、輪状の角度的な環状分布に広がるため、環状分布の焦点における及びそのまわりのホットスポットが除去される。

【０００９】

螺旋の湾曲したエッジは、時計回り方向に形成されてもよい。代替としては、螺旋の湾曲したエッジは、反時計回り方向に形成されてもよい。

【００１０】

好ましくは、光ビーム整形素子は、屈折型光学部品である。代替としては、光ビーム整形素子は、反射型光学部品であってもよい。

【００１１】
好ましくは、エッジは一定の大きさで傾いており、ｒの関数として回転させられ、ここでｒは径方向の位置である。好ましくは、各アームは、
【数１】

$$\theta + \left(\frac{r}{r_0}\right)^2$$

において放射状に延在し、ここでｒは径方向の位置であり、θは３６０をアームの数で除算した値に等しい角度である。このようにして、各アームに対して曲線が形成される。
【００１２】
好ましくは、各エッジは、径方向のｚのスケーリングを有する。かくして、各エッジの高さは、中心点から径方向に変化する。このようにして、生じる加えられた発散が回復され得る。好ましくは、径方向のｚのスケーリングは、高さに傾きを与える。より好ましくは、傾きはｒの関数として減少し、ここでｒは径方向の位置である。
【００１３】
好ましくは、各ファセットは曲率を有する。代替としては、各ファセットは、シーメンススターービーム整形器のように平面状である。曲率は、環の外側に散乱させられる光の量、及びホットスポットを結合して均一な分布の環をもたらす能力を決定する。
【００１４】
偶数のファセットの数が１８～７２、好ましくは２４～４０、特に３６である場合、輪状のプロファイルにおけるレーザエネルギーの特に均一な分布が達成され得る。このことは、アームを形成するエッジに対して２枚のファセットが必要であることを仮定している。このとき、偶数本のアームがあってもよいし、又は奇数本のアームがあってもよい。
【００１５】
光ビーム整形素子は、第２の表面の中に入れ子にされた第１の表面を含んでもよい。好ましくは、曲率の方向は、第１の表面と第２の表面との間で反転している。光ビーム整形素子は、シーメンススターービーム整形器の表面の中に入れ子にされた第１の表面を含んでもよい。
【００１６】
好ましくは、光ビーム整形素子はフォーカスレンズを含み、フォーカスレンズの焦点距離において所望の環状スポットを提供する。一実施形態においては、光ビーム整形素子とフォーカスレンズとは別個の素子であり、離隔されて光学系を提供する。代替の実施形態においては、第１の修正表面がフォーカスレンズの入射面上で組み合わせられて、光学系として単一の光学素子を提供する。
【００１７】
好ましくは、光学系にレーザが含まれ、レーザのビームは、光学系を通してフォーカスレンズの焦点距離においてフォーカスされたレーザビームの環状強度プロファイルをもたらすように方向付けられる。レーザビームは、ファイバを通して方向付けられてもよい。光学系はまた、レーザと光ビーム整形素子との間にコリメートレンズを含んでもよい。このようにして、本発明は、レーザ溶接、レーザ切断、薄膜の材料切除、太陽電池製造、ＰＣＢレーザ穿孔、及び眼科において使用され得る。
【００１８】
第２の光ビーム整形素子があってもよく、このとき第２の光ビーム整形素子の第１の修正表面は、光ビーム整形素子の第１の修正表面の鏡像である。好ましくは、第２の光ビーム整形素子は、第１の表面が互いに面するように構成される。代替としては、第２の光ビーム整形素子は、第１の表面が互いに反対を向くように構成される。このようにして、第１の表面同士が、反対の屈折効果をもたらす。第２の光学系においては、第１の光ビーム整形素子及び第２の光ビーム整形素子、コリメートレンズ、並びにフォーカスレンズがある。第２の光学系は、光学系を通る中心光軸のまわりに第１の光ビーム整形素子と第２の

光ビーム整形素子とを互いに対して回転させるように構成された回転マウントを含んでもよい。第１の光ビーム整形素子と第２の光ビーム整形素子とを互いに対して回転させることによって、各光ビーム整形素子のアームが位置合わせされているか又は完全にずれている場合に、光学系を通して方向付けられるレーザのビームの強度プロファイルが、環状強度プロファイルとスポット状強度プロファイルとの間で切り換えられ得る。コアスポットと環との間のパワー比を制御できるトライデント（ｔｒｉｄｅｎｔ）を生成するために、部分的な回転が使用されてもよい。

【００１９】

本発明の第２の態様によれば、請求項１に記載の光ビーム整形素子を製造する方法であって、

（ａ）目標出力遠視野分布を定義するステップと、

（ｂ）目標出力遠視野分布に対応する各扇形における角度分布θを得るために、アームの数を決定するステップと、

（ｃ）螺旋状のスター構成を提供する湾曲したエッジを有する第１の表面をもたらすために、各アームのエッジの曲率を決定するステップと、

（ｄ）光ビーム整形素子を提供するために、基板プレート上の第１の表面のプロファイルを機械加工するステップと、を含む、方法が提供される。

【００２０】

このようにして、改善された環状の出力ビームが、レーザ機械加工のために形成され得る。

【００２１】

好ましくは、ステップ（ｃ）で、各アームのエッジの曲線は、

【数２】

$$\theta + \left(\frac{r}{r_0}\right)^2$$

において放射状に延在し、ここでｒは径方向位置である。

【００２２】

好ましくは、本方法は、ステップ（ｃ）において、各ファセットに曲率を加える更なるステップを含む。

【００２３】

曲率を加えるステップは、各ファセットが遠視野においてスポットをもたらすときに、最近傍のものと結合するように遠視野においてスポットを広げることであってもよい。このようにして、ビーム入力サイズに合わせられる。したがって、アームが１２本ある場合は、結合するためにスポットに３０度が加えられる。

【００２４】

代替としては、曲率を加えるステップは、輪状部において均一な照明を維持するために、入力強度に依存して曲率を変化させることであってもよい。このようにして、ビーム入力サイズ及び強度プロファイルに合わせられる。例えば、ガウシアン入力の場合、曲率は光学部品の中心部においてよりも周縁部に向かって、より緩やかに変化する必要がある：

【数３】

$$\theta(r) = \theta_0 + \hat{P}(r)\Delta\theta$$

、

ここで、

【数４】

$$\hat{P}(r)$$

は全パワーのうち半径ｒによって囲まれた部分である。
【００２５】
任意に、曲率を加えるステップは、スポットを角度分離よりもかなり大きく重ねることであってもよい。このようにして、ビームサイズ及びプロファイルに対して敏感にならないようにする（許容範囲内で）。各スポットに加えられる角度は、遠視野における角度分離よりもかなり大きく、このことは、入力サイズ及び強度プロファイルの変化に対して敏感にならなくする平均化効果を有する。
【００２６】
好ましくは、ステップ（ｂ）における、プレートの平面に対するエッジの高さは、径方向の位置の関数としてスケーリングされる。このようにして、曲率を加えることによって起きる輪状部の外側の径方向の散乱が回復される。より好ましくは、高さは、ｒの関数として傾きが減少し、ここでｒは径方向位置である。
【００２７】
本発明の第３の態様によれば、レーザのビームから環状強度プロファイルをもたらす方法であって、
（ａ）第１の態様による第１の光ビーム整形器素子を提供するステップと、
（ｂ）コリメートレンズ及びフォーカスレンズを含む光学系において、第１の光ビーム整形器素子を配置するステップと、
（ｃ）被加工物上に環状強度プロファイルをもたらすように、光学系をレーザビームと被加工物との間に位置させるステップと、を含む、方法が提供される。
【００２８】
このようにして、光ビーム整形器は、レーザ加工用途において、被加工物上で環状強度プロファイルを有するレーザビームを提供するために使用され得る。
【００２９】
好ましくは、レーザビームは、ファイバからのものである。レーザビームは、マルチモードビームであってもよい。
【００３０】
本方法は、光学系の中に第２の光ビーム整形器素子を提供することを含んでもよい。より好ましくは、第２の光ビーム整形器素子は、第１の光ビーム整形器素子の鏡像であり、それらの第１の表面は、互いに面するように構成される。本方法は、第１の光ビーム整形器素子と第２の光ビーム整形器素子とが互いに対して回転するように、第１の光ビーム整形器素子及び第２の光ビーム整形器素子のうちの少なくとも一方を、光学系の中心光軸のまわりで回転させることを含んでもよい。より好ましくは、回転が、
第１の光ビーム整形器素子及び第２の光ビーム整形器素子の第１の表面におけるアームのエッジが位置合わせされ、被加工物において環状強度プロファイルが生成される、第１の構成と、
第１の光ビーム整形器素子の第１の表面におけるアームのエッジが、第２の光ビーム整形器素子の第１の表面におけるアームの間の谷と位置合わせされ、被加工物においてスポット状強度プロファイルが生成される、第２の構成と、の２つの構成を提供する。
【００３１】
このようにして、光学系は、スポット状強度プロファイルと環状強度プロファイルとの間の切り換えを提供することができる。レーザビームがファイバからのものである場合、スポット状強度プロファイルは、ファイバコアの像であってもよい。
【００３２】
好ましくは、本方法は、第１の光ビーム整形器素子及び第２の光ビーム整形器素子のうちの少なくとも一方を、第１の構成と第２の構成との間で互いに対して回転させ、それによって強度プロファイル中のパワーを変化させることを含む。このようにして、調節可能なトライデントが形成される。
【００３３】
以下の説明において、図面は必ずしも定縮尺のものではない。本発明のある特徴は、ス

ケールが誇張されて、又はいくぶん模式的な形態で示され得、また従来の要素のいくつかの詳細は、明瞭さ及び簡潔さの観点から示されないことがあり得る。以下に議論される実施形態の種々の特徴及び教示は、所望の結果を生じさせるために、個別に又は任意の適切な組み合わせで採用され得ることは、十分に認識されるべきである。

【００３４】

本発明の実施形態は、単に例として、以下の図を参照しながら、ここで説明される。

【図面の簡単な説明】

【００３５】

【図１ａ】先行技術によるシーメンススタービーム整形器の概略図である。

【図１ｂ】先行技術によるシーメンススタービーム整形器の出力環状スポットのモデル化された強度分布である。

【図２ａ】先行技術によるシーメンススタービーム整形器の、モデル化された表面設計である。

【図２ｂ】本発明の実施形態による光ビーム整形素子の、モデル化された表面設計である。

【図３】本発明の実施形態による屈折型光ビーム整形素子を組み込んだ、本発明の実施形態による光学系である。

【図４】本発明の実施形態による光ビーム整形素子についての焦点を通過する出力ビームの強度分布のシーケンスである。

【図５】図４との比較のための、先行技術によるシーメンススタービーム整形器についての焦点を通過する出力ビームの強度分布のシーケンスである。

【図６ａ】本発明の実施形態による光ビーム整形素子に対する例証計算における計算において使用される幾何形状を説明するためのグラフである。

【図６ｂ】本発明の実施形態による光ビーム整形素子に対する例証計算における計算において使用される幾何形状を説明するためのグラフである。

【図６ｃ】本発明の実施形態による光ビーム整形素子に対する例証計算における計算において使用される幾何形状を説明するためのグラフである。

【図６ｄ】本発明の実施形態による光ビーム整形素子に対する例証計算における計算において使用される幾何形状を説明するためのグラフである。

【図７ａ】フラットトップについての、本発明の実施形態による光ビーム整形素子における、湾曲したエッジの模式的な図である。

【図７ｂ】ガウシアン入力レーザビームについての、本発明の実施形態による光ビーム整形素子における、湾曲したエッジの模式的な図である。

【図８ａ】本発明の実施形態による光ビーム整形素子に適用された、曲率なしを示す、モデル化された強度分布である。

【図８ｂ】本発明の実施形態による光ビーム整形素子に適用された、最適化された曲率を示す、モデル化された強度分布である。

【図８ｃ】本発明の実施形態による光ビーム整形素子に適用された、小さすぎる曲率を示す、モデル化された強度分布である。

【図８ｄ】本発明の実施形態による光ビーム整形素子に適用された、高すぎる曲率を示す、モデル化された強度分布である。

【図９ａ】曲率を適用してから広げられた輪状部を示す、モデル化された強度分布である。

【図９ｂ】図９（ａ）の光ビーム整形素子に、事前スケーリング傾き係数を適用した後の補正された輪状部を示す、モデル化された強度分布である。

【図１０】本発明の実施形態による、入れ子にされた光ビーム整形素子の表面の高さマップである。

【図１１】本発明の更なる実施形態による、入れ子にされた光ビーム整形素子の表面の高さマップである。

【図１２】本発明の実施形態による第１の光ビーム整形素子及び第２の光ビーム整形素子

を組み込んだ、本発明の実施形態による光学系である。
【図１３ａ】図１２の光学系における使用のための、第１の光ビーム整形素子の、モデル化された表面設計である。
【図１３ｂ】図１２の光学系における使用のための、第２の光ビーム整形素子の、モデル化された表面設計である。
【図１４ａ】図１２の光学系における、第１の構成における、第１の光ビーム整形素子と第２の光ビーム整形素子との間のアームの位置合わせの概略図である。
【図１４ｂ】図１２の光学系における、第２の構成における、第１の光ビーム整形素子と第２の光ビーム整形素子との間のアームの位置合わせの概略図である。
【図１５ａ】第１の光ビーム整形素子及び第２の光ビーム整形素子が、第１の構成から第２の構成を経て第１の構成に戻るまで互いに対して回転させられるときに、図１２の光学系を通過する出力ビームの強度分布のシーケンスである。
【図１５ｂ】第１の光ビーム整形素子及び第２の光ビーム整形素子が、第１の構成から第２の構成を経て第１の構成に戻るまで互いに対して回転させられるときに、図１２の光学系を通過する出力ビームの強度分布のシーケンスである。
【発明を実施するための形態】
【００３６】
最初に、全体が参照番号１０によって示される、先行技術によるシーメンススターバーム整形器である光ビーム整形素子の表面を示す、図２（ａ）への参照がなされる。正方形として示されているが、いずれの形状であってもよく、一般的に、溶融シリカ、石英ガラス、サファイア又はＺｎＳｅで作られた丸い２５ｍｍ^{2}の正方形又は長方形の１ｍｍ厚の基板プレートの微細機械加工によって形成される。表面１２は、扇形状のファセット１６の円形パターンとして高さマップ上に示されている。ファセット１６のエッジ１８は直線であり、本分野において既知であるように、シーメンススター結像目標を示す中心点２２から放射状に延在するスポーク又はアーム２０を提供する。各エッジ１８において、表面は、一定の大きさで傾いており、尾根及び谷を生じ、これらは、表面にわたって一定の高さにある。２４枚のファセット１６が示されているが、任意の偶数枚のものがあってもよい。
【００３７】
ここで、本発明の実施形態による光ビーム整形素子１００の表面１１２を示す図２（ｂ）への参照がなされる。図２（ａ）のものと同様の部分は、明瞭さを助けるために１００を加えられた同じ参照数字を付与されている。表面１１２は、表面１２に対してモデル化されたものであり、同じ数のファセット１１６、エッジ１１８及びアーム１２０を有するが、エッジ１１８は、中心点１２２から放射状に延在する直線ではなく、湾曲している。エッジ１１２は、中心点１２２のまわりに、時計回り方向に表面１２をねじることによって形成されるものとみなされ得る円弧を描いている。ファセット１１６はここでは渦巻きのように見え、エッジ１１８は螺旋状になっている。アーム１２０は、もはや直線のスポーク２０ではない。
【００３８】
使用時には、光ビーム整形素子１００は、図３に示されるように、光学系２４の中に置かれる。光ビーム整形素子１００は、単一の光屈折面１１２からなる。この図においては、光ビーム整形素子１００は屈折型であるが、反射型光学素子として構成されてもよい。典型的にはファイバ２８を通したマルチモードであるレーザ２６は、屈折型光ビーム整形素子１００の表面１１２に入射するように構成された入力ビーム３０を提供する。コリメータ３２は、コリメートされた入力ビーム３０を提供する。素子１００は、入力ビーム３０を複数のビームレット３４に分割し、次いで遠視野においてそれらを伸張して重ねることによって、入力ビーム上の遠視野を輪状又は環状の分布に修正する。透過させられたビームレット３４はフォーカスレンズ３６を通過し、レンズ３６の焦点距離３８において環状のスポット４０をもたらすこととなる。この位置は、出力ビーム４４の照射のため、被加工物４２に入射するように構成されてもよい。均一な環状の強度分布は、焦点において

のみならず、焦点の前後でも得られる。この構成においては、素子１００とフォーカスレンズ３６との間に分離が存在し、これらの各々は系２４の中の別個の光学部品である。

【００３９】

アーム１２０をねじることによって、そうでなければホットスポットに集中する光が輪状の角度的な分布に広がるため、本発明の屈折型光ビーム整形素子１００は有利にも、アキシコンにおいて及びシーメンススタービーム整形器（図１（ｂ）参照）において見られる環状強度分布からホットスポットを除去する。コリメートされたビームの外側部分における光線は放射状の光線となるため、アキシコンは、その結果、スルーフォーカスの挙動が急激に変化することに悩まされる。シーメンススタービーム整形器の使用は、コリメートされたビームの外側部分における光線が、焦点面においてのみならず焦点面の近くにおいてもスキュー光線となるため、アキシコンよりも良好な結果を提供する。本発明については、径方向成分は増大するが、依然として主にスキューであり、多くのアームがスキュー成分を低減させる。ここで、それぞれ本発明の屈折型光ビーム整形素子１００について、及びシーメンススタービーム整形器についての、比較となるスルーフォーカス伝搬の強度分布のシーケンスを示す、図４及び図５への参照がなされる。ここで、フォーカスレンズ３６の焦点距離は、１５０ｍｍである。素子１００は、ねじれの影響を示すビーム強度分布を呈するが、先行技術のものよりも高い均一さの度合い及び小さいスポットサイズを有する。

【００４０】

光学系２４を通るビーム経路を考慮し、シーメンススタービーム整形器から始め、２つのファセット１６がぶつかるスポーク２０におけるエッジ１８を考える。このことは、図６（ａ）に示されるように、各ファセットから角度αだけビームを偏向させるルーフプリズム４６を提供する。遠視野においては、角度半径α及び平面角θ＋／－（π／２）において２つのスポット４８ａ、ｂが生成される。このことは図６（ｂ）に示されており、各スポーク２０において起きる。

【００４１】

入射パワー密度がＩ（ｒ）として回転対称に変化する場合（図６（ｃ）参照）、囲まれるパワーは

【数５】

$$P_{enc} = \int_0^r I(r) 2\pi r dr$$

となる。全パワーはＰ０＝Ｐｅｎｃ（ｒ０）であり、ｒ０はビームの全半径（１００％のパワー）であり、正規化された囲まれるパワーは

【数６】

$$\hat{P}_{enc}(r) = \frac{P_{enc}(r)}{P_0}$$

である。かくして、１２本のスポークのシーメンススタービーム整形器１０は、図６（ｄ）に示されるように、１２個のスポットを３０度の間隔で生成するべきであり、各スポットは２つの生成源を有する。

【００４２】

本発明においては、スポークをねじって螺旋にすることが、効果的に「点を結ぶ」ことができる。ルーフプリズム４６はここでは、曲線又は螺旋上にある（図６（ｅ）参照）。連続的な輪状部のためには、角度間隔毎に均一なパワーが望ましい。Ｎ本のスポークの場合、角度

【数７】

$$\frac{2\pi}{N}i \pm \pi$$

（１番目のスポットが角度θ＝０にある）においてＮ個のスポットが得られ、ここでｉ＝０…Ｎ－１である。

【００４３】

図６（ｆ）及び図６（ｇ）を参照し、

【数８】

$$\theta_s = \frac{2\pi}{N}$$

とし、

【数９】

$$\emptyset$$

は螺旋アーム２２０の法線とする。

【数１０】

$$d\emptyset(r) = \theta_s d\hat{P}(r)$$

したがって、

【数１１】

$$\emptyset(r) = \theta_s \hat{P}(r)$$

しかしながら、

【数１２】

$$\emptyset = \theta + r\frac{d\theta}{dr}$$

したがって、

【数１３】

$$\theta + r\frac{d\theta}{dr} = \theta_s \hat{P}(r)$$

【数１４】

$$\frac{d}{dr}(r\theta) = r\frac{d\theta}{dr} + \theta\frac{dr}{dr}$$

$$\therefore \frac{d}{dr}(r\theta) = \theta_s \hat{P}(r)$$

$$d(r\theta) = \theta_s \hat{P}(r)dr$$

したがって、
【数１５】

$$r\theta = \theta_s \int \hat{P}(r)dr$$

【数１６】

$$\theta = \frac{1}{r}\theta_s \int \hat{P}(r)dr$$

したがって、均一なビームについて、
【数１７】

$$P = {r^2}/{r_0{}^2}$$

かくして、以下を与える：
【数１８】

$$\theta = \theta_s \frac{1}{3} {r^2}/{r_0{}^2}$$

【００４４】
【数１９】

$$\theta(r) = \theta_0 + \hat{P}(r)\Delta\theta$$

であり、ここで
【数２０】

$$\hat{P}(r)$$

は全パワーのうち半径ｒにより囲まれた部分である。
一様なフラットトップなビームについては、
【数２１】

$$\hat{P}(r) = \frac{2\pi r^2}{2\pi r_0{}^2} = (\frac{r}{r_0})^2$$

である。
ガウシアンビームについては、
【数２２】

$$\hat{P}(r) = 1 - e^{-2r^2/\omega_0}$$

である。
【００４５】
かくして、フラットトップな入力ビームに対する修正表面１１２上のアーム１２０の曲

率は、図７（ａ）に示されるように、真の螺旋を与える。ガウシアンについては、スポットは径方向に始まって終わるが、スポークの終わりは次のスポークの始まりの角度にあるので、むしろねじれた螺旋となる（図７（ｂ）参照）。

【００４６】

したがって、光ビーム整形素子１００を製造する方法において、出発点は、各々が同じ一定の大きさの傾きを有するが、方向はｒに垂直である、扇形のファセットの円形パターンを有する、シーメンススタービーム整形器の表面である。各セクションにおける角度分布は、望ましい出力遠視野分布に対応する。先行技術のシーメンススタービーム整形器の表面についてθで放射状に延在するアーム２０は、ここでは

【数２３】

$$\theta + \left(\frac{r}{r_0}\right)^2$$

において放射状に延在するアーム１２０となり、ここでｒは径方向の位置である。

【００４７】

次に、エッジ１１８に沿って各ファセット１１６に曲率が加えられる。このことのために、いくつかの方法がある。

【００４８】

選択肢１：入力ビームサイズに合わせる。各ファセット１１６は、遠視野においてスポットをもたらす（図８（ａ）参照）。図８（ｃ）におけるように、遠視野においてスポットを広げて、それにより最近傍のスポットと結合させるのに十分な曲率を加える。このようにして、１２本のアーム１２０については、結合するためにスポット４８に３０度が加えられる。

【００４９】

選択肢２：入力ビームサイズ及び強度プロファイルに合わせる。入力強度に依存して曲率を変化させ、輪状部において均一な照明を維持する。例えば、ガウシアン入力の場合、曲率は光学素子１００の中心部におけるよりも周縁部に向かって、より緩やかに変化する必要がある：

【数２４】

$$\theta(r) = \theta_0 + \hat{P}(r)\Delta\theta \ ,$$

ここで

【数２５】

$$\hat{P}(r)$$

は全パワーのうち半径ｒで囲まれた部分である。

【００５０】

選択肢３：（許容範囲内の）入力ビームのサイズ及び強度プロファイルに対して敏感にならないようにする。角度分離よりもかなり大きく、スポット４８を重ねる。したがって、各スポット４８に加えられる角度は、遠視野における角度分離よりもかなり大きい。このことは、入力ビームサイズ及び強度プロファイルの変化に対して敏感にならなくする平均化効果を有する。

【００５１】

各選択肢は、本発明の光ビーム整形器素子１００に異なる第１の表面１１２を提供することとなる。いずれの選択肢も、輪状部の外側に径方向の散乱の要素を加えることとなることに留意されたい。ツールに小さな曲率を加えることは、図８（ｃ）に示されるように、スポット４８が結合されないため、ホットスポットが形成されることに帰着する。大き

すぎる曲率が加えられると、図８（ｄ）に見られるように、ファセットの曲率が、環の外側で光が散乱させられる点まで表面の傾きを変化させ、輪状部を広げる効果を有する。目的は、輪状部を広げることではなく、ホットスポットを結合するために曲率を加えることであり、このことは、系のセットアップ及び結像したファイバ及び目標環状スポット４０の相対的なサイズに依存して変わることとなる。

【００５２】

輪状部の広がりは、最初の表面１２のｚの高さをスケーリングすることによって補償され得る。シーメンススタービーム整形器１０においては、各スポーク２０は、ｚ軸における同じ高さを有する（図２（ａ）においてグレースケールで示される）。図９（ａ）に示されるように、極座標において遠視野を見ると、輪状部の広がりは主にθにあり、ｒにおいては輪状部を広げるわずかな効果を有する。ｒにおける広がりは、ｒの関数として高さをスケーリングし、それゆえ傾きを低減させることによって、低減させられ得る。第１の表面１１２においては、高さはｒの関数としてスケーリングされる。このようにして、各アーム１２０の絶対的な傾きは、ｒが増大するにつれて減少する。このことは、図９（ｂ）に示されるように、輪状部を狭くする。輪状部は次いで、最適設計に到達するために繰り返し曲率を加えることによって、再び増大させられてもよい。

【００５３】

基本的に、ｒの関数としてサグ値を回転させることによって、シーメンススタービーム整形器の設計に「ねじれ」が加えられる。このことは、扇形上のファセットがもはや平面ではなくなり、したがって、ホットスポットをもたらす一定数の角度に全ての光を入射させないことを意味する。このことは、ファセットの絶対偏向角がもはや一定ではなくなり、したがって遠視野において輪状部が広げられるという問題を引き起こす。このことは、ｒの関数として傾きが減少するようにスターサグ値を事前スケーリングすることによって補正されることができ、これが次いでねじれによって再補正される。

【００５４】

第１の表面１１２が定義されると、光ビーム整形器素子１００は、基板上への直接書き込み等の既知のレーザ光学機械加工プロセスによって構築されて、プレート上に修正表面１１２のプロファイルをもたらす。

【００５５】

本発明の光ビーム整形器素子１００、及び特に第１の表面１１２は、入れ子にされた光学部品中のコンポーネントに適している。例えば、アキシコンは、その中心において第１の表面１１２のプロファイルに整形され得る。図１０を参照すると、入れ子にされた光学部品５０の高さマップが示されており、中央の円形のセクションは反時計回り方向へのねじれを伴う第１の表面１１２ａで形成され、外側のセクションは第１の表面１１２ａに対して逆方向の曲率を有する第２の表面１１２ｂで形成されている。代替の入れ子にされた光学部品５０ａが、図１１に示されている。入れ子にされた光学部品５０ａは、シーメンススタービーム整形器の表面１２内に第１の表面１１２を有している。かかる光学部品は製造が容易であり、入力ビームの変化に対してあまり敏感ではない。ねじれを入れ子にすることは、レーザ金属切断において重要な考慮事項である、焦点から離れたスポット４０の対称性を改善する。

【００５６】

ここで、第１の光ビーム整形素子１１０及び第２の光ビーム整形素子２１０が存在する光学系２２４を示す、図面の図１２への参照がなされる。第１の光ビーム整形素子１１０は、光ビーム整形素子１００について以上に説明されたようにもたらされ、螺旋状のシーメンススターのプロファイルを有する単一の光屈折面２１２ａからなるビーム整形器である。第２の光ビーム整形素子２１０は、第１の光ビーム整形素子１１０の鏡像である。図示された実施形態においては、素子１１０、２１０は、光学系２２４において、第２のビーム整形素子２１０の機械加工された屈折面２１２ｂが第１のビーム整形素子１１０の表面２１２ａに面するように構成されている。代替としては、素子１１０、２１０は、表面２１２ａと表面２１２ｂとが互いに反対を向くように構成されてもよい。

【００５７】
表面２１２ａ、ｂをもたらす設計フローは、以上に説明されたような標準的な単一プレートの螺旋ビーム整形器１００と同じであり、第２の表面２１２ｂをもたらす２つの更なるステップを有する。光学表面２１２ａ、２１２ｂの湾曲したファセットが並ぶ必要があるため、このことは、一方は他方の鏡像でなければならないことを意味する。これを行う１つの方法は、反対の曲率を適用して再設計することであり、より迅速な方法は、ｘ又はｙにおいてｚ値を反転させて、元の表面の鏡像を得るようにすることである。次のステップは、表面のｚ値を２で除算することであり、このことは、各プレートにおける各ファセットが、意図された偏向の半分を有することを意味し、両方が組み合わせて使用されたときに、必要なスポットサイズが生成される。表面２１２ａ及び２１２ｂの高さマップは、それぞれ図１３（ａ）及び図１３（ｂ）において例示的な設計について示されている。これらは、表面２１２ａ、２１２ｂが互いに面するように配置された場合、及び互いに反対を向くように配置された場合の、互いの鏡像を示している。

【００５８】
図１２に戻ると、光学系２２４は、典型的にはファイバ２２８を通したマルチモードのレーザ２２６を伴って構成され、屈折型の第２の光ビーム整形素子２１０の表面２１２ｂに面する屈折型の第１の光ビーム整形素子１１０の表面２１２ａに入射するように構成された入力ビーム２３０を提供する。素子１１０、２１０は、以上に説明されたように入力ビーム２３０を修正し、コリメータ２３２によってコリメートされる複数のビームレット２３４を提供する。コリメートされたビームレット２３４は、フォーカスレンズ２３６を通過させられ、レンズ２３６の焦点距離２３８においてスポット２４０をもたらすこととなる。この位置は、出力ビーム２４４の照射のため、被加工物２４２に入射するように構成されてもよい。

【００５９】
この構成においては、第１の光ビーム整形素子１１０と第２の光ビーム整形素子２１０とは、系２２４の光軸のまわりに互いに対して回転することができる。回転マウント１５が、この目的のために素子２１０に接続されて示されているが、望ましい場合には、いずれかの素子又は両方の素子に接続されてもよい。各アーム又はスポーク２２０ａ、ｂが、図１３（ａ）及び図１３（ｂ）に示されるように、各表面２１２ａ、ｂ上の隣接するピーク間に谷１９ａ、ｂを有するピーク１７ａ、ｂとして記述され得るエッジ２１８ａ、ｂを有するものを考える。表面２１２ａ、ｂが互いに面している場合、表面２１２ａ、ｂがピーク１７ａからピーク１７ｂへ又はピーク１７ａから谷１９ｂへ完全に位置合わせされる、相対的な回転位置合わせの様々な段階があることが明らかである。ピーク１７ａからピーク１７ｂへの位置合わせは、光学系を通して位相差を最大化し、スポット２４０上に環状強度プロファイルを生成する。ピーク１７ａから谷１９ｂへの位置合わせは位相差を最小化し、そのため焦点においてはファイバコアの像、すなわちスポット２４０におけるスポット状強度プロファイルが見える。この２つの両極端の間の点は連続体上にあり、そのため中心又は環のパワーの量を調節することができ、調節可能なトライデントを形成する。

【００６０】
この位置合わせは、図１４（ａ）及び図１４（ｂ）に示される。図１４（ａ）は、ピーク１７ａからピーク１７ｂへの位置合わせを表し、図１４（ｂ）は、ピーク１７ａから谷１９ｂへの位置合わせを表している。ピーク同士の位置合わせが０度であり、したがって回転的なずれがないとすると、この中立位置においては環状スポット２４０が得られる。スポットが見える谷の位置にピークから移動するためには、半周期移動する必要がある。例えば、２４本のアーム２２０ａ、ｂを有する場合には、７．５度移動する必要がある（各アームがルーフプリズムとして３６０／２４度を占めるように見える）。図１４（ａ）においては、２４本のアーム２２０ａ、ｂはピーク１７ａからピーク１７ｂに配置されているので、点から点へは極座標で１５度を占める。素子２１２ｂを角度空間から出るよう回すと、距離「Ａ」は１５度となる。この第１の構成においては、位相差が最大化され、

環状強度プロファイルを有するスポット２４０が生成される。ここで図１４（ｂ）を参照すると、半周期のずれが表されている。距離「Ｂ」は、ピーク１７ａと谷１９ｂとが位置合わせされている場合、２４本のアーム２２０ａ、ｂについて７．５度である。この第２の構成は、位相差を最小化し、２つの素子１１０、２１０が相殺し、そのためファイバ２２８のコアの像は、被加工物２４２においてスポット２４０として生成される。それゆえ、光学系２２４は、レーザ加工のためのオン／オフ構成を提供するものとみなされ得る。

【００６１】

ここで、図１２～図１４を参照しながら以上に説明されたように、２４本のアーム２２０ａ、ｂを有する素子１１０、２１０が互いに対して１５度だけ回転されたときの、スポット２４０のモデル化された強度分布のシーケンスを示す、図面の図１５（ａ）及び図１５（ｂ）への参照がなされる。０度及び１５度においては、環状強度分布が見られ、７度～８度においては、中心スポット状強度分布がもたらされ、この第１の構成と第２の構成との間においては、中心と環との間に連続的なパワー伝達が存在し、中心又は環におけるパワーの量が調節され得るように調節可能なトライデントを形成する。

【００６２】

本発明の主な利点は、レーザ材料加工に適した低減されたホットスポットを有する均一な輪状強度分布を有する出力ビームを与える光ビーム整形素子を提供することである。

【００６３】

本発明の更なる利点は、既知のシーメンススターービーム整形器の表面がねじれを導入することによって修正される、光ビーム整形素子を製造する方法を提供することである。

【００６４】

本発明の実施形態の更なる利点は、中心又は環の間でパワーを変化させる調節可能なトライデントを形成しつつ、環と中心の強度分布との間で切り換え可能な、レーザ加工のためのビームをもたらす装置及び方法を提供することである。

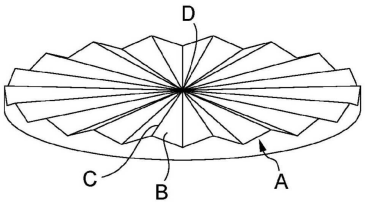
【００６５】

本発明は、複数の積層光ビーム整形素子が光学系において使用されることができ、光ビーム整形素子が使用中に回転させられることができ、入力レーザビームがオン／オフ切り換えされることができる、ＵＳ１０４４４５２１に開示されたもの等の様々な態様で適用され得ることは、当業者には明らかであろう。また、光学系は、被加工物上を移動させられるように構造物上に位置させられてもよい。

【図面】

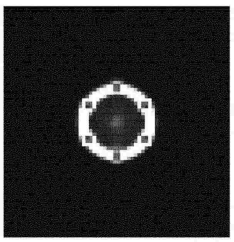
【図１ａ】

（先行技術）



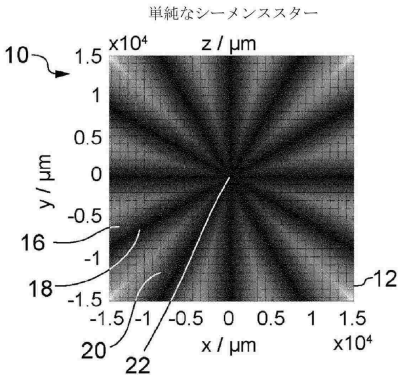
【図１ｂ】

（先行技術）

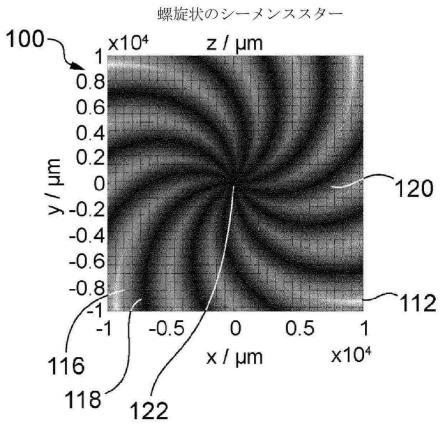


【図２ａ】

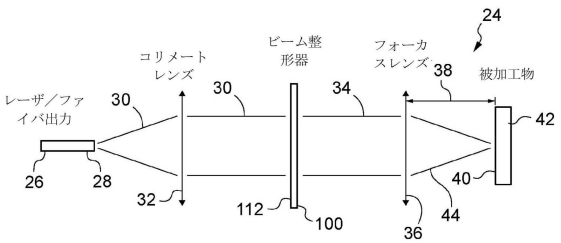
（先行技術）



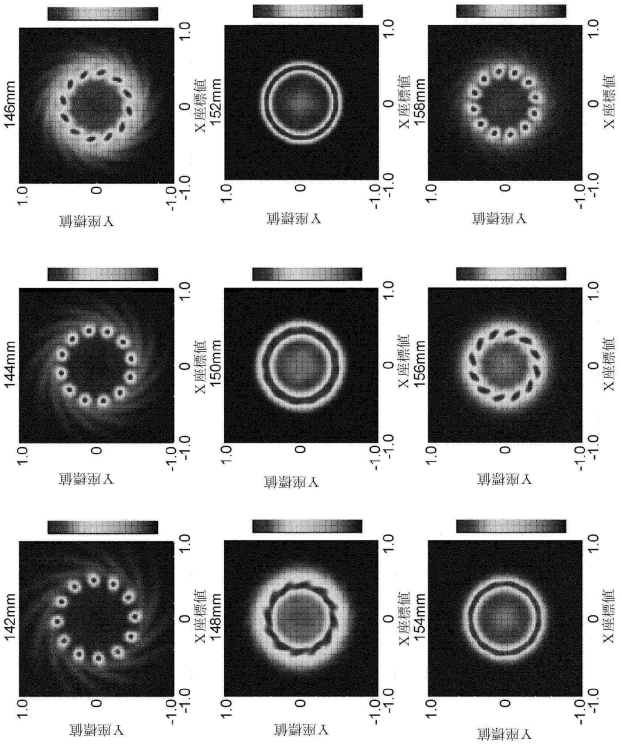
【図２ｂ】



【図３】

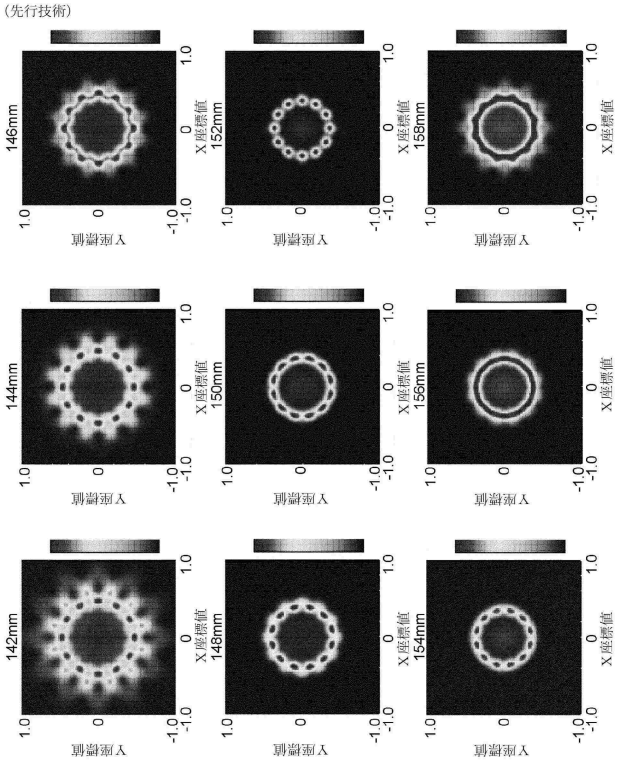


【図４】



【図５】

(先行技術)



【図６ａ】

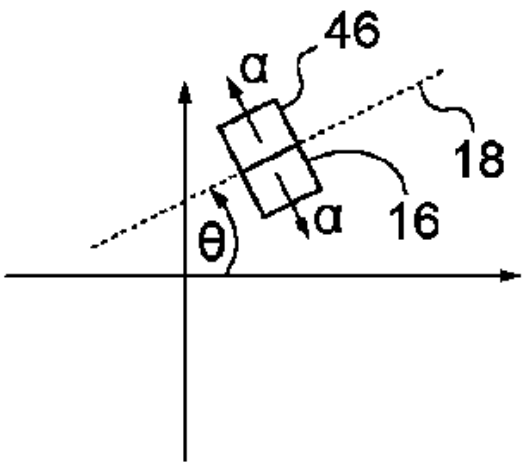


Fig. 6a

【図６ｂ】

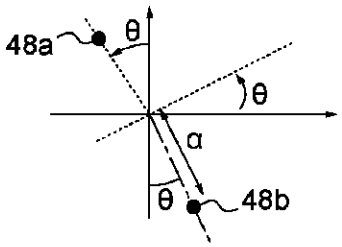


Fig. 6b

【図６ｃ】

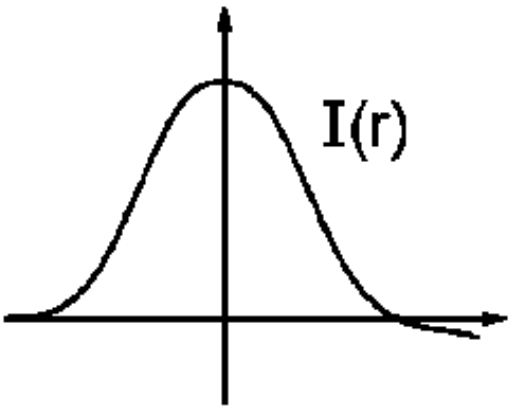


Fig. 6c

【図６ｄ】

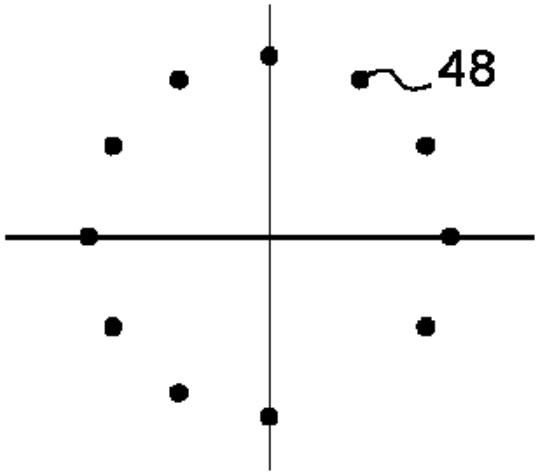


Fig. 6d

【図６ｅ】

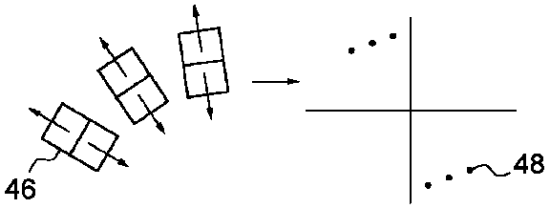


Fig. 6e

【図６ｆ】

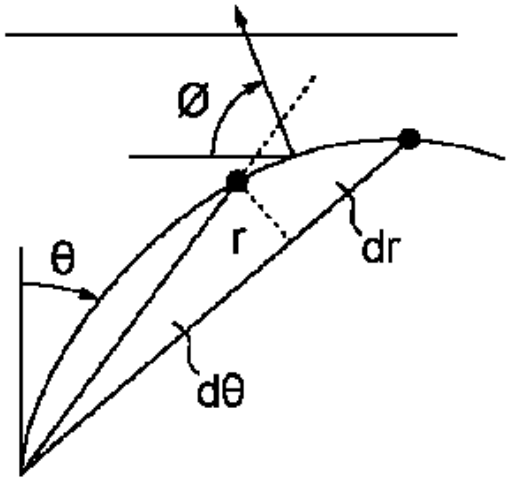


Fig. 6f

【図６ｇ】

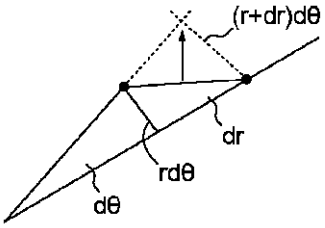
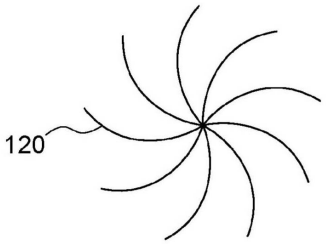


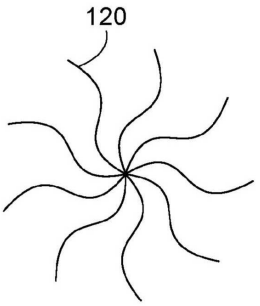
Fig. 6g

【図７ａ】



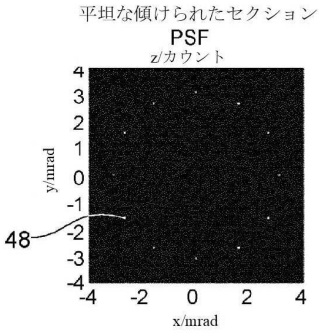
フラットトップ

【図７ｂ】

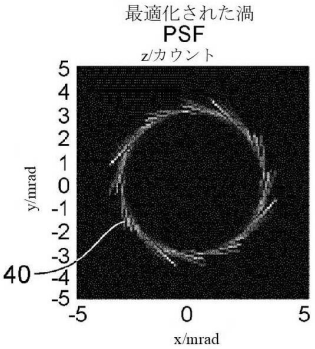


ガウシアン

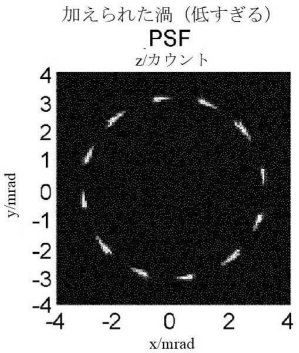
【図８ａ】



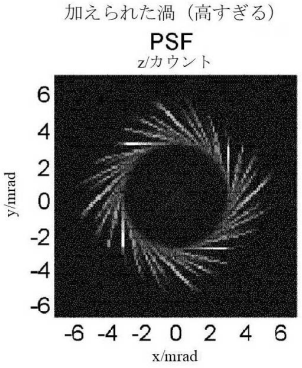
【図８ｂ】



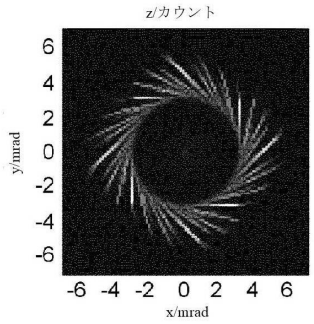
【図８ｃ】



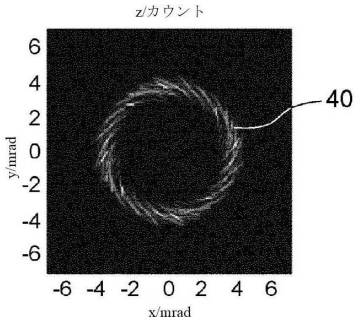
【図８ｄ】



【図９ａ】



【図９ｂ】



【図１０】

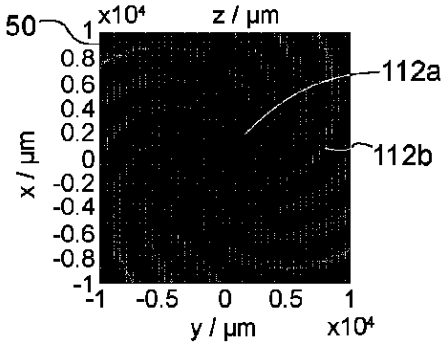
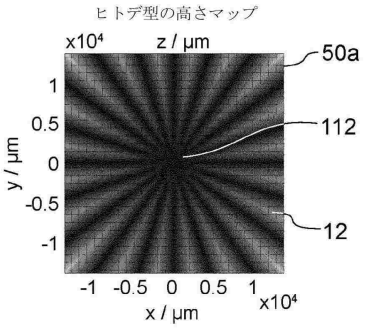
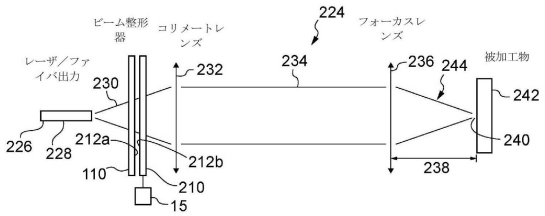


Fig. 10

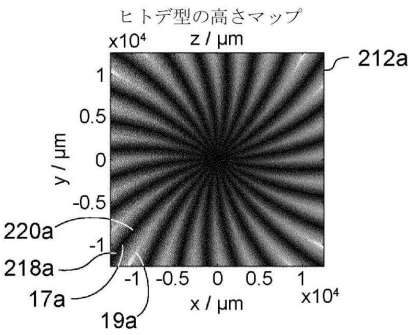
【図１１】



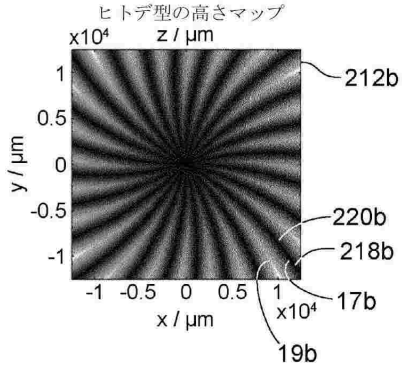
【図１２】



【図１３ａ】



【図１３ｂ】



【図１４ａ】

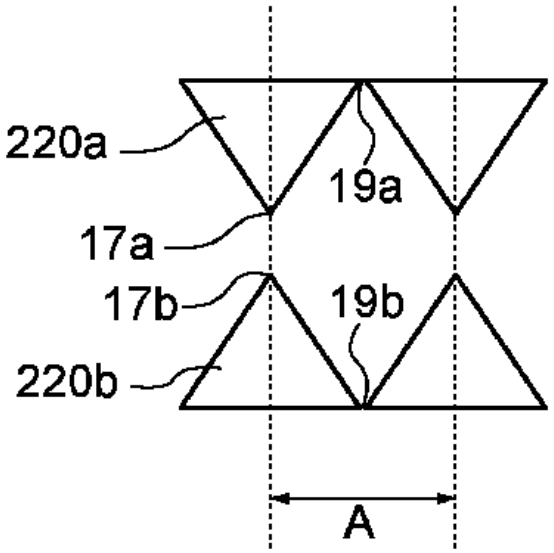


Fig. 14a

【図１４ｂ】

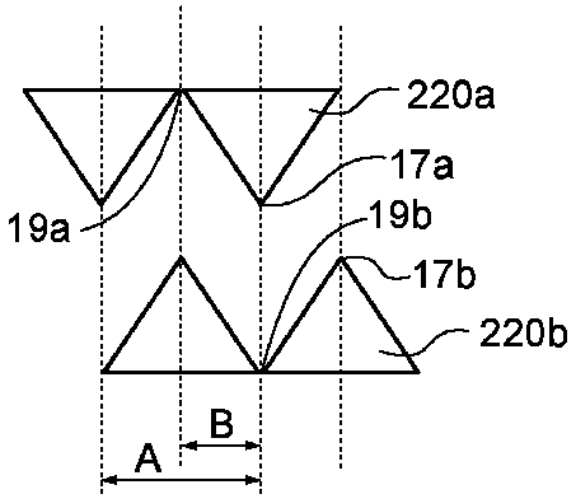
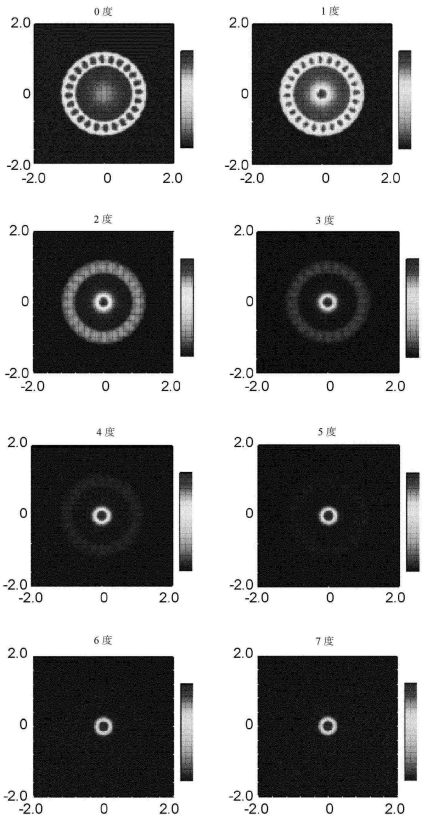
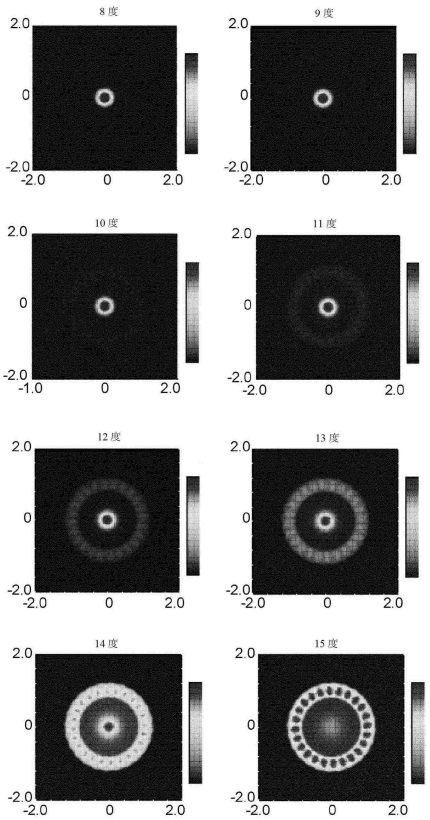


Fig. 14b

【図１５ａ】



【図１５ｂ】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2022/061852

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G02B5/04 B23K26/06 G02B27/09
ADD.

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)
B23K G02B G09B

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2015/194315 A1 (OMRON TATEISI ELECTRONICS CO [JP]) 23 December 2015 (2015-12-23)	1-8,10, 11,15-17
Y	paragraphs [0057] - [0062]; figures 1,6,8	1-8, 10-25
A		9
Y	US 10 444 521 B2 (PRECITEC GMBH & CO KG [DE]) 15 October 2019 (2019-10-15) cited in the application figures 1-7	1-8, 10-25
Y	DE 10 2017 001658 A1 (PRECITEC GMBH & CO KG [DE]) 23 August 2018 (2018-08-23) paragraphs [0021] - [0023]; figure 1	1-8, 10-25
A	US 2007/139798 A1 (EPSTEIN KENNETH A [US]) 21 June 2007 (2007-06-21) figure 5	1,23

☐ 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	Date of mailing of the international search report
26 August 2022	12/09/2022

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Baur, Christoph

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2022/061852

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2015194315 A1	23-12-2015	CN 106415114 A	15-02-2017
		JP 6390194 B2	19-09-2018
		JP 2016004719 A	12-01-2016
		WO 2015194315 A1	23-12-2015
US 10444521 B2	15-10-2019	CN 107646093 A	30-01-2018
		DE 102015101263 A1	28-07-2016
		EP 3250958 A1	06-12-2017
		ES 2713184 T3	20-05-2019
		JP 6347898 B2	27-06-2018
		JP 2018505782 A	01-03-2018
		KR 20170106475 A	20-09-2017
		PL 3250958 T3	31-07-2019
		TR 201818898 T4	21-01-2019
		US 2017371166 A1	28-12-2017
		WO 2016120327 A1	04-08-2016
DE 102017001658 A1	23-08-2018	CN 110446578 A	12-11-2019
		DE 102017001658 A1	23-08-2018
		EP 3585553 A1	01-01-2020
		JP 6872642 B2	19-05-2021
		JP 2020508223 A	19-03-2020
		WO 2018153848 A1	30-08-2018
US 2007139798 A1	21-06-2007	CN 101341601 A	07-01-2009
		EP 1964187 A1	03-09-2008
		JP 4981064 B2	18-07-2012
		JP 2009521782 A	04-06-2009
		KR 20080078845 A	28-08-2008
		TW I379060 B	11-12-2012
		US 2007139798 A1	21-06-2007
		WO 2007078783 A1	12-07-2007

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (April 2005)

フロントページの続き

,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,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,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,IR,IS,IT,JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

ーワイ１１ ９ピーエフ，セント デイビッズ ビジネス パーク，セント デイビッズ ドライブ ５エー

(72)発明者 トレラ－マクドナルド，ナタリア
イギリス ダルゲティ ベイ ファイフ ケーワイ１１ ９ピーエフ，セント デイビッズ ビジネス パーク，セント デイビッズ ドライブ ５エー

(72)発明者 マクブライド，ロイ
イギリス ダルゲティ ベイ ファイフ ケーワイ１１ ９ピーエフ，セント デイビッズ ビジネス パーク，セント デイビッズ ドライブ ５エー

Ｆターム（参考） 2H042 AA03 AA19 AA21
4E168 DA39 EA13 EA17