

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2012-509152

(P2012-509152A)

(43) 公表日 平成24年4月19日(2012.4.19)

(51) Int.Cl.
A61F 2/16 (2006.01)

F I
A61F 2/16

テーマコード(参考)
4C097

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2011-537597 (P2011-537597)
 (86) (22) 出願日 平成21年11月19日(2009.11.19)
 (85) 翻訳文提出日 平成23年7月15日(2011.7.15)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2009/065049
 (87) 国際公開番号 W02010/059764
 (87) 国際公開日 平成22年5月27日(2010.5.27)
 (31) 優先権主張番号 61/116,458
 (32) 優先日 平成20年11月20日(2008.11.20)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 501449322
 アルコン、インコーポレイティド
 スイス国、フネンベルク、ボシュ 69
 (74) 代理人 100099759
 弁理士 青木 篤
 (74) 代理人 100092624
 弁理士 鶴田 準一
 (74) 代理人 100114018
 弁理士 南山 知広
 (74) 代理人 100119987
 弁理士 伊坪 公一
 (74) 代理人 100133835
 弁理士 河野 努

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 変更される中心距離ゾーンをもつ回折多焦点眼内レンズ

(57) 【要約】

本発明は、一般に多焦点の眼科用レンズ、例えば屈折集光パワーを提供するための中心屈折領域と、回折集光パワーを提供するための回折領域とを用いる多焦点の眼内レンズを提供する。レンズの中心領域により提供される屈折集光パワーは、回折集光パワーのうちの一つと略等しい遠集光パワーと一致し、一方、他の回折パワーは、近集光パワーと一致する。遠集光パワーは、中心屈折領域の位相の変更及び/または中心屈折領域の曲率の変更により強化することができる。

【選択図】 図 2 B

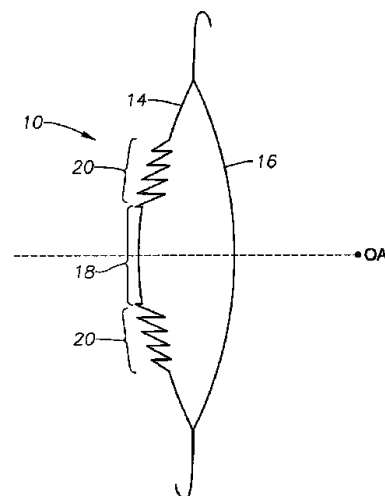


Fig. 2B

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

前側面及び後側面を有する光学素子と、
回折近集光パワー及び回折遠集光パワーを提供するように前記面のうちの一つに配置される回折領域と、を備え、

前記光学素子は、一つの屈折集光パワーを提供するための中心屈折領域を有し、
前記回折領域は、複数のステップにより相互に分離される複数の回折ゾーンを含み、
前記屈折集光パワーへ提供する光を増加させるために、前記中心屈折領域の位相を変更するように、第 1 のステップの高さが、第 2 のステップの高さと異なる、眼内レンズ（IOL）。

10

【請求項 2】

前記前側面及び前記後側面のそれぞれは中心屈折領域を含む、請求項 1 に記載の IOL。

【請求項 3】

前記前側面及び前記後側面のうちの何れかの前記中心屈折領域は、略0.5mmから略2mmまでの範囲内の直径を有する、請求項 2 に記載の IOL。

【請求項 4】

前記前側面及び前記後側面のそれぞれの前記中心屈折領域は、略球面のプロファイルを有する、請求項 2 に記載の IOL。

20

【請求項 5】

前記中心屈折領域の外側の前記回折領域は、略非球面のベースプロファイルを有する、請求項 4 に記載の IOL。

【請求項 6】

前記回折領域は、当該回折領域が配置される面の前記中心屈折領域を少なくとも部分的に囲む、請求項 2 に記載の IOL。

【請求項 7】

前記回折領域に係る前記遠集光パワーは、前記光学素子の中心屈折領域により提供される前記屈折集光パワーと略一致する、請求項 1 に記載の IOL。

【請求項 8】

前記光学素子は、外側屈折領域を含む、請求項 1 に記載の IOL。

30

【請求項 9】

前記外側屈折領域は、前記中心領域により提供される前記屈折集光パワーと略等しい集光パワーを提供する、請求項 8 に記載の IOL。

【請求項 10】

前記面のうちの少なくとも一つは、レンズの収差を制御するように適合された非球面のベースプロファイルを示す、請求項 1 に記載の IOL。

【請求項 11】

前記中心屈折領域は、略球面のプロファイルを有する、請求項 1 に記載の IOL。

【請求項 12】

前記中心屈折領域の外側の前記回折領域は、略非球面のベースプロファイルを有する、請求項 11 に記載の IOL。

40

【請求項 13】

前側面及び後側面を有する光学素子を提供し、
前記光学素子を患者の目の中に埋め込むことを含み、
前記光学素子は、
一つの屈折集光パワーを提供するための中心屈折領域と、
回折近集光パワー及び回折遠集光パワーを提供するように前記面のうちの一つに配置される回折領域と、を有し、
前記回折領域は、複数のステップにより相互に分離される複数の回折ゾーンを含み、
前記屈折集光パワーへ提供する光を増加させるために、前記中心屈折領域の位相を変更

50

するように、第1のステップの高さは、第2のステップの高さと異なる、視力を補正する方法。

【請求項14】

遠焦点を生成するために適合されたベースプロファイルを有する前側面及び後側面を有する光学素子を形成し、

前記面が中心屈折領域及び外側屈折領域を含むように、前記面のうちの少なくとも一つに回折構造を生成することを含み、

前記回折構造は、近焦点の光学パワーを提供するとともに、前記遠焦点の光学パワーに影響を与え、

前記回折構造は、複数のステップにより相互に分離される複数の回折ゾーンを含み、

前記遠焦点の光学パワーへ提供する光を増加させるために、前記中心屈折領域の位相を変更するように、第1のステップの高さは、第2のステップの高さと異なる、眼科用レンズを製造する方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に多焦点の眼科用レンズに関し、特に、屈折光学集光パワー及び回折光学集光パワーを提供することができる多焦点の眼内レンズに関する。

【背景技術】

【0002】

眼内レンズ(IOL)は、通常、固有の水晶体を置換するために、白内障手術中に、患者の眼の中に埋め込まれる。幾つかのIOLは、患者に遠焦点パワーのみならず近焦点パワーを提供する回折構造を用いる。言い換えれば、そのようなIOLは、患者に一定の調節(ときには「擬似調節」と呼ばれる)を提供する。遠焦点レンズパワーと近焦点レンズパワーの間のエネルギーの分割は、回折構造の「ステップ高さ」を変更することにより、また、光を単に単一の焦点に向かわせる中心「屈折」ゾーンを使用することにより、調節することができる。一般に一つの焦点へのエネルギーが増加すると、他の焦点へのエネルギーが減少し、その他の焦点における像のコントラストが弱くなる。しかしながら、像のコントラストは、例えば結像における収差、及び回折構造の特徴等の他の要因によっても影響を受ける。

【0003】

従って、遠焦点と近焦点の両方において像のコントラストを強める、回折多焦点レンズの設計が必要である。

【発明の概要】

【0004】

一形態において、本発明は、眼内レンズ(IOL)を提供する。そのIOLは、前側面及び後側面を有する光学素子を備え、その光学素子は、屈折集光パワーを提供するための中心屈折領域を含む。回折領域は、回折近集光パワー及び回折遠集光パワーを提供するための少なくとも一つのレンズ面上に配置される。幾つかの場合には、屈折焦点パワーと回折遠集光パワーとは略等しい。中心ゾーンを通過する光の光学特性は、両方のパワーについて像全体のコントラストを最適化するように調節することができる。

【0005】

関連する形態では、上記のIOLにおいて、面のうちの一つ(例えば、前側面)は、回折領域で囲まれた中心屈折領域を含む。そしてその回折領域も同様に外側屈折領域で囲まれる。幾つかの場合には、中心屈折領域は、略0.5mmから略2mmまでの範囲内の直径を有する。

【0006】

他の形態において、回折領域は、複数のステップにより相互に分離された複数の回折ゾーン(例えば、2から20のゾーン)を含む。中心のステップ高さ、及び/又は中心ゾーンの曲率は、像のコントラストを最適化するように調節される。幾つかの場合には、他のス

10

20

30

40

50

テップは略均一の高さを示すが、他の場合には、他のステップの高さは非均一としてもよい。例えば、ステップは、光学素子の中心からの半径方向の距離が増大するにつれて高さが低くなるようにアポダイズすることができる。あるいは、アポダイズされたステップは、光学素子の中心からの半径方向の距離が増大するにつれて高さが高くなることを示してもよい。つまり、ステップは「逆アポダイズ」することができる。他の場合、ステップ高さは、回折領域の内側の半径方向の境界からその領域内の中間位置へ向かって高くなっていき、続いて、その領域の外側の半径方向の境界へ向かって低くなっていくようにしてもよい。その逆も同様である。

【0007】

他の形態では、光学素子が中心屈折領域及び外側屈折領域を含むように構成された前側面及び後側面を有する光学素子を含む、多焦点の眼科用レンズ（例えば、IOL）が開示される。加えて、回折領域は、二つの回折集光パワーを提供するように少なくとも一つの面上に配置される。

【0008】

幾つかの場合には、上記の眼科用レンズにおいて、中心屈折領域及び外側屈折領域は異なる屈折パワーを提供する。例えば、中心領域は遠集光パワーを提供し、外側屈折領域は近集光パワーを提供してもよい。同様に、回折領域は、中心領域及び外側領域により提供される屈折近集光パワー及び屈折遠集光パワーと一致する、回折近集光パワー及び回折遠集光パワーを提供してもよい。

【0009】

これらの各形態において、本発明の眼科用レンズの実施形態に係る中心屈折領域は中心距離ゾーン（a central distance zone）を含む。回折領域はステップ高さを低くして、中心屈折領域と回折領域の両方が協働して、近集光パワーの許容レベルを維持しながら、IOL光学素子に係る遠くのパワー（the distance power）に向けられるエネルギーの量を増加させることができる。

【0010】

さらに、以下に簡単に説明される、関連する図面とともに以下の詳細な記述を参照することにより、本発明の様々な形態を理解することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】先行技術に係るアポダイズされた回折多焦点IOLの概略側面図である。

【図2A】本発明の一実施形態に従う多焦点IOLの概略平面図である。

【図2B】調節された中心ゾーンの位相及び基準曲線と略同一の曲率をもつ中心距離ゾーンを有する、図2Aに示される多焦点IOLの概略側面図である。

【図2C】前側面に係るベースプロファイルが差し引かれた、図2A及び2Bに示されるIOLの前側面に係る半径方向のプロファイルを示す。

【図3】調節された中心ゾーンの位相及び中心ゾーンの傾斜をもつ中心距離ゾーンを有する、本発明の一実施形態に従う多焦点IOLの概略側面図である。

【図4】異なる中心ゾーンの位相と中心ゾーンの曲率の組み合わせを有する本発明の実施形態に係る軸外距離の二乗に応じた光学特性を図示する一連のグラフである。

【図5】異なる中心位相の値を有する本発明のIOLの実施形態における変調伝達関数の変化を図示する一連のグラフである。

【図6A】逆アポダイズされた回折領域を有する一実施形態に従う多焦点IOLの概略側面図である。

【図6B】図6Aに示されたIOLの（面のベースプロファイルを引いた）前側面の半径方向のプロファイルである。

【図6C】本発明に係る一実施形態に従う多焦点IOLの概略側面図である。

【図6D】面に配置された回折領域の異なる回折ゾーンを分離するステップの高さが、レンズ中心からの半径方向の距離が増大するにつれて高くなり、続いて低くなることを示すことを意図する、図6Cに係るIOLの（面のベースプロファイルを引いた）前側面の半

10

20

30

40

50

径方向のプロファイルである。

【図 6 E】面に配置された回折領域の異なる回折ゾーンを分離するステップの高さが、レンズ中心からの半径方向の距離が増大するにつれて低くなり、続いて高くなることを示す、一実施形態に従う I O L の (面のベースプロファイルを引いた) 面の半径方向のプロファイルである。

【図 7】面に配置された回折領域の異なる回折ゾーンを分離するステップが略均一の高さを示す、一実施形態に従う I O L の (面のベースプロファイルを引いた) 面の半径方向のプロファイルである。

【図 8】レンズの前側面上に配置された回折領域がレンズの周辺にまで及ぶ、本発明に係る一実施形態に従う I O L の概略側面図である。

【図 9】異なる屈折集光パワーを提供する、中心屈折領域及び外側屈折領域を有する本発明に係る一実施形態に従う I O L の概略側面図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

本発明は、一般に多焦点眼科用レンズ、例えば屈折集光パワーを提供するための屈折領域及び一つ以上の回折集光パワーを提供するための回折領域を用いる多焦点眼内レンズを提供する。幾つかの場合には、レンズによって提供される屈折集光パワーは、回折集光パワーのうちの一つと略等しい遠焦点光学パワーに一致し、一方、他の回折パワーは近焦点光学パワーに一致する。同様に、幾つかの場合には、レンズの集光特性は、特に小瞳孔サイズにおける、その遠焦点の能力によって支配される。以下の実施形態では、本発明の様々な側面に係る顕著な特徴が、眼内レンズ (I O L) に関連して説明される。また、本発明の教示は、例えばコンタクトレンズ等の他の眼科用レンズに適用することができる。「眼内レンズ」という用語及びその略称 I O L は、眼の固有のレンズを置換するために、あるいは固有のレンズが除去されるか否かにかかわらず視力を増強するために、眼の内側に埋め込まれるレンズを記述するよう、ここでは同じ意味で用いられる。角膜内のレンズ及び有水晶体眼内レンズは、固有のレンズを除去することなく眼の中に埋め込まれるレンズの例である。

【0013】

図 1 は、先行技術のアポダイズされた回折多焦点 I O L のレンズ表面を概略的に示す。その中心ゾーンの曲率は、隣接する環状ゾーンの曲率と大まかに類似する。図 2 A、図 2 B 及び図 2 C は、光軸 O A の周囲に配置される、前側面 1 4 及び後側面 1 6 を有する光学素子 1 2 を含む、本発明の一実施形態に従う多焦点の眼内レンズ (I O L) 1 0 を概略的に示す。以下で詳細に説明されるように、I O L 1 0 は、遠集光パワー及び近集光パワーを提供する。この実施形態では、I O L は、両凸プロファイルを有する (前側面及び後側面のそれぞれが凸プロファイルを有する)。一方、他の実施形態では、I O L は、例えば凹凸、平凸等の他の何れかの適切なプロファイルを有する。幾つかの実施態様では、光学素子 1 2 は、略 2mm から略 4mm の範囲内の、光軸 O A からの最大半径 (R) を有する。一方、他の実施形態では、より大きくしてもよい。より多くの光を遠くの焦点に向けるために、例えば、回折のステップの全てのステップ高さは、図 1 における先行技術の例と比較して低くされる。これは、遠くの焦点へより多くの光を向け、近くの焦点へより少ない光を向ける効果を有する。

【0014】

回折のステップ高さの変化に加えて、前側面 1 4 は、環状回折領域 2 0 及び外側屈折領域 2 2 に囲まれた、中心「屈折」領域 1 8 を含む。中心領域がレンズの遠パワーに相当する「屈折」焦点を有すれば、そのレンズパワーにさらなる光が向けられる。多くの実施態様では、中心屈折領域 1 8 は、略 0.25mm から略 1mm の範囲内の光軸 O A に応じた半径 (R c) を有する。また、他の半径を用いてもよい。この例示的实施形態では、後側面 1 6 は回折構造を全く含まない。一方、他の実施形態では、そのような構造を含んでもよい。以下でさらに説明されるように、前側面の中心屈折領域 1 8 は光学素子の集光パワーに影響を与える。その集光パワーは、この実施形態において I O L の遠焦点光学パワーに一致す

10

20

30

40

50

る。例として、幾つかの場合には、光学素子の遠くのパワーは略-5ディオプタから略+55ディオプタの範囲内であり、より典型的には略6ディオプタから略34ディオプタの範囲内であり、または略18ディオプタから略26ディオプタの範囲内である。

【0015】

図2A~図2Cの例では、前側面14及び後側面16の両方のベースプロファイルは、回折構造をもたず遠くのパワーのみをもつレンズを提供する光学素子を形成する材料の屈折率とともに、選択された曲率をもつ略球面である。しかしながら、中心ゾーン領域の軸位置は、基準曲線と適合しないように調節される。これは、図2Cにおける中心領域と外側領域の間の高さが離れていることによって示される。レンズの残りの部分と比較して、この中心ゾーンの相対的学位相の調節は、二つの焦点へのエネルギーの分割から多少独立して、両方のレンズパワーについて像のコントラストを調節するために用いることができる。同様に、中心ゾーンの面の曲率も、独立して、または回折のステップの位相遅延と連動して、像のコントラストを最適化するように調節することができる。

10

【0016】

幾つかの他の実施態様では、一つまたは両方のレンズ面は、収差を制御し、像のコントラストを増大させるように適合された非球面のベースプロファイルを示すことができる。例として、そのような実施形態に従うIOLは、前側面及び後側面を有する光学素子を備えることができる。前側面は、後側面と協働して屈折光学パワーを生成する中心屈折領域を含む。前述の実施形態と同様に、回折領域は中心屈折領域を囲む。同様に、回折領域は外側屈折領域により囲まれる。そのような実施形態では、前側面は非球面のベースプロファイルを示す。言い換えると、前側面のベースプロファイルは、推定球面プロファイルと異なる。例えば、前側面の非球面のベースプロファイルは、収差の効果を制御するレンズの屈折パワーに基づいて選択される、負の円錐定数により特徴付けられる。例として、円錐定数は、略-10から略-1000(例えば、-27)の範囲内とすることができる。この実施形態では、後側面のベースプロファイルは略球面であるが、他の実施形態では、二つの面の結合した非球面プロファイルがレンズの中心部分による単一の屈折焦点の発生を容易にするように、後側面のベースプロファイルは選択された非球面度を示してもよい。他の実施態様では、中心屈折ゾーンは、その面が他の非球面のベースプロファイルを有するときでさえ、単一の屈折焦点の発生を容易にするように、球面プロファイルを示してもよい。

20

【0017】

図2A、図2B及び図2Cを再度参照すると、光学素子12は、任意の適切な生体適合性材料で作ることができる。そのような材料の幾つかの例は、レンズの特定のアプリケーションのための必須の屈折率を有するソフトアクリル、シリコン、ヒドロゲルまたは他の生体適合性材料を含むがこれに限定されない。多くの実施態様において、光学素子を形成する材料の屈折率は、略1.4から略1.6までの範囲内とすることができる(例えば、光学素子は、1.55の屈折率を有するアクリソフ(登録商標)(2-フェニルエチルアクリレート及び2-フェニルエチルメタクリレートの架橋されたコポリマー)として周知のレンズ材料で形成することができる)。

30

【0018】

また、例示的なIOL10は、患者の眼の中のIOLの配置を容易にする、複数の固着部材(fixation members)11(例えば、ハプティクス(haptics))を含む。また、固着部材11は、例えば、ポリメチル・メタクリレート、ポリプロピレン等の適切なポリマー材料で形成することもできる。

40

【0019】

また、上記したように、光学素子12は、その前側面14上に配置される回折領域20を含む。一方、他の実施形態では、回折領域20は、後側面または両方の面上に配置されてもよい。回折領域20は、光学素子の前側面の中心屈折領域18を囲む環状領域を形成する。この例示の実施形態では、回折領域20は、遠焦点光学パワー及び近焦点パワーを提供する。この例では、回折構造により提供される遠焦点光学パワーは、IOLの中心屈折領域により提供される屈折集光パワーと概略類似する。回折領域によって提供される近

50

焦点光学パワーは、例えば、略1Dから略4Dまでの範囲内とすることができるが、他の値を使用してもよい。幾つかの実施態様では、回折領域20は、略0.5mmから略2mmまでの範囲内の幅(w)を有することができるが、他の値を用いてもよい。他の実施形態では、回折領域20は、近焦点パワーを提供せずに遠焦点光学パワーを提供することができる。

【0020】

幾つかの実施形態では回折領域は光学素子12の外側の境界にまで及んでもよいが、この実施形態では回折領域は光学素子12の外側の境界まで及ばない。より厳密には、回折領域は、レンズの中心屈折領域18とレンズの外側屈折領域22の間に配置される。中心屈折領域と同様に、外側屈折領域は、この場合に中心領域によって提供される屈折パワーと略等しい、単一の屈折集光パワーを提供する。言い換えると、IOLの中心屈折領域及び外側屈折領域は、レンズの遠焦点パワーのみに影響を与える。一方、その回折領域(ここではゾーン回折領域とも呼ばれる)は、光エネルギーの入射をその上でレンズの遠焦点及び近焦点の両方へ向ける。ここに記述されるように、遠焦点パワーに向けられるエネルギーは、回折領域のステップ高さを低くすることにより、かつ/または、中心屈折距離ゾーンの曲率を調節することにより、増加させることができる。

10

【0021】

図2Cに面のベースプロファイルを持たない前側面の面プロファイルが概略的に示されるように、この例示的实施形態では、回折領域20は、前側面14の下部の基準曲線上に配置される複数の回折ゾーン24で形成される。回折ゾーンの数は、略2から略20までの範囲内とすることができるが、他の数を用いてもよい。回折ゾーン24は、複数のステップ26により相互に分離される。この例示的实施態様では、ステップ26の高さは、不均一である。より厳密には、この例では、ステップ高さは、前側面の中心(光軸OAと前側面との交点)からの距離が増大するにつれて低くなる。言い換えると、ステップは、レンズの光軸からの半径方向の距離が増大するにつれて高さが低くなることを示すようにアボダイズされる。さらに詳しく以下に述べるように、他の実施形態では、ステップ高さは、他のタイプの不均一性を示してもよいし、あるいは、均一性を示してもよい。また、図2Cに概略的に示される半径方向のプロファイルは、中心ゾーンに位相のシフトが与えられるが、IOLの中心屈折領域及び外側屈折領域の曲率が、前側面の基準曲率に一致することを示す(従って、これらの領域は図において平らな部分として示される)。以下に説明するように、より多くのエネルギーを本発明の実施形態に係る遠焦点パワーへまわすために、他の構成を使用してもよい。

20

30

【0022】

ステップは、回折ゾーンの半径方向の境界に位置付けられる。この例示的实施形態では、ゾーンの境界の半径方向の位置は、以下の関係に従って決定することができる。

【数1】

$$r_i^2 = r_0^2 + 2i\lambda f \quad (1)$$

40

ここで、iはゾーン番号を示し、 r_0 は中心屈折ゾーンの半径を示し、 λ は設計波長を示し、fは近焦点に係る焦点距離を示す。幾つかの実施形態では、設計波長 λ は、視覚反応の中心の550nmの緑色光となるように選択される。幾つかの場合には、中心ゾーンの半径(r_0)は、

【数2】

$$\sqrt{\lambda f}$$

50

に設定される。

【0023】

続いて図2Cを参照すると、幾つかの場合には、隣接ゾーンの間ステップ高さ、またはゾーン境界における各回折素子の垂直方向の高さは、以下の関係に従って定義することができる。

【数3】

$$\text{ステップ高さ} = \frac{\lambda}{2(n_2 - n_1)} f_{\text{apodize}} \quad (2)$$

10

ここで、 λ は、設計波長（例えば、550nm）を示し、 n_2 はレンズが形成される材料の屈折率を示し、 n_1 はレンズが配置される媒体の屈折率を示し、 f_{apodize} は光軸とレンズの前側面との交点からの半径方向の距離が増大するにつれて値が減少するスケーリング関数を表す。例えば、スケーリング関数は以下の関係で定義することができる。

【数4】

$$f_{\text{apodize}} = 1 - \left\{ \frac{(r_i - r_{in})}{(r_{out} - r_{in})} \right\}^{\text{exp}}, r_{in} \leq r_i \leq r_{out} \quad (3)$$

20

ここで、 r_i は*i*番目のゾーンの半径方向の距離を示し、 r_{in} は図2Cで概略的に示される回折領域の内側の境界を示し、 r_{out} は図2Cで概略的に示される回折領域の外側の境界を示し、expはアポディゼーションゾーンの相対的位置及び回折素子のステップ高さについての所望の低減に基づいて選択された値を示す。指数expはレンズ面にわたる回折効率における所望の変化度に基づいて選択することができる。例えば、expは略2から略6までの範囲内の値を取ることができる。

【0024】

30

他の例として、スケーリング関数は、以下の関係で定義することができる。

【数5】

$$f_{\text{apodize}} = 1 - \left(\frac{r_i}{r_{out}} \right)^3 \quad (4)$$

ここで、 r_i は*i*番目のゾーンの半径方向の距離を示し、 r_{out} はアポディゼーションゾーンの半径を示す。

40

【0025】

図2Cを再度参照すると、この例示的实施形態では、ゾーン境界における各ステップは、ベースプロファイルを中心とし、ステップの中心から、その高さの半分がベースプロファイルの上側にあり、残りの半分がベースプロファイルの下側にある。ステップの中心の高さ以外のステップ高さの選択に関するさらなる詳細は、米国特許第5699142号に見ることができる。また、その特許はその内容全体がここに参照として組み込まれる。

【0026】

使用の際、中心屈折領域は、IOL10が小瞳孔サイズ、つまり、中心屈折領域の半径方向のサイズ以下の瞳孔サイズの単焦点の屈折レンズとして有効に機能するように、単一の遠焦点屈折パワーを提供する。より大きい瞳孔サイズの場合、中心領域は単一の遠焦点

50

光学パワーを提供し続ける一方、回折領域は、二つの回折集光パワーを提供することにより I O L の集光パワーに影響を与え始める。一方は中心領域の屈折遠焦点パワーと略等しく、他方は近焦点パワーと一致する。また、瞳孔サイズがさらに増大するにつれて、外側屈折領域 2 2 は、レンズの遠焦点パワーに屈折性の影響を与える。遠焦点に対して近焦点に分配される光エネルギーの割合は、例えば、中心屈折領域及び外側屈折領域のサイズと、回折領域に関連するパラメータ（例えば、ステップ高さ）とによって調節することができる。さらに、ステップ高さがアボダイズされる場合、この割合は、瞳孔サイズに応じて変更することができる。例えば、回折構造のステップ高さの低減は、瞳孔サイズが増大するにつれて、その回折構造により遠焦点に伝達される光エネルギーの割合の増大をもたらす。

10

【 0 0 2 7 】

このように、本発明の実施形態に係る遠焦点パワーに向けられるエネルギーは、回折領域における回折のステップ高さの低減により、かつ/または、中心距離ゾーンの曲率の調節により、増加させることができる。中心ゾーンは、I O L の基準曲率と同じ曲率を有することにより、単純な中心距離ゾーンをもたらし、または、異なる中心ゾーンの曲率を有することにより、遠焦点の性能の改善を強化することができる。例えば、図 2 B は、調節された中心ゾーンの位相及び基準曲線と略同一の曲率をもつ中心距離ゾーンを有する、図 2 A の多焦点 I O L の概略側面図を示す。この実施形態では、中心ゾーンの位相は、第 1 の回折ステップ（中心ゾーンに最も近いステップ）の高さを調節（低減）し、それにより中心ゾーンの位相遅延を変更することによって調節される。他の実施形態では、例えば図 20

20

【 0 0 2 8 】

図 2 B 及び図 3 とここに示した他の図とに示されるように、異なるレンズパラメータを、本発明の実施形態に係る遠焦点パワーに分配されるエネルギーを増加し、像のコントラストを制御するように、単独で、または組み合わせて用いることができる。このように、例えば、中心の回折のステップの調節が中心ゾーンの曲率の変更と組み合わせられる。中心ゾーンの形状も調節することができ、球面または非球面にすることができ、基準曲線の形状と異なるものとする事ができる。さらに、同様に、ここに記載された中心ゾーンの位相及び曲率に対する調節は、幾つかの実施形態において、遠焦点パワーとは反対に、近焦点パワーに分配されるエネルギーを増加させるように用いることができる。このように、本発明の実施形態は、像の質を制御しながら、第 1 の（遠焦点）レンズパワーまたは第 2 の（近焦点）レンズパワーに、より多くのエネルギーを向けるように非常に有効に用いられる。

30

【 0 0 2 9 】

図 4 は、異なる中心ゾーンの位相と中心ゾーンの曲率の組み合わせを有する本発明の実施形態に係る軸外距離の二乗に応じた光学特性を図示する一連のグラフである。図 5 は、異なる中心位相の値を有する本発明の I O L の実施形態における変調伝達関数（MTF）の変化を図示する一連のグラフである。これらのグラフは、I O L の半径の二乗の関数としてプロットされ、中心ゾーンに対する調節の例を図示する。これらは、中心ゾーンの面における光学位相遅延と I O L 光学素子の物理的な面プロファイルとを表す。図 5 は、中心の回折のステップで 0.5 の位相遅延を有する本発明の I O L に係る実施形態と比較される単純な中心距離ゾーンを有する先行技術のレンズ設計の特定の例による遠焦点パワーの改善を図示する。加えて、この例は、全ての回折領域のステップ高さの低減により、先行技術のレンズと比較して遠焦点パワーへのエネルギーの増加を示す。この例では、MTF コントラストは、中心ゾーンにおける位相遅延のない類似のレンズと比較して、中心ゾーンの位相遅延の導入とともに、近パワーについて増大する。

40

【 0 0 3 0 】

本発明の実施形態に係る回折領域のアボディゼーションは、上述したものに限定されな

50

い。つまり、様々なタイプのステップ高さのアポディゼーションを用いることができる。例として、図 6 A 及び図 6 B を参照すると、幾つかの実施形態において、IOL 30 は、前側面 32 及び後側面 34 を含み、前側面は、中心屈折領域 36 と、中心屈折領域 34 を囲む環状回折領域 38 と、外側屈折領域 40 とにより特徴付けられる。外側屈折領域は、複数のステップ 38b により相互に分離される複数の回折ゾーン 38a によって形成され、そのステップは、その回折領域の内側境界 A からその外側境界 B まで高さが高くなっていくことを示す。

【0031】

そのようなステップ高さのアポディゼーションは、ここでは「逆アポディゼーション」と呼ばれる。前述の実施形態と同様に、回折領域は IOL の遠焦点光学パワーだけでなく、近焦点パワーにも影響を与える。その近焦点パワーは、例えば、略 1D から略 4D の範囲内とすることができる。しかしながら、前述の実施形態とは異なり、(光軸からの半径方向の距離が増大するにつれてステップ高さが高くなることに起因して) 回折領域によって遠焦点へ伝達される光エネルギーの入射の割合は、瞳孔サイズが増大するにつれて減少する。

10

【0032】

他の実施形態では、回折領域におけるステップ高さは、その領域内部の中間位置で最大値に到達するように、その領域の内側境界から高くなっていき、続いてその領域の外側境界へ向かって低くなっていく。例として、図 6 C は、前側面 46 及び後側面 48 により特徴付けられた光学素子 44 を有する、そのような IOL 42 を示す。前述の実施形態と同様に、前側面 46 は、中心屈折領域 50 と、屈折領域を囲む環状回折領域 52 と、同様に回折領域を取り囲む外側屈折領域 54 とにより特徴付けられる。図 6 D に表された前側面の半径方向のプロファイルを参照すると、環状回折領域は、複数のステップ 58 により他から分離される複数の回折ゾーン 56 を含み、そのステップ高さはレンズ中心からの半径方向の距離が増大するにつれて高くなっていき、その後低くなっていくことを示す。あるいは、図 6 E に概略的に示された他の実施形態では、ステップ高さはレンズ中心からの距離が増大するにつれて低くなっていき、その後高くなっていくことを示す。

20

【0033】

さらに他の実施形態では、回折領域の異なるゾーンを分離するステップ高さは、略均一(例えば、製造上の公差内)としてもよい。例として、図 7 は、下部のベースプロファイルが差し引かれた、そのようなレンズ面(例えば、レンズの前側面)の半径方向のプロファイルを概略的に示す。半径方向の面プロファイルは、その面が(面の基準曲率と略等しい曲率をもつが、さらなる位相遅延をもつ)中心屈折領域 A、回折領域 B、及び外側屈折領域 C を含むことを指し示す。回折領域 B は、複数のステップ 62 によって相互に分離される複数の回折ゾーン 60 によって特徴付けられる。ステップ 62 の高さは、略均一である。

30

【0034】

例として、各ゾーンの境界において選択される位相シフトを提供する、略均一なステップ高さを有する IOL に係る幾つかの実施態様では、ゾーン境界の半径方向の位置は、式(1)に従って決定することができる。幾つかの場合には、中心ゾーンの半径(r_0)は、

40

$$\sqrt{\lambda f}$$

に設定される。さらに、隣接するゾーンの間ステップ高さは、以下の関係に従って定義することができる。

【数 7】

$$\text{ステップ高さ} = \frac{b\lambda}{(n_2 - n_1)} \quad (6)$$

ここで、 λ は、設計波長（例えば、550nm）を示し、 n_2 はレンズが形成される材料の屈折率を示し、 n_1 はレンズが配置される媒体の屈折率を示し、 b は例えば、0.5または0.7である比率である。

10

【0035】

幾つかの実施形態では、回折領域は、中心屈折領域の外側境界から光学素子の外側境界まで及んでもよい。例として、図8は、前側面66及び後側面68を含む上記のIOL64を概略的に示す。前側面は、屈折の後側面と協働して、屈折遠焦点パワーを光学素子に伝える中心屈折領域70を含む。中心ゾーンは、ステップ高さ及び/または曲率の調節を有する。前側面上に配置された回折領域72は、中心屈折領域の外側境界から光学素子の外側境界まで及んで、回折近焦点光学パワーと回折遠焦点光学パワーを提供する。この例示の実施態様では、回折遠焦点パワーは、光学素子の中心屈折領域により提供される屈折遠焦点パワーと略等しい。この例では、回折領域は、略均一な高さを有するステップにより分離された複数の回折ゾーンによって形成されるが、他の実施態様では、ステップ高さは、非均一とすることができる（例えば、アポダイズすることができる）。

20

【0036】

幾つかの他の実施形態では、IOLは、中心屈折領域、その面上に配置された環状回折領域及び外側屈折領域を含んでもよく、その中心屈折領域及び外側屈折領域は異なる屈折集光パワーを提供する。中心ゾーンは、ステップ高さ及び/または曲率の調節を有する。例として、図9に概略的に示されるように、そのようなIOL90の中心屈折領域90aは（遠焦点Aに対応して）IOLの遠焦点光学パワーに影響を与え、一方、IOLの外側屈折領域90bは（近焦点Bに対応して）IOLの近焦点光学パワーに、屈折性の影響を与えることができる。同様に、回折領域90cは、IOLの近集光パワーと遠集光パワーの両方に、回折性の影響を与える。中心領域と外側領域の屈折集光特性におけるそのような違いは、例えば、中心屈折領域の面曲率（面プロファイル）と異なる面曲率（面プロファイル）を有するように、一つまたは両方のレンズ面の外側領域を構成することにより、実現することができる。

30

【0037】

幾つかの場合には、少なくとも一つのレンズ面に係るベースプロファイルは、例えば焦点深度を制御する等、収差を制御する選択された非球面度を示すことができる。例えば、回折領域が配置される前側面は、球面プロファイルを示し、一方、後側面は特定の非球面度を示してもよい。例として、非球面プロファイルを有する一つ以上のレンズ面の構成に関するさらなる技術が、係属中の2006年4月4日出願された米国特許出願第11/397332号、「眼内レンズ」に見ることができる。またその出願はここに参照として組み込まれる。

40

【0038】

他の場合には、少なくとも一つのレンズ面は、非点収差の補正に役立つトーリックベースプロファイル（面の二つの直交する方向に沿った二つの異なる曲率により特徴付けられるプロファイル）を有することができる。

【0039】

幾つかの実施形態では、レンズが青色光をある程度フィルタリングすることができるように、光学素子の生体適合性ポリマー材料に一つ以上の染料を浸透させてもよい。そのような染料の幾つかの例が、米国特許第5528322号（名称「眼科用レンズにおける重合可能な黄色染料及びその使用」）、米国特許第5470932号（名称「眼科用レンズにおける重合可能な黄色染料及びその使用」）、米国特許第5543504号（名称「眼科用レンズにおける

50

重合可能な黄色染料及びその使用」)及び米国特許第5662707号(名称「眼科用レンズにおける重合可能な黄色染料及びその使用」)に提供される。また、その全ての特許はここに参照として組み込まれる。

【0040】

本発明の教示に従って、眼科用レンズ(例えば、IOL)を形成するように、様々な公知の製造技術を用いることができる。例えば、そのような技術は、最初に屈折光学素子を形成し、その後、光学素子の一つ面上に環状回折領域を生成してその回折領域がその面の中心屈折領域を囲むように用いることができる。

【0041】

当業者にとって、本発明の範囲から外れることなく、上記の実施形態に特定の修正を行うことができることは明らかであろう。

【図1】



Fig. 1
(先行技術)

【図2A】

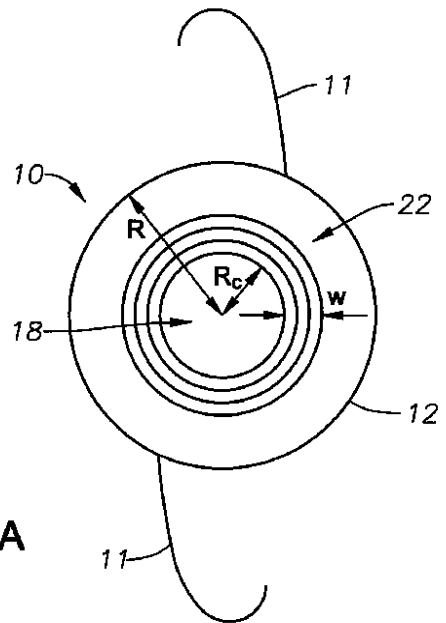


Fig. 2A

【 図 2 B 】

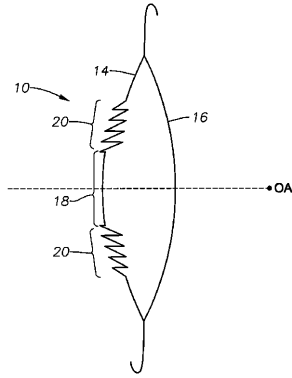


Fig. 2B

【 図 3 】



Fig. 3

【 図 2 C 】

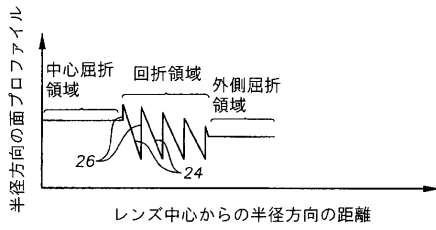


Fig. 2C

【 図 4 】

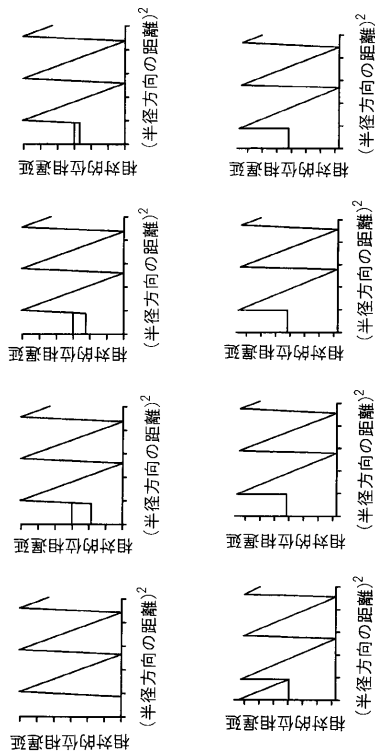


Fig. 4

【 図 5 】

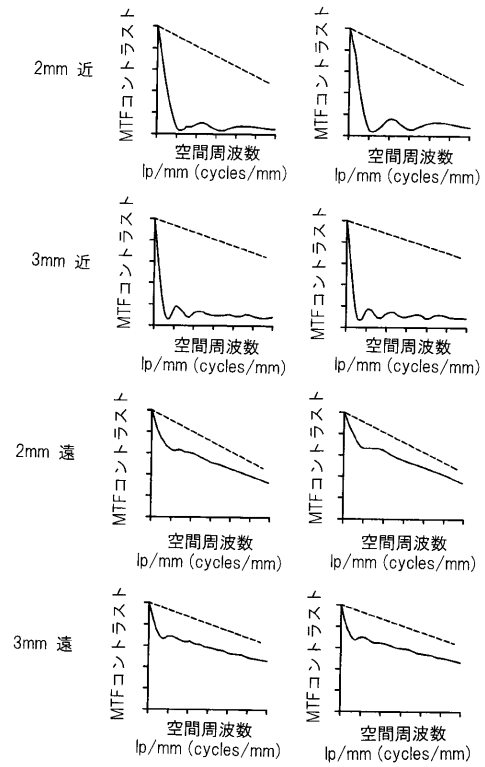


Fig. 5

【図 6 A】

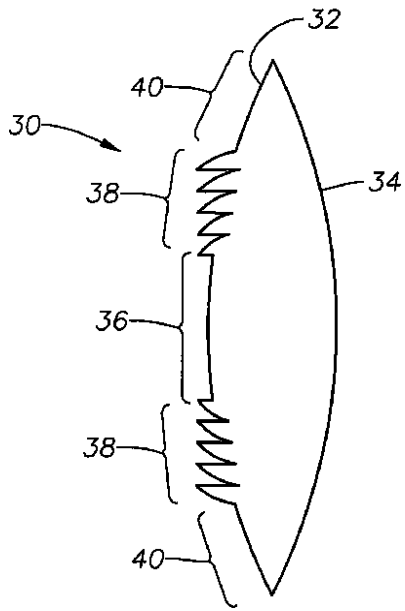


Fig. 6A

【図 6 B】

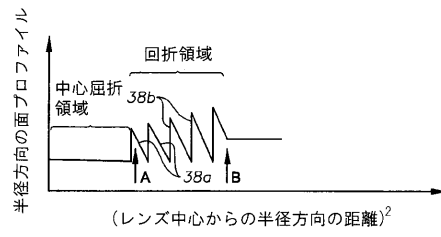


Fig. 6B

【図 6 C】

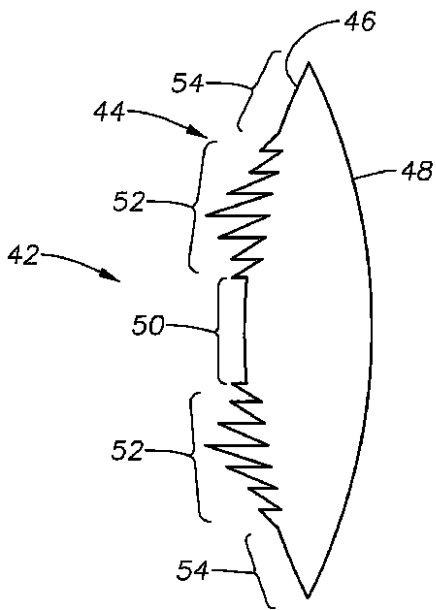


Fig. 6C

【図 6 D】

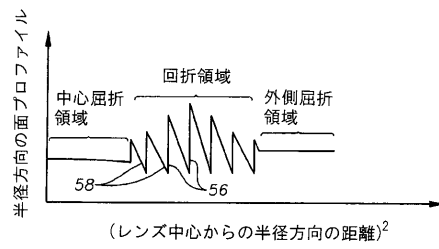


Fig. 6D

【図 6 E】

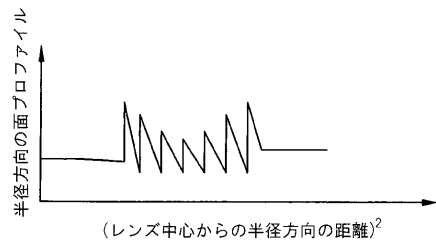


Fig. 6E

【 図 7 】

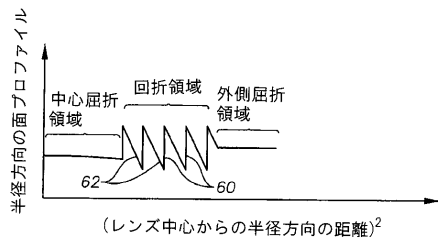


Fig. 7

【 図 9 】

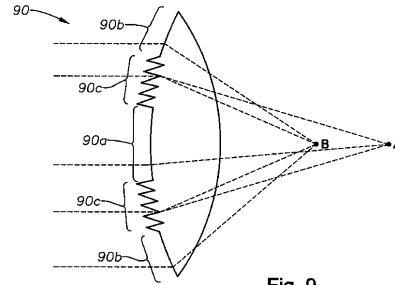


Fig. 9

【 図 8 】

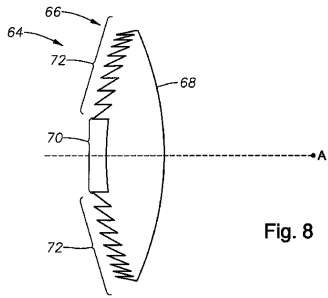


Fig. 8

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US2009/065049

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(8) - A61F 2/16 (2010.01) USPC - 351/159 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) IPC(8) - A61F 2/16 (2010.01) USPC - 351/159, 161, 167, 168, 169, 171; 623/6.11, 6.23, 6.3 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) PatBase, Google Scholar		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2006/0116764 A1 (SIMPSON) 01 June 2006 (01.06.2006) entire document	1-14
Y	US 5,800,532 A (LIEBERMAN) 01 September 1998 (01.09.1998) entire document	1-14
A	US 2008/0030677 A1 (SIMPSON) 07 February 2008 (07.02.2008) entire document	1-14
A	US 7,322,695 B2 (WOOLEY et al) 29 January 2008 (29.01.2008) entire document	1-14
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/>		
* 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 06 January 2010		Date of mailing of the international search report 20 JAN 2010
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-3201		Authorized officer: Blaine R. Copenheaver PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(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), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), 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, JP, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 シンプソン, マイケル

アメリカ合衆国, テキサス 76012, アーリントン, ウォーターウェイ コート 300

(72)発明者 ベンカテスワラン, クリシュナクマー

アメリカ合衆国, テキサス 76028, バーレソン, バレー リッジ ロード 808

Fターム(参考) 4C097 AA25 BB01 CC01 EE03 SA02