

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4615735号
(P4615735)

(45) 発行日 平成23年1月19日 (2011. 1. 19)

(24) 登録日 平成22年10月29日 (2010. 10. 29)

(51) Int. Cl.

F 1

A 6 1 F 9/00 (2006. 01)

A 6 1 F 9/00 5 1 1

G 0 2 B 26/10 (2006. 01)

A 6 1 F 9/00 5 1 2

B 2 3 K 26/00 (2006. 01)

G 0 2 B 26/10 C

B 2 3 K 26/00 G

請求項の数 15 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2000-614910 (P2000-614910)
 (86) (22) 出願日 平成12年2月28日 (2000. 2. 28)
 (65) 公表番号 特表2002-542877 (P2002-542877A)
 (43) 公表日 平成14年12月17日 (2002. 12. 17)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2000/005276
 (87) 国際公開番号 W02000/066022
 (87) 国際公開日 平成12年11月9日 (2000. 11. 9)
 審査請求日 平成19年1月25日 (2007. 1. 25)
 (31) 優先権主張番号 09/303, 810
 (32) 優先日 平成11年4月30日 (1999. 4. 30)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 500119341
 ヴィスクス インコーポレイテッド
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5
 0 5 1 サンタ クララ セントラル エ
 クスプレスウェイ 3 4 0 0
 (74) 代理人 100096725
 弁理士 堀 明▲ひこ▼
 (72) 発明者 シミック、ジョン・カール
 アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 4 0 0
 2、ベルモント、ラッセン・ドライブ 1 1
 0 0
 (72) 発明者 カウドレ、ジョージ
 アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 5 1 1
 8、サン・ノゼ、モントモレンシー・ドラ
 イブ 1 2 6 0

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 一様な湾曲形を有するクレーターを部分的に重複させて表面を融除するための装置及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

融除閾値を有する組織の表面上の融除領域を彫造するためのレーザシステムであって、
 融除レーザエネルギーのパルスビームを作るためのレーザ、
 前記パルスビームの光路に配置されるビームエネルギー形成素子であって、前記形成素子
 が、前記パルスビームのレーザビームエネルギーパターンを成形ビームに変化させ、前記
 成形ビームが、前記融除閾値を超える一様に湾曲したレーザビームエネルギーパターン
から成り、前記一様に湾曲したレーザビームエネルギーパターンは各パルスにより組織の表
面に一様に湾曲したクレータ深さプロファイルを形成し、前記一様に湾曲したクレータ深
さプロファイルの大部分は負の光学的パワーを有する凹面をもつ、ところのビームエネル
ギー形成素子、
 前記融除エネルギーの複数の部分的に重複するパルスで、前記領域を彫造するために、前
 記領域にわたって前記成形ビームを移動させるための走査素子、
 から成るレーザシステム。

【請求項 2】

前記成形ビームが、前記一様に湾曲したパターンを囲う境界からさらに成り、前記境界
に隣接する前記ビームの強度が、前記融除閾値の約 1 0 0 ~ 約 1 5 0 % の範囲にある、と
ころの請求項 1 のレーザシステム。

【請求項 3】

前記境界に隣接する前記ビームの前記強度が、前記融除閾値の約 1 2 5 % 以下である、

ところの請求項 2 のレーザシステム。

【請求項 4】

前記境界に隣接する前記ビームの前記強度が、前記融除閾値の約 110% 以下である、ところの請求項 3 のレーザシステム。

【請求項 5】

前記一様に湾曲したレーザビームエネルギーパターンが、球面パターンである、ところの請求項 1 のレーザシステム。

【請求項 6】

前記一様に湾曲したレーザビームエネルギーパターンが、組織の表面に一様に湾曲したクレータ深さプロファイルを形成する非球面パターンである、ところの請求項 1 のレーザシステム。

10

【請求項 7】

前記一様に湾曲したレーザビームエネルギーパターンの中央部分が、球面パターンよりも高い強度を有する、ところの請求項 1 のレーザシステム。

【請求項 8】

さらに、前記走査素子に接続されるコンピュータからなり、前記コンピュータに記憶される座標参照に従って、前記領域にわたって前記ビームの一部分が制御される、ところの請求項 1 のレーザシステム。

【請求項 9】

前記座標参照が、複数の前記パルスの中で前記一様に湾曲したパターンを部分的に重複する、ところの請求項 8 のレーザシステム。

20

【請求項 10】

さらに、非透過性材料から形成される開口から成り、前記ビームが前記開口を通過することによって前記ビームの断面積が限定される、ところの請求項 1 のレーザシステム。

【請求項 11】

さらに、前記開口を通過する前記ビームの像を形成するための結像レンズから成り、前記像が、前記融除領域の近くに形成される、ところの請求項 10 のレーザシステム。

【請求項 12】

前記走査素子が、レンズ、プリズム及びミラーから成るグループから選択される光学素子から成る、ところの請求項 1 のレーザシステム。

30

【請求項 13】

前記ビーム形成素子が、位相変調透過回折光学素子、振幅変調透過回折光学素子、位相変調反射回折光学素子、振幅変調反射回折光学素子、レンズ、プリズム、非球面光学素子、ミラー、強度傾斜透過光学素子及び強度傾斜反射光学素子から成るグループから選択される素子から成る、ところの請求項 1 のレーザシステム。

【請求項 14】

前記ビーム形成素子が、部分的に吸収する材料から成る、ところの請求項 1 のレーザシステム。

【請求項 15】

融除閾値を有する角膜の露出表面上の融除領域を所定の湾曲した形状に彫造するためのレーザシステムであって、
融除レーザエネルギーのパルスビームを作るためのパルスレーザ、
前記パルスレーザのレーザビームエネルギーパターンを成形ビームへ変化させるためのレーザビーム形成素子であって、前記成形ビームが、前記融除閾値を超える球面のパターンの領域を有する球面でかつ一様に湾曲したレーザビームエネルギーパターンから成る、ところのレーザビーム形成素子、

40

前記閾値の領域を囲う境界であって、前記境界の周りの前記ビームの強度が、前記融除閾値との比率であり、前記比率が、100～110%の間の範囲にある、ところの境界、
非透過性材料から形成される開口であって、前記ビームが前記開口を通過することによって、前記ビームの断面積が限定される、ところの開口、

50

前記開口を通過する前記ビームの像を形成するための結像レンズであって、前記像が、前記融除領域の近くに形成される、ところの結像レンズ、
前記融除エネルギーの部分的に重複するパルスのシーケンスで、前記領域を前記形状に彫造するために、前記領域にわたって前記成形ビームを移動させるための走査素子であって、前記走査素子が、レンズ、プリズム及びミラーから成るグループから選択される光学素子である、ところの走査素子、及び
コンピュータであって、前記コンピュータに記憶される座標参照に従って、前記領域にわたって前記ビームの位置が制御され、前記座標参照が、前記シーケンスの前記パルスの間で前記一様に湾曲したパターンを部分的に重複する、ところのコンピュータ、
から成るレーザシステム。

10

【発明の詳細な説明】

【0001】

発明の背景

1. 発明の分野

本発明は、医療システム及び方法に関するものであり、特に、角膜組織を融除するために、光エネルギーの連続的なパターンを生成するためのレーザデリバリシステムの使用に関するものである。

【0002】

光屈折角膜処置法（PRK：photorefractive keratectomy）及び光治療の角膜処置法（PTK：phototherapeutic keratectomy）が、光学ビームデリバリシステムを使用して、レーザエネルギーを患者の目に向ける。レーザは、角膜組織を選択的に融除して、角膜の形状を再成形し、視野を向上する。現在市販されているシステムは、パルスレーザを使用して、目から組織を融除する。これらレーザシステムでは、レーザビームパルスの各々が目の組織でクレーターを融除し、連続するレーザビームパルスが付加的なクレーターを融除する。望まれる所定の形状が、個々のパルスによって作られるクレーターの位置、サイズ及び形状のうちの少なくとも一つを調節することにより角膜組織に彫造される。

20

【0003】

角膜は、外側の上皮層、上皮層の下層のボーマン（Bowman）層、及びボーマン層の下層の基質層を含む。融除される所定の形状の少なくとも一部は、上皮層の下にある層で融除される。上皮層の下にある層の融除を行うために、組織の層が除去され、下層の組織の表面が露出される。この角膜の露出表面は、レーザビームで融除され、露出表面を所定の形状に彫造する。光屈折角膜処置法を行った後に、角膜の新しい前方部表面を発生させて、上皮が、成形した領域にわたって直ぐに再成長する。変形的に、上皮は、除去されず、部分的に切断され、手術中に横にずれて、PRFの後に、元の位置に戻る。

30

【0004】

レーザ眼手術システムに使用されるレーザから出力されたビームは、典型的に不規則であり、より望ましいビームを作り出すために、特殊な光学的処置を要するときがある。例えば、一様な特性を有するビームを成形するために、レーザからのビームが、空間的に一時的に融合されることがある。特に、円形のターゲット領域にわたって平坦又は一様な強度プロファイル（“トップハット（top hat）”プロファイルと呼ばれる）を示すために、ビームは融合される。変形的に、レーザビームは、一様な特性を有するビームの部分を選択するように獲得され、又は、ビームは、ガウス形エネルギープロファイル分布を形成するように目の上に集束され得る。

40

【0005】

一旦所望のビーム形状が達成されると、角膜の融除を効果的に行うために、レーザビームが別の方法で使用され得る。第一のタイプのシステムでは、ビーム断面サイズを変形できる。その最大のサイズは、角膜上の全処置領域にほぼ一致する。ビームサイズは、アイリス又は他の露出制御機構を使用して調節され、所望の角膜再成形が、露出制御を正確に行うことによって達成できる。不利点的に、処置領域（典型的に、5.0 mm ~ 10.0 mmのオーダー）と等しいサイズを有するレーザビームを使用するためには、大型で高エネ

50

ルギーのエキシマレーザを使用する必要がある。このように大型のレーザは、高価であるだけでなく、これを設置するのに十分な比較的広い場所を必要とする。大形で一様なビームを使用するレーザシステムの他の不利点は、一様なビームで融除した形状が、必要とされる程度に一様でない点である。大径のビームにとって、本発明に関連する作業によって、融除される形状が角膜の水和作用を含む様々な要因に依存し得るということが、示唆されてきた。不利点的に、水和作用が、角膜の表面にわたって様々に変化し、計測することが困難である。

【 0 0 0 6 】

大型の可変サイズレーザビームシステムに代わるものとして、レーザ走査システムも、角膜融除のために使用される。走査システムは、より小形のビームを使用し、要求されるレーザからのエネルギーを最小にする。また、小型のレーザは、経済的であり、広い場所を必要としない。しかし、小さいビーム幅を使用すると、処置のプロトコルの正確な態様が複雑化する。特に、ビームが角膜の露出表面にわたって走査されると、レーザパルスが部分的に重複する。このビームの部分的な重複によって、融除されるクレーター (crater) が部分的に重複され、融除される表面 (融除表面) が粗くなる。この融除表面が粗いと、角膜が傷つき、視覚的明瞭度の回復が遅れることになるので、融除表面を粗くすることは望ましくない。この走査法の他の不利点は、レーザビームのパルスの各々で除去される組織の量が比較的小さいことである。除去される組織の量が小さいと、レーザは、許容される限度内に全処置時間を維持するために、非常に高いパルスレートで使用されなければならない。このように高いパルスレートは、組織を加熱し、その結果、傷をつけ、視覚的明瞭度を損失させることになる。

【 0 0 0 7 】

他の技術として、可変サイズレーザビームを走査する技術がある。この技術は、ビームのサイズを変更させながら、処置領域にわたってレーザビームを移動させるものであり、効果的であり、高い柔軟性がある。不利点的に、この技術は、複雑で高価な機械的な機構と電気的な回路を含む。また、走査中にパルスが重複し、この重複により、粗く融除される。

【 0 0 0 8 】

上記した走査技術の不利点は、個々のレーザビームパルスによって融除されたクレーターが、一様な湾曲形を有さないことである。組織が所望の形状に彫造されると、融除されるクレーターの一様な湾曲形の欠如により、露出表面が、より粗くなる。例えば、一様なエネルギー分布のレーザビームエネルギープロファイルを有する走査レーザシステムは、典型的に、急勾配の壁面と平坦な角膜領域を有する個々のクレーターを融除する。急勾配の壁面を含むクレーターの周囲領域は、平坦な角膜領域とは非常に異なった湾曲形を有する。ガウス形又は疑ガウス形レーザビームエネルギープロファイルが、丸みのある中央領域を有する円錐形のエッジを有するクレーターを融除する。クレーターの周囲領域 (円錐形のエッジを含む) は、中央領域 (丸みのあるクレーターの中央部分を含む) とは異なった湾曲形を有する。これら既知の走査システムによって融除される角膜の一様でない湾曲形は、再彫造の精度と利益を制限し得る。

【 0 0 0 9 】

注文どおりにあつらえたエネルギー分布を有する大形のレーザビームの使用も示唆される。第一に、この技術では、複雑な形状を融除することが困難であり得る。また、この技術は、大形のビームを発生させるために、高価なレーザを必要とする。前述したように、大きい径の融除では、融除形状は、角膜の水和作用に依存し、組織の水和作用の計測が困難である。結果的に、この技術は、視覚的明瞭度を不所望に劣化させる中央部の融除不足を含む融除形状に変えやすい。

【 0 0 1 0 】

上記した理由により、改良角膜組織融除方法及びシステムを提供することが望まれる。また、組織を選択的に融除して、視覚的異常を処置するために、角膜組織にわたって光ビームを走査する改良技術を提供することが望まれる。特に、滑らかな融除を達成しながら、

低いパルスエネルギーが要求される小さいビームジオメトリーを使用することが望まれる。また、組織の水和作用にほとんど影響されずに、表面を所望の形状に精度よく融除することが望まれる。さらに、角膜処置に用いる光ビームを走査するための制御及びシステムを簡素化することが望まれる。少なくともこれら目的の幾つかが、後述する本発明によって対処される。

【 0 0 1 1 】

2. 背景技術の説明

光屈折角膜処置法 (P R K) 及び光治療的角膜処置法 (P T K) を行うための大型ビーム可変幅システムが、米国特許第 4 9 7 3 3 3 0 号、同第 5 1 6 3 9 3 4 号、同第 4 7 3 2 1 4 8 号及び同第 4 7 2 9 3 7 2 号を含む多数の特許に開示される。 P R K / P T K レーザシステムに用いられる空間的且つ一時的ビーム融合装置が、米国特許第 5 6 4 6 7 9 1 号に開示される。

10

【 0 0 1 2 】

光屈折角膜処置法 (P R K) 及び光治療的角膜処置法 (P T K) を行うための走査システムが、米国特許第 4 7 1 8 4 1 8 号及び同第 4 6 6 5 9 1 3 号を含む多数の特許に開示される。個々の患者に適合される回折光学素子を使用するレーザ医療システムが、米国特許第 5 5 7 1 1 0 7 号に開示される。

【 0 0 1 3 】

走査可変幅レーザビームシステムが、米国特許第 5 6 8 3 3 7 9 号及び係続中米国特許出願第 0 8 / 0 5 8 5 9 9 号 (1 9 9 3 年 5 月 7 日出願、発明の名称 “ Method and System for Laser Treatment of Refractive Errors Using Offset Imaging ”) に開示され、これらは、参照文献として組み入れられる。

20

【 0 0 1 4 】

エネルギー密度を段階的に変化させた大きい幅のレーザビームを使用するレーザ融除技術が、米国特許第 5 2 1 9 3 4 3 号、同第 5 3 1 2 3 2 0 号、同第 5 2 0 7 6 6 8 号、同第 5 1 8 8 6 3 1 号及び同第 4 8 3 8 2 6 6 号に開示され、これらは、参照文献として組み入れられる。

【 0 0 1 5 】

回折光学素子の使用が、係属中の米国出願第 0 9 / 0 1 5 8 4 1 号 (1 9 9 8 年 1 月 2 9 日出願、発明の名称 “ Laser Delivery System and Method with Diffractive Optic Beam Integration ”) 及び同第 0 9 / 1 1 6 6 4 8 号 (1 9 9 8 年 7 月 1 6 日出願、発明の名称 “ Method and System for Scanning Non-Overlapping Patterns of Laser Energy with Diffractive Optics ”) に開示され、これらは、参照文献として組み入れられる。

30

【 0 0 1 6 】

上記した米国特許及び米国特許出願の各々に開示されるもの全ては、参照文献として組み入れられる。

【 0 0 1 7 】

発明の概要

本発明は、レーザ融除方法、システム及び他の装置の改良型を提供するものである。本発明は、一様な湾曲形を有するクレーターを融除するエネルギー分布プロフィール形状を有するビームを走査することにより、処理の一様性を著しく改良するものである。好適に、ビームは、一様な湾曲形を有するクレーターを部分的に重複させることで融除領域全体を覆うように走査される。本発明は、従来技術の角膜融除方法及びシステムにわたって多数の特定の改良物を提供するものである。一様に湾曲したクレーターを部分的に重複させることで表面を彫造するための技術を提供する。幾つかの実施例では、一様に湾曲したクレーターを部分的に重複させることで表面を彫造するための技術が提供される。典型的に、所望の光学的な結果を達成するレーザ彫造法が、湾曲形の変化を一様又は徐々に変化させることで表面を融除する。例えば、近視の球面修正が、一様に凹む湾曲形の変更を発生し、遠視の修正が、一様に盛り上がる湾曲形の変更を発生する。利点的に、目の乱視の湾曲形を修正するレーザ彫刻法により、融除表面にわたって湾曲形を徐々に変更させるこ

40

50

とができる。同様に、他の屈折誤差や収差（例えば、混合乱視、老眼、及び波面収差）が、所望とされる滑らかな湾曲形を増分的な段差で近似せずに、上記の技術で処置できる。

【0018】

第一の態様では、本発明に従って、表面上の領域を彫造するための方法が提供される。この方法は、パルスビームを上記領域に向ける工程と、ビームのパルスでクレーターを融除する工程とを含む。クレーターは、通常、一様な湾曲形を有し、その形状は、選択的に丸みがあり、軸対称である。ビームは、上記領域にわたって走査され、クレーターを部分的に重複させることによって、所定の形状変更を効果的に行う。

【0019】

融除されるクレーターの寸法は、処置される領域の寸法の約5～80%の範囲にある。幾つかの実施例では、クレーターの湾曲形は、実質的に一様で球面状であり、そのサイズは実質的に一様である。パルスエネルギービームは、好適にレーザービームである。幾つかの実施例では、技術は、ビーム成形成素子でレーザービームを成形する工程を含む。他の実施例では、技術は、レーザービーム回折素子でレーザービームを回折させる工程を含む。

【0020】

他の態様では、本発明に従って、組織の表面上の融除領域を所定の形状に彫造するためのレーザーシステムが提供される。レーザーシステムは、融除レーザーエネルギーのパルスビームを作るためのパルスレーザーと、パルスビームのレーザービームエネルギーパターンを成形ビームに変更させるためのビームエネルギー成形成素子とを含む。成形ビームは、組織の融除閾値以上の一様に湾曲したパターンの領域を有する一様に湾曲したレーザービームエネルギーパターンを含む。システムは、また、融除エネルギーのパルスを部分的に複数重複させることでその領域を彫造するために、その領域にわたって成形ビームを移動させるための走査素子を含む。

【0021】

成形ビームは、湾曲したパターンを囲う境界を含み、この境界の周りのビーム強度が、融除閾値の比率であり得る。ここで、この比率は100～150%の範囲にある。幾つかの実施例では、一様に湾曲したレーザービームパターンは、実質的に球面状のレーザービームエネルギーパターンである。

【0022】

特定的実施例の説明

本発明は、人の目を処置するための構造物、システム及び方法に関する。特に、本発明の技術は、人の目の露出表面を所望の形状に彫造するのに適するものである。本発明の技術は、彫造した目に望まれる形状の精度及び円滑性を改良するものである。本発明は、PRK及びPTKにおける角膜融除を行うのに特に有用であるが、このような融除法において、基質の融除を行う前に上皮層の除去を行うのにも有用である。

【0023】

走査は、光ビームが、角膜表面上の連続する個々別々の場所の間を移動することを意味する。これら場所は、次に、所定の量の光エネルギーに露出される。通常、レーザーシステムとして、パルス式のものが使用され、任意の特定場所が、非常に短時間の間に発生する多数のパルスに露出される。処置されるべき角膜の全領域（以下、これを“融除領域”と呼ぶ）は、融除光ビームが子の領域にわたって走査されると、結果的に処置される。

【0024】

数学的に、クレーターの形状は、レーザービームのパルスによる表面プロファイルの地形的な変更のように定めることができる。球面状のクレーターのような回転対称形のクレーターでは、クレーターの湾曲形は、クレーターの中心から放射状の外方向に配列されるクレーター表面の等高線の二次導関数で近似できる。クレーターの領域の二次導関数及び一致する湾曲形は、正、負又はゼロである。クレーターの領域の正の湾曲形は、平坦な表面で融除されるクレーターの小さい領域にわたって正の光学的パワーを与える湾曲形である。正の光学的パワーは、クレーターの小さい領域を通過する平行な光線の小さい束を、共通の点に向けて集束させる。クレーターの小さい領域が、クレーターの表面積の約10分

10

20

30

40

50

の 1 に一致する領域である。クレーターのための負の湾曲形は、平坦な表面で融除されるクレーターにわたって負の光学的パワーを与える湾曲形である。一様に湾曲したクレーターが、融除されるクレーターの表面の大半にわたって負の光学的パワーを有するクレーターである。負の光学的パワーの強さは、クレーターの表面にわたって変化し得る。一様な湾曲形を有するクレーターが、実質的に一定した強さで負の湾曲形を有する。球面状のクレーターが、一様な湾曲形を有し、融除される表面の大半では、放物線形のクレーターが球面状のクレーターを近似し、一様な湾曲形を有する。実質的に正の湾曲形を有するクレーターが、負の湾曲形を有する領域も有し、一様な湾曲形を有さない。

【 0 0 2 5 】

クレーターの部分的な重複は、重複するクレーターの各々の領域が、他の重複するクレーターの他の領域と共有され、重複するクレーターの各々が、共有される領域外の領域も有する、ところの重複である。同様に、レーザビームの部分的な重複は、重複するレーザビームの各々の領域が、他の重複するレーザビームの各々の他の領域と共有され、重複するクレーターの各々が、共有される領域外の領域も有する、ところの重複である。クレーターは、レーザビームの単一のパルスで融除される形状である。変形的に、クレーターは、レーザビームの単一の位置で融除される形状であり得る。この走査技術では、全ての融除領域は、所望の量の融除エネルギーで処置できる。

【 0 0 2 6 】

図を参照する。図 1 は、目の表面を再成形するためのレーザシステムを示す。目 2 は、角膜 4 を有する。角膜 4 は、目 2 の前方部に位置される。角膜 4 は、露出表面 6 を有する。角膜 4 の露出表面 6 は、融除レーザビーム 10 で成形される。レーザシステム 8 が、融除レーザビーム 10 を作る。レーザシステム 8 は、走査レーザシステムである。

【 0 0 2 7 】

本発明の技術が、図 2 に示される。この図では、一様に湾曲したパルスレーザビーム 12 が、角膜 4 の露出表面 6 を融除する。一様に湾曲したパルスレーザビーム 12 の個々のパルスが、一様に湾曲したレーザビームエネルギーパターン 14 をもつ領域を有する。一様に湾曲したパルスレーザビーム 12 の個々のパルスが、露出表面 6 に一様に湾曲したクレーター 16 を形成する。所定の形状が、融除領域 18 にわたって複数の一様に湾曲したクレーターを分布させることによって、融除領域 18 に彫造される。融除領域 18 にわたって一様に湾曲したパルスレーザビーム 12 の連続パルスのシーケンスを走査することで、分布させた一様に湾曲したクレーターを有する融除領域 18 が形成される。

【 0 0 2 8 】

一様に湾曲したクレーター 16 は、クレーター 17 を横切る寸法を有する。融除領域 18 は、融除領域 19 を横切る寸法を有する。クレーター 17 を横切る寸法は、融除領域 19 を横切る寸法よりも著しく小さい。ここで、典型的に、クレーターは、処置領域のサイズの約 5 ~ 80 % の間の範囲にある。一様に湾曲したクレーター 16 の寸法が、典型的に、約 0.5 ~ 4 mm の間の範囲にあり、融除領域 19 を横切る寸法は、典型的に、5 ~ 10 mm の間の範囲にある。

【 0 0 2 9 】

図 3 に、融除領域 18 内の複数の一様に湾曲したクレーター (16 a、16 b、16 c、16 d) の相対的な位置調節が示される。クレーター 16 c を横切る寸法 17 c が、融除領域 18 を横切る寸法よりも小さい。レーザによる彫造を行っている間、一様に湾曲したクレーター (16 a、16 b、16 c、16 d) は、部分的に重複するように位置調節される。クレーターは、相互に相対的に別々の位置に配置され、一様に湾曲したクレーターの部分的に重複する領域が融除領域 19 内に形成される。クレーターの寸法 17 は、クレーター 16 a、16 b、16 c、16 d の間で一様である。変形的に、クレーターを横切る寸法 17 が、クレーター 16 a、16 b、16 c、16 d の間で変化し得る。

【 0 0 3 0 】

図 4 は、本発明の機能的な素子を示すダイアグラムである。融除エネルギーソース 20 が、好適に 193 nm エキシマレーザであるが、角膜に強く吸収される電磁線を放射する任

10

20

30

40

50

意の適当なパルスレーザソースであってもよい。例えば、パルスレーザソースは、電磁スペクトルの遠紫外線領域でエネルギーを放射し、又は、変形的に、角膜に強く吸収される赤外線を放射し得る。適当な遠紫外線の波長は約150～250nmの範囲にあり、好適に、約190～230nmの範囲にある。適当な赤外線の波長は約2～10μmの範囲にあり、好適に、約2.5～3.5μmの範囲にある。上記した範囲の波長のパルス電磁線及び連続波を放射するレーザの技術は、従来技術で既知である。適当なレーザは、アルゴンフッ化物エキシマレーザ（約193nmの波長を有するレーザエネルギーを発生する）のようなエキシマレーザ、及び周波数多重固体レーザのような固体レーザを含む（ただし、これらに限定されない）。固体レーザの例として、UV固体レーザ（約193～215nm）を含むフラッシュランプ及びダイオードポンプ固体レーザが挙げられる。これらは、例えば、米国特許第5144630号、同第5742626号、及び“Tunable UV Radiation at Short Wavelengths (188-249nm) Generated by Sum Frequency Mixing in Lithium Borate”（Borsutzkyら、Appl. Phys. 61: 529～532、1995年）などに開示される。

10

【0031】

融除エネルギーソース20は、レーザビーム10を作る。レーザビーム形成素子22が、レーザビーム10の光路に配置される。レーザビーム形成素子22は、レーザビーム10を横切るエネルギー分布を、露出表面6の近くの一様に湾曲したレーザビームエネルギーパターン14に成形する。レーザビーム形成素子22は、エネルギープロファイルを平均化するために、レーザビームのパルスの間で選択的に回転され得る。レーザビーム走査素子24が、融除領域にわたって、一様に湾曲したビーム14を走査する。

20

【0032】

コンピュータ26が有形媒体28を含む。信号接続30によって、コンピュータ26が、融除エネルギーソース20と、ビーム形成素子22と、ビーム走査素子24とに接続される。コンピュータ26は、融除エネルギーソース20のパルスを制御する。コンピュータ26は、走査素子24を他と統合することにより、角膜4の露出表面6上の一様に湾曲したレーザビーム12を制御する。コンピュータ26からの座標参照が、走査素子25を調節し、レーザビームを角膜上の所定の位置に位置調節する。信号接続30は、電子又は光ファイバー、または他の適当な信号接続であり得る。

【0033】

本発明は、レーザビームのサイズを限定するためのビーム限定素子32を選択的に含む。限定素子32は、レーザビームを遮蔽する非透過性材料から形成される開口を含む。開口は、非透過性材料を通じてレーザビームの一部を選択的に透過させる。

30

【0034】

本発明は、さらに、レーザビーム結像素子34を選択的に含む得る。レーザビーム結像素子34は、開口を通過した限定レーザビームの像を形成する。限定ビームの像は、角膜4の露出表面6の近くに形成する。本発明の幾つかの実施例では、機能的な素子が組み合わされ得る。例えば、ビーム結像素子34は、ビーム走査素子24と組み合わされ得る。本発明とともに選択的に含まれ得る他の構成成分（例えば、作動顕微鏡及び目追尾装置）は、簡単のため、図4から省かれる。これら構成成分は、特許文献に開示され、また当業者に既知のものである。

40

【0035】

図5～14は、レーザビームを所望の断面のレーザビームエネルギーパターンに成形するために使用され得る様々な技術を示す。レーザビームを成形する一つの技術は、回折素子でレーザビームの振幅又は位相を変化させることによって、レーザビームを所望のレーザビーム形状へ回折させるものである。回折ビーム成形技術は、図5～8に示される。回折ビーム成形技術は、米国特許第5610733号、同第5571107号、及び係属中の米国特許出願第09/015841号（1998年1月29日出願、発明の名称“Laser Delivery System and Method with Diffractive Optic Beam Integration”）に開示され、これらは、参照文献として組み入れられる。適当な回折光学素子を設計し製造できる業

50

者として、Rochester Photonics Corporation (アメリカ合衆国ニューヨーク州ロチェスター)、Digital Optics Corporation (アメリカ合衆国ノースカロライナ州チャロット)、及びMEMS Optical Inc. (アメリカ合衆国アラバマ州ハンツビル) が挙げられる。適当な回折光学素子は、レーザエネルギープロファイル分布を初期のエネルギープロファイル分布から所望のエネルギープロファイル分布へ再成形できるように設計できる。解説光学素子を設計するために使用されるパラメータは、所望の再成形レーザビームエネルギープロファイル分布と、入射レーザビームの波長、発散、断面積及びエネルギープロファイル分布を含む。

【0036】

レーザビームの各パルスで一様に湾曲したクレターを融除するようにエネルギー分布を処理するための第一の技術が、図5に示される。この技術は、回折ビーム成形素子を通じてビームを透過させることによって、入射光ビームの位相を変化させるものである。光ビーム10の入射波面40が、位相変調透過素子44に当たる。位相変調透過素子44は、入射波面40を、変更位相を有する変更ビーム42aに変化させる。変更ビームは、ビームの回折を生じる変更位相を有する。ビームの回折は、所望のレーザビームエネルギーパターンを有する成形レーザビームを形成する。

【0037】

回折素子を通じて透過されるビームの位相を変更させることに代えて、図6に示すように、回折素子を通じて透過されるビームの強度を変更させてもよい。レーザビーム10の入射波面40が、振幅変調透過素子46を通過する。変更レーザビーム42bは、レーザビームの回折を生じる変更強度を有する。変更ビーム42bの回折は、所望のレーザビームエネルギーパターンを有する成形ビームを形成する。

【0038】

回折によってレーザビームを成形するための他の技術は、図7及び8に示されるように、反射回折光学素子を使用するものである。位相変調反射素子が、図7に示される。レーザビーム10の入射波面40が、位相変調反射素子48の表面で反射する。変更レーザビーム42cは、位相変調反射素子48の表面から反射する。変更ビームは、ビームの回折を生じる変更位相を有する。ビームの位相は、所望のレーザビームエネルギーパターンを有する成形ビームを形成する。関連した振幅変調反射素子が、図8に示される。レーザビーム10の入射波面40が、強度変調反射素子50の表面で反射する。変更レーザビーム42dは、強度変調反射素子50の表面から反射する。変更ビームは、ビームの回折を生じる変更振幅を有する。ビームの回折は、所望のレーザビームエネルギーパターンを有する成形ビームを形成する。一般に、入射ビームのいくらかの部分が、吸収、意図としない反射又はこれら技術の大半がもつ他の非効率性により消失し得ることが理解されるべきである。

【0039】

レーザビームを成形する他の技術は、レーザビームエネルギーパターンを再成形するように、ビームの光線を曲げるものである。ビームの光線は、干渉光学素子又は反射光学素子のいずれかを透過させることで、ビームを成形するように曲げることができる。いずれかの技術で、ビームの光線は、曲げられるべき光線がレーザビームのエネルギー分布を変更させる素子の角度変化表面と相互に作用する。レーザビームのエネルギーは、所望のレーザビームエネルギーパターンを有するレーザビームを形成するように再分布される。角度変化素子の正確な形状は、所望のレーザビームエネルギーパターンと入射レーザビームの性質に依存する。レーザビームを成形するのに適した角度変化透過干渉素子が、図9、13及び14に示すように、レンズ、プリズム及び非球面光学素子を含む。レーザビームを成形するのに適した角度変化反射光学素子が、平坦ミラー、放物面ミラー、球面ミラー、円柱ミラー及び分割ミラーのようなミラーを含む。適当なミラーの一例として、図12に示すような分割ミラーが挙げられる。

【0040】

図9に示す透過干渉素子では、プリズム52のアレイが、レーザビーム10の波面40

10

20

30

40

50

と相互に作用し、変更ビーム 4 2 e を作り出す。変更ビーム 4 2 e は、ビームエネルギーパターンを一様に湾曲したビームエネルギーパターンに変更するために、ビームの一部分を重複させる。米国特許第 5 6 4 6 7 9 1 号は、一様なエネルギープロファイルのレーザービームエネルギーパターンを作り出すことのできるプリズムのアレイの使用を開示する。この文献は、参照文献として組み入れられる。角度変化透過干渉素子として使用される非球面光学素子が図 1 3 に示される。入射レーザービーム 1 0 の波面 4 0 が、非球面レンズ 6 0 を通じて透過され、変更レーザービーム 4 2 i が作り出される。変更レーザービーム 4 2 i は、レーザービームのエネルギーを再分布し、一様に湾曲したレーザービームエネルギーパターンを作り出す。球面レンズ 6 2 が、図 1 4 に示される。球面レンズ 6 2 が、レーザービームエネルギーパターンを一様に湾曲したレーザービームエネルギーパターンに変更させるために使用され得る。

10

【 0 0 4 1 】

図 1 2 に示される角度変化反射光学素子では、入射レーザービーム 1 0 の波面 4 0 が、角度変化反射表面によって変更され、変更レーザービーム 4 2 h を生じる。変更ビーム 4 2 h は、ビームエネルギーパターンを一様に湾曲したビームエネルギーパターンへ変更するために、ビームの一部分を重複させる。

【 0 0 4 2 】

ビームエネルギーパターンを一様に湾曲したビームエネルギーパターンへ成形するための他の技術は、ビーム形成素子でレーザービームの強度を段階的に変化させ又は可変的に吸収するものである。例えば、図 1 0 に示される強度傾斜透過素子は、レーザービームを可変的に透過し、一様に湾曲したレーザービームを発生する。レーザービーム 1 0 の入射波面 4 0 が、強度傾斜透過光学素子 5 4 によって部分的に吸収され、成形レーザービーム 4 2 f が作られる。強度傾斜透過光学素子 5 4 の部分吸収材料が、レーザービームエネルギーの一部分を吸収し、レーザービームエネルギーの残りの部分を透過する。透過レーザービームを成形するための技術が、米国特許第 4 8 3 8 2 6 6 号に開示される。この文献は、参照文献として組み入れられる。関連する強度傾斜反射素子が、図 1 1 に示すように、レーザービームの形状を変更する。郷土傾斜反射光学素子 5 6 は、レーザービーム 1 0 を可変的に反射する。レーザービーム 1 0 の入射波面 4 0 が、強度傾斜反射光学素子 5 4 によって可変的に反射され、成形レーザービーム 4 2 g が作られる。反射されるレーザービームを段階的に変化させるための技術が、米国特許第 5 2 1 9 2 4 3 号に開示される。この文献は、参照文献として

20

30

【 0 0 4 3 】

所望される場合、上記したレーザービーム形成素子は、改良される特性をもったレーザービーム形成素子を作るために、組み合わせられ得る。例えば、図 5 に示されるような回折素子が、図 1 4 に示されるようなレンズと組み合わせられ得る。回折素子とレンズを使用してレーザービームを成形することが、係属中の米国特許出願第 0 9 / 0 1 5 8 4 1 号 (1 9 9 8 年 1 月 2 9 日出願、発明の名称 “ Laser Delivery System and Method with Diffractive Optic Beam Integration ”) に開示される。この文献は、参照文献として組み入れられる。同様の組合せ回折光学素子 / レンズの技術が、ここに記載される一様に湾曲したレーザービームを与え得る。変形的に、位相変調透過技術が、振幅変調透過技術と組み合わせられ得る。組合せ回折技術は、波面が回折光学素子と相互に作用するように、入射波面の振幅と位相の両方を変更する。入射波面の振幅と位相の両方を変更するための技術が、米国特許第 5 5 7 1 1 0 7 号に開示される。この文献は、参照文献として組み入れられる。

40

【 0 0 4 4 】

レーザービーム走査素子 2 4 として使用するのに適したレーザービーム走査素子が、図 1 4 ~ 1 8 に示される。レーザービーム走査素子は、光学素子を移動させることによってレーザービームを偏向させる。走査素子 2 4 に使用される光学素子は、レンズ、プリズム及びミラーを含む。レンズ 6 2 が、図 1 4 に示すように、レーザービーム 1 0 を走査するために使用され得る。レーザービーム 1 0 に対して横方向に移動するレンズ 6 2 は、ビームを目の所望の位置に偏向する。レーザービームを走査するために、移動レンズを使用することが、米国特

50

許出願第 08 / 058599 号 (1993 年 5 月 7 日出願、発明の名称 “Method and System for Laser Treatment of Refractive Errors Using Offset Imaging”) に開示される。この文献は、参照文献として組み入れられる。XYミラー組立体 64 が、図 15 に示される。第一の軸のミラー 66 が、第一の軸に沿ってレーザビーム 10 を偏向させるために移動する。第二の軸のミラー 68 が、第二の軸に沿ってレーザビーム 10 を偏向させるために移動する。XYプリズム組立体が、図 16 に示される。第一の軸のプリズム 72 が、第一の軸に沿ってレーザビーム 10 を偏向させるために移動する。第二の軸のプリズム 74 が、第二の軸に沿ってレーザビーム 10 を偏向させるために移動する。ジンバル付きミラー組立体 76 が、図 17 に示される。ジンバル付きのミラー 78 が、レーザビーム 10 を所望の位置に偏向するために、二つの回転軸に沿って回転される。ジンバル付きプリズム組立体 80 が、図 18 に示される。ジンバル付きのプリズム 81 が、レーザビーム 10 を所望の位置に偏向させるために、二つの回転軸に沿って回転される。

【0045】

一様に湾曲したパルスレーザビーム 12 の一様に湾曲したレーザビームエネルギーパターン 14 が、図 19 に示される。一様に湾曲したレーザビームエネルギーパターン 14 は、ほぼ球形のレーザビームエネルギーパターン 84 である。ほぼ球形のレーザビームエネルギーパターン 84 は、上述したようなレーザビーム成形成素子で作り出される。ほぼ球形のレーザビームエネルギーパターン 84 は、レーザビームの周囲付近に丸みのある軸対称の領域 85 を含む。この丸みのある軸対称の領域は、融除閾値 86 以上である。一様に湾曲したパルスレーザビーム 12 の強度は、一様に湾曲したレーザエネルギーパターン 14 の領域 88 が、融除されるべき組織の融除閾値 88 以上となるように調節される。一様に湾曲したレーザビームエネルギーパターン 14 の閾値以上の領域 88 は、境界 90 に囲われる。境界 90 に沿ったレーザビームの強度 92 が、融除閾値 86 に一致するレーザビーム強度 94 との比率である。図 19 では、融除閾値 86 に一致する強度 94 に対する境界 90 に沿ったレーザビーム強度 92 の比率は 100% である。閾値以上の領域が、一様に湾曲したレーザビームエネルギーパターンを有するとき、境界 90 は、レーザビームの閾値以上の領域を囲う。境界 90 は、融除される材料に形成されるクレーターの周りに境界を形成する。閾値以上の領域が、一様に湾曲した領域と、一様な湾曲形を除く領域とを含むとき、境界 90 は、融除されるクレーターの一様に湾曲した領域の周りに境界を形成する。一様に湾曲したパルスレーザビーム 12 は、クレーター 96 を有する。レーザビームの光路を下向きに見た一様に湾曲したレーザビーム 12 の断面図が、図 20 に示される。一様に湾曲したレーザビーム 12 は、クレーター 96 を有する。一様に湾曲したレーザビームエネルギーパターン 14 の閾値以上の領域 88 が、境界 90 に囲われる。

【0046】

球面レーザビームエネルギーパターン 84 をもつ一様に湾曲したレーザビーム 14 が、図 21 に示すように、融除される組織に、ほぼ球面のクレーター 98 を形成する。ほぼ球面のクレーター 98 は、組織の融除レートがレーザビームの強度に一致するときに、組織に形成される。融除レートは、レーザビームのパルスで除去される組織の深さであらわされる。ビームのパルスでクレーターの領域から除去される材料の深さは、その領域に照射されるレーザビームの強度にほぼ依存する。融除されるクレーターの形状は、クレーターの領域に照射されるレーザビームの局所的な強度から予測できる。

【0047】

幾つかの例では、組織の融除レートは、レーザビームの強度に正確に一致せず、(球面レーザビームエネルギーパターン 84 の強度に関して) 組織の中央の融除が低減される。例えば、角膜が、レーザエネルギーパターンの中央領域の強度に関して中央で融除不足である。球面レーザエネルギーパターン 84 が、図 22 に示されるように、融除される角膜に、一様に湾曲した非球面クレーター 100 を形成する。図 22 では、クレーター 100 の中央の領域は、球面プロフィールと比較して、融除不足である。変形的に、球面レーザビームエネルギーパターンは、平坦な中央領域と丸みのあるエッジを有するクレーターを作る。クレーター 100 は、丸みのある軸対称な周囲領域 101 を含む。丸みのある軸対

10

20

30

40

50

称な周囲領域 101 は、クレーターが部分的に重複すると、滑らかな融除を作る。

【0048】

より大形のレーザービームの寸法（例えば、約 2 ~ 5 mm）のために、中央の融除不足が、好適に、図 23 に示すように、球面状のビームよりも中央部分が高温となるように、二様に湾曲したレーザービームエネルギーパターン 14 の強度を増大することにより修正される。一様に湾曲したパルスレーザービーム 12 が、球面エネルギーパターン 84a と比較して、球面状の中央部分よりも高温の部分 102 を有する。球面状の部分よりも高温の部分 102 は、中央の融除不足を修正し、図 21 に示すように、ほぼ球面状のクレーター 98 を作り出す。

【0049】

中央の融除不足を修正する好適な 一様に湾曲したパルスレーザーエネルギーパターン 14 は、図 24 に示すように、非球面状のレーザービームエネルギーパターン 104 である。非球面状のレーザービームエネルギーパターン 104 は、球面状のレーザービームエネルギーパターン 84a と比較して、中央により強度がある。より強度のある中央の領域は、所望的に、中央の融除不足を修正する。非球面状のレーザービームエネルギーパターン 104 の強度は、融除閾値の周囲からほぼ先細になっており、図 21 に示すように、滑らかな球面状のクレーター 98 を作る。

【0050】

レーザー融除中、強度 94（融除閾値 98）以下の強度でレーザービームに組織を露出することは望ましくない。この融除閾値以下のレーザービームエネルギーへの露出は、彫造プロセスに寄与せず、この低い閾値エネルギーは、不所望的に、組織を、付加的な照射に露出する。この付加的な照射により、組織が損傷され、不所望的に、組織が加熱される。したがって、一様に湾曲したビーム 12 は、好適に、図 25 に示すように、限定レーザービーム 106 を発生するように、限定される。一様に湾曲したレーザービーム 14 は、クレーター 96 を有する。限定レーザービームの強度は、一様に湾曲したレーザーエネルギーパターン 14 の領域 88 が、融除されるべき組織の融除閾値 86 以上となるように、調節される。二様に湾曲したレーザービームエネルギーパターン 14 の閾値よりも高い領域 88 は、境界 90 に囲われる。境界 90 に沿ったレーザービームの強度 92 は、融除閾値 86 に一致するレーザービーム強度 94 との比率である。図 25 に示すように、融除閾値 86 に一致する強度 94 に対する境界 90 に沿ったレーザービーム強度 92 の比率は、100% である。変形的に、融除閾値に一致する強度 94 に対する境界 90 に沿ったレーザービーム強度 92 の比率は、図 26 に示すように、100% 以上であり得る。図 26 では、一様に湾曲したレーザービーム 12 は、クレーター 96 を有する。限定レーザービーム 106 の強度は、一様に湾曲したレーザービームエネルギーパターン 14 の領域 88 が、融除されるべき組織の融除閾値 86 以上となるように、調節される。一様に湾曲したエネルギーパターン 14 の閾値よりも高い領域 88 は、境界 90 で囲われる。融除閾値 86 の強度 94 に対する境界 90 に沿ったレーザービームの強度 92 の比率は、100 ~ 150% の範囲内にある。好適に、比率は、100 ~ 125% の範囲、より好適に 100 ~ 110% の範囲にある。

【0051】

レーザービームエネルギーパターンを計測するための好適な技術が、Startech社（アメリカ合衆国コネチカット州ダンバリー）より入手可能な製品名“Startech BIP 5100”のようなビーム強度プロファイルメータ（BIP: Beam Intensity Profilometer）でレーザービームをプロファイルするものである。このBIPは、好適に、Spirocon社（アメリカ合衆国ユタ州ロガン）より入手可能な商品名“Spirocon LBA PC series software”とともに使用される。レーザービームによって作られるクレーターの形状を決定するための好適な技術が、米国特許出願第09/083773号（1999年5月22日出願、発明の名称“Systems and Methods for Imaging Corneal Profile”）に開示される融除される角膜をプロファイルするものである。なお、この文献は、参照文献として組み入れられる。上記の技術を使用して、当業者は、既知のレーザービームエネルギープロファイルのためのレーザービームの個々のパルスによって作られるクレーターの形状を決定できる。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 2 】

本発明の技術は、図 2 7 に示すように、連続する一様に湾曲したパルスレーザビームからの一様に湾曲したレーザビームパターン 1 4 の領域 8 8 を部分的に重複される。図 2 7 では、4 個の部分的に重複する一様に湾曲したパルスレーザビーム (1 2 a、1 2 b、1 2 c、1 2 d) が示される。これら 4 個の一様に湾曲したパルスレーザビーム (1 2 a、1 2 b、1 2 c、1 2 d) の別々に置かれた中心 (9 6 a、9 6 b、9 6 c、9 6 d) は、レーザビームのパルスの間のレーザビームの転置を示す。4 個の一様に湾曲したレーザビームパターン (1 4 a、1 4 b、1 4 c、1 4 d) の閾値よりも高い領域 (8 8 a、8 8 b、8 8 c、8 8 d) は部分的に重複する。境界 9 0 a、9 0 b、9 0 c、9 0 d が、レーザビームパターン (1 4 a、1 4 b、1 4 c、1 4 d) の閾値よりも高い領域 (8 8 a、8 8 b、8 8 c、8 8 d) を囲う。領域 (8 8 a、8 8 b、8 8 c、8 8 d) の部分的に重複する領域 (1 0 8) は、一様に湾曲したパルスビームの中心 (9 6 a、9 6 b、9 6 c、9 6 d) を含む。レーザビームの転置は、コンピュータ 2 6 のメモリ 2 9 の座標参照によって制御される。コンピュータ 2 6 のメモリ 2 9 の座標参照は、一様に湾曲したパターンを部分的に重複させて、連続的なパルスレーザビームで部分的に重複する領域 1 0 8 を形成する。変形的に、非連続的なパルスレーザビームが、重複する領域 1 0 8 を形成し得る。例えば、幾つかのレーザビームパルスが、第一の一様に湾曲したパルスレーザビーム 1 2 a と、部分的に重複する連続的な一様に湾曲するパルスレーザビーム 1 2 b との間で起こり得る。

10

【 0 0 5 3 】

20

本発明の実施例が図 2 8 に示される。融除エネルギーソース 2 0 が融除エネルギーのビームを作る。融除エネルギーソース 2 0 は、1 9 3 n m の出力波長のレーザビーム 1 0 を作るパルスアルゴンフッ化物エキシマレーザである。ビーム形成素子 2 2 が回折光学素子であり、この回折光学素子は位相変調透過素子 4 4 である。位相変調透過素子 4 4 は、レーザビーム 1 0 のパルスとパルスの中で回転する。成形されたレーザビームは、ビーム限定素子 3 2 によって限定される。限定素子 3 2 は、レーザビームを遮蔽する非透過性材料 1 1 4 に形成される円形の開口 1 1 2 である。結像素子 3 4 が、露出表面 6 の近くで開口 1 1 4 を通過する成形ビームの像を成形する両凸レンズ 1 1 6 を含む。レーザビーム走査素子 2 4 が、X Y ミラー組立体 6 4 を含む。X Y ミラー組立体 6 4 は、表面 6 にわたって、一様に湾曲したパルスレーザビーム 1 2 を走査する。コンピュータ 2 6 が、パルスレーザ 1 1 0、回転ビーム形成素子 2 2 及び X Y ミラー組立体 6 4 に接続する。信号接続 3 0 が、コンピュータ 2 6、パルスレーザ 1 1 0、回転ビーム形成素子 4 4 及びビーム走査素子 2 4 の間で可能である。信号接続は、好適に、光ファイバー接続のような光電子接続である。ただし、信号接続は、電子接続であってもよい。コンピュータ 2 6 は、レーザビームパルスの X Y 座標と、各座標におけるレーザビーム数とを含むレーザ処置表を計算する。ここで、所望の融除形状を発生するために各座標におけるレーザビームの位置及び数は、当業者によって計算できるものである。作動顕微鏡及び目追尾装置のような本発明とともに含まれ得る他の構成成分が、冗長を回避するため、図 2 8 から省かれている。

30

【 0 0 5 4 】

本発明の好適実施例について上述したが、様々な変更物、変化物および同等物が使用され得る。したがって、本発明の範囲は、上記した説明によって制限されるべきものではなく、特許請求の範囲によって定義される。

40

【図面の簡単な説明】

【図 1】 図 1 は、レーザビームで目を所定の形状に彫造するためのレーザシステムを示す。

【図 2】 図 2 は、目にわたってレーザビームを走査するための本発明の改良技術を示す。

【図 3】 図 3 は、一様に湾曲したクレーターを重複させるための本発明の技術を示す。

【図 4】 図 4 は、本発明の改良技術を組み入れるレーザシステムを示す。

【図 5】 図 5 は、回折素子を示し、この素子は、この素子を通過するレーザビームの位

50

相を変更させることによってレーザビームを成形するためのものである。

【図 6】 図 6 は、回折素子を示し、この素子は、この素子を通過するレーザビームの振幅を変更させることによってレーザビームを成形するためのものである。

【図 7】 図 7 は、回折素子を示し、この素子は、この素子から反射するレーザビームの位相を変更させることによってレーザビームを成形するためのものである。

【図 8】 図 8 は、回折素子を示し、この素子は、この素子から反射するレーザビームの振幅を変更させることによってレーザビームを成形するためのものである。

【図 9】 図 9 は、レーザビームのエネルギーを再分布させることによってレーザビームを成形するためのプリズムのアレイを示す。

【図 10】 図 10 は、強度変化透過素子を示し、この素子は、この素子を通じて透過されるレーザビームの強度を変化させるためのものである。

10

【図 11】 図 11 は、強度変化反射素子を示し、この素子は、この素子から反射したレーザビームの強度を変化させるためのものである。

【図 12】 図 12 は、角度変化反射素子を示し、この素子は、レーザビームの反射角度を変化させることによってレーザビームを成形するためのものである。

【図 13】 図 13 は、レーザビームを成形するための非球面状のレンズを示す。

【図 14】 図 14 は、ビーム走査素子に使用されるレンズを示す。

【図 15】 図 15 は、ビーム走査素子に使用される X Y ミラー組立体を示す。

【図 16】 図 16 は、ビーム走査素子に使用される X Y プリズム組立体を示す。

【図 17】 図 17 は、ビーム走査素子に使用されるジンバル付きミラーを示す。

20

【図 18】 図 18 は、ビーム走査素子に使用されるジンバル付きプリズムを示す。

【図 19】 図 19 は、球面状のレーザビームエネルギーパターンの断面強度プロフィールを示す。

【図 20】 図 20 は、球面状のレーザビームエネルギーパターンの断面図である。

【図 21】 図 21 は、組織で融除される球面状のクレーターを示す。

【図 22】 図 22 は、組織で融除される非球面状のクレーターを示す。

【図 23】 図 23 は、球面状の中央部分よりも高温のレーザビームエネルギーパターンを示す。

【図 24】 図 24 は、非球面状のレーザビームエネルギーパターンを示す。

【図 25】 図 25 は、融除閾値以上の球面状のレーザビームエネルギーパターンを有する限定レーザビームを示す。

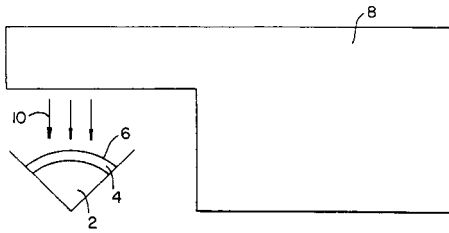
30

【図 26】 図 26 は、融除閾値以上の一様に湾曲したレーザビームエネルギーパターンを有する限定レーザビームと、融除閾値以上の一様に湾曲したパターンの周囲の境界とを示す。

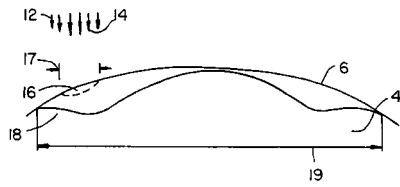
【図 27】 図 27 は、一様に湾曲したレーザビームパターンを重複させる領域を示す。

【図 28】 図 28 は、本発明の実施例を示す。

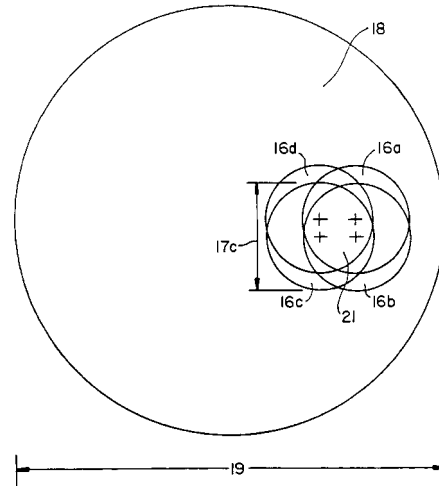
【図 1】



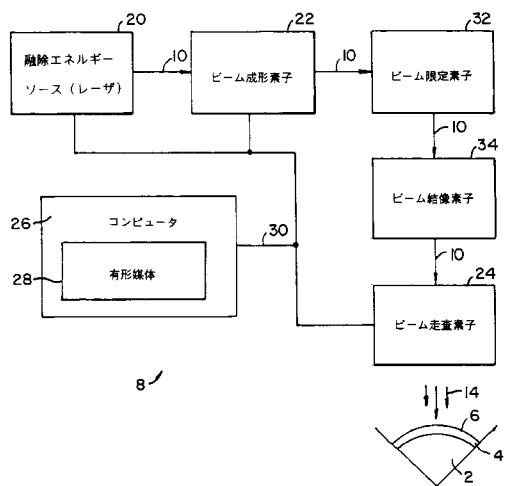
【図 2】



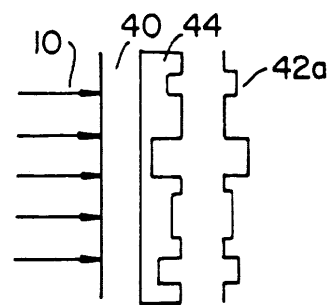
【図 3】



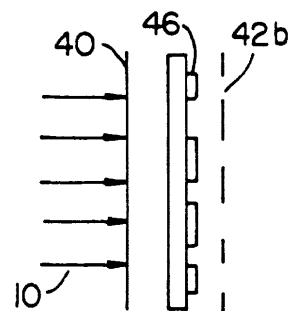
【図 4】



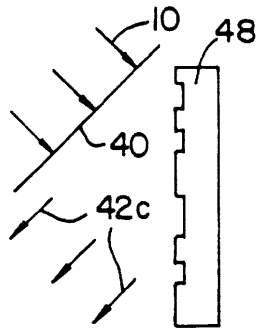
【図 5】



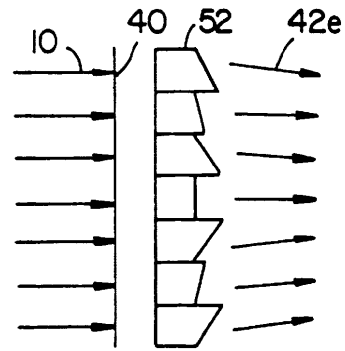
【図 6】



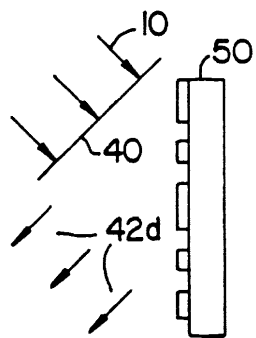
【図 7】



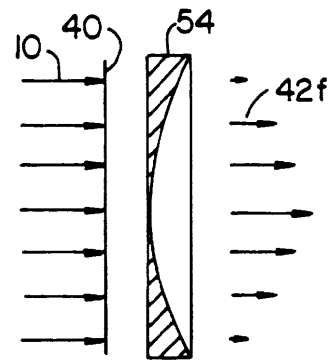
【図 9】



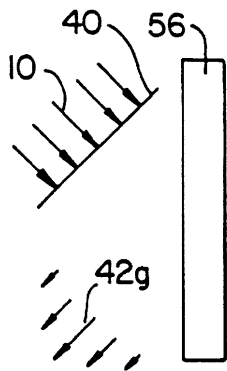
【図 8】



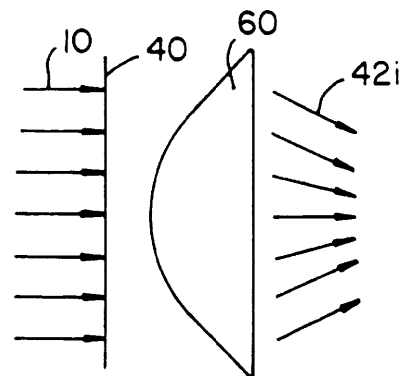
【図 10】



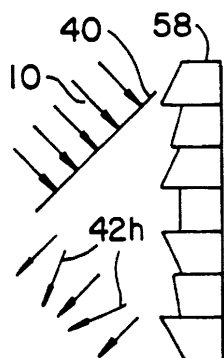
【図 11】



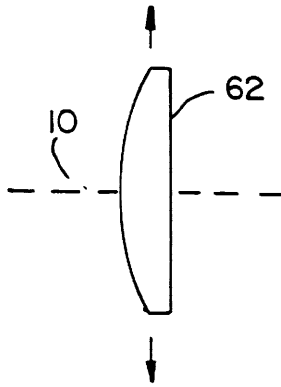
【図 13】



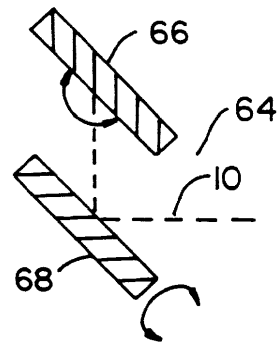
【図 12】



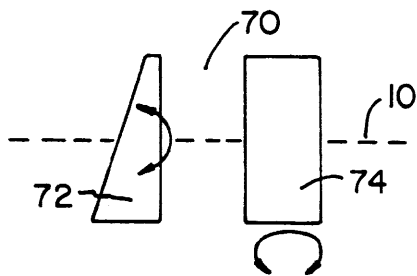
【図 14】



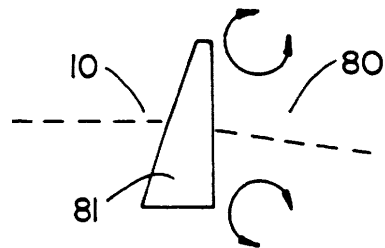
【図 15】



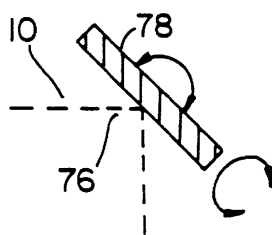
【図 16】



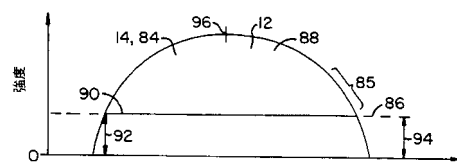
【図 18】



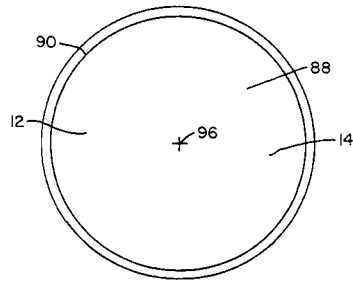
【図 17】



【図 19】



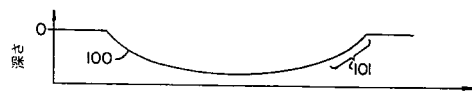
【図 20】



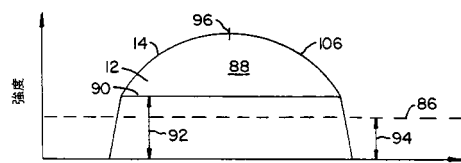
【図 21】



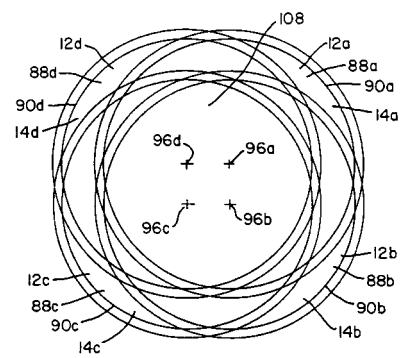
【図 22】



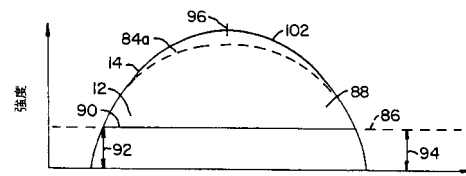
【図 26】



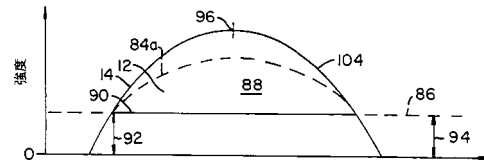
【図 27】



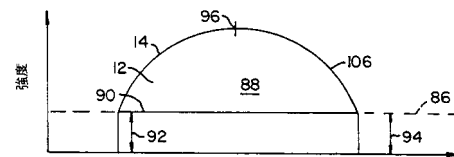
【図 23】



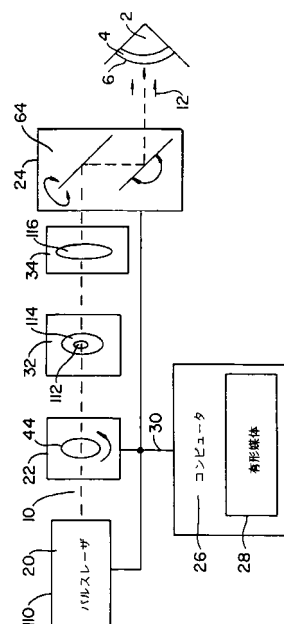
【図 24】



【図 25】



【図 28】



フロントページの続き

(72)発明者 イエイ、キングマン

アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 5 1 3 1、サン・ノゼ、フミアプレイス 1 9 1 3

(72)発明者 コンズ、ステフェン・ジェイ

アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 4 0 8 7、サニーヴェール、ピメント・アベニュー 1 1 6 6

審査官 胡谷 佳津志

(56)参考文献 特表平 0 8 - 5 0 0 5 1 6 (J P , A)

国際公開第 9 8 / 0 1 8 4 1 5 (W O , A 1)

米国特許第 0 5 3 9 5 3 5 6 (U S , A)

特開平 0 5 - 2 2 0 1 8 9 (J P , A)

特表平 0 7 - 5 0 3 3 8 2 (J P , A)

欧州特許出願公開第 0 0 7 1 4 6 4 6 (E P , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

A61F 9/007

G02B 26/10

B23K 26/00