

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7274455号

(P7274455)

(45)発行日 令和5年5月16日(2023.5.16)

(24)登録日 令和5年5月8日(2023.5.8)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L 21/268 (2006.01)

H 0 1 L 21/268

J

B 2 3 K 26/064 (2014.01)

B 2 3 K 26/064

A

B 2 3 K 26/073 (2006.01)

B 2 3 K 26/073

B 2 3 K 26/352 (2014.01)

B 2 3 K 26/352

H 0 1 L 21/20 (2006.01)

H 0 1 L 21/20

請求項の数 45 (全34頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2020-505151(P2020-505151)

(86)(22)出願日 平成30年7月31日(2018.7.31)

(65)公表番号 特表2020-530196(P2020-530196
A)

(43)公表日 令和2年10月15日(2020.10.15)

(86)国際出願番号 PCT/US2018/044671

(87)国際公開番号 WO2019/028064

(87)国際公開日 平成31年2月7日(2019.2.7)

審査請求日 令和3年7月30日(2021.7.30)

(31)優先権主張番号 62/539,183

(32)優先日 平成29年7月31日(2017.7.31)

(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(31)優先権主張番号 62/549,254

(32)優先日 平成29年8月23日(2017.8.23)

最終頁に続く

(73)特許権者 501012517

アイピージー フォトニクス コーポレー
ションアメリカ合衆国 マサチューセッツ州 0
1 5 4 0, オックスフォード, オールド
ウェブスター ロード 5 0

(74)代理人 100108453

弁理士 村山 靖彦

(74)代理人 100110364

弁理士 実広 信哉

(74)代理人 100133400

弁理士 阿部 達彦

(72)発明者 アレクサンダー・リマノフ

アメリカ合衆国・マサチューセッツ・0
1 5 4 0・オックスフォード・オールド

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ファイバーレーザー装置及びワークピースを処理するための方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

ガラスパネル上に成膜されたアモルファスシリコン (a-Si) 膜を処理する方法であって、

(a) ビームを、所望のパワーPで走査前経路に沿って、最大100%の所望のデューティサイクルで動作する少なくとも1つの準連続波 (QCW) ファイバーレーザーから出力する段階と、

(b) 前記ビームをスキャナーユニット上に入射させ、それによって、前記ビームを、所望の角度範囲内で、前記a-Si膜に向けて所望の角速度で前記走査前経路から逸らされた複数のサブビームに時間的にチョッピングする段階と、

(c) 逸らされた各サブビームを光学的に整形して、スポット長さ L_s 及びスポット幅 W_s 並びに走査方向における空間強度ビームプロファイルを有する光のスポットを前記a-Si膜上に提供する段階と、

(d) 所望の走査速度 V_{scan} で走査方向に前記膜にわたって前記スポットを掃引して、それによって所定の長さ L_{scan} 及び幅 W_s の前記膜のストライプを形成する段階であって、前記走査速度及び空間ビームプロファイルが、前記ストライプの各位置において制御された露光持続時間を発生させ、前記ストライプ内の各位置において、前記走査方向における所望の光束分布を提供する段階と、

(e) 前記ガラスパネルを走査と交差する方向に連続的に変位させ、それによって、最大でスポット幅 W_s に等しい距離 d_y で互いの方向から離隔され、一体として前記ストラ

イプの長さ L_{scan} に対応する列幅で列を画定する複数の連続的な走査されたストライプを順に形成する段階と、

を含む、方法。

【請求項 2】

ポリシリコン ($p-Si$) 結晶粒をフィードバック過熱に起因する Si 膜の劣化及び物理的破壊から防ぐために、前記距離 d_y が $0.025W_s$ から W_s の間で変化し、前記連続的な走査されたストライプの形成の反復率が増大するにつれて、前記範囲内で増大する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記各段階の前のシーケンスが $p-Si$ の所望の結晶粒の大きさ及び配向を達成しなかった場合に、 Si 膜の列をさらに処理するために、前記段階 (a) から (d) までを繰り返す段階をさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記ビームの各スポットが、走査の反対方向において、前記スポットから、前記幅 W_s の少なくとも 10 倍大きい長さ L_m だけ離隔された頂点を有する、完全に溶融した三角形の形状の膜ストリップを生成するように、前記所望の走査速度 V_{scan} 及びビーム強度プロファイルが制御される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記ガラスパネルが、 $p-Si$ の列の形成の間、 m /秒の程度のパネル速度で、走査と交差する方向に連続的に変位され、前記走査速度が km /秒の程度に維持される、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6】

100% デューティサイクルで動作する QCW ファイバーレーザーからのビームによって引き起こされるのと同じの $a-Si$ の熱応答を発生させるのに十分である、80 から 150 MHz のパルス反復周波数でビームを出力するように、前記 QCW ファイバーレーザーが、100% 未満のデューティサイクルで動作する、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 7】

前記列の幅が前記パネルの幅よりも小さい場合に最大で前記列の幅 L_{scan} に等しい距離 d_x だけ、前記パネルを前記走査方向に変位させる段階と、

前記段階 (a) から (e) を繰り返し、それによって、前記距離 d_x だけ互いにシフトした $p-Si$ の少なくとも 1 つの別の列を形成する段階であって、隣接するストライプ間の距離 d_y 及び隣接する列間の距離 d_x が、前記処理された膜の各位置が最大 30 回照射されるように選択される段階と、

前記パネルを前記走査方向に繰り返し変位して前記列を形成し、それによって前記パネルの全体にわたって前記 $p-Si$ 膜を形成する段階と、をさらに含む、請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 8】

前記パネルを前記走査方向に最大 0.5 mm の距離 d_x だけ変位する段階が、可視のムラを生じさせないようにする、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記距離 d_y 及び d_x が、各位置における積 $d_x * d_y$ が一定であるように選択される、請求項 7 または 8 に記載の方法。

【請求項 10】

2 つまたはそれ以上の別個のガウシアンビームを重複させ、それによって、走査方向、走査と交差する方向、または走査方向及び走査と交差する方向の両方のうちいずれか 1 つにおいて所望の空間強度プロファイルを有する、請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 11】

前記走査と交差する方向においてガウシアン、超ガウシアンまたはフラットトップ強度

10

20

30

40

50

プロファイルを有するように、前記膜に入射する前記サブビームを整形する段階をさらに含み、前記超ガウシアン分布のべき乗指数が2よりも大きい、請求項1から10のいずれか一項に記載の方法。

【請求項12】

前記走査方向及び前記走査と交差する方向のそれぞれにおいて前記サブビームを整形し、それによって前記走査方向及び前記走査と交差する方向のそれぞれにおいて所望の空間強度プロファイルを有する段階をさらに含む、請求項1から11のいずれか一項に記載の方法。

【請求項13】

前記膜に入射する前記サブビームの偏光を制御し、それによって多結晶結晶粒の整列を制御する段階をさらに含む、請求項1から12のいずれか一項に記載の方法。

10

【請求項14】

前記膜に入射する前記サブビームの偏光が、前記スポットビームの走査方向に対して垂直になるように設定されるように、前記ビームの偏光方向を制御し、それによって多結晶結晶粒の整列を制御する段階をさらに含む、請求項13に記載の方法。

【請求項15】

前記ビームが、紫外線（UV）波長範囲の単一モードである、請求項1から14のいずれか一項に記載の方法。

【請求項16】

前記ビームの出力がマルチモードである、請求項1から14のいずれか一項に記載の方法。

20

【請求項17】

光音響回折器（AOD）、一体に結合されて多角形ミラーを画定する複数の回転ミラー、または前記AOD及び前記多角形ミラーの両方を含む、スキャナーユニットを較正する段階をさらに含む、請求項1から16のいずれか一項に記載の方法。

【請求項18】

前記AODの上流で前記ビームをコリメートする段階と、
前記多角形ミラーの隣接するミラー間の自由空間領域へのビームの入射が防止されるように、または、前記走査されたストライプが前記ストライプの最大長さよりも小さい所定の長さ L_{scan} を有し、前記長さの最大値が数十センチメートルであるように前記AODをオフ及びオンにすることによって、前記QCWファイバーレーザーをゲーティングする段階と、をさらに含む、請求項17に記載の方法。

30

【請求項19】

前記走査と交差する方向に前記パネルを変位する際に、前記多角形ミラーの各ミラーに関して前記AODの入力において高周波（RF）を調整し、各ミラーによって生成された前記走査されたストライプが互いに対して2から10%の範囲内でオフセットされるような段階をさらに含む、請求項18に記載の方法。

【請求項20】

前記ストライプの長さ L_{scan} に沿った複数の離隔された位置において、前記パネルに入射する前記サブビームの焦点深度を測定する段階と、

40

前記各位置における信号を測定する段階と、

生成された信号を参照値と比較する段階と、

必要であれば、前記サブビームの発散を調整できるように、前記AODの入力においてRF周波数を変調し、それによって前記焦点深度を変更する段階と、をさらに含む、請求項18に記載の方法。

【請求項21】

前記AODの入力における複数のRFを発生させる段階と、

前記走査と交差する方向におけるサブビームの発散を変化させるために各RFの振幅を調整し、それによって、前記ストライプにわたる所望の強度プロファイルを提供する段階をさらに含む、

50

前記強度プロファイルがガウシアン分布、超ガウシアン分布またはフラットトップ分布から選択される、請求項 18 に記載の方法。

【請求項 22】

前記ストライプの長さ L_{scan} に沿った複数の離隔された位置において前記パネルに入射する前記サブビームの焦点深度を測定する段階と、

前記位置のそれぞれにおいて信号を発生させる段階と、

発生した信号を参照値と比較する段階と、

必要であれば 1 つまたは複数の機械的デバイスの入力における RF 周波数を変調し、それによって Si 膜における焦点深度を変化させるために前記サブビームの発散を調整する段階と、をさらに含み、

前記機械的デバイスがボイスコイルまたは圧電アクチュエータを含む、請求項 1 から 21 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 23】

焦点面が前記パネルの表面を追跡するように、前記スキャナーユニットと前記パネルとの間に変形可能な光学系を設ける段階をさらに含み、前記変形可能な光学系が 1 つまたは複数の変形可能なミラーを含み、前記変形可能なミラーがそれぞれ、前記パネルの表面の不均一性を補償するために、前記サブビームの長さ及び前記多角形ミラーの各ミラーの長さに沿った連続的に変化する曲率半径を有する、請求項 17 から 21 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 24】

ワークピースの表面を処理するための装置であって、

走査前経路にそって一定のパワーでレーザービームを放出するように動作可能な QCW ファ이버レーザーと、

瞬間的なスポットビームが最適な幾何学的寸法、強度プロファイル及びパワーを有するように、前記レーザービームを整形するように動作する走査前ビーム調整器と、

前記走査前ビーム調整器の下流に配置され、前記レーザービームを受けて前記走査前経路から逸らされた複数のサブビームに分離するように動作するスキャナーであって、前記スキャナーが最適な角速度及び角度範囲で動作する、スキャナーと、

最適な幾何学的寸法、パワー、角速度及び範囲を有するスポットビームを提供するように動作する走査後光学アセンブリであって、瞬間的な前記スポットビームが、走査されるストライプ内で必要な露光持続時間及び光束を生成できるように、線形走査方向に、所望の走査速度で掃引されるように、スポット寸法及び強度プロファイルが選択される、走査後光学アセンブリと、

列を画定するように互いの上に積層された複数の均一なストライプを形成するように、少なくとも走査と交差する方向に前記ワークピースを変位するように動作する多軸ステージであって、前記所望の走査速度及び光束が、エキシマー及びバーストモードファイバーレーザーによって処理される表面と同等の表面の所望の品質を提供する、多軸ステージと、を含む、装置。

【請求項 25】

前記 QCW ファ이버レーザーが、最大 100 % のデューティサイクルで動作し、100 % 未満のデューティサイクルで、前記 QCW ファ이버レーザーが、100 % のデューティサイクルを有する QCW ファ이버レーザーからのビームによって生成されるのと同じ処理表面の熱応答を発生させる、80 から 150 MHz の一定のパルス反復周波数で、前記 QCW ファ이버レーザーが一連のナノ秒パルスを出力する、請求項 24 に記載の装置。

【請求項 26】

前記 QCW ファ이버レーザーが、単一モードまたは複数横モードで前記レーザービームを出力する、請求項 24 または 25 に記載の装置。

【請求項 27】

前記走査前ビーム調整器が、一定のパワーを最適なパワーに低めるように動作可能であ

10

20

30

40

50

る偏光器アセンブリー及び走査前レンズアセンブリーを有して構成される、請求項 2 4 から 2 6 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 2 8】

前記走査前ビーム調整器の下流に位置し、最適なパワーから逸脱した場合に一定のパワーを調整するように前記偏光器に結合されたパワーコントローラーをさらに含む、請求項 2 7 に記載の装置。

【請求項 2 9】

前記走査前ビーム調整器がさらに、光音響回折器（AOD）を含むスキャナーの上流において平行になるように、前記レーザービームを整形するコリメーターを含む、請求項 2 4 から 2 8 のいずれか一項に記載の装置。

10

【請求項 3 0】

前記走査方向、走査と交差する方向、または走査方向及び走査と交差する方向の両方において所望の強度プロファイルを有するレーザービームを出力するためにビーム結合器を有して構成された、前記走査前ビーム調整器に入射する各レーザービームを出力する複数の QCWファイバーレーザーをさらに含み、前記所望の強度プロファイルが、ガウシアンプロファイル、超ガウシアンプロファイル、フラットトッププロファイル及びこれらのプロファイルの組合せからなる群から選択される、請求項 2 4 から 2 9 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 3 1】

前記スキャナーが多角形ミラー、AODまたはAODと多角形ミラーとの組み合わせとして構成され、前記AODの下流に配置され、前記ワークピースにおいてkm/秒の程度の速度を発生させるようにすべてが動作する、請求項 2 4 から 3 0 のいずれか一項に記載の装置。

20

【請求項 3 2】

前記AODが、前記多角形ミラーの隣接するファセット間の隙間への前記レーザービームの入射を防止するために、前記QCWファイバーレーザーをゲーティングするように動作可能である、請求項 3 1 に記載の装置。

【請求項 3 3】

前記AODが、前記多角形ミラーから偏向された前記サブビームの発散角を制御するように、前記AODを駆動するように動作可能なRF発生器を含む、請求項 3 1 または 3 2 に記載の装置。

30

【請求項 3 4】

前記AODが、前記多角形ミラーのファセットのポインティング誤差及び処理される表面の不均一性を補償できるように、発散角を変更するように動作可能である、請求項 3 3 に記載の装置。

【請求項 3 5】

前記RF発生器が、前記走査方向における前記スポットビームの空間プロファイルを制御できるように、複数の異なる周波数を前記AODに出力するように動作可能である、請求項 3 3 に記載の装置。

【請求項 3 6】

前記走査後光学アセンブリーが、球面对物レンズ、アナモフィック対物レンズ、及び球面对物レンズとアナモフィック対物レンズとの組み合わせからなる群から選択される対物レンズを有して構成される、請求項 2 4 から 3 1 のいずれか一項に記載の装置。

40

【請求項 3 7】

前記球面对物レンズが球面Fシータを含み、前記アナモフィック対物レンズが固定された縮小率を有する球面結像レンズを含む、請求項 3 6 に記載の装置。

【請求項 3 8】

前記アナモフィック対物レンズが、アナモフィックFシータ、円筒形またはアナモフィック結像レンズを含み、前記アナモフィック結像レンズが、走査方向及び走査と交差する方向において異なる拡大率を有して構成された、請求項 3 6 に記載の装置。

50

【請求項 39】

前記走査後光学アセンブリーが、円筒形結像レンズ、アナモフィック結像レンズ、及び前記対物レンズの下流に配置され、前記走査と交差する方向において前記スポットビームを調整するように機能する1つまたは複数の円筒形レンズを含む、請求項36または37に記載の装置。

【請求項 40】

前記多軸ステージが、前記列を形成するために前記ストライプの幅全体を超過しない距離 d_y にわたって、 m /秒程度の速度で前記走査と交差する方向に前記ワークピースを連続的に移動させるように動作可能である、請求項24から39のいずれか一項に記載の装置。

10

【請求項 41】

前記多軸ステージが、最大で列の幅に等しい距離 d_x だけ前記走査方向に前記ワークピースを変位するように動作可能であり、前記走査と交差する方向における隣接するストライプ間の距離及び、隣接する列間の距離が、処理される表面の各位置が最大30回照射されるように選択される、請求項40に記載の装置。

【請求項 42】

前記距離 d_y 及び d_x が、各位置における積 $d_x * d_y$ が一定であるように選択される、請求項41に記載の装置。

【請求項 43】

前記スキャナーと前記ワークピースの間に、前記表面の不均一性を補償するように動作する変形可能な光学系をさらに含む、請求項24から42のいずれか一項に記載の装置。

20

【請求項 44】

前記ストライプがそれぞれ、数ミリメートルから1メートルまで変化する長さを有する、請求項24から43のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 45】

ガラスパネル上に成膜されたアモルファスシリコン (a-Si) 膜を処理するための装置であって、

経路に沿って所望のパワーPでビームを出力できるように、最大100%の所望のディューティサイクルで動作する少なくとも1つの準連続波 (QCW) ファイバーレーザーアセンブリーと、

30

前記ビームを、前記a-Si膜に向けて所望の角度範囲内で前記経路から外れた複数のサブビームに偏向するスキャナーと、

前記Si膜に入射する、逸らされた各サブビームが、走査方向における長さ L_s 、スポット幅 W_s 、及び前記走査方向における空間強度ビームプロファイルを有する光のスポットを提供するように、前記ビームを光学的に整形するように動作する走査前光学アセンブリー及び走査後光学アセンブリーと、

複数の連続的な走査されたストライプが、最大でスポット幅 W_s に等しい距離 d_y だけ互いに離隔され、一体として、前記ストライプの長さ L_{scan} に対応する列幅を有する列を画定するように、走査と交差する方向に前記ガラスパネルを連続的に変位させるように動作するステージと、を含み、

40

前記長さ L_s 、幅 W_s 及び強度ビームプロファイルを有する前記スポットが、所望の走査速度 V_{scan} で前記走査方向に前記膜にわたって掃引され、それによって所望の長さ L_{scan} 及び幅 W_s の前記膜のストライプを形成し、前記ストライプの各位置において制御された露光持続時間を生成し、前記ストライプ内の各位置において前記走査方向に所望の光束分布を提供するような強度ビームプロファイルで掃引される、装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、アモルファス薄膜を処理するための連続波 (Continuous Wave, CW) または準CW (Quasi CW, QCW) の高デューティファイバーレーザ

50

ー及び高速走査システムを利用する方法及び装置に関し、使用されるレーザーパワー、ビームプロファイル及び走査速度は、所望の露光持続時間及び光束を発生させる。

【背景技術】

【0002】

平面ディスプレイをアニールするためのファイバーレーザーアニーリング（Fiber Laser Annealing, FLA）及び逐次横成長固化（Sequential Lateral Solidification, SLS）方法におけるバーストモード QCW ファイバーレーザーの用途が知られている。例えば、アニーリングプロセスで使用されるバーストモード QCW ファイバーレーザーは、参照により本明細書に完全に組み込まれ、本出願の出願人によって共有されている特許文献 1 に開示されている。バーストモード QCW ファイバーレーザー、すなわち、紫外（UV）光の複数の長いバーストまたはパケットを出力し、各バーストが、バースト反復率（Repetition Rate, RR）よりも高いパルス反復率（Pulse Repetition Rate, PRR）で放出される複数のパルスによって画定されるように動作可能なレーザーによって実施される結果は、エキシマーレーザーと同等であることが示されている。QCW ファイバーレーザーは、特許文献 2 に詳細に開示されており、これも本出願と共有され、参照により本明細書に完全に組み込まれている。

10

【0003】

例えば、SLS 及びエキシマーレーザーアニーリング（Excimer Laser Annealing, ELA）法の両方で使用されるエキシマーレーザーと比較したバーストモード QCW ファイバーレーザーの利点は、特許文献 1 に詳細に記載されている。しかし、バーストモード QCW ファイバーレーザーは、前述のアニーリングプロセスに関して、均一な PRR で一連のパルスを放出する「通常の」QCW ファイバーレーザーと比較すると、特定の疑問の余地がないわけではない。

20

【0004】

例えば、バーストモード QCW ファイバーレーザー光源の連続的な走査は、バーストモード QCW レーザーよりも高い PRR で動作する QCW（または CW）ファイバーレーザーと比較すると、ピークパワーに対する平均値の効率を悪化させる。バーストモード QCW の効率がより低いのは、そのデューティサイクルが、100% に達しうる「通常の」高い PRR の QCW のそれと全く近くないことに起因する。そのため、同等のレーザーピークパワーでは、バーストモード QCW ファイバーレーザーで達成可能な処理速度は、高デューティの通常の QCW ファイバーレーザーによって達成されるものよりも遅く、この優位性は、Si アニーリング及びその他の表面処理プロセスにおける通常の QCW ファイバーレーザーの使用の必要性を正当化する。

30

【0005】

また、バーストモード QCW ファイバーレーザーに基づく Si アニーリングシステムは、走査軸に沿った所望の強度プロファイルを得るために、ホモジナイザーを必要とする。対照的に、この複雑でコストの高い装置は、通常の QCW を有する Si アニーリングシステムの一部ではない。

【0006】

通常の QCW ファイバーレーザーと比較した場合におけるバーストモード QCW ファイバーレーザーのさらなる別の欠点は、レーザーバーストエネルギーからの露光ラインの長さの依存性を含む。したがって、バーストモード QCW レーザーに露光される長いストライプは、高いレーザーバーストエネルギーを必要とする。対照的に、露光されるストライプは、改善されたデューティサイクル及び走査方法に起因して、通常の QCW ファイバーレーザーのパワーには依存しない長さを有する。

40

【0007】

バーストモード QCW のパワー安定性及びモード安定性を制御することは、より高い一定の PRR における通常の QCW の動作の同じパラメータを制御するよりも困難である。また、バーストモード QCW ファイバーレーザーとは対照的に、通常の QCW ファイバー

50

レーザーは、より多くのアニーリング用途で使用可能である。

【0008】

したがって、様々なSiフィルムアニーリング用途及び、特にバーストモードQCWファイバーレーザーに対する通常のQCWファイバーレーザーの利点から利益を得る長いラインを必要とする用途についての必要性が存在する。

【0009】

特許文献1の装置の使用は、本出願に開示される開発段階において予期されていなかった問題を明らかにした。例えば、特許文献1には様々なスキャナーの構成が開示されており、そのそれぞれは、利点及び欠点を有し、これらは最終製品に及ぼしうる影響の点で正当に評価されないことがある。ガルバノメーターは、移動する部分の質量に起因して、限定された回折角速度を有することが知られている。速度は、光音響回折器 (Acousto-Optic Deflectors, AODs) では問題とならないが、制限された回折角の範囲は問題である。ミラースキャナー及び、より具体的には複数の反射ファセットを有する、多角形ミラーであるミラースキャナーを回転させることは、アニーリングの品質及び、特に、走査方向におけるストライプまたはラインに沿った光束プロファイルの均一性に悪影響を及ぼす製造欠陥を有することが知られている。多角形ミラーは、特に、長いストライプ、すなわち好適には2mmよりも長いストライプをアニーリングするために設計された様々な光学構成において利用される。そのため、スキャナーの使用を伴うアニーリング用途において、多角形ミラーは、可能な限り製造欠陥を有しないことが望ましい。

【0010】

特許文献1のバーストモードQCWファイバーレーザーは、個別のバーストモードファイバーレーザーからのラインビームの長さよりも長い大きさの程度であるアニーリングパネルで主に使用される。ビームステッチングは、リップルの出現における不均一な輝度を表示するレーザー処理されたパネルで観察される現象であるムラ (Mura) の形成を伴っていた。アニールされたポリシリコン (p-Si) パネルの品質が悪く、そのため、アニーリングプロセスにおけるバーストモードQCWファイバーレーザーの使用を制限するため、ムラは許容できるものではない。

【0011】

周知のファイバーレーザーベースのアニーリングシステムは、典型的には複数のサブアセンブリーを含む複雑な構造を有する。例えば、SLSPプロセスにおけるバーストモードQCWファイバーレーザーの使用は、フライアイ、非球面、非円筒形及びその他の手段を含むホモジナイザーを必要とする。比較的低い反復率で動作するバーストモードQCWファイバーレーザーのパワー安定性及びモード安定性を制御することは、技術的な困難を有する。バーストQCWファイバーレーザーのピークパワーに対する平均値の効率は改善されるべきである。

【0012】

したがって、アモルファス薄膜を処理するためのCWまたは高デューティQCWレーザーであって、使用されるレーザーパワー、ビームプロファイル及び走査速度が、特定の持続時間と同等であるか、またはバーストモードQCWファイバーレーザーではあるがこれに関する前述の問題を有さない、制御された露光持続時間及び光束を発生させる、CWまたは高デューティQCWレーザーを利用する走査方法の必要性が存在する。

【0013】

またさらに、高速スキャナーに沿って、周知の製造欠陥の少なくともいくつかを識別及び修正させ、本開示の走査方法を実現する高デューティQCWレーザーモードで動作することが可能なCWレーザーの必要性が存在する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0014】

【文献】米国特許第62186057号

10

20

30

40

50

米国特許出願第 1 4 / 7 9 0 1 7 0 号

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0015】

本開示によれば、本発明の方法は、制限なく、F L A アモルファス S i アニリング、S L S アモルファス S i アニリング、S i C アニリング（例えばオーミックコンタクト）及びポリイミドレーザーリフトオフ（L L O）用途を含む様々な用途に適用される。

「通常の」Q C Wファイバーレーザー及び高速スキャナーアセンブリーを利用する本発明の方法は、レーザーエネルギー、スポットビーム特性及び走査速度を所望の露光持続時間及び光束に基づいて選択する段階を含み、これらはエキシマー及びバーストQ C Wファイバーレーザーを利用する表面処理プロセスにおいて所望の結果をもたらすことが知られている。スポットビーム特性は、ターゲット上の光スポットの長さ、幅及び強度プロファイルを含む。開示された方法及び、本方法を実施する装置の両方に関する本発明の概念は、以下の議論から分かるように、全て構造的及び機能的に互いに結びついた多数の態様を有する。

【0016】

本開示の1つの態様によれば、通常のQ C Wレーザーは、所望のパワーPでビームを出力することができる、最大100%の制御可能なデューティサイクルで動作する。ビームが走査前経路に沿って伝搬すると、スキャナーアセンブリーによって、走査後経路に沿ってアモルファスシリコン（a-Si）膜などの処理される表面に向けて所望の角度範囲内で走査前経路から偏向された、複数のビームに、時間的に分割またはチョッピングされる。

【0017】

a-Siに入射する個々のサブビームは、スポット長さ L_s 、スポット幅 W_s などの所望の幾何学的パラメータ並びに所望の強度ビームプロファイルを、走査方向及び走査と交差する方向にそれぞれ一致する走査スポット軸及び走査と交差するスポット軸の両方において有するスポットを形成する。走査方向における強度プロファイルは、F L A / E L A プロセスにおいて得られるものと同等でありうる良好な結果を得るために特に重要である。スポット幅 W_s はむしろ小さく、存在する場合にはプロファイルの不均一性は実際上識別できないが、必要であれば依然として制御されうる。スポットビームパラメータは、所望の長さの短い及び／または長いストライプの生成のために設計された光学走査前／走査後アセンブリーによって決定され、短いストライプは、最大で数ミリメートルの長さのラインである。

【0018】

所望のスポットビームパラメータを有するスポットビームは、所望の走査速度 V_{scan} で走査方向に掃引され、それによって、所定の長さ L_{scan} 及び幅 W_s の膜のストライプを形成する。所望の走査速度及びビームプロファイルは、ストライプの各位置において制御された露光持続時間を生成し、これはこれらの位置のそれぞれにおいて、そして結果としてストライプの領域全体にわたって、走査方向に所望の光束分布を提供する。

【0019】

所望の長さ L_{scan} 、幅 W_s 及び光束分布を有するストライプが形成されると、表面の残りの部分が、表面の長さに対応する少なくとも走査と交差する方向にレーザー処理される必要がある。これは、互いに対して距離 d_y だけ離隔された複数の連続する走査されたストライプを順に形成するように、走査と交差する方向に表面を支持するプラットフォームを連続的に変位することによって達成される。走査と交差する方向におけるパネルの変位の速度は、距離 d_y が最大でスポット幅 W_s に等しいように選択される。パネルの所望の長さをカバーするストライプの形成は、ストライプ L_{scan} の長さに対応する列幅を有する列を構成する。

【0020】

本開示の以下の態様において、前述のパラメータの全てが、所望の光束分布が均一でありうるように、または不均一でありうるように選択され、制御される。列の形成後、光束

10

20

30

40

50

分布が予測と合致しない場合、前述の態様に開示されるプロセスが、所望の結果が得られるまで繰り返される。

【0021】

F L Aなどの同じ膜の位置の複数の照射を典型的に必要とするプロセスにおいて、同じ位置の後続の照射の間の期間が厳密に制御されることが必要である。これは、任意の所定のプロセスの性質によって説明可能である。例えば、F L Aでは、膜の深さ全体がアニールされるべきではない。また、膜の過熱は破損につながる。したがって、走査と交差する方向における膜の変位は連続的であるため、再度の照射の準備ができた、事前に照射された位置の温度が理論的または経験的に決定された閾値に対応するように移動する。

【0022】

別の態様は、個々の列の形成の間の各スポットの熱反応が、部分的に溶融した、三角形に形成された膜の領域によって呈されるように、走査速度 V_{scan} 及びレーザービームエネルギーを制御することに関する。所望の条件下で、この領域は、ストライプの幅 W_s よりも少なくとも10倍大きい長さ L_s だけ、走査と反対の方向にスポットから離隔された頂点を有する。

【0023】

開示されたQ C Wファイバーレーザーが100%よりも小さなデューティサイクルで動作する場合、等価なC W (100%のデューティサイクル)として動作するQ C Wファイバーレーザーからのビームによって生じるのと同じ $a-Si$ の熱反応を発生させるのに十分である、80から150 MHzのパルス反復周波数でビームを出力する。

【0024】

開示された方法の別の態様は、製造されたパネルまたはデバイスの幅と実質的に同じまたはそれより小さい場合がありうるストライプ長さに関する。この場合において、複数の列が、パネルまたはデバイスの所望の幅をカバーするのに必要とされる。これは、処理される表面を、最大で列の幅 L_{scan} と等しい距離 d_x だけ走査方向に変位することによって実現される。結果的に、膜が所望の距離だけ走査方向に変位すると、上記の特徴または段階の全てが、膜の幅全体をカバーするのに必要な数の列を形成するように繰り返される。走査方向において距離 d_x の変位が必要な場合、個別の列の連続するストライプの間の距離 d_y に沿ったこの距離は、処理される膜の各位置が最大30回照射されるように選択される。走査方向における変位は、重なった列に関するムラとしての望ましくない現象を防ぐために制御されるべきである。隣接する列の間の距離 d_x は、ストライプ長さ L_{scan} に依存し、所定のプロセスにおいてムラを形成されることが知られている距離を超過すべきではない。典型的には短い走査長さに関する状況において、この距離は好適には最大で0.5 mmであり、開示されたプロセスの間、制御される。

【0025】

前述の態様のいずれかの不可欠な部分である別の特徴は、 d_y 及び d_x が列ごとに変化するという状況を含む。

【0026】

Q C Wファイバーレーザーを利用するS L S及びF L A結晶化プロセスの両方において、エキシマーレーザーと類似する時間プロファイルを実施することが好適でありうる。典型的には、標準的なE L Aアニーリングプロセスにおいて、エキシマーレーザービームは以下の強度時間プロファイル、すなわち短い持続時間、高い強度スパイク及びそれに続くより長い持続時間、より低い強度テールを有する。この時間プロファイルは、初期スパイクがS i膜の溶融を生じさせることができる一方、テール部分は溶融した膜の制御された冷却及び結晶化を可能にする。

【0027】

したがって、走査方向における強度プロファイルの改善を可能にする本発明の構成及び方法の段階は、ビーム間の空間オフセット並びに個別のビームの寸法及びパワーが、最適なアニーリングプロセスのために調整されうる所望の時間プロファイルを生成するように、重複する複数のガウシアンビームを含む。複数のビームは、複数のレーザーによって、

10

20

30

40

50

単一のレーザーのビームを分割することによって、または分割されたビームを有する複数のレーザーによって、生成可能である。所望の強度プロファイルは、走査と交差する方向において、ガウシアン、超ガウシアンまたはその他任意の所望の種類を含みうる。同じプロファイルは、交差方向の強度プロファイルに関連する。

【0028】

前述の態様の1つのプロセスは、膜に入射するサブビームの偏光が走査方向と垂直であり、それによって多結晶の結晶粒の整列を制御するように、ビームの偏光を制御することをさらに含む。

【0029】

好適には前述の特徴のそれぞれは、開示されたQCWファイバーレーザーによって出力される単一モード(SM)ビームに関する。しかし、いくつかの用途は、ビーム品質パラメータに対して厳密な制限を有さない。結果として、ビームはSMまたはマルチモード(MM)のいずれかでありうる。

【0030】

上述の態様のいずれかにおいて開示されるスキャナーユニットは、光音響回折器(AOD)、一体として多角形ミラーを画定するように組み立てられた複数の回転するミラーもしくはファセット、またはAOD及び多角形ミラーを含む。多角形ミラーを含むスキャナーユニットの任意の方式において、本発明の特徴は、以下の理由でこれらを較正することを含む。

【0031】

複数ファセットの多角形ミラーは、回転面に対するファセットポインティング誤差を生じる傾向がある。特定の実施形態の許容誤差に応じて、ファセット修正を実施することが必要でありうる。高い回転周波数において、ファセットごとの滞留時間が短いことは、光学的機械的ポインティング修正を不要にする。この場合、AODの実施が、典型的には80%未満である必須の光学効率で必要でありうる。

【0032】

AODは、その構造特有の複数の利点を有する。実質的に10 μ s未満である高速なポインティング修正時間を有するだけでなく、前述の全ての態様において、多角形ミラーの頂点がビームを通過する際にビームをオン及びオフに変調することが使用される。また、個別の走査ライン及び／または長期間のパワードリフト／変動修正においてターゲット上へのレーザーパワーに対する精密な調整を行うためにも使用可能である。

【0033】

本開示のさらなる態様において、AODは、焦点深度を制御するために使用される。この特徴は、サブビームの発散を調整し、それによって焦点深度を変更するために、AODの入力における高周波(RF)の変調を含む。

【0034】

本開示の別の態様は、様々な走査後光学構成を含む。ストライプの所望の長さに応じて、光学構成は、長いストライプの生成において通常使用されるFシータレンズを含みうる。短いラインの生成は、縮小光学系を必要としうる。本態様の特定の特徴は、走査方向など、方向の1つにおけるビームイメージが縮小を必要としないが、その他の、走査と交差する方向では、ビームの大きさが縮小されるべきであるような状況に関する。

【0035】

本発明の方法及び装置において個別にまたは任意の組合せで使用可能である前述の及びその他の態様及び特徴は、以下の図面からより容易に明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図1】本発明の方法を実行する、本発明のアニールリング装置の斜視図である。

【図2】本発明の方法を表すフロー図である。

【図3】アニールされるSi膜上にストライプを形成する図1の装置の動作を概略的に表す。

10

20

30

40

50

【図 4】単一のストライプの形成の概略図である。

【図 5】短いラインビームを用いた走査方向及び走査と交差する方向における単一位置に関する複数パスの重複を示す概略図である。

【図 6】理想的なトップハットビーム強度プロファイルの図である。

【図 7】図 7 A から 7 D はそれぞれ、処理される材料の過熱を防ぐように設計された列形成で使用されるステップパターンを示す。

【図 8】走査方向及び走査と交差する方向におけるガウシアン及び超ガウシアン強度プロファイルに伴うビームスポットの例示的な図である。

【図 9】多角形ミラーの等角直交図である。

【図 10】図 9 の多角形ミラーのファセット対ファセットポインティング誤差を修正するための手段の概略図である。

【図 11】図 10 で使用される A O D の動作原理の概略図である。

【図 12】処理される表面の不均一性に起因する焦点面を補償するための修正方式の概略図である。

【図 13】図 10 及び 12 のファセット対ファセットポインティング誤差及び表面平坦度の補償方式で使用されるレーザービームの発散角度を制御可能に変更するための代替的な手法を示す概略図である。

【図 14】表面平坦度の補償のための代替的な光学的概略図を示す。

【図 15】図 9 に示された多角形ミラーと組み合わせて動作する走査後アセンブリーの例示的な概略図を示す。

【図 16】A O D の走査角度の関数として、相対的なオンターゲットシート速度プロファイルを示す。

【図 17】線形シートプロファイルに対する A O D 周波数ランプを示す。

【図 18】シート速度の線形化を示す。

【図 19】A O D と組み合わせた走査後アセンブリーの動作原理を示す。

【図 20】図 19 の組合せの概略図である。

【図 21】図 21 A 及び 21 B は、図 20 の走査後アセンブリーの例示的な構成である。

【図 21-2】円筒形結像の実施例を示す。

【図 22】対物レンズを有する A O D の可能な実施例の概略図である。

【図 23】対物レンズシステムの種類を示す。

【図 24】対物レンズシステムの種類を示す。

【図 25】対物レンズシステムの種類を示す。

【図 26】対物レンズシステムの種類を示す。

【図 27】対物レンズシステムの種類を示す。

【図 28 A】単一の R F 周波数入力を受ける既知の A O D の動作を示す。

【図 28 B】単一の R F 周波数入力を受ける既知の A O D の動作を示す。

【図 29 A】走査に交差する面における強度プロファイルを調整するために複数の R F 周波数入力を同時に受ける本発明の A O D の動作を示す。

【図 29 B】走査に交差する面における強度プロファイルを調整するために複数の R F 周波数入力を同時に受ける本発明の A O D の動作を示す。

【図 30 A】走査に交差する面における所望のビームプロファイルを調整するための図 29 A 及び 29 B の A O D を用いたコンピュータショットである。

【図 30 B】走査に交差する面における所望のビームプロファイルを調整するための図 29 A 及び 29 B の A O D を用いたコンピュータショットである。

【図 31】走査に交差する面における所望のビームプロファイルを調整するための図 29 A 及び 29 B の A O D を用いたコンピュータショットである。

【図 32】走査平面における所望のビームプロファイルを調整するための技術を示す。

【発明を実施するための形態】

【0037】

これから、開示されるシステムを詳細に参照する。可能な場合はいつでも、同じまたは

10

20

30

40

50

類似の参照符号が、同じまたは類似の部分または段階を指すために図面及び説明において使用される。図面は正確なスケール通りではない簡略化された形態である。便利さ及び明確性の目的のみのために、「接続する」、「結合する」との語句及び、屈折形態素を有する類似の語句は、必ずしも直接的かつ密接した接続を意味するのではなく、中間要素またはデバイスを通した接続も含む。

【0038】

本発明のゴールは、エキシマー及びバーストモードファイバーレーザーによって処理された膜と同等の品質を有するSi膜を処理するための高速スキャナーと組み合わされた標準的なQCWファイバーレーザーの使用である。このゴールを達成することを可能にする根拠は、処理領域が、FLAプロセスの場合には好適には0.35から0.45 J/cm²の間で変化する所望の光束によって特徴づけられるように、膜の領域にわたって所定の走査速度で走査される特定の形状のレーザービームでSi膜を制御可能に露光することに基づいている。そのため、処理は、パワー、発散、非点収差及び偏光を含む所定のレーザー特性について所望の露光持続時間及び光束を得るために、スポットビーム長、幅及び強度プロファイル、すなわちスポット幾何形状及び走査速度などの主要システムの変数を制御することによって予測される。システム変数およびレーザー特性の制御は、以下に開示されるように、各アセンブリー及びそれらの組合せによってなされる。

【0039】

図1から4を参照すると、本発明のモジュラー装置10は、本発明のプロセスを実施することが可能な様々なレイアウトを有しうる。非常に基礎的なレベルにおいて、本発明のプロセスは、(1) 最大で1メートルに達するワークピースの表面に、照射される長い領域またはストライプ、または(2) 一般に数ミリメートル、例えば2mmを超えない短い領域またはストライプを形成することによって達成されうる。ストライプの長さに応じて、本発明の装置の選択的なサブアセンブリーは、異なる構成を有しうる。しかし、これらのサブアセンブリーの機能は、実際上は同じままである。

【0040】

もちろん全表面がアニールされなければならない場合には、ワークピース27の各位置で典型的には約20回の放射を必要とするFLAプロセスに従ってa-Siがp-Siに変換されるように、装置10は、ワークピースの表面、例えばSi薄膜27を処理するように動作可能である。装置10の以下の動作はFLAに関して開示されるが、本発明の装置は、SLS、SiCアニーリング(例えばオーミックコンタクト)及びポリイミドLLO処理に従って、効果的に機能することができる。

【0041】

必要な光束及び露光持続時間に適合させるために膜の各位置を複数回照射するため、装置10は、それぞれが数ミリメートルに満たない幅を有する小さなワークピース及び数メートルに達する幅をそれぞれ有する大きなワークピースを処理可能である。要約すると、装置10は、所望の、好適には大型パネルの幅全体をそれぞれ効果的にカバーする個別の長いストリップ及び、必要であれば、大型パネルの所望の幅をカバーするために走査方向に重なることができる短いストリップの両方を、走査方向に形成するように動作可能である。

【0042】

図1の本発明の装置10は、いくつかの再構成可能なアセンブリーを含むモジュラー構造を有する。装置10は、レーザー光源アセンブリー24と、走査前アセンブリー22と、走査アセンブリー26と、走査後アセンブリー28と、ワークピース支持ステージ34と、を含む。走査後アセンブリー28は、典型的には特に、対物レンズアセンブリー30及び、図示された例では望遠鏡として構成される対物レンズ後光学ビーム整形器32を有して構成される。これらのサブアセンブリーのそれぞれは、以下に詳細に議論される。

【0043】

装置10の図示されたレイアウトは、本発明の概念を実行するために動作可能な多くのありうる構成全てのうち1つのみを表す。このように、装置10は、ステージに搭載され

10

20

30

40

50

たワークピース 27 を走査と交差する方向 (Cross-Scan Direction, CSD) 及び走査方向 (Scan Direction, SD) に変位させるように動作可能であるステージ 14 を支持する基部 12 を含む。基部 12 に結合された Π 形状の枠部 16 は、レーザー光源アセンブリー 22、対物レンズアセンブリー 30 及び対物レンズ後ビーム整形器 32 を含むうる走査後ビーム整形アセンブリー 28 を有するキャリッジ 18 を SD 方向に案内するステージ 15 を支持する。ステージ 15 は走査後アセンブリー 28 の上流に示されているが、その下流に位置させることもできる。

【0044】

動作時には、レーザーアセンブリー 22 からのレーザービームは、走査前の光経路に沿って伝搬するが、ビームパワー、偏光及びスポットビームの寸法を含む幾何形状を調整するように動作可能である走査前アセンブリー 24 で調整を受ける。図示された構成において、スキャナーに衝突するスポットビームは円形であるが、当業者であれば、任意のビーム形状が、装置 10 のフットプリント及び、所望のフットプリントを装置に対して提供する光学的構成に対して可能であることに容易に気づくであろう。走査方向 (SD) に回転する走査アセンブリー 26 に衝突すると、調整されたビームは、偏向されたサブビームのそれぞれが走査後ビーム整形アセンブリー 28 で処理される走査後の光経路に沿って偏向される複数のサブビームに分割される。走査後アセンブリー 28 は、スキャナーアセンブリーからの各サブビームを処理する光学的構成である。走査後アセンブリー 28 の構成に応じて、装置 10 は、所定の露光時間及び光束の間、変位可能なワークピース 27 の表面上に形成され、走査される CSD 方向におけるスポットビームの形状及び寸法に、最終的な調整を行う 1 つまたは複数の円筒形の対物レンズ後レンズを有しうる。

【0045】

特に図 1 の構成を参照すると、QCW ファイバーレーザー光源 22 は、例えば、ある名目上のパワーを有するパルスビームを出力する。走査前アセンブリー 24 は、ビームが、図 1 の多角形ミラー 26 などの所定のスキャナーの寸法に対応するようにすべて選択された正しい大きさ、形状および発散を有するようにビームを整形するように動作可能な光学方式を有して構成される。

【0046】

この方式において、具体的には、ビーム形状は円形である。走査前アセンブリー 24 はさらに、以下に議論されるように、一定のレーザー出力パワーを所望のレベルに調整するために使用されるパワー減衰器を有しうる。レーザービームを、各ファセットに対応する複数のサブビームに分割する多角形ミラーで偏向されると、サブビームは、F-シータレンズである走査後アセンブリー 28 の対物レンズ 30 を通って伝搬する。F-シータレンズは、走査軸におけるスポットビームの長さを調整するように構成される。例えば、スポットビームの長さが増加する場合、走査速度は所望の露光持続時間を得ることができるように増加されなければならない。図示された構造における対物レンズ後整形器 32 は、スポットの所望のアスペクト比を得ることができるように、CSD 方向においてスポットビームの幅を調整するための望遠鏡である。結果として、正しい寸法とされたスポットは、所定の速度及びパワーで、所定の走査長さに沿って掃引され、今度は、所望の露光時間及び光束を提供する。

【0047】

図 3 は、光束がストライプ 25 にわたって均一に分布されるように、所定の露光持続時間の間、走査方向において所望の形状および寸法とされたスポットビームを掃引する際に、長さ L_s 及び幅 W_s の単一のスポットビームによって形成される長さ S_{locan} を有する、得られたストライプ 25 を示す。

【0048】

図 6 を簡潔に参照すると、以下に、所望の値がどのようにして得られるかについてよりよい理解が提供されうる。単純化の目的のために、理想的なトップハットビーム強度プロファイルを有するビームが仮定されるが、ガウシアン及び超ガウシアンなどのその他のプロファイルも同じく可能である。スポットビームの長さが L_s であり、速度 V_{scan} で移

10

20

30

40

50

動する場合、露光持続時間は、

$$t_{exp} = L_s / V_{scan}$$

で決定される。上記の方程式は、必要な走査速度を与えるために次のように変形可能である。

$$V_{scan} = L_s / t_{exp}$$

【0049】

ターゲットレーザーパワーP及びスポットビーム幅 W_s について、強度Iは、

$$I = P / L_s W_s$$

である。任意の点における走査光束Hは、

$$H = I t_{exp} = P t_{exp} / L_s W_s$$

である。上記の式を組み合わせると、所望の光束H、露光時間 t_{exp} 、レーザーパワーP及びスポットビーム幅 W_s について、必要なスポットビームの長さ L_s 及び走査速度 V_{scan} は、

$$L_s = P t_{exp} / H W_s$$

$$V_{scan} = P / H W_s$$

である。例えば、

レーザーパワー=150W、

ラインビーム幅=5 μ m、

所望の露光持続時間=300ns、

所望の光束=0.7J/cm² (7000J/m²)、

必要なラインビームの長さ=1.3mm、

必要な走査速度=4300m/sである。

【0050】

本発明のゴールは、周知の方法及び、各周知の方法を実施するデバイスによって得られるものと同等である、ある表面処理用途における結果を得ることである。例えば、フラットパネルの製造において、かなり最近、ファイバーレーザーがエキシマーレーザーの結果と同等になり始めるまで、エキシマーレーザーは最も優れていた。これが意味することは、例えば、ターゲット上の露光持続時間及び光束などのELAのある処理パラメータが経験的に知られているということである。したがって、このような異なる構造的手法をとることは、全てが変更されることとなることを意味しない。反対に、両方とも周知の、300から450mJ/cm²にある光束及び100から500nsの露光持続時間は、本発明の装置及びそのサブアセンブリーが構築される2つの重要な要素である。したがって、周知のプロセスパラメータに基づく、上記の単純な計算を用いた走査長さ、走査速度、レーザーパワー及びその他のデバイスパラメータを含むがそれらに限定されない装置パラメータを決定することは容易である。装置パラメータが決定されると、各アセンブリー及びすべてのアセンブリーの様々な具体的な構造は、装置全体のフットプリント、効率及び、もちろんコストに関する所定のパラメータを得るように構成可能である。

【0051】

図4は、所望の熱反応、すなわち、均一なpSi結晶粒につながる所望の光束によって特徴づけられるSi膜のストライプ25を示している。形成されることとなるストライプ25に沿った各位置（1つのみが示されている）の照射に対する所望の熱反応は、スポットの幅 W_s の10倍を超える長さ L_m を有する三角形に溶融した領域で特徴づけられる。そのような反応が、（例えば適切なX線技術により）本発明のプロセスの間に確認されると、ストライプ25の領域にわたる所望の光束分布は、特定の露光持続時間にわたって達成されることとなる。溶融領域の長さとの間のこの関係は、まず理論的にモデル化され、次いで様々な実験によってサポートされた。

【0052】

図5は、それぞれ数mmを超えない短いラインビームを用いることによって、得られる最大1メートルを超える長さ L_{scan} の長いストライプを形成する本発明のプロセスを示す。一般に、同一平面上及び同一線上のそれぞれ第1及び第2（並びにそれに続く列）の

短いストライプ 25 が互いに重なるように、個別のラインビームの長さを超える長いストライプ 25 の形成は、まず、列 34₁ を形成し、次いで次の列 34₂ を形成することを含む。このプロセスは、所望のストライプの合計長さ L_{st} が、より正確には所望の領域が結晶化されるまで続く。

【0053】

列 34 はそれぞれ、SD 方向に延在する少なくとも 1 つの短いストライプ 25 が形成されるように、ステージ 15 を稼働させることによって形成される。究極的には、CSD 方向にワークピース 27 を変位させるステージ 14 を利用することによって、CSD 方向に所望の距離だけ互いにオフセットされた複数のストライプ 25 が、列 34 を画定するために設けられる。第 1 の列 34₁ が所望の長さ及び幅で形成されると、ステージ 14 は、ワークピース 25 を、SD 方向において連続するストライプ 25 の間の所望の重複に対応する距離だけ、SD 方向に変位する。処理は、第 2 の列が完了するまで、前の列の形成と同様に続けられる。ワークピースは X 方向及び Y 方向の両方に変位可能であるため、短いストライプを重ねることにより長いラインを形成する処理は、2D プロセスと呼ばれうる。SD 方向及び CSD 方向両方の間隔は、処理領域の各位置に複数のスポットビーム照射をもたらすように選択される。個別のストライプの長さが、それ 1 つで所望の領域をカバーするのに十分である場合、SD 方向における重複は必要ではなく、各個別の位置に入射するスポットビームの多重度は、CSD 方向の連続するストライプの間のオフセットによって画定される。

【0054】

図 7A から 7D は、例えば、CSD 方向における複数の積層された平行なストライプ 25 をそれぞれ含む、個別の列 34 の形成を示している。図示されるように、図 7A から 7D のそれぞれに示された隣接するストライプ 25 は、CSD 方向に異なる距離だけオフセットされる。これは、Si 薄膜を破壊する可能性がある表面温度の発現を防ぐために、熱処理されたいかなる表面も監視されるべきであるという事実によって説明可能である。これは、膜の位置それぞれの複数回の照射を伴う Si 薄膜について特に重要である。したがって、形成されたばかりのストライプ 25 の開始時に沿った温度が、例えばセンサーアセンブリー 36 によって推定されるように、所定の閾値に達するか、または近づくと、ストライプの形成は既に危険な温度を増大させる可能性があるため、後続のストライプはより大きな距離だけ間隔を開けられるべきである。特に図 7B を参照すると、隣接するストライプ 25₁ ~ 25₄ は、例えば 1 μm 、2 μm 及び / または 10 μm でありうるスポット幅 W_s の約 80 % をカバーする重複量に対応する小さい間隔だけ、間隔を開けられる。対照的に、図 7D の間隔は、前に形成されたストライプによって占められる膜の温度が危険なほど高いことを示す、スポット幅全体に対応する。

【0055】

保存された参照値及び、ある距離だけ離れた次のストライプの変位をシフトするステージ 14 への出力制御信号を比較すると、温度制御は、処理された Si 膜領域からの光学回折応答信号を測定することによって実現可能である。そのため、装置 10 は、正のフィードバックを実現する回折応答センサーアセンブリー 36 を有して構成される。

【0056】

FLA プロセスの場合であっても、連続するストライプが実際上非常に小さな重複を有するか、または重複を全く有さず、それでも満足すべき結果を生じる場合、そのような作動方式を得る可能性がある。しかし、典型的には、例えば、所定の位置において 20 回である、CSD 方向における照射及びその結果の重複の数の合計が、例えば 4 から 2 に変更されると、その位置が必要な 20 回の照射を受けるために、SD 方向における重複の数は 5 から 10 に増加されるべきである。換言すれば、両方向の間隔は変化するが、それらの製造全体は、所望の光束及び露光持続時間につながるように変化しないままである。

【0057】

図 8 を参照すると、SD 及び CSD 方向それぞれのスポットビーム 38 の所望の強度プロファイルが示されている。スポット幾何形状に沿ったこれらのプロファイルは、露光持

続時間及び光束の分布に対して重要である。例として、楕円スポットの走査軸に沿った強度プロファイルは純粋にガウシアンであり、その一方CSD方向における走査と交差する軸に沿ったプロファイルは、図示されるように超ガウシアンである。いくつかの例では、超ガウシアンのべき乗指数は2より大きい。明らかに、空間的プロファイルは、ガウシアン、超ガウシアン及びフラットトッププロファイルの間で制御可能に変更されうる。また、必要であれば、その他のプロファイルも、以下で説明されるようにいくつかのレーザー光源または光学系を採用することによって使用されうる。スポット幅は、任意の合理的なスポット／ストライプの長さ及び幅を形成するように構成可能である走査前及び走査後アセンブリーの光学的方式の結果である。

【0058】

ここで、装置10を較正するアセンブリーの説明に戻ると、レーザー光源アセンブリー22は、レーザー動作のCWモードと同等である、最大100%のデューティサイクルでそれぞれ動作する1つまたは複数のQCWファイバーレーザーを含む。処理される表面、すなわちSi膜が、CW放射と同じ熱反応を有し、その他全ての条件は同じであるように、100%未満の任意のデューティサイクルが選択される。100%未満のデューティサイクルを有するQCWファイバーレーザーは、好適には単一の周波数(Single Frequency, SF)で、偏光され、 $M^2 \leq 1.2$ で、 $3 \times x \text{ nm}$ 及び／または $5 \times x \text{ nm}$ の波長の実質的には回折限界ビームを出力する80から150 MHzの間の均一な高反復率で、パルスモードで動作する。パルス持続時間は、数十ナノ秒から数百ナノ秒まで変化する。レーザー光源22は、必要であればレーザービームが走査前経路に沿って伝搬するにつれて減衰される最適な一定の出力パワーで動作する。レーザービームの放出波長に応じて、そのパワーは、緑色光について約1 KW（平均パワー）及びIR光について数kWに達しうる。ここで利用されるパルス方式で動作するQCWファイバーレーザーの出力パワーは、そのデューティサイクルを操作することによって制御されうる。

【0059】

SF SLM光ビームが、典型的には $3 \times x$ から $5 \times x \text{ nm}$ の波長範囲に関連付けられたFLA及びSLSPプロセスに特に望ましい一方、その他の用途は、ビーム品質及びスペクトルに対するこのような厳しい制限を必要としない場合がありうることに注意すべきである。もちろん、この場合、レーザー光源22は、幅広いスペクトル線を有するマルチモードビームを出力するように構成されうる。まとめると、パワー、偏光及びビーム品質パラメータは、エキシマー及びバーストモードファイバーレーザーの支援によって得られるものと同じ結果を達成するように選択された、所定の光束及び露光持続時間などの所望のプロセスパラメータを維持するために決定的な役割を果たす装置パラメータの一部である。

【0060】

装置10の走査前アセンブリー24は、所与の走査アセンブリー26について適切な特性を有する出力レーザービームをもたらす光学ビーム調整器として機能する。ビーム調整は、スポットビームを、円筒形または好適には楕円などの、所望の幾何形状を有し、走査方向に延在する走査軸を有するスポットビームを整形することを含む。また、ビームの大きさ及び発散は、使用されるスキャナーによって課される幾何学的な制限に合致するように調節される。実際上は、当業者には周知のレンズの様々な組み合わせが、容易にこれらのタスクを実現させる。

【0061】

AODスキャナーの場合、これに入射するビームは、走査方向にコリメートされるべきであり、コリメーターの設置を必要とし、AODの開口部に対応するように適切なサイズとされるべきである。さらに、走査前アセンブリー14は、走査アセンブリーについては必要ではないが、走査軸及び走査と交差する軸のいずれか一方または両方におけるスポットビームの所望の強度プロファイルのためには必要であるホモジナイザーを含みうる。

【0062】

パワー減衰器も、走査前アセンブリーの一部である。減衰器の必要性は、ポンプ、すなわちダイオードレーザーの電流を変更することに応じてレーザーシステムの出力を安定さ

10

20

30

40

50

せることがいかに困難であるかを知ると、理解可能である。そのため、本装置では、レーザー出力パワーは、所定のレーザーに関して最適であるが、そのあとで、ワークピースの表面に入射するビームの一定の所定パワーレベルを維持するために連続的かつ制御可能に変化する。パワー減衰を実行する手段は、パワー調整とともに所望のビーム偏光をもたらす、様々に構成された偏光器及び偏光回転子を含む。パワー減衰の実際の使用は、処理される表面近傍のパワー監視及び、フィードバック回路に設けられた制御部によるパワーセンサーと偏光器との間のフィードバック回路を必要とする。

【0063】

まとめると、スキャナーの最適な動作をもたらすため、レーザーアセンブリー22からの出力ビームは、走査軸及び走査と交差する軸において所望のビームサイズを有するように調整される。ビームはまた、走査軸及び走査と交差する軸の両方において所望のビーム発散を有するようにも調整される。偏光方向は、任意選択的には、スキャナーの動作に関してそれほど必要ではない場合がありうるが、しかし、ほとんど所定の用途のプロセスについては望ましい場合がありうる。任意選択的に、ビームは、1つまたは両方の軸において、例えばガウシアンから超ガウシアンまたはトップハットへ変換される、ビームプロファイルの再アポディゼーションを受けうる。しかし、ビーム偏光及びアポディゼーションの両方は、QCWレーザー内に統合された光学系によって達成されうる。

【0064】

走査アセンブリー26は、調整されたビームを受け取り、ワークピース25に向かう走査後経路に沿って、所望の角速度及び角度範囲で変更する。スキャナーの構成は、多角形ミラー、AODまたはAOD及び多角形ミラーの組合せから選択される。もちろん、ガルバノメーターも同様に使用可能であるが、走査速度その他の不可避の制限に起因して、目標とする用途には有効となりえない場合がある。走査アセンブリー26が、km/秒に達する高速で制御された速度によって特徴づけられることは必須である。また、走査アセンブリーは、90%を超過する高いレーザーデューティサイクルを利用することも好適である。制御及びフィードバック回路を利用してその場でなされうる走査速度の制御された変更は、ターゲット上の露光持続時間及び光束分布などの所定の処理パラメータの維持を可能にする。

【0065】

図9を参照すると、1つの軸でビームを走査するのに使用される共通の方法は、1つ（モノゴン）または複数（例えば30超）の、ファセット42を有しうるが標準的には6から12のファセットを有しうる回転多角形ミラー40を利用する。ビームは、回転の平面（赤い矢印で示される）と一致しうるか、または回転の平面に対してある角度を有しうる。回転する多角形ミラーの既知の利点は、大きな走査角度範囲であり、これは、ファセットの数に反比例して容易に範囲が定められ、もちろん成熟した技術であることである。

【0066】

図10を参照すると、多角形ミラー40のファセット42は、回転平面に対して直交するファセットポインティング誤差を生じやすい。特定の実施例の許容幅に応じて、ファセット修正を実施することが必要でありうる。本明細書で使用される高い回転周波数では、ファセットごとの短い滞留時間が、光-機械的ポインティング修正を阻む。この場合、AODの実施は、必要な光学的非効率性（典型的には80%未満）で必要となりうる。

【0067】

ファセット42の異なる角度位置は、動かないワークピースの表面上で互いに完全に一致しないストライプとなり、これは光束分布の望ましくない変動及び同時にSi膜の望ましくない結晶化につながる。

【0068】

ポインティング誤差修正は、多角形ミラー40の上流にAOD44を実装することによって実現される。AODの動作原理は周知である。そのRFドライバー46は、周波数変調入力及び強度変調入力を有する。周波数に応じて、ビームは、図11に示されるように走査と交差する方向CSDにおいてファセットから偏向される。したがって、全てのファ

10

20

30

40

50

セットについて固定された周波数を使用すると、「第1の」ファセットとは異なる角度で傾けられたこれらのファセットは、走査と交差する方向において初期ストライプからオフセットされたストライプを作り出すこととなる。このオフセットを補償するために、「欠陥のある」ファセットから偏向された各サブビームの発散角度は、全てのストライプのオフセットが2から10%の範囲内にあるように、利用可能な周波数帯域から周波数を制御可能に調整することによって変動される。

【0069】

ワークピース25の表面に入射するサブビームのパワーが、例えばファセット間で変化する表面反射率の結果として、均一に減衰されない可能性は常にある。フィードバック回路を介した強度の変調によって、反射率は、リアルタイムで各ファセットについて所望のレベルに調整される。

【0070】

多角形ミラー40が回転すると、隣接するファセット42の間の境界に入射する光は空費される。AOD44は、高い周波数においてオン／オフモードで動作する理想的なスイッチである。したがって、ビームが境界に衝突すると予測されると、AOD44はオフに切り替えられ、次いで次のファセットがビームを偏向させる位置に来るとオンに戻される。スイッチとして、AOD42は別の機能を実行するようにも動作可能である。全ての多角形ミラーは、特定のストライプの長さのために設計されたファセットを有する。何らかの理由により所望のライン長さがファセットの長さに対してあらかじめ設計されたよりも短い場合、AODはストライプの設計された長さの走査が完了する前にオフに切り替えられる。

【0071】

いくつかの表面、特に大きいものは、走査される長いラインについて合焦し続けるには十分に平坦でない場合がありうる。この場合、ラインの長さに沿って準リアルタイムで焦点補償技術を実装することが必要である。例えば、用途は、 $\pm 5 \mu\text{m}$ 以下の許容可能な焦点深度を有しうる。高精度のパネルであっても、典型的には、走査される十分長いライン（例えば最大1メートル）に関して許容可能な平坦度を超過する厚さ変化を有する。センサのアレイは、ラインの長さに沿った表面高さを測定するために配置される。センサの間隔は、パネル表面の勾配誤差に関して適切な空間分解能を確保するのに十分である。

【0072】

図12は、焦点深度を制御するための概略を示す。長いストライプ（例えば300mmの長さ）についてより関連があるが、焦点深度を修正することは、所望の結晶化を得るためには不可欠である。例示的なストライプにおいて、 $10 \mu\text{m}$ の幅が最小の焦点深度を有し、走査と交差する方向に偏向するため、これを行うのに理想的なAODでの焦点制御を必要とする寸法である。そのため、AODは、周波数を調整することによって走査と交差する方向の回折におけるビームの発散を調整するために使用可能であり、これは変動する表面高さを補償するために、狭いスペクトル幅から広いスペクトル幅まで選択される。

【0073】

発散角を増大または減少させると、後続の焦点深度変動でビーム幅に変化を生じさせる。制御方式の概略は、好適には任意の時間ペナルティを最小化するためにCSD方向に延在する走査と交差する軸の前に配置された複数のセンサ50を含みうるが、これは必須ではない。方式はまた、中央処理ユニットを介して、AODの周波数入力に接続されたフィードバック回路を含む。

【0074】

図13は、AODを用いたビームの発散角を変化させるための手法を示す。単一の周波数を入力する代わりに、複数の周波数が、同時にAOD内に結合される。結果的に、AODからの複数の各周波数に対応する複数のビームは互いに対して発散する。以下に開示するように、この特徴は、CSD方向に所望の強度プロファイルを提供するために使用される。

【0075】

AODの使用は好適でありうるが、表面平坦度を補償するための排他的なデバイスではない。例えば、機械的ズームが、同じ目的のために使用されうる。走査速度が遅い場合、1つの光学素子（または複数の素子）を動かし、それによってビーム発散を修正するために、ボイスコイルまたは圧電アクチュエータなどの機械的デバイスを実装するのは合理的である。そのような方法によって達成可能な比較的遅いアクチュエーション速度のために、この手法は、低いレーザーパワー及び、長く幅広いラインについてのみ利用可能であり、この場合、走査速度は遅いがそれでも依然として $\text{km}/\text{秒}$ の範囲にあり、これは、 $\text{m}/\text{秒}$ の範囲で変動する走査と交差する方向の速度とは比べ物にならないほど高い。

【0076】

図14は、AOD以外の手段によって実現可能な焦点補償の概念を再考する。別の焦点補償方式は、変形可能な1つまたは複数の光学系を含む。1つまたは複数の変形可能な光学系は、焦点面がパネル表面を追跡するように、走査前経路に沿って配置されうる。好適な実施例は、1つまたは複数の変形可能なミラーを利用する。ミラーは、ラインビームの長さに沿った連続的に変動しうる曲率半径を有して、1次元方向に変形可能である。曲率半径は、結像平面の変動しうる高さを補償するためにミラーの長さに沿って変動しうる。

【0077】

スキャナーの構成は、走査後アセンブリー28の対応する概略に関連する。例えば、本発明の装置に単独に組み込まれるか、AODとともに組み合わせられるかにかかわらず、多角形ミラー40を使用することは、最大1メートルの長いストライプを形成するためのFシータレンズの利用を必然的に伴う。

【0078】

図15は、多角形ミラー40並びに、Fシータ対物レンズ54及び1つまたは複数の円筒形レンズなどの、ポストFシータアナモフィック光学系56を含む1つまたは複数の対物レンズを有して構成された走査後アセンブリーを含む、光学方式を示す。Fシータ54は、スポットビームの走査軸の寸法を制御し、一方、1つの円筒形レンズまたは円筒形レンズの組合せを含みうる光学系56は、スポットビームの走査と交差する軸の寸法を制御する。典型的には、図示された方式は、長いストライプ25をアニーリングするのに有利である。走査と交差する軸のビーム強度プロファイルは、好適にはこの軸に沿った光束均一性を保持するフラットトップ形状を有する。確実にこの形状とするために、非球面円筒形が、同時に使用されうる。

【0079】

走査アセンブリーに戻ると、走査アセンブリーはただ1つのAODを含みうる。AODを1つ含むことの利点は、特に、(a) 高速掃引速度、(b) RF掃引が $4\mu\text{s}$ 以下で行われうること、(c) 多角形ミラーで得られるよりも高い、ターゲット上の走査速度、(d) 高速応答時間、(e) BDS不均一性／非線形性及びレーザーパワー変動を補償するための強度及び掃引速度の同時変調、並びに(f) 掃引内の変調を含む。

【0080】

図16は、走査ラインの長さに沿って線形RFドライバー周波数ランプ（図17）を有し、対応する速度プロファイルを有する、タンジェント（シータ）位置プロファイルの効果の例を示している。そのようなプロファイルは、結果的に、露光持続時間及び、ラインに沿った光束変動の両方となる。前述のようにAOD RFドライバーの変調強度を調整することによって導入された光束変動を補償することは可能であるが、露光持続時間の変動は補償されない。一定の速度を発生させること（一定の露光持続時間）は、図18に示されるように、RFドライバー周波数における非線形ランプの実装を必要とする。

【0081】

走査後アセンブリー28は、様々な機能を実行するように動作可能である。これは、スキャナーからの走査角及び速度を必要な値まで変化させ、スキャナーからのビームプロファイルを、任意選択的なマスク平面及び／または対物レンズマッチングのために最適化する。走査後アセンブリー28はまた、任意選択的なマスク平面及び対物レンズへの主光線角度を、スキャナー角度範囲全体にわたって変化させることも可能である。マスク／対物

10

20

30

40

50

平面は、いずれかの軸または両方の軸でアナモフィックFシート及び円筒形レンズなどの結像対物系を使用することによって、いずれかの軸または両方の軸でマスク平面におけるビームをクロッピングすることによって、並びに各軸について異なる対物平面を必要とするアナモフィック対物系を使用することによって、定義されうる。さらなるビーム偏光調整を提供することが必要となりうる場合もある。また、ビームプロファイルの再アポディゼーションが、走査と交差する軸において実装されうる。

【0082】

図19、20、21A及び21Bは、AOD44と組み合わせて使用され、走査角度

【0083】

【数1】

$$\theta$$

【0084】

を画定する、AODに衝突する際の直径Dのビームの長さ及び幅を調整するように動作する、走査後アセンブリー28の動作を示す。走査後アセンブリー28は、円筒形もしくは球面Fシートレンズ56または焦点距離Fを有するレンズの組合せを含む。スポットは、この場合には処理される平面である結像平面に形成される。スポットの長さは積入／ $\pi * F / 2D$ であり、 λ はレーザービームの波長である。ストライプの長さ L_{scan} は

【0085】

【数2】

$$2F * \tan \theta$$

【0086】

で決定され、これは、焦点距離が長いほど、ストライプの長さ L_{scan} が長くなることを意味する。まとめると、走査角度及び焦点距離Fは、ストライプの長さ L_{scan} を画定する。これに基づき、ストライプの長さ L_{scan} が、焦点距離Fの増加に応じて増加すると、走査速度は同じ（所定の）露光持続時間を維持するように増加されるべきである。そのため、レーザーの出力パワーは、走査速度の増加とともに、所定の光束を得られるように増加されるべきである。全体として、レーザーパワーが増加されると、より長いラインを得るために焦点距離を増加させることが可能である。しかし、焦点距離の増加は、明らかに、装置全体のより大きなフットプリントを必要とする。装置のフットプリントを、長いストライプを形成しつつ抑制するために、2つの異なるレイアウトが使用可能である。1つはマスクMPの使用である。別の方法は、図21Bに示されるように、走査軸におけるスポット長さを調整するためのFシートレンズとして動作するレンズ56を使用すること、及び走査と交差する軸におけるスポット幅を調整するための1つまたは複数の円筒形レンズ58を使用することである。

【0087】

図21Aは、発散レンズ及び集束レンズの組合せを含む走査後アセンブリー28の例示的な概略を示す。AOD44は、走査軸／方向においてコリメートされたビームを受け取り、これを角度 θ だけ、ビーム直径Dを有して偏向させる。次いで、偏向したビームは、走査方向におけるスポットビームの所望の寸法を得るために、上流側の発散レンズ48に、そしてさらに2つの集束レンズ50、52に入射する。走査後アセンブリー28の図示された構成は、AOD44が対物レンズから数メートル離れて配置され、スポットサイズを制御しながらほぼテレセントリックな多要素ガリレオ望遠鏡またはケプラー望遠鏡が使用される場合、ステッチングなしで十分に長いラインを形成することができる。この方式における長いラインはそれぞれ、10から15mmに達しうる。レーザーパワーを増大

10

20

30

40

50

すれば、より長いストライプも形成可能である。

【0088】

図22を参照すると、コリメートされたビームは、約 2.5 mrad の走査角を有するAOD44に衝突する。光は、走査軸を対物平面の所望の値に拡大する走査後光学アセンブリ28を通して伝搬する。最終的に、円筒形の結像レンズ60が、スポットの走査と交差する軸を拡大する。

【0089】

対物レンズ型と走査ライン集束型とのいくつかの可能な組み合わせが存在し、各組み合わせは、所望のスポットアスペクト比を得るために異なる用途で互換性を有する。全ての組合せは、以下にまとめられるように使用されうる。

【0090】

【表1】

対物系	走査 (ライン) 軸	細い、走査と交差する軸	用途
球面Fシート	ウェストフォーカス	ウェストフォーカス	FLA的 (大きなスポット)
アナモフィックFシート	ウェストフォーカス	Fシート後再集束	FLA的 (大きなスポット)
球面結像	結像フォーカス	結像フォーカス	SLSまたはFLA的 (細いライン) SiCアニーリング/LL O
アナモフィック結像	結像フォーカス	結像フォーカス	SLSまたはFLA的 (細いライン) SiCアニーリング/LL O
円筒形結像	ウェストフォーカス	結像フォーカス	SLSまたはFLA的 (細いライン) SiCアニーリング/LL O

【0091】

図23及び24は、球面对物レンズの種類をそれぞれ示しており、図23のウェストフォーカスにおける無限共役比を有する球面Fシート、図24に示されるような結像平面における有限縮小を有する球面結像レンズを示している。

【0092】

図23のFシートレンズは、多角形型スキャナーとは最も互換性があるが、テレセントリック性が不要でない場合には、容易に長いラインを生成できる一方、AODと共に使用可能である。スポットビームの大きさは、走査前光学系及び、スキャナーによって画定された発散によって適用されるレーザービームの大きさとともに直接変化する。図24の球面結像レンズは、固定された縮小率によって特徴づけられるが、長く細いラインビームとは互換性がない。スポットビームの大きさは、対物平面の照射に関して固定される。

【0093】

図25から27は、走査軸及び走査と交差する軸のそれぞれにおいて、異なる焦点距離及び／または集束モードを提供する、各種類のアナモフィックレンズを示している。1つの軸が、対物レンズパワーを有さない、すなわち純粋に円筒形対物系でありうる可能性がある。

【0094】

図25は、アナモフィックFシート、無限共役比（ウェストフォーカス）を示している

。この構成は、走査軸及び走査と交差する軸の両方を処理するが、異なる焦点距離を有する。図26は、走査軸において無限共役比、走査と交差する軸において結像フォーカスの円筒形結像レンズを示している。図27は、短い軸及び長い／走査軸の両方で結像するように動作可能であるが、異なる縮小因子を有するアナモフィック結像レンズを示している。
【0095】

図28から31を参照すると、AODは、複数の周波数を導入することによって、走査と交差する軸のビームプロファイルを整形するために使用されうる。知られているように、AOD内に発せられた単一のRF周波数で、回折ビームは複製されたコリメート入射ビーム（図28A）であり、図28Bに示された走査と交差する軸におけるビーム形状を有する。回折ビームの発散を調整するために、図29Aに示されるように複数の周波数をAOD内に発することが可能であり、レーザーが光を出力する持続時間の間、一定を維持する。これは、図29Bに示されるように、発せられた f_1 、 $\dots$ f_n の周波数に従う、ビーム拡張という結果になる。

【0096】

図30Aから30Cは、図29A及びBの本発明の概念を示す。AOD44に同時に発せられた、それぞれ変動する強度または周波数スペクトルを有する複数のRF周波数に応じて、ビームは回折走査交差平面において拡張し、または発散を増加させることとなる。図30Aは、遠く離れた各周波数における2つのビームを示している。図30Bは、図30Aよりも互いに近い距離に離隔された各周波数を有する、AOD44から出力された3つのビームを示している。図31は、一対の隣接するビームが離隔し、その一方別の対のビームが実際上互いに重なるように選択された4-RF周波数入力を示している。まとめると、周波数強度は、ガウシアン分布を維持し、またはこれを、周波数が特に適合した強度を有して選択される場合、超ガウシアンまたは、好適にはフラットトップ分布などの任意の所望の形状に変化させるように調整可能である。

【0097】

図32において、走査軸における分布プロファイルも調整可能である。標準的なELAアニーリングプロセスは、典型的なエキシマーレーザービーム強度時間プロファイル、すなわち短い持続時間、高強度スパイク及びそのあとにより長い持続時間、より低い強度テールを有する使用に最適化された。この時間プロファイルは、最初のスパイクがSi膜の溶融を引き起こすことを可能にし、その一方テール部分は、溶融した膜の制御された冷却及び結晶化を可能にする。典型的なファイバーレーザービームはガウシアンプロファイルを有するため、本発明の走査方法は、等価なガウシアン時間プロファイルを得る結果となる。SLS及びFLA結晶化はともに、このガウシアン時間プロファイルで達成可能である一方、エキシマーレーザーと類似する時間プロファイルを実施することも好適でありうる。

【0098】

そのような時間プロファイルを達成するための1つの方法は、ビーム間の空間オフセット並びに、個別のビームの寸法及びパワーが、最適なアニーリングプロセスのために調整されうる時間プロファイルを作り出すように、2つまたはそれ以上の別個のガウシアンビームを重複させることである。ビームは、複数のレーザーによって、単一のレーザーのビームを分割することによって、または分割したビームを有する複数のレーザーによって生成されうる。図32に示された例は、異なる寸法及びピークパワーを有する2つのガウシアンビームの組合せについての空間／時間プロファイルを示す。

【0099】

当業者であれば、通常の実験のみを使用して、本明細書に記載された本発明の特定の実施形態の多くの等価物を認識し、または確認することができるであろう。開示された方式は、任意の光結像システムで使用可能であるが、ここで開示された構造についての動機は本明細書にある。したがって、前述の実施形態は例としてのみ提示されるにすぎず、添付した特許請求の範囲及びその等価物の範囲内で、本発明は、具体的に説明されたもの以外でも実施されるであろうことは理解されるべきである。本開示は、本明細書で説明された

各個別の特徴、システム、材料及び／または方法に関する。さらに、そのような特徴、システム、材料及び／または方法の2つまたはそれ以上の任意の組合せは、そのような特徴、システム、材料及び／または方法が互いに矛盾しなければ、本発明の範囲内に含まれる。

【符号の説明】

【0100】

10	装置	
12	基部	
14	ステージ	
15	ステージ	
16	枠部	10
18	キャリッジ	
22	走査前アセンブリー	
24	レーザー光源アセンブリー	
25	ストライプ	
26	走査アセンブリー、多角形ミラー	
27	ワークピース	
28	走査後アセンブリー	
30	対物レンズアセンブリー	
32	対物レンズ後ビーム整形器	
34	ワークピース支持ステージ	20
40	多角形ミラー	
42	ファセット	
44	AOD	
46	RFドライバー	
50、52	集束レンズ	
54	Fシータ対物レンズ	
56	ポストFシータアナモフィック光学系	
60	結像レンズ	

30

40

50

【図面】
【図 1】

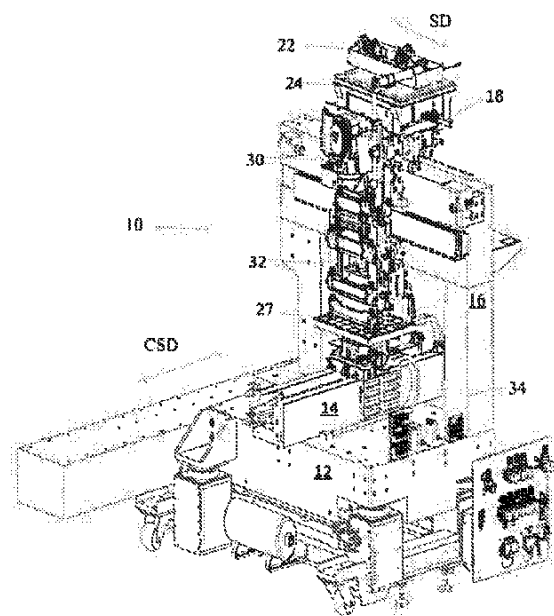
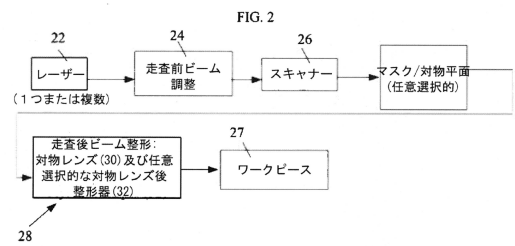


FIG. 1

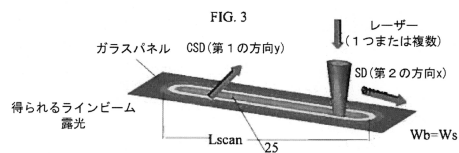
【図 2】



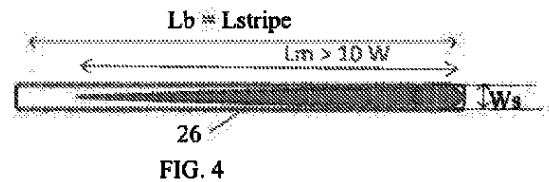
10

20

【図 3】



【図 4】

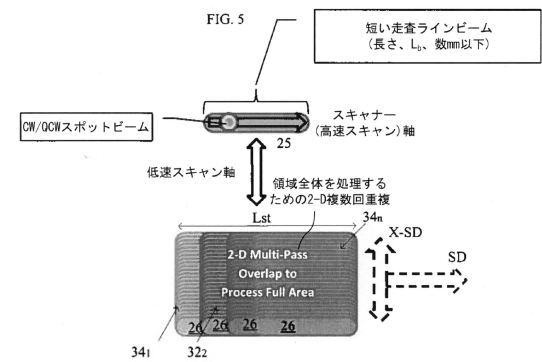


30

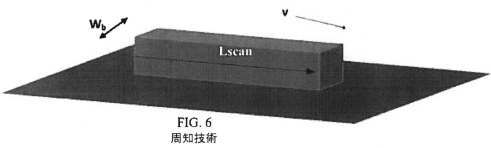
40

50

【図 5】

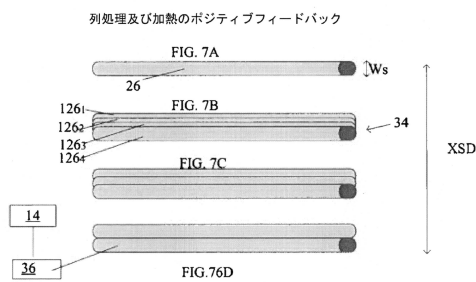


【図 6】

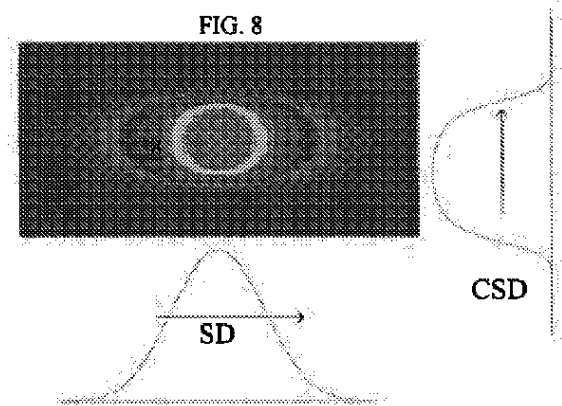


10

【図 7】



【図 8】



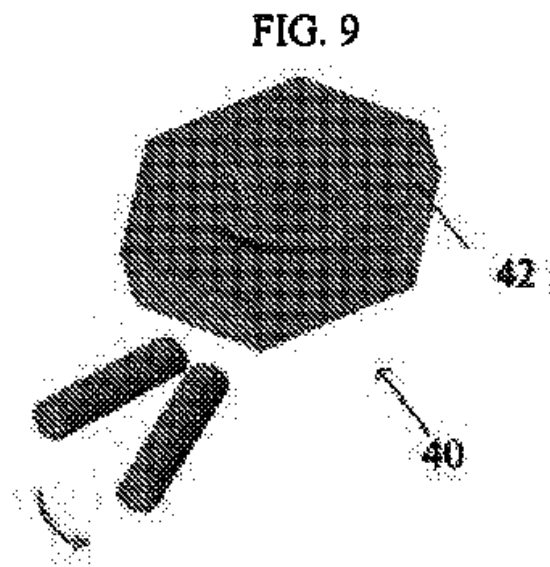
20

30

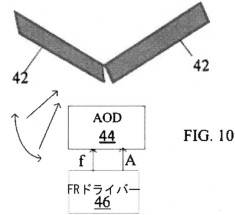
40

50

【図 9】

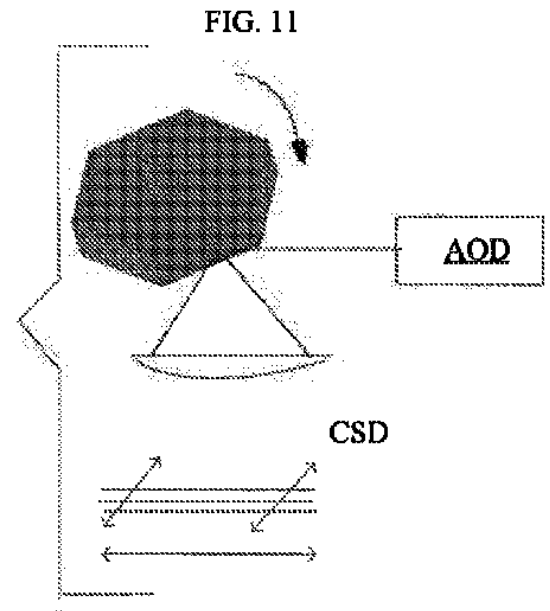


【図 10】

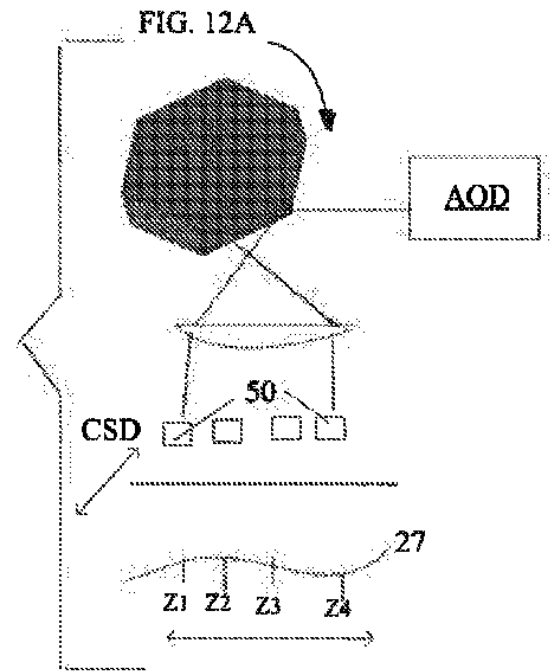


10

【図 11】



【図 12 A】



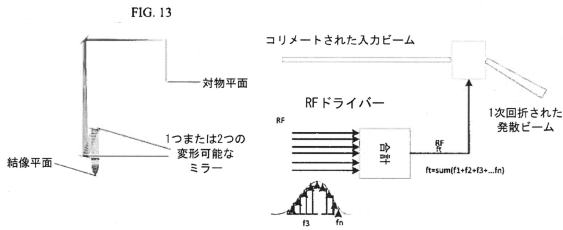
20

30

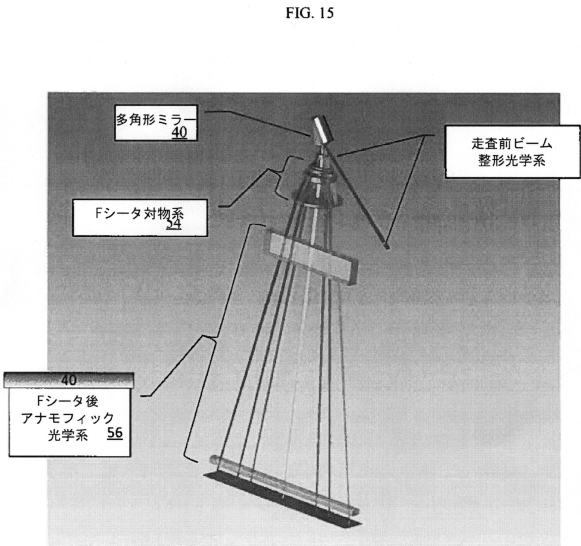
40

50

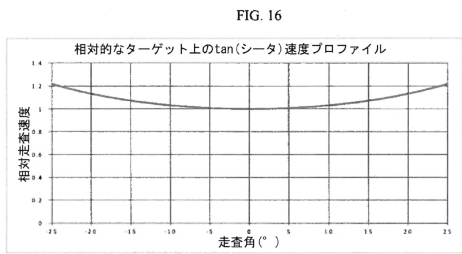
【図 13】



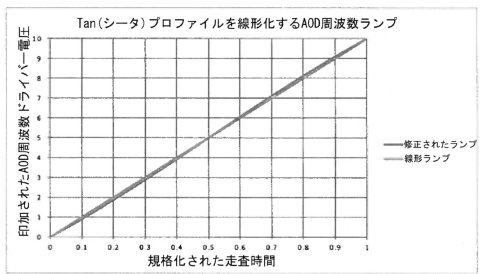
【図 15】



【図 16】



【図 17】



10

20

30

40

50

【図 18】

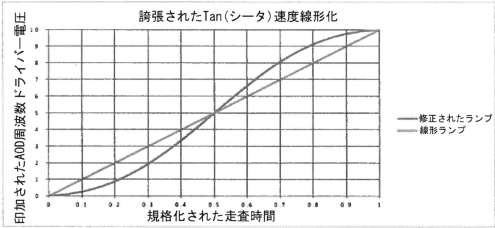


FIG. 18

【図 19】

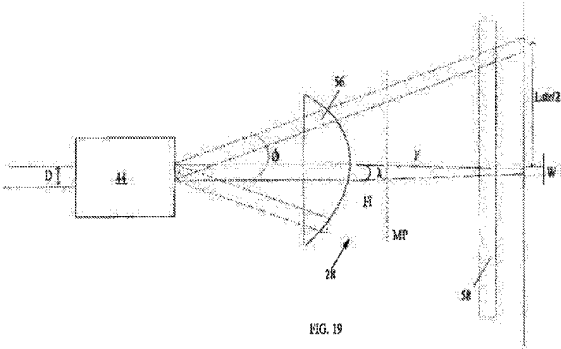
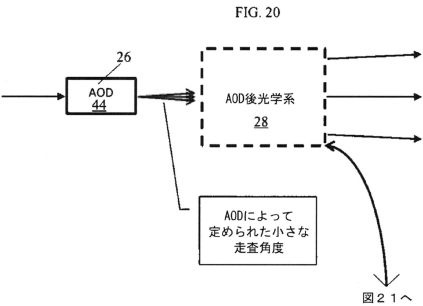


FIG. 19

10

【図 20】



【図 21】

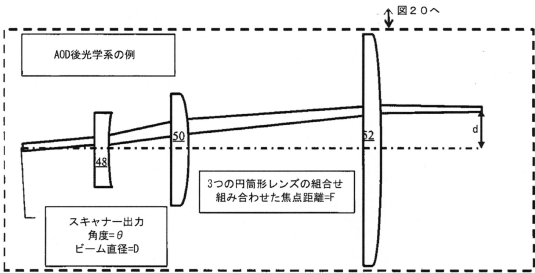


FIG. 21

20

30

40

50

【図 2 1 - 2】

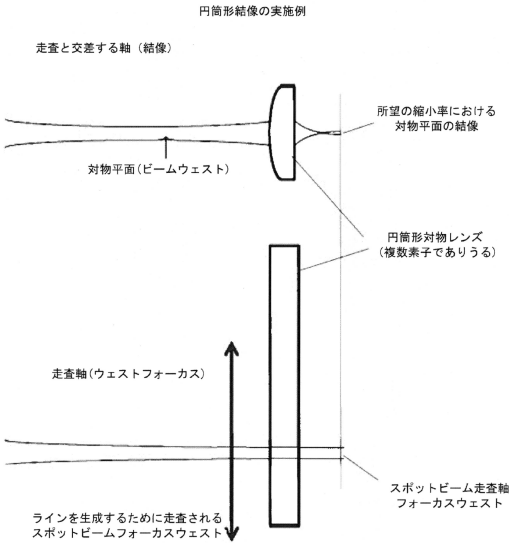


FIG. 21

【図 2 2】

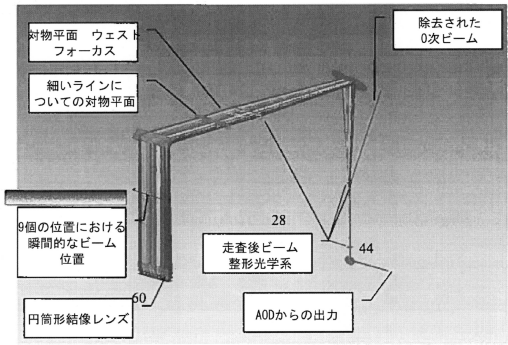
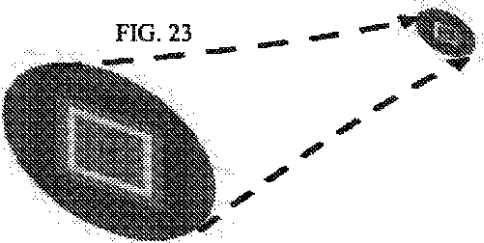
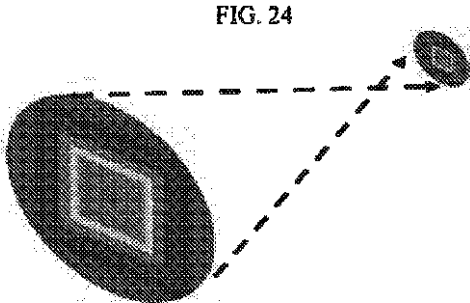


FIG. 22

【図 2 3】



【図 2 4】



【図 25】

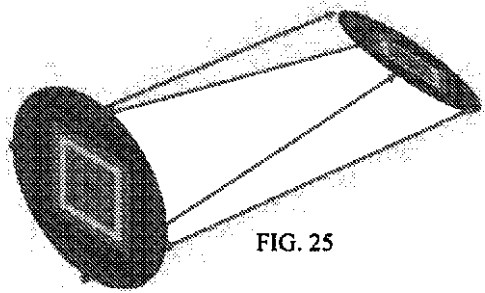


FIG. 25

【図 26】

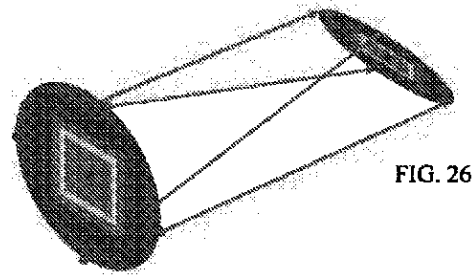
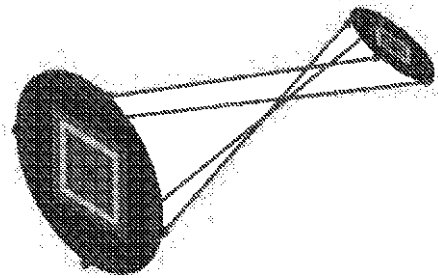


FIG. 26

10

【図 27】



【図 28 A】



FIG. 28A
周知技術

20

【図 28 B】

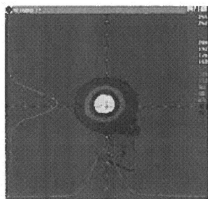


FIG. 28B
周知技術

【図 29 A】

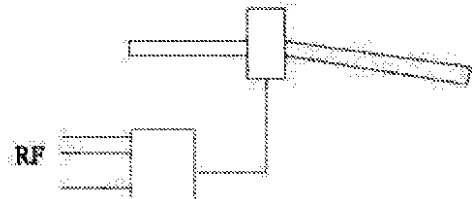


FIG. 29A

30

40

50

【図 29 B A】

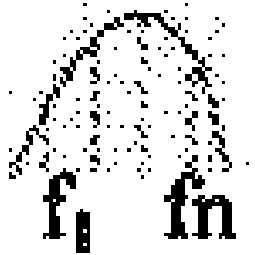


FIG. 29BA

【図 30 A】

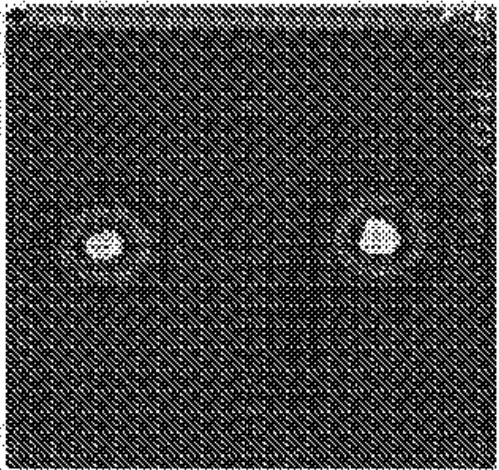


FIG. 30A

【図 30 B】

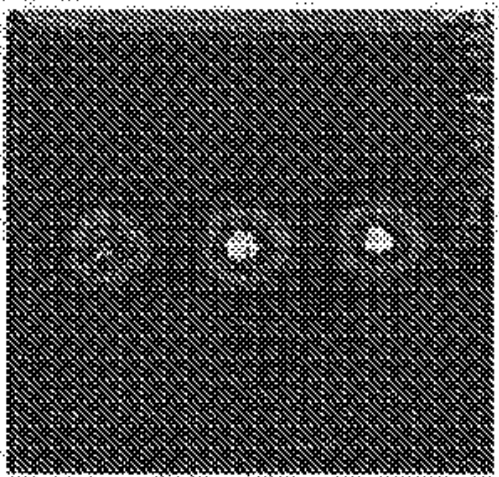


FIG. 30B

【図 31】

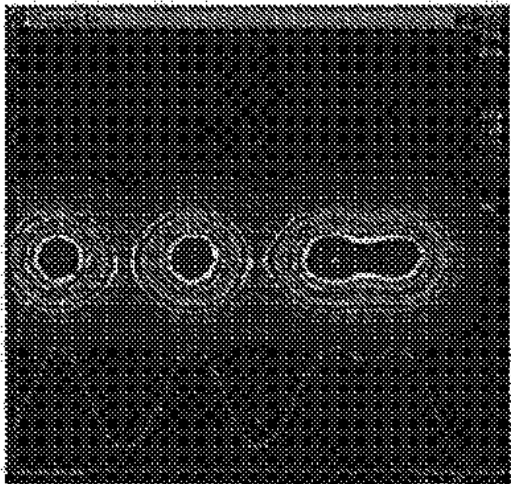


FIG. 31

10

20

30

40

50

【図 32】

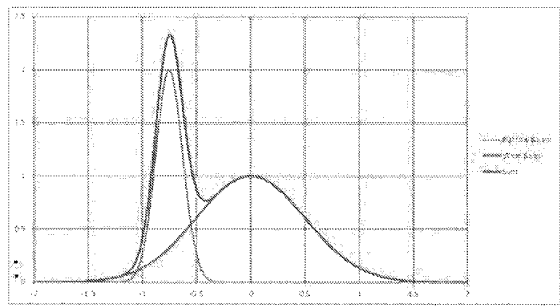


FIG. 32

10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

G 0 2 F 1/33 (2006.01)

F I

H 0 1 L	21/268	F
H 0 1 L	21/268	G
H 0 1 L	21/268	T
G 0 2 F	1/33	

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

・ウェブスター・ロード・50・アイピージー・フォトニクス・コーポレーション内

(72)発明者 マイケル・ヴォン・ダデルツェン

アメリカ合衆国・マサチューセッツ・01540・オックスフォード・オールド・ウェブスター・ロード・50・アイピージー・フォトニクス・コーポレーション内

(72)発明者 ジェームズ・コーディングリー

アメリカ合衆国・マサチューセッツ・01540・オックスフォード・オールド・ウェブスター・ロード・50・アイピージー・フォトニクス・コーポレーション内

(72)発明者 ジョシュア・ショエンリー

アメリカ合衆国・マサチューセッツ・01540・オックスフォード・オールド・ウェブスター・ロード・50・アイピージー・フォトニクス・コーポレーション内

審査官 早川 朋一

(56)参考文献 米国特許出願公開第2016/0013057 (US, A1)

特開2005-333117 (JP, A)

特開2006-134986 (JP, A)

国際公開第2017/120584 (WO, A1)

国際公開第2017/004280 (WO, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H 0 1 L 21/268

H 0 1 L 21/20

B 2 3 K 26/06-26/073

G 0 2 F 1/33