

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7523960号
(P7523960)

(45)発行日 令和6年7月29日(2024.7.29)

(24)登録日 令和6年7月19日(2024.7.19)

(51)国際特許分類 F I
H 0 1 L 21/268 (2006.01) H 0 1 L 21/268 J
H 0 1 L 21/265 (2006.01) H 0 1 L 21/265 6 0 2 C

請求項の数 4 (全11頁)

(21)出願番号	特願2020-104998(P2020-104998)	(73)特許権者	000002107 住友重機械工業株式会社 東京都品川区大崎二丁目1番1号
(22)出願日	令和2年6月18日(2020.6.18)	(74)代理人	100105887 弁理士 来山 幹雄
(65)公開番号	特開2021-197521(P2021-197521 A)	(72)発明者	岡田 康弘 神奈川県横須賀市夏島町19番地 住友 重機械工業株式会社 横須賀製造所内
(43)公開日	令和3年12月27日(2021.12.27)	(72)発明者	萬 雅史 神奈川県横須賀市夏島町19番地 住友 重機械工業株式会社 横須賀製造所内
審査請求日	令和5年3月15日(2023.3.15)	審査官	はま 中 信行

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 レーザ処理方法、レーザ処理装置の制御装置、及びレーザ処理装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

対象物の表面において一方向に長い形状のビームスポットが形成され、長手方向の中央から端部に向かって強度が増加する強度分布を持つ条件で、前記対象物の表面にレーザビームを入射させ、

前記対象物に対してビームスポットを、ビームスポットの幅方向に移動させるとともに、前記対象物に対するビームスポットの移動速度に応じて、ビームスポットの強度分布の形状を変化させるレーザ処理方法。

【請求項2】

対象物の表面において一方向に長い形状を持つビームスポットを形成し、前記対象物に対してビームスポットを移動させるレーザ処理装置を制御する制御装置であって、

レーザ処理条件が入力される入力部と、

前記入力部から入力された前記レーザ処理条件に基づいて前記レーザ処理装置を制御する制御部とを有し、

前記レーザ処理条件として前記対象物に対するビームスポットの移動速度が与えられると、前記制御部は前記レーザ処理装置を制御して、ビームスポットの長手方向の中央から端部に向かって強度が増加する強度分布を生じさせ、長手方向の中央における強度に対する端部における強度の比を、ビームスポットの移動速度に応じた値に設定する制御装置。

【請求項3】

前記レーザー処理装置は、ビームエキスパンダと、前記ビームエキスパンダを通過したレーザービームが入射する回折光学素子とを含み、

前記制御部は、前記ビームエキスパンダを制御して前記回折光学素子への入射位置におけるビーム径を変化させることにより、ビームスポットの長手方向の中央から端部に向かって強度が増加する強度分布の形状を変化させる請求項 2 に記載の制御装置。

【請求項 4】

レーザービームのビーム径を変化させるビームエキスパンダと、

前記ビームエキスパンダを通過したレーザービームが入射し、対象物の表面において一方に長い形状を持つビームスポットを形成する回折光学素子とを有し、

前記ビームエキスパンダは、前記回折光学素子への入射位置におけるビーム径を変化させ、

前記回折光学素子は、入射位置におけるレーザービームのビーム径が規定の大きさから大きくなると、ビームスポットの長手方向の中央から端部に向かって強度が増加する強度分布を生じさせ、入射位置におけるレーザービームのビーム径が大きくなるにしたがって、長手方向の中央の強度に対する端部の強度の比が大きくなる特性を有するレーザー処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザー処理方法、レーザー処理装置の制御装置、及びレーザー処理装置に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体ウエハにイオン注入したドーパントの活性化アニールにレーザーアニールが使用される。多くのレーザーアニール装置では、アニール用のレーザービームとしてラインビームが用いられる（特許文献 1 等参照。）。ラインビームとは、アニール対象の半導体ウエハの表面におけるビームスポットが一方に長い長尺形状（ライン状）であるレーザービームを意味する。半導体ウエハの表面上でビームスポットを、その長手方向と直交する幅方向に移動させることにより、半導体ウエハの所望の領域のアニールが行われる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2011-119297 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従来のレーザーアニール装置を用いてアニールを行うと、ビームスポットの長手方向に関してアニール効果にばらつきが生じる場合がある。例えば、半導体ウエハにイオン注入されたドーパントの活性化アニールを行うと、ビームスポットの長手方向に関して活性化率にばらつきが生じてしまう。

【0005】

本発明の目的は、長尺形状のビームスポットの長手方向に関してアニール効果のばらつきを抑制することができるレーザー処理方法、レーザー処理装置の制御装置、及びレーザー処理装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一観点によると、

対象物の表面において一方に長い形状のビームスポットが形成され、長手方向の中央から端部に向かって強度が増加する強度分布を持つ条件で、前記対象物の表面にレーザービームを入射させ、

前記対象物に対してビームスポットを、ビームスポットの幅方向に移動させるとともに、

10

20

30

40

50

前記対象物に対するビームスポットの移動速度に応じて、ビームスポットの強度分布の形状を変化させるレーザ処理方法が提供される。

【0007】

本発明の他の観点によると、

対象物の表面において一方向に長い形状を持つビームスポットを形成し、前記対象物に対してビームスポットを移動させるレーザ処理装置を制御する制御装置であって、

レーザ処理条件が入力される入力部と、

前記入力部から入力された前記レーザ処理条件に基づいて前記レーザ処理装置を制御する制御部と

を有し、

前記レーザ処理条件として前記対象物に対するビームスポットの移動速度が与えられると、前記制御部は前記レーザ処理装置を制御して、ビームスポットの長手方向の中央から端部に向かって強度が増加する強度分布を生じさせ、長手方向の中央における強度に対する端部における強度の比を、ビームスポットの移動速度に応じた値に設定する制御装置が提供される。

【0008】

本発明のさらに他の観点によると、

レーザビームのビーム径を変化させるビームエキスパンダと、

前記ビームエキスパンダを通過したレーザビームが入射し、対象物の表面において一方向に長い形状を持つビームスポットを形成する回折光学素子と

を有し、

前記ビームエキスパンダは、前記回折光学素子への入射位置におけるビーム径を変化させ、

前記回折光学素子は、入射位置におけるレーザビームのビーム径が規定の大きさから大きくなると、ビームスポットの長手方向の中央から端部に向かって強度が増加する強度分布を生じさせ、入射位置におけるレーザビームのビーム径が大きくなるにしたがって、長手方向の中央の強度に対する端部の強度の比が大きくなる特性を有するレーザ処理装置が提供される。

【発明の効果】

【0009】

ビームスポットの長手方向の強度分布を上述の分布にすることにより、長手方向に関してアニール効果のばらつきを抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】図1は、実施例による制御装置のブロック図、及び制御装置が制御する対象であるレーザ処理装置の概略斜視図である。

【図2】図2は、半導体ウエハの表面におけるビームスポットの移動の履歴を示す模式図である。

【図3】図3A～図3Cは、回折光学素子と、回折光学素子に入射するレーザビームとの位置関係を示す概略斜視図であり、図3Dは、ビーム径が D_1 、 D_2 、 D_3 のレーザビームが回折光学素子に入射するときのビームスポットの長手方向の強度分布を示すグラフである。

【図4】図4A及び図4Bは、ビームスポットの強度分布、及び半導体ウエハの表面の最高到達温度の分布を示すグラフである。

【図5】図5は、半導体ウエハの表面の最高到達温度の分布を、ビームスポットの移動速度ごとに示すグラフである。

【図6】図6は、ビームスポットの移動速度、回折光学素子に入射するレーザビームのビーム径、及びビームスポットの長手方向の強度分布の関係を示すグラフである。

【図7】図7は、実施例によるレーザアニール方法の手順を示すフローチャートである。

【図8】図8A及び図8Bは、ビームスポットの2回の主走査によってアニールされる領

10

20

30

40

50

域を模式的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

図1～図8Bを参照して、一実施例によるレーザ処理装置及びレーザ処理方法について説明する。

【0012】

図1は、実施例による制御装置55のブロック図、及び制御装置55が制御する対象であるレーザ処理装置60の概略斜視図である。

【0013】

まず、レーザ処理装置60の構成について説明する。レーザ光源10がパルスレーザビームを出力する。レーザ光源10として、固体レーザ、ガスレーザ、レーザダイオード等を用いることができる。レーザ光源10から出力されたパルスレーザビームがビームエキスパンダ11、折り返しミラー13、14、15、及び回折光学素子16を経由してアニール対象物である半導体ウエハ20の表面に入射する。

10

【0014】

半導体ウエハ20は、移動機構17に支持されたウエハチャック18に保持されている。移動機構17は、水平面内の二方向にウエハチャック18を移動させることにより、半導体ウエハ20を二方向に移動させる。移動機構17として、例えばXYステージが用いられる。

【0015】

ビームエキスパンダ11は、回折光学素子16へのレーザビームの入射位置におけるビームサイズ(ビーム断面の直径)を調整する。回折光学素子16は、半導体ウエハ20の表面に、一方向に長い長尺形状の外形、及び所定の強度分布を有するビームスポットを形成する。

20

【0016】

次に、制御装置55について説明する。制御装置55は、制御部50及び入力部51を含む。ユーザが、入力部51からレーザ処理条件を入力する。制御部50は、入力されたレーザ処理条件に基づいて、レーザ光源10、ビームエキスパンダ11、及び移動機構17を制御する。例えば、制御部50は、半導体ウエハ20にパルスレーザビームを入射させながら、ビームスポットの幅方向に半導体ウエハ20を移動させる。これにより、半導体ウエハ20の表面に対してビームスポットが幅方向に相対的に移動する。入力部51からユーザが入力するレーザ処理条件には、例えばパルスレーザビームのパルスの繰り返し周波数、レーザパワー、ビームスポットの移動速度等が含まれる。

30

【0017】

半導体ウエハ20に対してビームスポットを、その幅方向に相対的に移動させる処理を主走査といい、長手方向に相対的に移動させる処理を副走査ということとする。主走査と副走査とを繰り返すことにより半導体ウエハ20の表面のほぼ全域をアニールすることができる。

【0018】

次に、図2を参照して、半導体ウエハ20の表面におけるビームスポットの移動について説明する。

40

【0019】

図2は、半導体ウエハ20(図1)の表面におけるビームスポット30の移動の履歴を示す模式図である。ビームスポット30の長手方向をy方向とし、幅方向をx方向とし、半導体ウエハ20の表面の法線方向をz方向とするxyz直交座標系を定義する。ビームスポット30の長手方向の寸法をLと表記し、幅方向の寸法をWと表記する。ビームスポット30をx方向に移動させる(主走査する)とき、連続する2ショットのビームスポット30が部分的に重なるように、ビームスポット30を移動させる。

【0020】

連続する2ショットのビームスポット30が重なる領域のx方向の寸法をW_{ov}と表記

50

する。 W_{ov}/W をオーバーラップ率 R という。

【 0 0 2 1 】

次に、図 3 A ~ 図 3 D を参照して、回折光学素子 1 6、入射するレーザービームのビーム径、及びビームスポット 3 0 (図 2) の長手方向の強度分布について説明する。

【 0 0 2 2 】

図 3 A ~ 図 3 C は、回折光学素子 1 6 と、回折光学素子 1 6 に入射するレーザービーム 3 1 との位置関係を示す概略斜視図である。回折光学素子 1 6 にレーザービーム 3 1 が入射する。レーザービーム 3 1 はガウシアンビームである。図 3 B は、回折光学素子 1 6 の設計仕様通りのレーザービーム 3 1 が入射する状態を示している。回折光学素子 1 6 の設計仕様では、レーザービームの波長、及び回折光学素子 1 6 へのレーザービームの入射位置におけるビーム径 D_2 が指定される。本明細書において、回折光学素子 1 6 へのレーザービームの入射位置におけるビーム径を、単に「ビーム径」という場合がある。

10

【 0 0 2 3 】

図 3 A は、設計仕様のビーム径 D_2 より小さなビーム径 D_1 のレーザービーム 3 1 が入射する状態を示している。図 3 C は、設計仕様のビーム径 D_2 より大きなビーム径 D_3 のレーザービーム 3 1 が入射する状態を示している。なお、図 3 A ~ 図 3 C のレーザービーム 3 1 の広がり角はすべて同一である。

【 0 0 2 4 】

図 3 D は、ビーム径が D_1 、 D_2 、 D_3 のレーザービームが回折光学素子 1 6 に入射するときのビームスポット 3 0 (図 2) の長手方向の強度分布を示すグラフである。横軸は、ビームスポット 3 0 の長手方向の位置を表し、縦軸は、強度を表す。図 3 D のグラフ中の破線 D_1 、細い実線 D_2 、及び太い実線 D_3 は、それぞれ回折光学素子 1 6 に入射するレーザービームのビーム径が D_1 (図 3 A)、 D_2 (図 3 B)、及び D_3 (図 3 C) の場合の強度分布を示す。ビーム径が設計仕様のビーム径 D_2 である場合、長手方向の強度分布がほぼ一定 (フラット) になるように回折光学素子 1 6 が設計されている。

20

【 0 0 2 5 】

ビーム径が設計仕様のビーム径 D_2 より小さい D_1 になると、長手方向の中央から端部に向かって強度が低くなる。逆に、ビーム径が設計仕様のビーム径 D_2 より大きい D_3 になると、長手方向の中央から端部に向かって強度が高くなる。このように、回折光学素子 1 6 に入射するレーザービームのビーム径を変化させると、半導体ウエハ 2 0 の表面におけるビームスポット 3 0 の長手方向の強度分布が変化する。本実施例で用いる回折光学素子 1 6 は、ビーム径が大きくなるにしたがって、長手方向の中央の強度に対する端部の強度の比が大きくなる特性を有する。

30

【 0 0 2 6 】

ビームスポット 3 0 の幅方向に関する強度分布は、例えばトップフラットである。

【 0 0 2 7 】

次に、図 4 A 及び図 4 B を参照して、半導体ウエハ 2 0 にパルスレーザービームを入射させてアニールを行うときのビームスポット 3 0 の長手方向の強度分布と、半導体ウエハ 2 0 の表面の最高到達温度との関係について説明する。パルスレーザービームの 1 つのレーザーパルスが入射している期間、表面温度が時間とともに上昇し、レーザーパルスが立ち下がると、表面温度が時間とともに低下する。最高到達温度は、レーザーパルスの立下り時点の表面の温度に相当する。

40

【 0 0 2 8 】

図 4 A 及び図 4 B は、ビームスポット 3 0 の長手方向の強度分布、及び半導体ウエハ 2 0 の表面の最高到達温度の分布を示すグラフである。図 4 A 及び図 4 B の各々の上側のグラフは、ビームスポット 3 0 の長手方向の強度分布を表し、下側のグラフは、半導体ウエハ 2 0 の表面の最高到達温度の分布を表す。

【 0 0 2 9 】

図 4 A に示すように、強度分布がフラットである場合、最高到達温度は、ビームスポット 3 0 の長手方向の中央から端部に向かって徐々に低下する。図 4 B に示すように、強度

50

が、中央から端部に向かって大きくなる条件の下で強度分布の形状を調整すると、最高到達温度の分布は、ビームスポット30の長手方向に関してほぼフラットになる。最高到達温度の分布の形状は、ビームスポット30の長手方向の強度分布に依存して変化する。ビームスポット30の長手方向に関するアニール効果を均一にするために、長手方向に関する最高到達温度の分布をフラットに近付けることが好ましい。

【0030】

次に、図5を参照してビームスポット30の移動速度と、半導体ウエハ20の表面の最高到達温度の分布との関係について説明する。

【0031】

図5は、半導体ウエハ20の表面の最高到達温度の分布を、ビームスポット30の移動速度ごとに示すグラフである。横軸は、ビームスポット30の長手方向の位置を表し、縦軸は、表面の最高到達温度を表す。グラフ中の実線及び破線は、それぞれビームスポット30の移動速度が v_1 及び v_2 のときの最高到達温度の分布を示す。ここで、移動速度 v_1 は移動速度 v_2 より速い。なお、ビームスポット30の長手方向の強度分布は、移動速度が v_1 の場合と v_2 の場合とで同一である。

10

【0032】

移動速度が v_1 のときに、強度分布がほぼフラットである場合、移動速度を v_1 より遅い v_2 にすると、最高到達温度は、ビームスポット30の長手方向の中央から両端に向かって低下する。移動速度が遅くなるにしたがって、中央の最高到達温度に対する両端の最高到達温度の低下量が大きくなる。

20

【0033】

図4A、図4B、及び図5に示したように、表面の最高到達温度の分布は、ビームスポット30の長手方向の強度分布、及びビームスポット30の移動速度に依存する。ビームスポット30の移動速度、及びビームスポット30の長手方向の強度分布を調整すると、最高到達温度の分布をフラットに近付けることができる。ビームスポット30の長手方向の強度分布は、図3Dに示したように、回折光学素子16に入射するレーザービームのビーム径に依存する。したがって、ビームスポット30の移動速度及びレーザービームのビーム径を調整すると、最高到達温度の分布をフラットに近付けることができる。

【0034】

次に、図6を参照して、ビームスポット30の移動速度、回折光学素子16に入射するレーザービームのビーム径、及びビームスポット30の長手方向の強度分布の関係について説明する。

30

【0035】

図6は、ビームスポット30の移動速度、回折光学素子16に入射するレーザービームのビーム径、及びビームスポット30の長手方向の強度分布の関係を示すグラフである。横軸はビームスポット30の移動速度を表し、縦軸は回折光学素子16に入射するレーザービームのビーム径を表す。グラフ中の実線は、ビームスポットの長手方向の強度分布がフラットになる条件を示している。実線より右上の領域では、図3Dの太い実線D₃で示したように、ビームスポットの両端の強度が中央の強度より高くなる。実線より左下の領域では、図3Dの破線D₁で示したように、ビームスポットの両端の強度が中央の強度より低くなる。

40

【0036】

次に、図7を参照して本実施例によるレーザーアニール方法について説明する。

図7は、実施例によるレーザーアニール方法の手順を示すフローチャートである。ユーザが入力部51(図1)からビームスポット30の移動速度を入力すると、制御部50(図1)が移動速度の入力値を取得する(ステップS1)。制御部50は、ビームスポット30の移動速度の入力値に応じてビームエキスパンダ11(図1)を制御することにより、回折光学素子16に入射するレーザービームのビーム径を調整する(ステップS2)。

【0037】

制御部50は、ビームエキスパンダ11を制御してビーム径を調整した後、レーザー光源

50

10及び移動機構17を制御してアニールを実行する(ステップS3)。

【0038】

次に、ビーム径を調整する方法について説明する。制御部50に、予めビームスポット30の長手方向の強度分布をフラットにするための移動速度とビーム径との関係(図6において実線で示した関係)が記憶されている。制御部50は、この関係と、移動速度の入力値とから、強度分布がフラットになるビーム径を求める。ビーム径が求まると、制御部50は、求められたビーム径を実現するように、ビームエキスパンダ11を制御する。

【0039】

次に、上記実施例の優れた効果について説明する。

上記実施例では、ビームスポット30の長手方向の中央から端部に向かって強度を増加させているため、強度分布がフラットである場合と比べて、半導体ウエハ20の表面の最高到達温度の分布を、ビームスポット30の長手方向に関してフラットに近付けることができる。これにより、アニール効果を均一に近付けることができる。ドーパントの活性化アニールを行う場合には、活性化率を均一に近付けることができる。

10

【0040】

また、ビームエキスパンダ11(図1)を制御してビーム径を変化させることにより、ビームスポット30の長手方向に関する強度分布の形状を容易に変化させることができる。例えば、上記実施例では、ビームスポット30の移動速度に応じてビーム径を調整することにより、ビームスポット30の強度分布の形状を変化させている。これにより、ビームスポット30の移動速度が異なる条件でアニールを行う場合にも、移動速度ごとに最高到達温度の分布をフラットに近付けることができる。

20

【0041】

次に、図8A及び図8Bを参照して、上記実施例の他の優れた効果について説明する。

図8A及び図8Bは、ビームスポット30の2回の主走査によってアニールされる領域を模式的に示す図である。x方向への1回の主走査によって領域41がアニールされ、y方向への副走査後の次の主走査によって領域42がアニールされる。図8A及び図8Bにおいて、領域41に右上がりのハッチングを付し、領域42に、領域41のハッチングより低密度の右下がりのハッチングを付している。

【0042】

図8Aに示した例では、ビームスポット30をy方向に副走査する距離が、ビームスポット30の長手方向の寸法Lとほぼ等しいが、寸法Lよりやや短い。これに対して図8Bに示した例では、ビームスポット30をy方向に副走査する距離が、ビームスポット30の長手方向の寸法Lの約2/3である。図8Aに示した例では、領域41と領域42との重なりはわずかである。図8Bに示した例では、領域41と領域42とが重なる領域のy方向の寸法が、長さLの約1/3である。

30

【0043】

ビームスポット30の長手方向の強度分布がフラットでない場合、y方向に関するアニール効果を均一にするために、図8Bに示したように領域41と領域42との重なりを大きくしなければならない。これに対して上記実施例では、ビームスポット30の長手方向の強度分布をほぼフラットにすることができるため、図8Aに示したように、領域41と領域42との重なりを小さくしても、y方向に関するアニール効果を均一にすることができる。

40

【0044】

このため、y方向に関するアニール効果の均一性を維持したまま、ビームスポット30を副走査する距離を長くすることができる。これにより、半導体ウエハ20をアニールする際のビームスポット30の主走査の回数を少なくすることができる。

【0045】

次に、上記実施例の変形例について説明する。

上記実施例では、ビームスポット30の整形及び強度分布の調整に回折光学素子を用いたが、その他のビーム整形光学系を用いてもよい。例えば、複数のシリンドリカルレンズ

50

を組み合わせたアレイレンズとコンデンサレンズとを用いてもよい。

【 0 0 4 6 】

上記実施例では、半導体ウエハ 2 0 にイオン注入したドーパントの活性化を行っているが、上記実施例によるレーザー処理装置は、活性化アニール以外のレーザー処理に適用することも可能である。例えば、基板上に形成した半導体薄膜を結晶化させるためのアニールに適用することも可能である。

【 0 0 4 7 】

各実施例は例示であり、異なる実施例で示した構成の部分的な置換または組み合わせが可能であることは言うまでもない。複数の実施例の同様の構成による同様の作用効果については実施例ごとには逐次言及しない。さらに、本発明は上述の実施例に制限されるものではない。例えば、種々の変更、改良、組み合わせ等が可能なのは当業者に自明であろう。

【 符号の説明 】

【 0 0 4 8 】

- 1 0 レーザ光源
- 1 1 ビームエキスパンダ
- 1 3、1 4、1 5 折り返しミラー
- 1 6 回折光学素子
- 1 7 移動機構
- 1 8 ウエハチャック
- 2 0 半導体ウエハ
- 3 0 ビームスポット
- 3 1 レーザビーム
- 4 1、4 2 1 目の主走査でアニールされる領域
- 5 0 制御部
- 5 1 入力部
- 5 5 制御装置
- 6 0 レーザ処理装置

10

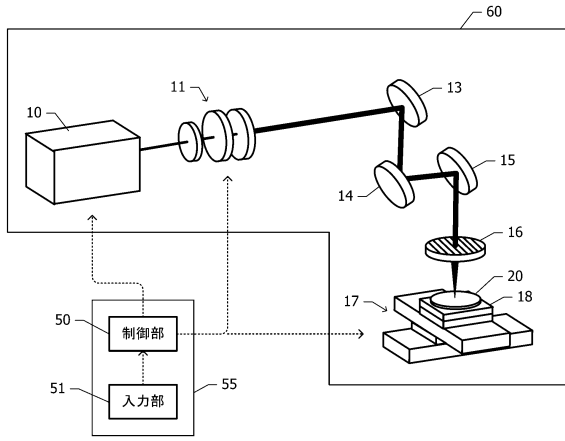
20

30

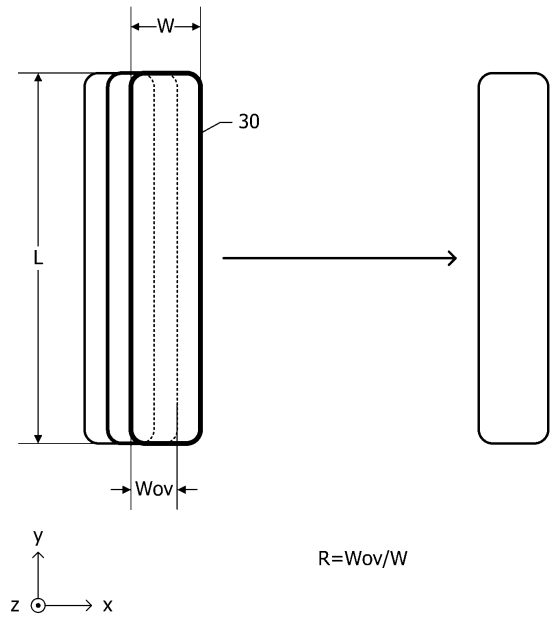
40

50

【図面】
【図 1】



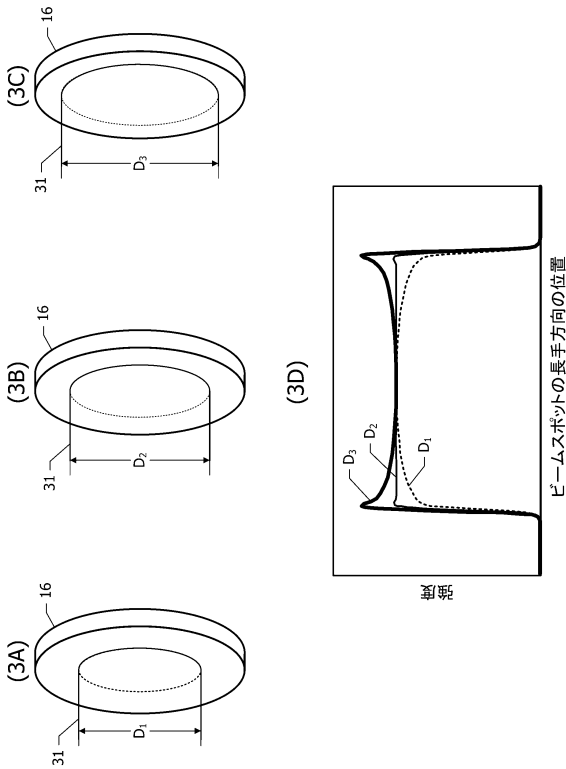
【図 2】



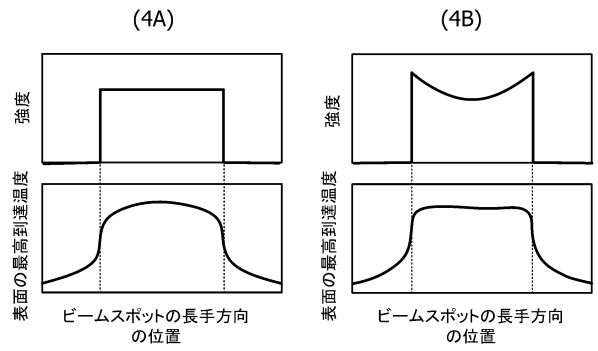
10

20

【図 3】



【図 4】

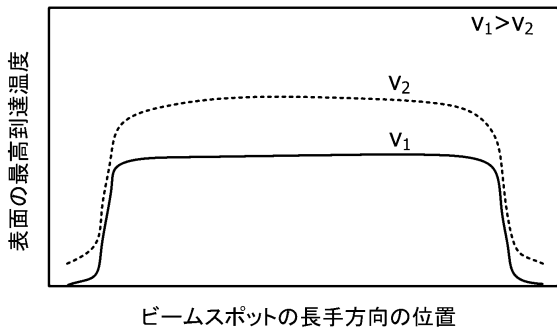


30

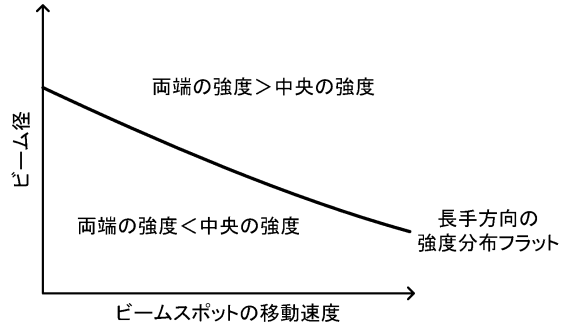
40

50

【図5】

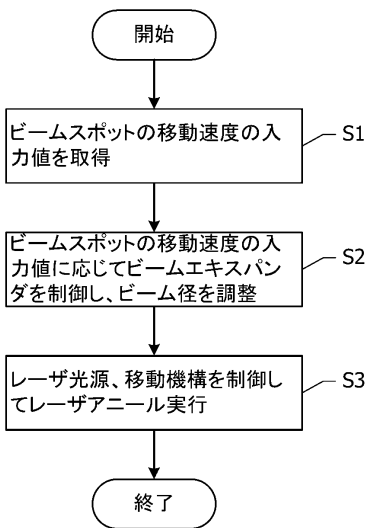


【図6】

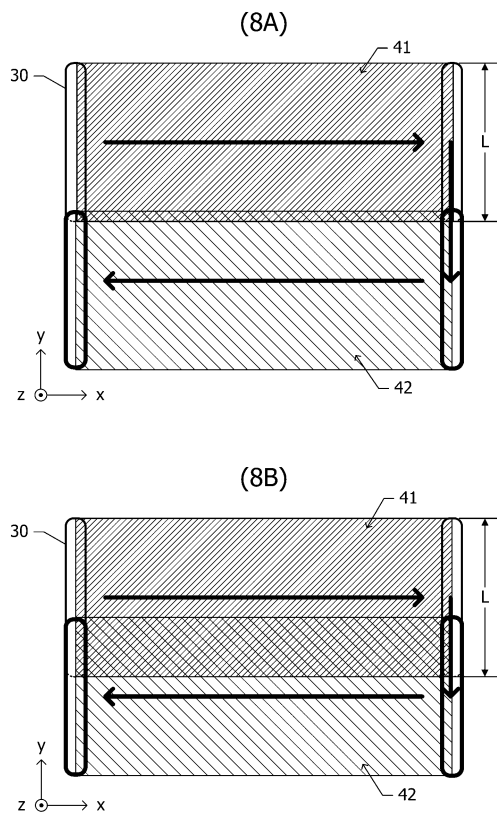


10

【図7】



【図8】



20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 0 8 - 1 1 2 9 8 1 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 1 2 4 0 5 3 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 2 1 8 4 9 3 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- H 0 1 L 2 1 / 2 6 8
H 0 1 L 2 1 / 2 6 5