

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2019年8月8日(08.08.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/150549 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 21/20 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/003564

(22) 国際出願日: 2018年2月2日(02.02.2018)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 株式会社日本製鋼所 (THE JAPAN STEEL WORKS, LTD.) [JP/JP]; 〒1410032 東京都品川区大崎一丁目1番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 小林 直之 (KOBAYASHI Naoyuki); 〒2360004 神奈川県横浜市金沢区福浦2丁目2番1号 株式会社日本製鋼所内 Kanagawa (JP).

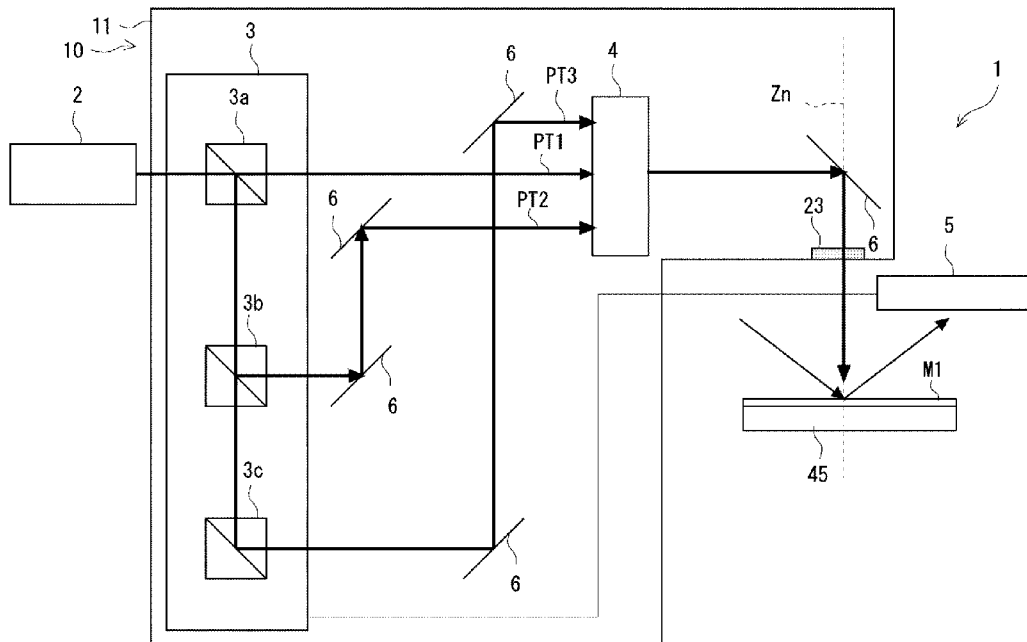
町田 政志 (MACHIDA Masashi); 〒2360004 神奈川県横浜市金沢区福浦2丁目2番1号 株式会社日本製鋼所内 Kanagawa (JP). 今村 博亮 (IMAMURA Hiroaki); 〒2360004 神奈川県横浜市金沢区福浦2丁目2番1号 株式会社日本製鋼所内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 家入 健 (IEIRI Takeshi); 〒2210835 神奈川県横浜市神奈川区鶴屋町三丁目3番8 アサヒビルディング5階 響国際特許事務所 Kanagawa (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,

(54) Title: LASER PROCESSING DEVICE, LASER PROCESSING METHOD AND SEMICONDUCTOR DEVICE PRODUCTION METHOD

(54) 発明の名称: レーザ処理装置、レーザ処理方法及び半導体装置の製造方法



(57) Abstract: Provided are a laser processing device and a laser processing method for preventing an extension of the processing time per semiconductor film. The laser processing device (1) according to one embodiment of the present invention comprises a laser light source (2) for irradiating laser light onto a semiconductor film (M1), a film state measuring apparatus (5) for measuring the state of the semiconductor film (M1) after having been irradiated with the laser light, and a laser light adjustment mechanism for adjusting, according to the state of the semiconductor film (M1) measured by the



DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

film state measuring apparatus (5), the timing of the laser light to be subsequently irradiated onto the semiconductor film (M1) and the intensity of this laser light.

(57) 要約: 半導体膜1枚あたりの処理時間が長くなるのを抑制するレーザ処理装置及びレーザ処理方法を提供する。一実施の形態に係るレーザ処理装置(1)は、半導体膜(M1)にレーザ光を照射するためのレーザ光源(2)と、レーザ光が照射された後の半導体膜(M1)の状態を測定する膜状態測定器(5)と、膜状態測定器(5)により測定された半導体膜(M1)の状態に応じて、次に半導体膜(M1)にレーザ光を照射するタイミングと当該レーザ光の強度とを調整するレーザ光調整機構と、を備える。

明 細 書

発明の名称：

レーザ処理装置、レーザ処理方法及び半導体装置の製造方法

技術分野

[0001] 本発明はレーザ処理装置、レーザ処理方法及び半導体装置の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 基板上に形成されたアモルファスシリコン膜などの半導体膜にレーザ光を照射して結晶化や改質を行うレーザ処理装置が知られている。特許文献1には、レーザ処理装置において、膜表面形状を測定する技術が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第3794482号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、本発明者が開発した比較例にかかるレーザ処理装置では、半導体膜における1箇所当たりのレーザ光照射回数を10～20回とし、レーザ光照射の各回において、半導体膜のレーザ光照射箇所の温度を常温から熔融温度（融点）近傍まで上昇させるようにしている。半導体膜は、熔融と凝固を繰り返すことで、結晶が徐々に成長していく。すなわち、半導体膜における結晶の成長は、1回目の照射で発生した結晶粒が、2回目以降の照射により結合して大きくなるものと考えられている。しかしながら、上記比較例にかかるレーザ処理装置では、レーザ光の1回の照射により上昇した半導体膜の温度が常温に下がるまで待つて次のレーザ光の照射を行うことになるので、半導体膜1枚あたりの処理時間が長くなり、スループットが長くなる。

[0005] その他の課題と新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明らか

になるであろう。

課題を解決するための手段

[0006] 一実施の形態に係るレーザ処理装置は、半導体膜にレーザ光を照射するためのレーザ光源と、レーザ光が照射された後の前記半導体膜の状態を測定する膜状態測定器と、前記膜状態測定器により測定された前記半導体膜の状態に応じて、次に前記半導体膜にレーザ光を照射するタイミングと当該レーザ光の強度とを調整するレーザ光調整機構と、を備える。

[0007] 一実施の形態に係るレーザ処理方法は、レーザ光源によりレーザ光が照射された後の半導体膜の状態を測定するステップと、測定された前記半導体膜の状態に応じて、前記レーザ光源が次に前記半導体膜にレーザ光を照射するタイミングと当該レーザ光の強度とを調整するステップと、を備える。

発明の効果

[0008] 前記一実施の形態によれば、半導体膜 1 枚あたりの処理時間が長くなるのを抑制するレーザ処理装置及びレーザ処理方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]実施の形態 1 に係る本実施の形態に係るレーザ処理装置の構成について説明する図である。

[図2]実施の形態 1 に係るレーザ処理装置のレーザ光源が発生させるレーザ光を示す模式図である。

[図3]比較例 1 に係るレーザ処理方法について説明する模式図である。

[図4]実施の形態 1 に係るレーザ処理装置におけるレーザ処理方法を示すフローチャートである。

[図5]実施の形態 1 に係るレーザ処理方法について説明する模式図である。

[図6]実施の形態 2 に係るレーザ処理装置の構成について説明する図である。

[図7]実施の形態 3 に係るレーザ処理装置の構成について説明する図である。

[図8]実施の形態 4 に係るレーザアニール装置を例示した断面模式図である。

[図9]実施の形態 4 に係るレーザアニール装置の光源が発生させるレーザ光を示す模式図である。

[図10]実施の形態5に係るレーザアニール装置を例示した断面模式図である。

[図11]実施の形態6に係るレーザアニール装置を例示した断面模式図である。

[図12]実施の形態7に係る半導体装置の製造方法の一例を説明するための断面図である。

[図13]実施の形態7に係る半導体装置の製造方法の一例を説明するための断面図である。

[図14]実施の形態7に係る半導体装置の製造方法の一例を説明するための断面図である。

[図15]実施の形態7に係る半導体装置の製造方法の一例を説明するための断面図である。

[図16]実施の形態7に係る半導体装置の製造方法の一例を説明するための断面図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、具体的な実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。ただし、以下の実施の形態に限定される訳ではない。また、説明を明確にするため、以下の記載及び図面は、適宜簡略化されている。各図面において、同一の要素には同一の符号が付されており、必要に応じて重複説明は省略されている。

[0011] (実施の形態1)

<実施の形態1に係るレーザ処理装置の構成>

まず、図1を参照して、実施の形態1に係るレーザ処理装置の構成について説明する。

[0012] 図1は、本実施の形態に係るレーザ処理装置1の構成について説明する図である。レーザ処理装置1は、基板上に形成された半導体膜M1に対してレーザ光を照射して結晶化するための装置である。ここで、半導体膜M1とは、例えば液晶表示装置の画面に用いられる薄膜トランジスター(TFT)の

結晶化Si膜である。半導体膜M1の作成に際し、半導体膜M1に対してラインビームからなるレーザ光を照射し、アモルファスシリコン膜（a-Si膜）を結晶化してポリシリコン膜（p-Si膜）とする。図1に示すように、レーザ処理装置1は、レーザ光源（レーザ発振器）2と、光学系モジュール10と、膜状態測定器5と、を備えている。

[0013] レーザ光源2は、パルス発振動作によりレーザ光を発生させるものである。光学系モジュール10は、外形を構成する光学系筐体11と、部分反射ミラー3、反射ミラー6、ホモジナイザー4などの光学素子と、封止窓23と、を含んでいる。レーザ光源2によって生じさせたレーザ光は、光学系モジュール10の部分反射ミラー3に導かれる。部分反射ミラー3は、第1部分反射ミラー3a、第2部分反射ミラー3bおよび第3部分反射ミラー3cから構成される。第1部分反射ミラー3a、第2部分反射ミラー3bおよび第3部分反射ミラー3cは、透過率を変更することが可能なように、すなわち、入射したレーザ光の一部を透過し残りを反射することが可能なように構成された光学装置である。部分反射ミラー3は、膜状態測定器5により測定された半導体膜M1の状態に応じて、次に半導体膜M1にレーザ光を照射するタイミングと当該レーザ光の強度とを調整するレーザ光調整機構としての役割を担う。

[0014] レーザ光源2から発射されたレーザ光は、まず、第1部分反射ミラー3aに導かれる。第1部分反射ミラー3aを透過したレーザ光はホモジナイザー4に導かれる。ホモジナイザー4は、複数のシリンドリカルレンズから構成され、強度分布を矩形状に均一化するためのものである。一方、第1部分反射ミラー3aで反射されたレーザ光は第2部分反射ミラー3bに導かれる。第2部分反射ミラー3bで反射されたレーザ光は複数の反射ミラー6で方向変換された後、ホモジナイザー4に導かれる。一方、第2部分反射ミラー3bを透過したレーザ光は第3部分反射ミラー3cに導かれる。第3部分反射ミラー3cに入射したレーザ光は、第3部分反射ミラー3cで反射され、さらに複数の反射ミラー6で方向変換された後、ホモジナイザー4に導かれる。

。

[0015] 第1部分反射ミラー3aで反射されホモジナイザー4に導かれる第1光路PT1、第2部分反射ミラー3bで反射されホモジナイザー4に導かれる第2光路PT2、第3部分反射ミラー3cで反射されホモジナイザー4に導かれる第3光路PT3は、それぞれ光路長に差がある。第3光路PT3が最も長く、第1光路PT1が最も短い（第3光路PT3＞第2光路PT2＞第1光路PT1）。このため、レーザ光源2よりレーザ光が1回発射されると、半導体膜M1には、まず、第1光路PT1を経由したレーザ光が到達し、次に、第2光路PT2を経由したレーザ光が到達し、最後に、第3光路PT3を経由したレーザ光が到達する。このように、光路長を可変とすることで半導体膜M1にレーザ光が照射される時間間隔（照射間隔）を変えることができる。

[0016] また、レーザ光強度は、部分反射ミラー3の透過率を変化させることで変更可能である。すなわち、第1部分反射ミラー3a、第2部分反射ミラー3bの透過率をそれぞれ変化させることで、第1光路PT1経由のレーザ光、第2光路PT2経由のレーザ光、第3光路PT3経由のレーザ光のレーザ光強度をそれぞれ変更することができる。

[0017] 半導体膜M1は、基板ステージ45に載置されている。膜状態測定器5は、レーザ光照射後の半導体膜M1の状態を測定するためのものである。膜状態測定器5は、半導体膜M1における反射率、透過率、放射率及び抵抗値の少なくとも一つを測定することにより半導体膜M1の状態を検出する。なお、図1には、膜状態測定器5が、半導体膜M1における反射率を測定する例を示している。

[0018] 図2は、半導体膜M1に照射されるレーザ光を示す模式図である。図2に示すように、レーザ光L1は、ホモジナイザー4を通過することによってラインビーム状になる。すなわち、レーザ光L1の光軸C1に直交する断面は、一方向に延びた細長い線状となっている。例えば、反射ミラー6で反射されたレーザ光L1の光軸に直交する断面は、Y軸方向に延びた線状となって

いる。半導体膜M1上のa-Si膜の全面を結晶化するため、ラインビームの1ショットあたり、ラインビーム短軸幅の5～10%の送りピッチで半導体膜M1をラインビームの短軸の方向（X軸方向）に間欠的に移動させる。例えば、短軸幅0.4mmのときの送りピッチは20～40μmであり、a-Si膜5aに対する1箇所当たりのレーザ光の照射回数は10～20回である。

[0019] レーザ光源2よりレーザ光が1回発射されると、半導体膜M1にはタイミングのそれぞれ異なる3回のレーザ光照射がなされる。例えば、レーザ光源2よりレーザ光を7回発射すると、半導体膜M1には異なるタイミングで21回のレーザ光照射がなされる。光路長の短い光路を通過したレーザ光から順に半導体膜M1に照射される。すなわち、最も光路長の短い第1光路PT1経由のレーザ光が1番目に半導体膜M1に照射される。そして、第2光路PT2経由のレーザ光が2番目に半導体膜M1に照射される。さらに、最も光路長の長い第3光路PT3経由のレーザ光が3番目に半導体膜M1に照射される。

[0020] ここで、レーザ光源2よりエネルギー密度E0のレーザ光を1回発射したときに、1番目に半導体膜M1に到達するレーザ光のエネルギー密度をE1、2番目に半導体膜M1に到達するレーザ光のエネルギー密度をE2、3番目に半導体膜M1に到達するレーザ光のエネルギー密度をE3とする。第1部分反射ミラー3aにおける反射率をR1、透過率T1、第2部分反射ミラー3bにおける反射率をR2、透過率T2、第3部分反射ミラー3cにおける反射率をR3とする。E1、E2、E3は、それぞれ以下の式で表される。

$$E1 = T1 \cdot E0$$

$$E2 = (R1 \cdot R2) \cdot (E0)$$

$$E3 = (R1 \cdot T2 \cdot R3) \cdot (E0)$$

[0021] 上式より、1番目に半導体膜M1に到達するレーザ光のエネルギー密度E1に対する、2番目に半導体膜M1に到達するレーザ光のエネルギー密度E

2の比率 r_2 は、 $r_2 = E_2 / E_1 = R_1 \cdot R_2 / T_1$ となる。また、1番目に半導体膜M1に到達するレーザ光のエネルギー密度 E_1 に対する、3番目に半導体膜M1に到達するレーザ光のエネルギー密度 E_3 の比率 r_3 は、 $r_3 = E_3 / E_1 = r_3 = (T_2 \cdot R_1 \cdot R_3) / T_1$ となる。このように、 $R_1 \sim R_3$ 、 $T_1 \sim T_3$ を適宜変更することで、比率 r_1 、 r_2 を変更することができる。

[0022] <比較例1に係るレーザ処理方法>

次に、本発明者が事前に検討した比較例1に係るレーザ処理方法について説明する。

図3は、比較例1に係るレーザ処理方法について説明する模式図である。図3では、上段に半導体膜M1の温度と時間との関係、下段にレーザ光強度と時間との関係を示す。図3に示すように、比較例1に係るレーザ処理方法は、

(a) レーザ光源2よりエネルギー密度 I_0 （ピーク値）の第1のレーザ光を半導体膜M1に照射し、半導体膜M1の温度（半導体膜M1におけるレーザ光照射位置の温度）を融点 T_1 以上の温度 T_3 に上昇させる。

(b) 半導体膜M1の温度が常温 T_0 近くに低下するまで待ってから、エネルギー密度 I_0 の第2のレーザ光を半導体膜M1に照射する。

(c) 第2のレーザ光の半導体膜M1への照射以降、(b)と同様の処理を所定のレーザ光照射回数 n になるまで繰り返す。すなわち、第 k 回目（ $3 \leq k \leq n-1$ ）のレーザ光を半導体膜M1に照射した後、半導体膜M1の温度が常温 T_0 近くに低下するまで待ってから、エネルギー密度 I_0 の第 $k+1$ のレーザ光を半導体膜M1に照射する。

[0023] 上述した、レーザ光のエネルギー密度 I_0 は、半導体膜M1の温度が常温 T_0 （約 30°C ）程度であるときの最適エネルギー密度（OED） $[\text{mJ}/\text{cm}^2]$ である。 $p-Si$ の結晶性は、照射されたレーザ光のエネルギー密度に大きく依存し、当該エネルギー密度が低すぎても高すぎても良好にならない。半導体膜M1に照射するレーザ光のエネルギー密度を常温 T_0 程度のと

きの最適エネルギー密度である I_0 としたときに、半導体膜M1の温度が 100°C 以上であると良好な結晶性が得られない。ここで、良好な結晶性とは、半導体膜M1において、粒径が大きく成長方向が揃っていることを意味する。このため、上述したように、各照射におけるエネルギー密度を I_0 で等しくする場合には、レーザ光を1回照射した後、半導体膜M1の温度が常温 T_0 近くに低下するまで待って、次のレーザ光を照射する必要がある。すなわち、エネルギー密度 I_0 は、半導体膜M1の温度が常温であるときのOEDなので、各照射におけるエネルギー密度を I_0 で一定にする場合、レーザ光照射前の半導体膜M1の温度を常温付近になるようにする必要がある。

[0024] レーザ光のパルス幅 T_s （レーザ光1発の発振時間）は一般に数 $ns \sim$ 数十 ns 、発振周波数は数百 Hz 以下である。これに対し、レーザ光を1回照射し終わった後、照射によって上昇した温度が常温 T_0 まで下がるのに要する待ち時間 T_d は数 ms と比較的長い。このため、比較例1に係るレーザ処理方法では、レーザ光を照射した後、次のレーザ光を照射するまでの待ち時間が長くなっていた。これにより、半導体膜1枚あたりの処理時間が長くなり、スループットが長くなっていた。

[0025] 半導体膜M1にレーザ光を複数回（例えば20回）照射して、半導体膜M1において溶融－凝固の相変化を繰り返すことで、粒径が大きく成長方向が揃った半導体膜M1が得られることが分かっている。ここで、溶融した半導体膜M1が固化する温度である凝固点 T_2 は、半導体膜M1が溶融する温度である融点 T_1 にほぼ近い温度である（過冷却現象のため、凝固点 T_2 の方が融点 T_1 よりも若干低い）。

[0026] 例えば、半導体膜M1の凝固点 T_2 の温度が 800°C 程度であるとする、半導体膜M1にレーザ光を照射したとき、半導体膜M1の温度は 1400°C 程度に上昇する。上述したように、比較例1に係るレーザ処理方法では、半導体膜M1の温度が常温 T_0 程度に下がるまで待つ。このため、半導体膜M1の凝固温度は 800°C 程度であるので、半導体膜M1の温度が 800°C から 30°C まで下がる間に放出される分のエネルギーは無駄にロスされる。

[0027] <実施の形態 1 に係るレーザ処理装置におけるレーザ処理方法>

次に、実施の形態 1 に係るレーザ処理装置 1 におけるレーザ処理方法について説明する。本実施の形態に係るレーザ処理装置におけるレーザ処理方法は、半導体膜 M 1 の状態を測定し、その測定結果に基づいて、次にレーザ光を照射するタイミングと照射するレーザ光のエネルギー密度とを調整する。半導体膜 M 1 の状態は、半導体膜 M 1 における反射率、透過率、放射率及び抵抗値の少なくとも一つを測定することによって検出する。

[0028] 図 4 は、実施の形態 1 に係るレーザ処理装置 1 におけるレーザ処理方法を示すフローチャートである。図 4 に示すように、まず、エネルギー密度 I 0（第 1 のエネルギー強度）を有する第 1 のレーザ光を半導体膜 M 1 に照射し、半導体膜 M 1 の温度を融点 T 1 以上の温度 T 3 に上昇させる（ステップ S 1）。このとき、半導体膜 M 1 は非晶質状態である。続いて、膜状態測定器 5 により半導体膜 M 1 の状態を測定することで半導体膜 M 1 の温度を検出する（ステップ S 2）。

[0029] ステップ S 2 に続いて、検出された半導体膜 M 1 の温度が、凝固点 T 2 以下の温度 T 4 まで低下した後に、エネルギー密度 I 0 よりも小さいエネルギー密度 I（第 2 のエネルギー強度）を有する第 2 のレーザ光を半導体膜 M 1 に照射する（ステップ S 3）。次に、レーザ光照射回数が所定の回数に到達したか否かを判断する（ステップ S 4）。ステップ S 4 において、レーザ光照射回数が所定の回数に到達した場合（Y E S の場合）、処理を終了する。ステップ S 3 において、レーザ光照射回数が所定の回数に到達していない場合（N O の場合）、処理をステップ S 2 に戻す。レーザ光照射回数が所定の回数に到達している場合（Y E S の場合）、処理を終了する。処理が終了したとき、半導体膜 M 1 は多結晶状態となっている。

[0030] なお、ステップ S 1 におけるエネルギー密度 I 0、ステップ S 2 におけるエネルギー密度 I は、それぞれ、予備評価などによって予め設定されている。エネルギー密度 I 0、I を設定する具体的な方法については後述する。

[0031] 図 5 は、実施の形態 1 に係るレーザ処理方法について説明する模式図であ

る。図5では、上段に半導体膜M1の温度と時間、下段にレーザ光強度と時間との関係を示す。

[0032] 半導体膜M1の温度 T_4 は、凝固点 T_2 以下かつ常温 T_0 よりも十分に高い温度、すなわち、 100°C 以上かつ凝固点 T_2 以下の温度である。半導体膜M1の温度が、常温よりもずっと高い 100°C 以上の温度 T_4 であるとき、レーザ光照射後の半導体膜M1の結晶性を良好にするためには、照射するレーザ光のエネルギー密度を、常温 T_0 程度のときの最適エネルギー密度である1より小さくする必要がある。すなわち、レーザ光照射回数が2回目以降では、照射するレーザ光のエネルギー密度を温度 T_4 のときの最適エネルギー密度1とする必要がある。

[0033] レーザ光照射回数が2回目以降において、レーザ光を照射するときの半導体膜M1の温度は、 100°C 以上かつ凝固点 T_2 以下の温度であれば、毎回同じにしなくてもよい。ただし、各回でレーザ光を照射するエネルギー密度を変える場合、照射するレーザ光のエネルギー密度を、各レーザ光照射時における半導体膜M1の温度での最適エネルギー密度にする必要がある。このため、第2のレーザ光を照射した後に照射する第3のレーザ光は、第2のエネルギー強度と同一のエネルギー強度（エネルギー密度1）である第3のエネルギー強度を有するようにするのが簡便である。第3のエネルギー強度を有する第3のレーザ光を照射した後、半導体膜M1は多結晶状態となる。なお、温度 T_4 を凝固点 T_2 にできるだけ近くするのが、待ち時間の短縮と省エネ性の観点から好ましい。例えば、半導体膜M1の凝固点 T_2 を 800°C 程度としたときに、半導体膜M1にレーザ光を照射した後、半導体膜M1の温度が、凝固点 T_2 以下の温度 T_3 である 790°C 程度まで下がったときに次のレーザ光を照射する。

[0034] 溶融した状態の半導体膜M1において、半導体膜M1の温度と反射率には相関がある。このため、半導体膜M1が、溶融を開始するタイミングおよび固化するタイミングは、半導体膜M1における反射率を測定することにより検出することができる。すなわち、半導体膜M1の温度が温度 T_3 のときの

反射率は R_{t3} 、半導体膜M1の温度が融点 T_1 のときの反射率は R_{t1} 、半導体膜M1の温度が凝固点 T_2 のときの反射率は R_{t2} である。融点 T_1 と凝固点 T_2 とはほぼ等しいので、反射率 R_{t1} と反射率 R_{t2} とはほぼ等しい。

[0035] なお、半導体膜M1の温度と反射率との関係と同様に、溶融した状態の半導体膜M1において、半導体膜M1の温度と放射率との間には相関がある。このため、半導体膜M1が、溶融を開始するタイミングおよび固化するタイミングは、半導体膜M1における放射率を測定することにより検出してもよい。また、溶融した状態の半導体膜M1において、半導体膜M1の温度と透過率との間にも相関がある。このため、半導体膜M1が、溶融を開始するタイミングおよび固化するタイミングは、半導体膜M1における透過率を測定することにより検出してもよい。

[0036] 半導体膜M1にレーザ光を照射するタイミングを、膜状態測定器により、半導体膜M1の温度が 100°C 以上かつ融点以下の所定温度まで下がったことを検出したときとする。1回目のレーザ光の照射タイミングと2回目のレーザ光の照射タイミングとの差を Δt_1 とする。1回目のレーザ光の照射タイミングと1回目のレーザ光を照射後に反射率が R_2 になるタイミングとの差を Δt_{1r} とする。2回目のレーザ光の照射タイミングは、 Δt_1 が Δt_{1r} よりも長くなる($\Delta t_1 > \Delta t_{1r}$)ように設定する。例えば、 Δt_1 と Δt_{1r} との差 Δt_{1opt} は 50 ns とする。同様に、 k 回目($2 \leq k \leq n-1$)のレーザ光の照射タイミングと $k+1$ 回目のレーザ光の照射タイミングとの差を Δt_k とし、 k 回目のレーザ光の照射タイミングと $k+1$ 回目のレーザ光を照射後に反射率が R_2 になるタイミングとの差を Δt_{kr} とする。 $k+1$ 回目のレーザ光の照射タイミングは、 Δt_k が Δt_{kr} よりも長くなる($\Delta t_k > \Delta t_{kr}$)ように設定する。例えば、 Δt_1 と Δt_{1r} との差 Δt_{kopt} は 50 ns とする。なお、 Δt_{kopt} は、 Δt_{1opt} を含めて全て同じ値としてもよく、それぞれ異なる値としてもよい。

[0037] ここで、エネルギー密度 I_0 、 I を設定する具体的な方法について、図5

を参照して説明する。

まず、結晶化前の半導体膜M1に対して、レーザ光源2より、あるエネルギー密度のレーザ光を所定の回数だけ照射して、結晶化後の半導体膜M1を顕微鏡などで観察して結晶性を評価する。レーザ光源2より照射するエネルギー密度を振ることにより、結晶化後の半導体膜M1における結晶性が良好であったものに照射したレーザ光のエネルギー密度を最適エネルギー密度I0に設定する。

[0038] 次に、結晶化前の半導体膜M1に対し、設定したエネルギー密度I0でレーザ光を1回照射した後、エネルギー密度I0より小さいあるエネルギー密度のレーザ光を所定の回数だけ照射して、結晶化後の半導体膜M1を顕微鏡などで観察して結晶性を評価する。レーザ光源2より照射するエネルギー密度を振ることにより、結晶化後の半導体膜M1における結晶性が良好であったものに照射したレーザ光のエネルギー密度を最適エネルギー密度Iに設定する。

[0039] 次に、本実施の形態のレーザ処理装置1の効果を説明する。

実施の形態1に係るレーザ処理装置1におけるレーザ処理方法では、レーザ光を1回照射した後、照射によって上昇した温度が凝固点T2以下になったときに次のレーザ光を照射する。このようにすることで、レーザ光を1回照射した後、照射によって上昇した半導体膜M1の温度が常温程度に下がるまで待つ場合に対し、レーザ光を照射した後、次のレーザ光を照射するまでの待ち時間を短くすることができる。これにより、半導体膜M11枚あたりの処理時間が短くなり、スループットを短くすることができる。

[0040] また、レーザ光照射回数が2回目以降において、照射するレーザ光のエネルギー密度を1回目に照射するレーザ光のエネルギー密度よりも小さくすることができる。これにより、省エネ性を向上させることができる。

[0041] (実施の形態2)

<実施の形態2に係るレーザ処理装置の構成>

[0042] 図6は、本実施の形態に係るレーザ処理装置101の構成について説明す

る図である。図6に示すように、本実施の形態に係るレーザ処理装置101は、図1に示した実施の形態1に係るレーザ処理装置1に対し、レーザ光を減衰して所定のエネルギー密度に調節するためのアッテネータ7をさらに備えている。すなわち、光学系モジュール110は、光学素子として、部分反射ミラー3、反射ミラー6、ホモジナイザー4に加え、アッテネータ7を含む。アッテネータ7は、レーザ光源2から半導体膜M1に至る光路の途中に設けられている。すなわち、アッテネータ7は、第1部分反射ミラー3a、第2部分反射ミラー3b、第3部分反射ミラー3cからホモジナイザー4に導かれる各光路（第1光路、第2光路、第3光路）上に配置されている。アッテネータ7は、部分反射ミラー3とともに、レーザ光調整機構としての役割の一部を担う。すなわち、アッテネータ7と部分反射ミラー3によって、膜状態測定器5により測定された半導体膜M1の状態に応じて、次に半導体膜M1にレーザ光を照射するタイミングと当該レーザ光の強度とを調整する。

[0043] 実施の形態1に係るレーザ処理装置1と同様に、本実施の形態に係るレーザ処理装置101では、レーザ光源2よりレーザ光を1回発射すると、半導体膜M1にはタイミングのそれぞれ異なる3回のレーザ光照射がなされる。例えば、レーザ光源2よりレーザ光を7回発射すると、半導体膜M1には異なるタイミングで21回のレーザ光照射がなされる。上述したように、最も光路長の短い第1光路PT1経由のレーザ光が1番目に、第2光路PT2経由のレーザ光が2番目に、最も光路長の長い第3光路PT3経由のレーザ光が3番目に、半導体膜M1に照射される。

[0044] ここで、レーザ光源2よりエネルギー密度E0のレーザ光を1回発射したときに、1番目に半導体膜M1に到達するレーザ光のエネルギー密度をE1、2番目に半導体膜M1に到達するレーザ光のエネルギー密度をE2、3番目に半導体膜M1に到達するレーザ光のエネルギー密度をE3とする。第1部分反射ミラー3aにおける反射率をR1、透過率T1、第2部分反射ミラー3bにおける反射率をR2、透過率T2、第3部分反射ミラー3cにおけ

る反射率を R_3 とする。アッテネータ7aの減衰率を T_{a0} 、アッテネータ7bの減衰率を T_{a1} 、アッテネータ7cの減衰率を T_{a2} 、アッテネータ7dの減衰率を T_{a3} とする。

E_1 、 E_2 、 E_3 は、それぞれ以下の式で表される。

$$E_1 = (T_1) \cdot T_{a1} \cdot (E_0) \cdot T_{a0}$$

$$E_2 = (R_1 \cdot R_2) \cdot T_{a2} \cdot (E_0) \cdot T_{a0}$$

$$E_3 = (R_1 \cdot T_2 \cdot R_3) \cdot T_{a3} \cdot (E_0) \cdot T_{a0}$$

[0045] 上式より、1番目に半導体膜M1に到達するレーザ光のエネルギー密度 E_1 に対する、2番目に半導体膜M1に到達するレーザ光のエネルギー密度 E_2 の比率 r_2 は、 $r_2 = E_2 / E_1 = (R_1 \cdot R_2 / T_1) \cdot T_{a2} / T_{a1}$ となる。また、1番目に半導体膜M1に到達するレーザ光のエネルギー密度 E_1 に対する、3番目に半導体膜M1に到達するレーザ光のエネルギー密度 E_3 の比率 r_3 は、 $r_3 = E_3 / E_1 = (R_1 \cdot T_2 \cdot R_3 / T_1) \cdot T_{a3} / T_{a1}$ となる。このように、 $R_1 \sim R_3$ 、 $T_1 \sim T_3$ を適宜変更することで、比率 r_1 、 r_2 を変更することができる。

[0046] 実施の形態1に係るレーザ処理装置1では、レーザ光強度を部分反射ミラー3の透過率を変化させることのみで調整した。これに対し、本実施の形態に係るレーザ処理装置101では、部分反射ミラー3の透過率を変化させることに加え、第1光路、第2光路および第3光路上に配置されたアッテネータ7でレーザ光強度をさらに微調整する。これにより、レーザ光の強度をより精度良く調整することができる。

[0047] なお、本実施の形態に係るレーザ処理装置101におけるレーザ処理方法は、アッテネータ7でレーザ光強度を微調整すること以外は、実施の形態1に係るレーザ処理装置1におけるレーザ処理方法と同様であるので説明を省略する。

[0048] (実施の形態3)

<実施の形態3に係るレーザ処理装置の構成>

[0049] 図7は、本実施の形態に係るレーザ処理装置201の構成について説明す

る図である。図 1 に示した実施の形態 1 に係るレーザ処理装置 1 ではレーザ光源 2 が単数であるのに対し、図 7 に示すように、本実施の形態に係るレーザ処理装置 201 は複数のレーザ光源 2（レーザ光源 2 a、2 b、2 c）を備えている。また、本実施の形態に係るレーザ処理装置 201 は、複数のレーザ光源 2 a、2 b、2 c を、互いに時間差を持たせて照射させるためのパルス発生器 8 をさらに備えている。パルス発生器 8 は、レーザ光調整機構としての役割の一部を担う。

[0050] 本実施の形態に係るレーザ処理装置 201 では、パルス発生器 8 により各レーザ光源 2 a、2 b、2 c のレーザ光発射タイミングを調整することで、レーザ光が照射されてから次にレーザ光が照射されるまでの照射間隔を調整する。また、本実施の形態に係るレーザ処理装置 201 は、光学系モジュール 210 において、反射ミラー 6、ホモジナイザー 4 などの光学素子とともに、レーザ光を減衰して所定のエネルギー密度に調節するためのアッテネータ 7 を含んでいる。アッテネータ 7 は、レーザ光源 2 a、2 b、2 c から半導体膜 M1 に至る各光路の途中にそれぞれ設けられている。アッテネータ 7 は、パルス発生器 8 とともに、レーザ光調整機構としての役割の一部を担う。すなわち、アッテネータ 7 とパルス発生器 8 によって、膜状態測定器 5 により測定された半導体膜 M1 の状態に応じて、次に半導体膜 M1 にレーザ光を照射するタイミングと当該レーザ光の強度とを調整する。

[0051] 実施の形態 1 に係るレーザ処理装置 1 のように、レーザ光源が単数である場合、レーザ光源から発射されたレーザ光を、部分反射ミラー 3 などの光学系により、光路長がそれぞれ異なる複数の光路を通して半導体膜 M1 に照射されるように分岐させる必要がある。これに対して、本実施の形態に係るレーザ処理装置 201 では、光学系をより簡素に構成できるため、光学系を配置するために必要なスペースを削減することができ、装置サイズを縮小することができる。

[0052] 本実施の形態に係るレーザ処理装置 201 におけるレーザ処理方法は、パルス発生器 8 により、複数のレーザ光源 2 a、2 b、2 c がレーザ光を照射

するタイミングに時間差を持たせること以外は、実施の形態１に係るレーザ処理装置１におけるレーザ処理方法と同様であるので説明を省略する。

[0053] (実施の形態４)

＜実施の形態４に係るレーザアニール装置の構成＞

実施の形態４に係る、レーザ処理装置としてのレーザアニール装置を説明する。本実施の形態に係るレーザアニール装置は、基板上に形成された半導体膜にレーザ光を照射して結晶化させる処理を行う装置である。レーザ光として、例えばエキシマレーザを用いてレーザアニール処理する場合には、レーザアニール装置は、エキシマレーザアニール（ELA: Excimer Laser Anneal）装置として用いられる。

[0054] 図８は、実施の形態４に係るレーザアニール装置を例示した断面模式図である。図８に示すように、レーザアニール装置３０１は、レーザ光源２、光学系モジュール２０、密閉部３０、処理室４０を有している。処理室４０は、例えば、水平な土台上に設けられている。処理室４０の上方に密閉部３０が設けられ、密閉部３０の上方に光学系モジュール２０が設けられている。光学系モジュール２０は、レーザ光源２から放出されるレーザ光Ｌを受光することが可能な位置に設けられている。

[0055] ここで、レーザアニール装置３０１を説明するために、XYZ直交座標軸を導入する。土台４８の上面に直交する方向をZ軸方向とし、上方を＋Z軸方向、下方を－Z軸方向とする。レーザ光源２と光学系モジュール２０とを結ぶ方向をX軸方向とし、レーザ光源２から光学系モジュール２０に向かう方向を＋X軸方向、逆方向を－X軸方向とする。X軸方向及びZ軸方向に直交する方向をY軸方向とし、一方を＋Y軸方向、逆方向を－Y軸方向とする。

[0056] 図８に示すように、レーザ光源２は、レーザ光Ｌ１０を放出する。レーザ光源２は、例えば、エキシマレーザ光源であり、中心波長３０８nmのエキシマレーザのレーザ光Ｌ１０を放出する。レーザ光源２は、レーザ光Ｌ１０を光学系モジュール２０に向けて出射する。レーザ光Ｌ１０は、例えば、＋

X軸方向に進み、光学系モジュール20に入射する。

[0057] 図8に示すように、光学系モジュール20は、外形を構成する光学系筐体21、反射ミラー6、レンズ72等の光学素子、及び、封止窓23を含んでいる。光学系筐体21は、例えば、アルミニウム等の材料で構成された箱状の部材である。光学系モジュール20の各光学素子は、光学系筐体21の内部にホルダ等で保持されている。このような各光学素子により、光学系モジュール20は、レーザ光源2から放出されたレーザ光L10の照射方向、光量等を調整する。

[0058] 光学系モジュール20の構成として、実施の形態1におけるレーザ処理装置1の光学系モジュール10の構成を適用する。なお、光学系モジュール20の構成として、実施の形態2におけるレーザ処理装置101の光学系モジュール110、または実施の形態3におけるレーザ処理装置201の光学系モジュール210の構成を適用してもよい。

[0059] 封止窓23は、光学系筐体21の一部、例えば、光学系筐体21の下面に設けられている。レーザ光L10は、光学系モジュール20で調整された後に、封止窓23から密閉部30に向けて出射される。このようにして、光学系モジュール20は、レーザ光L10を半導体膜M1に照射する。

[0060] 図9に示すように、レーザ光L10は、光学系モジュール20において、ラインビーム状となっている。すなわち、レーザ光L10の光軸C10に直交する断面は、一方向に延びた細長い線状となっている。例えば、反射ミラー6で反射されたレーザ光L10の光軸に直交する断面は、Y軸方向に延びた線状となっている。

[0061] 図8に示すように、密閉部30は、密閉筐体31、反射光受光部材61、封止窓33、ガス入口34、ガス出口35を有している。

[0062] 密閉筐体31は、内部が空洞の箱状の部材である。密閉筐体31の所定の側面には、ガス入口34及びガス出口35が設けられている。ガス入口34及びガス出口35は、例えば、密閉筐体31における対向する側面に設けられている。例えば、ガス出口35は、ガス入口34よりも上方に設けられて

いる。ガス入口３４からは、ガス３７、例えば、窒素等の不活性ガスが導入される。ガス入口３４から密閉筐体３１の内部に導入されたガス３７は、ガス出口３５から排出される。ガス３７は、密閉筐体３１の内部に連続的に供給されることが望ましい。また、ガス３７は、密閉筐体３１の外部に連続的に排出されるのが望ましい。ガス３７の流量は、密閉筐体３１の内部を常時換気された状態になるように、所定の流量に制御される。

[0063] 密閉筐体３１の内部には反射光受光部材６１が配置されている。例えば、反射光受光部材６１は、光学系モジュール２０の外側に、光学系モジュール２０との間に間隔を有するように配置されている。反射光受光部材６１は、例えば、板状の部材である。反射光受光部材６１は、板面をＺ軸方向に向けて配置されている。反射光受光部材６１は、レーザ光Ｌ１０が半導体膜Ｍ１上で反射された反射光Ｒ１を受光することが可能なように配置されている。例えば、レーザ光Ｌ１０の入射角と、反射光Ｒ１の反射角とを考慮して、反射光受光部材６１を、反射光Ｒ１の光路上に配置する。なお、反射光受光部材６１を、光学系モジュール２０との間に断熱材６２を介して間隔をあけて取り付けてもよい。これにより、反射光受光部材６１と光学系モジュール２０との間の断熱性を保つことができる。

[0064] 封止窓３３は、密閉筐体３１の一部、例えば、密閉筐体３１の下面に設けられている。光学系モジュール２０の封止窓２３から出射したレーザ光Ｌ１０は、密閉部３０の封止窓３３から処理室４０に向けて出射される。

[0065] 処理室４０は、ガスボックス４１、基板ステージ４５、基台４６、走査装置４７を有している。例えば、処理室４０において、基板ステージ４５上に載置された半導体膜Ｍ１にレーザ光Ｌ１０が照射され、半導体膜Ｍ１を結晶化するレーザアニール処理が行われる。基板ステージ４５は、フロートタイプステージ、すなわち、被照射体である半導体膜Ｍ１を浮上させながら搬送するステージでもよい。

[0066] ガスボックス４１は、箱状の部材であって、内部は空洞となっている。ガスボックス４１は、基板ステージ４５の上方であって、密閉部３０における

封止窓 33 の下方に配置されている。ガスボックス 41 の上面には、導入窓 42 が設けられている。導入窓 42 は、封止窓 33 に対向するように配置されている。また、ガスボックス 41 の下面には、照射窓 43 が設けられている。照射窓 43 は、半導体膜 M1 に対向するように配置されている。

[0067] ガスボックス 41 の所定の側面には、ガス入口 44 が設けられている。ガスボックス 41 には、ガス入口 44 から、所定のガス 37、例えば、窒素等の不活性ガスが供給される。ガスボックス 41 に供給されたガス 37 は、ガスボックス 41 の内部を充填した後、照射窓 43 から排出される。

[0068] ガスボックス 41 に入射したレーザ光 L10 は、照射窓 43 から出射し、半導体膜 M1 を照射する。反射光受光部材 61 は、半導体膜 M1 に対して照射されたレーザ光 L10 のうち、半導体膜 M1 で反射された反射光 R10 を受光することが可能なように配置されている。

[0069] 半導体膜 M1 は、基板ステージ 45 上に載置されている。基板ステージ 45 は、走査装置 47 上に、例えば、基台 46 を介して載置されている。基板ステージ 45 は、走査装置 47 により、X 軸方向、Y 軸方向及び Z 軸方向に移動可能となっている。レーザアニール処理を行う際には、基板ステージ 45 を、走査装置 47 の走査により、例えば、-X 軸方向の搬送方向 49 に搬送させる。

[0070] さらに、本実施の形態に係るレーザアニール装置 301 は、膜状態測定器としての反射率測定システムを備えている。反射率測定システムは、測定用光源 71、レンズ 72、反射光検出器 73、デジタイザ 74、情報処理装置 75 などを含む。

[0071] 測定用光源 71 として、例えば He-Ne レーザが使用される。レーザ光 L10 を照射後の半導体膜 M1 の表面に、半導体膜 M1 の平面の法線 Z_n と入射角 α をなす測定用レーザ光 L20 を入射させ、半導体膜 M1 の表面からの反射光 R20 を反射光検出器 73 で検出する。なお、反射光 R20 は、法線 z_n と反射角 α をなす方向の反射光であり、反射ミラー 6 で方向変換され、レンズ 72 を経由して反射光検出器 73 に入射する。反射光 R20 を反射

光検出器 7 3 へと導く、反射ミラー 6、レンズ 7 2 などの光学素子は、密閉部 3 0 の内部に配置されている。また、反射光検出器 7 3 も密閉部 3 0 の内部に配置されている。

[0072] 反射光検出器 7 3 において検出された反射光 R 2 0 は、電気信号に変換され、デジタイザ 7 4 や、パーソナルコンピュータ（P C）などの情報処理装置 7 5 で反射光強度が測定される。情報処理装置 7 5 では、反射光 R 2 0 の反射光強度に基づいて半導体膜 M 1 の状態を判断する。すなわち、半導体膜 M 1 の溶融時の反射率は、半導体膜 M 1 の固体時の反射率よりも大きくなる。

[0073] 本実施の形態に係るレーザアニール装置 3 0 1 では、レーザ光を 1 回照射した後、照射によって上昇した温度が凝固点 T 2 以下になったときに次のレーザ光を照射する。このようにすることで、レーザ光を 1 回照射した後、照射によって上昇した半導体膜 M 1 の温度が常温程度に下がるまで待つ場合に対し、レーザ光を照射した後、次のレーザ光を照射するまでの待ち時間を短くすることができる。これにより、半導体膜 M 1 1 枚あたりの処理時間が短くなり、スループットを短くすることができる。なお、レーザアニール装置 3 0 1 のレーザ処理方法のフローは、実施の形態 1 に係るレーザ処理装置 1 のレーザ処理方法と同様であるので（図 4 参照）、説明は省略する。

[0074] 上述したように、溶融した状態の半導体膜 M 1 において、半導体膜 M 1 の温度と反射率との間には相関がある。このため、半導体膜 M 1 が、溶融を開始するタイミングおよび固化するタイミングは、膜状態測定器としての反射率測定システムで半導体膜 M 1 における反射率を測定することにより検出することができる。

[0075] （実施の形態 5）

＜実施の形態 5 に係るレーザアニール装置の構成＞

実施の形態 5 に係る、レーザ処理装置としてのレーザアニール装置を説明する。図 1 0 は、実施の形態 5 に係るレーザアニール装置を例示した断面模式図である。本実施の形態に係るレーザアニール装置 4 0 1 の構成は、実施

の形態４に係るレーザアニール装置３０１の構成と基本的に同じである。実施の形態４に係るレーザアニール装置３０１では、膜状態測定器として反射率測定システムを備えているのに対し、本実施の形態に係るレーザアニール装置４０１では、膜状態測定器として放射率測定システムを備えている点異なる。

[0076] 図１０に示すように、レーザアニール装置４０１の放射率測定システムは、レンズ７２、放射光検出器１７３、デジタイザ７４、情報処理装置７５などを含む。半導体膜Ｍ１の表面におけるレーザ光Ｌ１０が照射された領域が加熱されることにより放射された放射光の一部である放射光Ｒａ１１０が放射光検出器１７３に入射する。放射光Ｒａ１１０を放射光検出器１７３へと導く、反射ミラー６、レンズ７２などの光学素子は、密閉部３０の内部に配置されている。また、放射光検出器１７３も密閉部３０の内部に配置されている。放射光検出器１７３で検出された放射光Ｒａ１１０は、電気信号に変換され、デジタイザ７４や情報処理装置７５で放射光強度が測定される。情報処理装置７５では、放射光Ｒａ１１０の放射光強度に基づいて半導体膜Ｍ１の状態を判断する。

[0077] 本実施の形態に係るレーザアニール装置４０１では、レーザ光を１回照射した後、照射によって上昇した温度が凝固点Ｔ２以下になったときに次のレーザ光を照射する。このようにすることで、レーザ光を１回照射した後、照射によって上昇した半導体膜Ｍ１の温度が常温程度に下がるまで待つ場合に対し、レーザ光を照射した後、次のレーザ光を照射するまでの待ち時間を短くすることができる。これにより、半導体膜Ｍ１１枚あたりの処理時間が短くなり、スループットを短くすることができる。なお、レーザアニール装置４０１のレーザ処理方法のフローは、実施の形態１に係るレーザ処理装置１のレーザ処理方法と同様であるので（図４参照）、説明は省略する。

[0078] 上述したように、溶融した状態の半導体膜Ｍ１において、半導体膜Ｍ１の温度と放射率との間には相関がある。このため、半導体膜Ｍ１が、溶融を開始するタイミングおよび固化するタイミングは、膜状態測定器としての放射

率測定システムで半導体膜M1における放射率を測定することにより検出することができる。

[0079] (実施の形態6)

＜実施の形態6に係るレーザアニール装置の構成＞

実施の形態6に係る、レーザ処理装置としてのレーザアニール装置を説明する。図11は、実施の形態6に係るレーザアニール装置を例示した断面模式図である。本実施の形態に係るレーザアニール装置501は、膜状態測定器として透過率測定システムを備えている。この点が、膜状態測定器として反射率測定システムを備えている、実施の形態4に係るレーザアニール装置301との構成上の差異である。

[0080] 図11に示すように、レーザアニール装置501の透過率測定システムは、測定用光源71、レンズ72、透過光検出器273、デジタイザ74、情報処理装置75などを含む。レーザ光L10を照射後の半導体膜M1の表面に測定用レーザ光L20を入射させ、半導体膜M1を透過した透過光Tr10を透過光検出器273で検出する。半導体膜M1を載置するための基板ステージ145には、透過光Tr10を下方へと貫通させるための溝145aが形成されている。なお、基板ステージ145は、フロートタイプステージ、すなわち、被照射体である半導体膜M1を浮上させながら搬送するステージを用いる。

[0081] 透過光Tr10は、反射ミラー6で方向変換され、レンズ72を経由して透過光検出器273に入射する。透過光Tr10を透過光検出器273へと導く、反射ミラー6、レンズ72などの光学素子は、基板ステージ145の下方に配置されている。また、透過光検出器273も基板ステージ145の下方に配置されている。

[0082] 透過光検出器273で検出された透過光Tr10は、電気信号に変換され、デジタイザ74や、パーソナルコンピュータ(PC)などの情報処理装置75で透過光強度が測定される。情報処理装置75では、透過光Tr10の透過光強度に基づいて半導体膜M1の状態を判断する。

[0083] 本実施の形態に係るレーザアニール装置501では、レーザ光を1回照射した後、照射によって上昇した温度が凝固点 T_2 以下になったときに次のレーザ光を照射する。このようにすることで、レーザ光を1回照射した後、照射によって上昇した半導体膜M1の温度が常温程度に下がるまで待つ場合に対し、レーザ光を照射した後、次のレーザ光を照射するまでの待ち時間を短くすることができる。これにより、半導体膜M11枚あたりの処理時間が短くなり、スループットを短くすることができる。なお、レーザアニール装置501のレーザ処理方法のフローは、実施の形態1に係るレーザ処理装置1のレーザ処理方法と同様であるので（図4参照）、説明は省略する。

[0084] 上述したように、溶融した状態の半導体膜M1において、半導体膜M1の温度と透過率との間には相関がある。このため、半導体膜M1が、溶融を開始するタイミングおよび固化するタイミングは、膜状態測定器としての透過率測定システムで半導体膜M1における透過率を測定することにより検出することができる。

[0085] （実施の形態7）

<実施の形態7に係る半導体装置の製造方法>

次に、実施の形態7として、上記で説明したレーザ処理装置を用いた半導体装置の製造方法について説明する。本実施の形態では、レーザ処理装置として、実施の形態4、実施の形態5または実施の形態6で説明したレーザアニール装置を用いる。本実施の形態の半導体装置の製造方法では、基板と、基板上に形成された非晶質の半導体膜を含む被処理体を準備する工程と、非晶質の半導体膜にレーザ光を照射して半導体膜を結晶化させる工程とを備えている。被処理体として、非晶質の半導体膜が形成された基板、例えば、非晶質のシリコンが形成されたガラス基板を用いる。非晶質の半導体膜を結晶化させる工程において、実施の形態4～実施の形態6で説明したレーザアニール装置を用いたレーザ処理方法を実施している。

[0086] 半導体装置は、TFT（Thin Film Transistor）を備える半導体装置であり、この場合は、アモルファスシリコン膜にレーザ光

を照射して結晶化し、ポリシリコン膜を形成することができる。

[0087] 図12から図16は、半導体装置の製造方法の一例を説明するための断面図である。上記で説明した本実施の形態にかかるレーザ処理装置は、TFTアレイ基板の製造に好適である。以下、TFTを有する半導体装置の製造方法について説明する。

[0088] まず、図12に示すように、ガラス基板91上に、ゲート電極92を形成する。ゲート電極92は、例えば、アルミニウムなどを含む金属薄膜を用いることができる。次に、図13に示すように、ゲート電極92の上に、ゲート絶縁膜93を形成する。ゲート絶縁膜93は、ゲート電極92を覆うように形成される。その後、図14に示すように、ゲート絶縁膜93の上に、アモルファスシリコン膜94を形成する。アモルファスシリコン膜94は、ゲート絶縁膜93を介して、ゲート電極92と重複するように配置されている。このように、まず、非晶質の半導体膜が形成された基板を準備する（工程A）。

[0089] ゲート絶縁膜93は、窒化シリコン膜（ SiN_x ）、酸化シリコン膜（ SiO_2 膜）、又はこれらの積層膜等などである。具体的には、CVD（Chemical Vapor Deposition）法により、ゲート絶縁膜93とアモルファスシリコン膜94とを連続成膜する。アモルファスシリコン膜94付のガラス基板91がレーザ処理装置における半導体膜となる。

[0090] そして、図15に示すように、上記で説明したレーザ処理装置を用いてアモルファスシリコン膜94にレーザ光を照射してアモルファスシリコン膜94を結晶化させて、ポリシリコン膜95を形成する。例えば、基板の搬入及び搬出を行う不図示の搬入出装置に対し、基板の基板ステージ45上の配置位置を制御する第1の位置制御信号を送信する（工程B）。そして、第1の位置制御信号によって定まる基板ステージ45上の第1の位置に、搬入出装置によって基板を配置する（工程C）。その後、基板を基板ステージ45上で搬送し（工程D）、基板にレーザ光を照射し、非晶質の半導体膜を多結晶化する（工程E）。非晶質の半導体膜を多結晶化後、搬入出装置によって基

板を搬出する（工程F）。

[0091] すべての照射領域を照射していない場合には、さらに、搬入出装置に対し、第2の位置制御信号を送信し（工程G）、第2の位置制御信号によって定まる基板ステージ45上の第1の位置とは異なる第2の位置に、搬入出装置によって基板を配置する（工程H）。そして、基板を、基板ステージ45上のレーザ光照射位置まで搬送し（工程I）、基板にレーザ光を照射する（工程J）。これにより、シリコンが結晶化したポリシリコン膜95がゲート絶縁膜93上に形成される。

[0092] このとき、上記で説明した本実施の形態にかかるレーザ処理装置におけるレーザ処理方法では、レーザ光を1回照射した後、照射によって上昇した温度が凝固点以下になったときに次のレーザ光を照射する。このようにすることで、レーザ光を1回照射した後、照射によって上昇した半導体膜の温度が常温程度に下がるまで待つ場合に対し、レーザ光を照射した後、次のレーザ光を照射するまでの待ち時間を短くすることができる。これにより、半導体膜1枚あたりの処理時間が短くなり、スループットを短くすることができる。

[0093] すべての照射領域を照射し、半導体膜を多結晶化した後、搬入出装置によって基板を搬出する（工程K）。

[0094] その後、図16に示すように、ポリシリコン膜95の上に層間絶縁膜96、ソース電極97a、及びドレイン電極97bを形成する。層間絶縁膜96、ソース電極97a、及びドレイン電極97bは、一般的なフォトリソグラフィ法や成膜法を用いて形成することができる。

[0095] 上記で説明した半導体装置の製造方法を用いることで、多結晶半導体膜を含むTFTを備える半導体装置を製造することができる。そして、そのような半導体装置は、ディスプレイの制御に用いられてもよい。なお、これ以降の製造工程については、最終的に製造するデバイスによって異なるので説明を省略する。

[0096] 以上、本発明者によってなされた発明を実施の形態に基づき具体的に説明

したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。また、各実施の形態における構成を各実施の形態間で、適宜交換してもよい。

符号の説明

- [0097] 1、101、201 レーザ処理装置
- 2 レーザ光源
 - 3 部分反射ミラー
 - 3a 第1部分反射ミラー
 - 3b 第2部分反射ミラー
 - 3c 第3部分反射ミラー
 - 4 ホモジナイザー
 - 5 膜状態測定器
 - 6 反射ミラー
 - 7 (7a、7b、7c、7d) アッテネータ
 - 8 パルス発生器
 - 10、20、110、210 光学系モジュール
 - 11、21 光学系筐体
 - 23 封止窓
 - 30 密閉部
 - 31 密閉筐体
 - 33 封止窓
 - 34 ガス入口
 - 35 ガス出口
 - 37 ガス
 - 40 処理室
 - 41 ガスボックス
 - 42 導入窓
 - 43 照射窓

- 4 4 ガス入口
- 4 5 基板ステージ
- 4 6 基台
- 4 7 走査装置
- 4 8 土台
- 4 9 搬送方向
- 6 1 反射光受光部材
- 6 2 断熱材
- 7 1 測定用光源
- 7 2 レンズ
- 7 3 反射光検出器
- 7 4 デジタイザ
- 7 5 情報処理装置
- 1 4 5 基板ステージ
- 1 4 5 a 溝
- 1 7 3 放射光検出器
- 2 7 3 透過光検出器
- 3 0 1、4 0 1、5 0 1 レーザアニール装置
- M 1 半導体膜

請求の範囲

- [請求項1] 半導体膜にレーザ光を照射するためのレーザ光源と、
レーザ光が照射された後の前記半導体膜の状態を測定する膜状態測定器と、
前記膜状態測定器により測定された前記半導体膜の状態に応じて、
次に前記半導体膜にレーザ光を照射するタイミングと当該レーザ光の強度とを調整するレーザ光調整機構と、を備える、レーザ処理装置。
- [請求項2] 次に前記半導体膜にレーザ光を照射するタイミングを、前記膜状態測定器により、前記半導体膜の温度が100℃以上融点以下の所定温度まで下がったことを検出したときとする、請求項1に記載のレーザ処理装置。
- [請求項3] 前記膜状態測定器は、前記半導体膜における反射率、透過率、放射率及び抵抗値の少なくとも一つを測定することにより前記半導体膜の状態を検出する、請求項1または2に記載のレーザ処理装置。
- [請求項4] 前記レーザ光調整機構の少なくとも一部は、前記レーザ光源から前記半導体膜に至る光路の途中に設けられ、レーザ光を減衰して所定のエネルギー密度に調節するアッテネータである、請求項1から3のいずれか一項に記載のレーザ処理装置。
- [請求項5] 前記レーザ光調整機構の少なくとも一部は、前記レーザ光源から前記半導体膜に至る光路の途中に設けられ、入射するレーザ光の透過率を変化させることが可能に構成された部分反射ミラーである、請求項1から4のいずれか一項に記載のレーザ処理装置。
- [請求項6] 前記部分反射ミラーは複数であり、各部分反射ミラーによって前記レーザ光源から前記半導体膜に至る光路は複数に分岐され、当該複数の光路の光路長をそれぞれ調整することで、レーザ光が照射されてから次にレーザ光が照射されるまでの照射間隔を調整する、請求項5に記載のレーザ処理装置。
- [請求項7] 前記レーザ光源は複数であり、

前記レーザ光調整機構の少なくとも一部を構成し、各レーザ光源のレーザ光の発射タイミングを調整するパルス発生器をさらに備え、

前記パルス発生器により各レーザ光源のレーザ光発射タイミングを調整することで、レーザ光が照射されてから次にレーザ光が照射されるまでの照射間隔を調整する、請求項 4 に記載のレーザ処理装置。

[請求項8] レーザ光源によりレーザ光が照射された後の半導体膜の状態を測定するステップと、

測定された前記半導体膜の状態に応じて、前記レーザ光源が次に前記半導体膜にレーザ光を照射するタイミングと当該レーザ光の強度とを調整するステップと、を備える、レーザ処理方法。

[請求項9] 以下の工程を含む半導体装置の製造方法：

(a) 第 1 のエネルギー強度を有する第 1 のレーザ光を半導体膜に照射する工程；

(b) 前記工程 (a) の後、前記半導体膜の温度が 100℃以上かつ凝固点以下の範囲となったときに、前記第 1 のエネルギー強度より小さい第 2 のエネルギー強度を有する第 2 のレーザ光を前記半導体膜に照射する工程。

[請求項10] さらに以下の工程を含む請求項 9 に記載の半導体装置の製造方法：

(c) 前記工程 (b) の後、前記第 2 のエネルギー強度と同一のエネルギー強度の第 3 のエネルギー強度を有する第 3 のレーザ光を前記半導体膜に照射する工程。

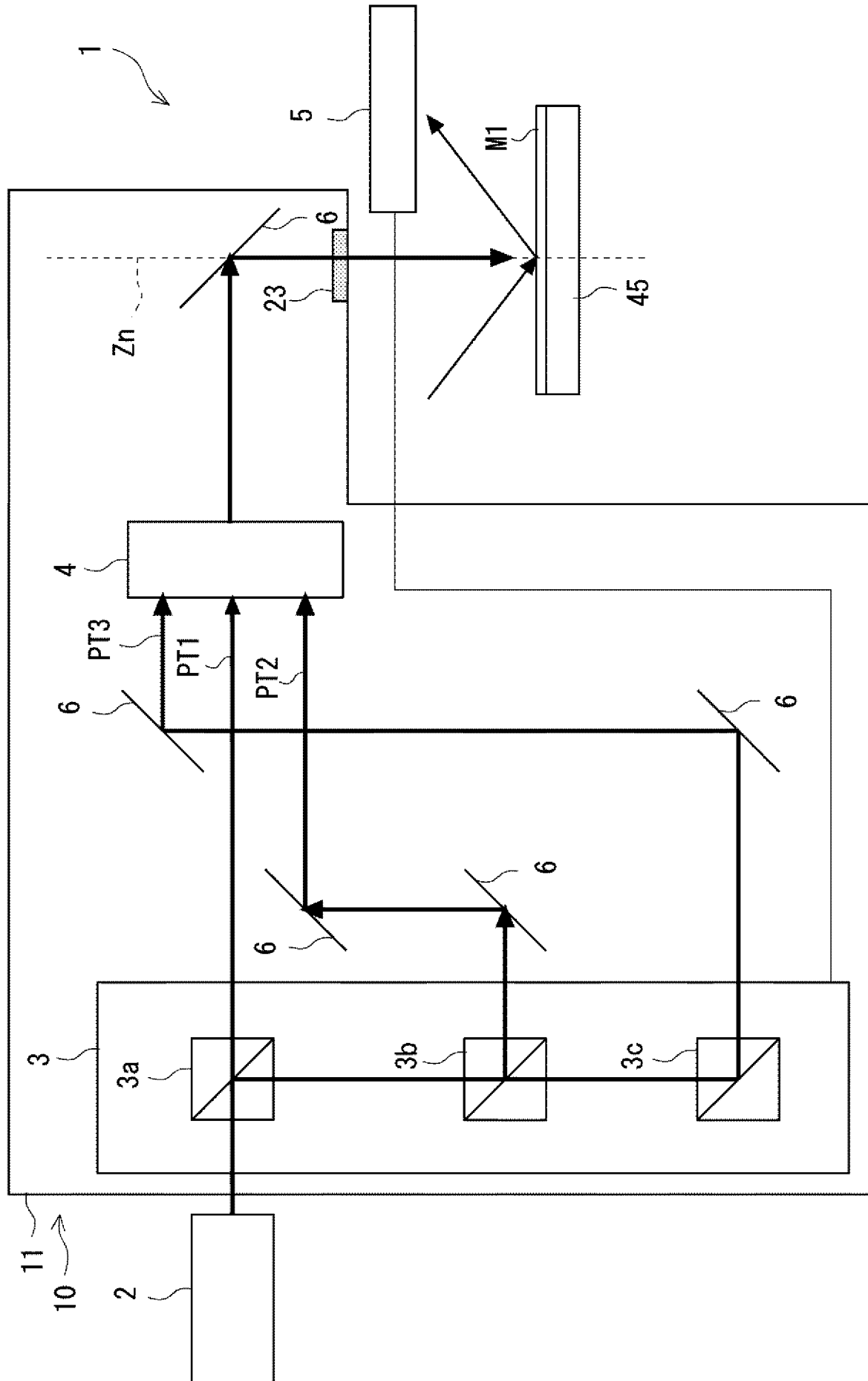
[請求項11] 前記工程 (a) と (b) の間で、前記半導体膜の温度を測定する工程を含む請求項 9 または 10 に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項12] 前記工程 (a) において、前記半導体膜は非晶質状態であり、前記工程 (b) の後、前記半導体膜は多結晶状態となる請求項 9 ～ 11 のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。

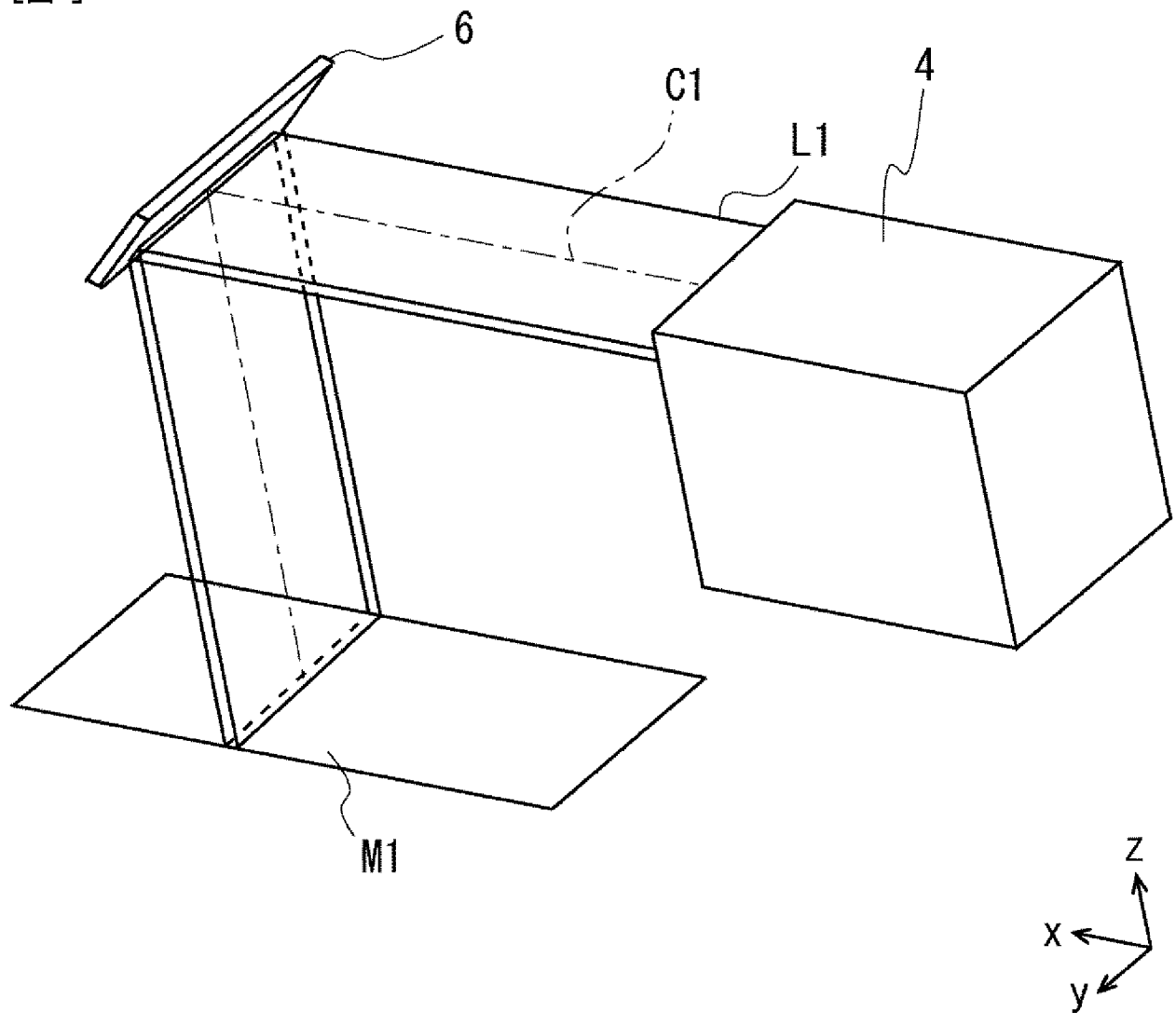
[請求項13] 前記半導体膜は薄膜トランジスターを構成する請求項 9 ～ 12 のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。

- [請求項14] 前記薄膜トランジスタはディスプレイの制御に用いられる請求項13に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項15] 前記半導体膜はシリコンを主成分とする請求項9～14のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項16] 以下の工程を含む半導体装置の製造方法：
- (a) 第1のエネルギー強度を有する第1のレーザ光を半導体膜に照射する工程；
 - (b) 前記工程(a)の後、前記半導体膜の温度を測定する工程；
 - (c) 前記工程(b)の後、前記半導体膜の温度が100℃以上かつ凝固点以下の範囲となったときに、前記第1のエネルギー強度より小さい第2のエネルギー強度を有する第2のレーザ光を前記半導体膜に照射する工程；
 - (d) 前記工程(c)の後、前記半導体膜の温度を測定する工程；
 - (e) 前記工程(d)の後、前記半導体膜の温度が100℃以上かつ凝固点以下の範囲となったときに、前記第2のエネルギー強度と同一のエネルギー強度の第3のエネルギー強度を有する第3のレーザ光を前記半導体膜に照射する工程。
- [請求項17] 前記工程(a)において、前記半導体膜は非晶質状態であり、前記工程(e)の後、前記半導体膜は多結晶状態となる請求項16に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項18] 前記半導体膜は薄膜トランジスタを構成する請求項16または17に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項19] 前記薄膜トランジスタはディスプレイの制御に用いられる請求項18に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項20] 前記半導体膜はシリコンを主成分とする請求項16～19のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。

[図1]

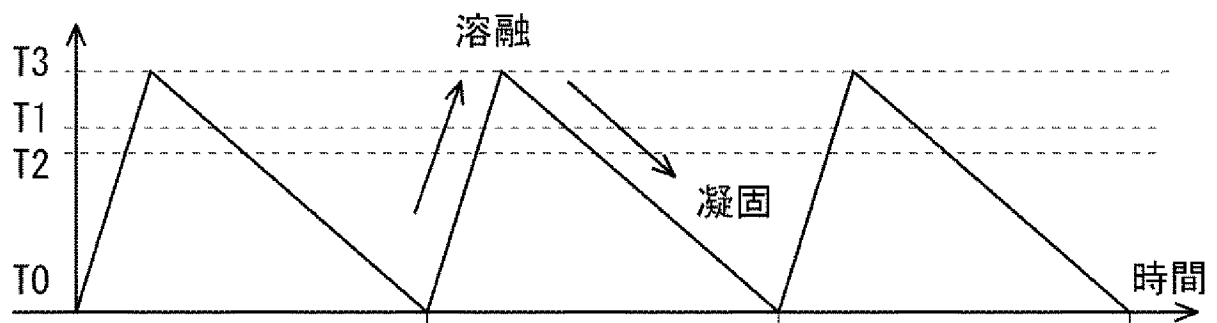


[図2]

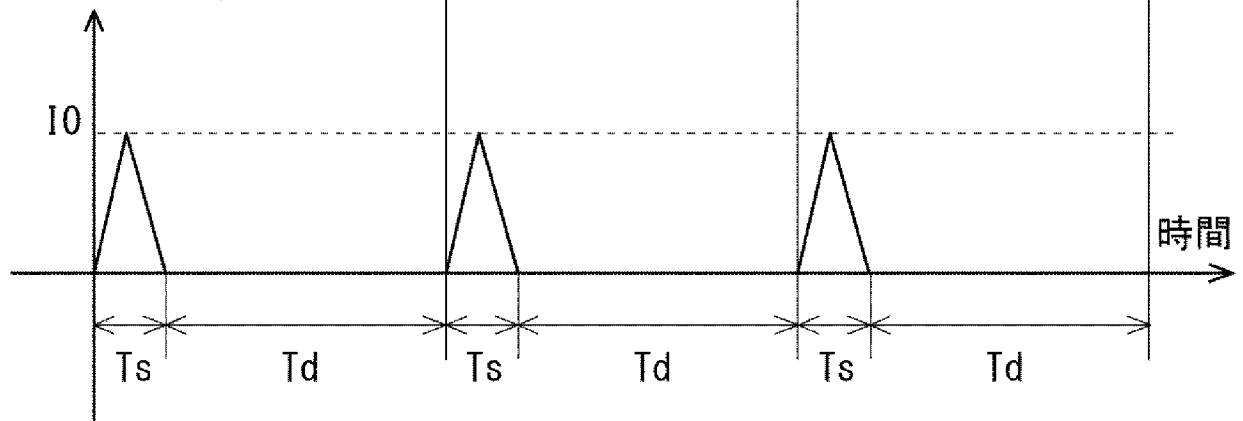


[図3]

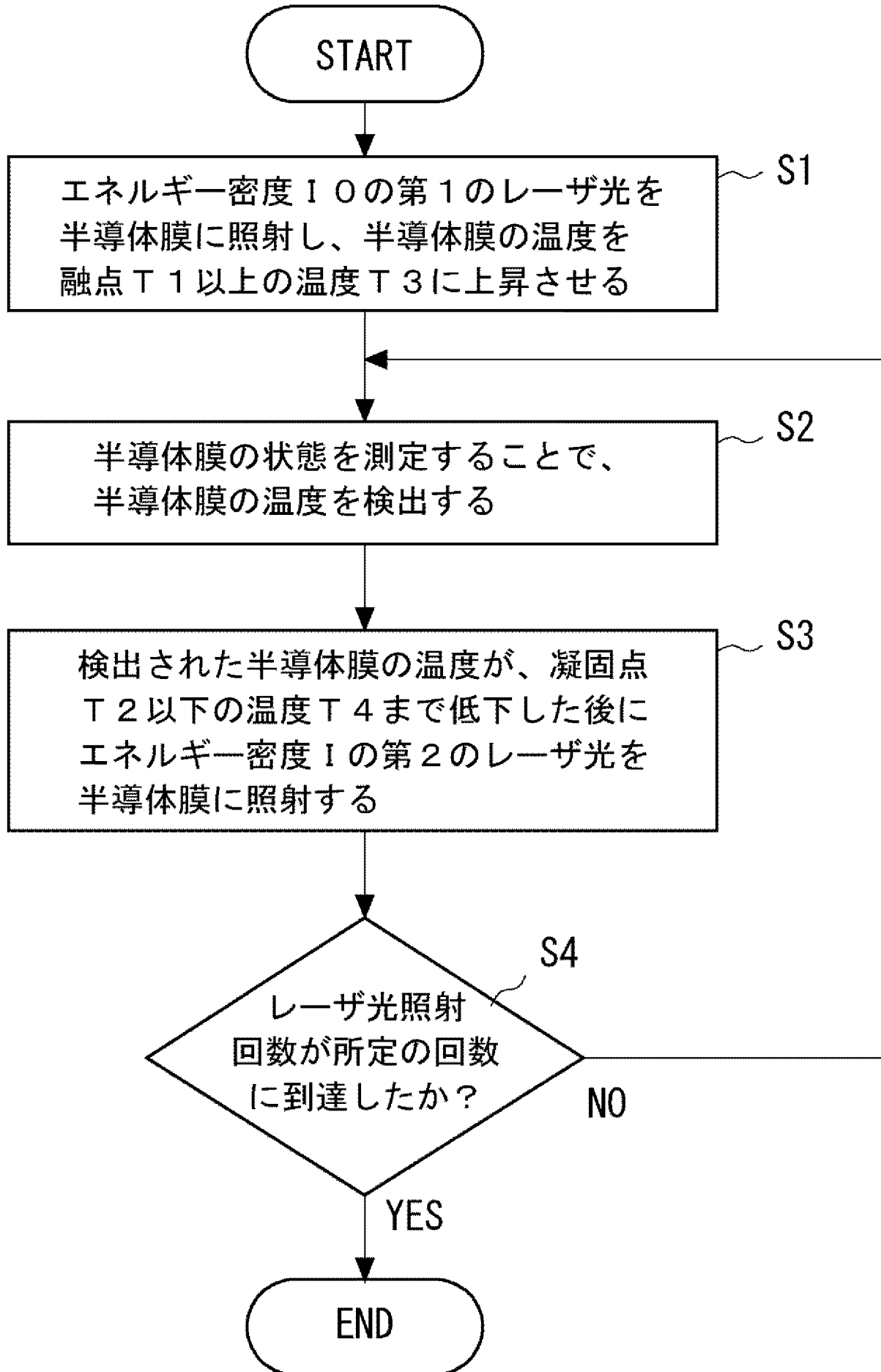
半導体膜
の温度



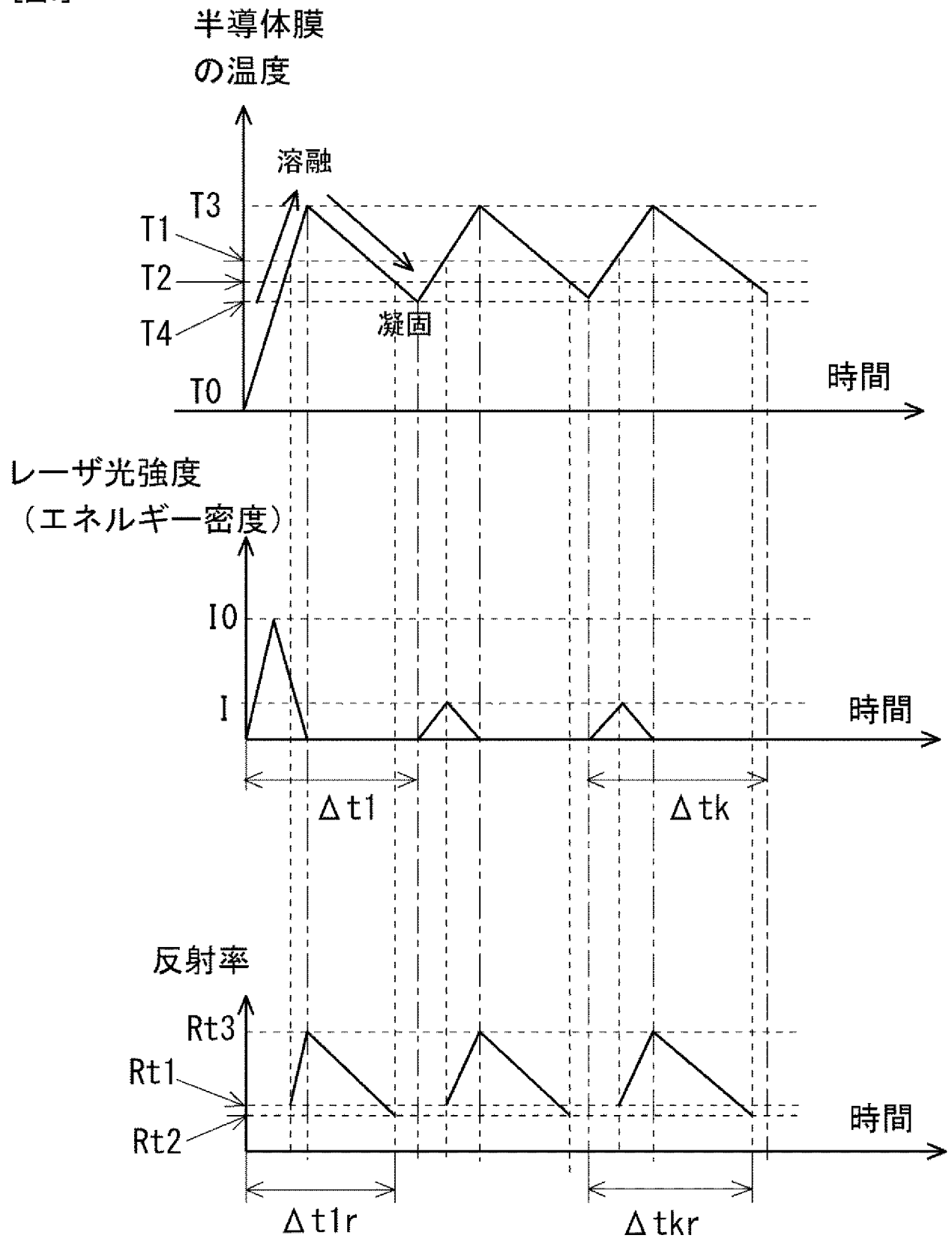
レーザ光強度
(エネルギー密度)



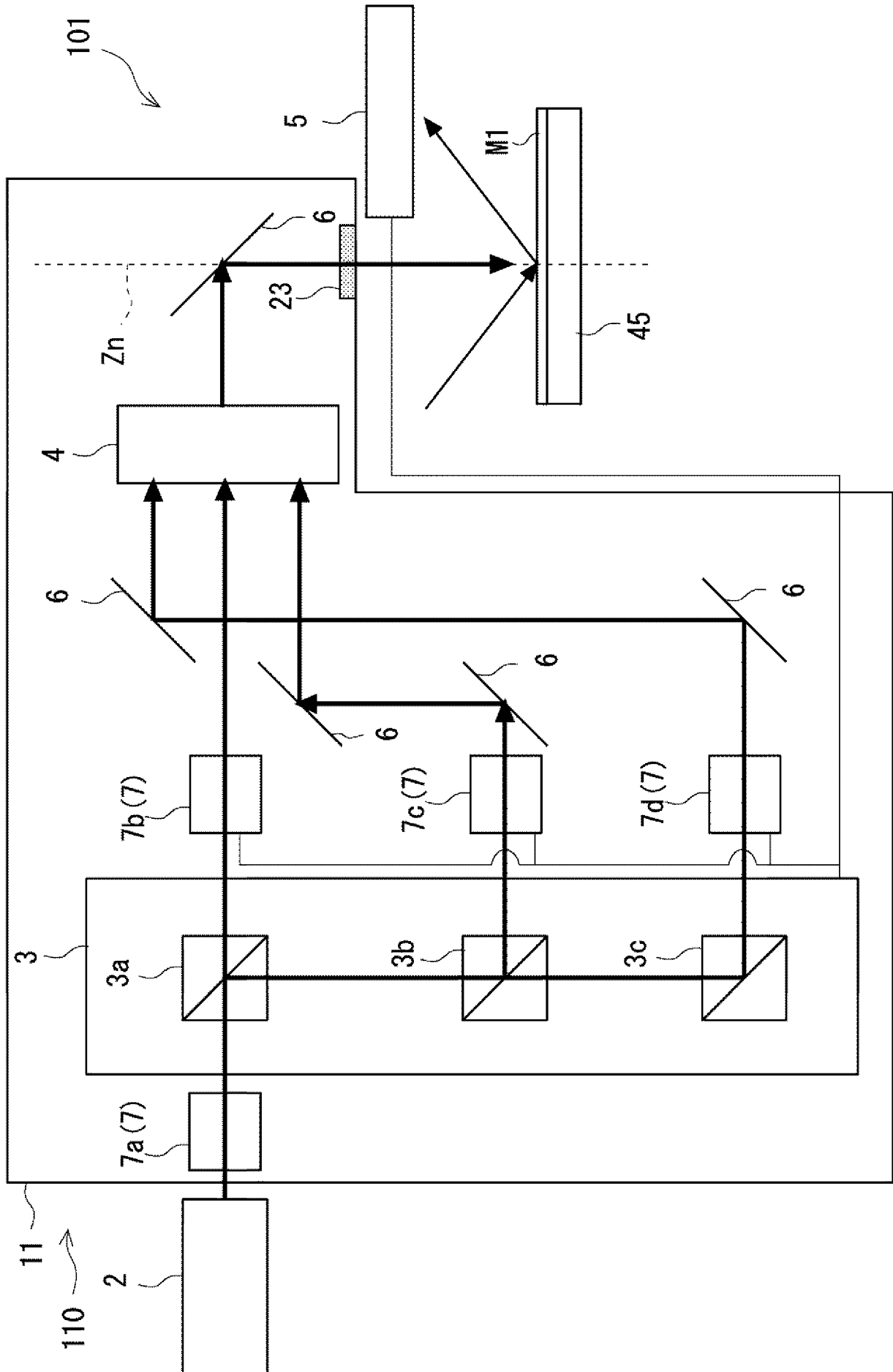
[図4]



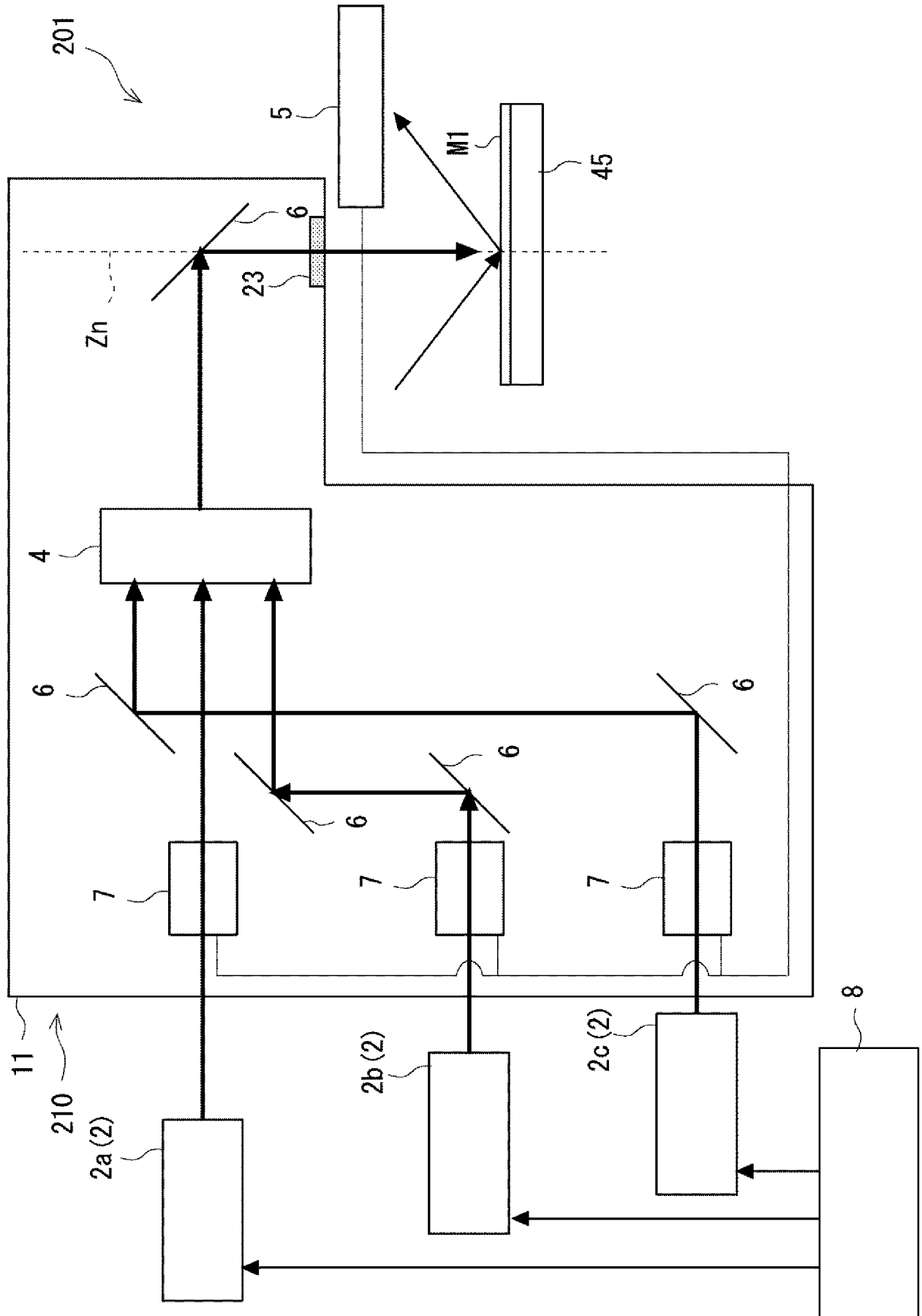
[図5]



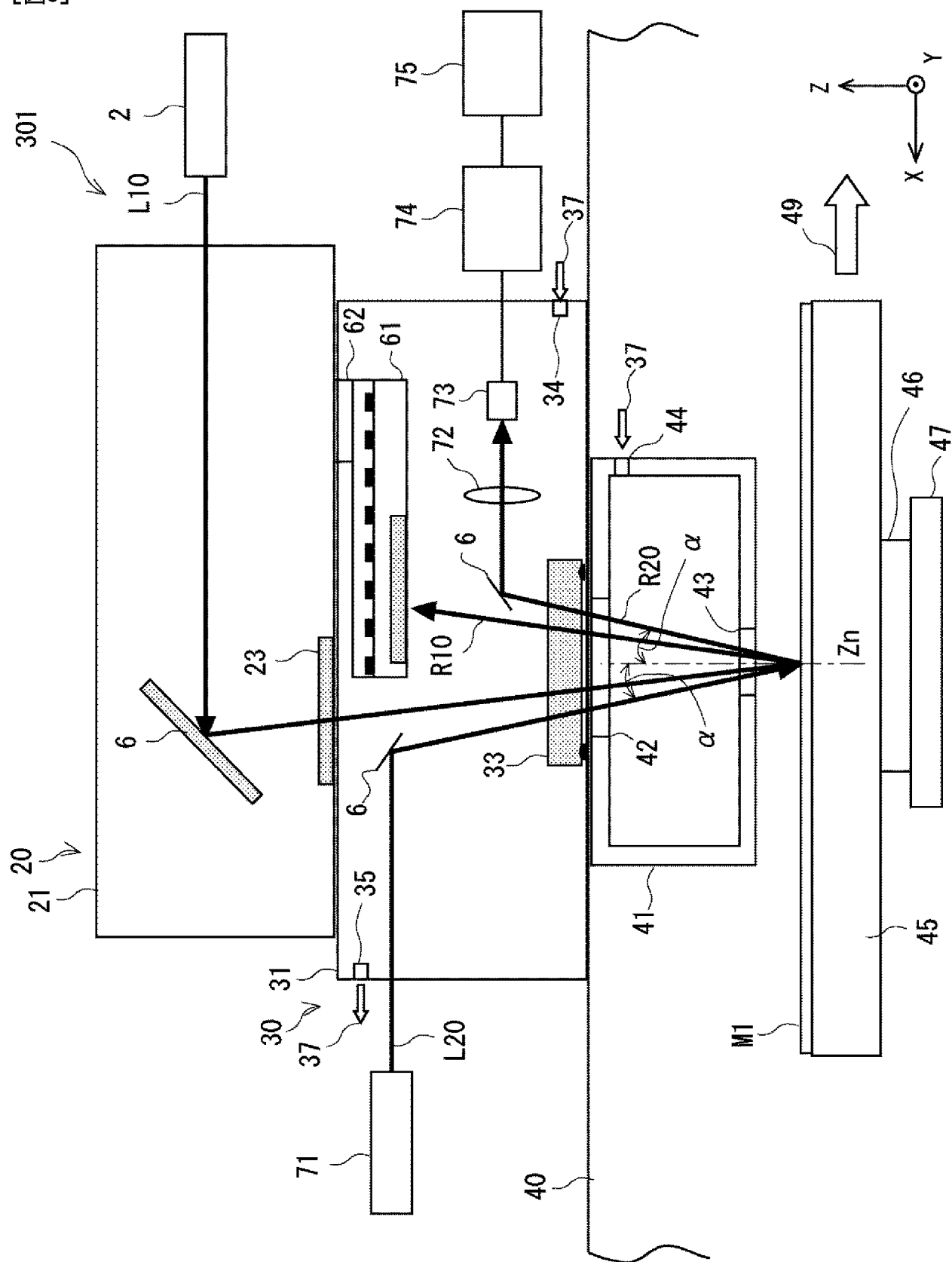
[図6]



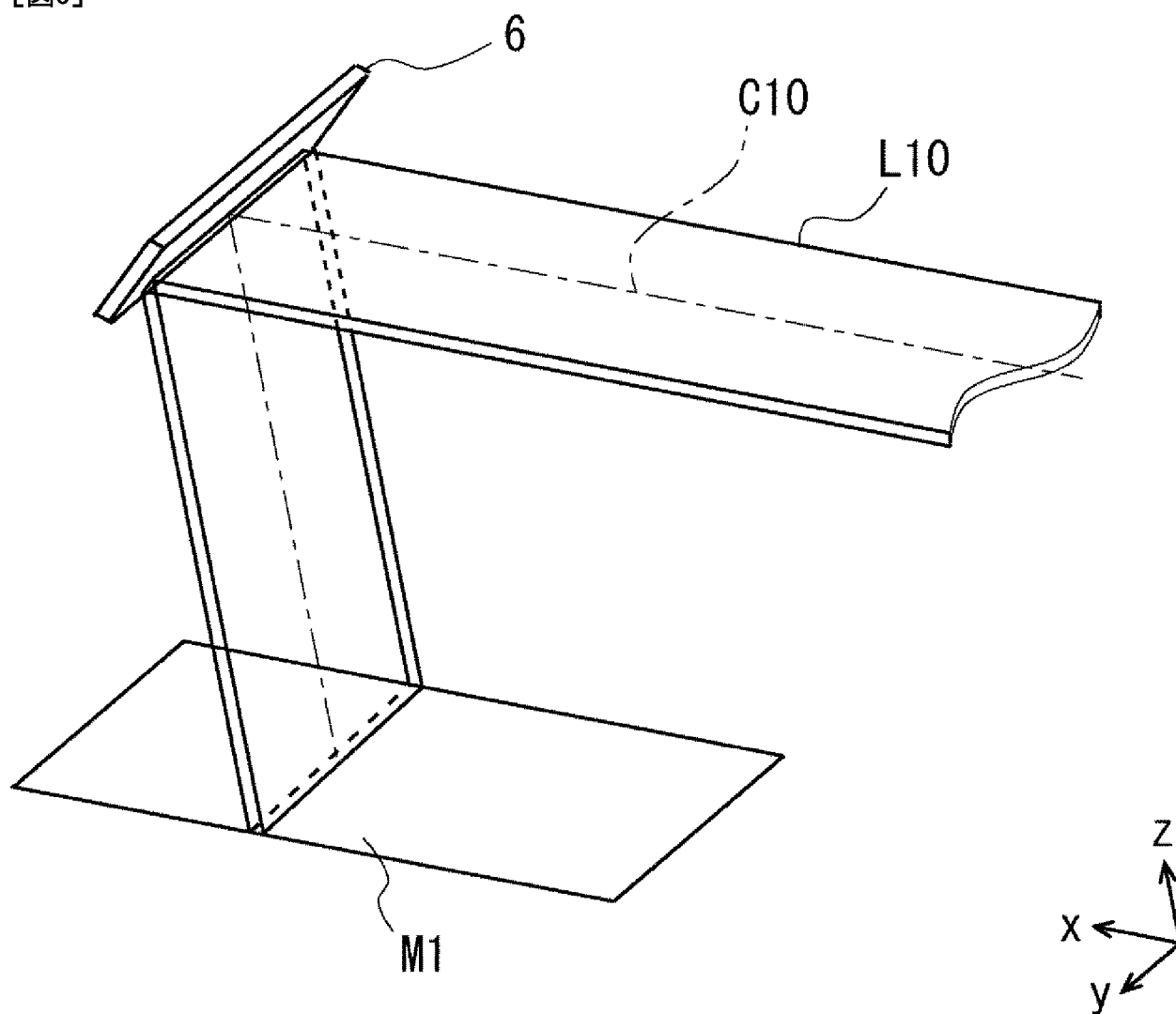
[図7]



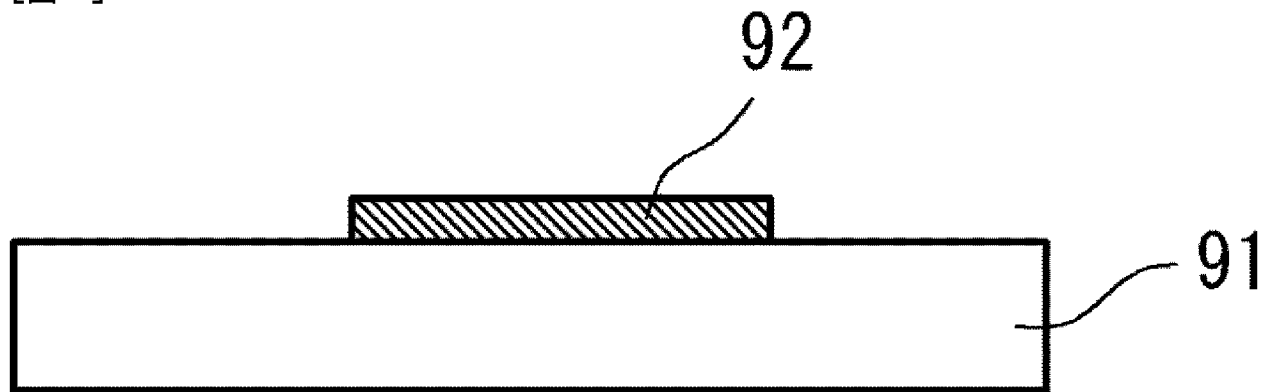
[図8]



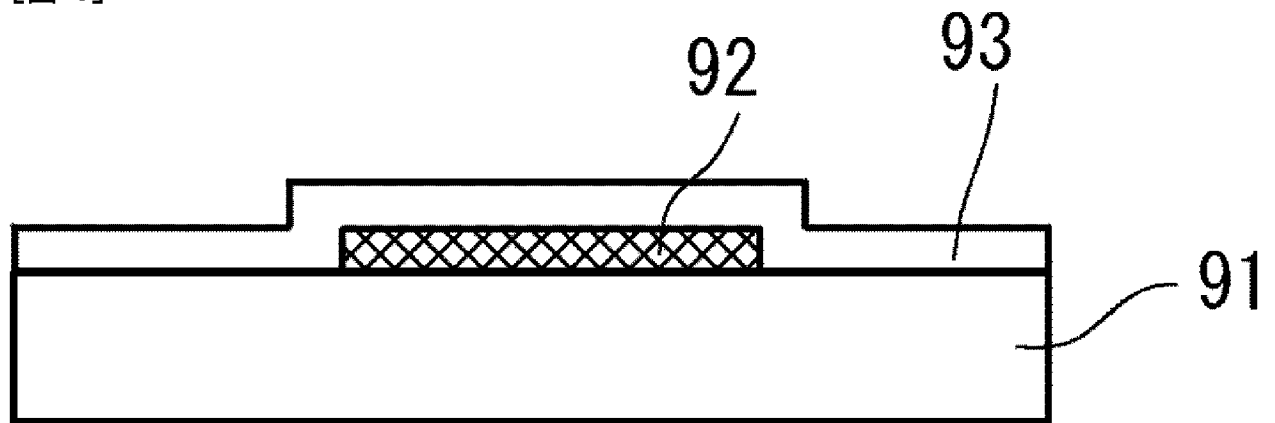
[図9]



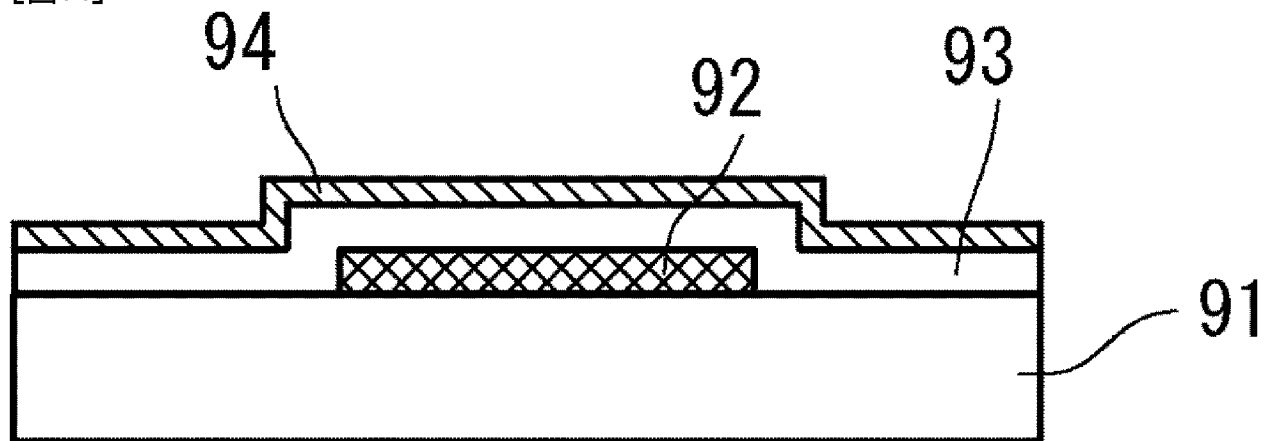
[図12]



[図13]

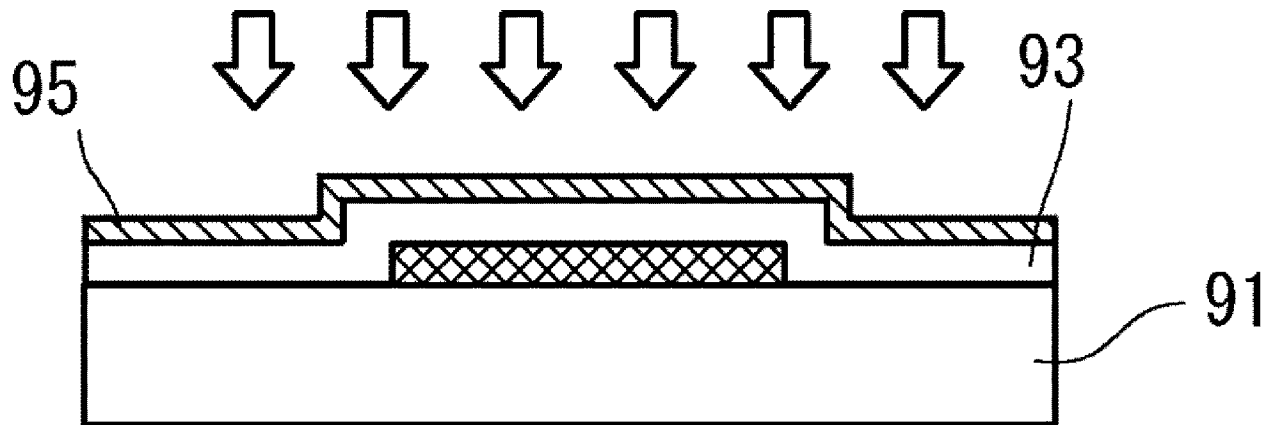


[図14]

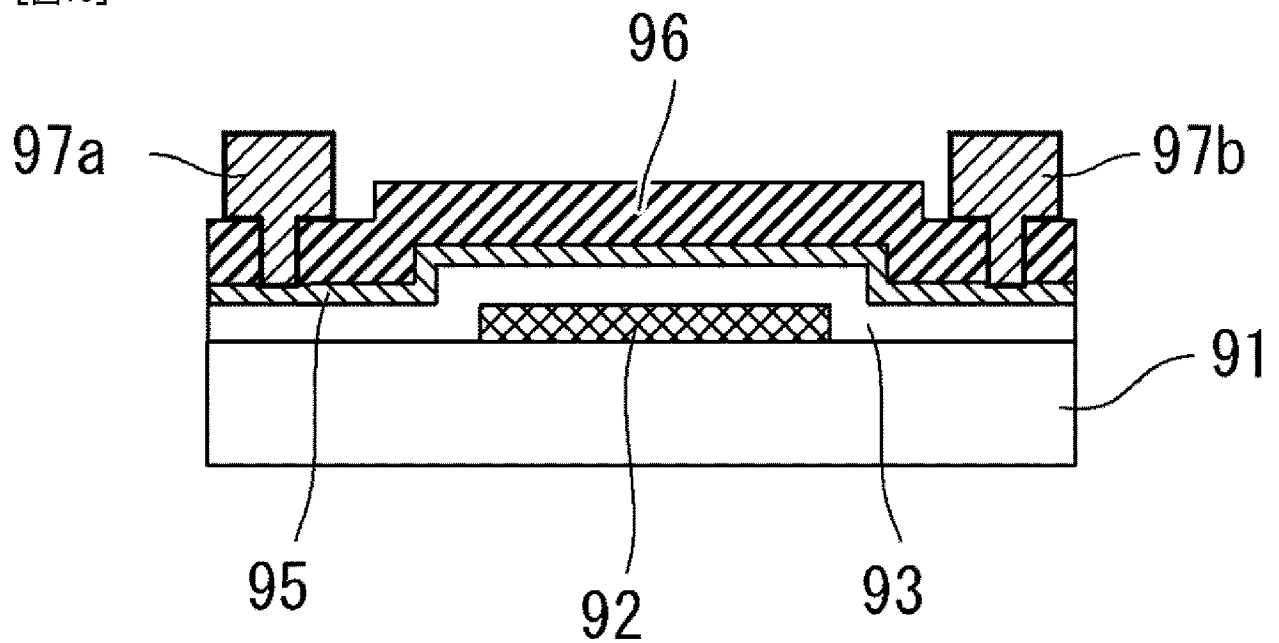


[図15]

レーザーアニール



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/003564

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H01L21/20 (2006.01) i

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)

Int.Cl. H01L21/20

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-135192 A (SHARP CORPORATION) 25 May 2006 (Family: none)	1-20
A	JP 2014-29965 A (JAPAN STEEL WORKS LTD.) 13 February 2014 (Family: none)	1-20
A	JP 2007-258234 A (NARA INST OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 04 October 2007 (Family: none)	1-20



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22.02.2018

Date of mailing of the international search report

06.03.2018

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office

3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,

Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/003564

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-158822 A (SEMICONDUCTOR ENERGY LABORATORY CO., LTD.) 16 July 2009 (Family: none)	1-20
A	JP 2004-6876 A (NEC CORPORATION) 08 January 2004 (Family: none)	1-20
A	JP 2001-338893 A (TOSHIBA CORPORATION) 07 December 2001 (Family: none)	1-20
A	JP 2002-270510 A (SEMICONDUCTOR ENERGY LABORATORY CO., LTD.) 20 September 2002 & US 2002/0132402 A1 & CN 1362728 A	1-20
A	JP 5-31354 A (SEIKO EPSON CORPORATION) 09 February 1993 (Family: none)	1-20
A	JP 2012-2905 A (V TECHNOLOGY CO., LTD.) 05 January 2012 & WO 2011/158646 A1 & TW 201219830 A	1-20

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L21/20(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L21/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2006-135192 A（シャープ株式会社）2006.05.25,（ファミリーなし）	1-20
A	JP 2014-29965 A（株式会社日本製鋼所）2014.02.13,（ファミリーなし）	1-20
A	JP 2007-258234 A（国立大学法人 奈良先端科学技術大学院大学）2007.10.04,（ファミリーなし）	1-20

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

22.02.2018

国際調査報告の発送日

06.03.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

河合 俊英

50

3238

電話番号 03-3581-1101 内線 3559

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2009-158822 A (株式会社半導体エネルギー研究所) 2009. 07. 16, (ファミリーなし)	1-20
A	JP 2004-6876 A (日本電気株式会社) 2004. 01. 08, (ファミリーなし)	1-20
A	JP 2001-338893 A (株式会社東芝) 2001. 12. 07, (ファミリーなし)	1-20
A	JP 2002-270510 A (株式会社半導体エネルギー研究所) 2002. 09. 20, & US 2002/0132402 A1 & CN 1362728 A	1-20
A	JP 5-31354 A (セイコーエプソン株式会社) 1993. 02. 09, (ファミリーなし)	1-20
A	JP 2012-2905 A (株式会社バイ・テクノロジー) 2012. 01. 05, & WO 2011/158646 A1 & TW 201219830 A	1-20