

(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
2020年9月10日(10.09.2020)



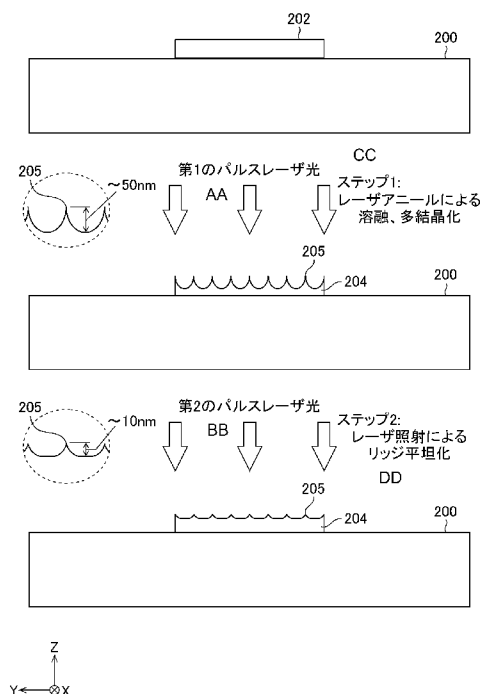
(10) 国際公開番号

WO 2020/179056 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/20 (2006.01) H01L 21/336 (2006.01)
H01L 21/268 (2006.01) H01L 29/786 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/009078
- (22) 国際出願日: 2019年3月7日(07.03.2019)
- (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: ギガフォトン株式会社(GIGAPHOTON INC.) [JP/JP]; 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 Tochigi (JP). 国立大学法人九州大学(KYUSHU UNIVERSITY, NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION) [JP/JP]; 〒8190395 福岡県福岡市西区元岡744 Fukuoka (JP).
- (72) 発明者: 妹川 要 (IMOKAWA, Kaname); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 納富 良一(NOHDOMI, Ryoichi); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 若林 理(WAKABAYASHI, Osamu); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 池上 浩(IKENOUE, Hiroshi); 〒8190395 福岡県福岡市西区元岡744 国立大学法人九州大学内 Fukuoka (JP).
- (74) 代理人: 松浦 憲三(MATSUURA, Kenzo); 〒1630223 東京都新宿区西新宿二丁目6番1号 新宿住友ビル23階 私書箱第176号 新都心国際特許事務所 Tokyo (JP).

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING SEMICONDUCTOR CRYSTAL THIN FILM, AND LASER ANNEALING SYSTEM

(54) 発明の名称: 半導体結晶薄膜の製造方法、及びレーザアニールシステム



AA First pulsed laser beam
BB Second pulsed laser beam
CC Step 1: Melting and polycrystallization by laser annealing
DD Step 2: Flattening of ridges by laser irradiation

(57) Abstract: A method for manufacturing a semiconductor crystal thin film according to an aspect of the present disclosure involves: irradiating an amorphous semiconductor with a first pulsed laser beam having a first pulse time width to polycrystallize the amorphous semiconductor; and irradiating the polycrystallized region of the semiconductor crystal with a second pulsed laser beam having a second pulse time width that is shorter than the first pulse time width to reduce the height of ridges on the semiconductor crystal.

[続葉有]

(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, 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:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約: 本開示の一観点に係る半導体結晶薄膜の製造方法は、第1のパルス時間幅の第1のパルスレーザ光を非晶質半導体に照射することによって非晶質半導体を多結晶化することと、多結晶化した半導体結晶の領域に、第1のパルス時間幅よりも短い第2のパルス時間幅の第2のパルスレーザ光を照射することにより半導体結晶のリッジの高さを低減させることと、を含む。

明 細 書

発明の名称：

半導体結晶薄膜の製造方法、及びレーザアニールシステム

技術分野

[0001] 本開示は、半導体結晶薄膜の製造方法、及びレーザアニールシステムに関する。

背景技術

[0002] ガラス基板を用いたフラットパネルディスプレイの駆動素子には薄膜トランジスタ（T F T : Thin Film Transistor）が用いられている。高精細ディスプレイの実現には、駆動力の高いT F Tの作製が必要となる。T F Tのチャネル材である半導体薄膜には、多結晶シリコンやI G Z O（Indium gallium zinc oxide）などが用いられている。多結晶シリコンやI G Z Oは、アモルファスシリコンよりもキャリア移動度が高く、トランジスタのオン／オフ特性に優れている。

[0003] また、半導体薄膜は、より高機能なデバイスを実現する3 D－I Cへの適用も期待されている。3 D－I Cは、集積回路デバイスの最上層にセンサや増幅回路、C M O S回路などの能動素子を形成することにより実現される。そのため、より高品質な半導体薄膜を製造する技術が求められている。

[0004] さらに、情報端末機器の多様化にともない、小型・軽量で消費電力が少なく自由に折り曲げが可能なフレキシブルディスプレイやフレキシブルコンピュータに対する要求が高まりつつある。そのため、P E T（Polyethylene terephthalate）などのプラスチック基板上に高品質な半導体薄膜を形成する技術の確立が求められている。

[0005] ガラス基板上、集積回路上、あるいはプラスチック基板上に高品質な半導体薄膜を形成するためには、これらの基板に熱損傷を与えることなく半導体薄膜の結晶化を行う必要がある。ディスプレイに用いられるガラス基板では4 0 0℃、集積回路では4 0 0℃、プラスチック基板であるP E Tでは

200℃以下のプロセス温度が求められている。

[0006] 半導体薄膜の下地基板に熱損傷を与えることなく結晶化を行う技術としてレーザアニール法が用いられている。この方法では、熱拡散による基板への損傷を抑制するため、上層の半導体薄膜で吸収されるパルス紫外レーザ光が用いられる。

[0007] 半導体薄膜がシリコンである場合には、波長351nmのXeFエキシマレーザ、波長308nmのXeClエキシマレーザ、波長248nmのKrFエキシマレーザなどが用いられる。これら紫外領域のガスレーザは、固体レーザと比較してレーザ光の干渉性が低く、レーザ光照射面でのエネルギー均一性に優れ、高いパルスエネルギーで広い領域を均一にアニールできるという特徴を有する。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：米国特許出願公開第2005/0211987号

特許文献2：特開2007-287866号公報

特許文献3：米国特許第6117752号

特許文献4：米国特許出願公開第2018/0040718号

特許文献5：国際公開第2018/047220号

概要

[0009] 本開示の1つの観点に係る半導体結晶薄膜の製造方法は、第1のパルス時間幅の第1のパルスレーザ光を非晶質半導体に照射することによって非晶質半導体を多結晶化することと、第1のパルスレーザ光が照射されて多結晶化した半導体結晶の領域に、第1のパルス時間幅よりも短い第2のパルス時間幅の第2のパルスレーザ光を照射することにより半導体結晶のリッジの高さを低減させることと、を含む。

[0010] 本開示の他の1つの観点に係るレーザアニールシステムは、第1のパルス時間幅の第1のパルスレーザ光と第1のパルス時間幅よりも短い第2のパルス時間幅の第2のパルスレーザ光を出力するレーザシステムと、第1のパル

スレーザ光及び第２のパルスレーザ光を被照射物に照射するレーザアニール装置と、を含み、レーザアニール装置は、第１のパルスレーザ光及び第２のパルスレーザ光を被照射物に導く照射光学系と、被照射物に対する第１のパルスレーザ光及び第２のパルスレーザ光の照射位置を相対的に移動させる移動機構と、第１のパルスレーザ光を被照射物に照射し、第１のパルスレーザ光の照射後に、被照射物における第１のパルスレーザ光が照射された領域に第２のパルスレーザ光を照射するようにレーザシステムを制御する制御部と、を含む。

図面の簡単な説明

[0011] 本開示のいくつかの実施形態を、単なる例として、添付の図面を参照して以下に説明する。

[図1]図１は、レーザ光のパルス時間幅の説明図である。

[図2]図２は、例示的なレーザアニールシステムの構成を概略的に示す。

[図3]図３は、マスクのパターンとマスクを照明するラインビームとの関係の例を示す平面図である。

[図4]図４は、被照射物に対するラインビームのスキャン照射の例を示す平面図である。

[図5]図５は、図４中の破線円で囲んだ部分の拡大図である。

[図6]図６は、レーザアニールシステムにおける動作の例を示すフローチャートである。

[図7]図７は、図６のステップＳ１２に適用されるサブルーチンの例を示すフローチャートである。

[図8]図８は、図６のステップＳ１４に適用されるサブルーチンの例を示すフローチャートである。

[図9]図９は、図６のステップＳ２０に適用されるサブルーチンの例を示すフローチャートである。

[図10]図１０は、図６のステップＳ２２に適用されるサブルーチンの例を示すフローチャートである。

[図11]図11は、レーザアニールによる半導体結晶薄膜の製造プロセスの模式図である。

[図12]図12は、実施形態1に係る半導体結晶薄膜の製造プロセスを例示的に示す模式図である。

[図13]図13は、試験の際に適用したレーザ光の照射条件を示す図表である。

[図14]図14は、レーザ光のパルス波形の例を示すグラフである。

[図15]図15は、光学パルスストレッチシステムの構成例を示す。

[図16]図16は、マスクパターンと結晶成長の例を示す。

[図17]図17は、実施形態1に係るレーザアニールシステムの構成を概略的に示す。

[図18]図18は、実施形態1におけるリッジ平坦化時のビームスキャン照射の例を示す平面図である。

[図19]図19は、実施形態1に係るレーザアニールシステムにおける動作の例を示すフローチャートである。

[図20]図20は、図19のステップS13に適用されるサブルーチンの例を示すフローチャートである。

[図21]図21は、図19のステップS21に適用されるサブルーチンの例を示すフローチャートである。

[図22]図22は、図19のステップS24に適用されるサブルーチンの例を示すフローチャートである。

[図23]図23は、図19のステップS26に適用されるサブルーチンの例を示すフローチャートである。

[図24]図24は、図19のステップS28に適用されるサブルーチンの例を示すフローチャートである。

[図25]図25は、実施形態2に係るレーザアニールシステムの構成を概略的に示す。

[図26]図26は、実施形態3に係るレーザアニールシステムの構成を概略的

に示す。

[図27]図 2 7 は、マスクのパターンとマスクを照明するラインビームの関係の例を示す平面図である。

[図28]図 2 8 は、被照射物に対するラインビームのスキャン照射の例を示す平面図である。

[図29]図 2 9 は、実施形態 4 に係るレーザアニールシステムの構成を概略的に示す。

[図30]図 3 0 は、実施形態 5 に係るレーザアニールシステムの構成を概略的に示す。

[図31]図 3 1 は、実施形態 6 に係るレーザアニールシステムの構成を概略的に示す。

[図32]図 3 2 は、マスクとマスクに対するビームの照射領域の例を示す。

[図33]図 3 3 は、マスクのパターン領域に形成されている微細パターンの例を示す拡大図である。

[図34]図 3 4 は、実施形態 6 に係るレーザアニールシステムの動作の説明図である。

[図35]図 3 5 は、実施形態 7 に係るレーザアニールシステムの構成を概略的に示す。

[図36]図 3 6 は、実施形態 8 に係るレーザアニールシステムの構成を概略的に示す。

実施形態

[0012] ー 目次 ー

1. 用語の説明
2. レーザアニールシステムの全体説明
 2. 1 構成
 2. 2 動作
 2. 3 動作の例
 2. 4 その他

3. 課題

4. 実施形態 1

4. 1 半導体結晶薄膜の製造方法の概要

4. 2 照射条件に関する実施例

4. 3 マスクパターンと結晶成長の例

4. 4 レーザアニールシステムの構成

4. 5 動作

4. 6 動作の例

4. 7 作用・効果

4. 8 変形例

5. 実施形態 2

5. 1 構成

5. 2 動作

5. 3 作用・効果

6. 実施形態 3

6. 1 構成

6. 2 動作

6. 3 作用・効果

7. 実施形態 4

7. 1 構成

7. 2 動作

7. 3 作用・効果

7. 4 変形例

8. 実施形態 5

8. 1 構成

8. 2 動作

8. 3 作用・効果

8. 4 変形例

9. 実施形態6

9. 1 構成

9. 2 動作

9. 3 作用・効果

9. 4 変形例

10. 実施形態7

10. 1 構成

10. 2 動作

10. 3 作用・効果

10. 4 変形例

11. 実施形態8

11. 1 構成

11. 2 動作

11. 3 作用・効果

11. 4 変形例

12. その他

以下、本開示の実施形態について、図面を参照しながら詳しく説明する。以下に説明される実施形態は、本開示のいくつかの例を示すものであって、本開示の内容を限定するものではない。また、各実施形態で説明される構成及び動作の全てが本開示の構成及び動作として必須であるとは限らない。なお、同一の構成要素には同一の参照符号を付して、重複する説明を省略する。

[0013] 1. 用語の説明

図1は、レーザ光のパルス時間幅の説明図である。図1の縦軸は光強度 I [a. u.] であり、横軸は時間 t [ns] である。光強度 I [a. u.] は、光強度の波形のピーク値（最大光強度値）を1として規格化した値である。レーザ光のパルス時間幅の指標の1つとしてパルス時間幅 $\Delta T_{50\%}$ を用いることができる。パルス時間幅 $\Delta T_{50\%}$ は、図1に示されるように、最大光強

度値の50%値における時間の全幅をいう。

[0014] また、レーザ光のパルス時間幅の他の指標の1つとしてTISパルス時間幅 ΔT_{TIS} を用いることができる。

[0015] TISパルス時間幅 ΔT_{TIS} は、以下の式(1)によって定義される。

[0016] [数1]

$$\Delta T_{TIS} = \frac{\left[\int I(t) dt \right]^2}{\int I(t)^2 dt} \quad (1)$$

[0017] ここで、 t は時間である。 $I(t)$ は時間 t における光強度である。

[0018] 2. レーザアニールシステムの全体説明

2. 1 構成

図2は、例示的なレーザアニールシステムの構成を概略的に示す。レーザアニールシステム10は、レーザ装置20と、光路管25と、レーザアニール装置100と、を含む。光路管25は、レーザ装置20のレーザ光出射口とレーザアニール装置100のレーザ光入射口との間のレーザ光の光路上に配置される。

[0019] レーザ装置20は、紫外線のパルスレーザ光を出力するレーザ装置である。例えば、レーザ装置20は、 F_2 、 ArF 、 $XeCl$ 、又は XeF をレーザ媒質とする放電励起式レーザ装置であってよい。レーザ装置20は、マスターオシレータ(MO: Master Oscillator)30と、光学パルスストレッチャ(OPS: Optical Pulse Stretcher)システム32と、モニタモジュール34と、シャッタ36と、レーザ制御部38と、を含む。

[0020] マスターオシレータ30は、チャンバ40と、光共振器42と、充電器44と、パルスパワーモジュール(PPM)46と、を含む。

[0021] チャンバ40の中には、レーザ媒質を含むエキシマレーザガスが封入される。エキシマレーザガスは Ar 又は Kr 又は Xe 等の希ガスと、 F_2 又は Cl_2 等のハロゲンガスと、 He 又は Ne 等のバッファガスとを含む混合ガスであってよい。

- [0022] チャンバ40は、1対の電極48a及び48bと、ウィンドウ50及び52と、を含む。1対の電極48a及び48bは、チャンバ40内に配置される。電極48aは絶縁部材54に支持されている。電極48aは絶縁部材54のフィードスルーに埋め込まれた導電部56を介してPPM46と接続される。電極48bは図示しないリターンプレートに支持されており、リターンプレートは図示しない配線を用いてチャンバ40の内面と接続されている。
- [0023] PPM46は、スイッチ47と、いずれも図示しない昇圧トランス及び磁気圧縮回路と、を含む。PPM46は充電器44と接続される。充電器44は、PPM46の中の図示しない充電コンデンサを所定の電圧で充電する直流電源装置である。
- [0024] 光共振器42は、リアミラー60と出力結合ミラー62とを含んで構成される。リアミラー60は、平面基板に高反射膜がコートされる。出力結合ミラー62は、平面基板に部分反射膜がコートされる。チャンバ40は、光共振器42の光路上に配置される。
- [0025] OPSシステム32は、マスターオシレータ30とモニタモジュール34の間の光路上に配置される。OPSシステム32は、入射した光の一部を遅延させてパルスレーザ光の時間幅をストレッチする光学パルスストレッチャ(OPS)33を含む。
- [0026] OPS33は、ビームスプリッタ70と、凹面ミラー71～74と、を含む。ビームスプリッタ70は、マスターオシレータ30とモニタモジュール34の間の光路上に配置される。ビームスプリッタ70は入射するパルスレーザ光の一部を部分反射する膜がコートされている。
- [0027] 凹面ミラー71～74は、それぞれの焦点距離が同じであり、ビームスプリッタ70から反射したパルスレーザ光のビームが4枚の凹面ミラー71～74を高反射して、再びビームスプリッタ70に入射する位置でビームが転写されるように配置される。
- [0028] モニタモジュール34は、ビームスプリッタ76と、光センサ77と、を

含む。

- [0029] シャッタ 36 は、モニタモジュール 34 から出力されるパルスレーザ光の光路上に配置される。
- [0030] パルスレーザ光の光路は、図示しない筐体及び光路管 25 によってシールされ、 N_2 ガスなどを用いてパージされていてもよい。
- [0031] レーザアニール装置 100 は、照射光学システム 110 と、フレーム 170 と、XYZ 軸ステージ 172 と、テーブル 174 と、レーザアニール制御部 180 と、を含む。テーブル 174 上に被照射物 190 が固定される。
- [0032] 照射光学システム 110 は、高反射ミラー 121～123 と、アッテネータ 130 と、照明光学系 140 と、マスク 148 と、投影光学系 150 と、ウインドウ 160 と、筐体 164 と、を含む。
- [0033] 高反射ミラー 121 は、光路管 25 を通過したレーザ光がアッテネータ 130 を通過して高反射ミラー 122 に入射するように配置される。
- [0034] アッテネータ 130 は、高反射ミラー 121 と高反射ミラー 122 の間の光路上に配置される。アッテネータ 130 は、2 枚の部分反射ミラー 131 及び 132 と、それぞれの部分反射ミラー 131、132 の入射角度を可変する回転ステージ 135 及び 136 と、を含む。
- [0035] 高反射ミラー 122 は、アッテネータ 130 を通過したレーザ光が高反射ミラー 123 に入射するように配置される。高反射ミラー 123 は、入射したパルスレーザ光が照明光学系 140 のフライアイレンズ 145 に入射するように配置される。
- [0036] 照明光学系 140 は、フライアイレンズ 145 と、コンデンサレンズ 146 と、を含む。照明光学系 140 は、マスク 148 上における所定の照明領域を均一照明するための光学系であり、マスク 148 を矩形のビームでケラ照明するように配置される。マスク 148 上に照射される矩形のビームの X 軸方向のビーム幅を B_{mx} 、Y 軸方向のビーム幅を B_{my} とする。ここでは $B_{mx} < B_{my}$ を満たす矩形、すなわち、Y 軸方向を長軸方向とする矩形のビームとする。本明細書では矩形のビームを「ラインビーム」という。

- [0037] フライアイレンズ 145 は、例えば、フライアイレンズ 145 の焦点面とコンデンサレンズ 146 の前側焦点面とが一致するように配置され、コンデンサレンズ 146 は、コンデンサレンズ 146 の後側焦点面とマスク 148 の位置とが一致するように配置される。
- [0038] マスク 148 は、例えば、紫外光を透過する合成石英基板に、金属又は誘電体多層膜のパターンが形成されたマスクである。マスク 148 には、例えば、ラインアンドスペースのパターンが形成されている（図 3 参照）。
- [0039] 投影光学系 150 は、ウインドウ 160 を介して、マスク 148 の像が被照射物 190 の表面で結像するように配置される。投影光学系 150 は、複数のレンズ 152 の組合せレンズであって、縮小投影光学系であってもよい。
- [0040] ウインドウ 160 は、投影光学系 150 と被照射物 190 の間の光路上に配置される。ウインドウ 160 は、筐体 164 に設けられた穴に、図示しない O リング等を介して配置される。ウインドウ 160 は、エキシマレーザ光を透過する CaF_2 結晶や合成石英基板であって、両面に反射抑制膜がコートされてもよい。
- [0041] 筐体 164 には、窒素 (N_2) ガスの入口 166 と出口 168 とが配置されている。筐体 164 は、筐体 164 内に外気が混入するのを抑制するように図示しない O リング等を介してシールされていてもよい。 N_2 ガスの入口 166 は、図示しない N_2 ガス供給源と接続される。
- [0042] 照射光学システム 110 と XYZ 軸ステージ 172 はフレーム 170 に固定される。XYZ 軸ステージ 172 は、被照射物 190 に対するパルスレーザ光の照射位置を相対的に移動させる電動ステージである。テーブル 174 は XYZ 軸ステージ 172 の上に固定される。被照射物 190 はテーブル 174 の上に固定される。
- [0043] 被照射物 190 は、例えば、ガラス基板上にアモルファスシリコンがコートされた基板である。ここではシリコン薄膜を例に説明するが、半導体薄膜は、Si、Ge、SiGe、及び GeSn のうち少なくとも 1 つであってよ

い。

[0044] 図3は、マスク148のパターンとマスク148を照明するラインビームLBmの関係の例を示す平面図である。マスク148のパターンは、例えば、遮光部であるライン部148Lと、光通過部（非遮光部）であるスペース部148Sと、が交互に並ぶラインアンドスペースのパターンである。マスク148を均一照明するラインビームLBmの短軸方向（X軸方向）とライン部148Lのライン方向は平行であり、ラインビームLBmの長軸方向（Y軸方向）に複数本のライン部148Lが所定の間隔で配置される。

[0045] マスク148を介して被照射物190に照射されるレーザ光は、マスク148のパターンの像に対応したパターンを含むビーム群である。マスク148を介して被照射物190に照射されるレーザ光のパターンは、マスク148による遮光部を含めた全体として概ね矩形であるため、被照射物190に照射されるレーザ光についても「ラインビーム」と呼ぶ。

[0046] 被照射物190上におけるラインビームのX軸方向のビーム幅を B_x 、Y軸方向のビーム幅を B_y とすると、ここでは $B_x < B_y$ を満たすラインビームである（図4参照）。

[0047] 2. 2 動作

レーザアニール制御部180は、レーザアニール時の照射条件パラメータを読み込む。具体的には、レーザアニールを行う際の被照射物190上でのフルエンス F_a と、照射パルス数 N_a と、繰り返し周波数 f_a との各データを読み込む。

[0048] レーザアニール制御部180とレーザ制御部38との間で目標パルスエネルギー E_t 等の各種データや信号の送受信が行われる。レーザアニール制御部180は、レーザ装置20に調整発振をさせる。レーザ制御部38は、目標パルスエネルギー E_t のデータをレーザアニール制御部180から受信する。

[0049] レーザ制御部38は、目標パルスエネルギー E_t のデータを受信すると、シャッタ78を閉じ、目標パルスエネルギー E_t となるように充電器44を制御する。

- [0050] レーザ制御部38は、図示しない内部トリガ生成部によって内部トリガ信号を生成し、PPM46のスイッチ47に内部トリガ信号が入力される。その結果、マスターオシレータ30は自然発振する。
- [0051] マスターオシレータ30から出力されたパルスレーザ光はOPSシステム32によって、パルスレーザ光の時間幅がストレッチされる。OPSシステム32から出射されたパルスレーザ光は、モニタモジュール34のビームスプリッタ76によってサンプルされ、パルスエネルギーEが計測される。
- [0052] レーザ制御部38は、パルスエネルギーEと目標パルスエネルギー E_t との差 ΔE が0に近づくように、充電器44の充電電圧を制御する。
- [0053] レーザ制御部38は、 ΔE が許容範囲となったら、レーザアニール制御部180に外部トリガOK信号を送信し、シャッタ78を開ける。
- [0054] レーザアニール制御部180は、レーザ制御部38から外部トリガOK信号を受信する。
- [0055] その後、レーザアニール制御部180は、投影光学系150によってマスク148の像が転写される位置が初期位置となるようにXYZ軸ステージ172のX軸及びY軸を制御する。
- [0056] 続いて、レーザアニール制御部180は、マスク148の像が被照射物190の表面の位置に結像するようにXYZ軸ステージ172のZ軸を制御する。
- [0057] レーザアニール制御部180は、被照射物190の表面位置（すなわち、マスク148の像の位置）でのフルーエンスが目標のフルーエンス F_a となるように、アッテネータ130の透過率Tを計算する。
- [0058] 続いて、レーザアニール制御部180は、アッテネータ130の透過率がTとなるように、2つの部分反射ミラー131及び132の入射角度をそれぞれの回転ステージ135及び136によって制御する。
- [0059] 続いて、レーザアニール制御部180は、繰り返し周波数 f_a で被照射物190上のラインビーム幅 B_x である場合の照射パルス数が N_a となるようにXYZ軸ステージ172の移動速度 V_x を計算する。

- [0060] レーザアニール制御部 180 は、X 軸方向に V_x の速度でテーブル 174 が等速直線運動で移動するように XYZ 軸ステージ 172 を制御する。その結果、被照射物 190 の表面上をラインビームがテーブル 174 の移動方向と逆方向に V_x の速度で等速直線運動する。
- [0061] この間、レーザアニール制御部 180 は、繰り返し周波数 f_a の発光トリガ信号 T_r をレーザ制御部 38 に送信する。その結果、発光トリガ信号 T_r に同期して、マスターオシレータ 30 からパルスレーザ光が出力され、モニタモジュール 34 のビームスプリッタ 76 を透過したパルスレーザ光は、光路管 25 を介してレーザアニール装置 100 に入射する。
- [0062] レーザアニール装置 100 に入射したパルスレーザ光は、高反射ミラー 121 によって反射され、アッテネータ 130 を通過して減光され、高反射ミラー 122 によって反射される。
- [0063] 高反射ミラー 122 及び 123 を高反射したパルスレーザ光は、照明光学系 140 によって光強度が空間的に均一化されて、ラインビーム $L B m$ としてマスク 148 に入射する。
- [0064] マスク 148 を透過したパルスレーザ光は、投影光学系 150 によって被照射物 190 の表面に投影される。こうして、パルスレーザ光は、投影光学系 150 を通過して、転写結像した領域の被照射物 190 に照射される。その結果、被照射物 190 の表面でパルスレーザ光が照射された部分がレーザアニールされる。
- [0065] 図 4 は、被照射物に対するラインビームのスキャン照射の例を示す平面図である。図 5 は、図 4 中の破線円で囲んだ部分の拡大図である。
- [0066] 被照射物 190 の表面に照射されるラインビーム $L B a$ は、図 3 で説明したマスク 148 のラインアンドスペースの像パターンである。図 4 に示すように、被照射物 190 の表面に照射されるラインビーム $L B a$ は、X 軸方向のビーム幅が B_x 、Y 軸方向のビーム幅が B_y である。ラインビーム $L B a$ は、XYZ 軸ステージ 172 の移動によって、被照射物 190 に対して相対的に移動する。XYZ 軸ステージ 172 を X 軸の正の方向に移動させること

により、ラインビームL Bは被照射物190の表面をX軸の負の方向（図4において左方向）に移動する。

[0067] 図4には、被照射物190に対してスキャン照射初期位置SP i n iからスキャン照射終了位置SP a e n dまでラインビームL B aを移動させて被照射物190の表面にレーザ光を照射するスキャン照射の様子が示されている。スキャン照射初期位置SP a i n iからスキャン照射終了位置SP a e n dに向かうラインビームL B aの移動方向をレーザアニール時の「スキャン照射方向」という。

[0068] 図4において、被照射物190の表面のうちラインビームL B aが通過した領域、つまり、スキャン照射が行われた領域は、アモルファスシリコンが溶融し、結晶成長によりシリコンが多結晶化した結晶化領域190 pとなる。結晶化領域190 pはポリシリコン膜となる。被照射物190の表面のうちラインビームL B aが通過していない領域、つまり、スキャン照射が行われていない領域は、未だレーザ光が照射されておらず、アモルファス（非晶質）の状態のままのアモルファス領域190 aである。

[0069] 図4において破線円で囲んだ部分の拡大図を図5に示す。被照射物190の照射されるラインビームL B aにおけるマスク148の結像パターンのライン部ML Iのフルエンスは、スペース部MS Iよりも低くなる。このため、レーザアニールされた結晶の形態は、図5に示すように、被照射物190表面のライン部ML Iに対応する位置に結晶の核が生成され、各ライン部ML Iの間のスペース部MS IのY軸方向の略中央部で大きな結晶粒界192が生成される。

[0070] ラインビームL B aがX軸の負の方向に移動しながらスキャン照射が行われ、被照射物190に対するラインビームL B aの位置がスキャン照射終了位置SP a e n d（図4参照）に到達したら、XYZ軸ステージ172の移動を停止させる。

[0071] 2. 3 動作の例

図6は、レーザアニールシステム10における動作の例を示すフローチャ

ートである。図6のフローチャートに示す処理及び動作は、例えば、レーザアニール制御部180として機能するプロセッサがプログラムを実行することによって実現される。

[0072] ステップS10において、被照射物190がXYZ軸ステージ172のテーブル174上にセットされる。被照射物190は、図示しないワーク搬送ロボットやその他の自動搬送装置によってテーブル174上にセットされてよい。

[0073] ステップS12において、レーザアニール制御部180はレーザアニール時のレーザ照射条件パラメータの読み込み(1)を行う。レーザアニール時のレーザ照射条件パラメータを「レーザアニール条件のパラメータ」という。

[0074] ステップS14において、レーザアニール制御部180はレーザ装置20に調整発振を実施させる。レーザアニール制御部180は、繰り返し周波数 f で、レーザ装置20が目標パルスエネルギー E_t となるように調整発振させる。

[0075] ステップS16において、レーザアニール制御部180は被照射物190上でのラインビームLBの位置が初期位置となるようにXYZ軸ステージ172をX軸方向及びY軸方向に制御する。

[0076] ステップS18において、レーザアニール制御部180はマスク148の像が被照射物190の表面に結像するようにXYZ軸ステージ172をZ軸方向に制御する。

[0077] ステップS20において、レーザアニール制御部180はレーザアニール時の制御パラメータの計算と設定(1)を行う。具体的には、レーザアニール制御部180は、短軸方向のラインビーム幅 B_x の場合に、フルエンス F_a となるように、アッテネータ130の透過率 T_a の計算及び透過率 T_a の設定を行う。また、レーザアニール制御部180は、短軸方向のラインビーム幅 B_x の場合に、照射パルス数 N_a となるように、XYZ軸ステージ172の移動速度 V_x を計算し、移動速度 V_x の設定を行う。

- [0078] ステップS 2 2において、レーザアニール制御部 1 8 0はステップS 2 0における制御パラメータの設定に従い、レーザアニール時のビームスキャン照射を行う。このビームスキャン照射時には、設定された繰り返し周波数 f_a 、フルーエンス F_a 、及び照射パルス数 N_a の条件で被照射物 1 9 0に対してパルスレーザ光が照射される。
- [0079] ステップS 2 2の後、レーザアニール制御部 1 8 0は図 6のフローチャートを終了する。
- [0080] 図 7は、図 6のステップS 1 2に適用されるサブルーチンの例を示すフローチャートである。すなわち、図 7は、レーザアニール時のレーザ照射条件パラメータの読み込み（1）のステップにて実施される処理内容の例を示す。
- [0081] 図 7のステップS 3 1において、レーザアニール制御部 1 8 0はレーザアニール条件のパラメータの読み込みを行う。例えば、レーザアニール制御部 1 8 0は、レーザアニール処理を行う際の被照射物 1 9 0上でのフルーエンス F_a と、照射パルス数 N_a と、繰り返し周波数 f_a と、の各データを読み込む。ここで照射パルス数 N_a は2以上の整数とする。レーザアニール制御部 1 8 0はステップS 3 1の後、図 6のフローチャートに復帰する。
- [0082] 図 8は、図 6のステップS 1 4に適用されるサブルーチンの例を示すフローチャートである。すなわち、図 8は、レーザ装置の調整発振のステップにて実施される処理内容の例を示す。
- [0083] 図 8のステップS 4 0において、レーザアニール制御部 1 8 0は目標パルスエネルギー E_t と繰り返し周波数 f_a のデータをレーザ制御部 3 8に送信する。この場合の目標パルスエネルギー E_t と繰り返し周波数 f_a は、レーザ装置 2 0が安定して動作し得る定格のデータであることが好ましい。例えば、目標パルスエネルギー E_t は3 0 m Jから1 0 0 0 m Jの範囲内の値であってよい。また、繰り返し周波数 f_a は6 0 0 H zから6 0 0 0 H zの範囲内の値であってよい。また、レーザアニール制御部 1 8 0は、レーザ装置 2 0の定格のパルスエネルギーを目標パルスエネルギー E_t として予め記憶し、この値

を用いてもよい。

[0084] ステップS 4 2において、レーザアニール制御部 1 8 0はレーザ制御部 3 8からパルスエネルギーOK信号を受信したか否かを判定する。ステップS 4 2の判定処理は、例えば、レーザ装置 2 0から出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーEと目標パルスエネルギーE_tとの差が許容範囲に収まっているか否かの判定に相当する。

[0085] レーザアニール制御部 1 8 0は、ステップS 4 2の判定結果がY e s判定となるまで、ステップS 4 2を繰り返す。ステップS 4 2の判定結果がY e s判定となった場合、レーザアニール制御部 1 8 0は図 8のサブルーチンを抜けて、図 6のフローチャートに復帰する。

[0086] 図 9は、図 6のステップS 2 0に適用されるサブルーチンの例を示すフローチャートである。すなわち、図 9は、レーザアニール時の制御パラメータの計算と設定（1）のステップにて実施される処理内容の例を示す。

[0087] 図 9のステップS 5 0において、レーザアニール制御部 1 8 0はレーザアニール条件のフルーエンスF_aとなるアッテネータ 1 3 0の透過率T_aを計算する。

[0088] 被照射物 1 9 0表面のフルーエンスは以下の式（2）で表される。

$$[0089] \quad F = M^{-2} (T \cdot T_p \cdot E_t) / (B_x \cdot B_y) \quad (2)$$

式中のMは、投影光学系 1 5 0の倍率を表す。Mは、例えば1から1／5の範囲の値であってよい。

[0090] 式中のT_pは、アッテネータ 1 3 0が最大透過率時のレーザ装置 2 0から出力されたパルスレーザ光が、被照射物 1 9 0に到達するまでの光学系の透過率を表す。

[0091] 式（2）からアッテネータ 1 3 0の透過率T_aの計算式として次式（3）が得られる。

$$[0092] \quad T_a = (M^2 / T_p) (F_a / E_t) (B_x \cdot B_y) \quad (3)$$

レーザアニール制御部 1 8 0は式（3）からアッテネータ 1 3 0の透過率T_aを求める。

[0093] ステップS 5 2において、レーザアニール制御部 1 8 0はアッテネータ 1 3 0の透過率TをT aに設定する。すなわち、レーザアニール制御部 1 8 0は、アッテネータ 1 3 0の透過率TがT aとなるように、部分反射ミラー 1 3 1及び1 3 2の角度を制御する。

[0094] 次に、ステップS 5 4において、レーザアニール制御部 1 8 0はレーザアニール時のX Y Z軸ステージ 1 7 2のX軸方向の移動速度の絶対値V x aを計算する。V x aは次式(4)から計算できる。

$$[0095] \quad V x a = f a \cdot B x / N a \quad (4)$$

式(4)の導出は次のとおりである。

[0096] X Y Z軸ステージ 1 7 2のX軸方向の移動速度の絶対値をV x aとすると、レーザアニール時の照射パルス数N aは、次式(5)で表される。

$$[0097] \quad N a = f a \cdot B x / V x a \quad (5)$$

ここで、N aは同じ位置でパルスレーザ光が照射されるパルス数(N a ≥ 2)となる。

[0098] よって、移動速度の絶対値V x aは、式(5)を変形した式(4)から求めることができる。

[0099] ステップS 5 4の後、レーザアニール制御部 1 8 0は図9のフローチャートを終了して、図6のフローチャートに復帰する。

[0100] 図10は、図6のステップS 2 2に適用されるサブルーチンの例を示すフローチャートである。すなわち、図10は、レーザアニール時のビームスキャン照射のステップにて実施される処理内容の例を示す。

[0101] 図10のステップS 6 0において、レーザアニール制御部 1 8 0はX Y Z軸ステージ 1 7 2のX軸についての移動方向を規定するパラメータX aの値を「X a = 1」に設定する。「X a = 1」はX Y Z軸ステージ 1 7 2をX軸の「正の方向」に移動させることを表す。

[0102] ステップS 6 2において、レーザアニール制御部 1 8 0はX Y Z軸ステージ 1 7 2のX軸方向の移動速度V xを計算する。V xは、次の式(6)に従って決定される。

[0103] $V_x = X_a \cdot V_{xa}$ (6)

ステップS 6 4において、レーザアニール制御部1 8 0はステップS 6 2の計算結果に従い、X Y Z軸ステージ1 7 2のX軸方向の移動速度のパラメータ V_x をセットする。なお、実際には、ビームスキンの移動距離に対応して、加速、等速直線運動、及び減速のそれぞれが所定の時間で行われるようにパラメータをセットする。ここでは、説明を簡単にするために、等速直線運動時の速度の絶対値が V_{xa} である場合を例示する。

[0104] 式(6)から定まる V_x が正の場合は、X Y Z軸ステージ1 7 2をX軸の正の方向に移動させる。その結果、被照射物1 9 0の表面においてラインビームL Bは被照射物1 9 0に対して相対的にX軸の負の方向に移動する。

[0105] ステップS 6 6において、レーザアニール制御部1 8 0はX Y Z軸ステージ1 7 2の移動開始信号を送信する。この移動開始信号は、X Y Z軸ステージ1 7 2の移動を開始させる指令を行う制御信号である。レーザアニール制御部1 8 0から送信された移動開始信号に従い、X Y Z軸ステージ1 7 2が移動を開始する。

[0106] ステップS 6 8において、レーザアニール制御部1 8 0は繰り返し周波数 f_a で発光トリガ信号を出力する。

[0107] ステップS 7 0において、レーザアニール制御部1 8 0はX Y Z軸ステージ1 7 2のX軸方向の移動が終了したか否かの判定を行う。例えば、レーザアニール制御部1 8 0は図4で説明したスキャン照射終了位置S P a e n dに到達したか否かを判定する。ステップS 7 0の判定結果がN o判定である場合、レーザアニール制御部1 8 0はステップS 6 8に戻る。X Y Z軸ステージ1 7 2のX軸方向の移動が終了するまで、ステップS 6 8～S 7 0を繰り返す。ビームスキンの開始されてから停止するまでの間は、レーザアニール制御部1 8 0からレーザ制御部3 8に対し、X Y Z軸ステージ1 7 2のX軸方向への等速直線運動中に繰り返し周波数 f_a で発光トリガ信号を出力する。これにより、パルスレーザ光は繰り返し周波数 f_a で被照射物1 9 0のスキャン照射領域に照射される。

[0108] ステップS 7 0の判定結果がY e s判定である場合、すなわち、1つのスキャン照射領域に対するビームスキャン照射が完了して、X Y Z軸ステージ1 7 2のX軸方向の移動が終了すると、レーザアニール制御部1 8 0はステップS 7 2に進み、発光トリガ信号の出力を停止する。これにより、レーザ装置2 0からのパルスレーザ光の出力が停止される。

[0109] ステップS 7 2の後、レーザアニール制御部1 8 0は図1 0のフローチャートを終了し、図6のフローチャートに復帰する。

[0110] 2. 4 その他

図2から図1 0を用いて説明した例では、マスク1 4 8の結像パターンを被照射物1 9 0に導き、被照射物1 9 0の表面上にマスク1 4 8の結像パターンをスキャン照射することによってレーザアニールを実施する方式を示した。しかし、レーザアニールを実施する際のレーザ光の照射方式はこの例に限定されない。例えば、スキャン照射方式でなく、X Y Z軸ステージ1 7 2を固定して、照射パルス数N aに到達したら、X Y Z軸ステージ1 7 2を移動させて次の位置に位置決めしてパルスレーザ光を照射するステップアンドリピート方式であってもよい。

[0111] 3. 課題

図1 1は、レーザアニールによる半導体結晶薄膜の製造方法の模式図である。ここではガラス基板2 0 0の上にアモルファスシリコン膜2 0 2が配置された被照射物1 9 0の例が示されている。このアモルファスシリコン膜2 0 2にパルスレーザ光を照射してレーザアニールを実施すると、シリコンの溶融及び多結晶化により半導体結晶薄膜であるポリシリコン膜2 0 4が得られる。

[0112] ところが、レーザアニールによって生成した結晶の表面には、シリコンを溶融及び多結晶化させる過程で表面におよそ5 0 n m程度のリッジ2 0 5と呼ばれる突起（隆起部分）が発生する。例えば、膜厚が5 0 n mのアモルファスシリコン膜2 0 2をレーザアニールして形成されるポリシリコン膜2 0 4の表面に、高さ5 0 n m～7 0 n mのリッジが発生する場合がある。

[0113] このリッジ205は、ポリシリコン膜204を用いて形成される半導体素子の特性に大きな影響を与えるため、リッジ205の高さを抑制することが望まれる。リッジ205の問題については、特開2007-287866号公報の段落0052にも記載がある。例えば、ポリシリコン膜204を用いて形成される薄膜トランジスタの閾値電圧がリッジ205の影響によってばらつき、電源電圧を低くすることが困難になり得る。このような薄膜トランジスタを例えば液晶表示素子に適用した場合には消費電力の低減が困難である。

[0114] 4. 実施形態1

4. 1 半導体結晶薄膜の製造方法の概要

図12は、実施形態1に係る半導体結晶薄膜の製造方法を例示的に示す模式図である。実施形態1に係る半導体結晶薄膜の製造方法は、アモルファスシリコン膜202に第1のパルスレーザ光を照射してアモルファスシリコンを多結晶化すること（ステップ1）と、第1のパルスレーザ光の照射によって生成された多結晶のポリシリコン膜204のリッジ205に対して第2のパルスレーザ光を照射してリッジを平坦化すること（ステップ2）と、を含む。「リッジを平坦化する」とは、リッジの高さを低減することを意味する。

[0115] ステップ1はレーザアニールによる溶融及び多結晶化の工程である。ステップ2はステップ1で生成された多結晶のリッジをレーザ照射によって平坦化する工程である。ここでは説明の便宜上、ステップ1の動作を「レーザアニール」といい、ステップ2の動作を「リッジ平坦化」という。

[0116] レーザアニール時のレーザ光の照射条件には、フルーエンス F_a 、パルス時間幅 ΔT_a 、及び照射パルス数 N_a が含まれる。

[0117] リッジ平坦化時のレーザ光の照射条件には、フルーエンス F_r 、パルス時間幅 ΔT_r 、及び照射パルス数 N_r が含まれる。

[0118] レーザアニール時の照射条件とリッジ平坦化時の照射条件の関係として、第2のパルスレーザ光のパルス時間幅 ΔT_r は第1のパルスレーザ光のパル

ス時間幅 ΔT_a よりも短いものとする。すなわち、 $\Delta T_r < \Delta T_a$ である。

[0119] パルスレーザ光をリッジが形成された多結晶Si薄膜に適切なパルス幅及びフルーエンスで照射すると、リッジ部の形状効果による電界集中のため、リッジ部に与えられるレーザのパルスエネルギーが他の領域と比較して大きくなる。その結果、膜全体を溶融固化させることなく、リッジ部及びその周辺を部分溶融させることでリッジ部の結晶状態が改善し高さが制御できると考えられる。

[0120] 好ましくは追加の条件として、第2のパルスレーザ光のフルーエンス F_r は第1のパルスレーザ光のフルーエンス F_a よりも小さいものとする。すなわち、 $F_r < F_a$ であることが好ましい。さらなる追加の条件として、第2のパルスレーザ光の照射パルス数 N_r は第1のパルスレーザ光の照射パルス数 N_a よりも少ないものとする。すなわち $N_r < N_a$ であることが好ましい。

[0121] つまり、ステップ1のレーザアニール用のレーザ照射条件はアモルファスシリコンを完全溶融させる条件に設定され、ステップ2のリッジ平坦化用のレーザ照射条件はレーザアニールの多結晶化によって生成されたポリシリコンのリッジの部分を低くさせる条件に設定される。ステップ2のレーザ照射を実施することにより、ステップ1の多結晶化で発生したリッジ205の高さを10nm未満の高さに低減することができる。

[0122] 4. 2 照射条件に関する実施例

図13は、半導体結晶薄膜を生成する試験の際に適用した照射条件の例を示す図表である。図13に示される照射条件の組み合わせにより、リッジの高さが10nm未満に抑制された半導体結晶薄膜が得られることが確認された。図13に示されたリッジ平坦化用のパルスレーザ光の半値全幅のパルス時間幅 $\Delta T_{r50\%} = 14 \text{ ns}$ は、レーザアニール用のパルスレーザ光の半値全幅のパルス時間幅 $\Delta T_{a50\%} = 39 \text{ ns}$ の35.8%の時間幅となっている。リッジ平坦化用のパルスレーザ光の半値全幅のパルス時間幅は、レーザアニール用のパルスレーザ光のパルス時間幅の40%以下の時間幅であることが

好ましい。

[0123] また、図13に示されたリッジ平坦化用のパルスレーザ光のTISのパルス時間幅 $\Delta T_{r_{TIS}} = 47 \text{ ns}$ は、レーザアニール用のパルスレーザ光のTISのパルス時間幅 $\Delta T_{a_{TIS}} = 87 \text{ ns}$ の54.0%の時間幅となっている。リッジ平坦化用のパルスレーザ光のTISのパルス時間幅は、レーザアニール用のパルスレーザ光のパルス時間幅の60%以下の時間幅であることが好ましい。

[0124] また、図13には示さないが、リッジ平坦化時の照射条件としてのフルーエンス F_a と照射パルス数 N_a の組み合わせの好ましい例として、 $(F_a, N_a) = (50, 20), (100, 10), (150, 10), (200, 1)$ などがある。なお、フルーエンス F_a の単位は、図13と同様に、ミリジュール毎平方センチメートル $[\text{mJ}/\text{cm}^2]$ である。

[0125] 図14は、試験に用いたレーザ光のパルス波形の例を示すグラフである。図14に示すように、リッジ平坦化時のパルス波形は、レーザアニール時のパルス波形よりもパルス時間幅が短いものである。なお、図14ではパルス時間幅を比較するために、両パルスの先頭を揃えて表示している。実際は、被照射物190の同じ位置（照射領域）に対して、第1のパルスレーザ光の照射後に、第2のパルスレーザ光が照射される。したがって、被照射物190の同一位置に対する第1のパルスレーザ光と第2のパルスレーザ光の照射のタイミングとしては両パルスに時間差がある。

[0126] すなわち、第2のパルスレーザ光は、第1のパルスレーザ光の照射によってシリコン膜が多結晶化した後に、つまりリッジ205が形成された後に、同領域への照射が開始される。第1のパルスレーザ光の照射による溶融及び多結晶化の時間は、概ね200 nsである。したがって、例えば、レーザアニール用パルスである第1のパルスレーザ光の照射タイミングから200 ns以上後に（つまり結晶化後に）、リッジ平坦化用パルスである第2のパルスレーザ光を、第1のパルスレーザ光の照射領域と同一領域（場所）に照射すればよい。これにより、多結晶化によって形成されたリッジ205を部分

熔融させ、リッジ205を平坦化することができる。

[0127] 図15は、パルス時間幅を調整するための光学パルスストレッチャ（OPS）システムの構成例を示す。図14に示したレーザアニール時のパルス波形は、図15のOPSシステム220を用いて実現できる。また、図14に示したリッジ平坦化時のパルス波形は、図15のOPSシステム220における遅延光路の部分に遮光することにより実現できる。

[0128] 図15に示すOPSシステム220は、第1のOPS221と第2のOPS222とを含む。第1のOPS221と第2のOPS222のそれぞれは、図2で説明したOPSシステム32と同様の構成であってよい。第1のOPS221は、ビームスプリッタ230と凹面ミラー231～234とを含む。第1のOPS221による遅延光路長 $L(1)$ は、例えば $L(1) = 3\text{ m}$ （メートル）である。

[0129] 第2のOPS222は、ビームスプリッタ240と凹面ミラー241～244とを含む。第2のOPS222による遅延光路長 $L(2)$ は、例えば $L(2) = 7\text{ m}$ である。第2のOPS222は、第1のOPS221のビームスプリッタ230を透過したレーザ光が第2のOPS222のビームスプリッタ240に入射するように配置される。

[0130] OPSシステム220は、エキシマレーザ装置210と、レーザアニール装置100との間の光路上に配置される。エキシマレーザ装置210は、例えば、図2で説明したマスターオシレータ30であってよい。

[0131] 4. 3 マスクパターンと結晶成長の例

図16は、マスクパターンと結晶成長の例を示す。図16は、マスクパターンの像とレーザアニール後の結晶の状態の例を示す。ここでは、被照射物190に照射されるマスクパターンの像がライン幅 $L = 0.15\text{ }\mu\text{m}$ 、スペース幅 $S = 1\text{ }\mu\text{m}$ の場合のレーザアニール後の結晶の状態を示す。

[0132] 図16の左図は、被照射物190の表面上に投影されるマスクパターンの像を示す。図16の右図は、マスクパターンの像に対応する位置のレーザアニール後の結晶の状態を示す。なお、図16の右図は、リッジの部分（結晶

粒界）を観察しやすくするために、リッジの部分をエッチングによって除去したサンプルを走査型電子顕微鏡（SEM：Scanning Electron Microscope）で観察した際の画像の例である。図16の右図において「ひび割れ」のように見える線が結晶粒界である。図16に示すように、マスクパターン像のスペース部の略中間位置に太い結晶粒界が生成される。

[0133] レーザアニール用のパルスを照射後、例えば200ns以上後にリッジ平坦化用のパルスを照射する。これにより、リッジが部分熔融して平坦化される。「平坦化」は、リッジが許容範囲（例えば、10nm未満）の高さに抑制されること、つまり、平坦性が改善されることを含意する。

[0134] 4. 4 レーザアニールシステムの構成

図17は、実施形態1に係るレーザアニールシステム11の構成を概略的に示す。図17に示す構成について図2との相違点を説明する。図17に示すレーザアニールシステム11は、OPSシステム32のビームスプリッタ70がウインドウ80と置換可能な光学素子切替ユニット82を備えている点で図2の構成と異なる。

[0135] 4. 5 動作

レーザアニール時の動作は図2の例と同様である。リッジ平坦化時は、リッジ平坦化時の照射条件に変更して、XYZ軸ステージ172のX軸を負の方向に移動させて、スキャン照射を行う。ただし、レーザアニール時とリッジ平坦化時とでパルス波形を変更する際には、OPSシステム32の光学素子切替ユニット82を制御する。

[0136] すなわち、レーザアニール制御部180は、レーザアニール時にビームスプリッタ70を光路上に配置し、リッジ平坦化時にはビームスプリッタ70に代えてウインドウ80を光路上に配置するように、レーザ制御部38を介して光学素子切替ユニット82を制御する。

[0137] 図18は、実施形態1におけるリッジ平坦化時のビームスキャン照射の例を示す平面図である。リッジ平坦化時に被照射物190の表面に照射されるラインビームLB_rは、図3で説明したマスク148のラインアンドスパー

スパターンの像を含む。図18に示すように、被照射物190の表面に照射されるラインビームLB_rは、X軸方向のビーム幅がB_x、Y軸方向のビーム幅がB_yである。ラインビームLB_rは、XYZ軸ステージ172の移動によって、被照射物190に対して相対的に移動する。ここでは、XYZ軸ステージ172をX軸の負の方向に移動させることにより、ラインビームLB_rが被照射物190の表面をX軸の正の方向（図18において右方向）に移動する。

[0138] 図18には、被照射物190に対してスキャン照射初期位置SP_{rini}からスキャン照射終了位置SP_{rend}までラインビームLB_rを移動させて被照射物190の表面にレーザ光を照射するスキャン照射の様子が示されている。スキャン照射初期位置SP_{rini}からスキャン照射終了位置SP_{rend}に向かうラインビームLB_rの移動方向を「リッジ平坦化時のスキャン照射方向」という。リッジ平坦化時のスキャン照射初期位置SP_{rini}は、図4で説明したレーザアニール時のスキャン照射終了位置SP_{aend}であってよい。また、図18に示すリッジ平坦化時のスキャン照射終了位置SP_{rend}は、図4で説明したレーザアニール時のスキャン照射初期位置SP_{aini}であってよい。

[0139] 図18において、被照射物190の表面のうちラインビームLB_rが通過した領域、つまり、リッジ平坦化用のスキャン照射が行われた領域は、リッジが平坦化されたリッジ平坦化領域190_rとなる。ラインビームLB_rが通過していない領域、つまり、リッジ平坦化用のスキャン照射が行われていない領域は、高いリッジを含んだ状態のままの結晶化領域190_pである。

[0140] 図18に示す状態からさらにラインビームLB_rをスキャン照射終了位置SP_{rend}まで移動させることにより、結晶化領域190_pの全域をリッジ平坦化領域190_rに変えることができる。

[0141] 4. 6 動作の例

図19は、実施形態1に係るレーザアニールシステム11における動作の例を示すフローチャートである。図19について図6との相違点を説明する

。図 19 に示すフローチャートは、図 6 のステップ S 12 及びステップ S 20 に代えて、ステップ S 13 及びステップ S 21 を含み、さらに、ステップ S 22 の後に、ステップ S 24、ステップ S 26、及びステップ S 28 が追加されている。

[0142] ステップ S 13 において、レーザアニール制御部 180 はレーザアニール時のレーザ照射条件パラメータの読み込み (2) を行う。ステップ S 13 の後のステップ S 14 からステップ S 18 は図 6 と同様である。

[0143] ステップ S 18 の後、ステップ S 21 において、レーザアニール制御部 180 はレーザアニール時の制御パラメータの計算と設定 (2) を行う。ステップ S 21 の後のステップ S 22 は図 6 と同様である。

[0144] ステップ S 22 の後、ステップ S 24 において、レーザアニール制御部 180 はリッジ平坦化時のレーザ照射条件パラメータの読み込み (1) を行う。

[0145] ステップ S 26 において、レーザアニール制御部 180 はリッジ平坦化時の制御パラメータの計算と設定 (1) を行う。

[0146] ステップ S 28 において、レーザアニール制御部 180 はステップ S 26 における制御パラメータの設定に従い、リッジ平坦化時のビームスキャン照射を行う。このビームスキャン照射時には、設定された繰り返し周波数 f_r 、フルエンス F_r 、及び照射パルス数 N_r の条件で被照射物 190 に対してパルスレーザ光が照射される。

[0147] ステップ S 28 の後、レーザアニール制御部 180 は図 19 のフローチャートを終了する。

[0148] 図 20 は、図 19 のステップ S 13 に適用されるサブルーチンの例を示すフローチャートである。すなわち、図 20 は、レーザアニール時のレーザ照射条件パラメータの読み込み (2) のステップにて実施される処理内容の例を示す。

[0149] 図 20 のステップ S 32 において、レーザアニール制御部 180 はレーザアニール条件のパラメータの読み込みを行う。例えば、レーザアニール制御

部 180 は、レーザアニール処理を行う際の被照射物 190 上でのフルーエンス F_a と、照射パルス数 N_a と、繰り返し周波数 f_a と、パルス時間幅 ΔT_a との各データを読み込む。照射パルス数 N_a は 2 以上の整数とする。レーザアニール制御部 180 はステップ S32 の後、図 19 のフローチャートに復帰する。

[0150] 図 21 は、図 19 のステップ S21 に適用されるサブルーチンの例を示すフローチャートである。すなわち、図 21 は、レーザアニール時の制御パラメータの計算と設定 (2) のステップにて実施される処理内容の例を示す。図 21 について図 9 との相違点を説明する。図 21 に示すフローチャートは、図 9 のステップ S50 ~ S54 に、さらにステップ S56 が追加されている。

[0151] ステップ S56 において、レーザアニール制御部 180 はレーザアニール時のパルス時間幅 ΔT_a に基づいて、O P S システム 32 を制御する。レーザアニール制御部 180 は、O P S システム 32 から出射されるパルスレーザ光のパルス時間幅が、レーザアニール時の条件として要求されているパルス時間幅 ΔT_a に近くなるように O P S システム 32 を制御する。図 17 に示す構成の場合、レーザアニール制御部 180 は、光路上にビームスプリッタ 70 を配置するように光学素子切替ユニット 82 を制御する。

[0152] ステップ S56 の後、レーザアニール制御部 180 は図 21 のフローチャートを終了し、図 19 のフローチャートに復帰する。

[0153] 図 22 は、図 19 のステップ S24 に適用されるサブルーチンの例を示すフローチャートである。すなわち、図 22 は、リッジ平坦化時のレーザ照射条件パラメータの読み込み (1) のステップにて実施される処理内容の例を示す。リッジ平坦化時のレーザ照射条件パラメータを「リッジ平坦化条件のパラメータ」という。

[0154] 図 22 のステップ S80 において、レーザアニール制御部 180 はリッジ平坦化条件のパラメータの読み込みを行う。例えば、レーザアニール制御部 180 は、リッジ平坦化処理を行う際の被照射物 190 上でのフルーエンス

F_r と、照射パルス数 N_r と、繰り返し周波数 f_r と、パルス時間幅 ΔT_r と、の各データを読み込む。ここで照射パルス数 N_r は1以上の整数とする。レーザアニール制御部180はステップS80の後、図19のフローチャートに復帰する。

[0155] 図23は、図19のステップS26に適用されるサブルーチンの例を示すフローチャートである。すなわち、図23は、リッジ平坦化時の制御パラメータの計算と設定(1)のステップにて実施される処理内容の例を示す。図23のステップS90において、レーザアニール制御部180はリッジ平坦化条件のフルエンス F_r となるアッテネータ130の透過率 T_r を計算する。

[0156] アッテネータ130の透過率 T_r は、式(2)から次式(7)によって求めることができる。

$$[0157] \quad T_r = (M^2 / T_p) (F_r / E_t) (B_x \cdot B_y) \quad (7)$$

ステップS92において、レーザアニール制御部180はアッテネータ130の透過率 T を T_r に設定する。すなわち、レーザアニール制御部180は、アッテネータ130の透過率 T が T_r となるように、部分反射ミラー131及び132の角度を制御する。

[0158] ステップS94において、レーザアニール制御部180はリッジ平坦化時に被照射物190の表面をラインビーム $L B_r$ が移動する速度の絶対値 V_{x_r} を計算する。すなわち、レーザアニール制御部180はリッジ平坦化時のXYZ軸ステージ172のX軸方向の移動速度の絶対値 V_{x_r} を計算する。 V_{x_r} は次式(8)から計算できる。

$$[0159] \quad V_{x_r} = f_r \cdot B_x / N_r \quad (8)$$

ステップS96において、レーザアニール制御部180はリッジ平坦化時のパルス時間幅 ΔT_r に基づいてOPSシステム32を制御する。レーザアニール制御部180は、OPSシステム32から出射されるパルスレーザ光のパルス時間幅が、リッジ平坦化時の条件として要求されているパルス時間幅 ΔT_r に近くなるようにOPSシステム32を制御する。図17に示す構

成の場合、レーザアニール制御部 180 は、光路上にウインドウ 80 を配置するように光学素子切替ユニット 82 を制御する。

[0160] ステップ S 96 の後、レーザアニール制御部 180 は図 23 のフローチャートを終了し、図 19 のフローチャートに復帰する。

[0161] 図 24 は、図 19 のステップ S 28 に適用されるサブルーチンの例を示すフローチャートである。すなわち、図 24 は、リッジ平坦化時のビームスキャン照射にて実施される処理内容の例を示す。図 24 のステップ S 100 において、レーザアニール制御部 180 は X Y Z 軸ステージ 172 の X 軸についての移動方向を規定するパラメータ X_r の値を「 $X_r = -1$ 」に設定する。「 $X_r = -1$ 」は X Y Z 軸ステージ 172 を X 軸の「負の方向」に移動させることを表す。

[0162] ステップ S 102 において、レーザアニール制御部 180 は X Y Z 軸ステージ 172 の X 軸方向の移動速度 V_x を計算する。 V_x は次の式 (9) に従って決定される。

$$[0163] \quad V_x = X_r \cdot V_{x_r} \quad (9)$$

ステップ S 104 において、レーザアニール制御部 180 はステップ S 102 の計算結果に従い、X Y Z 軸ステージ 172 の X 軸方向の移動速度のパラメータ V_x をセットする。なお、実際には、ビームスキャンの移動距離に対応して、加速、等速直線運動、及び減速のそれぞれが所定の時間で行われるようにパラメータをセットする。ここでは、説明を簡単にするために、等速直線運動時の速度の絶対値が V_{x_r} である場合を例示する。

[0164] ステップ S 106 において、レーザアニール制御部 180 は X Y Z 軸ステージ 172 の移動開始信号を送信する。式 (9) から定まる V_x が負の場合は、X Y Z 軸ステージ 172 を X 軸の負の方向に移動させる。その結果、被照射物 190 の表面においてラインビーム $L B_r$ は被照射物 190 に対して相対的に X 軸の正の方向に移動する。

[0165] 図 24 のステップ S 108 において、レーザアニール制御部 180 は繰り返し周波数 f_r で発光トリガ信号を出力する。

[0166] ステップS 1 1 0において、レーザアニール制御部 1 8 0はX Y Z軸ステージ 1 7 2のX軸方向の移動が終了したか否かの判定を行う。レーザアニール制御部 1 8 0は、図 1 8に示すスキャン照射終了位置S P r e n dに到達したか否かを判定する。ステップS 1 1 0の判定結果がN o判定である場合、レーザアニール制御部 1 8 0はステップS 1 0 8に戻る。X Y Z軸ステージ 1 7 2のX軸方向の移動が終了するまで、ステップS 1 0 8～S 1 1 0を繰り返す。レーザアニール制御部 1 8 0からレーザ制御部 3 8に対し、X Y Z軸ステージ 1 7 2のX軸方向への等速直線運動中に繰り返し周波数 f_r で発光トリガ信号が出力される。これにより、パルスレーザ光は繰り返し周波数 f_r で被照射物 1 9 0のスキャン照射領域に照射される。

[0167] ステップS 1 1 0の判定結果がY e s判定である場合、すなわち、1つのスキャン照射領域に対するビームスキャン照射が完了して、X Y Z軸ステージ 1 7 2のX軸方向の移動が終了すると、レーザアニール制御部 1 8 0はステップS 1 1 2に進み、発光トリガ信号の出力を停止する。これにより、レーザ装置 2 0からのパルスレーザ光の出力が停止される。

[0168] ステップS 1 1 2の後、レーザアニール制御部 1 8 0は図 2 4のフローチャートを終了し、図 1 9のフローチャートに復帰する。

[0169] 4. 7 作用・効果

実施形態 1に係るレーザアニールシステム 1 1によれば、O P Sシステム 3 2を制御することによってレーザ装置 1 台でパルス時間幅の異なる 2 種類のパルスレーザ光を出力することができ、これら 2 種類のパルスレーザ光を用いてレーザアニールとリッジ平坦化を行うことが可能である。

[0170] 実施形態 1におけるレーザ装置 2 0は本開示における「レーザシステム」の一例である。マスターオシレータ 3 0は本開示における「レーザ発振器」の一例である。X Y Z軸ステージ 1 7 2は本開示における「移動機構」の一例である。レーザアニール制御部 1 8 0は本開示における「制御部」の一例である。照射光学システム 1 1 0の照明光学系 1 4 0と投影光学系 1 5 0とを含む光学系は本開示における「照射光学系」の一例である。光学素子切替

ユニット 82 のビームスプリッタ 70 とウインドウ 80 の各々は本開示における「光学素子」の一例である。投影光学系 150 は本開示における「転写光学系」の一例である。アモルファスシリコン膜 202 は本開示における「非晶質半導体」の一例である。レーザアニール用のラインビーム $L B a$ が照射されて多結晶化した領域は本開示における「半導体結晶の領域」の一例である。ポリシリコン膜 204 は本開示における「半導体結晶」及び「半導体結晶薄膜」の一例である。被照射物 190 に照射されるラインビーム $L B a$ は本開示における「第 1 のパルスレーザ光の照明パターン」の一例であり、被照射物 190 に照射されるラインビーム $L B r$ は本開示における「第 2 のパルスレーザ光の照明パターン」の一例である。レーザアニール用のパルスレーザ光のパルス時間幅 $\Delta T a$ は本開示における「第 1 のパルス時間幅」の一例である。リッジ平坦化用のパルスレーザ光のパルス時間幅 $\Delta T r$ は本開示における「第 2 のパルス時間幅」の一例である。

[0171] 4. 8 変形例

(1) 実施形態 1 では OPS システム 32 に OPS 33 を 1 台のみ用いる場合を示したが、図 5 のように、OPS システムは複数台の光学パルスストレッチャを含む構成であってもよい。この場合、OPS システムに配置された複数台の光学パルスストレッチャのそれぞれに、光学素子切替ユニット 82 と同様の光学素子切替ユニットを配置して光学素子の切替を制御してもよい。

[0172] (2) 実施形態 1 では OPS システム 32 をレーザ装置 20 内に配置した例を示したが、OPS システム 32 はレーザアニール装置 100 とレーザ装置 20 の間の光路上に配置してもよい。

[0173] (3) 実施形態 1 ではマスク 148 の結像パターンを被照射物 190 上で移動させるビームスキャン照射を行うことによって、レーザアニールとリッジ平坦化を実施する方式を示したが、この例に限定されない。例えば、レーザアニール時に、レーザアニール時の照射条件でステップアンドリピート方式によってレーザ照射を行い、その後、リッジ平坦化時にリッジ平坦化時の

照射条件でステップアンドリピート方式によりレーザ照射を行ってもよい。

[0174] 5. 実施形態2

5. 1 構成

図25は、実施形態2に係るレーザアニールシステム12の構成を概略的に示す。図25に示す構成について図17との相違点を説明する。図25に示すレーザアニールシステム12は、図17の光学素子切替ユニット82に代えて、OPS33の遅延光路上に遅延光路を開閉するためのシャッタ84が配置されている点で図17の構成と異なる。他の構成は、図17と同様である。レーザアニール制御部180は、レーザ制御部38を介してシャッタ84の開閉動作を制御する。

[0175] OPS33のビームスプリッタ70の反射率は55%～65%が好ましく、さらに好ましくは60%である。

[0176] 5. 2 動作

レーザアニール制御部180は、シャッタ84を動作させるための遅延光路開閉制御信号を出力する。レーザアニール制御部180から送信された遅延光路開閉制御信号は、レーザ制御部38を介してシャッタ84の駆動部に送られる。

[0177] レーザアニール時は、レーザアニール制御部180からシャッタ84を開状態にする制御信号が送信される。シャッタ84を開状態にすると、OPS33によりパルスストレッチされたパルスレーザ光が被照射物190に照射される。OPS33によりパルスストレッチされたパルスレーザ光は本開示における「第1のパルスレーザ光」の一例である。

[0178] リッジ平坦化時は、レーザアニール制御部180からシャッタ84を閉状態にする制御信号が送信される。シャッタ84を閉状態にすると、OPS33の遅延光路が遮光されるため、OPS33によりパルスストレッチされていないパルスレーザ光が被照射物190に照射される。OPS33によりパルスストレッチされていないパルスレーザ光、すなわち、シャッタ84が閉状態である場合にビームスプリッタ70を透過したパルスレーザ光は本開示

における「第２のパルスレーザ光」の一例である。

[0179] ５．３ 作用・効果

実施形態２に係るレーザアニールシステム１２によれば、シャッタ８４の開閉動作のみの制御で、レーザアニール用のパルスレーザ光とリッジ平坦化用のパルスレーザ光とを切り替えて照射することができる。

[0180] なお、リッジ平坦化時のフルーエンス F_r は、レーザアニール時のフルーエンス F_a よりも小さいので（ $F_r < F_a$ ）、シャッタ８４を閉じてもしリッジ平坦化時の所望のフルーエンス F_r で照射することができる。

[0181] ６．実施形態３

６．１ 構成

図２６は、実施形態３に係るレーザアニールシステム１３の構成を概略的に示す。図２６に示す構成について図１７との相違点を説明する。実施形態３に係るレーザアニールシステム１３は、レーザアニール用の第１のパルスレーザ光を出力する第１のレーザ装置２１と、リッジ平坦化用の第２のパルスレーザ光を出力する第２のレーザ装置２２と、第１の光路管２６と、第２の光路管２７と、を含む。第１のレーザ装置２１及び第１の光路管２６は、図１７で説明したレーザ装置２０及び光路管２５と同様の構成であってよい。第１の光路管２６は、第１のレーザ装置２１のレーザ光出射口とレーザアニール装置１００の第１のレーザ光入射口との間のレーザ光の光路上に配置される。

[0182] 第２のレーザ装置２２は、第１のレーザ装置２１から出力される第１のパルスレーザ光のパルス時間幅よりも短いパルス時間幅の第２のパルスレーザ光を出力する。第２のレーザ装置２２は、第１のレーザ装置２１の構成からＯＰＳシステム３２を削除した構成のレーザ装置であってよい。

[0183] 第２の光路管２７は、第２のレーザ装置２２のレーザ光出射口とレーザアニール装置１００の第２のレーザ光入射口との間のレーザ光の光路上に配置される。

[0184] レーザアニールシステム１３の照射光学システム１１３は、図１７で説明

した照射光学システム 110 の構成に加えて、リッジ平坦化用の第 2 のパルスレーザ光を被照射物 190 に照射するために、高反射ミラー 321 ~ 323 と、アッテネータ 330 と、照明光学系 340 と、が追加されている。

[0185] 高反射ミラー 321 は、第 2 の光路管 27 を通過したレーザ光がアッテネータ 330 を通過して高反射ミラー 322 に入射するように配置される。

[0186] アッテネータ 330 は、高反射ミラー 321 と高反射ミラー 322 の間の光路上に配置される。アッテネータ 330 は、2 枚の部分反射ミラー 331 及び 332 と、それぞれの部分反射ミラー 331、332 の入射角度を可変する回転ステージ 335 及び 336 と、を含む。

[0187] 高反射ミラー 322 は、アッテネータ 330 を通過したレーザ光が高反射ミラー 323 に入射するように配置される。高反射ミラー 323 は、入射したパルスレーザ光を照明光学系 340 のフライアイレンズ 345 に入射するように配置される。

[0188] 照明光学系 340 は、フライアイレンズ 345 と、コンデンサレンズ 346 と、を含む。照明光学系 340 は、マスク 148 上における所定の照明領域を均一照明するための光学系であり、マスク 148 を矩形のビームでケーラ照明するように配置される。

[0189] フライアイレンズ 345 は、例えば、フライアイレンズ 345 の焦点面とコンデンサレンズ 346 の前側焦点面とが一致するように配置され、コンデンサレンズ 346 は、コンデンサレンズ 346 の後側焦点面とマスク 148 の位置とが一致するように配置される。

[0190] 照明光学系 140、及び投影光学系 150 を介して被照射物 190 の表面に照射されるレーザアニール用のラインビーム $L B a$ は、被照射物 190 の表面上において Y 軸方向のビーム幅が $B y a$ であり、X 軸方向のビーム幅が $B x a$ であるとする。また、照明光学系 340、及び投影光学系 150 を介して被照射物 190 の表面に照射されるリッジ平坦化用のラインビーム $L B r$ は、被照射物 190 の表面上における Y 軸方向のビーム幅が $B y r$ であり、X 軸方向のビーム幅が $B x r$ であるとする。そして、レーザアニール時の

照射パルス数を N_a 、リッジ平坦化時の照射パルス数を N_r とする。実施形態 3 の場合、 B_{ya} と B_{yr} が同じであり ($B_{ya} = B_{yr}$)、 B_{xa} と B_{xr} は N_a と N_r の比となるように ($B_{xa} : B_{xr} = N_a : N_r$)、照明光学系 140 と照明光学系 340 が構成されている。

[0191] 例えば、照明光学系 140 のフライアイレンズ 145 と照明光学系 340 のフライアイレンズ 345 の Y 軸方向のピッチ間隔は同じであって、X 軸方向のピッチ間隔の比が N_a と N_r の比と同じ構成とする。そして、照明光学系 140 及び照明光学系 340 のそれぞれのコンデンサレンズ 146、346 の焦点距離が同じであってもよい。

[0192] 6. 2 動作

第 1 のレーザ装置 21 から出力されたパルスレーザ光を被照射物 190 に照射することによってレーザアニールを行う動作については図 2 で説明したレーザアニールシステム 10 と同様である。レーザアニール制御部 180 は第 2 のレーザ装置 22 の図示しないレーザ制御部との間で目標パルスエネルギー等の各種データや信号の送受信を行う。レーザアニール制御部 180 は第 2 のレーザ装置 22 に発光トリガ信号 T_r2 を第 1 のレーザ装置 21 の発光トリガ T_r1 と同期して送信する。

[0193] 第 2 のレーザ装置 22 から出力されたパルスレーザ光は、第 2 の光路管 27 を通過して高反射ミラー 321 で反射され、アッテネータ 330 に入射する。

[0194] アッテネータ 330 を透過したパルスレーザ光は、高反射ミラー 322 及び 323 を介して照明光学系 340 に入射する。

[0195] 照明光学系 340 を透過したパルスレーザ光は、矩形のビーム形状であって光強度が均一化されたラインビームに整形されて、マスク 148 上に照射される。

[0196] 図 27 は、マスク 148 のパターンとマスク 148 を照明するラインビーム L_{Ba} 、 L_{Br} の関係の例を示す平面図である。図 27 に示すように、レーザアニール用のラインビーム L_{Ba} と、リッジ平坦化用のラインビ

ームLB_{rm}とがそれぞれマスク148上に照射される。

[0197] レーザアニール制御部180は、被照射物190の表面上でのレーザアニール用のラインビームLB_aのフルエンスがF_aとなるように、アッテネータ130の透過率を制御する。また、レーザアニール制御部180は、被照射物190の表面上でのリッジ平坦化用のラインビームLB_rのフルエンスがF_rとなるようにアッテネータ330の透過率を制御する。

[0198] レーザアニール時のXYZ軸ステージ172のX軸方向への移動速度V_{x a}は以下の式(10)で求められる。

$$[0199] \quad V_{x a} = f_a \cdot B_{x a} / N_a \quad (10)$$

リッジ平坦化時のXYZ軸ステージ172のX軸方向への移動速度V_{x r}は次式(11)で表される。

$$[0200] \quad V_{x r} = f_r \cdot B_{x r} / N_r \quad (11)$$

ここで、繰り返し周波数 $f_a = f_r$ 、 $R = B_{x a} / B_{x r} = N_a / N_r$ に設定することによって、 $V_{x a} = V_{x r}$ となる。

[0201] 図28は、被照射物190に対するラインビームのスキャン照射の例を示す平面図である。被照射物190に対してレーザアニール用のラインビームLB_aとリッジ平坦化用のラインビームLB_rの2つのラインビームを、図28に示すようにスキャン照射することによってレーザアニールとリッジ平坦化とを実施することができる。

[0202] 被照射物190の表面に照射されるレーザアニール用のラインビームLB_aは、図27で説明したマスク148のラインアンドスペースの結像パターンである。図28に示すように、被照射物190の表面に照射されるレーザアニール用のラインビームLB_aは、X軸方向のビーム幅がB_{x a}、Y軸方向のビーム幅がB_{y a}である。被照射物190の表面に照射されるリッジ平坦化用のラインビームLB_rは、X軸方向のビーム幅がB_{x r}、Y軸方向のビーム幅がB_{y r}である。ここではB_{y a} = B_{y r}である。

[0203] 2つのラインビームLB_a、LB_rは、XYZ軸ステージ172の移動によって、被照射物190に対して相対的に移動する。XYZ軸ステージ17

2をX軸の正の方向に移動させることにより、ラインビームL B a及びL B rは、被照射物190の表面をX軸の負の方向（図28において左方向）に移動する。レーザアニール用のラインビームL B aは、被照射物190に対してスキャン照射初期位置S P a i n iからスキャン照射終了位置S P a e n dまで移動する。リッジ平坦化用のラインビームL B rは、レーザアニール用のラインビームL B aの移動の動きを追って、被照射物190に対してスキャン照射初期位置S P r i n iからスキャン照射終了位置S P r e n dまで移動する。

[0204] 図28において、被照射物190の表面のうちラインビームL B aが通過していない領域、つまり、スキャン照射が行われていない領域は、未だレーザ光が照射されておらず、アモルファス（非晶質）の状態のままのアモルファス領域190aである。被照射物190の表面のうちラインビームL B aが通過した領域は、結晶成長によりシリコンが多結晶化した結晶化領域190pとなる。被照射物190の表面のうちリッジ平坦化用のラインビームL B rが通過した領域は、リッジが平坦化されたリッジ平坦化領域190rとなる。被照射物190の表面のうちレーザアニール用のラインビームL B aが通過した領域であって、かつ、リッジ平坦化用のラインビームL B rが通過していない領域は、リッジを含んだ状態のままの結晶化領域190pである。

[0205] 被照射物190に対するリッジ平坦化用のラインビームL B rの位置がスキャン照射終了位置S P r e n d（図28参照）に到達したら、XYZ軸ステージ172の移動を停止させる。

[0206] 6. 3 作用・効果

実施形態3に係るレーザアニールシステム13は、実施形態1に係るレーザアニールシステム11と比較して、以下の作用効果がある。

[0207] [1] レーザアニール用とリッジ平坦化用の2つのラインビームをそれぞれ照明光学系140及び340によって整形し、 $R = B \times a / B \times r = N a / N r$ に設定することによって、リッジ平坦化時のアッテネータ330の減

光量を減らすことができる。これにより、パルスレーザ光の利用効率が改善される。

[0208] [2] X Y Z 軸ステージ 1 7 2 の X 軸方向について 1 回のスキャン照射の動作で、レーザアニールとリッジ平坦化とが可能となり、スループットが改善される。

[0209] 実施形態 3 における第 1 のレーザ装置 2 1 と第 2 のレーザ装置 2 2 の組み合わせは本開示における「レーザシステム」の一例である。

[0210] 7. 実施形態 4

7. 1 構成

図 2 9 は、実施形態 4 に係るレーザアニールシステム 1 4 の構成を概略的に示す。図 2 9 に示す構成について図 2 6 との相違点を説明する。図 2 9 に示すレーザアニールシステム 1 4 は、図 2 6 における第 1 のレーザ装置 2 1 及び第 2 のレーザ装置 2 2 に代えて、レーザ装置 2 3 と分岐システム 2 5 0 とを含む。

[0211] レーザ装置 2 3 は、O P S システムを含んでいないエキシマレーザ装置である。レーザ装置 2 3 は、例えば、図 2 で説明したレーザ装置 2 0 から O P S システム 3 2 を削除した構成であってよく、マスターオシレータ 3 0 とモニタモジュール 3 4 とレーザ制御部 3 8 とを備える。

[0212] レーザ装置 2 3 とレーザアニール装置 1 0 0 の間の光路上に第 3 の光路管 2 8 と分岐システム 2 5 0 と第 1 の光路管 2 6 及び第 2 の光路管 2 7 と、が配置される。第 3 の光路管 2 8 は、レーザ装置 2 3 のレーザ光出射口と分岐システム 2 5 0 のレーザ光入射口との間のレーザ光の光路上に配置される。

[0213] 分岐システム 2 5 0 は、ビームスプリッタ 2 5 4 と、O P S システム 3 2 と、高反射ミラー 2 5 7 と、を含む。

[0214] ビームスプリッタ 2 5 4 は、レーザ装置 2 3 と O P S システム 3 2 との間のレーザ光の光路上に配置される。ビームスプリッタ 2 5 4 は、部分反射膜がコートされている。ビームスプリッタ 2 5 4 で反射された反射光は、高反射ミラー 2 5 7 と第 2 の光路管 2 7 を介して、レーザアニール装置 1 0 0 の

高反射ミラー 3 2 1 に入射するように配置される。

[0215] ビームスプリッタ 2 5 4 の反射率 R_4 は、以下の式 (1 2) で計算される反射率に近い値である。

$$\begin{aligned} [0216] \quad R_4 &= B_y \cdot B_x a \cdot F_a / (B_y \cdot B_x r \cdot F_r) \\ &= (B_x a \cdot F_a) / (B_x r \cdot F_r) \quad (1 2) \end{aligned}$$

OPS システム 3 2 は、ビームスプリッタ 2 5 4 の透過光の光路上であって、レーザアニール装置 1 0 0 の高反射ミラー 1 2 1 とビームスプリッタ 2 5 4 との間に配置される。

[0217] 7. 2 動作

レーザアニール制御部 1 8 0 はレーザ装置 2 3 に発光トリガ信号 $T_r 3$ を送信する。レーザ装置 2 3 から出力されたパルスレーザ光は分岐システム 2 5 0 に入射する。

[0218] ビームスプリッタ 2 5 4 によって反射されたパルスレーザ光はパルスストレッチされずに、高反射ミラー 2 5 7 と第 2 の光路管 2 7 を通過して高反射ミラー 3 2 1 に入射する。高反射ミラー 3 2 1 で高反射されたパルスレーザ光はアッテネータ 3 3 0 に入射する。

[0219] アッテネータ 3 3 0 を透過したパルスレーザ光は、高反射ミラー 3 2 2 及び 3 2 3 を介して照明光学系 3 4 0 に入射する。

[0220] 照明光学系 3 4 0 を透過したパルスレーザ光は、矩形のビーム形状であり、光強度が空間的に均一化されたラインビームに整形されて、リッジ平坦化用のラインビーム $L B r m$ としてマスク 1 4 8 上に照射される。ラインビーム $L B r m$ とマスク 1 4 8 のパターンとの関係は図 2 7 と同様である。

[0221] 一方、分岐システム 2 5 0 のビームスプリッタ 2 5 4 を透過したパルスレーザ光は、OPS システム 3 2 によってパルスストレッチされ、高反射ミラー 1 2 1、アッテネータ 1 3 0、高反射ミラー 1 2 2 及び 1 2 3 を介して、照明光学系 1 4 0 に入射する。

[0222] 照明光学系 1 4 0 を透過したパルスレーザ光は、矩形のビーム形状であり、光強度が空間的に均一化されたラインビームに整形されて、レーザアニール

ル用のラインビーム $L B a m$ としてマスク 148 上に照射される。ラインビーム $L B a m$ とマスク 148 のパターンとの関係は図 27 と同様である。

[0223] レーザアニールシステム 14 において被照射物 190 に対するレーザアニール用及びリッジ平坦化用のスキャン照射の動作については、図 28 で説明した実施形態 3 のスキャン照射の動作と同様である。

[0224] 7. 3 作用・効果

実施形態 4 に係るレーザアニールシステム 14 は、図 26 の実施形態 3 の構成に比べて、1 台のレーザ装置 23 で、レーザアニールとリッジ平坦化とが可能である。

[0225] また、実施形態 4 に係るレーザアニールシステム 14 は、実施形態 1 (図 17) 及び実施形態 2 (図 25) と比べて、ビームスプリッタ 254 の反射率 $R4$ を式 (12) の値に近い反射率とすることで、パルスレーザ光の利用効率が改善される。

[0226] 実施形態 4 におけるレーザ装置 23 は本開示における「第 3 のレーザ装置」の一例である。レーザ装置 23 と分岐システム 250 の組み合わせは本開示における「レーザシステム」の一例である。

[0227] 7. 4 変形例

(1) 図 29 に示す実施形態 4 では、分岐システム 250 をレーザアニール装置 100 とレーザ装置 23 の間に配置したが、この例に限定されことなく、例えば、分岐システム 250 を、レーザ装置 23 内又はレーザアニール装置 100 内に配置してもよい。

[0228] (2) レーザ装置 23 のパルスレーザ光のパルスエネルギーの制御範囲内であればアッテネータ 330 を配置しなくてもよい。

[0229] 8. 実施形態 5

8. 1 構成

図 30 は、実施形態 5 に係るレーザアニールシステム 15 の構成を概略的に示す。図 30 に示す構成について図 29 との相違点を説明する。図 30 に示すレーザアニールシステム 15 は、図 29 におけるレーザ装置 23 及び分

岐システム 250 に代えて、レーザ装置 24 及び偏光分岐システム 251 を含む。

[0230] レーザ装置 24 は、O P S システムを含んでいないエキシマレーザ装置であって、X Z 平面に対して直交する直線偏光のパルスレーザ光を出力するレーザ装置である。

[0231] レーザ装置 24 の光共振器中の図示しない 2 枚のウィンドウをブリュースタ角で配置し、X Z 平面に対して直交する偏光が P 偏光となるように配置してもよい。

[0232] レーザ装置 24 とレーザアニール装置 100 の間の光路上に偏光分岐システム 251 が配置される。なお、図 30 に示すレーザアニールシステム 15 では、図 29 に示した第 2 の光路管 27 は削除されている。

[0233] 偏光分岐システム 251 は、リターダ 255 と、O P S システム 32 と、を含む。リターダ 255 は、O P S システム 32 とレーザ装置 24 の間の光路上に配置される。

[0234] リターダ 255 は $\lambda/2$ 板であって、リターダ 255 の材料は例えば水晶、 MgF_2 結晶又はサファイヤ結晶である。リターダ 255 は、リターダ 255 の光学軸とリターダ 255 に入射するパルスレーザ光の偏光面とのなす角度 θ を回転させる回転ステージ 256 をさらに含む。

[0235] O P S システム 32 は、レーザ装置 24 とレーザアニール装置 100 との間のレーザ光の光路上に配置される。O P S システム 32 に配置されるビームスプリッタ 70P は、S 偏光成分が部分反射し、P 偏光成分が高透過する膜がコートされ、X Z 平面と直交する偏光成分が S 偏光となるように配置される。

[0236] 照射光学システム 114 は、図 29 の高反射ミラー 121 及び 321 が削除され、代わりに、偏光ビームスプリッタ 324 と、高反射ミラー 325 とが追加されている。

[0237] 偏光ビームスプリッタ 324 は、X Z 平面に対して直交する偏光面のパルスレーザ光が S 偏光となり、アッテネータ 130 に入射するように配置され

る。偏光ビームスプリッタ 324 は、S 偏光を高反射し、P 偏光を高透過する膜がコートされている。

[0238] 高反射ミラー 325 は、偏光ビームスプリッタ 324 の透過光を反射して、この反射光がアッテネータ 330 に入射するように配置される。

[0239] 8. 2 動作

レーザ装置 24 から XZ 平面に対して直交する偏光面のパルスレーザ光が出力される。レーザ装置 24 から出力されたパルスレーザ光はリターダ 255 に入射する。

[0240] リターダ 255 によって、パルスレーザ光の偏光面は 2θ 回転する。偏光面が回転したパルスレーザ光はビームスプリッタ 70p に入射する。

[0241] XZ 平面に対して直交する偏光成分のパルスレーザ光の一部は、OP S システム 32 のビームスプリッタ 70p で反射し、他の一部はビームスプリッタ 70p を透過するため、OP S システム 32 によってパルスストレッチされる。

[0242] 一方、XZ 平面を含む偏光成分のパルスレーザ光は、ビームスプリッタ 70p を高透過し、パルスストレッチされない。

[0243] OP S システム 32 を通過したパルスレーザ光は、照射光学システム 114 の偏光ビームスプリッタ 324 に入射する。OP S システム 32 によってパルスストレッチされた XZ 平面に対して直交する偏光成分は、偏光ビームスプリッタ 324 によって高反射され、アッテネータ 130、高反射ミラー 122 及び 123 を介して照明光学系 140 に入射する。

[0244] 照明光学系 140 を透過したパルスレーザ光は、矩形で強度分布が均一化されたラインビームに整形されて、レーザアニール用としてマスク 148 上に照射される。

[0245] 一方、OP S システム 32 によってパルスストレッチされなかった XZ 平面を含む偏光成分は、偏光ビームスプリッタ 324 によって高透過され、高反射ミラー 325、アッテネータ 330、高反射ミラー 322 及び 323 を介して照明光学系 340 に入射する。

[0246] 照明光学系 340 を透過したパルスレーザ光は、矩形で強度分布が均一化されたラインビームに整形されて、リッジ平坦化用としてマスク 148 上に照射される。

[0247] マスク 148 を透過したレーザアニール用のパルスレーザ光とリッジ平坦化用のパルスレーザ光とを投影光学系 150 を介して被照射物 190 に照射させる動作は、実施形態 4 と同様である。

[0248] レーザアニール制御部 180 は、リターダ 255 を透過したパルスレーザ光の XZ 平面に直交する偏光成分のパルスレーザ光のパルスエネルギー E_a と XZ 平面を含む偏光成分のパルスレーザ光のパルスエネルギー E_b の比 R_{ab} が次式 (13) の関係となるように、リターダ 255 を回転させる。

$$\begin{aligned} [0249] \quad R_{ab} &= E_a / E_b = B_y \cdot B_{xa} \cdot F_a / (B_y \cdot B_{xr} \cdot F_r) \\ &= (B_{xa} \cdot F_a) / (B_{xr} \cdot F_r) \quad (13) \end{aligned}$$

8. 3 作用・効果

図 30 に示す実施形態 5 は、図 26 の実施形態 3 に比べて、1 台のレーザ装置でレーザアニールとリッジ平坦化が可能である。

[0250] 図 30 に示す実施形態 5 は、図 26 の実施形態 3 に比べて、リターダ 255 の光学軸を回転させることによって、レーザアニール用のパルスレーザ光とリッジ平坦化用のパルスレーザ光の割合を調節することにより、パルスレーザ光の利用効率が改善される。

[0251] また、レーザアニール時とリッジ平坦化時の照射条件が変更される場合にも、レーザアニール用のパルスレーザ光とリッジ平坦化用のパルスレーザ光の割合を調節することによってパルスレーザ光の利用効率の最適化を行うことができる。

[0252] 実施形態 5 におけるレーザ装置 24 と偏光分岐システム 251 の組み合わせは本開示における「レーザシステム」の一例である。レーザ装置 24 は本開示における「第 4 のレーザ装置」の一例である。XZ 平面に対して直交する偏光成分は本開示における「第 1 の偏光成分」の一例である。XZ 平面を含む偏光成分は本開示における「第 2 の偏光成分」の一例である。

[0253] 8. 4 変形例

[1] 実施形態5では、偏光分岐システム251をレーザアニール装置100とレーザ装置24の間に配置したが、この例に限定されることなく、例えば、偏光分岐システム251をレーザ装置24内又はレーザアニール装置100内に配置してもよい。

[0254] [2] レーザ装置24のパルスレーザ光のパルスエネルギーの制御範囲内であればアッテネータ330を配置しなくてもよい。

[0255] [3] リターダ255の回転角度を調節することによって、パルスレーザ光のXZ平面に直交する偏光成分のパルスレーザ光のパルスエネルギー E_a とXZ平面を含む偏光成分のパルスレーザ光のパルスエネルギー E_b の比 R_{ab} を調整できるため、アッテネータ130、330のうちの少なくとも一方を省略する構成も可能である。

[0256] 9. 実施形態6

9. 1 構成

図31は、実施形態6に係るレーザアニールシステム16の構成を概略的に示す。実施形態6では、投影光学系151を用いて、被照射物190上のTFTを形成する領域部分を局所的にレーザアニールする場合の例を示す。図31に示す構成について図26との相違点を説明する。

[0257] 図31に示すレーザアニールシステム16の照射光学システム115は、図26の照明光学系140、340に代えて、照明光学系141、341を含む。また、レーザアニールシステム16は、図26のマスク148及び投影光学系150に代えて、マスク149及び投影光学系151を含む。

[0258] 第1のレーザ装置21から出力されるレーザアニール用の第1のパルスレーザ光は、高反射ミラー121、アッテネータ130、高反射ミラー122及び123を介して照明光学系141に入射する。

[0259] 第2のレーザ装置22から出力されるリッジ平坦化用の第2のパルスレーザ光は、高反射ミラー321、アッテネータ330、高反射ミラー322及び323を介して照明光学系341に入射する。

- [0260] 照明光学系 141、341 の各々は、マスク 148 上における所定の照明領域を均一照明するための光学系であり、マスク 149 を矩形のビームでケータ照明するように配置される。
- [0261] 図 32 は、マスク 149 とマスク 149 に対するビームの照射領域の例を示す。図 32 に示すように、マスク 149 は、複数の T F T を形成するための複数のパターン領域 149 p a と、遮蔽領域 149 s h と、を含む。複数のパターン領域 149 p a の各々は、結晶成長を促進する同じ微細パターンが形成されている（図 33 参照）。
- [0262] 図 32 には、照明光学系 141 による均一照明領域 L B 1 m と、照明光学系 341 による均一照明領域 L B 2 m とが示されている。均一照明領域 L B 1 m は、レーザアニール用の均一ビームの照明領域である。均一照明領域 L B 2 m は、リッジ平坦化用の均一ビームの照射領域である。
- [0263] 照明光学系 141 による均一照明領域 L B 1 m 内の X 軸方向のパターン領域 149 p a の数は、レーザアニール時の照射パルス数 N_a に対応する数である。照明光学系 341 による均一照明領域 L B 2 m 内の X 軸方向のパターン領域 149 p a の数は、リッジ平坦化時の照射パルス数 N_r に対応する数である。
- [0264] 図 32 では簡単のために、 $N_a = 4$ 、 $N_r = 3$ の場合の例を示す。なお、例えば、 $N_a = 20$ 、 $N_r = 10$ の場合は、マスク 149 に配列される X 軸方向のパターン領域 149 p a の数を 30 個として、照明光学系 141 による均一照明領域 L B 1 m 内の X 軸方向のパターン領域 149 p a の数を 20 個、照明光学系 341 による均一照明領域 L B 2 m 内の X 軸方向のパターン領域 149 p a の数を 20 個とすればよい。
- [0265] なお、照明光学系 141 による均一照明領域 L B 1 m と、照明光学系 341 による均一照明領域 L B 2 m のそれぞれの領域内における Y 軸方向のパターン領域 149 p a の数は同じ数である。図 32 では、Y 軸方向のパターン領域 149 p a の数が 5 個の場合を示すが、この例に限定されることなく、レーザアニール時のフルーエンスが維持可能な数であればよい。

[0266] 図33は、パターン領域149paに形成されている微細パターンの例を示す拡大図である。この微細パターンは、図33に示すようなライン部149Lとスペース部149Sとが交互に並ぶラインアンドスペースパターンであってもよい。

[0267] パターン領域149paに形成されている微細パターンは、レーザアニールによって微細パターンに応じた結晶核を形成し、結晶が成長する微細パターンであればよい。例えば、X軸方向とY軸方向にそれぞれ同じピッチ間隔で配列されたドットが形成された微細パターンであってもよい。

[0268] 図31に示す投影光学系150は、マスク149の各パターン領域149paの微細パターンを被照射物190上のアモルファスシリコン上のTF Tの形成領域に結像させるように配置される。この場合、パターン領域149paの微細パターンが被照射物190上に投影される。

[0269] 9. 2 動作

レーザアニール制御部180は、レーザアニール用のパルスレーザ光のフルエンスがF aとなるように、第1のレーザ装置21とアッテネータ130を制御する。また、レーザアニール制御部180は、リッジ平坦化用のパルスレーザ光のフルエンスがF rとなるように、第2のレーザ装置22とアッテネータ330を制御する。

[0270] レーザアニール制御部180は、以下の式(14)が成立するように、XYZ軸ステージ172のX軸方向の速度V xを計算する。

$$[0271] \quad V_x = p \cdot f \quad (14)$$

ここで、pは被照射物190上におけるTF T形成領域のX軸方向の間隔である(図34参照)。fは第1のレーザ装置21及び第2のレーザ装置22の繰り返し周波数である。ここでは、第1のレーザ装置21及び第2のレーザ装置22の繰り返し周波数をそれぞれ同じfとする。

[0272] レーザアニール制御部180は、XYZ軸ステージ172が速度V xで等速直線運動をするようにXYZ軸ステージ172のX軸方向の速度を設定する。

- [0273] 図34は、実施形態6に係るレーザアニールシステム16の動作の説明図である。レーザアニール制御部180は、被照射物190の表面上のTF T形成領域に各パターン転写像が到達した時にレーザ光が照射されるように、発光トリガ信号Tr1及びTr2を同期させて、それぞれの第1のレーザ装置21及び第2のレーザ装置22に送信する。
- [0274] 第1のレーザ装置21から出力されたレーザアニール用のパルスストレッチされたパルスレーザ光が、フルーエンスF a、照射パルス数N a、及び繰り返し周波数fの照射条件で、被照射物190表面上のそれぞれのTF T形成領域に照射される。その結果、TF T形成領域のアモルファスシリコンがレーザアニールされ、結晶成長し、リッジが形成される。
- [0275] その後、それぞれの結晶化したポリシリコンのTF T形成領域に対して、第2のレーザ装置22から出力されたリッジ平坦化用のパルスレーザ光（パルスストレッチされないパルスレーザ光）が、フルーエンスF r、照射パルス数N r、及び繰り返し周波数fの照射条件で照射され、リッジが平坦化される。
- [0276] 図34において、5行10列の配列によって並ぶ50個の四角形領域の各々は、TF Tが形成されるTF T形成領域を示している。図34の右から左に向かってレーザアニール用の転写パターン像のビームと、リッジ平坦化用の転写パターン像のビームとが照射される。
- [0277] 図34における左から4列分の $5 \times 4 = 20$ 個の四角形領域の各々はレーザアニール用パルス照射部を表す。レーザアニール用パルス照射部は、レーザアニール用のパルスレーザ光が照射され、アモルファスシリコンが結晶成長してリッジが形成される。左から第1列目の各四角形領域はレーザアニール用のパルス照射が1回だけ行われたTF T形成領域を表す。左から第2列目の各四角形領域はレーザアニール用のパルス照射が2回行われたTF T形成領域を表す。第3列目は3回、第4列目は4回のパルス照射が行われたTF T形成領域を表す。
- [0278] レーザアニール時の照射パルス数N aが $N a = 4$ に設定される場合、1つ

の（同じ）ＴＦＴ形成領域に対してレーザアニール用のパルスレーザ光のパルス照射が４回実施される。

[0279] 図３４における左から第５列、第６列及び第７列の３列分の $5 \times 3 = 15$ 個の四角形領域は、リッジ平坦化用パルス照射部を表す。リッジ平坦化用パルス照射部は、先行するレーザアニール用のパルス照射（照射パルス数 N_a ）によって結晶化した領域であり、リッジ平坦化用のパルスレーザ光が照射され、リッジが部分溶融してリッジが平坦化される。

[0280] 第５列目のＴＦＴ形成領域は、リッジ平坦化用のパルスレーザ光のパルス照射の回数が１回目の領域である。第６列目のＴＦＴ形成領域はリッジ平坦化用のパルス照射が２回行われたＴＦＴ形成領域を表す。第７列目のＴＦＴ形成領域はリッジ平坦化用のパルス照射が３回行われたＴＦＴ形成領域を表す。リッジ平坦化時の照射パルス数 N_r が $N_r = 3$ である場合、１つの（同じ）ＴＦＴ形成領域に対してリッジ平坦化用のパルスレーザ光のパルス照射が３回実施される。

[0281] 図３４における右から３列分の $5 \times 3 = 15$ 個のＴＦＴ形成領域は、レーザアニール用のパルス照射を N_a 回実施した後にリッジ平坦化用のパルス照射を N_r 回実施済みのＴＦＴ形成領域を表す。

[0282] なお、図３４においてＴＦＴ形成領域以外の領域は、レーザ光が照射されないアモルファス部である。

[0283] ９．３ 作用・効果

実施形態６は、図１７で説明した実施形態１に比べて次の作用効果がある。すなわち、投影光学系１５１によって被照射物１９０上のＴＦＴ形成領域にマスクパターンを縮小して転写結像させて、レーザアニール用パルスレーザ光とリッジ平坦化用パルスレーザ光を照射できるので、パルスレーザ光の利用効率が高くなる。

[0284] ９．４ 変形例

[１] 実施形態６では、レーザアニール用のパルス時間幅が長いパルスレーザ光を出力する第１のレーザ装置２１とリッジ平坦化用のパルス時間幅が

短いパルスレーザ光を出力する第2のレーザ装置22の2台を使用する構成を示しているが、この例に限定されない。例えば、図31の第1のレーザ装置21及び第2のレーザ装置22に代えて、図29のレーザ装置23と分岐システム250を配置する構成、又は図30のように、レーザ装置24と偏光分岐システム251を配置する構成を採用して、レーザアニール用のパルスレーザ光とリッジ平坦化用のパルスレーザ光とに分けて照射してもよい。

[0285] [2] 実施形態6ではマスク149の投影光学系151として、1つの投影光学系151で複数のパターン領域149paをTF形成領域に転写結像させたが、この例に限定されない。例えば、投影光学系は、複数の投影光学系を含み、1つのパターン領域に対して、1つの像をそれぞれ転写結像させる投影光学系であってもよいし、レーザアニール用の投影光学系とリッジ平坦化用の投影光学系とを含んでもよい。

[0286] 10. 実施形態7

10. 1 構成

図35は、実施形態7に係るレーザアニールシステム17の構成を概略的に示す。図35の構成について図26との相違点を説明する。図35に示すレーザアニールシステム17は、投影光学系150を有していない点で図26の形態と相違する。また、レーザアニールシステム17の照射光学システム116は、図26の照明光学系140及び照明光学系340に代えて、照明光学系142及び照明光学系342を含む。図35に示すマスク148は、被照射物190の表面に近接配置される。マスク148と被照射物190との間の距離は、例えば、0.2mm~0.5mmの範囲の距離であってよい。

[0287] 照明光学系142は、マスク148を介して被照射物190の表面上をラインビームで均一照明する。照明光学系142によって被照射物190に照射されるラインビームは、レーザアニール用として使用される。

[0288] 照明光学系342は、マスク148を介して被照射物190の表面上をラインビームで均一照明する。照明光学系342によって被照射物190に照

射されるラインビームは、リッジ平坦化用として使用される。

[0289] 10. 2 動作

レーザアニール用のパルスレーザ光とリッジ平坦化用のパルスレーザ光は、被照射物190に対して近接配置されたマスク148を透過し、被照射物190上にマスクパターンに近いパターンのパルスレーザ光が照射される。

[0290] 10. 3 作用・効果

実施形態7によれば、投影光学系を省略することができ、実施形態3と比較して、システム構成を簡略化できる。

[0291] 10. 4 変形例

[1] 実施形態7では、レーザアニール用のパルス時間幅が長いパルスレーザ光を出力する第1のレーザ装置21とリッジ平坦化用のパルス時間幅が短いパルスレーザ光を出力する第2のレーザ装置22の2台を使用する構成を示しているが、この例に限定されない。例えば、図35の第1のレーザ装置21及び第2のレーザ装置22に代えて、図29のレーザ装置23と分岐システム250を配置する構成、又は図30のように、レーザ装置24と偏光分岐システム251を配置する構成を採用して、レーザアニール用のパルスレーザ光とリッジ平坦化用のパルスレーザ光とに分けて照射してもよい。

[0292] 11. 実施形態8

11. 1 構成

図36は、実施形態8に係るレーザアニールシステム18の構成を概略的に示す。図36に示す構成について図26との相違点を説明する。

[0293] 図36に示すレーザアニールシステム18は、図26の照射光学システム113に代えて照射光学システム117を含む。照射光学システム117は、図26における高反射ミラー123及び323、照明光学系140及び340が削除されており、これら光学系の代わりに、照明光学系システム360を含む。

[0294] 照明光学系システム360は、フライアイレンズ361及び362と、高反射ミラー365及び366と、コンデンサレンズ368と、を含む。

[0295] フライアイレンズ361と高反射ミラー365は、レーザアニール用のパルスレーザ光の光路上に配置される。フライアイレンズ361は、高反射ミラー122から出射されたレーザアニール用のパルスレーザ光がフライアイレンズ361に入射するように配置される。

[0296] フライアイレンズ362と高反射ミラー366は、リッジ平坦化用のパルスレーザ光の光路上に配置される。フライアイレンズ362は、高反射ミラー322から出射されたリッジ平坦化用のパルスレーザ光がフライアイレンズ362に入射するように配置される。高反射ミラー366は、フライアイレンズ362を透過したパルスレーザ光の中心軸が、コンデンサレンズ368に対して、図示のように垂直に入射するように配置される。

[0297] 一方、レーザアニール用のパルスレーザ光の光路に配置される高反射ミラー365は、フライアイレンズ361を透過したパルスレーザ光の中心軸が、コンデンサレンズ368に対して、図示のように斜めに入射するように配置される。

[0298] 11.2 動作

高反射ミラー365の反射角度を調節することにより、被照射物190の表面上においてレーザアニール用のラインビームLBaが照射される位置を調節することができる。すなわち、高反射ミラー365の反射角度の調節によって、被照射物190の表面上におけるレーザアニール用のラインビームLBaとリッジ平坦化用のラインビームLB rの相対的な位置関係を調節することができる。

[0299] 高反射ミラー365の反射角度は、被照射物190の表面上においてレーザアニール用のラインビームLBaの近傍にリッジ平坦化用のラインビームLB rが配置されるように調節される。

[0300] 11.3 作用・効果

高反射ミラー365の角度を調節することによって、レーザアニール用のラインビームの隣にリッジ平坦化用のラインビームを近接配置することができる。その結果、X軸方向の移動距離を短くでき、スループットが改善され

る。

[0301] 1 1. 4 変形例

「1」高反射ミラー365の角度の調節に代えて、又はこれに加えて、高反射ミラー366の角度を調節することによって、被照射物190の表面上におけるリッジ平坦化用のラインビームの配置位置を調節してもよい。

[0302] [2] 高反射ミラー365に、Y軸を中心にチルト回転させるチルト回転ステージを付けて、XYZ軸ステージ172のX軸方向の移動方向に応じてレーザアニール用のラインビームの位置を制御してもよい。

[0303] [3] 図29及び図30のように、レーザ装置と分岐システム又は偏光分岐システムを配置して、レーザアニール用とリッジ平坦化用のパルスレーザ光に分けて照射してもよい。

[0304] 1 2. その他

上述した各実施形態及び変形例で説明した技術事項は、可能な範囲で適宜組み合わせてもよい。

[0305] 本開示の半導体結晶薄膜の製造方法により製造される半導体薄膜を用いて、TFTに代表される半導体素子を含む電子デバイスを製造することができる。

[0306] 上記の説明は、制限ではなく単なる例示を意図している。したがって、特許請求の範囲を逸脱することなく本開示の実施形態に変更を加えることができることは、当業者には明らかである。また、本開示の実施形態を組み合わせ使用することも当業者には明らかである。

[0307] 本明細書及び特許請求の範囲全体で使用される用語は、明記が無い限り「限定的でない」用語と解釈されるべきである。例えば、「含む」又は「含まれる」という用語は、「含まれるものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。「有する」という用語は、「有するものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。また、不定冠詞「1つの」は、「少なくとも1つ」又は「1又はそれ以上」を意味すると解釈されるべきである。また、「A、B及びCの少なくとも1つ」という用語

は、「A」「B」「C」「A+B」「A+C」「B+C」又は「A+B+C」と解釈されるべきである。さらに、それらと「A」「B」「C」以外のものとの組み合わせも含むと解釈されるべきである。

請求の範囲

- [請求項1] 半導体結晶薄膜の製造方法であって、
第1のパルス時間幅の第1のパルスレーザ光を非晶質半導体に照射することによって前記非晶質半導体を多結晶化することと、
前記多結晶化した半導体結晶の領域に、前記第1のパルス時間幅よりも短い第2のパルス時間幅の第2のパルスレーザ光を照射することにより前記半導体結晶のリッジの高さを低減させることと、
を含む半導体結晶薄膜の製造方法。
- [請求項2] 請求項1に記載の半導体結晶薄膜の製造方法であって、
前記第1のパルスレーザ光のフルエンスを F_a 、前記第2のパルスレーザ光のフルエンスを F_r とする場合に、 $F_r < F_a$ の関係を満たす、
半導体結晶薄膜の製造方法。
- [請求項3] 請求項1に記載の半導体結晶薄膜の製造方法であって、
前記非晶質半導体を含む被照射物上の同一領域に照射する前記第1のパルスレーザ光の照射パルス数を N_a 、前記同一領域に照射する前記第2のパルスレーザ光の照射パルス数を N_r とする場合に、 $N_r < N_a$ の関係を満たす、
半導体結晶薄膜の製造方法。
- [請求項4] 請求項1に記載の半導体結晶薄膜の製造方法であって、
前記第2のパルス時間幅は、前記第1のパルス時間幅の60%以下である、
半導体結晶薄膜の製造方法。
- [請求項5] 請求項1に記載の半導体結晶薄膜の製造方法であって、
前記被照射物上における前記第1のパルスレーザ光の照射領域に対し、前記第1のパルスレーザ光を照射してから200ナノ秒以上後に、前記第2のパルスレーザ光の照射を開始する、
半導体結晶薄膜の製造方法。

- [請求項6] 請求項1に記載の半導体結晶薄膜の製造方法であって、
前記非晶質半導体は、アモルファスシリコンである、
半導体結晶薄膜の製造方法。
- [請求項7] 請求項1に記載の半導体結晶薄膜の製造方法であって、
所定のマスクパターンを有するマスクを用いて、前記第1のパルスレーザ光及び前記第2のパルスレーザ光の照明パターンを形成することを含み、
前記マスクパターンに応じた前記第1のパルスレーザ光の照明パターンを前記非晶質半導体に照射し、
前記マスクパターンに応じた前記第2のパルスレーザ光の照明パターンを前記多結晶化した前記半導体結晶の領域に照射する、
半導体結晶薄膜の製造方法。
- [請求項8] 請求項7に記載の半導体結晶薄膜の製造方法であって、
前記マスクパターンは、遮光部としてのライン部と光通過部としてのスペース部とが交互に並ぶラインアンドスペースパターンを含む、
半導体結晶薄膜の製造方法。
- [請求項9] 第1のパルス時間幅の第1のパルスレーザ光と前記第1のパルス時間幅よりも短い第2のパルス時間幅の第2のパルスレーザ光を出力するレーザシステムと、
前記第1のパルスレーザ光及び前記第2のパルスレーザ光を被照射物に照射するレーザアニール装置と、を含み、
前記レーザアニール装置は、
前記第1のパルスレーザ光及び前記第2のパルスレーザ光を前記被照射物に導く照射光学系と、
前記被照射物に対する前記第1のパルスレーザ光及び前記第2のパルスレーザ光の照射位置を相対的に移動させる移動機構と、
前記第1のパルスレーザ光を前記被照射物に照射し、前記第1のパルスレーザ光の照射後に、前記被照射物における前記第1のパルスレ

ーザ光が照射された領域に前記第2のパルスレーザ光を照射するように前記レーザシステムを制御する制御部と、

を含むレーザアニールシステム。

[請求項10]

請求項9に記載のレーザアニールシステムであって、

前記第1のパルスレーザ光が照射される前記被照射物は非晶質半導体であり、

前記制御部は、前記第1のパルスレーザ光を前記非晶質半導体に照射することによって前記非晶質半導体を多結晶化し、前記多結晶化した半導体結晶の領域に、第2のパルスレーザ光を照射することにより前記半導体結晶のリッジの高さを低減させるように前記レーザシステム及び前記移動機構を制御する、
レーザアニールシステム。

[請求項11]

請求項10に記載のレーザアニールシステムであって、

前記第1のパルスレーザ光のフルーエンスと前記第1のパルス時間幅は、前記非晶質半導体を完全熔融させる条件に設定され、

前記第2のパルスレーザ光のフルーエンスと前記第2のパルス時間幅は、前記多結晶化によって生成された前記半導体結晶の前記リッジの部分を低くさせる条件に設定される、
レーザアニールシステム。

[請求項12]

請求項9に記載のレーザアニールシステムであって、

前記照射光学系は、所定のマスクパターンを有するマスクを含み、
前記マスクパターンに応じた前記第1のパルスレーザ光及び前記第2のパルスレーザ光の照明パターンが前記被照射物に照射される、
レーザアニールシステム。

[請求項13]

請求項12に記載のレーザアニールシステムであって、

前記照射光学系は、前記マスクの前記マスクパターンを前記被照射物上に転写結像させる転写光学系を含む、
レーザアニールシステム。

- [請求項14] 請求項 1 3 に記載のレーザアニールシステムであって、
前記転写光学系は、前記被照射物上において薄膜トランジスタを形成する複数の領域の各々に、前記マスクパターンを結像させる投影光学系である、
レーザアニールシステム。
- [請求項15] 請求項 9 に記載のレーザアニールシステムであって、
前記レーザシステムは、
パルスレーザ光を出力するレーザ発振器と、
前記レーザ発振器から出力されたパルスレーザ光をパルスストレッチする光学パルスストレッチャと、
前記光学パルスストレッチャの光路を切り替えるように前記光路上に配置する光学素子を切り替える光学素子切替ユニットと、を含み、
前記制御部は、前記光学素子切替ユニットを制御して前記光路上の前記光学素子の切り替えを行うことにより、前記第 1 のパルスレーザ光と前記第 2 のパルスレーザ光の出力を制御する、
レーザアニールシステム。
- [請求項16] 請求項 9 に記載のレーザアニールシステムであって、
前記レーザシステムは、
パルスレーザ光を出力するレーザ発振器と、
前記レーザ発振器から出力されたパルスレーザ光をパルスストレッチする光学パルスストレッチャと、
前記光学パルスストレッチャの遅延光路に配置されるシャッタと、
を含み、
前記制御部は、前記シャッタの開閉を制御することにより、前記第 1 のパルスレーザ光と前記第 2 のパルスレーザ光の出力を制御する、
レーザアニールシステム。
- [請求項17] 請求項 9 に記載のレーザアニールシステムであって、
前記レーザシステムは、

前記第 1 のパルスレーザ光を出力する第 1 のレーザ装置と、
前記第 2 のパルスレーザ光を出力する第 2 のレーザ装置と、
を含む、
レーザアニールシステム。

[請求項 18] 請求項 17 に記載のレーザアニールシステムであって、
前記第 1 のレーザ装置は、
パルスレーザ光を出力するレーザ発振器と、
前記レーザ発振器から出力されたパルスレーザ光をパルスストレッチする光学パルスストレッチャと、を含む、
レーザアニールシステム。

[請求項 19] 請求項 9 に記載のレーザアニールシステムであって、
前記レーザシステムは、
パルスレーザ光を出力する第 3 のレーザ装置と、
前記第 3 のレーザ装置から出力された前記パルスレーザ光をパルスストレッチする光学パルスストレッチャと、
前記第 3 のレーザ装置と前記光学パルスストレッチャとの間の光路に配置されたビームスプリッタと、を含み、
前記光学パルスストレッチャによってパルスストレッチされたレーザ光である前記第 1 のパルスレーザ光が出力され、
前記ビームスプリッタによって分岐されたレーザ光である前記第 2 のパルスレーザ光が出力される、
レーザアニールシステム。

[請求項 20] 請求項 9 に記載のレーザアニールシステムであって、
前記レーザシステムは、
パルスレーザ光を出力する第 4 のレーザ装置と、
前記第 4 のレーザ装置から出力された前記パルスレーザ光をパルスストレッチする光学パルスストレッチャと、
前記第 4 のレーザ装置と前記光学パルスストレッチャとの間の光路

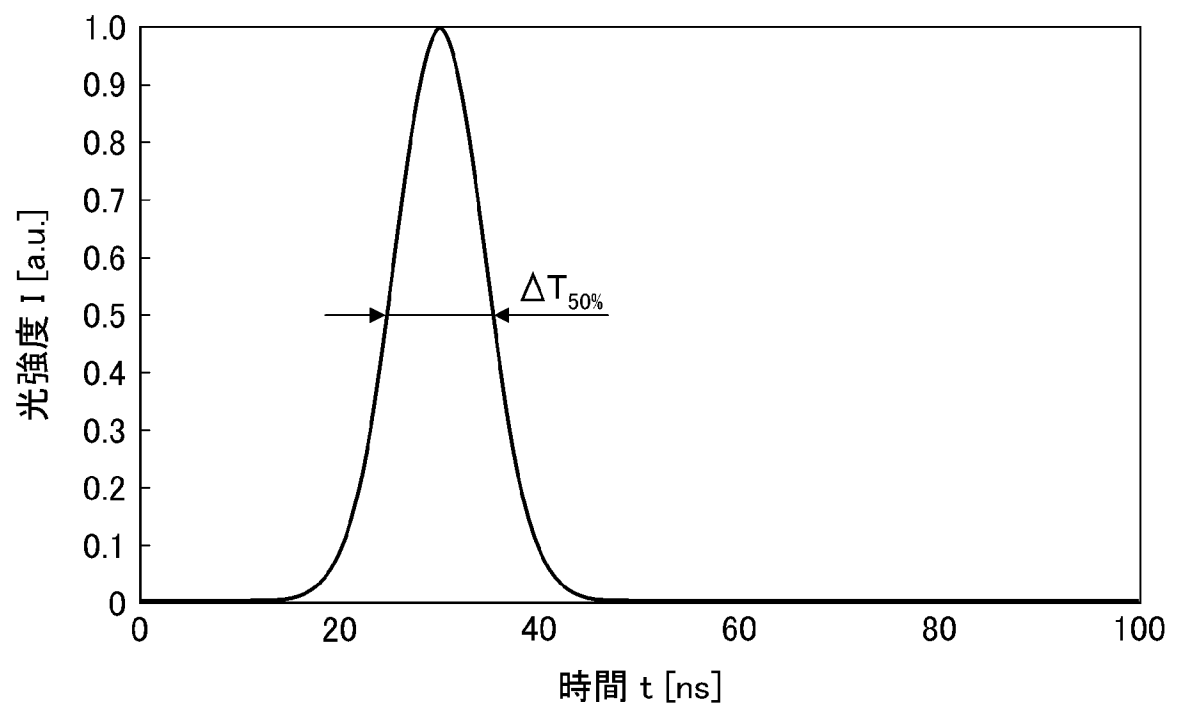
に配置されたリターダと、を含み、

前記光学パルスストレッチャによってパルスストレッチされた第1の偏光成分のレーザ光である前記第1のパルスレーザ光が出力され、

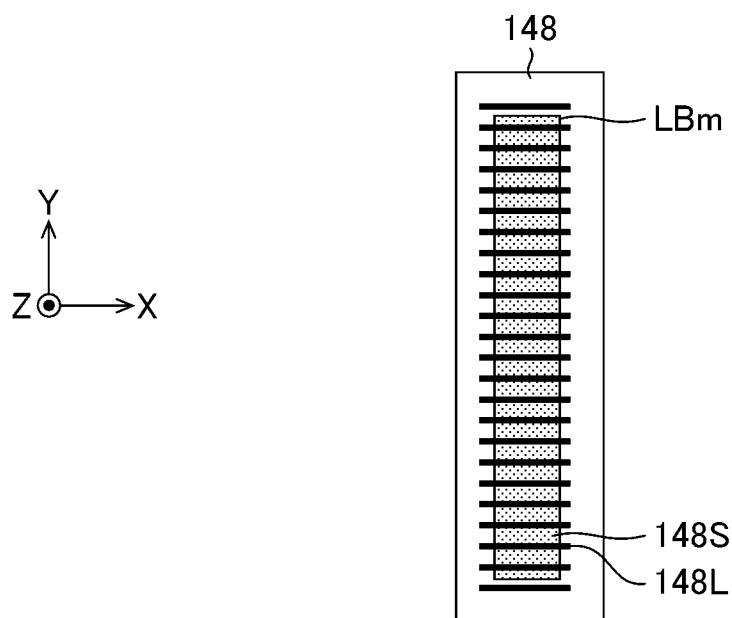
前記光学パルスストレッチャによってパルスストレッチされない第2の偏光成分のレーザ光である前記第2のパルスレーザ光が出力される、

レーザアニールシステム。

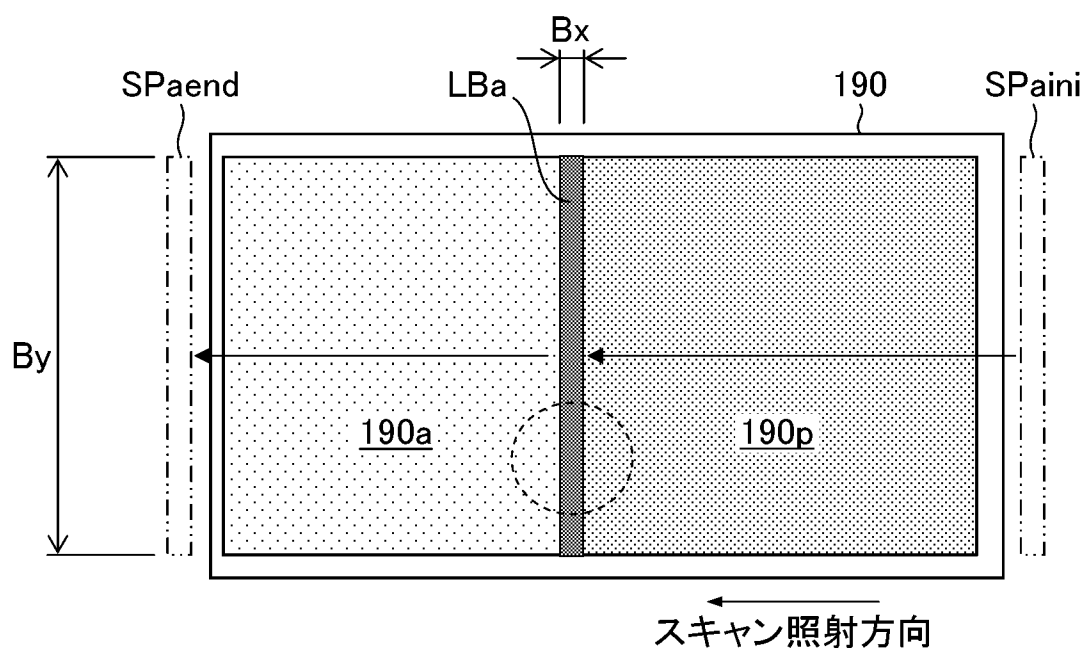
[図1]



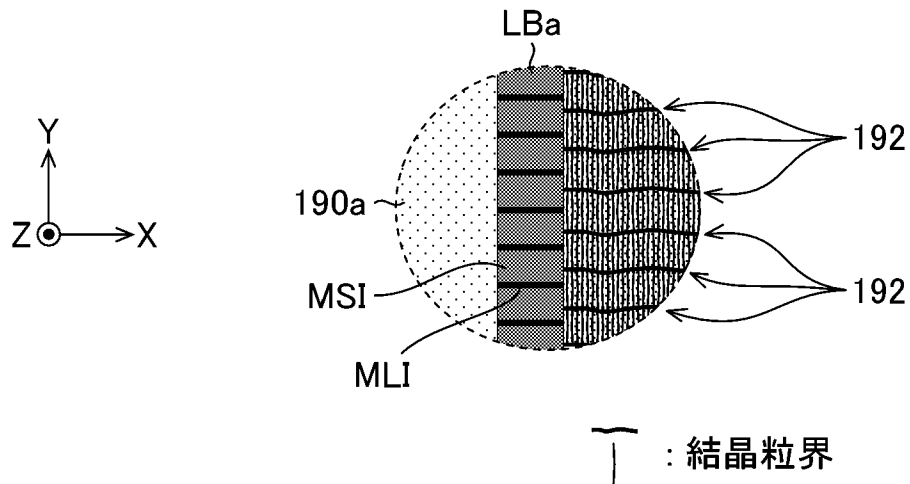
[図3]



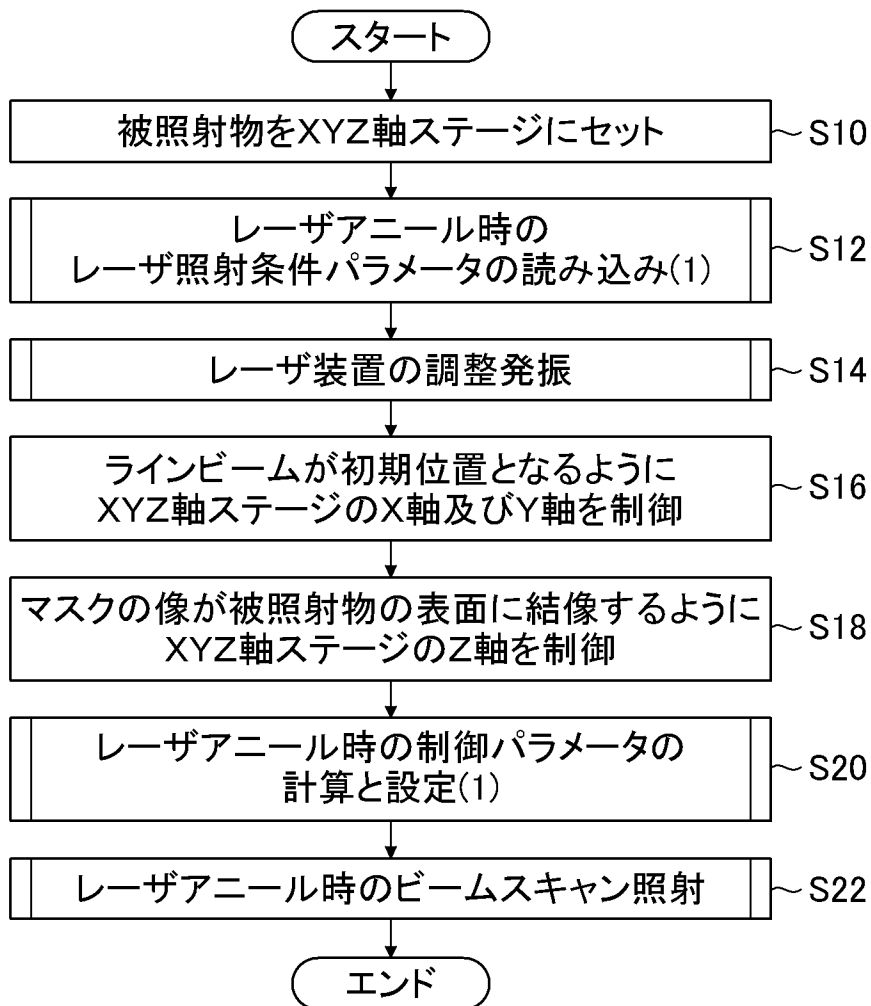
[図4]



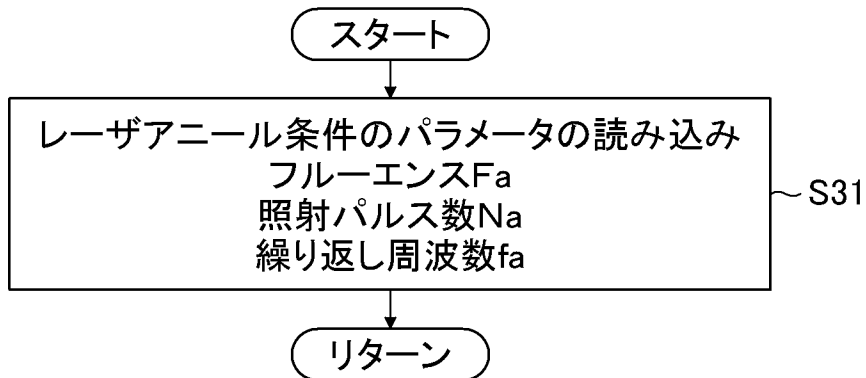
[図5]



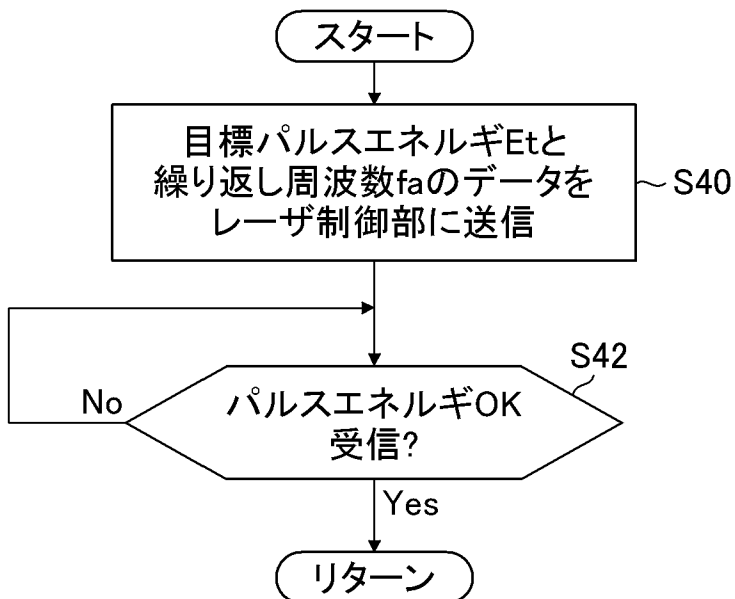
[図6]



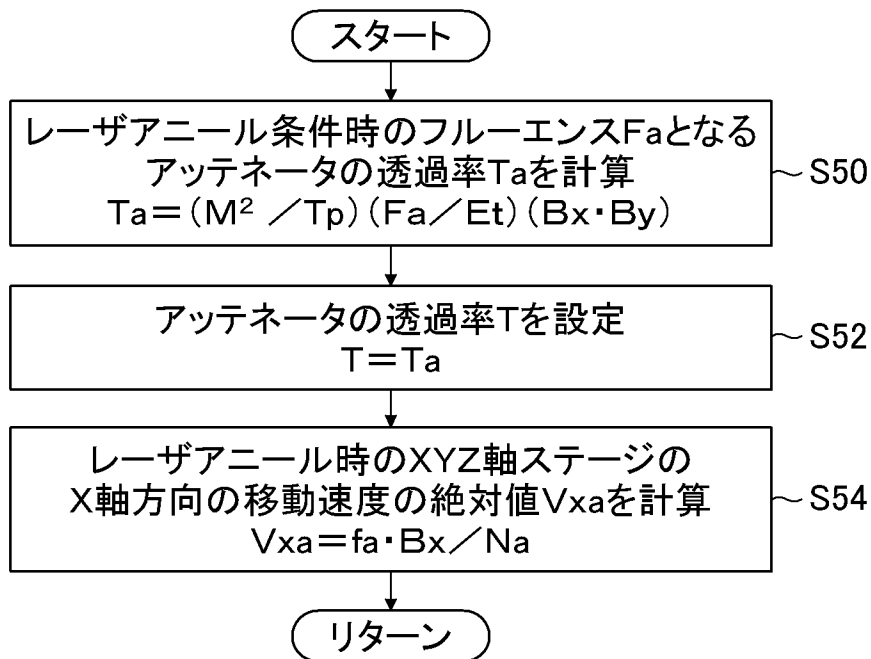
[図7]



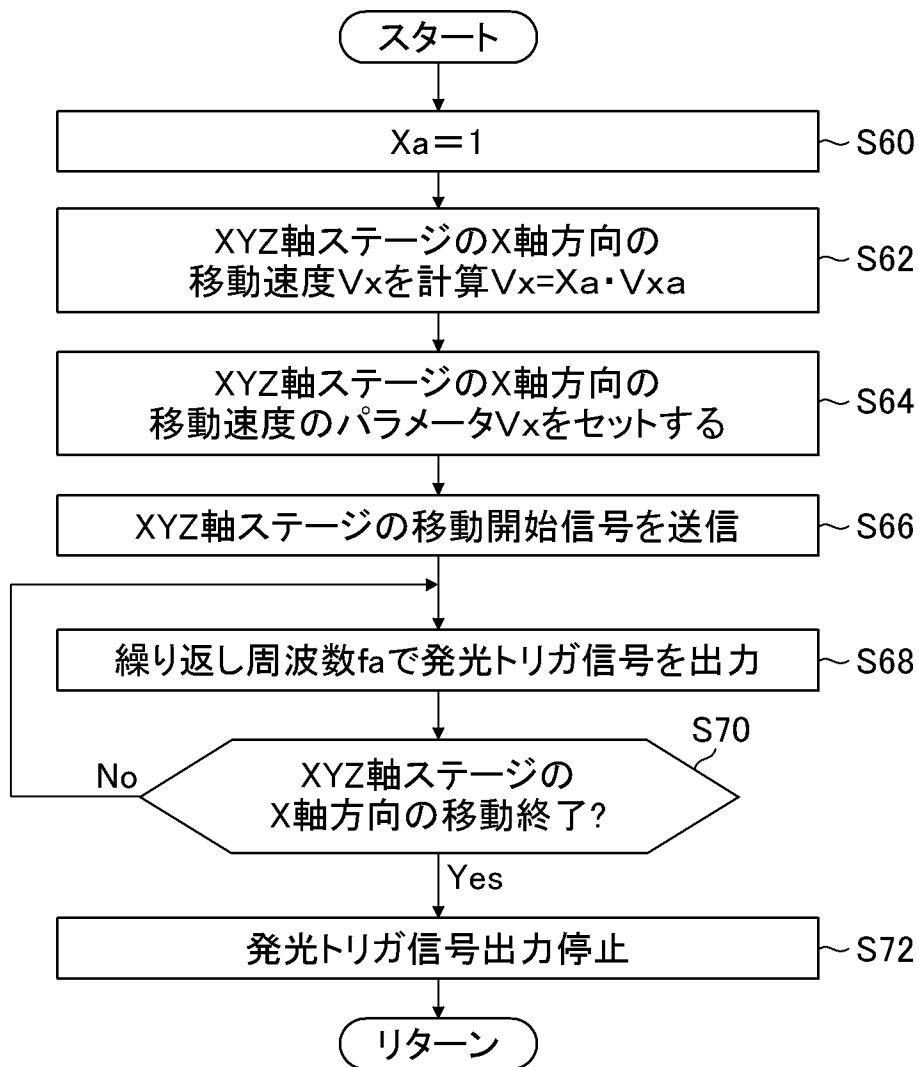
[図8]



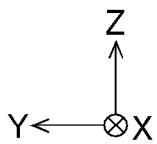
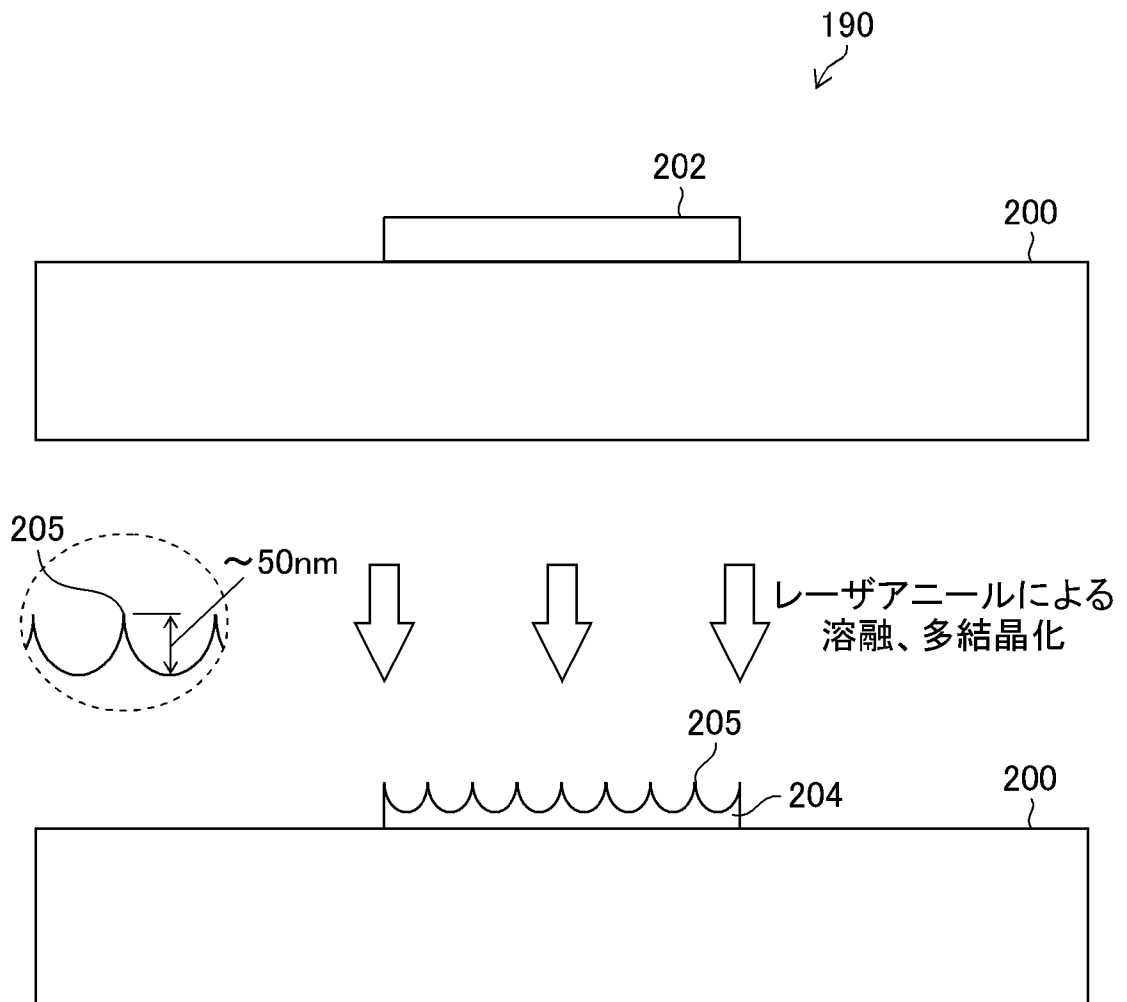
[図9]



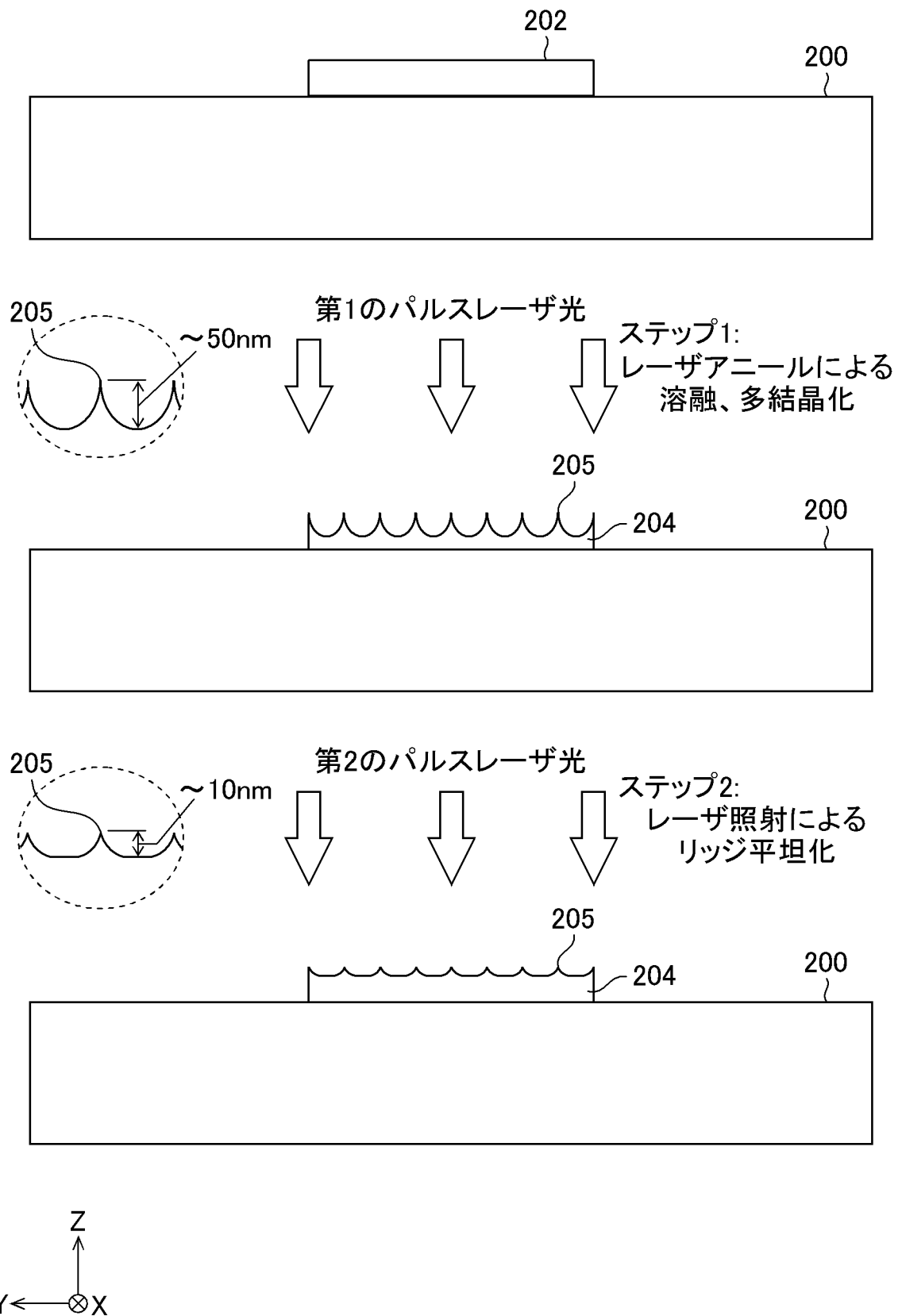
[図10]



[図11]



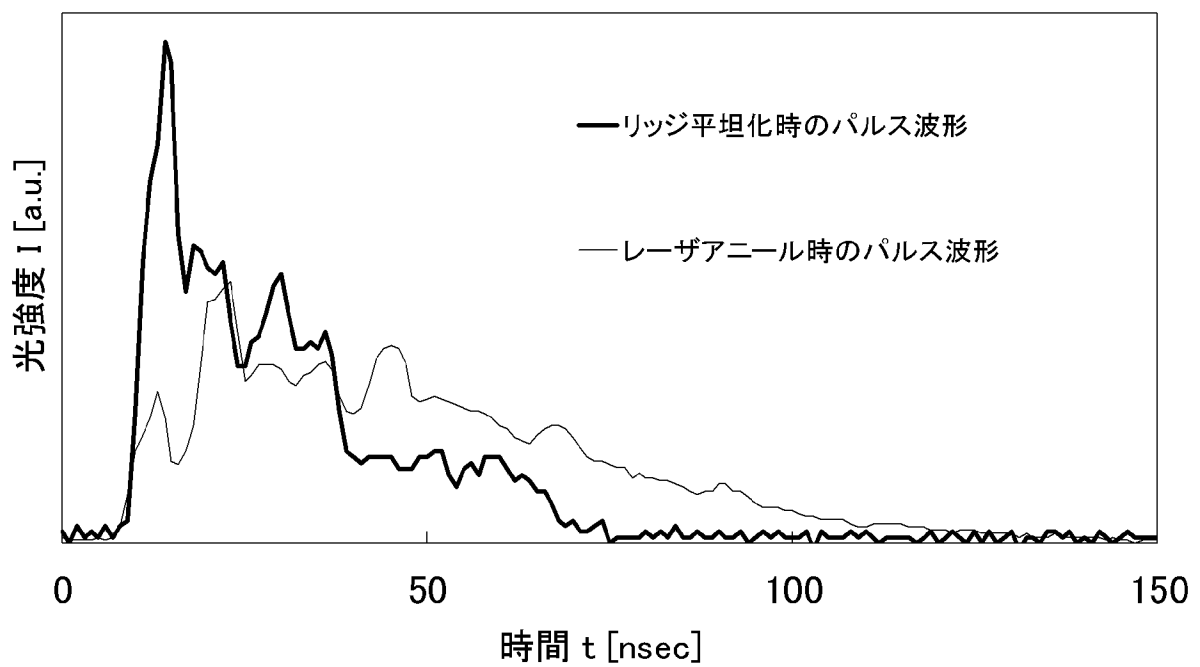
[図12]



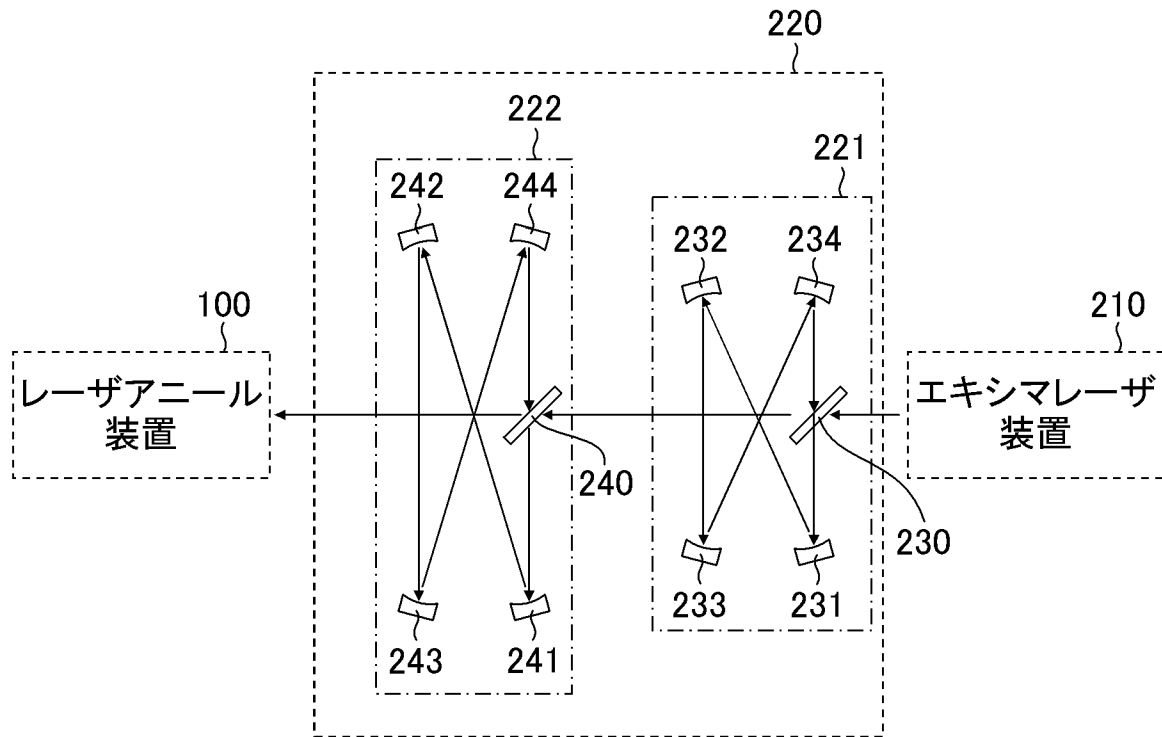
[図13]

項目	レーザアニール時の 照射条件	リッジ平坦化時の 照射条件
フルーエンス F (mJ/cm ²)	400	100
パルス時間幅 $\Delta T_{50\%}$ (ns)	39	14
パルス時間幅 ΔT_{TIS} (ns)	87	47
照射パルス数 N	20	10

[図14]



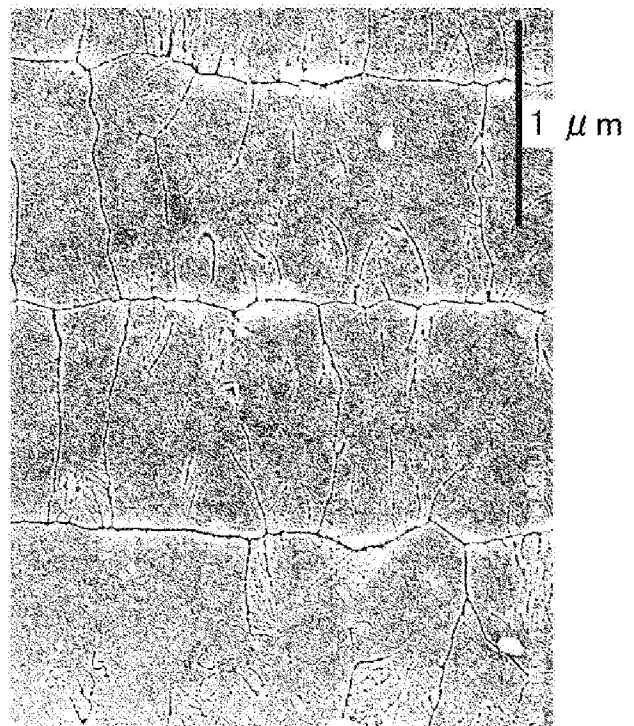
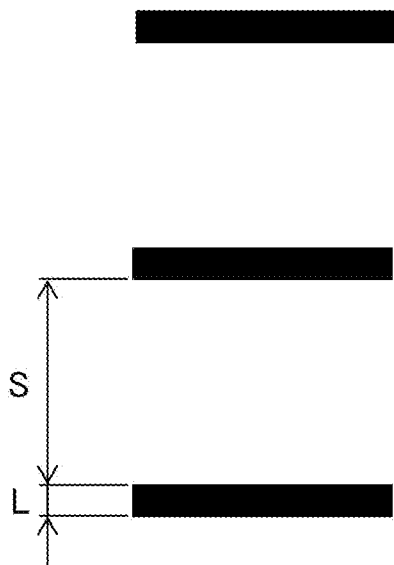
[図15]



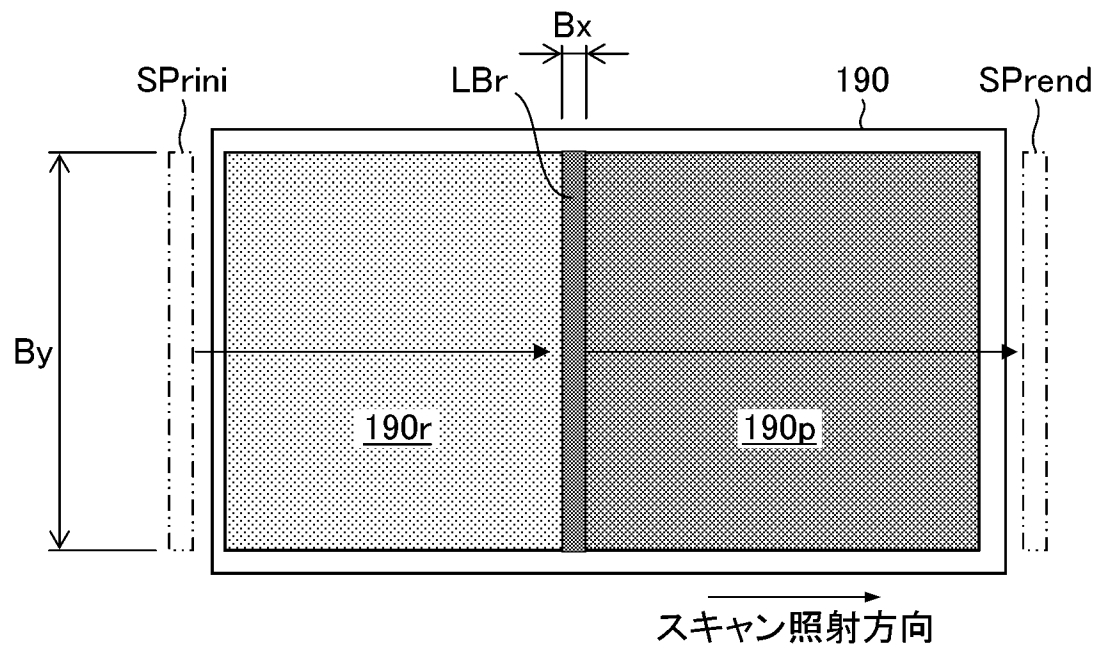
[図16]

マスクパターンの像

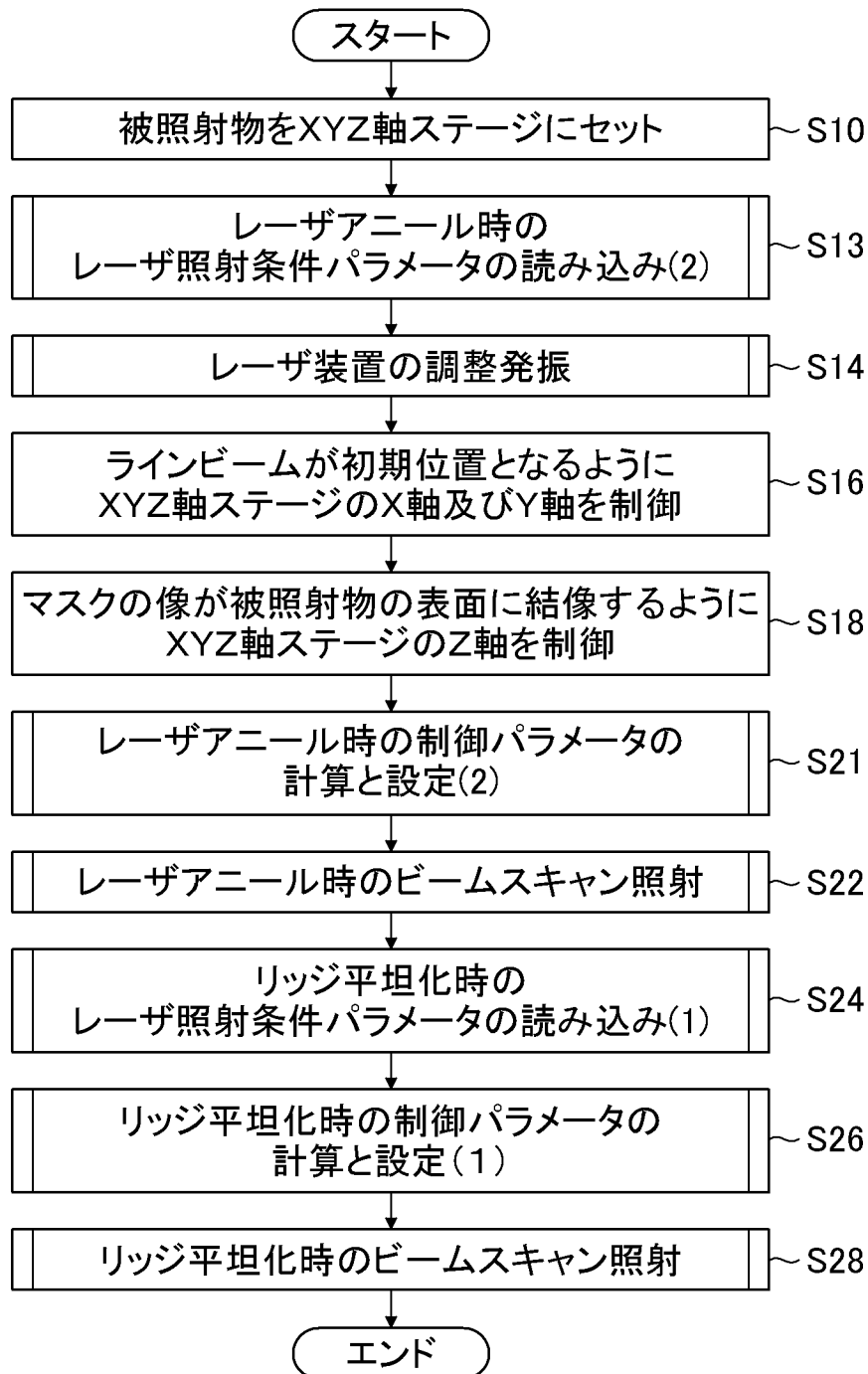
レーザーアニール後の結晶の状態



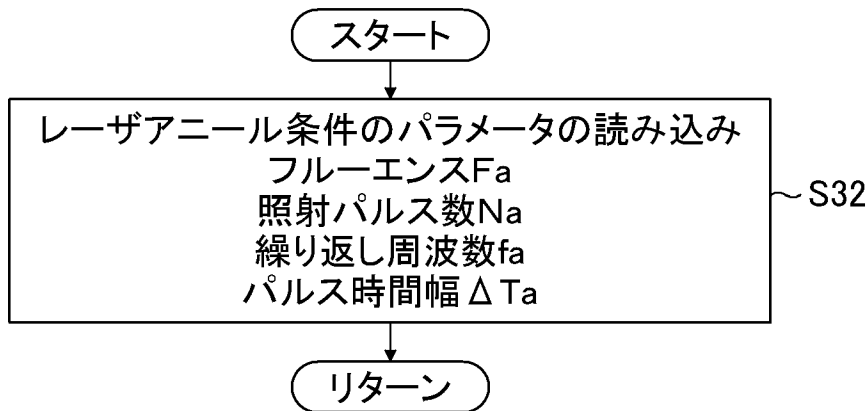
[図18]



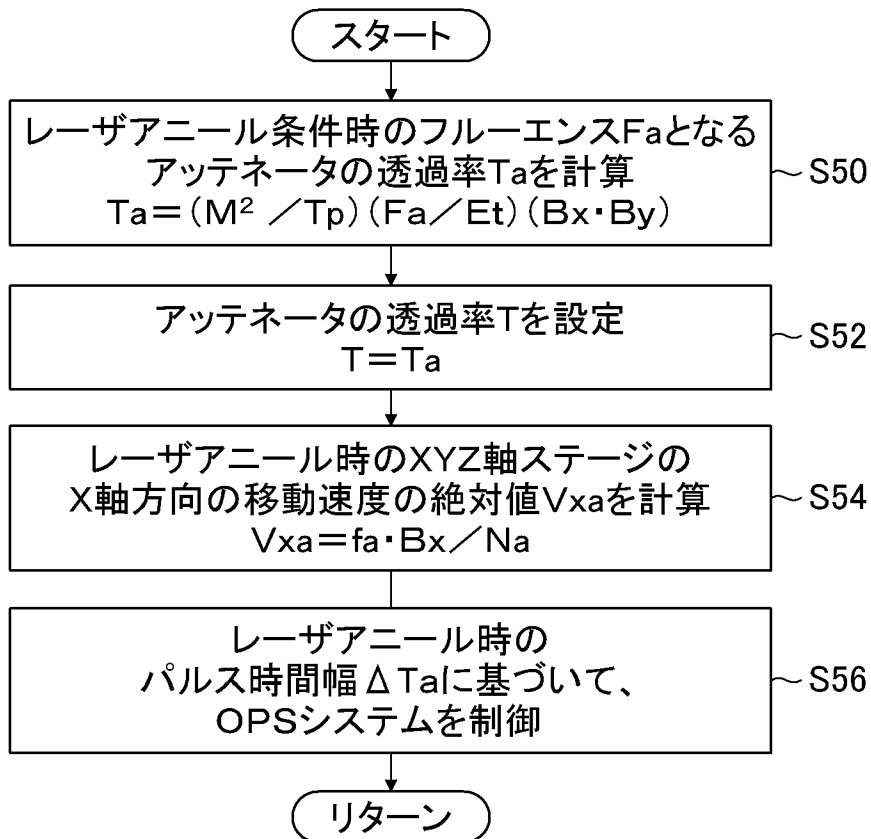
[図19]



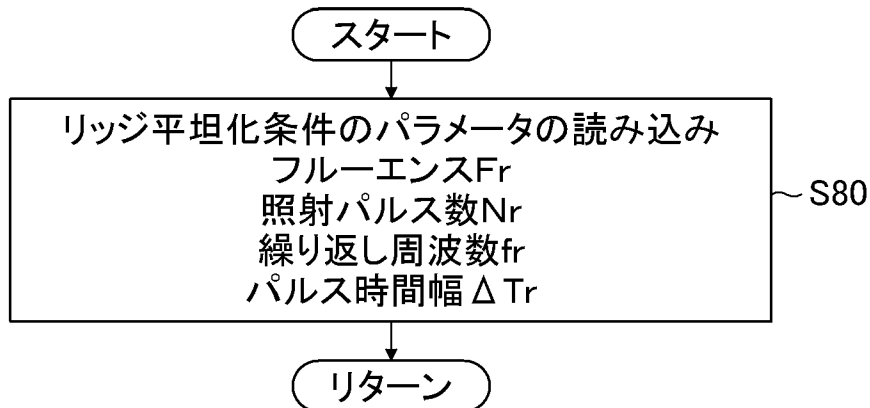
[図20]



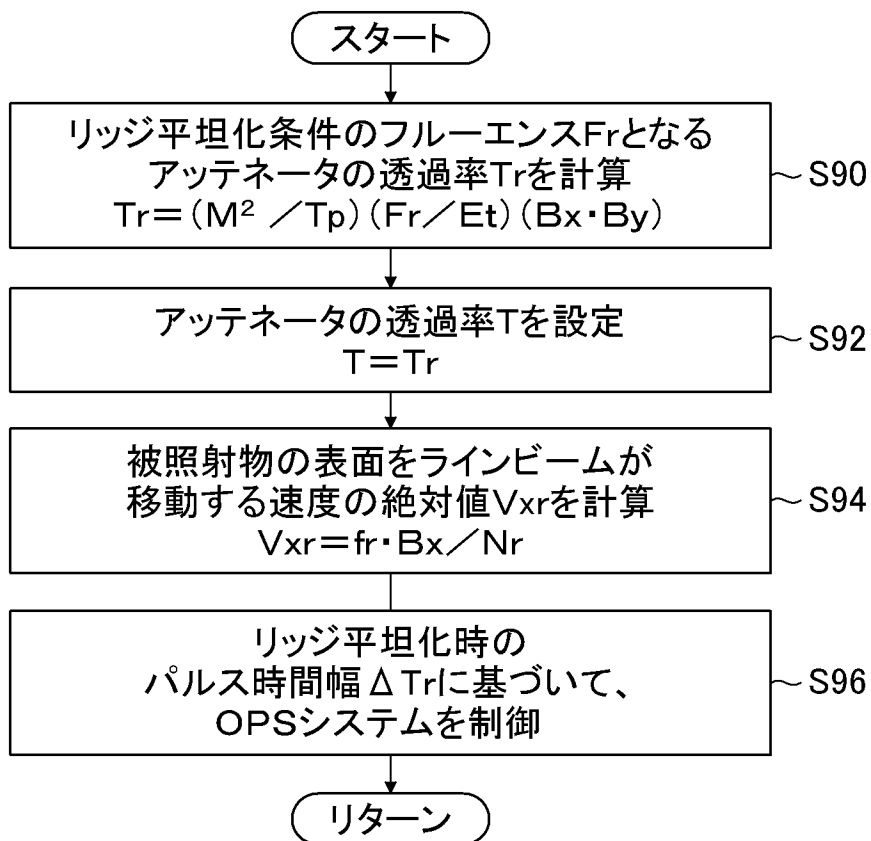
[図21]



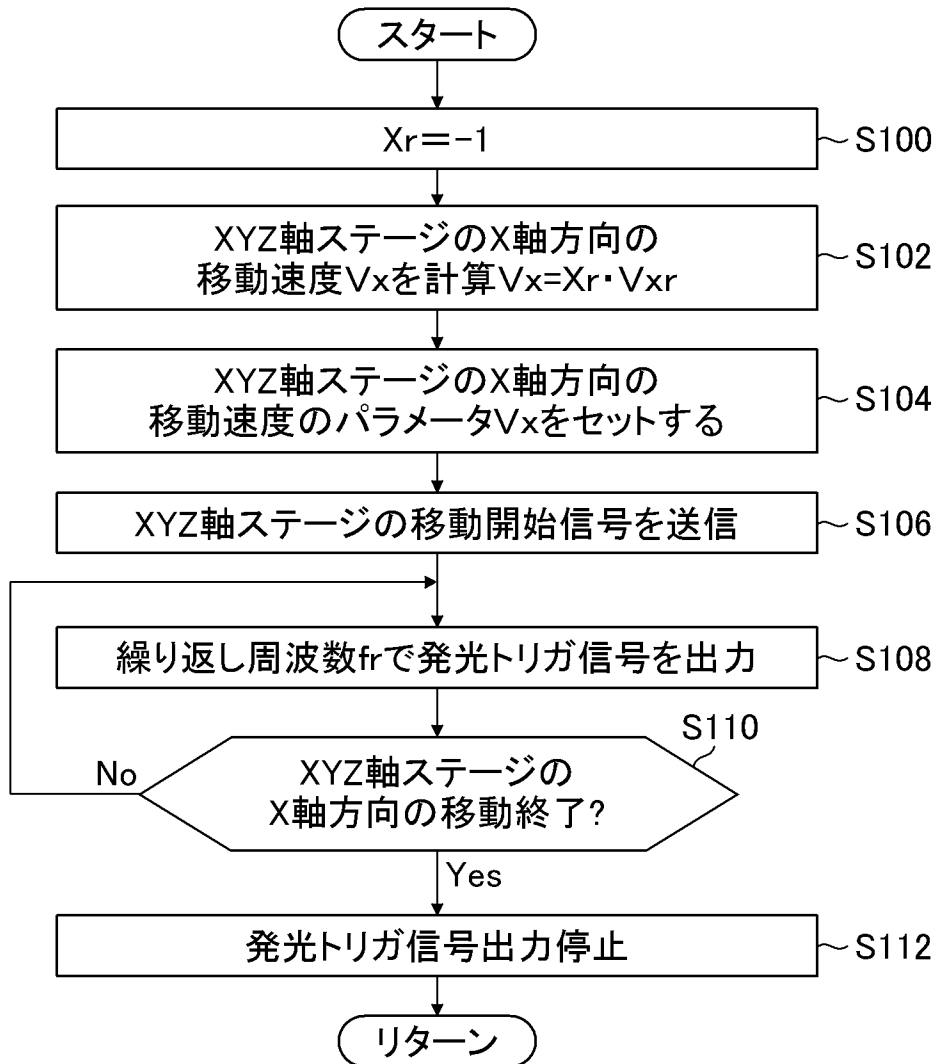
[図22]



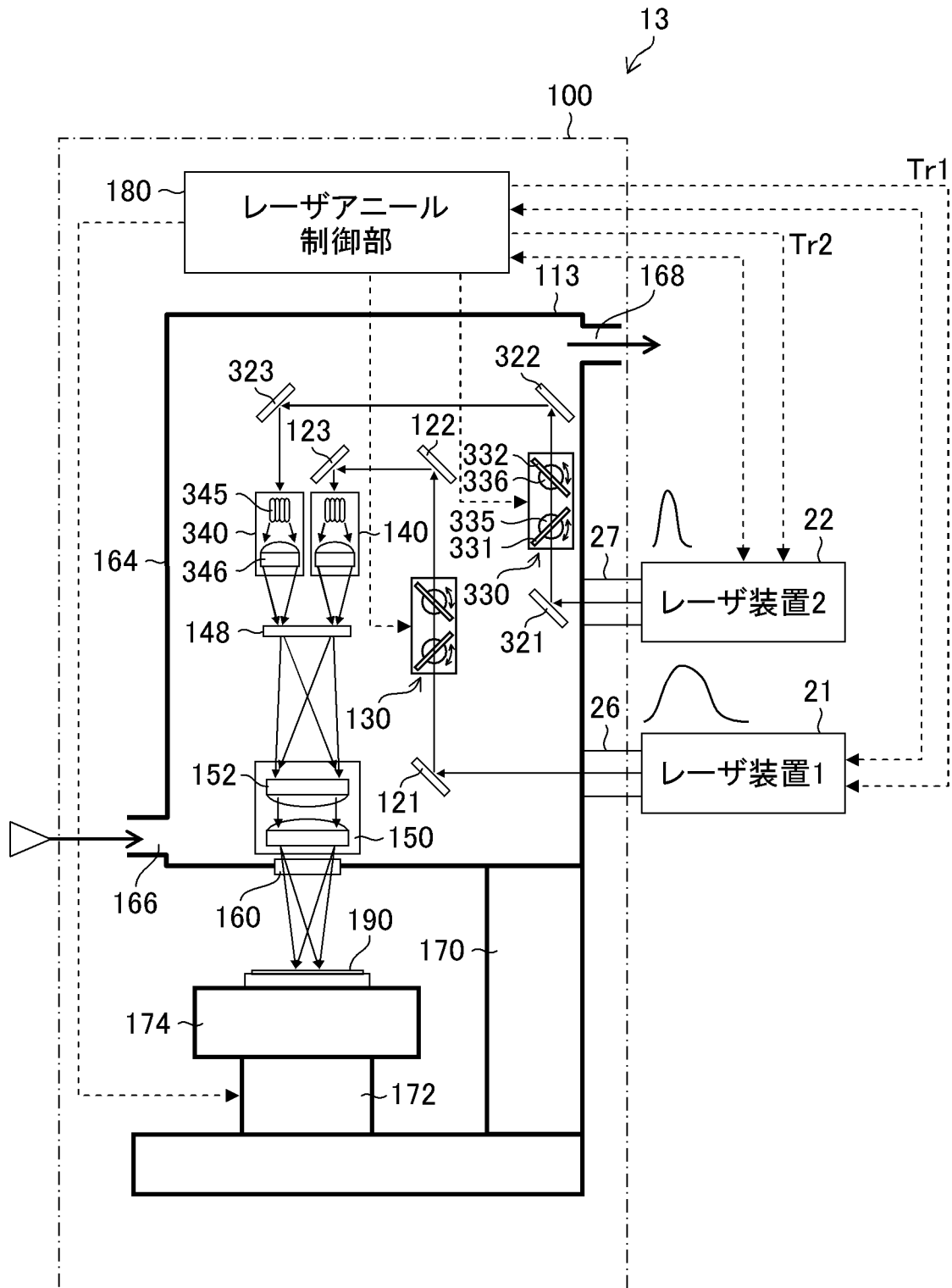
[図23]



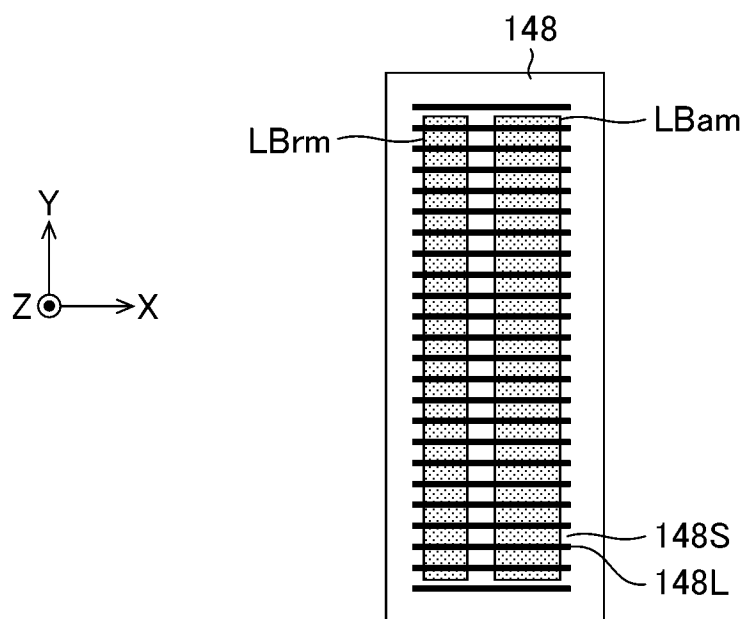
[図24]



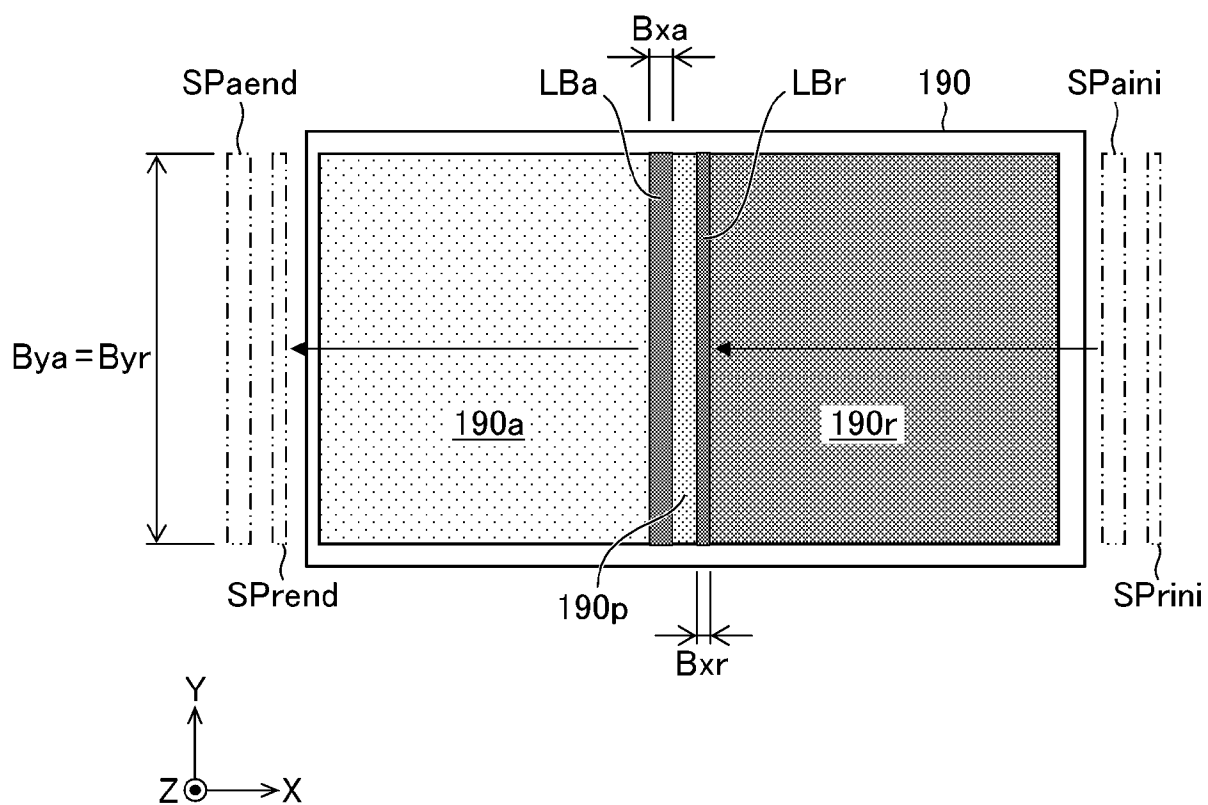
[図26]



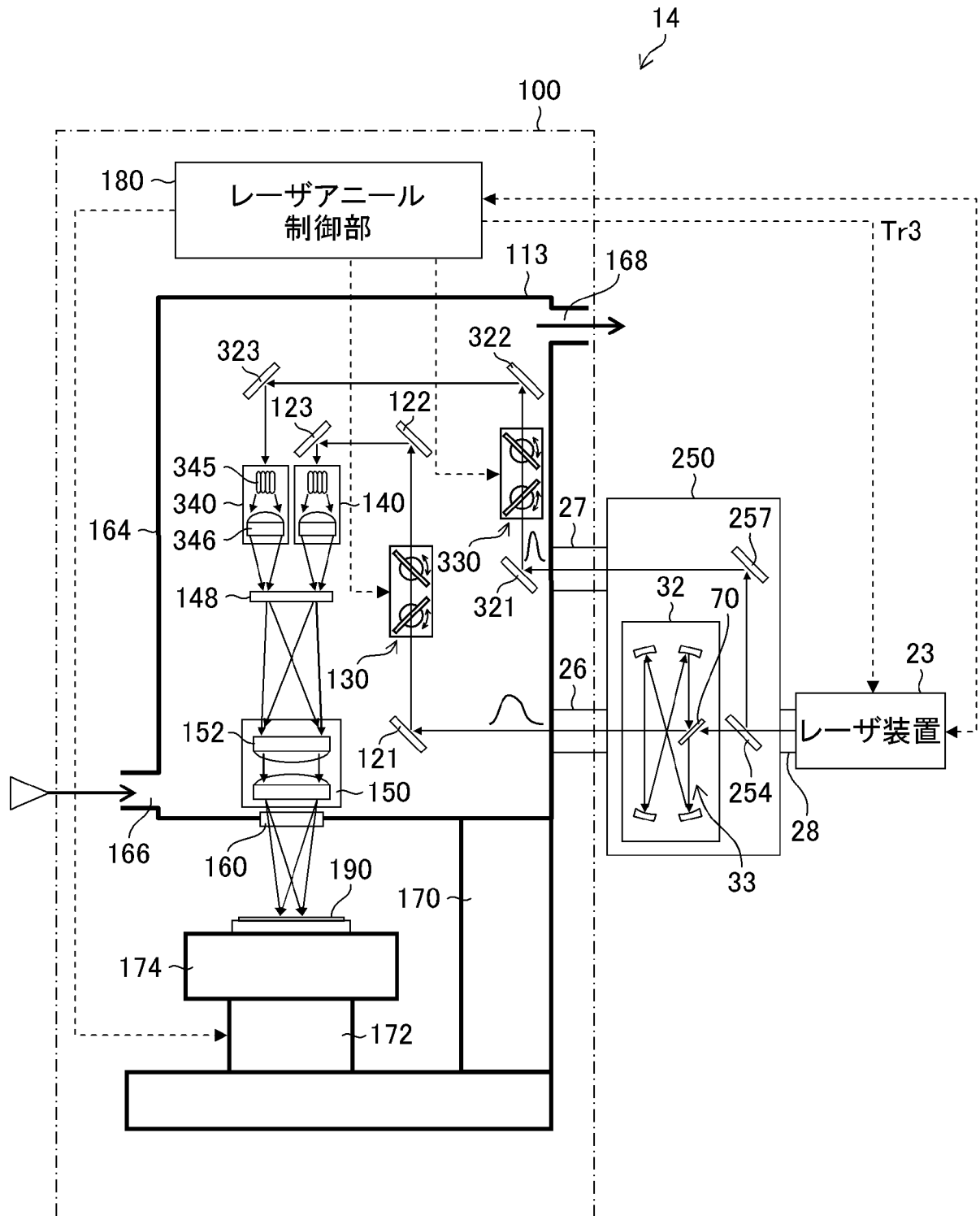
[図27]



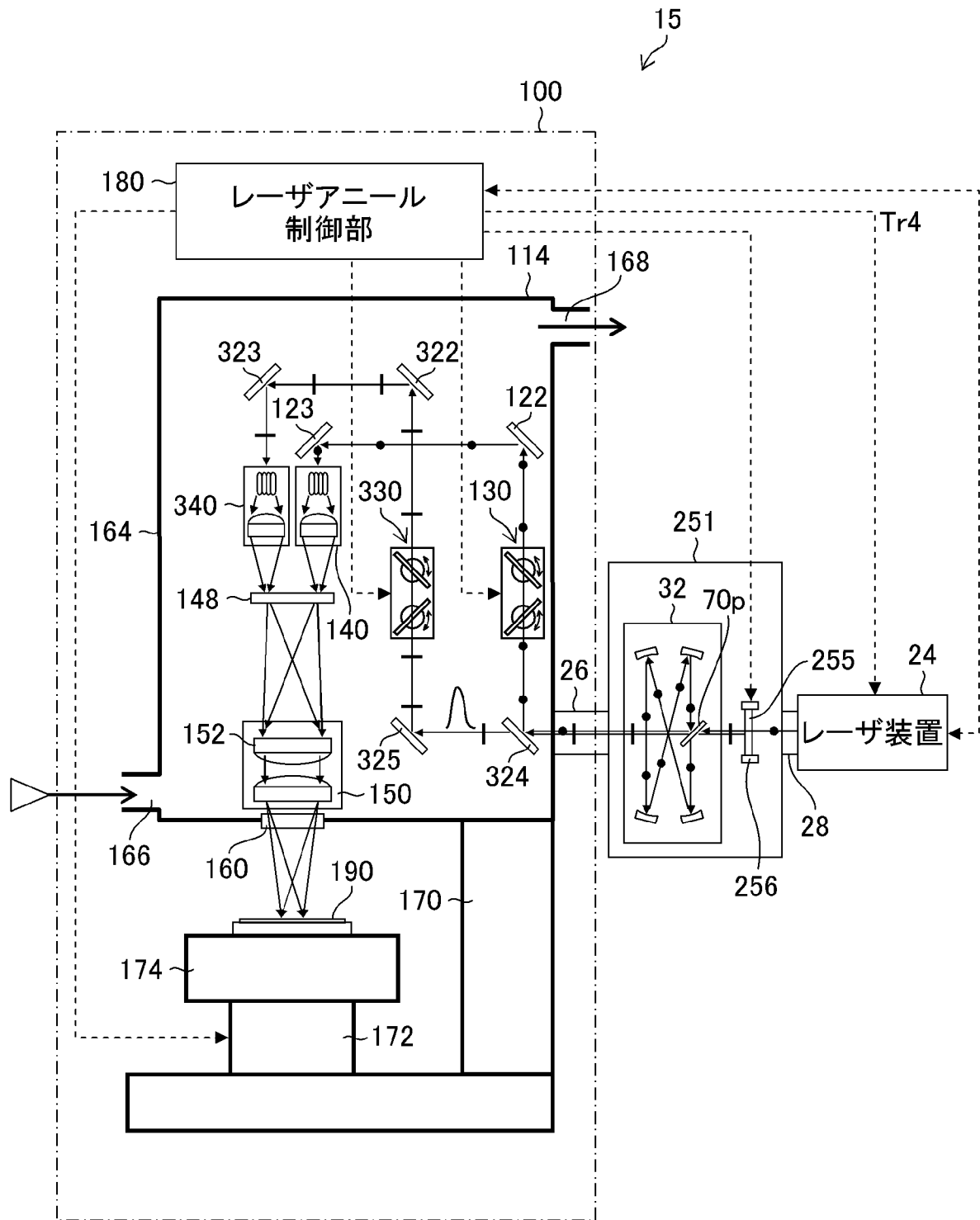
[図28]



[図29]

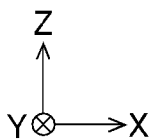


[図30]

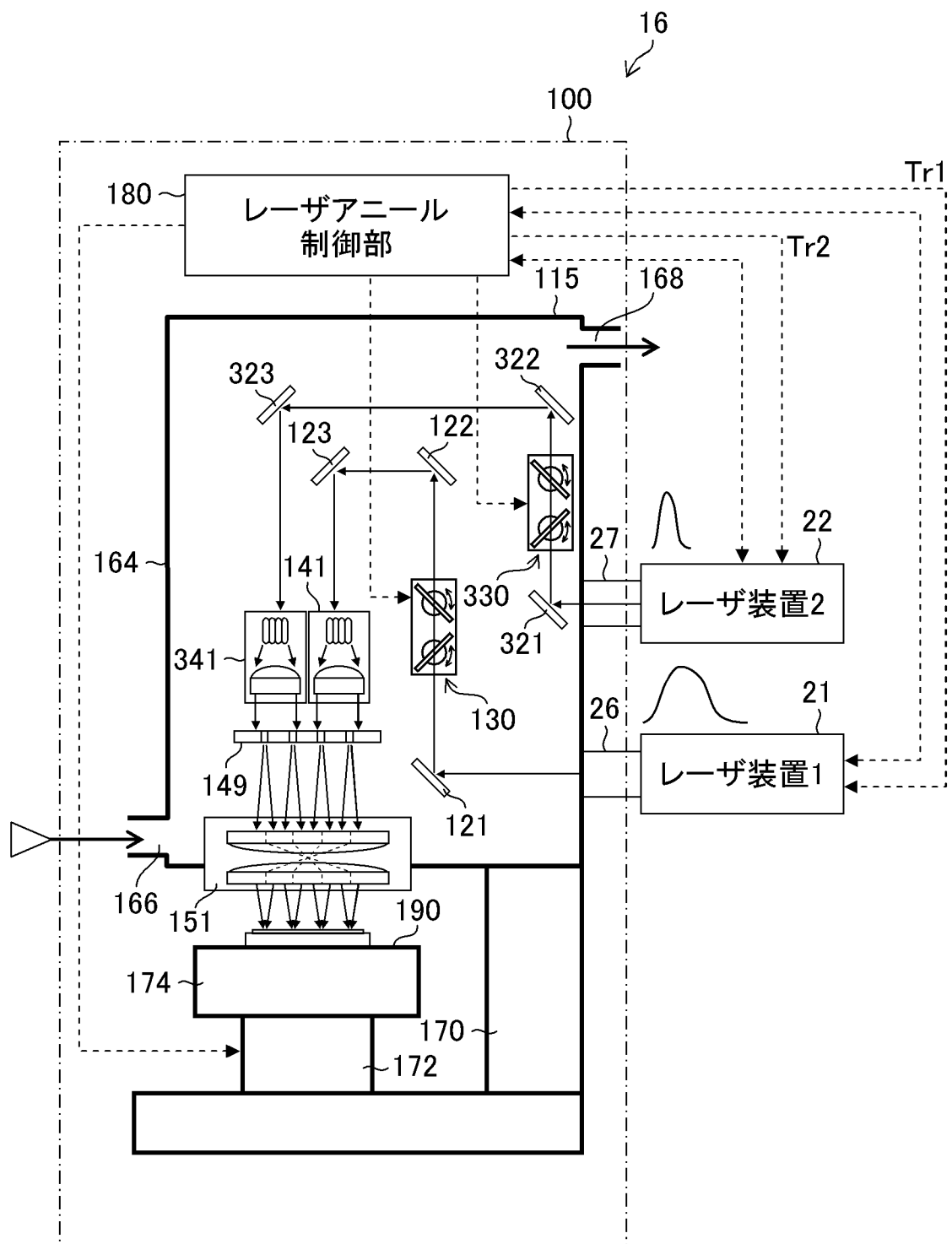


←●●● : XZ平面に直交する偏光面のパルスレーザー光

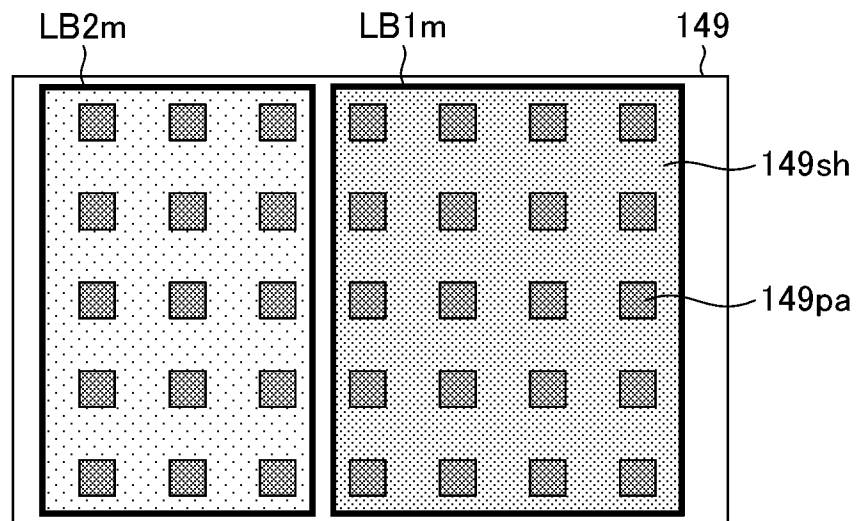
←++ : XZ平面を含む偏光面のパルスレーザー光



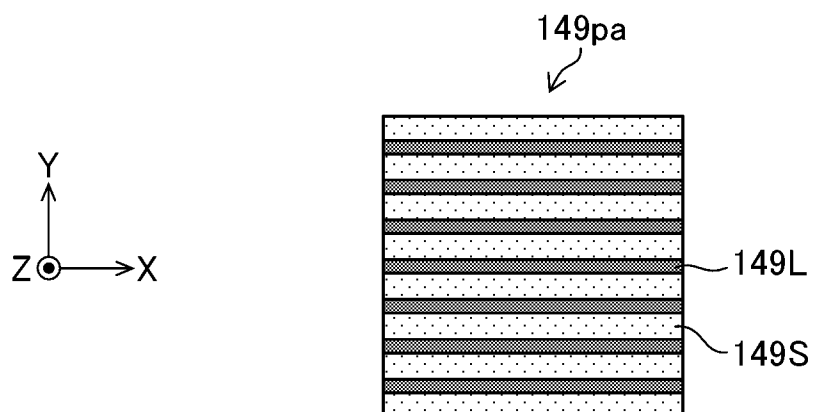
[図31]



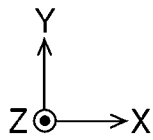
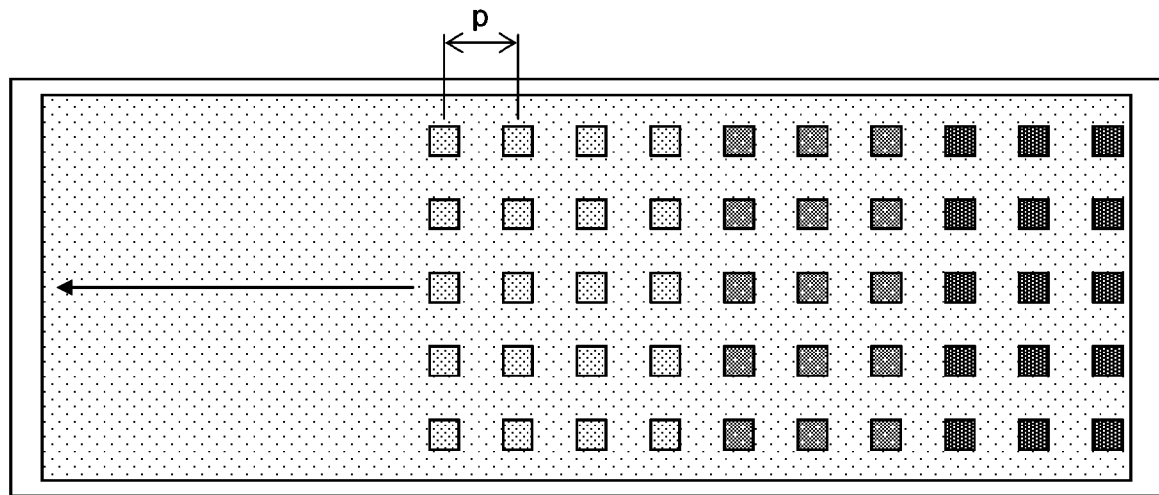
[図32]



[図33]



[図34]



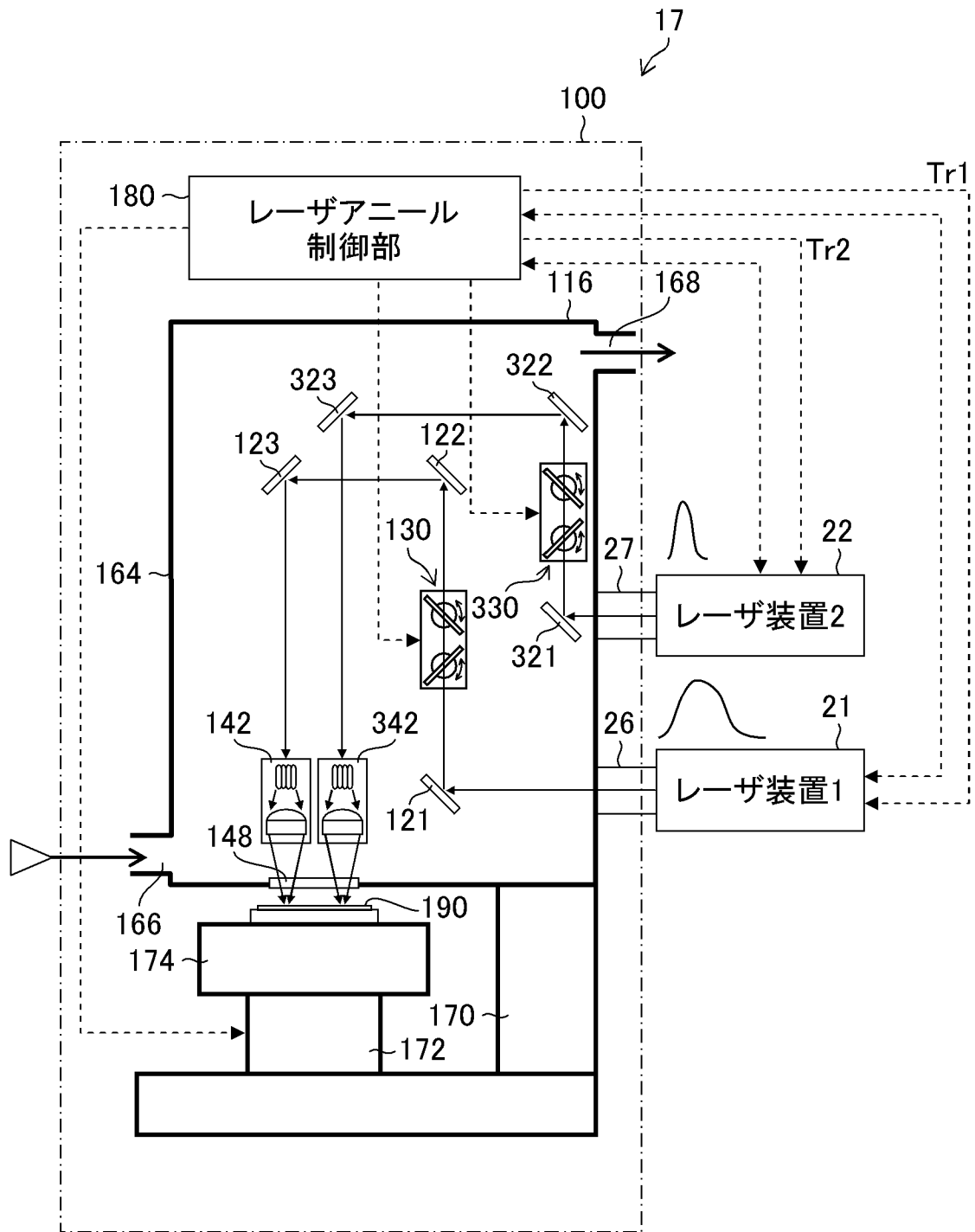
□ : レーザアニール用パルス照射部

▨ : リッジ平坦化用パルス照射部

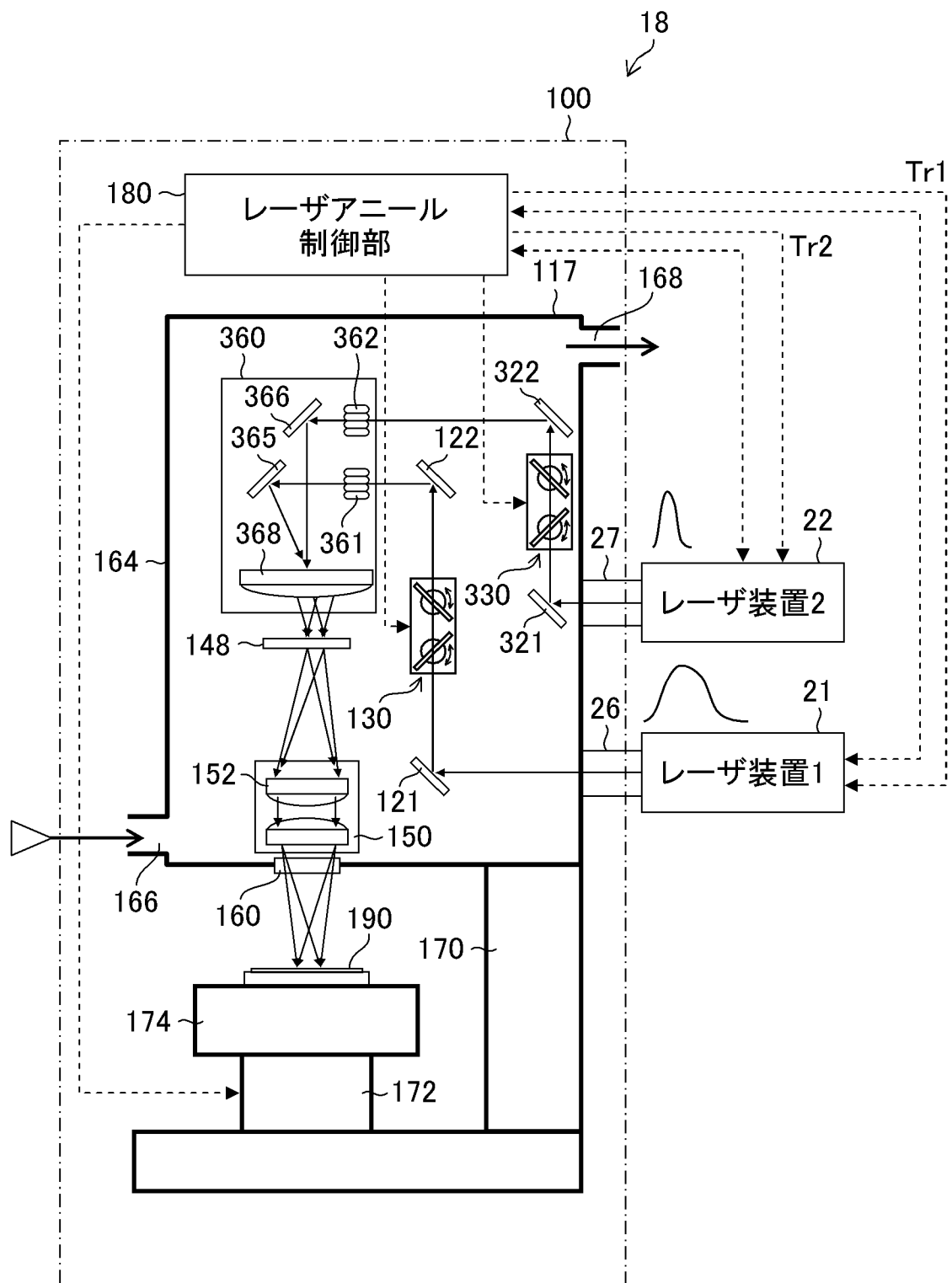
■ : 結晶化後リッジ平坦化部

□ : アモルファス部

[図35]



[図36]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/009078

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H01L21/20(2006.01)i, H01L21/268(2006.01)i, H01L21/336(2006.01)i, H01L29/786(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, H01L21/268, H01L21/336, H01L29/786

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 1971-2019

Registered utility model specifications of Japan 1996-2019

Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

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.
X	JP 2009-032952 A (SHARP CORPORATION) 12 February 2009, paragraphs [0047]-[0094], [0129], fig. 1, 29, 30	1, 4-10, 12-14, 17
Y		2-3, 11, 18
A	(Family: none)	15-16, 19-20
Y	JP 2007-299911 A (SHARP CORPORATION) 15 November 2007, paragraphs [0045], [0053], fig. 1	2-3, 11
A	(Family: none)	15-16, 19-20



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
11.04.2019

Date of mailing of the international search report
23.04.2019

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/JP2019/009078

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	WO 2016/151723 A1 (KYUSHU UNIVERSITY) 29 September 2016, paragraphs [0053]-[0065], [0116]-[0118], fig. 5, 6, 16 & US 2017/0365475 A1, paragraphs [0152]-[0165], [0238]-[0241], fig. 5-6, 16	18 15-16, 19-20
Y A	JP 2008-546188 A (CYMER, INC.) 18 December 2008, paragraphs [0038]-[0041], fig. 6, 7 & WO 2006/127891 A2, page 17, line 22 to page 19, line 8, fig. 6, 7 & EP 1887912 A1	18 15-16, 19-20
A	JP 2002-329666 A (SEMICONDUCTOR ENERGY LABORATORY CO., LTD.) 15 November 2002 & US 2002/0164842 A1	1-20
A	JP 2006-135192 A (SHARP CORPORATION) 25 May 2006 (Family: none)	1-20
A	JP 2001-060551 A (FUJITSU LIMITED) 06 March 2001 & US 6677222 B1 & TW 222103 B & KR 10-2001-0039810 A	1-20
A	JP 2009-032942 A (SHARP CORPORATION) 12 February 2009 & US 2009/0026577 A1	1-20
A	JP 2007-221062 A (SHARP CORPORATION) 30 August 2007 (Family: none)	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, H01L21/268(2006.01)i, H01L21/336(2006.01)i, H01L29/786(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, H01L21/268, H01L21/336, H01L29/786

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	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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
X	JP 2009-032952 A（シャープ株式会社）2009.02.12, 段落 [0047]-[0094], [0129], 第1, 29-30 図（ファミリーなし）	1, 4-10, 12-14 , 17
Y		2-3, 11, 18
A		15-16, 19-20
Y	JP 2007-299911 A（シャープ株式会社）2007.11.15, 段落 [0045], [0053], 第1 図（ファミリーなし）	2-3, 11
A		15-16, 19-20

☒ 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

11.04.2019

国際調査報告の発送日

23.04.2019

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）

桑原 清

50

9375

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
Y A	WO 2016/151723 A1 (国立大学法人九州大学) 2016. 09. 29, 段落 [0053]-[0065], [0116]-[0118], 第 5-6, 16 図 & US 2017/0365475 A1, 段落[0152]-[0165], [0238]-[0241], 第 5-6, 16 図	18 15-16, 19-20
Y A	JP 2008-546188 A (サイマー インコーポレイテッド) 2008. 12. 18, 段落[0038]-[0041], 第 6-7 図 & WO 2006/127891 A2, 第 17 頁第 22 行 -第 19 頁第 8 行, 第 6-7 図 & EP 1887912 A1	18 15-16, 19-20
A	JP 2002-329666 A (株式会社半導体エネルギー研究所) 2002. 11. 15, & US 2002/0164842 A1	1-20
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 2001-060551 A (富士通株式会社) 2001. 03. 06, & US 6677222 B1 & TW 222103 B & KR 10-2001-0039810 A	1-20
A	JP 2009-032942 A (シャープ株式会社) 2009. 02. 12, & US 2009/0026577 A1	1-20
A	JP 2007-221062 A (シャープ株式会社) 2007. 08. 30, (ファミリーな し)	1-20