

(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
2021年9月23日(23.09.2021)



(10) 国際公開番号

WO 2021/186697 A1

(51) 国際特許分類:
G03F 7/20 (2006.01)

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).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2020/012414

(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).

(22) 国際出願日: 2020年3月19日(19.03.2020)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

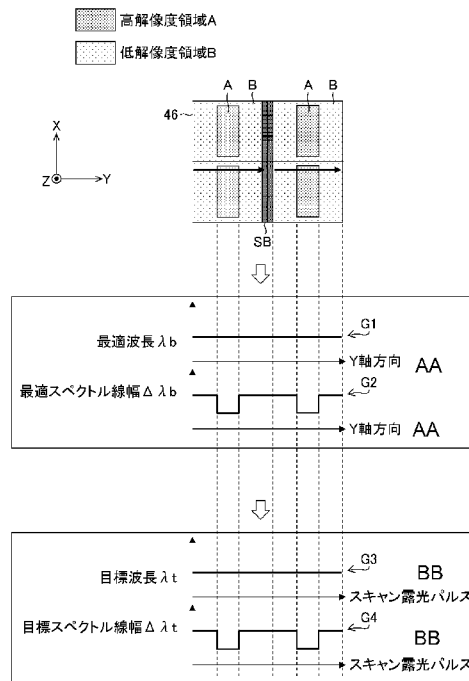
(71) 出願人: ギガフォトン株式会社(**GIGAPHOTON
INC.**) [JP/JP]; 〒3238558 栃木県小山市大字横
倉新田400番地 Tochigi (JP).

(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,

(72) 発明者: 藤井 光一(**FUJII, Koichi**); 〒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

(54) **Title:** EXPOSURE SYSTEM AND MANUFACTURING METHOD FOR ELECTRONIC DEVICE

(54) 発明の名称: 露光システム及び電子デバイスの製造方法



A High-resolution region
B Low-resolution region
 $\Delta\lambda b$ Optimal spectral line width
 $\Delta\lambda t$ Target spectral line width
 λb Optimal wavelength
 λt Target wavelength
AA Y-axis direction
BB Scanning exposure pulse

(57) **Abstract:** An exposure system according to one aspect of the present disclosure comprises: a laser device that outputs a pulsed laser beam; an illumination optical system that guides the pulsed laser beam to a reticle; a reticle stage; and a processor that controls the output of the pulsed laser beam from the laser device and the movement of the reticle by means of the reticle stage. The reticle comprises a first region where a first pattern is disposed and a second region where a second pattern is disposed, wherein each of the first region and the second region is continuous in a scanning width direction,

[続葉有]

NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, 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))

which is perpendicular to a scanning direction of the pulsed laser beam, and the first region and the second region are disposed side-by-side in the scanning direction. The processor changes the value of a control parameter for the pulsed laser beam in accordance with each of the first region and the second region, and controls the laser device so as to output the pulsed laser beam in accordance with each of the first region and the second region.

(57) 要約: 本開示の一観点に係る露光システムは、パルスレーザ光を出力するレーザ装置と、パルスレーザ光をレチクルに導光する照明光学系と、レチクルステージと、レーザ装置からのパルスレーザ光の出力及びレチクルステージによるレチクルの移動を制御するプロセッサと、を備える。レチクルは、第1パターンが配置された第1領域と第2パターンが配置された第2領域とを備え、第1領域及び第2領域のそれぞれは、パルスレーザ光のスキャン方向に対して直交するスキャン幅方向に連続する領域であり、第1領域と第2領域とがスキャン方向に並んで配置される。プロセッサは、第1領域及び第2領域のそれぞれの領域に応じてパルスレーザ光の制御パラメータの値を変えて、第1領域及び第2領域のそれぞれの領域に応じたパルスレーザ光を出力させるようにレーザ装置を制御する。

明 細 書

発明の名称：露光システム及び電子デバイスの製造方法

技術分野

[0001] 本開示は、露光システム及び電子デバイスの製造方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、半導体露光装置においては、半導体集積回路の微細化及び高集積化につれて、解像力の向上が要請されている。このため、露光用光源から放出される光の短波長化が進められている。例えば、露光用のガスレーザ装置としては、波長約248nmのレーザ光を出力するKrFエキシマレーザ装置、ならびに波長約193nmのレーザ光を出力するArFエキシマレーザ装置が用いられる。

[0003] KrFエキシマレーザ装置及びArFエキシマレーザ装置の自然発振光のスペクトル線幅は、350～400nmと広い。そのため、KrF及びArFレーザ光のような紫外線を透過する材料で投影レンズを構成すると、色収差が発生してしまう場合がある。その結果、解像力が低下し得る。そこで、ガスレーザ装置から出力されるレーザ光のスペクトル線幅を、色収差が無視できる程度となるまで狭帯域化する必要がある。そのため、ガスレーザ装置のレーザ共振器内には、スペクトル線幅を狭帯域化するために、狭帯域化素子（エタロンやグレーティング等）を含む狭帯域化モジュール（Line Narrow Module：LNM）が備えられる場合がある。以下では、スペクトル線幅が狭帯域化されるガスレーザ装置を狭帯域化ガスレーザ装置という。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：米国特許出願公開第2015／0070673号

特許文献2：米国特許出願公開第2011／0205512号

特許文献3：米国特許出願公開第2006／0035160号

特許文献4：米国特許出願公開第2003／0227607号

特許文献5：米国特許出願公開第2018/0196347号

特許文献6：米国特許出願公開第2019/0245321号

特許文献7：米国特許出願公開第2004/0012844号

概要

[0005] 本開示の1つの観点に係る露光システムは、レチクルにパルスレーザ光を照射して半導体基板をスキャン露光する露光システムであって、パルスレーザ光を出力するレーザ装置と、パルスレーザ光をレチクルに導光する照明光学系と、レチクルを移動させるレチクルステージと、レーザ装置からのパルスレーザ光の出力及びレチクルステージによるレチクルの移動を制御するプロセッサと、を備え、レチクルは、第1パターンが配置された第1領域と第2パターンが配置された第2領域とを備え、第1領域及び第2領域のそれぞれは、パルスレーザ光のスキャン方向に対して直交するスキャン幅方向に連続する領域であり、第1領域と第2領域とがスキャン方向に並んで配置され、プロセッサは、第1領域及び第2領域のそれぞれの領域に応じてパルスレーザ光の制御パラメータの値を変えて、第1領域及び第2領域のそれぞれの領域に応じたパルスレーザ光を出力させるようにレーザ装置を制御する。

[0006] 本開示の1つの観点に係る電子デバイスの製造方法は、パルスレーザ光を出力するレーザ装置と、パルスレーザ光をレチクルに導光する照明光学系と、レチクルを移動させるレチクルステージと、レーザ装置からのパルスレーザ光の出力及びレチクルステージによるレチクルの移動を制御するプロセッサと、を備え、レチクルは、第1パターンが配置された第1領域と第2パターンが配置された第2領域とを備え、第1領域及び第2領域のそれぞれは、パルスレーザ光のスキャン方向に対して直交するスキャン幅方向に連続する領域であり、第1領域と第2領域とがスキャン方向に並んで配置され、プロセッサは、第1領域及び第2領域のそれぞれの領域に応じてパルスレーザ光の制御パラメータの値を変えて、第1領域及び第2領域のそれぞれの領域に応じたパルスレーザ光を出力させるようにレーザ装置を制御する、露光システムを用いて、電子デバイスを製造するために、レチクルにパルスレーザ光

を照射して感光基板をスキャン露光することを含む。

図面の簡単な説明

[0007] 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、比較例に係る露光システムの構成を概略的に示す。

[図2]図2は、露光制御部からレーザ制御部に送信される発光トリガ信号の出力パターンの例を示す。

[図3]図3は、ウエハ上でのステップアンドスキャン露光の露光パターンの例を示す。

[図4]図4は、ウエハ上の1つのスキャンフィールドとスタティック露光エリアの関係を示す。

[図5]図5は、スタティック露光エリアの説明図である。

[図6]図6は、スキャン露光中のスキャンフィールドの模式図である。

[図7]図7は、図6に示すスキャン露光の動作に対応するレチクルとスキャンビームとの関係を模式的に示す平面図である。

[図8]図8は、実施形態1に係るリソグラフィシステムの構成例を示す。

[図9]図9は、実施形態1に係るリソグラフィシステムに適用されるレチクルのパターンの配置例を概略的に示す模式図である。

[図10]図10は、レーザ装置の構成例を示す。

[図11]図11は、帯状のレチクルパターンと目標レーザ光の制御パラメータ値のトレンドの例を示す。

[図12]図12は、実施形態1のリソグラフィ制御部が実施する処理の例を示すフローチャートである。

[図13]図13は、ファイルCに保存されるテーブルのデータ構造の例を示す概念図である。

[図14]図14は、実施形態1の露光制御部が実施する処理の例を示すフローチャートである。

[図15]図15は、実施形態1のレーザ制御部が実施する処理の例を示すフロ

ーチャートである。

[図16]図16は、実施形態2に係るリソグラフィシステムにおける帯状のレチクルパターンと目標レーザ光の制御パラメータ値のトレンドの例を示す。

[図17]図17は、実施形態2の露光制御部が実施する処理の例を示すフローチャートである。

[図18]図18は、実施形態2の変形例に係るリソグラフィシステムにおける帯状のレチクルパターンと目標レーザ光の制御パラメータ値のトレンドの例を示す。

[図19]図19は、実施形態3に係るリソグラフィシステムに適用されるレチクルパターンとウエハの領域との関係とを模式的に示す。

[図20]図20は、ウエハの断面の他の例を模式的に示す断面図である。

[図21]図21は、実施形態3に係るリソグラフィシステムにおける帯状のレチクルパターンと目標レーザ光の制御パラメータ値のトレンドの例を示す。

[図22]図22は、実施形態3のリソグラフィ制御部が実施する処理の例を示すフローチャートである。

[図23]図23は、ファイルC3に保存されるテーブルのデータ構造を示す概念図である

[図24]図24は、実施形態3の露光制御部が実施する処理の例を示すフローチャートである。

[図25]図25は、実施形態4に係るリソグラフィシステムにおける帯状のレチクルパターンと目標レーザ光の制御パラメータ値のトレンドの例を示す。

[図26]図26は、実施形態4の露光制御部が実施する処理の例を示すフローチャートである。

[図27]図27は、レーザ装置の他の構成例を示す。

[図28]図28は、半導体レーザシステムの構成例を示す。

[図29]図29は、チャージングによって実現されるスペクトル線幅の概念図である。

[図30]図30は、半導体レーザに流れる電流とチャージングによる波長変化

とスペクトル波形と光強度との関係を示す模式図である。

[図31]図31は、半導体光増幅器の立ち上がり時間を説明するためのグラフである。

[図32]図32は、露光装置の構成例を概略的に示す。

実施形態

[0008] ー目次ー

1. 用語の説明
2. 比較例に係る露光システムの概要
 - 2.1 構成
 - 2.2 動作
 - 2.3 ウエハ上への露光動作の例
 - 2.4 スキャンフィールドとスタティック露光エリアとの関係
 - 2.5 課題
3. 実施形態1
 - 3.1 リソグラフィシステムの概要
 - 3.1.1 構成
 - 3.1.2 動作
 - 3.2 レーザ装置の例
 - 3.2.1 構成
 - 3.2.2 動作
 - 3.2.3 その他
 - 3.3 帯状のレチクルパターンと目標レーザ光の制御パラメータ値のトレンドの例
 - 3.4 リソグラフィ制御部の処理内容の例
 - 3.5 露光制御部の処理内容の例
 - 3.6 レーザ制御部の処理内容の例
 - 3.7 作用・効果
 - 3.8 その他

4. 実施形態 2

- 4. 1 構成
- 4. 2 動作
- 4. 3 作用・効果
- 4. 4 変形例

5. 実施形態 3

- 5. 1 構成
- 5. 2 動作
- 5. 3 リソグラフィ制御部の処理内容の例
- 5. 4 露光制御部の処理内容の例
- 5. 5 作用・効果
- 5. 6 その他

6. 実施形態 4

- 6. 1 構成
- 6. 2 動作
- 6. 3 作用・効果

7. 固体レーザ装置を発振器として用いるエキシマレーザ装置の例

- 7. 1 構成
- 7. 2 動作
- 7. 3 半導体レーザシステムの説明
 - 7. 3. 1 構成
 - 7. 3. 2 動作
 - 7. 3. 3 その他
- 7. 4 作用・効果
- 7. 5 その他

8. 各種の制御部のハードウェア構成について

9. 電子デバイスの製造方法

10. 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。

[0009] 1. 用語の説明

本開示において使用される用語を以下のように定義する。

[0010] CD (Critical Dimension) とは、半導体等のウエハ上に形成された微細パターンの寸法をいう。リソグラフィにおいてパターンのCD値は、そのパターンの寸法そのものだけではなく、周辺にあるパターンの影響も受けて変化する。このため、例えばあるパターンがレチクル上孤立して配置された場合と、隣にパターンがある場合とで、露光後のCDは異なる。その度合いは、隣接する別のパターンとの距離、密度や種類等だけではなく、露光に用いる露光機の光学系の設定によっても変わる。このような光学的な近接効果をOPE (Optical Proximity Effect ; 光学近接効果) という。なお、光学的な近接効果ではないが、現像時の現像等プロセスにも近接効果がある。

[0011] OPEカーブとは、横軸に(スルーピッチ)パターン、縦軸にCD値、またはCD値と目標CD値の差分をプロットしたグラフをいう。OPEカーブはOPE特性カーブとも呼ばれる。

[0012] OPC (Optical Proximity Correction) とは、OPEによってCD値が変わることがあることは分かっているため、事前に露光実験データをもとに、レチクルパターンにバイアスや補助パターンを入れることで、露光後のウエハ上のCDが目標値になるようにすることをいう。OPCは、一般的に、デバイスメーカーのプロセス開発の段階で行われる。

[0013] OPCとは別の補正としてOPE補正もある。OPEは露光に用いる光学系の設定(レンズの開口数NA、照明 σ 、輪帯比等)の影響も受けるため、露光機の光学系パラメータを調整することで、CD値が目標になるように調

整することができる。これをOPE補正という。OPCもOPE補正もCD値の制御はできるが、OPCはレチクル作成を含むプロセス開発段階で行われることが多く、OPE補正はレチクルが作成され、量産時（直前）に、または量産の途中で行われることが多い。また、光学的な近接効果ではないが、現像などでもマイクロローディング効果（Micro Loading Effect）に代表される近接効果があり、場合によっては光学的な近接効果と一緒に光学系の調整でCDを合わせることがある。

[0014] オーバーレイとは、半導体等のウエハ上に形成された微細パターンの重ね合わせをいう。

[0015] スペクトル線幅 $\Delta\lambda$ とは、露光性能に影響を及ぼすスペクトル線幅の指標値である。スペクトル線幅 $\Delta\lambda$ は、例えば、レーザスペクトルの積分エネルギーが95%となる帯域幅であってもよい。

[0016] 2. 比較例に係る露光システムの概要

2. 1 構成

図1は、比較例に係る露光システムの構成を概略的に示す。本開示の比較例とは、出願人のみによって知られていると出願人が認識している形態であって、出願人が自認している公知例ではない。露光システム10は、レーザ装置12と、露光装置14とを含む。レーザ装置12は、波長可変の狭帯域発振のArFレーザ装置であり、レーザ制御部20と、図示しないレーザチャンバと狭帯域化モジュールとを含む。

[0017] 露光装置14は、露光制御部40と、ビームデリバリユニット（BDU）42と、高反射ミラー43と、照明光学系44と、レチクル46と、レチクルステージ48と、投影光学系50と、ウエハホルダ52と、ウエハステージ54と、フォーカスセンサ58とを含む。

[0018] ウエハホルダ52には、ウエハWFが保持される。照明光学系44は、パルスレーザ光をレチクル46に導光する光学系である。照明光学系44は、レーザビームを概ね長方形の光強度分布が均一化されたスキャンビームに整形する。投影光学系50は、レチクルパターンをウエハWFに結像させる

。フォーカスセンサ58は、ウエハ表面の高さを計測する。

[0019] 露光制御部40は、レチクルステージ48、ウエハステージ54及びフォーカスセンサ58と接続される。また、露光制御部40は、レーザ制御部20と接続される。露光制御部40とレーザ制御部20とのそれぞれは、図示しないプロセッサを用いて構成され、メモリなどの記憶装置を含む。記憶装置はプロセッサに搭載されてもよい。

[0020] 2. 2 動作

露光制御部40は、フォーカスセンサ58により計測されたウエハWFの高さから、ウエハ高さ方向（Z軸方向）のフォーカス位置を補正するために、ウエハステージ54のZ軸方向の移動を制御する。

[0021] 露光制御部40は、ステップアンドスキャンの方式で、レーザ制御部20に目標レーザ光の制御パラメータを送信し、発光トリガ信号Trを送信しながらレチクルステージ48とウエハステージ54とを制御し、レチクル46の像をウエハWF上にスキャン露光する。目標レーザ光の制御パラメータには、例えば、目標波長 λ_t と目標パルスエネルギー E_t とが含まれる。

[0022] レーザ制御部20は、レーザ装置12から出力されるパルスレーザ光の波長 λ が目標波長 λ_t となるように狭帯域化モジュールの選択波長を制御し、かつ、パルスエネルギー E が目標パルスエネルギー E_t となるように励起強度を制御して、発光トリガ信号Trに従ってパルスレーザ光を出力させる。また、レーザ制御部20は、発光トリガ信号Trに従って出力したパルスレーザ光の各種計測データを露光制御部40に送信する。各種計測データには、例えば、波長 λ 及びパルスエネルギー E などが含まれる。

[0023] 2. 3 ウエハ上への露光動作の例

図2は、露光制御部40からレーザ制御部20に送信される発光トリガ信号Trの出力パターンの例を示す。図2に示す例では、ウエハWF毎に、調整発振を実施した後、実露光パターンに入る。すなわち、レーザ装置12は、最初に調整発振を行い、所定の時間間隔を空けた後、1枚目のウエハ露光（Wafer #1）のためのバースト運転を行う。

[0024] 調整発振は、ウエハWFに対してパルスレーザ光を照射しないものの、調整用のパルスレーザ光を出力する発振を行うことである。調整発振は、露光できる状態にレーザが安定するまで、所定の条件にて発振を行うものであり、ウエハ生産のロット前に実施される。パルスレーザ光L_pは、例えば数百Hz～数千Hz程度の所定の周波数で出力される。ウエハ露光時には、バースト期間と発振休止期間とを繰り返すバースト運転を行うのが一般的である。調整発振においても、バースト運転が行われる。

[0025] 図2において、パルスが密集している区間は、所定期間連続してパルスレーザ光を出力するバースト期間である。また、図2において、パルスが存在していない区間は、発振休止期間である。なお、調整発振では、パルスの各連続出力期間の長さは一定である必要はなく、調整のため、各連続出力期間の長さを異ならせて連続出力動作を行うようにしてもよい。調整発振を行った後、比較的大きな時間間隔を空けて、露光装置4において1枚目のウエハ露光(Wafer #1)が行われる。

[0026] レーザ装置12は、ステップアンドスキャン方式の露光におけるステップ中は発振休止し、スキャン中は発光トリガ信号Trの間隔に応じてパルスレーザ光を出力する。このようなレーザ発振のパターンをバースト発振パターンという。

[0027] 図3は、ウエハWF上でのステップアンドスキャン露光の露光パターンの例を示す。図3のウエハWF内に示す多数の矩形領域のそれぞれはスキャンフィールドである。スキャンフィールドは、1回のスキャン露光の露光領域であり、スキャン領域とも呼ばれる。ウエハ露光は、図3に示すように、ウエハWFを複数の所定サイズの露光領域(スキャンフィールド)に分割して、ウエハ露光の開始(Wafer START)と終了(Wafer END)との間の期間に、各露光領域をスキャン露光することにより行われる。

[0028] すなわち、ウエハ露光では、ウエハWFの第1の所定の露光領域を1回目のスキャン露光(Scan #1)で露光し、次いで、第2の所定の露光領域を2回目のスキャン露光(Scan #2)で露光するというステップを繰り返す。

返す。1回のスキャン露光中は、複数のパルスレーザ光 L_p ($Pulse\#1$, $Pulse\#2$, ...) が連続的にレーザ装置12から出力され得る。第1の所定の露光領域のスキャン露光 ($Scan\#1$) が終了したら、所定の時間間隔を空けて第2の所定の露光領域のスキャン露光 ($Scan\#2$) が行われる。このスキャン露光を順次繰り返し、1枚目のウエハWFの全露光領域をスキャン露光し終えたら、再度、調整発振を行った後、2枚目のウエハWFのウエハ露光 ($Wafer\#2$) が行われる。

[0029] 図3に示す破線矢印の順番で、 $Wafer\ START \rightarrow Scan\#1 \rightarrow Scan\#2 \rightarrow \dots \rightarrow Scan\#126 \rightarrow Wafer\ END$ までステップアンドスキャン露光される。ウエハWFは本開示における「半導体基板」の一例である。

[0030] 2. 4 スキャンフィールドとスタティック露光エリアとの関係

図4に、ウエハWF上の1つのスキャンフィールドSFとスタティック露光エリアSEAとの関係を示す。スタティック露光エリアSEAは、スキャンフィールドSFに対するスキャン露光に用いられる概ね長方形の略均一なビーム照射領域である。照明光学系44によって整形された概ね長方形の略均一なスキャンビームがレチクル46上に照射され、スキャンビームの短軸方向（ここではY軸方向）に、レチクル46とウエハWFとが投影光学系50の縮小倍率に応じて、Y軸方向に互いに異なる向きで移動しながら露光が行われる。これにより、ウエハWF上の各スキャンフィールドSFにレチクルパターンがスキャン露光される。スタティック露光エリアSEAは、スキャンビームによる一括露光可能エリアと理解してよい。

[0031] 図4において、縦方向の上向きのY軸方向マイナス側に向かう方向がスキャン方向であり、Y軸方向プラス側に向かう方向がウエハ移動方向である。図4の紙面に平行でY軸方向と直交する方向（X軸方向）をスキャン幅方向という。ウエハWF上でのスキャンフィールドSFのサイズは、例えば、Y軸方向が33mm、X軸方向が26mmである。

[0032] 図5は、スタティック露光エリアSEAの説明図である。スタティック露

光エリア S E A の X 軸方向の長さを B_x 、Y 軸方向の幅を B_y とすると、 B_x はスキャンフィールド S F の X 軸方向のサイズに対応しており、 B_y はスキャンフィールド S F の Y 軸方向のサイズよりも十分に小さいものとなっている。スタティック露光エリア S E A の Y 軸方向の幅 B_y を N スリットという。ウエハ W F 上のレジストに露光されるパルス数 N_{SL} は、次式となる。

[0033]
$$N_{SL} = (B_y / V_y) \cdot f$$

V_y : ウエハの Y 軸方向のスキャン速度

f : レーザの繰り返し周波数 (Hz)

2. 5 課題

図 6 は、スキャン露光中のスキャンフィールド S F の模式図である。図 7 は、図 6 に示すスキャン露光の動作に対応するレチクル 4 6 とスキャンビーム S B との関係を模式的に示す平面図である。図 7 には、レチクル 4 6 におけるパターン領域の配置の例が示されている。なお、図 7 は、1 つのスキャンフィールド S F 内における半導体素子領域のパターンの例を示す模式図と理解してもよい。

[0034] 各ウエハ W F のスキャンフィールド S F の中には、例えば、高い解像力が要求される半導体素子の領域と、解像力は低くても焦点深度が要求される半導体素子の領域とが混在する。本明細書において、スキャンフィールド S F 内で相対的に高い解像力が要求される半導体素子の領域を「高解像度領域 A」といい、解像力は低くても焦点深度が要求される半導体素子の領域を「低解像度領域 B」という。高解像度領域 A 及び低解像度領域 B という記載は、レチクル 4 6 のパターンについても用いられる。また、高解像度領域 A を単に「領域 A」と記載する場合があります、低解像度領域 B を単に「領域 B」と記載する場合があります。

[0035] スキャンフィールド S F 内における高解像度領域 A と低解像度領域 B の配置は回路パターンの設計次第であり、典型的には、図 7 に示すように、スキャンビーム S B による一括露光可能エリア内に高解像度領域 A と低解像度領域 B とが混在して配置される。

[0036] 高解像度領域Aと低解像度領域Bとはそれぞれの最適な露光条件が異なるため、高解像度領域Aと低解像度領域Bの領域毎に最適な条件で露光することが望まれる。

[0037] しかし、1スキャン中の露光条件（例えば、波長やスペクトル線幅など）を高速にかつ高精度に変更することが困難であるために、各半導体素子のパターン領域に対して最適化されたパルスレーザ光の露光が困難なことがある。典型的には、スキャンフィールド単位で露光条件の変更が行われており、1つのスキャンフィールドSF内は領域の区別なく共通の露光条件で露光される。

[0038] また、スキャンフィールドSF内には、ウエハWFの高さ方向に段差が存在することがある。この場合、ウエハステージ54を大きく傾けて露光することになる。これにより重ね合わせなどに大きな悪影響を与えることがある。また、このようにスキャンフィールドSF内に高さの異なる領域が混在する場合、高さの異なる領域ごとにパルスレーザ光の最適な結像位置が異なるため、それぞれの領域に対して最適化されたパルスレーザ光の露光が困難なことがある。

[0039] 3. 実施形態1

3. 1 リソグラフィシステムの概要

3. 1. 1 構成

図8は、実施形態1に係るリソグラフィシステム100の構成例を示す。図8に示す構成について、図1と異なる点を説明する。図8に示すリソグラフィシステム100は、図1に示す構成にリソグラフィ制御部110が追加され、リソグラフィ制御部110と露光制御部40との間、及びリソグラフィ制御部110とレーザ制御部20との間にそれぞれ、データの送受信ラインが追加された構成となっている。

[0040] リソグラフィシステム100は、レーザ装置12と、露光装置14と、リソグラフィ制御部110とを含む。リソグラフィシステム100は本開示における「露光システム」の一例である。リソグラフィシステム100では、

目標レーザ光の制御パラメータとして、目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ が追加される。露光制御部40からレーザ制御部20に目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ のデータが送信される。

[0041] リソグラフィ制御部110は、図示しないプロセッサを用いて構成される。リソグラフィ制御部110は、メモリなどの記憶装置を含む。プロセッサは記憶装置を含んでいてよい。リソグラフィ制御部110は、純粋なフーリエ結像光学理論に基づき、露光されたレジストパターンを計算するプログラムが搭載される。

[0042] また、リソグラフィシステム100に用いられるレチクル46のレチクルパターンは、高い解像力が必要とされる第1パターンが配置された第1パターン領域と、焦点深度が必要とされる第2パターンが配置された第2パターン領域とのそれぞれが、スキャン方向と直交する方向に連続する帯状の領域となるように、各パターンの領域をスキャン方向に位置を分けて設計されたものとなっている。

[0043] 図9は、実施形態1に係るリソグラフィシステム100に適用されるレチクル46のパターンの配置例を概略的に示す模式図である。レチクル46は、高解像度領域Aと低解像度領域Bとのそれぞれが、スキャン方向（Y軸方向）と直交する方向（X軸方向）に沿って延在する帯状の領域として配置されるように、レチクルパターンが設計されている。すなわち、レチクルパターンは、高解像度領域Aと低解像度領域BとのそれぞれがX軸方向に連続する領域となるように領域分けされ、帯状の高解像度領域Aと、帯状の低解像度領域BとがY軸方向の異なる位置に、Y軸方向に並ぶように配置される。高解像度領域Aは、解像力が必要な第1パターンが配置された領域（第1パターン領域）である。低解像度領域Bは、焦点深度を必要とする第2パターンが配置された領域（第2パターン領域）である。

[0044] 第1パターンは、例えば、スタティックランダムアクセスメモリ（Static Random Access Memory：SRAM）のパターンであってよい。第2パターンは、例えば、孤立パターン、ロジック素子、及びアンプのうち少なくとも1

つのパターンであってよい。「帯状」の領域とは、Y軸方向の領域の長さ（領域幅）が概ね一定の幅でX軸方向に連続する形状の領域をいう。本実施形態における帯状の領域は、X軸方向の領域の長さがY軸方向の領域の長さよりも長い領域である。高解像度領域Aは本開示における「第1領域」の一例である。低解像度領域Bは本開示における「第2領域」の一例である。

[0045] 図9に示すレチクル46は、レチクル面が 2×2 の4つのエリアに分割されており、それぞれの分割エリア（ $1/4$ エリア）が1つのチップに対応する。図9において右上の第1分割エリアDA1に配置される高解像度領域Aと、左上の第2分割エリアDA2に配置される高解像度領域Aとは、Y軸方向の同じ位置でX軸方向に並ぶように配置される。また、図9において右下の第3分割エリアDA3に配置される高解像度領域Aと、左下の第4分割エリアDA4に配置される高解像度領域Aとは、Y軸方向の同じ位置でX軸方向に並ぶように配置される。こうして、高解像度領域Aは、レチクル面においてX軸方向に連続する帯状の領域に集約して配置される。

[0046] なお、X軸方向に並ぶ2つの高解像度領域Aの間、及び／又は、高解像度領域AのX軸方向境界（端）の外側に極僅かな面積で低解像度領域Bが配置される場合があるものの、レチクル46のX軸方向長さ全体の帯状の領域の大部分が高解像度領域Aで占められていればよい。例えば、X軸方向に沿う直線上での高解像度領域AのX軸方向長さの合計がレチクル46のX軸方向長さの50%以上であることが好ましく、さらに好ましくは80%以上がよい。レチクル46のX軸方向長さはスキャンビームSBのX軸方向ビーム幅（スキャンビーム幅）に相当する。

[0047] 同様に、低解像度領域Bはレチクル面においてX軸方向に連続する帯状の領域内に集約して配置される。X軸方向に沿った帯状の低解像度領域Bは、X軸方向に沿う直線上での低解像度領域BのX軸方向長さの合計がレチクル46のX軸方向長さの50%以上であることが好ましく、さらに好ましくは80%以上がよい。図9では、帯状の低解像度領域BのX軸方向長さがレチクル46のX軸方向長さの100%となっている例が示されている。

[0048] 要するに、帯状の高解像度領域Aと、帯状の低解像度領域Bとは、それぞれY軸方向の異なる位置に配置され、X軸方向の直線上で帯状の高解像度領域Aと帯状の低解像度領域Bとが非混在である（混在していない）。非混在という記載は、帯状の高解像度領域Aと帯状の低解像度領域BとがX軸方向に重なって並んでいない様子を表している。図9では、レチクル面が 2×2 の4つのエリアに分割されている例を示したが、レチクル面の分割数や分割形態はこの例に限らない。

[0049] 3. 1. 2 動作

リソグラフィ制御部110は、計算プログラムによって、帯状の高解像度領域A及び帯状の低解像度領域Bのそれぞれに対して、最適なレーザ光の制御パラメータを計算し、計算結果をファイルCに保存する。ファイルCに保存される制御パラメータには、例えば、最適波長 λ_b 、最適スペクトル線幅 $\Delta\lambda_b$ 、及び最適パルスエネルギー E_b などが含まれる。

[0050] リソグラフィ制御部110は、レーザ制御部20からレーザ光の制御パラメータを含むレーザ装置12に関わるデータを受信して保存してもよい。リソグラフィ制御部110は、レーザ制御部20から波長 λ 、スペクトル線幅 $\Delta\lambda$ 、及びパルスエネルギー E のデータを受信し、これらのデータを保存する。

[0051] 露光制御部40は、ウエハWFのスキャンフィールドSF内の領域A及び領域Bのそれぞれの領域に対応したレーザ光の制御パラメータ値をリソグラフィ制御部110のファイルCから読み込む。

[0052] 露光制御部40は、領域Aと領域Bとのそれぞれの領域に露光する時のパルス毎のレーザ光の制御パラメータ値をレーザ装置12に送信する。露光制御部40からレーザ装置12に送信する制御パラメータ値は、例えば、目標波長 λ_t 、目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ 、及び目標パルスエネルギー E_t などであってよい。以後の露光動作は、図1の露光システム10と同様である。

[0053] 3. 2 レーザ装置の例

3. 2. 1 構成

図10は、レーザ装置12の構成例を示す。図10に示すレーザ装置12は、狭帯域化A r Fレーザ装置であって、レーザ制御部20と、発振器22と、増幅器24と、モニタモジュール26と、シャッタ28とを含む。発振器22は、チャンバ60と、出力結合ミラー62と、パルスパワーモジュール（PPM）64と、充電器66と、狭帯域化モジュール（LNM）68とを含む。

[0054] チャンバ60は、ウインドウ71, 72と、1対の電極73, 74と、電気絶縁部材75とを含む。PPM64は、スイッチ65と図示しない充電コンデンサとを含み、電気絶縁部材75のフィードスルーを介して電極74と接続される。電極73は、接地されたチャンバ60と接続される。充電器66は、レーザ制御部20からの指令に従い、PPM64の充電コンデンサを充電する。

[0055] 狭帯域化モジュール68と出力結合ミラー62とは光共振器を構成する。この共振器の光路上に1対の電極73, 74の放電領域が配置されるように、チャンバ60が配置される。出力結合ミラー62には、チャンバ60内で発生したレーザ光の一部を反射し、他の一部を透過する多層膜がコートされている。

[0056] 狭帯域化モジュール68は、2つのプリズム81, 82と、グレーティング83と、プリズム82を回転させる回転ステージ84とを含む。狭帯域化モジュール68は、回転ステージ84を用いてプリズム82を回転させることによってグレーティング83への入射角度を変化させて、パルスレーザ光の発振波長を制御する。回転ステージ84は、パルス毎に応答するように、高速応答が可能な piezo 素子を含む回転ステージであってもよい。

[0057] 増幅器24は、光共振器90と、チャンバ160と、PPM164と、充電器166とを含む。チャンバ160、PPM164及び充電器166の構成は、発振器22の対応する要素の構成と同様である。チャンバ160は、ウインドウ171, 172と、1対の電極173, 174と、電気絶縁部材175とを含む。PPM164は、スイッチ165と図示しない充電コンデ

ンサとを含む。

[0058] 光共振器 90 は、ファブリペロ型の光共振器であって、リアミラー 91 と出力結合ミラー 92 とで構成される。リアミラー 91 は、レーザ光の一部を部分反射し、かつ他の一部を透過する。出力結合ミラー 92 は、レーザ光の一部を部分反射し、かつ他の一部を透過する。リアミラー 91 の反射率は、例えば 80%~90% である。出力結合ミラー 92 の反射率は、例えば 10%~30% である。

[0059] モニタモジュール 26 は、ビームスプリッタ 181, 182 と、スペクトル検出器 183 と、レーザ光のパルスエネルギーを検出する光センサ 184 とを含む。スペクトル検出器 183 は、例えばエタロン分光器等であってよい。光センサ 184 は、例えばフォトダイオード等であってよい。

[0060] 3. 2. 2 動作

レーザ制御部 20 は、露光制御部 40 から目標波長 λ_t 、スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ 及び目標パルスエネルギー E_t のデータを受信すると、出力波長が目標波長 λ_t となるように、LNM68 の回転ステージ 84 と、目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ となるように、後述する方式と、目標パルスエネルギー E_t となるように、少なくとも増幅器 24 の充電器 166 を制御する。

[0061] レーザ制御部 20 は、露光制御部 40 から発光トリガ信号 T_r を受信すると、発振器 22 から出力されたパルスレーザ光が増幅器 24 のチャンバ 160 の放電空間に入射した時に放電するように、PPM164 のスイッチ 165 と PPM64 のスイッチ 65 とにそれぞれトリガ信号を与える。その結果、発振器 22 から出力されたパルスレーザ光は増幅器 24 で増幅発振される。増幅されたパルスレーザ光は、モニタモジュール 26 のビームスプリッタ 181 によってサンプルされ、パルスエネルギー E 、波長 λ 及びスペクトル線幅 $\Delta\lambda$ が計測される。

[0062] レーザ制御部 20 は、モニタモジュール 26 を用いて計測されたからパルスエネルギー E と波長 λ のデータを取得し、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、波長 λ と目標波長 λ_t との差、ならびにスペクトル線幅

$\Delta\lambda$ と目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ との差がそれぞれ0に近づくように、充電器166の充電電圧と発振器22の発振波長を制御する。

[0063] レーザ制御部20は、パルス単位でパルスエネルギーE、波長 λ 、及びスペクトル線幅 $\Delta\lambda$ を制御し得る。レーザ装置12から出力されるパルスレーザ光のスペクトル線幅 $\Delta\lambda$ の制御は、発振器22のチャンバ60と増幅器24のチャンバ160の放電タイミングの遅延時間 Δt を制御することによって可能となる。

[0064] モニタモジュール26のビームスプリッタ181を透過したパルスレーザ光は、シャッタ28を介して露光装置14に入射する。

[0065] 3. 2. 3 その他

図10では、光共振器90としてファブリペロ共振器の例を示したが、リング共振器を備えた増幅器であってもよい。

[0066] 3. 3 帯状のレチクルパターンと目標レーザ光の制御パラメータ値のトレンドの例

図11は、帯状のレチクルパターンと目標レーザ光の制御パラメータ値との関係を例示的に示す。図11の上段には帯状のレチクルパターンのY軸方向にスキャンビームSBがスキャン移動する様子が模式的に示されている。図11の中段に示す枠内には、1スキャン内のY方向位置と最適波長 λ_b との関係を示すグラフG1と、1スキャン内のY方向位置と最適スペクトル線幅 $\Delta\lambda_b$ との関係を示すグラフG2とが示されている。図11の下段に示す枠内には、1スキャン内のY方向位置に対応するスキャン露光パルス毎の目標波長 λ_t を示すグラフG3と、スキャン露光パルス毎の目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ を示すグラフG4とが示されている。

[0067] 図11に示す例では、露光制御部40はリソグラフィ制御部110によって作成されるファイルCのデータを読み込んで、高解像度領域A及び低解像度領域Bのそれぞれ領域に対する最適波長 λ_b と最適スペクトル線幅 $\Delta\lambda_b$ の値を使用して、これらの値をそのままレーザ制御部20に目標波長 λ_t と目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ として送信する場合の例を示している。

[0068] 3. 4 リソグラフィ制御部の処理内容の例

図12は、実施形態1のリソグラフィ制御部110が実施する処理の例を示すフローチャートである。図12に示すステップは、リソグラフィ制御部110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。

[0069] ステップS11において、リソグラフィ制御部110は照明光学系44のパラメータ、投影光学系50のパラメータ、及びレジストのパラメータを含むそれぞれのパラメータのデータの入力を受け付ける。

[0070] 照明光学系44のパラメータは、例えば、 σ 値や照明形状などを含む。投影光学系50のパラメータは、例えば、レンズデータやレンズの開口数NA (Numerical aperture) などを含む。レジストのパラメータは、例えば、感度などを含む。

[0071] ステップS12において、リソグラフィ制御部110は高解像度領域Aのレチクルパターンについてのパターン情報の入力を受け付ける。パターン情報には高解像度領域Aのパターンの形状、パターンの配置、パターンの間隔及び高解像度領域Aの位置等の情報が含まれ、少なくとも高解像度領域Aの境界位置に関する位置情報が含まれる。

[0072] ステップS13において、リソグラフィ制御部110は高解像度領域Aに対する最適なレーザ光の制御パラメータを計算する。制御パラメータには、最適波長 λ_b 、最適スペクトル線幅 $\Delta\lambda_b$ 、及び最適パルスエネルギー E_b などが含まれる。

[0073] ステップS14において、リソグラフィ制御部110はステップS13の計算により算出された制御パラメータの値をファイルCに書き込む。

[0074] ステップS15において、リソグラフィ制御部110は低解像度領域Bのレチクルパターンについてのパターン情報の入力を受け付ける。ここでのパターン情報には低解像度領域Bのパターンの形状、パターンの配置、パターンの間隔及び低解像度領域Bの位置等の情報が含まれ、少なくとも低解像度領域Bの境界位置に関する位置情報が含まれる。

- [0075] ステップS 1 6において、リソグラフィ制御部 1 1 0は低解像度領域 B に対する最適なレーザ光の制御パラメータを計算する。
- [0076] ステップS 1 7において、リソグラフィ制御部 1 1 0はステップS 1 6の計算により算出された制御パラメータをファイルCに書き込む。
- [0077] ステップS 1 7の後、リソグラフィ制御部 1 1 0は図 1 2のフローチャートを終了する。
- [0078] 図 1 3は、ファイルCに保存されるテーブルのデータ構造の例を示す概念図である。ファイルCには、レチクル4 6の領域別に、最適波長 λ_b 、最適スペクトル線幅 $\Delta\lambda_b$ 、及び最適パルスエネルギー E_b のパラメータのデータが書き込まれる。図 1 3のテーブルに示すように、各パラメータのデータは領域と関連付けされている。
- [0079] 3. 5 露光制御部の処理内容の例
- 図 1 4は、実施形態 1 の露光制御部 4 0が実施する処理の例を示すフローチャートである。図 1 4に示すステップは、露光制御部 4 0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。
- [0080] ステップS 2 1において、露光制御部 4 0はリソグラフィ制御部 1 1 0に保存されているファイルCのデータを読み込む。
- [0081] ステップS 2 2において、露光制御部 4 0はファイルCのデータと、スキャンフィールドS F内の領域A及び領域Bの場所とに基づいて、各スキャンフィールド内の各パルスのレーザ光の制御パラメータの目標値(λ_t , $\Delta\lambda_t$, E_t)を求める。すなわち、露光制御部 4 0は、領域Aに応じたパルスレーザ光の第1目標波長と第1目標スペクトル線幅と第1目標パルスエネルギーとを設定して、領域Aに対して第1パルスレーザ光を照射するようにレーザ装置 1 2を制御する。また、露光制御部 4 0は、領域Bに応じたパルスレーザ光の第2目標波長と第2目標スペクトル線幅と第2目標パルスエネルギーとを設定して、領域Bに対して第2パルスレーザ光を照射するようにレーザ装置 1 2を制御する。露光制御部 4 0は、パルス単位でレーザ光の制御パラメータを制御する。

[0082] ステップS 2 3において、露光制御部4 0はレーザ制御部2 0に各パルスのレーザ光の制御パラメータの目標値と発光トリガ信号T rを送信しながら、レチクル4 6とウエハWFを移動させながら各スキャンフィールドS F内を露光させる。

[0083] ステップS 2 4において、露光制御部4 0はウエハWF内のすべてのスキャンフィールドS Fを露光したか否かを判定する。ステップS 2 4の判定結果がN o判定である場合、露光制御部4 0はステップS 2 3に戻る。ステップS 2 4の判定結果がY e s判定である場合、露光制御部4 0は図1 4のフローチャートを終了する。

[0084] 3. 6 レーザ制御部の処理内容の例

図1 5は、実施形態1のレーザ制御部2 0が実施する処理の例を示すフローチャートである。図1 5に示すステップは、レーザ制御部2 0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。

[0085] ステップS 3 1において、レーザ制御部2 0は露光制御部4 0から送信された目標レーザ光の制御パラメータ(λ_t , $\Delta\lambda_t$, E_t)のデータを読み込む。

[0086] ステップS 3 2において、レーザ制御部2 0はレーザ装置1 2から出力されるパルスレーザ光の波長が目標波長 λ_t に近づくように、発振器2 2の狭帯域化モジュール6 8の回転ステージ8 4をセットする。

[0087] ステップS 3 3において、レーザ制御部2 0はレーザ装置1 2から出力されるパルスレーザ光のスペクトル線幅 $\Delta\lambda$ が目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ に近づくように、発振器2 2と増幅器2 4の同期タイミングをセットする。

[0088] ステップS 3 4において、レーザ制御部2 0はパルスエネルギーが目標パルスエネルギー E_t に近づくように、増幅器2 4の充電電圧をセットする。

[0089] ステップS 3 5において、レーザ制御部2 0は発光トリガ信号T rの入力を待機し、発光トリガ信号が入力されたか否かを判定する。発光トリガ信号T rが入力されなければ、レーザ制御部2 0はステップS 3 5を繰り返し、発光トリガ信号T rが入力されると、レーザ制御部2 0はステップS 3 6に

進む。

[0090] ステップS 3 6において、レーザ制御部2 0はモニタモジュール2 6を用いてレーザ光の制御パラメータのデータを計測する。レーザ制御部2 0はステップS 3 6での計測により、波長 λ 、スペクトル線幅 $\Delta\lambda$ 及びパルスエネルギーEのデータを取得する。

[0091] ステップS 3 7において、レーザ制御部2 0はステップS 3 6にて計測されたレーザ光の制御パラメータのデータを露光制御部4 0及びリソグラフィ制御部1 1 0に送信する。

[0092] ステップS 3 8において、レーザ制御部2 0はレーザの制御を停止させるか否かを判定する。ステップS 3 8の判定結果がN o判定である場合、レーザ制御部2 0はステップS 3 1に戻る。ステップS 3 8の判定結果がY e s判定である場合、レーザ制御部2 0は図1 5のフローチャートを終了する。

[0093] 3. 7 作用・効果

実施形態1に係るリソグラフィシステム1 0 0によれば、次のような効果が得られる。

[0094] [1] スキャン方向に対して直交する方向で帯状に、同様の（同種の）半導体素子を形成するためのレチクルパターンを配置し、半導体プロセスにおいて、スキャンフィールド内の帯状の領域の位置に応じて、レーザ光の制御パラメータが変更される。これにより、帯状のレチクルパターンに最適なレーザ光をパルス毎にスキャン露光することができる。

[0095] [2] その結果、製造される半導体素子の性能や歩留まりが改善する。

[0096] [3] スキャンフィールド内で、各エリアのパターンに対して最適なO P Eに対応するレーザ光の制御パラメータを求めてパルス毎に露光するので、スキャン位置の位置依存のO P E特性を高速に調節することができる。

[0097] 3. 8 その他

実施形態1では、リソグラフィ制御部1 1 0と露光制御部4 0の機能を分けた場合の例で説明したが、この例に限定されることなく、リソグラフィ制御部1 1 0の機能を露光制御部4 0が含まれていてもよい。

[0098] また、図 1 2 のような計算フローは、計算プログラムを搭載したコンピュータで予め計算して、図 1 3 のようなファイル C を、リソグラフィ制御部 1 1 0 又は露光制御部 4 0 の記憶部に保存しておいてもよい。リソグラフィ制御部 1 1 0 は、スキャン露光に用いる各種のパラメータを管理するサーバであってもよい。サーバは複数の露光システムとネットワークを介して接続されてもよい。例えば、サーバは、図 1 2 のような計算フローを実行し、算出された制御パラメータの値を、帯状の領域と関連付けてファイル C に書き込むように構成される。

[0099] さらに、実施形態 1 では、ファイル C の作成を光学シミュレーション計算によってそれぞれの領域 A 及び B の最適波長 λ_b と最適スペクトル幅 $\Delta \lambda_b$ と最適パルスエネルギー E_b を求めているが、この例に限定されることない。例えば、レーザ光の制御パラメータを振りながら、テスト露光試験を行い、その結果をもとに各領域それぞれに対して最適なレーザ光の制御パラメータをファイル C に保存してもよい。

[0100] 4. 実施形態 2

4. 1 構成

実施形態 2 に係るリソグラフィシステムの構成は、実施形態 1 と同様であってよい。

[0101] 4. 2 動作

図 1 6 は、実施形態 2 に係るリソグラフィシステムにおける帯状のレチクルパターンと目標レーザ光の制御パラメータ値のトレンドの例を示す。図 1 6 について、図 1 1 と異なる点を説明する。図 1 6 では、図 1 1 のグラフ G 4 に代えて、グラフ G 5 となっている。

[0102] レチクル 4 6 に対するスキャンビーム S B の移動方向を Y 軸のプラス方向とすると、高解像度領域 A と低解像度領域 B のそれぞれは、レチクル面においてスキャンビーム S B の移動方向と直交する X 軸方向（スキャン幅方向）に沿って延在する帯状に配置されている。

[0103] グラフ G 5 は、図 1 1 のグラフ G 4 と比較して、目標スペクトル線幅 $\Delta \lambda$

t の値を切り替えるタイミングが、高解像度領域 A の Y 軸方向マイナス側境界位置よりもさらにマイナス側（手前側）にスキャンビーム S B の Y 軸方向ビーム幅（B_y 幅）分だけ早いタイミングとなるように変更されている。これは、領域 A の Y 軸方向マイナス側境界位置から Y 軸方向マイナス側に B_y 幅の帯状領域だけ領域 A の境界領域を拡大した仮想的な拡大領域 A_e に対して目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ (A) を設定することに相当している。なお、レチクル 46 上に照明されるスキャンビーム S B は、ウエハ W F 上では露光装置 14 の投影光学系 50 の倍率に応じた大きさのスキャンビームとなる。例えば、投影光学系 50 の倍率が 1 / 4 倍の場合、レチクル 46 上に照明されるスキャンビーム S B は、ウエハ W F 上では 1 / 4 倍の大きさのスキャンビームとなる。また、レチクル 46 上のスキャンフィールドエリアは、ウエハ W F 上ではその 1 / 4 倍のスキャンフィールド S F となる。レチクル 46 上に照明されるスキャンビーム S B の Y 軸方向ビーム幅（B_y 幅）は、ウエハ W F 上のスタティック露光エリア S E A の Y 軸方向幅 B_y を実現するビーム幅である。

[0104] 図 16 の最下段に示す枠内には、1 スキャン内の Y 方向位置に対応するスキャン露光パルス毎の移動積算スペクトル波長 λ_{mv} を示すグラフ G6 と、スキャン露光パルス毎の移動積算スペクトル線幅 $\Delta\lambda_{mv}$ を示すグラフ G7 とが示されている。ここで、移動積算スペクトル波長 λ_{mv} 及び移動積算スペクトル線幅 $\Delta\lambda_{mv}$ は、移動積算スペクトルの波形から求めたそれぞれ中心波長及びスペクトル線幅である。ここで、移動積算スペクトル波形とは、ウエハ W F 上のレジストに露光されるパルス数 N_{SL} のパルス数でスペクトル波形を移動積算したスペクトル波形である。

[0105] グラフ G5 に示すように目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ を設定することにより、移動積算スペクトル線幅 $\Delta\lambda_{mv}$ はグラフ G7 に示すようになり、高解像度領域 A の領域範囲において移動積算スペクトル線幅 $\Delta\lambda_{mv}$ が目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t = \Delta\lambda_b$ に近づき一定となる。

[0106] 図 17 は、実施形態 2 の露光制御部 40 が実施する処理の例を示すフロー

チャートである。図 17 に示すフローチャートについて、図 14 と異なる点を説明する。図 17 に示すフローチャートは、ステップ S 21 の前にステップ S 20 が追加され、図 14 におけるステップ S 22 に代えて、ステップ S 22 b を含む。

[0107] ステップ S 20 において、図 6 に示すように、露光制御部 40 は帯状の領域 A の範囲を Y 軸方向マイナス側にスキャンビーム S B のビーム幅 (B_y 幅) だけ広げるように領域 A の Y 軸方向マイナス側境界位置を移動させて領域 A を拡大領域 A e に変更する。

[0108] なお、図 6 に示すように、領域 A から拡大領域 A e に変更することに伴い、この拡大領域 A e と Y 軸方向マイナス側に隣接する領域 B の Y 軸方向プラス側境界位置は変更され、領域 B は仮想的な縮小領域 B r となる。すなわち、帯状の領域 B の Y 軸方向プラス側境界位置は B_y 幅の分だけ Y 軸方向マイナス側に移動し、領域 B の範囲は縮小されて縮小領域 B r に変更される。領域 A の Y 軸方向プラス側に隣接する領域 B の Y 軸方向マイナス側境界位置は変更する必要がない。

[0109] ステップ S 22 b において、露光制御部 40 はファイル C のデータと、スキャンフィールド S F 内の拡大領域 A e 及び縮小領域 B r の場所とに基づいて、各スキャンフィールド S F 内の各パルスのレーザ光の制御パラメータの目標値 (λ_t , $\Delta\lambda_t$, E_t) を計算する。以降のステップは図 14 のフローチャートと同様である。

[0110] 4. 3 作用・効果

スキャンフィールド S F に露光されるパルスレーザ光のスペクトル波形は、露光パルス数 N_{SL} の移動積算値となる。実施形態 2 によれば、少なくとも、高解像度領域 A に照射されるスペクトル線幅 $\Delta\lambda$ として最適スペクトル線幅 $\Delta\lambda_b$ で露光できる。

[0111] 4. 4 変形例

図 18 は、実施形態 2 の変形例に係るリソグラフィシステムにおける帯状のレチクルパターンと目標レーザ光の制御パラメータ値のトレンドの例を示

す。図18に示す変形例について、図16と異なる点を説明する。図18において、図16と同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。図16では、領域Aと領域Bの2種類の領域の配置例を説明したが、図18に示す変形例では、高解像度領域Aと低解像度領域Bとの間に、帯状の中間解像度領域Cが配置される。中間解像度領域Cは、高解像度領域Aに要求される解像力と低解像度領域Bに要求される解像力との中間程度の解像力が要求されるパターン領域である。中間解像度領域Cを「領域C」と記載する場合がある。このような帯状の領域A～Cの配置パターンに対応して、最適スペクトル線幅 $\Delta\lambda_b$ のグラフはグラフG8のようなものとなる。その一方で、目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ はグラフG5のような設定であってよい。

[0112] スキャンビームSBは、レチクル46上をスキャン移動する際に、低解像度領域B→中間解像度領域C→高解像度領域Aの順に露光する。これにより、移動積算スペクトル線幅 $\Delta\lambda_{mv}$ はグラフG7のようになる。図18に示すように、帯状の中間解像度領域Cは、移動積算スペクトル線幅 $\Delta\lambda_{mv}$ が変化する領域に配置される。図18に示す変形例においても、高解像度領域Aに対して最適なスペクトル線幅で露光できる。中間解像度領域Cは本開示における「第3領域」の一例であり、中間解像度領域Cに配置される回路パターンは本開示における「第3パターン」の一例である。

[0113] 5. 実施形態3

5. 1 構成

実施形態3に係るリソグラフィシステムの構成は、実施形態1と同様であってよい。

[0114] メモリ系やCMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) イメージセンサなどの電子デバイスを製造する場合、一般的には、チップの中心部分にメモリセル部やピクセル部などの主要部が配置されることが多い。そして、主要部の周辺には、周辺回路や計測用マークパターンやテストパターン、モニタ用パターンなどが配置される。

[0115] 実施形態3に係るリソグラフィシステムでは、実施形態1及び実施形態2

で説明したレチクルパターンの構成と同様の考え方に基づき、主要部のパターン領域（メインパターン領域）と周辺回路部のパターン領域（周辺回路領域）とが、それぞれスキャン方向と直交する方向（X軸方向）の帯状の領域として、Y軸方向の異なる位置に配置されるようにレチクルパターンが設計される。すなわち、計測用マークパターン、テストパターン及びモニタ用パターンなどは可能な限り、メモリセル部やピクセル部などの主要部とX軸方向で重なる位置に配置し、周辺回路は可能な限り、主要部とX軸方向で重ならない位置に配置する。

[0116] 図19は、実施形態3に係るリソグラフィシステムに適用されるレチクルパターンとウエハWFの領域との関係とを模式的に示す。図19の上段には、レチクル46の平面図が示されており、図19の下段には、レチクル46に対応するウエハWFの領域の断面図が示されている。図19に示す例では、1スキャンフィールドに対応するレチクル46内が4分割されており、各分割エリアが1つのチップの回路パターンに対応する。

[0117] 図19に示すように、レチクル46は、メインパターン領域Dと周辺回路領域Eとを含む。メインパターン領域Dは、メモリセル部やピクセル部などの主要部Mwのパターンが配置される主要領域である。周辺回路領域Eは、主要部Mwに付随する周辺回路等のパターンが配置される領域である。メインパターン領域Dと周辺回路領域Eとの配置関係は、実施形態1における高解像度領域Aと低解像度領域Bとの配置関係と同様であってよい。

[0118] 実施形態3の場合、メインパターン領域Dに対応するウエハWF上の主要部Mwの領域と、周辺回路領域Eに対応するウエハWF上の周辺回路部Pwの領域とは、ウエハWFの面内において段差（高低差）がある。図19では、主要部Mwが周辺回路部Pwよりも高い構成が例示されているが、この例に限らず、図20に示すように、主要部Mwが周辺回路部Pwよりも低い構成となる場合もあり得る。なお、メインパターン領域Dは単に「領域D」と記載される場合があり、周辺回路領域Eは単に「領域E」と記載される場合がある。ウエハWFにおける主要部Mwの領域は本開示における「第1高さ

領域」の一例である。周辺回路部 P_w の領域は本開示における「第2高さ領域」の一例である。

[0119] 図21は、実施形態3に係るリソグラフィシステムにおける帯状のレチクルパターンと目標レーザ光の制御パラメータ値のトレンドの例を示す。図21に関して、図11と異なる点を説明する。図21の上段には図19で説明したレチクルパターンとウエハWFの断面図が示されている。図21の中段に示す枠内には、1スキャン内のY方向位置と最適波長 λ_b との関係を示すグラフG11と、1スキャン内のY方向位置と最適スペクトル線幅 $\Delta\lambda_b$ との関係を示すグラフG12とが示されている。

[0120] 図21の下段に示す枠内には、1スキャン内のY方向位置に対応するスキャン露光パルス毎の目標波長 λ_t を示すグラフG13と、スキャン露光パルス毎の目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ を示すグラフG14とが示されている。

[0121] 図21に示す例では、露光制御部40はリソグラフィ制御部110によって作成されるファイルC3のデータを読み込んで、メインパターン領域Dと周辺回路領域Eのそれぞれの領域に対する最適な波長 λ_b と最適なスペクトル線幅 $\Delta\lambda_b$ の値を使用して、これらの値をそのままレーザ制御部20に目標波長 λ_t と目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ として送信した場合の例を示している。

[0122] 5. 2 動作

実施形態3に係るリソグラフィシステムの露光制御部40は、ウエハWFにおける主要部 M_w と周辺回路部 P_w との段差に応じて、パルスレーザ光の中心波長を変更する。

[0123] 露光制御部40は、ウエハWFの段差に応じて、必要な焦点深度と、焦点の位置と、必要な解像力等から、スキャン方向と直交する方向の帯状の領域に最適な波長 λ_b と最適なスペクトル線幅 $\Delta\lambda_b$ とを計算する。露光制御部40は、最適波長 λ_b と最適スペクトル線幅 $\Delta\lambda_b$ とから各スキャンフィールドのパルス毎の目標波長 λ_t と目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ とを計算する。

[0124] 露光制御部40は、ステップアンドスキャンの方式で各パルスのレーザ光

の制御パラメータ値（目標波長 λ_t ，目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ ，目標パルスエネルギー E_t ）をレーザ制御部20に送信する。

[0125] レーザ制御部20は、パルス毎に制御パラメータの目標値となるようにレーザ装置12を制御し、発光トリガ信号 T_r に従ってパルスレーザ光を出力させる。

[0126] 露光制御部40は、発光トリガ信号 T_r を送信しながらレチクルステージ48とウエハステージ54を制御してレチクル46の像をウエハWF上にスキャン露光する。

[0127] 5. 3 リソグラフィ制御部の処理内容の例

図22は、実施形態3のリソグラフィ制御部110が実施する処理の例を示すフローチャートである。図22に示すフローチャートについて、図12と異なる点を説明する。図22に示すフローチャートは、図12におけるステップS12、S14、S15及びS17に代えて、ステップS12c、S14c、S15c及びS17cを含む。

[0128] ステップS12cにおいて、リソグラフィ制御部110はメインパターン領域Dのレチクルパターンについてのパターン情報と結像位置 $F(D)$ の入力を受け付ける。結像位置 $F(D)$ は、ウエハWF上における主要部 M_w の高さ位置（Z位置）に応じて決定される（図19及び図20参照）。

[0129] ステップS13において、リソグラフィ制御部110はメインパターン領域Dに対する最適なレーザ光の制御パラメータを計算する。

[0130] そして、ステップS14cにおいて、リソグラフィ制御部110はステップS13の計算により算出された制御パラメータをファイルC3に書き込む。

[0131] ステップS15cにおいて、リソグラフィ制御部110は周辺回路領域Eのレチクルパターンについてのパターン情報と結像位置 $F(E)$ の入力を受け付ける。結像位置 $F(E)$ は、ウエハWF上における周辺回路部 P_w の高さ位置（Z位置）に応じて決定される（図19及び図20参照）。

[0132] ステップS16において、リソグラフィ制御部110は周辺回路領域Eに

対する最適なレーザ光の制御パラメータを計算する。

[0133] ステップS 1 7 cにおいて、リソグラフィ制御部 1 1 0はステップS 1 6の計算により算出された制御パラメータをファイルC 3に書き込む。

[0134] ステップS 1 7 cの後、リソグラフィ制御部 1 1 0は図 2 2のフローチャートを終了する。

[0135] 図 2 3は、ファイルC 3に保存されるテーブルのデータ構造を示す概念図である。ファイルC 3には、レチクル4 6の領域別に、結像位置、最適波長 λ_b 、最適スペクトル線幅 $\Delta\lambda_b$ 、及び最適パルスエネルギー E_b のパラメータのデータが書き込まれる。

[0136] 5. 4 露光制御部の処理内容の例

図 2 4は、実施形態3の露光制御部4 0が実施する処理の例を示すフローチャートである。図 2 4に示すフローチャートについて、図 1 4と異なる点を説明する。図 2 4に示すフローチャートは、図 1 4におけるステップS 2 1及びS 2 2に代えて、ステップS 2 1 c及びS 2 2 cを含む。

[0137] ステップS 2 1 cにおいて、露光制御部4 0はリソグラフィ制御部 1 1 0に保存されているファイルC 3のデータを読み込む。

[0138] ステップS 2 2 cにおいて、露光制御部4 0はファイルC 3のデータと、スキャンフィールド内の領域D及び領域Eの場所とに基づいて、各スキャンフィールド内の各パルスのレーザ光の制御パラメータの目標値(λ_t , $\Delta\lambda_t$, E_t)を求める。以降のステップは図 1 4のフローチャートと同様である。

[0139] 5. 5 作用・効果

実施形態3に係るリソグラフィシステムによれば、メモリ系やCMOSイメージセンサなどの電子デバイスを製造する場合においても、メインパターン領域Dと周辺回路領域Eとをスキャン方向との直交方向に帯状に配置することによって、メインパターン領域Dと周辺回路領域Eのそれぞれの領域に対して最適なレーザ光の制御パラメータでスキャン露光することが可能となる。

[0140] その結果、製造される半導体素子の性能や歩留まりが改善する。

[0141] 5. 6 その他

実施形態3では、リソグラフィ制御部110と露光制御部40の機能を分けた場合の例で説明したが、この例に限定されることなく、リソグラフィ制御部110の機能を露光制御部40が含んでいてもよい。

[0142] 図22のような計算フローは、計算プログラムを搭載したコンピュータで予め計算して、図23のようなファイルC3を、リソグラフィ制御部110又は露光制御部40の記憶装置に保存しておいてもよい。

[0143] さらに、実施形態3では、ファイルC3の作成を光学シミュレーション計算によってそれぞれの領域D及びEの最適波長 λ_b と最適スペクトル幅 $\Delta\lambda_b$ と最適パルスエネルギー E_b を求めているが、この例に限定されることない。例えば、レーザ光の制御パラメータを振りながら、テスト露光試験を行い、その結果をもとに各領域それぞれに対して最適なレーザ光の制御パラメータをファイルC3に保存してもよい。

[0144] 6. 実施形態4

6. 1 構成

実施形態4に係るリソグラフィシステムの構成は、実施形態1と同様であってよい。

[0145] 6. 2 動作

図25は、実施形態4に係るリソグラフィシステムにおける帯状のレチクルパターンと目標レーザ光の制御パラメータ値のトレンドの例を示す。図25の例について、図21と異なる点を説明する。図25では、図21のグラフG13及びG14に代えて、グラフG15及びG16となっている。

[0146] グラフG15は、図21のグラフG13と比較して、目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ の値を切り替えるタイミングが、メインパターン領域DのY軸方向マイナス側境界位置よりもさらにマイナス側（手前側）にスキャンビームSBのY方向幅（By幅）分だけ早いタイミングとなるように、変更されている。これは、領域DのY軸方向マイナス側境界位置からY軸方向マイナス側に

B_y 幅の帯状領域だけ領域Dの境界領域を拡大した仮想的な拡大領域D_eに対して目標波長 λ_t (D)と目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ (D)とを設定することを意味している。

[0147] 図25に示すように、領域Dから拡大領域D_eに変更することに伴い、領域Eは逆にY軸方向プラス側境界位置がB_y 幅だけY軸方向マイナス側に移動して領域が縮小され、仮想的な縮小領域E_rに変更される。そして、縮小領域E_rに対して目標波長 λ_t (E)と目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ (E)とが設定される。

[0148] 図25の最下段に示す枠内には、1スキャン内のY方向位置に対応するスキャン露光パルス毎の移動積算スペクトル波長 λ_{mv} を示すグラフG17と、スキャン露光パルス毎の移動積算スペクトル線幅 $\Delta\lambda_{mv}$ を示すグラフG18とが示されている。

[0149] グラフG15に示すように目標波長 λ_t を設定することにより、グラフG17に示すように、メインパターン領域Dの範囲において移動積算スペクトル波長 λ_{mv} が目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t = \Delta\lambda_b$ に近づき一定となる。

[0150] グラフG16に示すように目標スペクトル線幅を設定することにより、グラフG18に示すように、メインパターン領域Dの範囲において移動積算スペクトル線幅 $\Delta\lambda_{mv}$ が一定となる。

[0151] 図26は、実施形態4の露光制御部40が実施する処理の例を示すフローチャートである。図26に示すフローチャートについて、図24と異なる点を説明する。図26に示すフローチャートは、ステップS21cの前にステップS20dが追加され、図24のステップS22cに代えて、ステップS22dを含む。

[0152] ステップS20dにおいて、露光制御部40は帯状の領域Dの範囲をY軸方向マイナス側にスキャンビームS_Bのビーム幅(B_y 幅)だけ広げるように領域DのY軸方向マイナス側境界位置を移動させて拡大領域D_eに変更する。領域Dから拡大領域D_eに変更することに伴い、帯状の領域EのY軸方向プラス側境界位置はB_y 幅の分だけY軸方向マイナス側に移動し、領域B

の範囲は縮小されて縮小領域 E_r に変更される。

[0153] ステップ S_{22d} において、露光制御部 40 はファイル C_3 のデータと、スキャンフィールド内の拡大領域 D_e 及び縮小領域 E_r の場所とに基づいて、各スキャンフィールド内の各パルスのレーザ光の制御パラメータの目標値 (λ_t , $\Delta\lambda_t$, E_t) を計算する。以降のステップは図 24 のフローチャートと同様である。

[0154] 6. 3 作用・効果

スキャンフィールド S_F に露光されるパルスレーザ光のスペクトル波形は、露光パルス数 N_{SL} の移動積算値となる。実施形態 4 によれば、少なくともメインパターン領域 D に照射されるレーザ光は最適なレーザ制御パラメータ (λ_b , $\Delta\lambda_b$) で露光できる。

[0155] 実施形態 4 にて説明したように、本開示の技術は、スキャン露光の際にウエハ上に段差があるメモリ系や CMOS イメージセンサなどの電子デバイスを製造する場合においても、適用できる。実施形態 4 によれば、製造される半導体素子の性能や歩留まりが改善する。

[0156] 7. 固体レーザ装置を発振器として用いるエキシマレーザ装置の例

7. 1 構成

図 10 で説明したレーザ装置 12 は、発振器 22 として狭帯域化ガスレーザ装置を用いる構成を例示したが、レーザ装置の構成は図 10 の例に限定されない。

[0157] 図 27 は、レーザ装置の他の構成例を示す。図 10 に示すレーザ装置 12 に代えて、図 27 に示すレーザ装置 212 を用いてもよい。図 27 に示す構成について、図 10 と共通又は類似する要素には同一の符号を付し、その説明は省略する。

[0158] 図 27 に示すレーザ装置 212 は、固体レーザ装置を発振器として用いるエキシマレーザ装置であって、固体レーザシステム 222 と、エキシマ増幅器 224 と、レーザ制御部 220 とを含む。

[0159] 固体レーザシステム 222 は、半導体レーザシステム 230 と、チタンサ

ファイヤ増幅器 232 と、ポンピング用パルスレーザ 234 と、波長変換システム 236 と、固体レーザ制御部 238 とを含む。

[0160] 半導体レーザシステム 230 は、波長約 773.6 nm の CW レーザ光を出力する分布帰還型 (Distributed Feedback : DFB) の半導体レーザと、CW レーザ光をパルス化する半導体光増幅器 (Semiconductor Optical Amplifier : SOA) とを含む。半導体レーザシステム 230 の構成例については図 28 を用いて後述する。

[0161] チタンサファイヤ増幅器 232 は、チタンサファイヤ結晶を含む。チタンサファイヤ結晶は、半導体レーザシステム 230 の SOA でパルス増幅されたパルスレーザ光の光路上に配置される。ポンピング用パルスレーザ 234 は、YLF レーザの第 2 高調波光を出力するレーザ装置であってもよい。YLF (イットリウムリチウムフルオライド) は、化学式 LiYF_4 で表される固体レーザ結晶である。

[0162] 波長変換システム 236 は、複数の非線形光学結晶を含み、入射したパルスレーザ光を波長変換して 4 倍高調波のパルスレーザ光を出力する。波長変換システム 236 は、例えば、LBO 結晶と、KBBF 結晶とを含む。LBO 結晶は化学式 LiB_3O_5 で表される非線形光学結晶である。KBBF 結晶は、化学式 $\text{KBe}_2\text{BO}_3\text{F}_2$ で表される非線形光学結晶である。各結晶は、図示しない回転ステージ上に配置され、結晶への入射角度を変更できるように構成される。

[0163] 固体レーザ制御部 238 は、レーザ制御部 220 からの指令に従い、半導体レーザシステム 230、ポンピング用パルスレーザ 234 及び波長変換システム 236 を制御する。

[0164] エキシマ増幅器 224 は、チャンバ 160 と、PPM 164 と、充電器 166 と、凸面ミラー 241 と、凹面ミラー 242 とを含む。チャンバ 160 は、ウインドウ 171, 172 と、1 対の電極 173, 174 と、電気絶縁部材 175 とを含む。チャンバ 160 には ArF レーザガスが導入される。PPM 164 は、スイッチ 165 と充電コンデンサとを含む。

- [0165] エキシマ増幅器 224 は、一対の電極 173、174 の間の放電空間に、波長 193.4 nm のシード光を 3 回通して増幅を行う構成である。ここで、波長 193.4 nm のシード光は固体レーザシステム 222 から出力されるパルスレーザ光である。
- [0166] 凸面ミラー 241 と凹面ミラー 242 は、チャンバ 160 の外側における固体レーザシステム 222 から出力されたパルスレーザ光が 3 パスしてビーム拡大するように配置される。
- [0167] エキシマ増幅器 224 に入射した波長約 193.4 nm のシード光は、凸面ミラー 241 及び凹面ミラー 242 で反射することにより、一対の放電電極 412、413 の間の放電空間を 3 回通過する。これにより、シード光のビームが拡大されて増幅される。
- [0168] 7.2 動作
- レーザ制御部 220 は、露光制御部 40 から目標波長 λ_t 、目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ 、及び目標パルスエネルギー E_t を受信すると、これらの目標値となるような半導体レーザシステム 230 からのパルスレーザ光の目標波長 λ_{1ct} と目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_{1cht}$ を、例えばテーブルデータ又は近似式から計算する。
- [0169] レーザ制御部 220 は、目標波長 λ_{1ct} と目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_{1cht}$ とを固体レーザ制御部 238 に送信し、エキシマ増幅器 224 から出力されるパルスレーザ光が目標パルスエネルギー E_t となるように充電器 166 に充電電圧を設定する。
- [0170] 固体レーザ制御部 238 は、半導体レーザシステム 230 からの出射パルスレーザ光が目標波長 λ_{1ct} と目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_{1cht}$ に近づくように、半導体レーザシステム 230 を制御する。固体レーザ制御部 238 が実施する制御の方式については図 28～図 31 を用いて後述する。
- [0171] また、固体レーザ制御部 238 は、波長変換システム 236 の LBO 結晶と KBBF 結晶との波長変換効率が最大となるような入射角度となるように、図示しない 2 つの回転ステージを制御する。

- [0172] 露光制御部40からレーザ制御部220に発光トリガ信号Trが送信されると、この発光トリガ信号Trに同期して、半導体レーザシステム230と、ポンピング用パルスレーザ234と、エキシマ増幅器224のPPM164のスイッチ165にトリガ信号が入力される。その結果、半導体レーザシステム230のSOAにパルス電流が入力され、SOAからパルス増幅されたパルスレーザ光が出力される。
- [0173] 半導体レーザシステム230からパルスレーザ光が出力され、チタンサファイヤ増幅器232においてさらにパルス増幅される。このパルスレーザ光は、波長変換システム236に入射する。その結果、波長変換システム236から目標波長 λ_t のパルスレーザ光が出力される。
- [0174] レーザ制御部220は、露光制御部402から発光トリガ信号Trを受信すると、固体レーザシステム222から出力されたパルスレーザ光がエキシマ増幅器224のチャンバ160の放電空間に入射した時に放電するように、半導体レーザシステム230の後述するSOA260と、PPM164のスイッチ165と、ポンピング用パルスレーザ234と、にそれぞれトリガ信号を送信する。
- [0175] その結果、固体レーザシステム222から出力されたパルスレーザ光はエキシマ増幅器224で3パス増幅される。エキシマ増幅器224により増幅されたパルスレーザ光は、モニタモジュール30のビームスプリッタ181によってサンプルされ、光センサ184を用いてパルスエネルギーEが計測され、スペクトル検出器183を用いて波長 λ とスペクトル線幅 $\Delta\lambda$ が計測される。
- [0176] レーザ制御部220は、モニタモジュール30を用いて計測されたパルスエネルギーE、波長 λ 及びスペクトル線幅 $\Delta\lambda$ を基に、パルスエネルギーEと目標パルスエネルギー E_t との差と、波長 λ と目標波長 λ_t との差と、スペクトル線幅 $\Delta\lambda$ と目標スペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ との差と、がそれぞれ0に近づくように、充電器166の充電電圧と、半導体レーザシステム230から出力されるパルスレーザ光の波長 λ_{1ct} と、スペクトル線幅 $\Delta\lambda_{1ch}$ と、をそ

れぞれ補正制御してもよい。

[0177] 7. 3 半導体レーザシステムの説明

7. 3. 1 構成

図28は、半導体レーザシステム230の構成例を示す。半導体レーザシステム230は、シングル縦モードの分布帰還型の半導体レーザ250と、半導体光増幅器(SOA)260と、関数発生器(Function Generator: FG)261と、ビームスプリッタ264と、スペクトルモニタ266と、半導体レーザ制御部268とを含む。分布帰還型半導体レーザを「DFBレーザ」という。

[0178] DFBレーザ250は、波長約773.6nmのCW(Continuous Wave)レーザ光を出力する。DFBレーザは、電流制御及び／又は温度制御により、発振波長を変更することができる。

[0179] DFBレーザ250は、半導体レーザ素子251と、ペルチェ素子252と、温度センサ253と、温度制御部254と、電流制御部256と、関数発生器257とを含む。半導体レーザ素子251は、第1のクラッド層271、活性層272及び第2のクラッド層273を含み、活性層272と第2のクラッド層273の境界にグレーティング274を含む。

[0180] 7. 3. 2 動作

DFBレーザ250の発振中心波長は、半導体レーザ素子251の設定温度T及び／又は電流値Aを変化させることによって波長を変更できる。

[0181] 高速でDFBレーザ250の発振波長をチャープングさせて、スペクトル線幅を制御する場合は、半導体レーザ素子251に流れる電流の電流値Aを高速に変化させることによってスペクトル線幅を制御可能である。

[0182] すなわち、半導体レーザ制御部268から関数発生器257に、電流制御パラメータとして、DC成分値 A_{1dc} と、AC成分の変動幅 A_{1ac} と、AC成分の周期 $A_{1\tau}$ との各パラメータの値を送信することによって、半導体レーザシステム230から出力されるパルスレーザ光の中心波長 λ_{1chc} とスペクトル線幅 $\Delta\lambda_{1ch}$ を高速に制御することが可能となる。

- [0183] スペクトルモニタ 266 は、例えば、分光器又はヘテロダイン干渉計を用いて波長を計測してもよい。
- [0184] 関数発生器 257 は、半導体レーザ制御部 268 から指定された電流制御パラメータに応じた波形の電気信号を電流制御部 256 に出力する。電流制御部 256 は関数発生器 257 からの電気信号に応じた電流を半導体レーザ素子 251 に流すように電流制御を行う。なお、関数発生器 257 は、半導体レーザ 250 の外部に設けられてもよい。例えば、関数発生器 257 は、半導体レーザ制御部 268 に含まれてもよい。
- [0185] 図 29 は、チャープングによって実現されるスペクトル線幅の概念図である。スペクトル線幅 $\Delta\lambda_{1ch}$ は、チャープングによって生成される最大波長と最小波長との差として計測される。
- [0186] 図 30 は、半導体レーザに流れる電流とチャープングによる波長変化とスペクトル波形と光強度との関係を示す模式図である。図 30 の下段左部に表示したグラフ GA は、半導体レーザ素子 251 に流れる電流の電流値 A の変化を示すグラフである。図 30 の下段中央部に表示したグラフ GB は、グラフ GA の電流によって発生するチャープングを示すグラフである。図 30 の上段に表示したグラフ GC は、グラフ GB のチャープングによって得られるスペクトル波形の模式図である。図 30 の下段右部に表示したグラフ GD は、グラフ GA の電流によって半導体レーザシステム 230 から出力されるレーザ光の光強度の変化を示すグラフである。
- [0187] 半導体レーザシステム 230 の電流制御パラメータは、グラフ GA に示すように、次の値を含む。
- [0188] A1dc : 半導体レーザ素子に流れる電流の DC 成分値
A1ac : 半導体レーザ素子に流れる電流の AC 成分の変動幅（電流の極大値と極小値との差）
A1_T : 半導体レーザ素子に流れる電流の AC 成分の周期
- 図 30 に示す例では、電流制御パラメータの AC 成分の例として、三角波の例が示されており、三角波の電流の変動によって、半導体レーザ 250 か

ら出力されるCWレーザ光の光強度の変動が少ない場合の例を示す。

[0189] ここで、SOA260の増幅パルスの時間幅 D_{TW} とAC成分の周期 $A1_T$ との関係は次の式(1)を満足するのが好ましい。

$$[0190] \quad D_{TW} = n \cdot A1_T \quad (1)$$

n は1以上の整数である。

[0191] この式(1)の関係を満足させることによって、SOA260で、どのようなタイミングでパルス増幅を行っても、増幅されたパルスレーザ光のスペクトル波形の変化を抑制できる。

[0192] また、式(1)を満足しなくても、SOA260でのパルス幅の範囲は、例えば10ns～50nsである。半導体レーザ素子251に流れる電流のAC成分の周期 $A1_T$ は、SOA260のパルス幅(増幅パルスの時間幅 D_{TW})よりも十分短い周期である。例えば、この周期 $A1_T$ はSOA260でのパルス幅に対して、 $1/1000$ 以上 $1/10$ 以下、であることが好ましい。さらに好ましくは $1/1000$ 以上 $1/100$ 以下であってもよい。

[0193] また、SOA260の立ち上がり時間は、例えば2ns以下であることが好ましく、さらに好ましくは1ns以下である。ここでいう立ち上がり時間とは、図31に示すように、パルス電流の波形における振幅が、最大振幅の10%から90%まで増加するのに要する時間 R_t をいう。

[0194] 7.3.3 その他

図30に示した例では、電流のAC成分の波形の例として三角波を示したが、この例に限定されることなく、例えば、一定周期で変化する波形であればよい。三角波以外の他の例として、AC成分の波形は、正弦波や矩形波などであってもよい。このAC成分の波形を制御することによって、様々な目標のスペクトル波形を生成することができる。

[0195] 7.4 作用・効果

固体レーザシステム222を発振器として用いるレーザ装置212は、エキシマレーザを発振器として用いる場合と比較して、以下のような利点がある。

[0196] [1] 固体レーザシステム222は、DFBレーザ250の電流値Aを制御することによって、波長 λ とスペクトル線幅 $\Delta\lambda$ を高速かつ高精度に制御できる。すなわち、レーザ装置212は、目標波長 λ_t とスペクトル線幅 $\Delta\lambda_t$ のデータを受信すれば、直ちに、DFBレーザ250の電流値Aを制御して、高速に発振波長とスペクトル線幅を制御できるので、高速でかつ高精度に、レーザ装置212から出力されるパルスレーザ光の波長 λ とスペクトル線幅 $\Delta\lambda$ を毎パルス変更制御できる。

[0197] [2] さらに、DFBレーザ250の電流値を制御してチャープングさせることによって、通常のスペクトル波形と異なる様々な関数のスペクトル波形を生成することができる。

[0198] [3] このため、レーザ制御パラメータとしてスペクトル波形の移動積算値のスペクトル波形から求めた移動積算スペクトルの波長 λ_{mv} 又は線幅 $\Delta\lambda_{mv}$ を制御する場合には、DFBレーザ250を含む固体レーザシステム222を用いた発振器とエキシマ増幅器224とを備えたレーザ装置が好ましい。

[0199] 7. 5 その他

固体レーザ装置の実施形態として、図27から図31に示した例に限定されることなく、例えば、波長約1547.2nmのDFBレーザとSOAとを含む固体レーザシステムであって、波長変換システムは8倍高調波の193.4nm光を出力するレーザ装置であってもよい。また、その他の固体レーザ装置であって、CW発振のDFBレーザとSOAとを含み、波長はDFBレーザに流す電流の電流値を制御し、SOAにパルス電流を流すことによってパルス増幅するシステムがあればよい。

[0200] 図27の例では、エキシマ増幅器としてマルチパス増幅器の例を示したが、この実施形態に限定されることなく、例えば、ファブリペロ共振器又はリング共振器などの光共振器を備えた増幅器であってもよい。

[0201] 8. 各種の制御部のハードウェア構成について

レーザ制御部20、露光制御部40、リソグラフィ制御部110、固体レ

ーザ制御部238、半導体レーザ制御部268及びその他の各制御部として機能する制御装置は、1台又は複数台のコンピュータのハードウェア及びソフトウェアの組み合わせによって実現することが可能である。ソフトウェアはプログラムと同義である。プログラマブルコントローラはコンピュータの概念に含まれる。コンピュータは、CPU (Central Processing Unit) 及びメモリを含んで構成され得る。コンピュータに含まれるCPUはプロセッサの一例である。

[0202] また、制御装置の処理機能の一部又は全部は、FPGA (Field Programmable Gate Array) やASIC (Application Specific Integrated Circuit) に代表される集積回路を用いて実現してもよい。

[0203] また、複数の制御装置の機能を1台の制御装置で実現することも可能である。さらに本開示において、制御装置は、ローカルエリアネットワークやインターネットといった通信ネットワークを介して互いに接続されてもよい。分散コンピューティング環境において、プログラムユニットは、ローカル及びリモート両方のメモリストレージデバイスに保存されてもよい。

[0204] 9. 電子デバイスの製造方法

図32は、露光装置14の構成例を概略的に示す。露光装置14は、照明光学系44と、投影光学系50とを含む。照明光学系44は、レーザ装置12から入射したレーザ光によって、図示しないレチクルステージ48上に配置されたレチクル46のレチクルパターンを照明する。投影光学系50は、レチクル46を透過したレーザ光を、縮小投影してワークピーステーブルWT上に配置された図示しないワークピースに結像させる。ワークピースはレジストが塗布された半導体ウエハ等の感光基板であってよい。ワークピーステーブルWTは、ウエハステージ54であってよい。

[0205] 露光装置14は、レチクルステージ48とワークピーステーブルWTとを同期して平行移動させることにより、レチクルパターンを反映したレーザ光をワークピース上に露光する。以上のような露光工程によって半導体ウエハにレチクルパターンを転写後、複数の工程を経ることで半導体デバイスを製

造することができる。半導体デバイスは本開示における「電子デバイス」の一例である。

[0206] 図32におけるレーザ装置12は、図27で説明した固体レーザシステム222を含むレーザ装置212などであってもよい。

[0207] 10. その他

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。

[0208] 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」、「有する」、「備える」、「具備する」などの用語は、「記載されたもの以外の構成要素の存在を除外しない」と解釈されるべきである。また、修飾語「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] レチクルにパルスレーザ光を照射して半導体基板をスキャン露光する露光システムであって、
- 前記パルスレーザ光を出力するレーザ装置と、
- 前記パルスレーザ光を前記レチクルに導光する照明光学系と、
- 前記レチクルを移動させるレチクルステージと、
- 前記レーザ装置からの前記パルスレーザ光の出力及び前記レチクルステージによる前記レチクルの移動を制御するプロセッサと、
- を備え、
- 前記レチクルは、第1パターンが配置された第1領域と第2パターンが配置された第2領域とを備え、
- 前記第1領域及び前記第2領域のそれぞれは、前記パルスレーザ光のスキャン方向に対して直交するスキャン幅方向に連続する領域であり、前記第1領域と前記第2領域とが前記スキャン方向に並んで配置され、
- 前記プロセッサは、前記第1領域及び前記第2領域のそれぞれの領域に応じて前記パルスレーザ光の制御パラメータの値を変えて、前記第1領域及び前記第2領域のそれぞれの領域に応じた前記パルスレーザ光を出力させるように前記レーザ装置を制御する、
- 露光システム。
- [請求項2] 請求項1に記載の露光システムであって、
- 前記第1領域及び前記第2領域のそれぞれの前記スキャン幅方向の長さが前記レチクルの前記スキャン幅方向の長さの50%以上である、
- 露光システム。
- [請求項3] 請求項1に記載の露光システムであって、
- 前記第1領域及び第2領域のそれぞれは、前記スキャン幅方向の領域の長さが、スキャン方向の領域の長さよりも長い帯状の領域であり

、

前記スキャン幅方向の直線上に前記第 1 領域と前記第 2 領域とが非混在である、

露光システム。

[請求項4]

請求項 1 に記載の露光システムであって、

前記制御パラメータは、目標波長、目標スペクトル線幅、及び目標パルスエネルギーのうち少なくとも 1 つを含む、

露光システム。

[請求項5]

請求項 1 に記載の露光システムであって、

前記プロセッサは、前記第 1 領域に応じた前記パルスレーザ光の第 1 目標波長と第 1 目標スペクトル線幅と第 1 目標パルスエネルギーとを設定して、前記第 1 領域に対して第 1 パルスレーザ光を照射するように前記レーザ装置を制御し、

前記第 2 領域に応じた前記パルスレーザ光の第 2 目標波長と第 2 目標スペクトル線幅と第 2 目標パルスエネルギーとを設定して、前記第 2 領域に対して第 2 パルスレーザ光を照射するように前記レーザ装置を制御する、

露光システム。

[請求項6]

請求項 1 に記載の露光システムであって、

前記プロセッサは、前記レチクルのレチクルパターンの情報を基に、前記第 1 領域及び前記第 2 領域のそれぞれの領域に対応した前記制御パラメータの値を算出する、

露光システム。

[請求項7]

請求項 1 に記載の露光システムであって、

前記スキャン露光に用いるパラメータを管理するサーバをさらに備え、

前記サーバは、前記レチクルのレチクルパターンの情報を基に、前記第 1 領域及び前記第 2 領域のそれぞれの領域に対応した前記制御パ

ラメータの値を算出し、

前記算出された前記制御パラメータの値をそれぞれの前記領域と関連付けてファイルに書き込む、

露光システム。

[請求項8]

請求項1に記載の露光システムであって、

前記プロセッサは、前記第1領域及び前記第2領域の領域毎に前記パルスレーザ光の目標波長と目標スペクトル線幅と目標パルスエネルギーと定めたテーブルを保持し、

前記テーブルに基づいて、前記第1領域及び前記第2領域の領域毎に前記パルスレーザ光の出力を制御する、

露光システム。

[請求項9]

請求項1に記載の露光システムであって、

前記プロセッサは、

前記半導体基板のスキャンフィールドに露光される前記パルスレーザ光の移動積算スペクトル波長及び移動積算スペクトル線幅の少なくとも一方に基づいて、前記レーザ装置を制御する、

露光システム。

[請求項10]

請求項1に記載の露光システムであって、

前記スキャン方向をY軸方向とし、Y軸方向プラス側に向かって前記レチクルをスキャンする前記パルスレーザ光のスキャンビームのY軸方向ビーム幅をB_y幅とする場合に、

前記プロセッサは、

前記レチクルのレチクルパターンの情報を基に、前記第1領域のY軸方向マイナス側の境界を前記B_y幅に対応する距離だけY軸方向マイナス側に変更して前記第1領域を拡大させた拡大領域を求め、前記第1領域のY軸方向プラス側に隣接する前記第2領域のY軸方向プラス側の境界を前記B_y幅に対応する距離だけY軸方向マイナス側に変更して前記第2領域を縮小させた縮小領域を求め、

前記拡大領域及び前記縮小領域のそれぞれの領域に応じて前記パルスレーザ光の制御パラメータの値を変えて、それぞれの領域に応じた前記パルスレーザ光を出力させるように前記レーザ装置を制御する、露光システム。

[請求項11] 請求項1に記載の露光システムであって、
前記レチクルは、第3パターンが配置された第3領域をさらに備え、

前記第3領域は、前記パルスレーザ光のスキャン方向に対して直交するスキャン幅方向に連続する領域であり、前記第1領域と前記第2領域との間に配置される、

露光システム。

[請求項12] 請求項1に記載の露光システムであって、
前記第1パターンは、前記第2パターンよりも相対的に高い解像力が要求される半導体素子のパターンである、

露光システム。

[請求項13] 請求項1に記載の露光システムであって、
前記第1領域には、前記第1パターンとしてスタティックランダムアクセスメモリ及びイメージセンサのピクセルのうち少なくとも一方のパターンが配置され、

前記第2領域には、前記第2パターンとして孤立パターン、ロジック素子、及びアンプのうち少なくとも1つのパターンが配置される、
露光システム。

[請求項14] 請求項1に記載の露光システムであって、
前記第1領域には、前記第1パターンとしてメモリセル及びイメージセンサのピクセルのうち少なくとも一方のパターンが配置され、

前記第2領域には、前記第2パターンとして周辺回路のパターンが配置される、

露光システム。

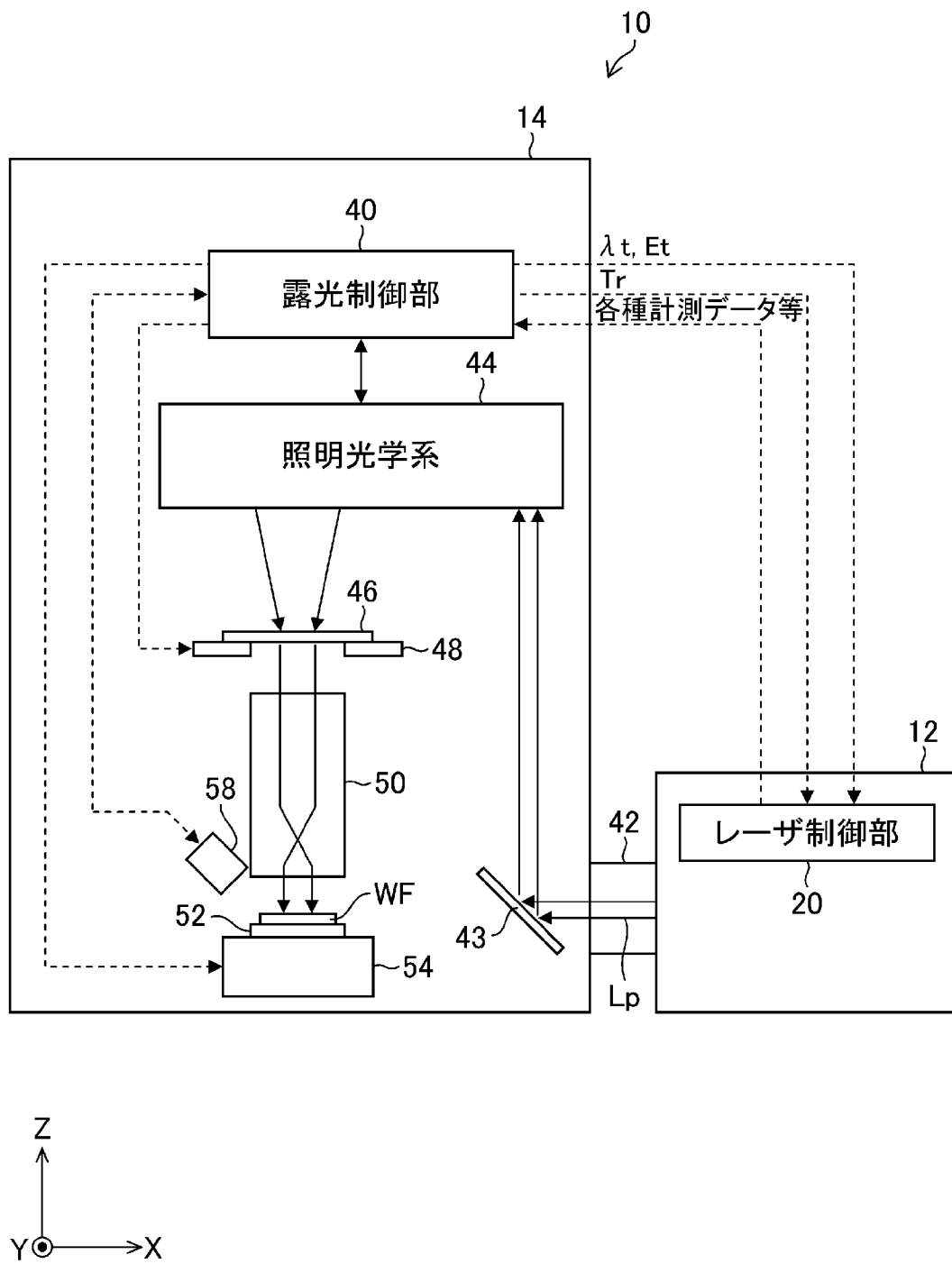
- [請求項15] 請求項14に記載の露光システムであって、
前記第1領域には、さらに、前記第1パターンとして計測用マークパターン、テストパターン、及びモニタ用パターンのうち少なくとも1つが配置される、
露光システム。
- [請求項16] 請求項1に記載の露光システムであって、
前記半導体基板は、前記スキャン露光が行われるスキャンフィールド内において、前記第1領域及び前記第2領域のそれぞれの領域に対応する位置に段差を有している、
露光システム。
- [請求項17] 請求項16に記載の露光システムであって、
前記プロセッサは、
前記第1領域及び前記第2領域のそれぞれの領域に対応する前記スキャンフィールド内の第1高さ領域及び第2高さ領域の各領域を露光する前記パルスレーザ光の結像位置の情報を取得し、
前記プロセッサは、前記レチクルのレチクルパターンの情報と前記結像位置の情報とを基に、前記第1領域及び前記第2領域のそれぞれの領域に対応した前記制御パラメータの値を算出する、
露光システム。
- [請求項18] 請求項1に記載の露光システムであって、
前記レーザ装置は、
発振器と、
前記発振器から出力されたパルスレーザ光を増幅する増幅器と、
を含むエキシマレーザ装置であり、
前記発振器は、狭帯域化モジュールを備える、
露光システム。
- [請求項19] 請求項1に記載の露光システムであって、
前記レーザ装置は、

発振器と、
前記発振器から出力されたパルスレーザ光を増幅する増幅器と、
を含むエキシマレーザ装置であり、
前記発振器は、
分布帰還型半導体レーザを用いた固体レーザシステムである、
露光システム。

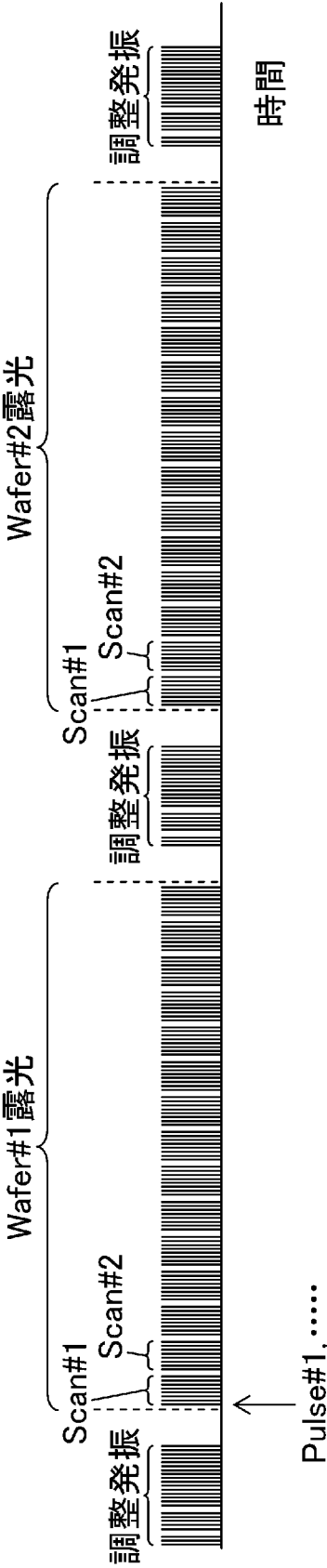
[請求項20]

電子デバイスの製造方法であって、
パルスレーザ光を出力するレーザ装置と、
前記パルスレーザ光をレチクルに導光する照明光学系と、
前記レチクルを移動させるレチクルステージと、
前記レーザ装置からの前記パルスレーザ光の出力及び前記レチクル
ステージによる前記レチクルの移動を制御するプロセッサと、
を備え、
前記レチクルは、第1パターンが配置された第1領域と第2パター
ンが配置された第2領域とを備え、
前記第1領域及び前記第2領域のそれぞれは、前記パルスレーザ光
のスキャン方向に対して直交するスキャン幅方向に連続する領域であ
り、前記第1領域と前記第2領域とが前記スキャン方向に並んで配置
され、
前記プロセッサは、前記第1領域及び前記第2領域のそれぞれの領
域に応じて前記パルスレーザ光の制御パラメータの値を変えて、前記
第1領域及び前記第2領域のそれぞれの領域に応じた前記パルスレー
ザ光を出力させるように前記レーザ装置を制御する、露光システムを
用いて、電子デバイスを製造するために、前記レチクルに前記パルス
レーザ光を照射して感光基板をスキャン露光することを含む電子デバ
イスの製造方法。

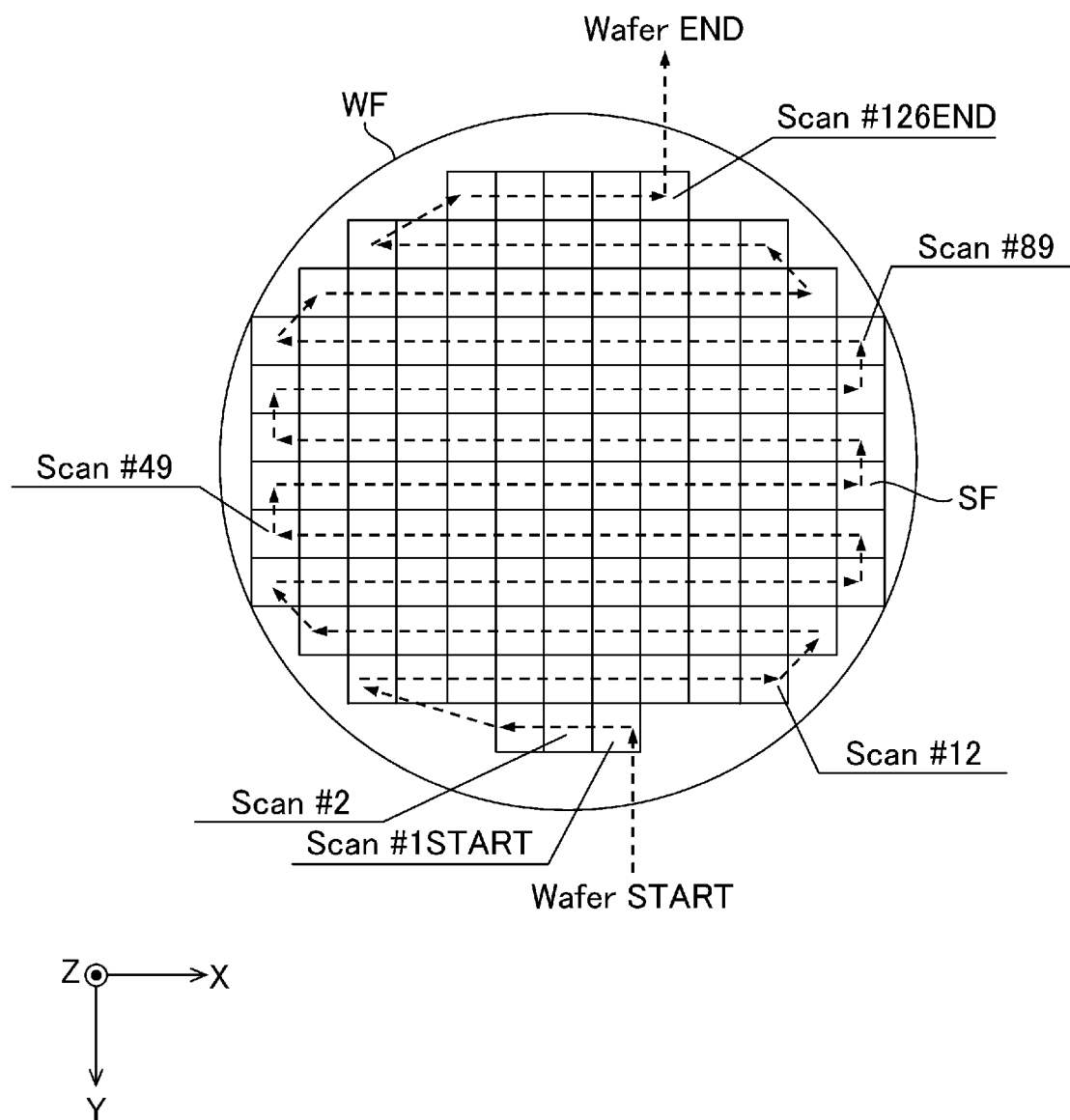
[図1]



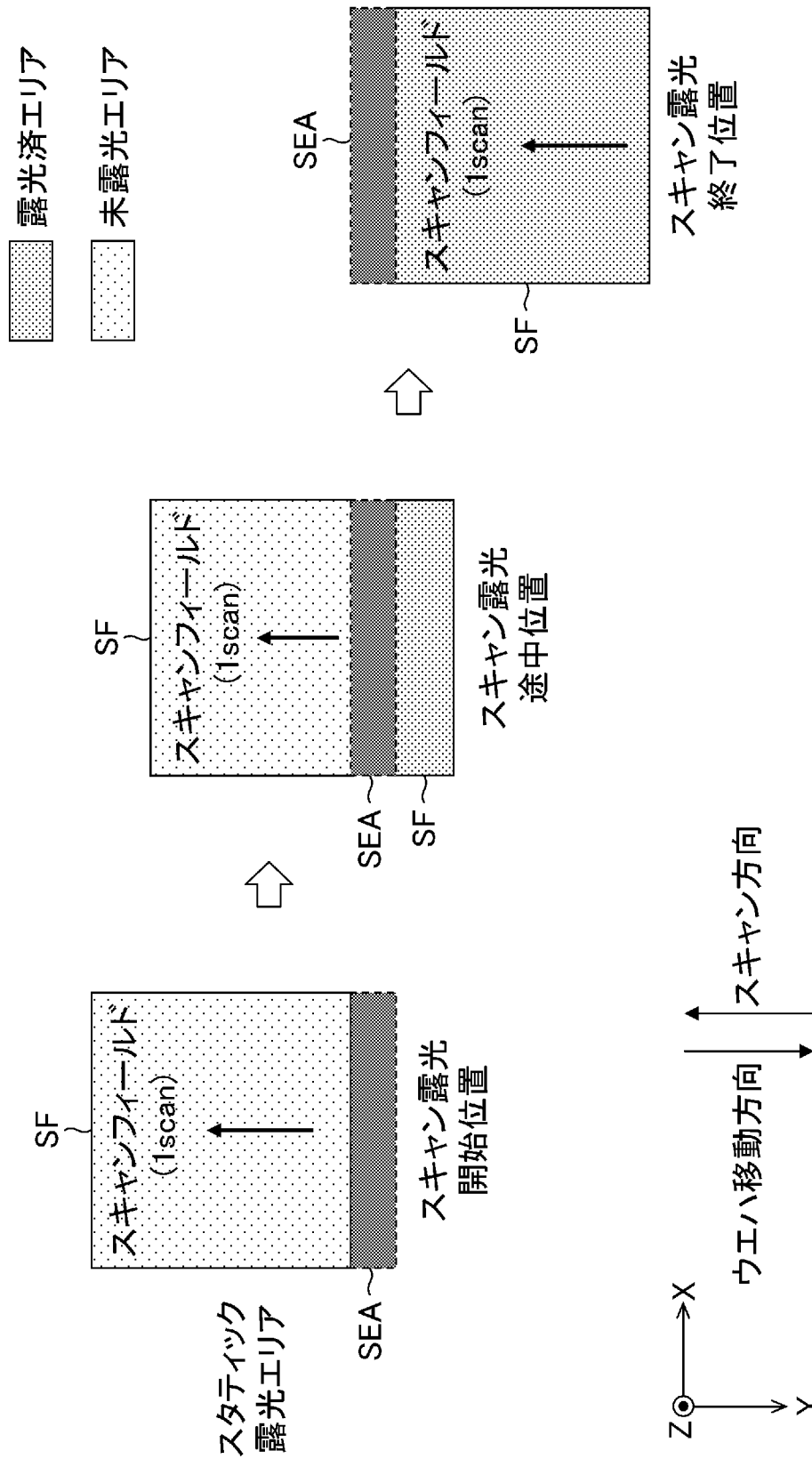
[図2]



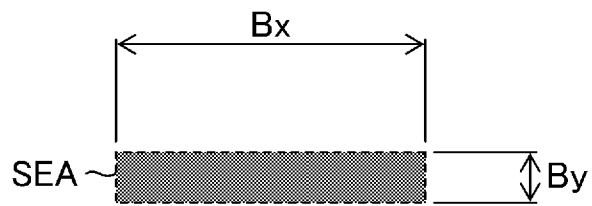
[図3]



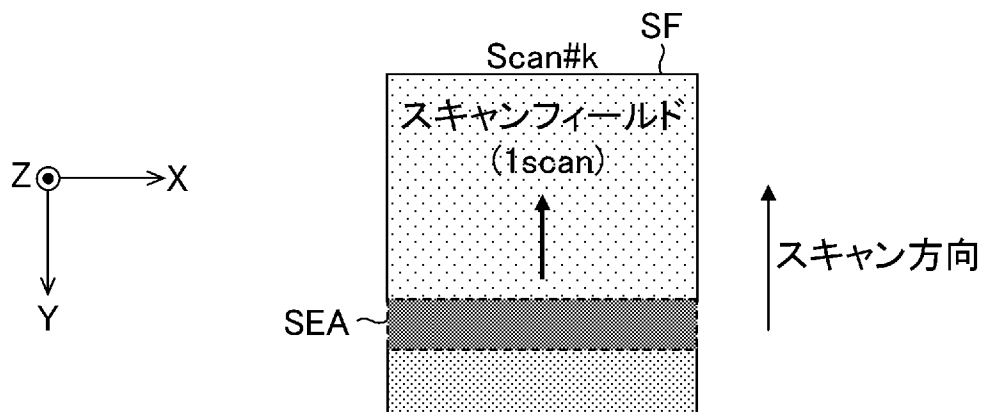
[図4]



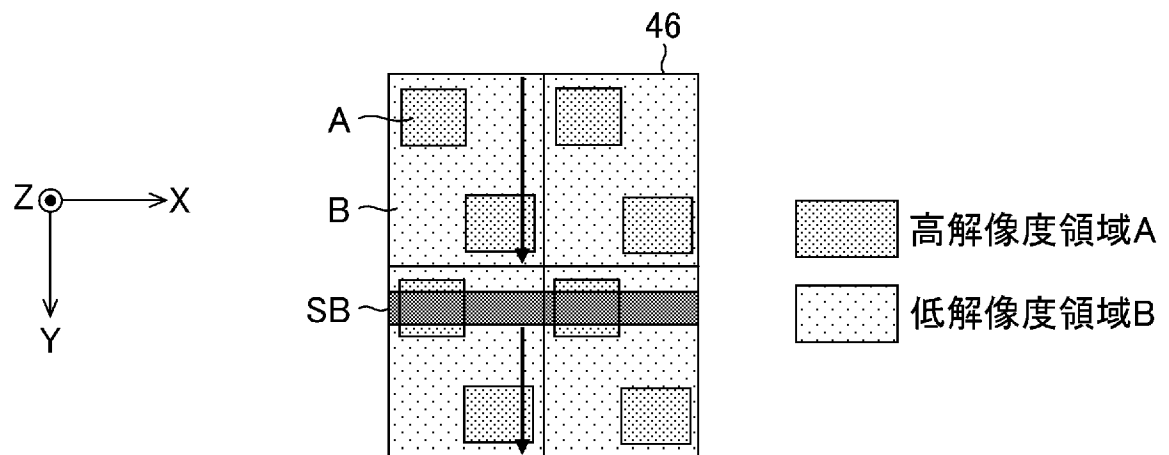
[図5]



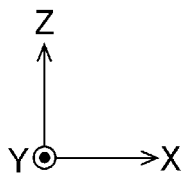
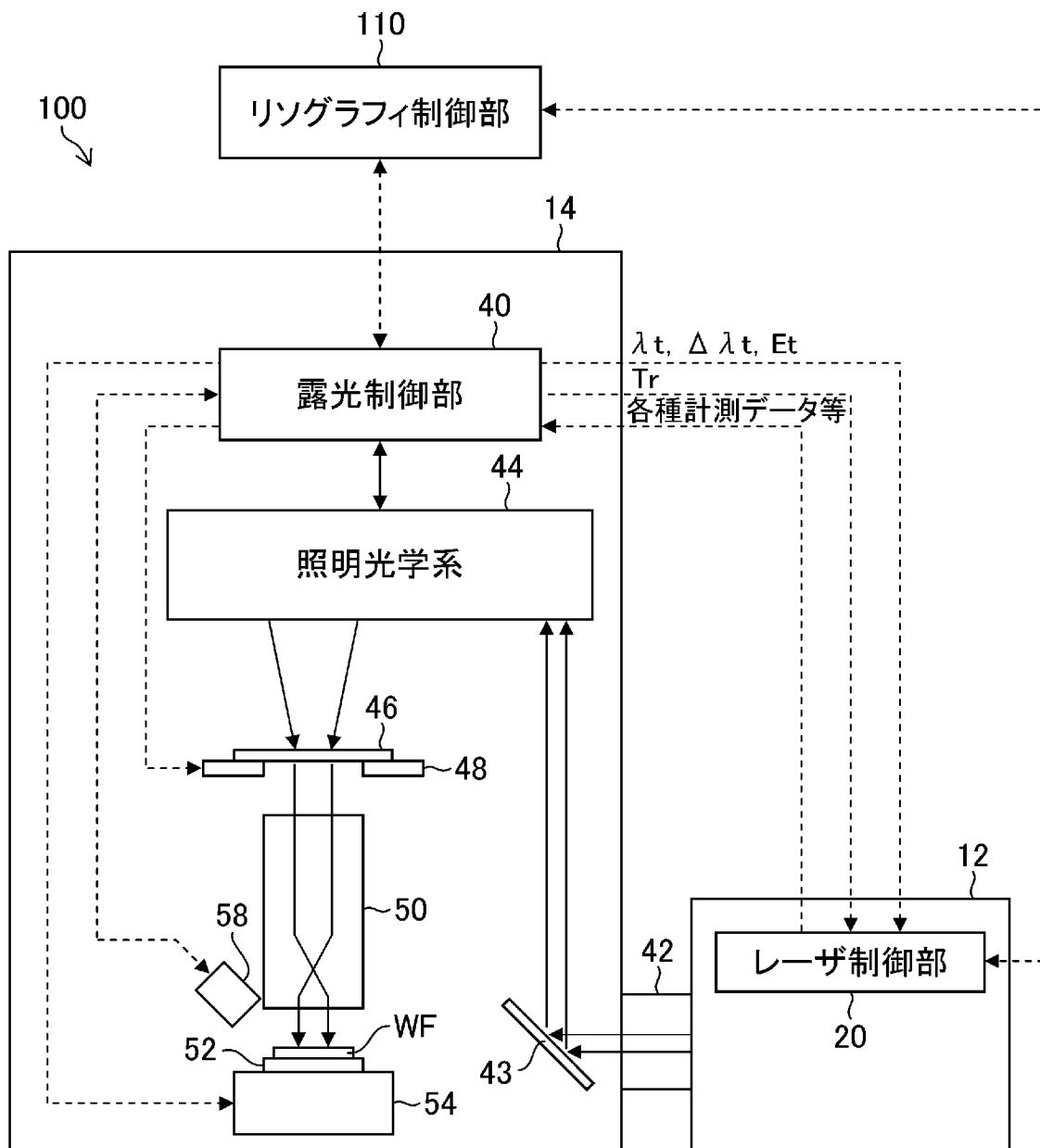
[図6]



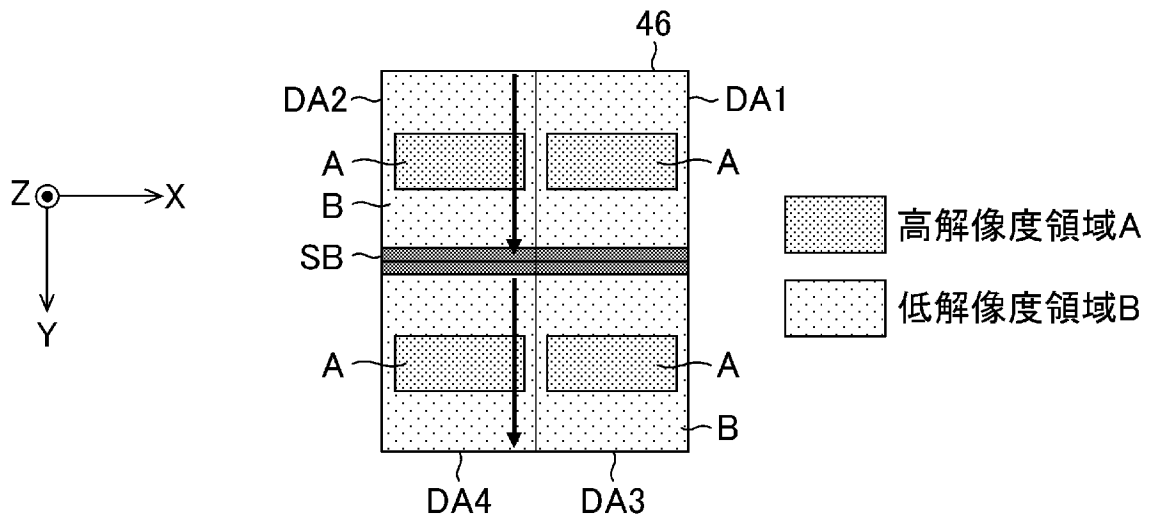
[図7]



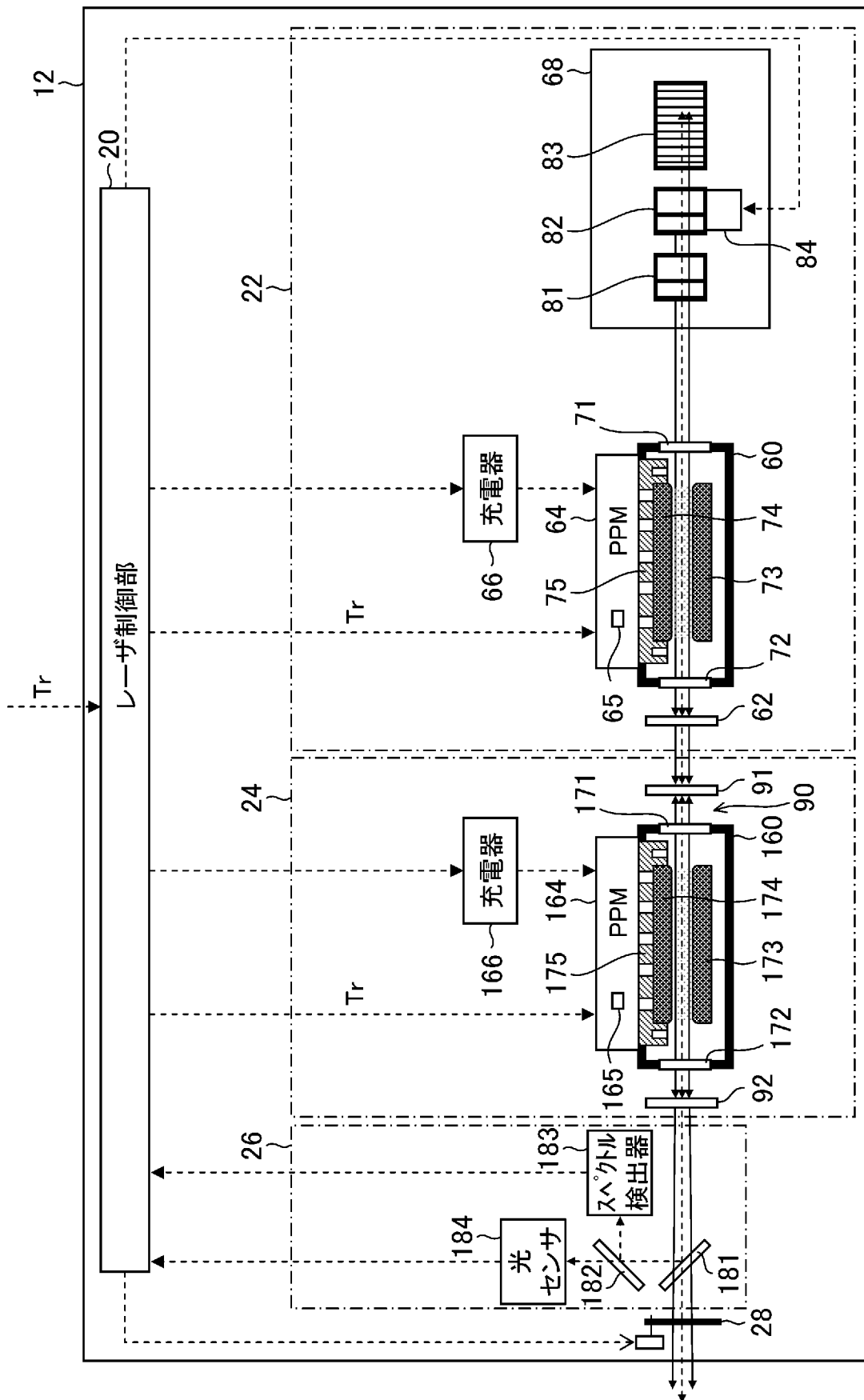
[図8]



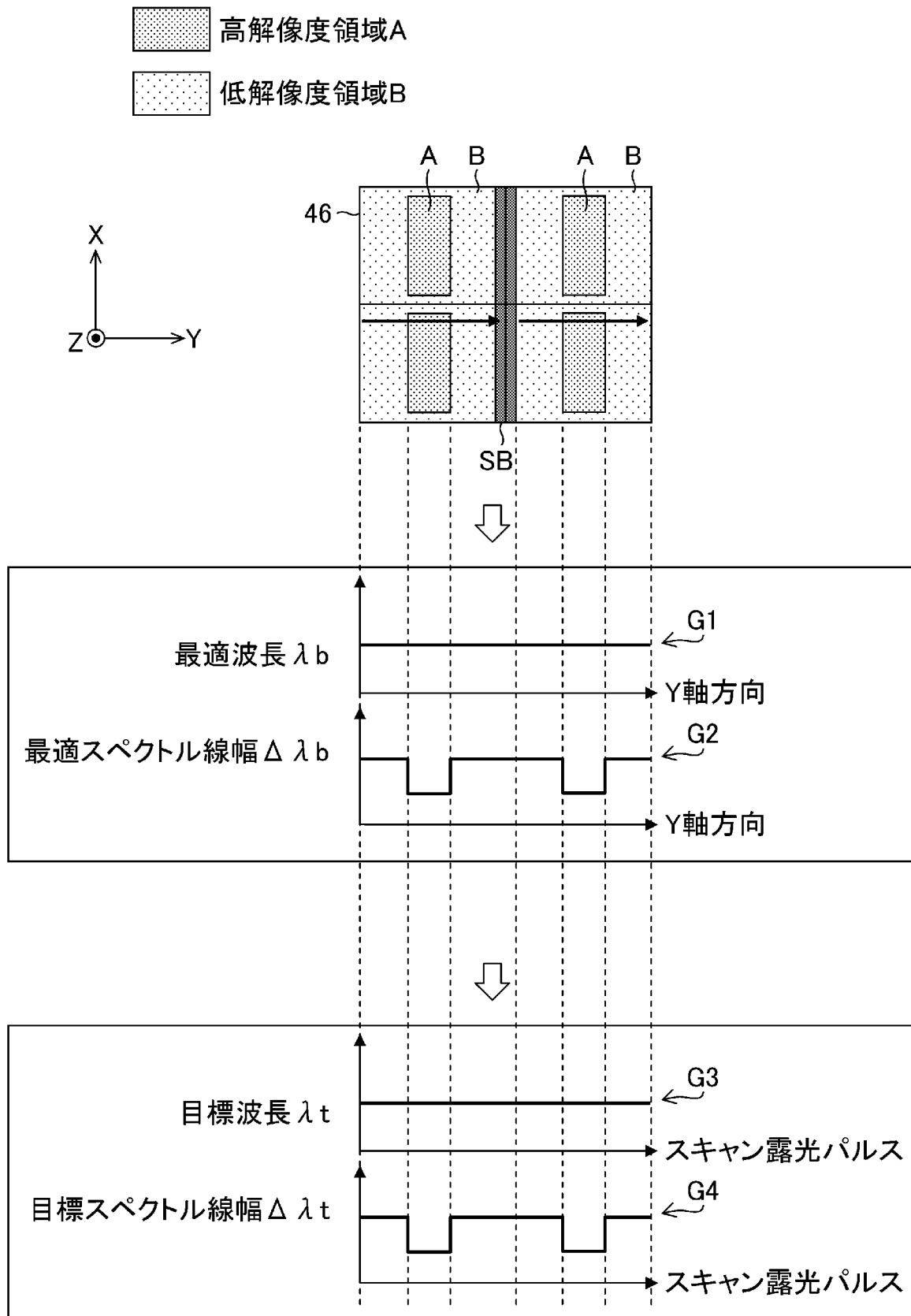
[図9]



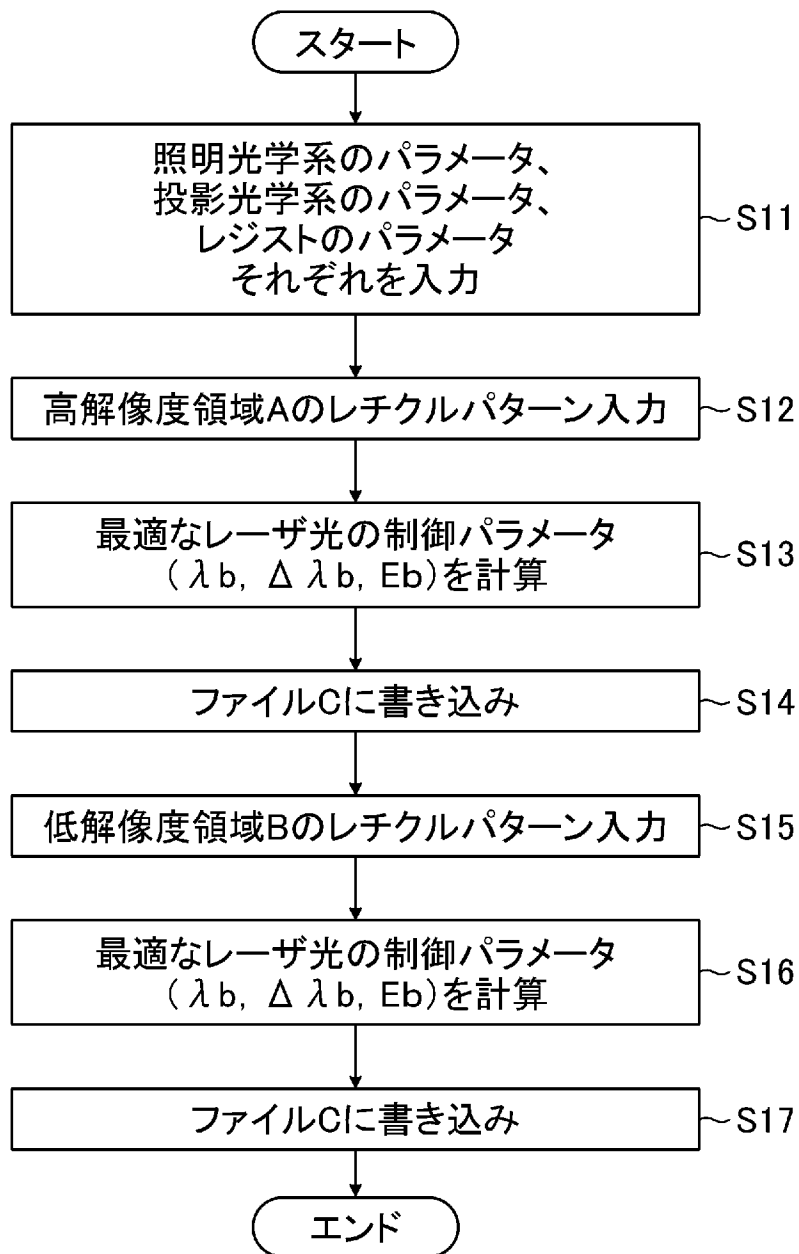
[図10]



[図11]



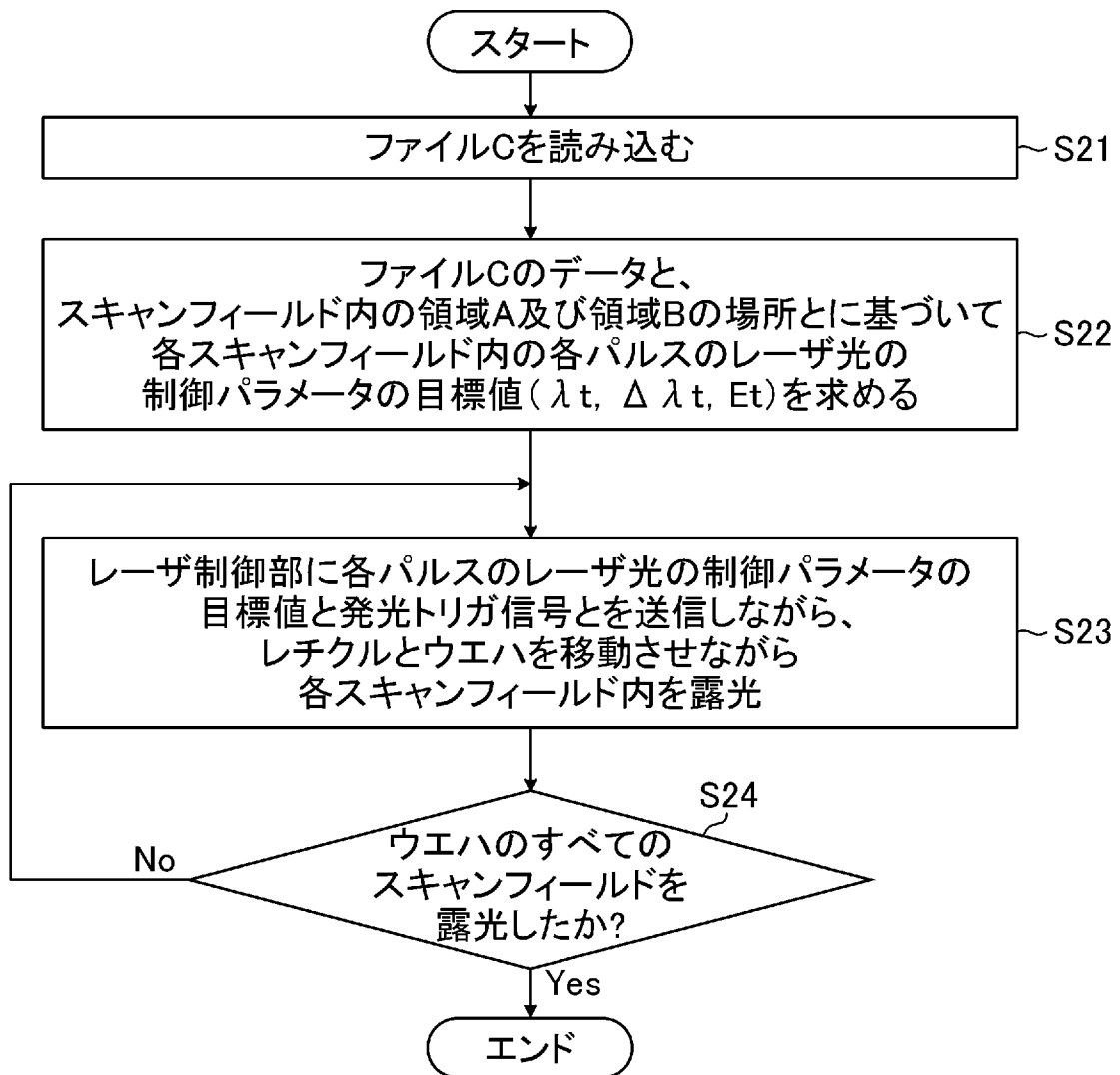
[図12]



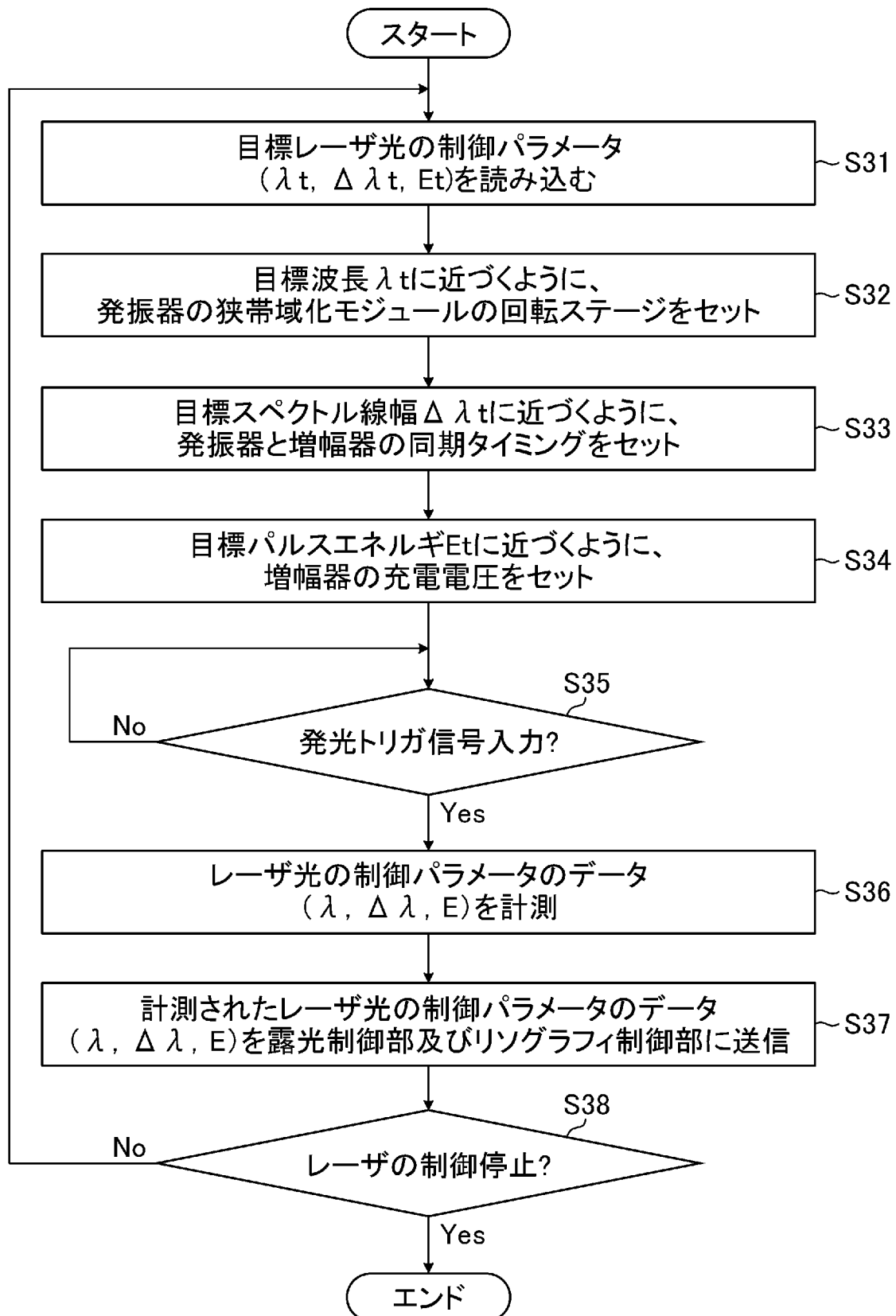
[図13]

No.	領域	最適波長 λ_b	最適スペクトル線幅 $\Delta \lambda_b$	最適パルスエネルギー E_b
1	A	$\lambda_b(A)$	$\Delta \lambda_b(A)$	$E_b(A)$
2	B	$\lambda_b(B)$	$\Delta \lambda_b(B)$	$E_b(B)$

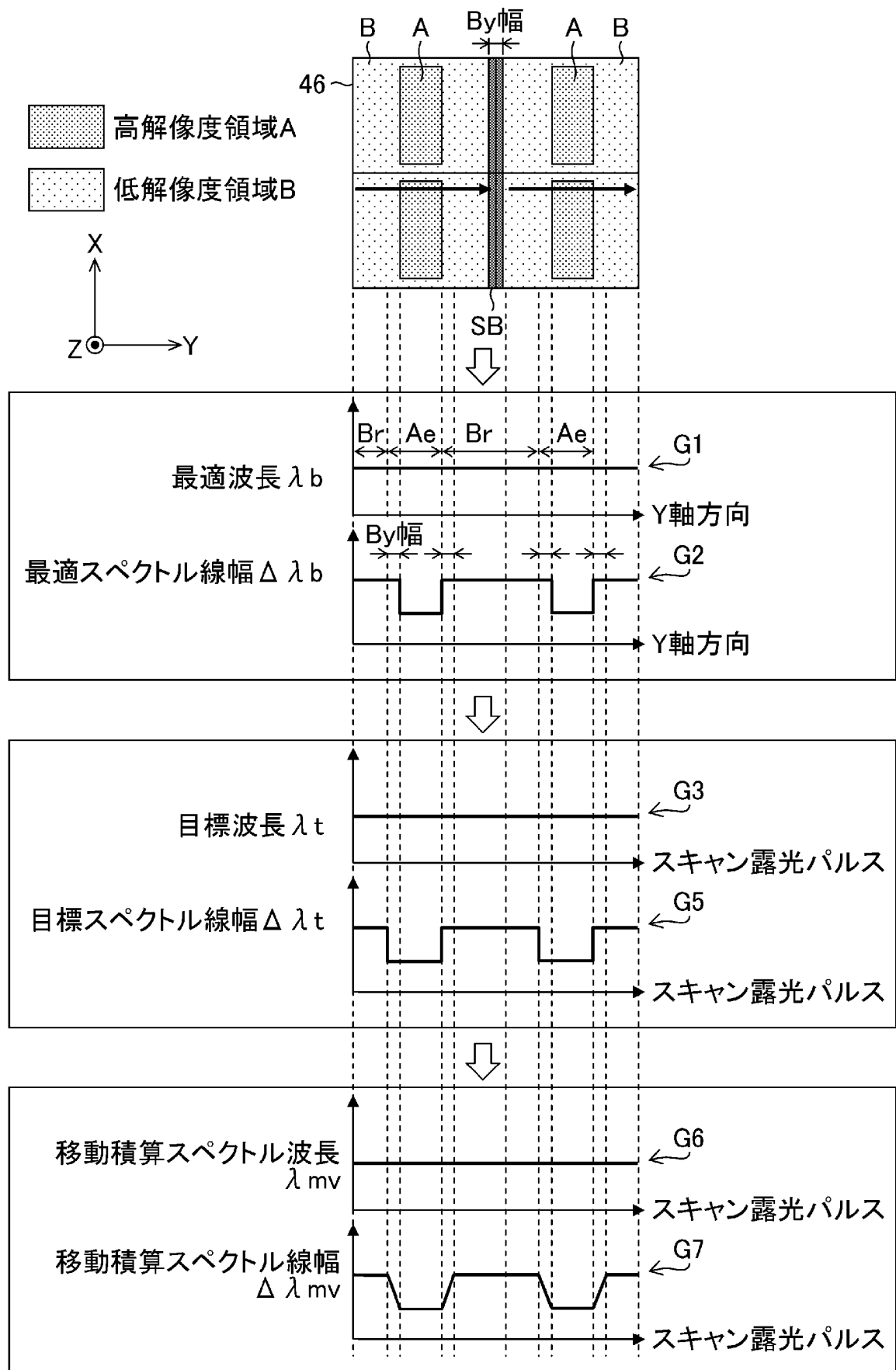
[図14]



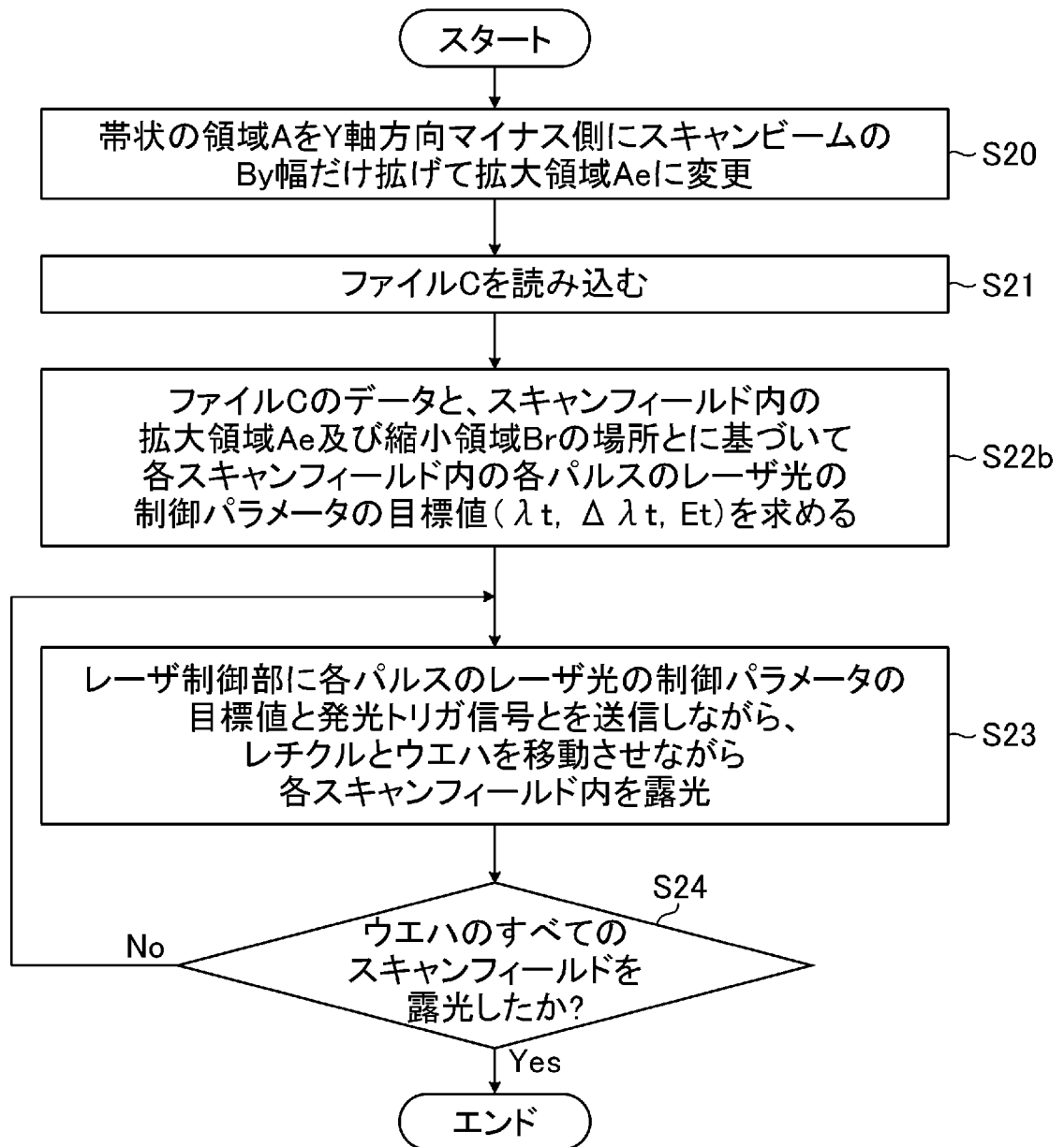
[図15]



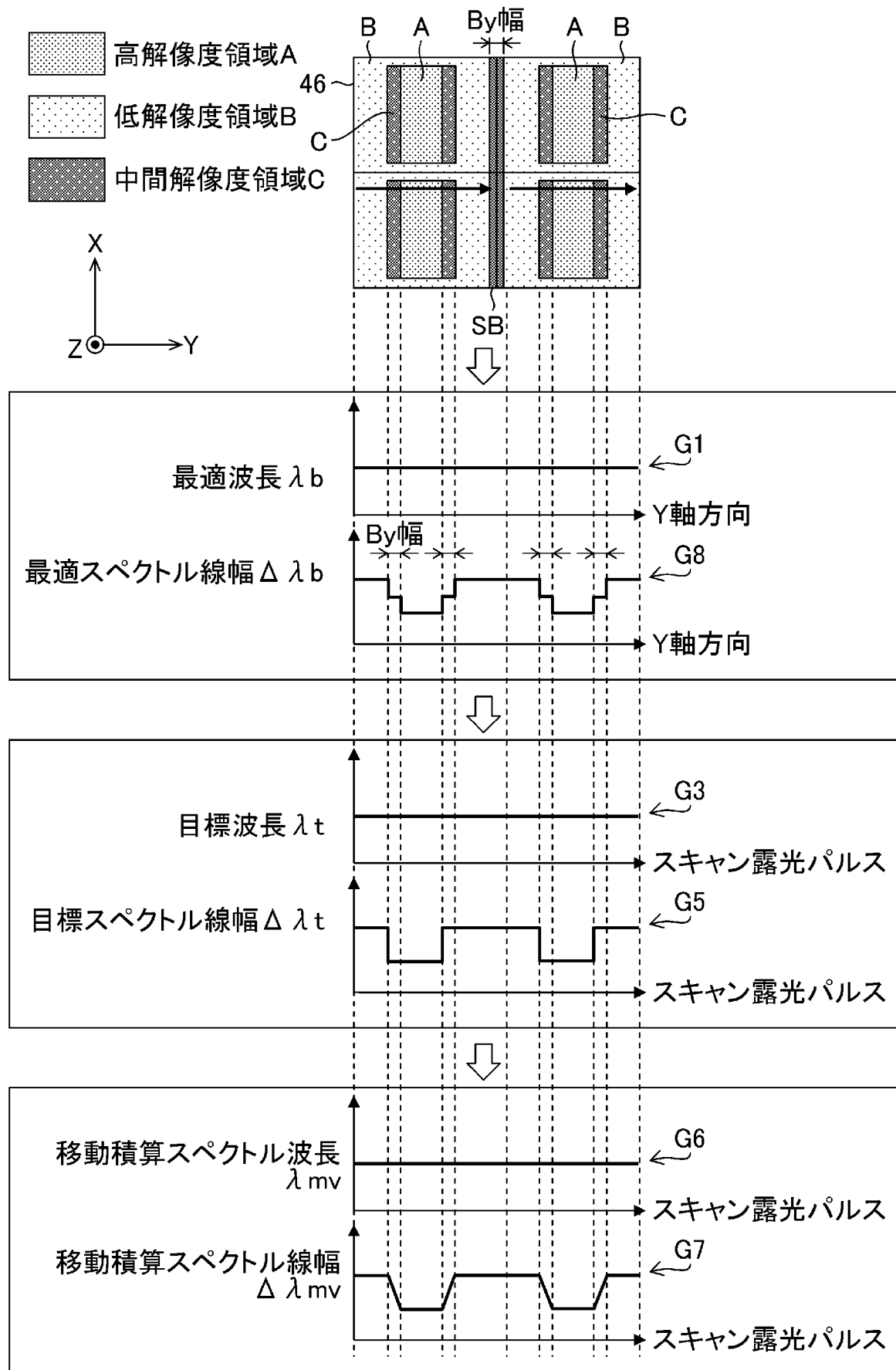
[図16]



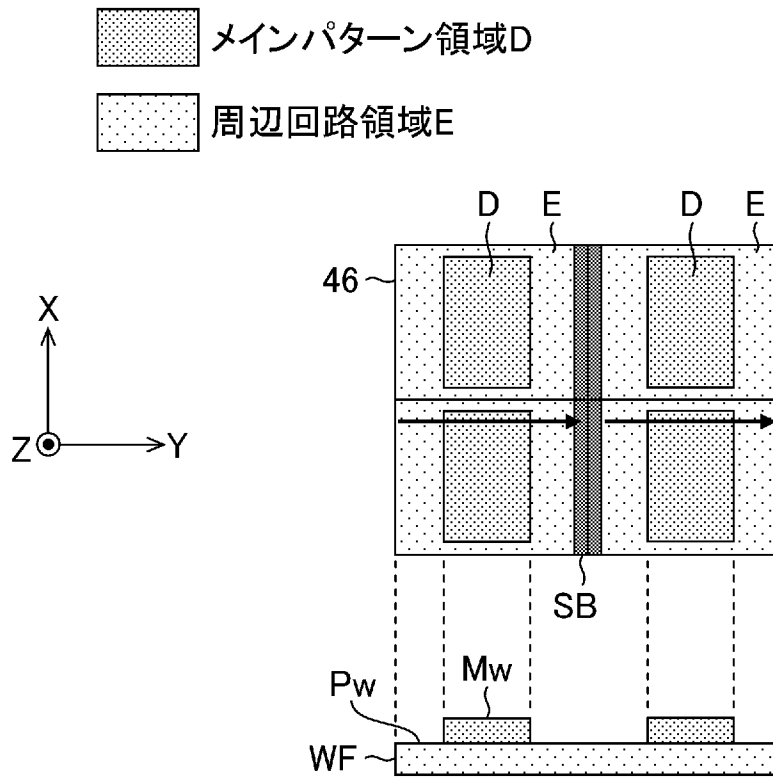
[図17]



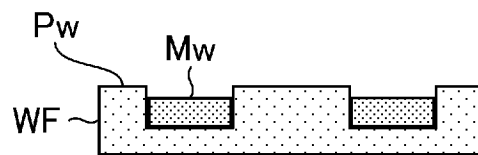
[図18]



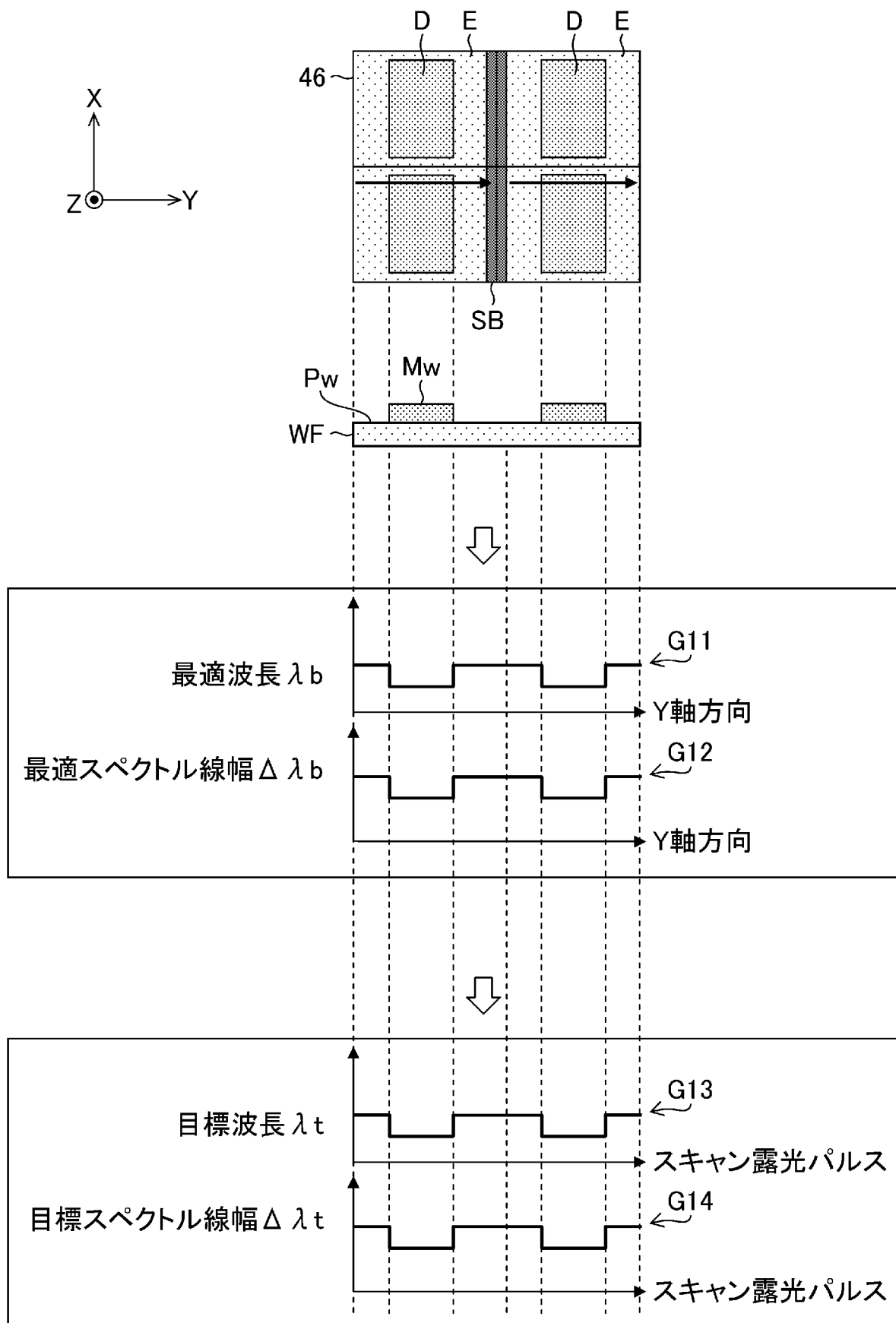
[図19]



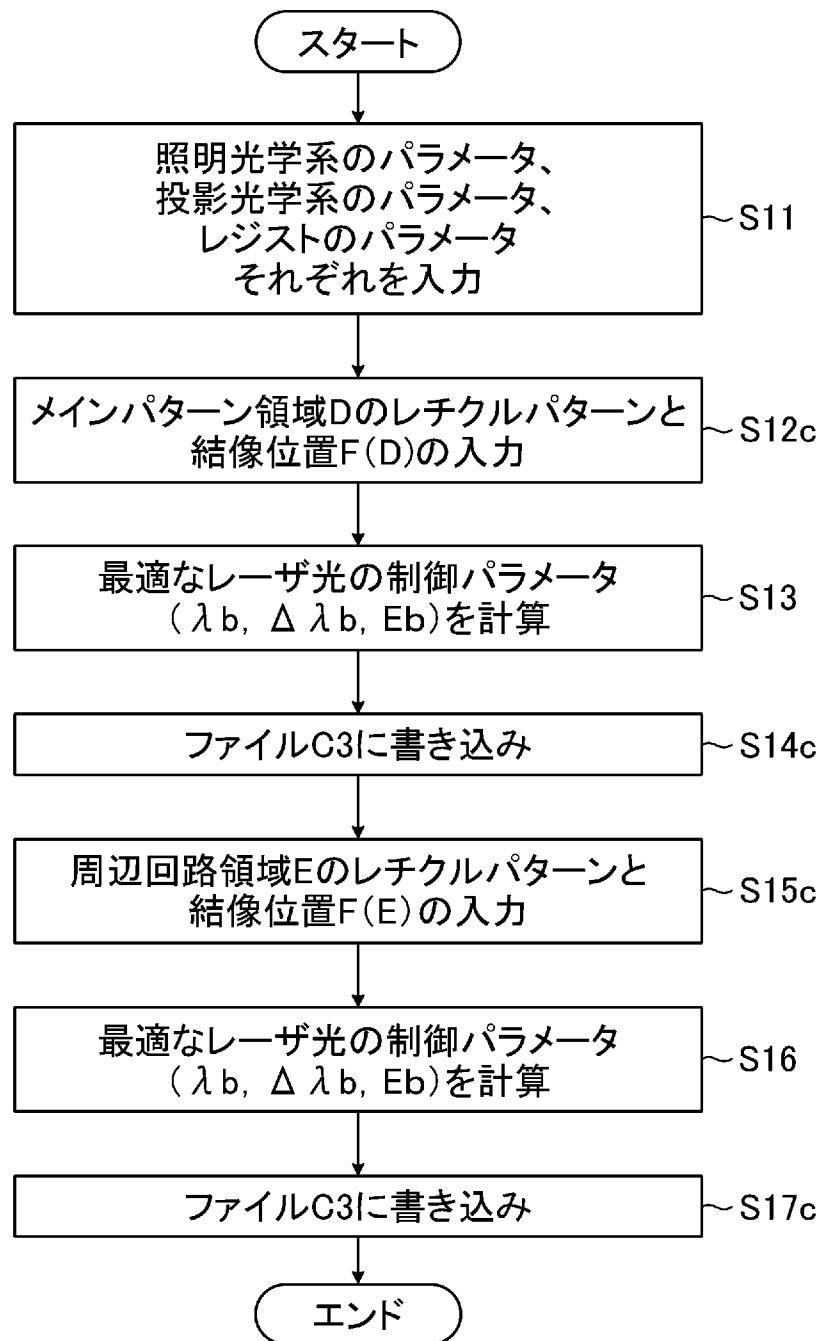
[図20]



[図21]



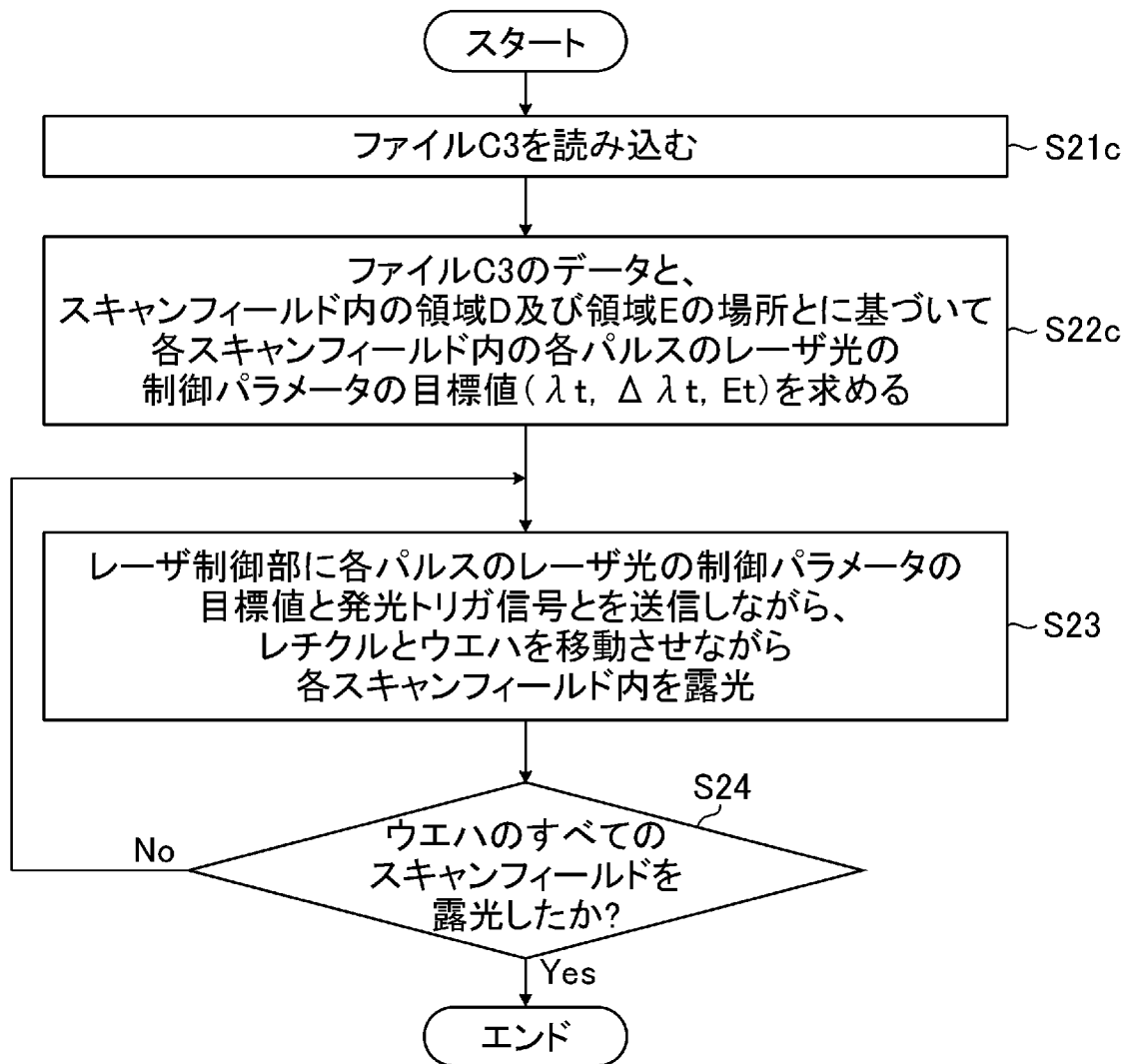
[図22]



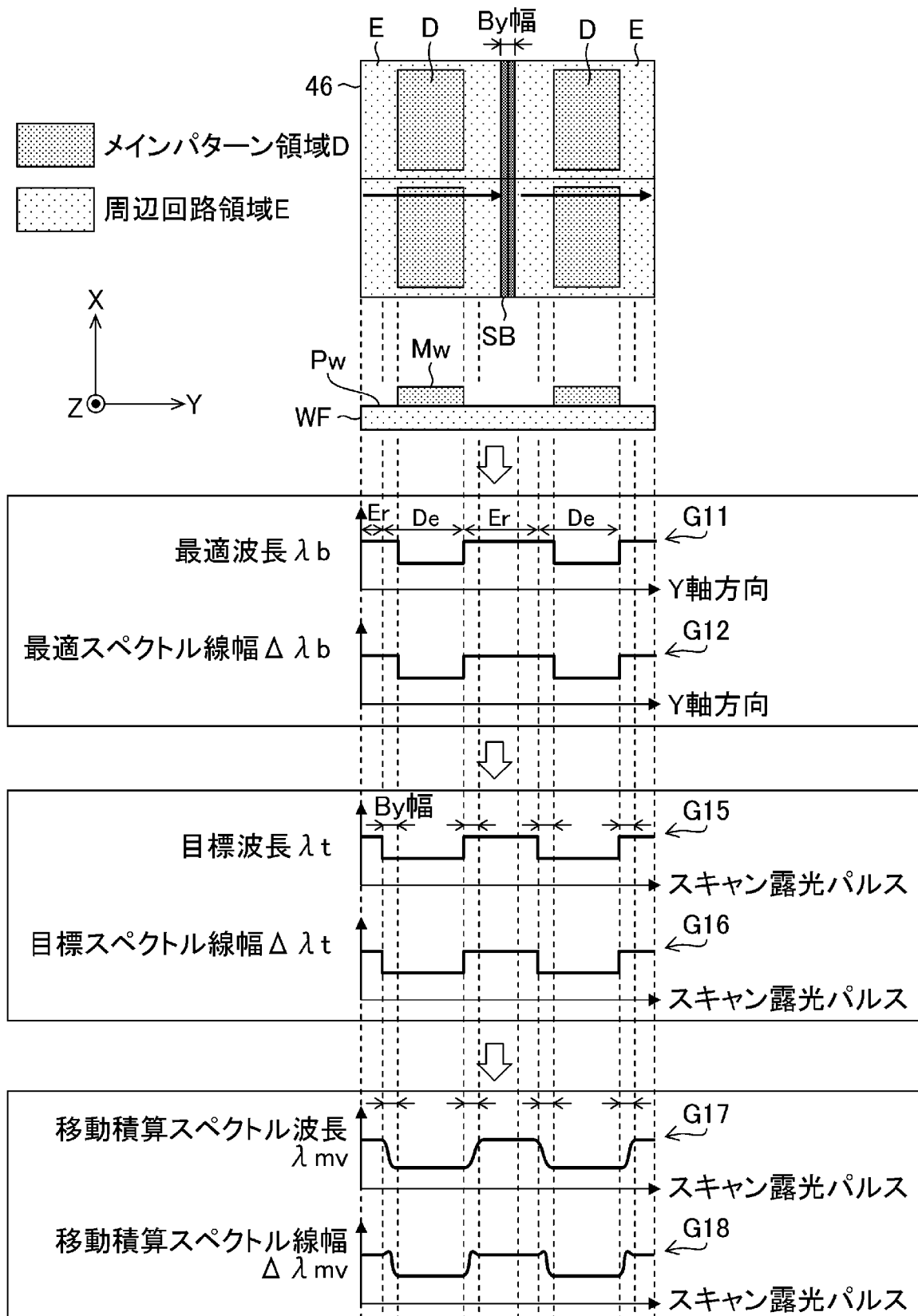
[図23]

領域	結像位置	最適波長 λ_b	最適スペクトル線幅 $\Delta \lambda_b$	最適パルスエネルギー E_b
D	F(D)	$\lambda_b(D)$	$\Delta \lambda_b(D)$	$E_b(D)$
E	F(E)	$\lambda_b(E)$	$\Delta \lambda_b(E)$	$E_b(E)$

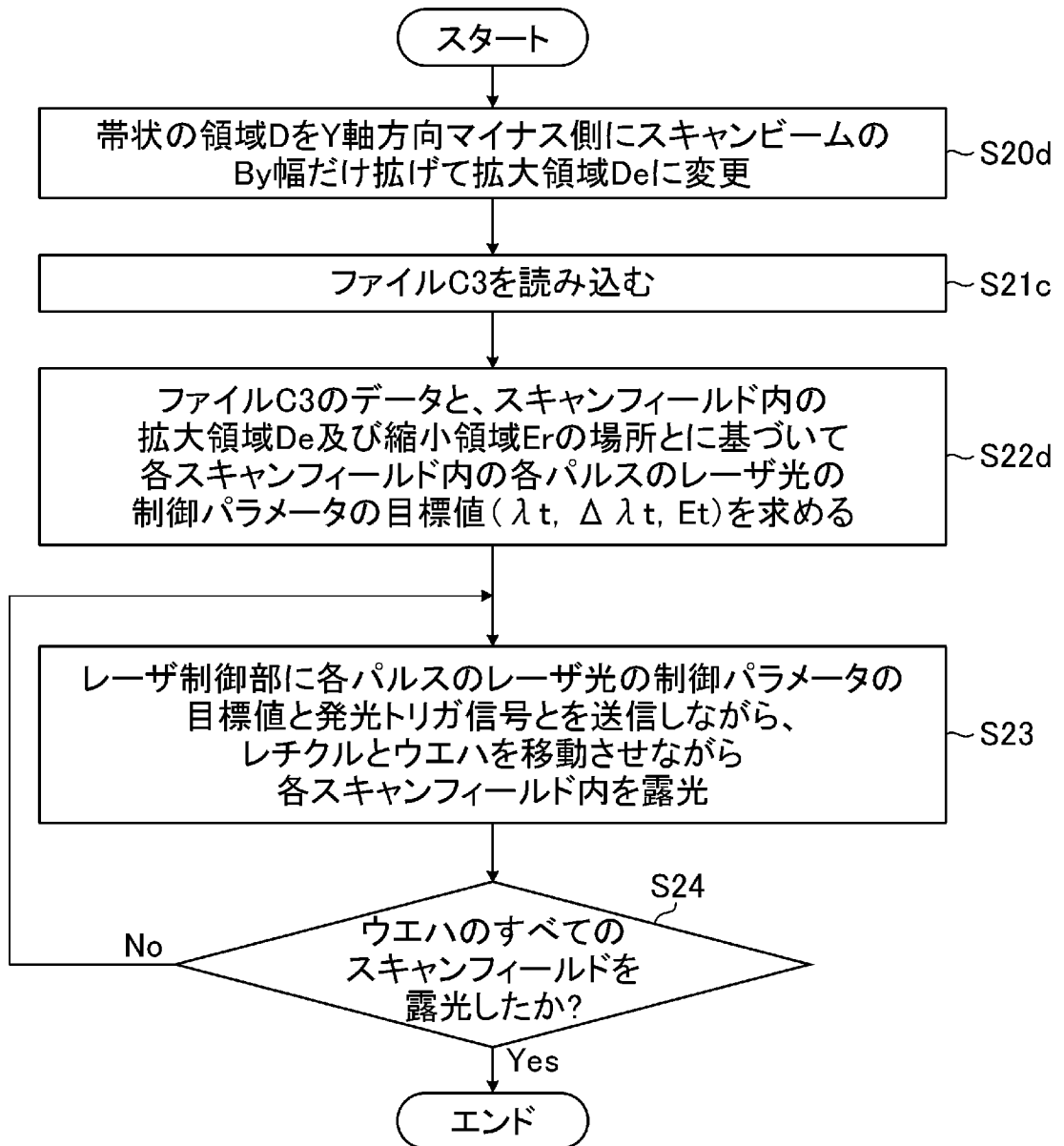
[図24]



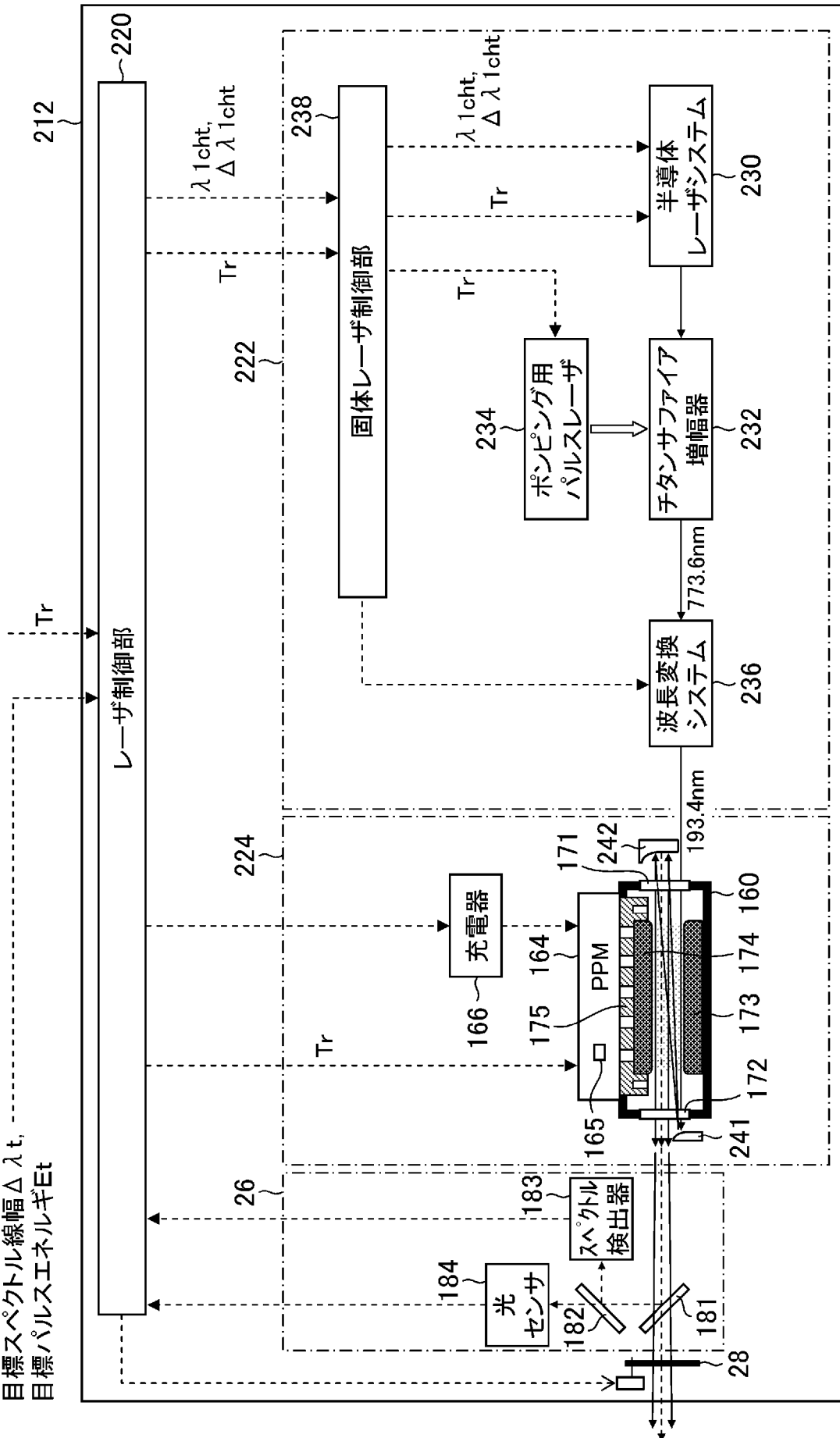
[図25]



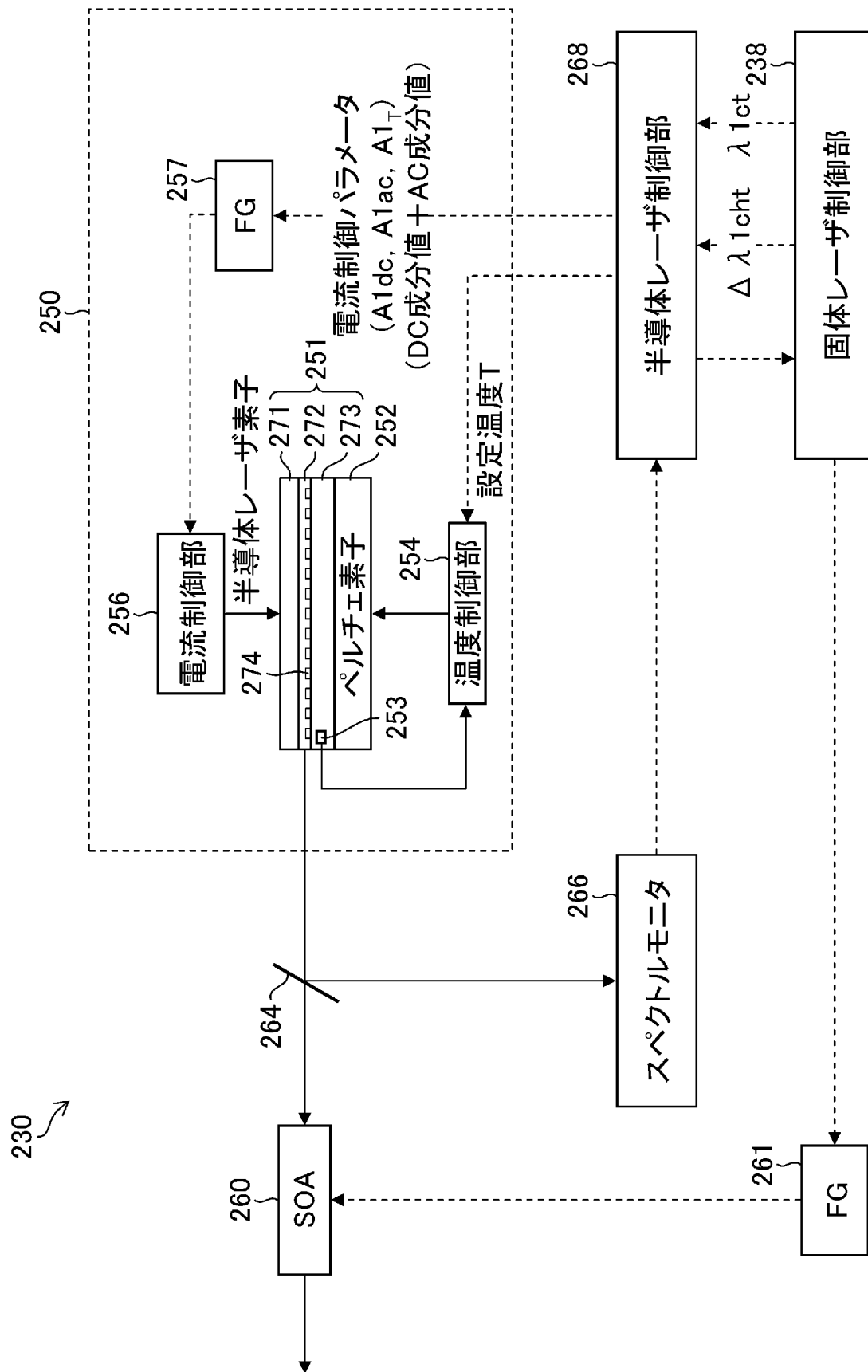
[図26]



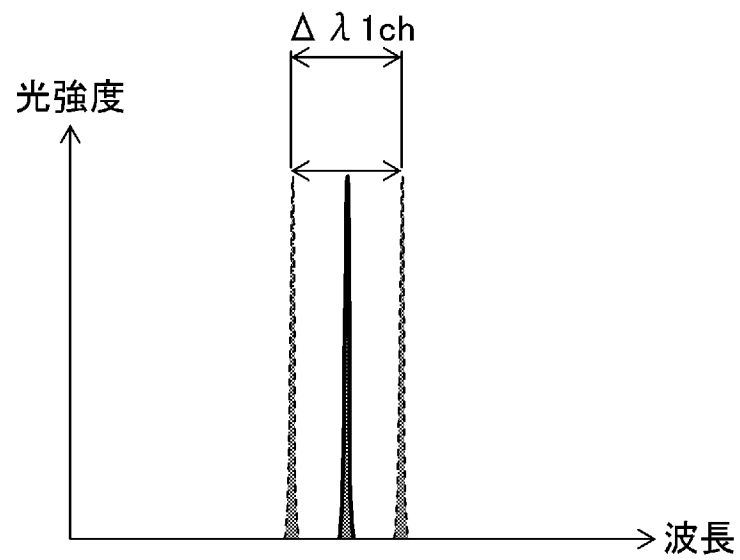
目標波長 λt ,
目標スペクトル線幅 $\Delta \lambda t$,
目標パルスエネルギー $E t$



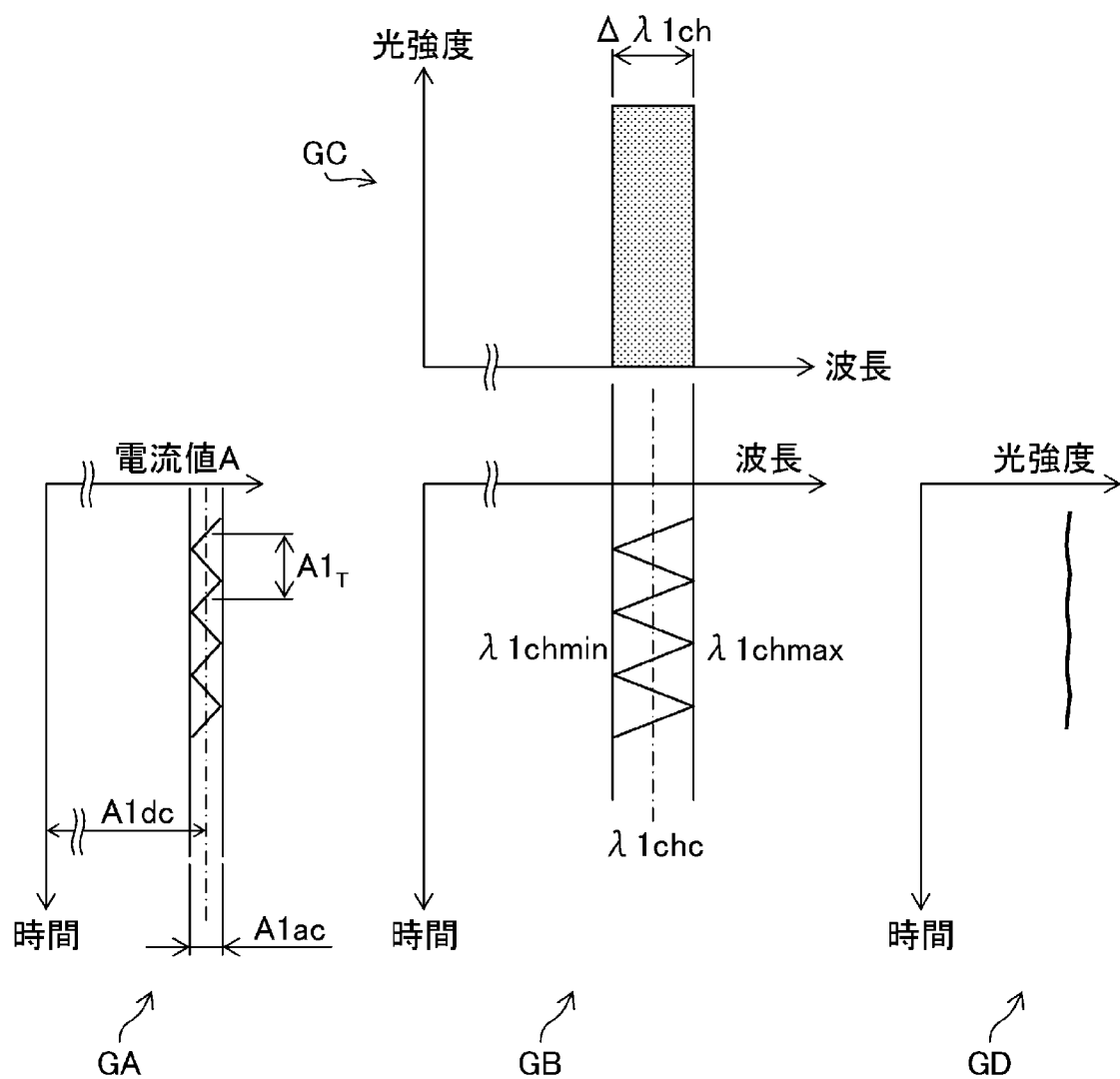
[図28]



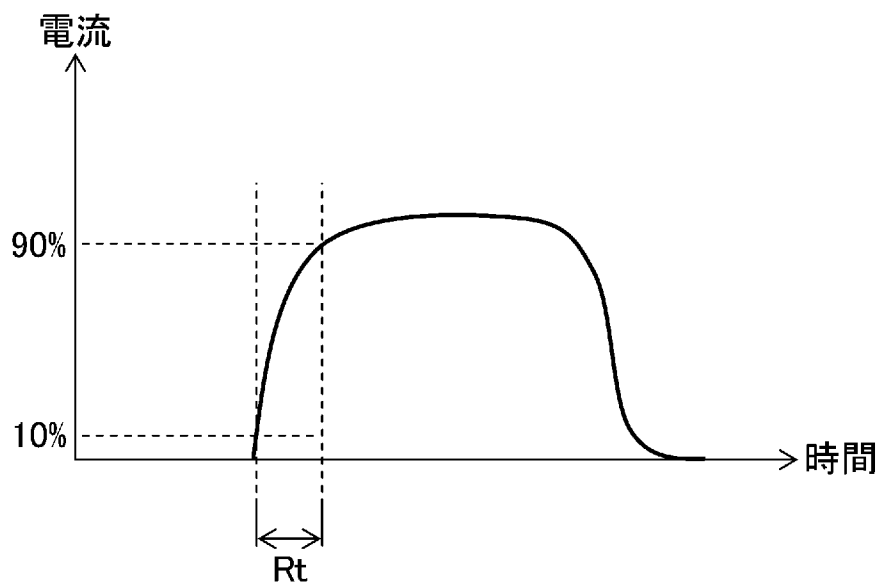
[図29]



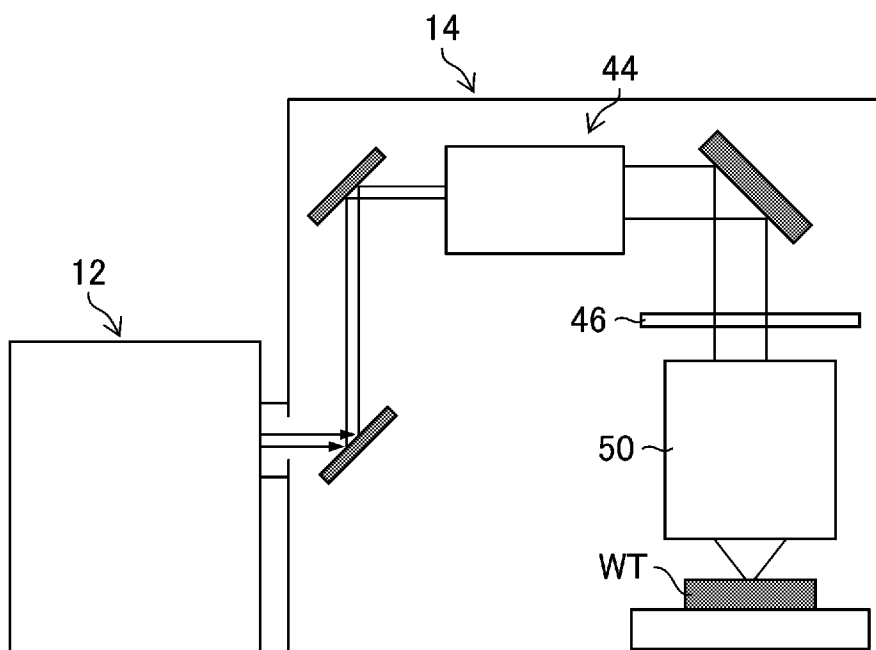
[図30]



[図31]



[図32]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/012414

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G03F7/20 (2006.01) i
FI: G03F7/20 521, G03F7/20 502

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. G03F7/20

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 1971-2020
Registered utility model specifications of Japan 1996-2020
Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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 2007-287760 A (NIKON CORP.) 01 November 2007, paragraphs [0014], [0015], [0034], [0040], [0052],	1-4, 6-7, 13-16, 20
Y	fig. 4	11-12, 18-19
A		5, 8-10, 17
Y	JP 2014-042073 A (NIKON CORP.) 06 March 2014, fig. 5	11
Y	JP 2000-031028 A (CANON INC.) 28 January 2000, paragraphs [0009], [0010], fig. 2	12
Y	JP 2016-127226 A (NIKON CORP.) 11 July 2016, paragraph [0037]	18

☒ 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
04.06.2020

Date of mailing of the international search report
23.06.2020

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/JP2020/012414

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2010-238684 A (NIKON CORP.) 21 October 2010, paragraph [0020]	19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/012414

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2007-287760 A	01.11.2007	US 2007/0242363 A1 paragraphs [0051]- [0053], [0074], [0075], [0085], [0104], fig. 4 WO 2007/119839 A1 EP 2005253 A1 KR 10-2009-0019782 A	
JP 2014-042073 A	06.03.2014	US 2009/0117494 A1 fig. 5 WO 2009/060745 A1 EP 2219206 A1 KR 10-2010-0103498 A	
JP 2000-031028 A	28.01.2000	(Family: none)	
JP 2016-127226 A	11.07.2016	(Family: none)	
JP 2010-238684 A	21.10.2010	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G03F 7/20(2006.01)i FI: G03F7/20 521; G03F7/20 502		
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）） G03F7/20		
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 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020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 2007-287760 A（株式会社ニコン） 01.11.2007（2007-11-01） 段落[0014]-[0015], [0034], [0040], [0052], 図4	1-4, 6-7, 13-16, 20
Y		11-12, 18-19
A		5, 8-10, 17
Y	JP 2014-042073 A（株式会社ニコン） 06.03.2014（2014-03-06） 図5	11
Y	JP 2000-031028 A（キヤノン株式会社） 28.01.2000（2000-01-28） 段落[0009]-[0010], 図2	12
Y	JP 2016-127226 A（株式会社ニコン） 11.07.2016（2016-07-11） 段落[0037]	18
Y	JP 2010-238684 A（株式会社ニコン） 21.10.2010（2010-10-21） 段落[0020]	19
☐ 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抵触するものではなく、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 04.06.2020		国際調査報告の発送日 23.06.2020
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 富士 健太 2G 1129 電話番号 03-3581-1101 内線 3226

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/012414

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2007-287760	A	01.11.2007	US 2007/0242363 A1 段落[0051]-[0053], [0074]- [0075], [0085], [0104], 図4 WO 2007/119839 A1 EP 2005253 A1 KR 10-2009-0019782 A	
JP	2014-042073	A	06.03.2014	US 2009/0117494 A1 図5 WO 2009/060745 A1 EP 2219206 A1 KR 10-2010-0103498 A	
JP	2000-031028	A	28.01.2000	(ファミリーなし)	
JP	2016-127226	A	11.07.2016	(ファミリーなし)	
JP	2010-238684	A	21.10.2010	(ファミリーなし)	