

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7637579号
(P7637579)

(45)発行日 令和7年2月28日(2025.2.28)

(24)登録日 令和7年2月19日(2025.2.19)

(51)国際特許分類	F I
H 01 L 21/268 (2006.01)	H 01 L 21/268 T
H 01 L 21/20 (2006.01)	H 01 L 21/20
H 10 D 30/01 (2025.01)	H 10 D 30/01 206 G

請求項の数 8 (全25頁)

(21)出願番号	特願2021-109202(P2021-109202)	(73)特許権者	521476506 J S W アクティナシステム株式会社 神奈川県横浜市金沢区福浦二丁目2番地 1
(22)出願日	令和3年6月30日(2021.6.30)	(74)代理人	100114557 弁理士 河野 英仁
(65)公開番号	特開2023-6547(P2023-6547A)	(74)代理人	100078868 弁理士 河野 登夫
(43)公開日	令和5年1月18日(2023.1.18)	(72)発明者	大森 賢一 東京都品川区大崎一丁目11番1号 株式会社日本製鋼所内
審査請求日	令和6年2月6日(2024.2.6)	(72)発明者	太田 佑三郎 東京都品川区大崎一丁目11番1号 株式会社日本製鋼所内
		(72)発明者	松下 玲

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 レーザ照射装置、情報処理方法、及びプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザ光源を備えるレーザ照射装置であって、
前記レーザ光源による基板の加工を行うにあたり用いられる可動部品の故障予測を行う
故障予測部を備え、

前記故障予測部は、

前記可動部品を可動した際の物理量を取得し、

取得した物理量に基づき、前記可動部品の故障時期を導出し、

前記可動部品は、前記レーザ光源のチャンバ内に封入されたガスを吸入する真空ポンプ
であり、

前記故障予測部は、

前記真空ポンプがガスの吸入を開始してから前記チャンバ内が真空状態となるまでの真
空到達時間を取得し、

取得した物理量及び真空到達時間に基づき、前記真空ポンプの故障時期を導出する
レーザ照射装置。

【請求項2】

前記可動部品には、前記可動部品を可動した際の物理量を検出する検出部が設けられて
おり、

前記検出部は、温度センサー及び振動センサーの少なくともいずれか1つ含み、

前記故障予測部は、前記検出部から、前記可動部品を可動した際の物理量を取得する

請求項 1 に記載のレーザ照射装置。

【請求項 3】

前記故障予測部は、

前記可動部品を可動した際の物理量を入力した場合に該可動部品の故障までの時間 を出力する学習モデルに、取得した物理量を入力することによって、前記可動部品の故障時期を導出する

請求項 1 又は請求項 2 に記載のレーザ照射装置。

【請求項 4】

前記故障予測部は、

前記可動部品の積算可動時間を取得し、

10

取得した積算可動時間及び物理量に基づき、前記可動部品の故障時期を導出する

請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載のレーザ照射装置。

【請求項 5】

前記レーザ照射装置は、複数の前記レーザ光源、及び複数の前記レーザ光源それぞれに 対応する複数の前記真空ポンプを備え、

前記故障予測部は、

複数の前記真空ポンプそれぞれの物理量及び真空到達時間を取得し、

取得した物理量及び真空到達時間それぞれに基づき、複数の前記真空ポンプそれぞれの 故障時期を導出する

請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載のレーザ照射装置。

20

【請求項 6】

前記可動部品は、ダイアフラムポンプ、ヘリウムコンプレッサー及びコールドヘッドの 少なくともいずれか 1 つ含む

請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載のレーザ照射装置。

【請求項 7】

レーザ照射装置に備えられたレーザ光源による基板の加工を行うにあたり用いられる可動部品の故障予測を行うコンピュータに、

(A) 前記可動部品を可動した際の物理量を取得し、

(B) 取得した物理量に基づき、前記可動部品の故障時期を導出し、

前記可動部品は、前記レーザ光源のチャンバ内に封入されたガスを吸入する真空ポンプ 30 であり、

前記真空ポンプがガスの吸入を開始してから前記チャンバ内が真空状態となるまでの真 空到達時間を取得し、

取得した物理量及び真空到達時間に基づき、前記真空ポンプの故障時期を導出する

処理を実行させる情報処理方法。

【請求項 8】

レーザ照射装置に備えられたレーザ光源による基板の加工を行うにあたり用いられる可動部品の故障予測を行うコンピュータに、

(A) 前記可動部品を可動した際の物理量を取得し、

(B) 取得した物理量に基づき、前記可動部品の故障時期を導出し、

前記可動部品は、前記レーザ光源のチャンバ内に封入されたガスを吸入する真空ポンプ 40 であり、

前記真空ポンプがガスの吸入を開始してから前記チャンバ内が真空状態となるまでの真 空到達時間を取得し、

取得した物理量及び真空到達時間に基づき、前記真空ポンプの故障時期を導出する

処理を実行させるプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザ照射装置、情報処理方法、及びプログラムに関する。

50

【背景技術】

【0002】

多結晶シリコン薄膜を形成するためのレーザアニール装置が知られている（例えば、特許文献1）。特許文献1に記載のレーザアニール装置は、レーザ光パルスの波形を整形する波形整形装置を含み、当該波形整形装置によってライン状に成形されたレーザ光がアモルファスシリコン膜に照射されることにより、多結晶シリコン薄膜が形成される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2012-15545号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、特許文献1のレーザアニール装置は、当該レーザアニール装置に含まれる各種部品の故障予測に関する点について考慮されていない。

【0005】

本発明は、斯かる事情に鑑みてなされたものであり、レーザ照射装置に含まれる部品の故障予測を効率的に行うことができるレーザ照射装置等を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

20

本態様に係るレーザ照射装置は、レーザ光源を備えるレーザ照射装置であって、前記レーザ光源による基板の加工を行うにあたり用いられる可動部品の故障予測を行う故障予測部を備え、前記故障予測部は、前記可動部品を可動した際の物理量を取得し、取得した物理量に基づき、前記可動部品の故障時期を導出する。

【0007】

本態様に係る情報処理方法は、レーザ照射装置に備えられたレーザ光源による基板の加工を行うにあたり用いられる可動部品の故障予測を行うコンピュータに、（A）前記可動部品を可動した際の物理量を取得し、（B）取得した物理量に基づき、前記可動部品の故障時期を導出する処理を実行させる。

【0008】

30

本態様に係るプログラムは、レーザ照射装置に備えられたレーザ光源による基板の加工を行うにあたり用いられる可動部品の故障予測を行うコンピュータに、（A）前記可動部品を可動した際の物理量を取得し、（B）取得した物理量に基づき、前記可動部品の故障時期を導出する処理を実行させる。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、レーザ照射装置に含まれる部品の故障予測を効率的に行うレーザ照射装置等を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

40

【図1】実施形態1に係るレーザアニール装置の構成例を示す図である。

【図2】レーザアニール装置に含まれる制御装置の構成例を示す図である。

【図3】真空ポンプ用学習モデルの一例を示す説明図である。

【図4】制御部による処理手順の一例を示すフローチャートである。

【図5】実施形態2（各種可動部品）に係るレーザアニール装置の構成例を示す図である。

【図6】制御部による処理手順の一例を示すフローチャートである。

【図7】制御部による処理手順（コールドヘッド）の一例を示すフローチャートである。

【図8】制御部による処理手順（Heコンプレッサー）の一例を示すフローチャートである。

【図9】制御部による処理手順（ダイアフラムポンプ）の一例を示すフローチャートである。

【図10】制御部による処理手順（ガスボンベ）の一例を示すフローチャートである。

50

る。

【図10】実施形態3（特微量学習モデル）に係る特微量学習モデルの一例を示す説明図である。

【図11】可動部品の管理画面の一例を説明する図である。

【図12】その他の実施形態（半導体装置の製造方法）に係る半導体装置の製造方法を示す工程断面図である。

【図13】その他の実施形態（半導体装置の製造方法）に係る半導体装置の製造方法を示す工程断面図である。

【図14】その他の実施形態（半導体装置の製造方法）に係る半導体装置の製造方法を示す工程断面図である。

【図15】その他の実施形態（半導体装置の製造方法）に係る半導体装置の製造方法を示す工程断面図である。

【図16】その他の実施形態（半導体装置の製造方法）に係る半導体装置の製造方法を示す工程断面図である。

【0011】

（実施形態1）

以下、本発明の実施の形態について説明する。図1は、実施形態1に係るレーザアニール装置1の構成例を示す図である。図2は、レーザアニール装置1に含まれる制御装置9の構成例を示す図である。レーザアニール装置1（レーザ照射装置）は、例えば、低温ポリシリコン（LTPS:Low Temperature Poly-Silicon）膜を形成するエキシマレーザアニール（ELA:Excimer laser Anneal）装置である。

【0012】

レーザアニール装置1は、レーザ光を基板8上に形成されたシリコン膜に照射する。これにより、非晶質のシリコン膜（アモルファスシリコン膜:a-Si膜）を多結晶のシリコン膜（ポリシリコン膜:p-Si膜）に変換することができる。基板8は、例えば、ガラス基板などの透明基板である。

【0013】

本実施形態における図示のとおり、XYZ三次元直交座標系において、Z方向は、鉛直方向となり、基板8に垂直な方向である。XY平面は、基板8のシリコン膜が形成された面と平行な平面である。例えば、X方向は、矩形状の基板8の長手方向となり、Y方向は基板8の短手方向となる。Z軸を中心に0°から90°に回転可能な軸ステージ71を使用する場合、X方向は基板8の短手方向となり、Y方向は基板8の長手方向となりうる。

【0014】

レーザアニール装置1は、アニール光学系11、レーザ照射室7、及び制御装置9を備える。レーザ照射室7は、ベース72と、ベース72上に配置されたステージ71とを収容する。レーザアニール装置1において、ステージ71により基板8を+X方向に搬送しながら、シリコン膜201にレーザ光が照射される。

【0015】

アニール光学系11は、基板8に形成されたアモルファスシリコン膜を結晶化し、ポリシリコン膜に変換するためのレーザ光を生成し、当該アモルファスシリコン膜に照射するための光学系である。アニール光学系11は、第1レーザ光源21及び第2レーザ光源22を含むレーザ光源2、第1アッテネータ31、第2アッテネータ32、合成光学系5、ビーム整形光学系6、落射ミラー61、及びプロジェクションレンズ65を含み、複数のレーザ光を合成したレーザ光を出射する光学系である。

【0016】

レーザ光源2は、第1レーザ光源21及び第2レーザ光源22を含み、複数のレーザ光源2により構成される。本実施形態においては、第1レーザ光源21及び第2レーザ光源22による2台構成としているが、これは一例であり、当該2台構成に限定されるものではない。レーザ光源2は、単一のレーザ光源2、又は3台以上のレーザ光源2により構成されるものであってもよい。

【0017】

第1レーザ光源21及び第2レーザ光源22は、アモルファスシリコン膜(被処理体)に照射するためのレーザ光として、パルスレーザ光を発生させるレーザ発生装置である。発生させるレーザ光は、基板8上の非結晶膜を結晶化して結晶化膜を形成するためのレーザ光であり、例えば、中心波長308nmのエキシマレーザ光等のガスレーザ光である。

【0018】

第1レーザ光源21及び第2レーザ光源22には、チャンバ内にキセノン等のガスが封入されると共に、2枚の共振器ミラーがガスを挟んで対向するように配置されている。一方の共振器ミラーは、全ての光を反射する全反射ミラーであり、他方の共振器ミラーは、一部の光を透過する部分反射ミラーである。ガスによって励起されたガス光が共振器ミラーの間で反射を繰り返し、増幅された光が共振器ミラーからレーザ光として放出される。例えば、第1レーザ光源21及び第2レーザ光源22は、パルス状のレーザ光を、500Hzから600Hzの周期で繰り返し放出する。第1レーザ光源21は、レーザ光を第1アッテネータ31に向けて出射する。第2レーザ光源22は、レーザ光を第2アッテネータ32に向けて出射する。

10

【0019】

第1アッテネータ31及び第2アッテネータ32は、入射されたレーザ光を減衰して、所定のエネルギー密度に調整する。これらアッテネータは、特性として、入射されたレーザ光に対し、出射するレーザ光の比率を示す透過率を有し、当該透過率は、制御装置9からの信号に基づき可変となるように構成されている。

20

【0020】

第1アッテネータ31は、第1レーザ光源21から合成光学系5に至る光路の途中に設けられている。第2アッテネータ32は、第2レーザ光源22から合成光学系5に至る光路の途中に設けられている。第1アッテネータ31は、第1レーザ光源21が出射したレーザ光を透過率に応じて、減衰する。第2アッテネータ32は、第2レーザ光源22が出射したレーザ光を透過率に応じて、減衰する。

【0021】

第1アッテネータ31及び第2アッテネータ32のそれぞれの出射側には、第1偏光比制御ユニット41及び第2偏光比制御ユニット42が配置されている。第1偏光比制御ユニット41及び第2偏光比制御ユニット42は、例えば1/2波長板(1/2板)及び偏光ビームスプリッタにて構成され、入射されたレーザ光のP偏波とS偏波との偏光比を変更する。

30

【0022】

第1偏光比制御ユニット41は、第1アッテネータ31から出射されたレーザ光の偏光比を変更する。第2偏光比制御ユニット42は、第2アッテネータ32から出射されたレーザ光の偏光比を変更する。第1偏光比制御ユニット41及び第2偏光比制御ユニット42は、制御装置9から出力された制御信号に基づき、それぞれの偏光比を変更(可変)するように構成されている。

【0023】

合成光学系5は、例えばビームスプリッタなどを有しており、第1レーザ光源21から出射されたレーザと、第2レーザ光源22から出射されたレーザ光とを合成する。合成光学系5と、第1レーザ光源21及び第2レーザ光源22との間の光路には、第1アッテネータ31及び第2アッテネータ32が配置されているため、第1アッテネータ31から出射されたレーザと、第2アッテネータ32から出射されたレーザ光とが、合成光学系5に入射され、当該合成光学系5により、これらレーザ光が合成される。

40

【0024】

光軸と直交する平面視において、第1レーザ光源21からのレーザ光と、第2レーザ光源22からのレーザ光とが重複する。合成光学系5によって、第1レーザ光源21からのレーザ光及び、第2レーザ光源22からのレーザ光は、空間的に重複して同軸となることにより、合成されたレーザ光となる。合成光学系5によって合成されたレーザ光は、ビー

50

ム整形光学系 6 に入射される。

【 0 0 2 5 】

ビーム整形光学系 6 には合成光学系 5 によって合成されたレーザ光が入射され、当該ビーム整形光学系 6 は、入射されたレーザ光（合成されたレーザ光）を整形して、シリコン膜への照射に適したビーム形状のレーザ光を生成する。ビーム整形光学系 6 は、Y 方向に沿ったライン状のラインビームを生成する。

【 0 0 2 6 】

ビーム整形光学系 6 は、例えば、レンズアレイから構成されるホモジナイザによって、1 つのビームを複数のビームに分割（Z 方向に並んだ複数のラインビーム）する。複数のビームに分割後、コンデンサーレンズによって合成することでラインビーム状にすることができます。ビーム整形光学系 6 は、生成（整形）したライン状のレーザ光を落射ミラー 6 1 に出射する。

【 0 0 2 7 】

落射ミラー 6 1 は、Y 方向に延びる矩形状の反射ミラーであり、ビーム整形光学系 6 が生成した複数のラインビームであるレーザ光を反射する。落射ミラー 6 1 は、例えば、ダイクロイックミラーであり、一部の光を透過する部分反射ミラーである。落射ミラー 6 1 は、ライン状のレーザ光を反射させて反射光を生成すると共に、当該ライン状のレーザ光一部を透過させて透過光を生成する。落射ミラー 6 1 は、反射光であるレーザ光を基板 8 のシリコン膜に照射し、透過光でレーザ光を、例えばバイプラナ光電管等のパルス計測器へ出射する。

【 0 0 2 8 】

プロジェクションレンズ 6 5 は、基板の上方に配置されている。プロジェクションレンズ 6 5 は、レーザ光を基板、すなわち、シリコン膜に投射するための複数のレンズを有している。プロジェクションレンズ 6 5 は、レーザ光を基板に集光している。基板 8 上において、レーザ光が Y 方向に沿ったライン状の照射領域を形成する。すなわち、基板 8 上において、レーザ光は、Y 方向を長手方向とするラインビームとなっている。また、+ X 方向に基板 8 を搬送しながら、レーザ光がシリコン膜に照射される。これにより、Y 方向における照射領域の長さを幅とする帯状の領域にレーザ光を照射することができる。

【 0 0 2 9 】

落射ミラー 6 1 に照射されるラインビーム状のレーザ光は、短軸幅が広がったビーム形状となり、すなわちコンデンサーレンズから出射された以降、当該短軸幅が多少広がり、崩れた形状となっている。落射ミラー 6 1 によって反射されたレーザ光は、プロジェクションレンズ 6 5 を通過することによって、短軸幅が 1 / 5 程度のラインビーム状のレーザ光に整形される。

【 0 0 3 0 】

制御装置 9 は、レーザアニール装置 1 の全体的又は統合的な制御又は管理を行うパソコン又はサーバ装置等の情報処理装置である。制御装置 9 は、制御部 9 1、記憶部 9 2、通信部 9 3 及び入出力 I / F 9 4 を含み、当該通信部 9 3 又は入出力 I / F 9 4 を介して、レーザ光源 2 又はアニール光学系 1 1 における各光学系を制御する制御デバイス（他の制御装置）と通信可能に接続されている。制御装置 9 は、レーザアニール装置 1 に含まれるパルス計測器、光検出器等の各種計測装置と通信可能に接続されており、これら各種計測装置から出力された計測データに基づき、レーザ光源 2 又はアニール光学系 1 1 に対する種々の制御を行う。

【 0 0 3 1 】

制御部 9 1 は、一又は複数の C P U (Central Processing Unit)、M P U (Micro-Processing Unit)、G P U (Graphics Processing Unit) 等、計時機能を備えた演算処理装置を有し、記憶部 9 2 に記憶されたプログラム P (プログラム製品) を読み出して実行することにより、種々の情報処理及び、レーザ光源 2 又はアニール光学系 1 1 に含まれる各光学系に対する制御処理等を行う。

【 0 0 3 2 】

10

20

30

40

50

記憶部 9 2 は、 S R A M (Static Random Access Memory) 、 D R A M (Dynamic Random Access Memory) 、 フラッシュメモリ等の揮発性記憶領域及び、 E E P R O M 又はハードディスク等の不揮発性記憶領域を含む。記憶部 9 2 には、プログラム P (プログラム製品) 及び処理時に参照するデータが予め記憶してある。記憶部 9 2 に記憶されたプログラム P は、制御部 9 1 が読み取り可能な記録媒体 9 2 0 から読み出されたプログラム P (プログラム製品) を記憶したものであってもよい。また、図示しない通信網に接続されている図示しない外部コンピュータからプログラム P (プログラム製品) をダウンロードし、記憶部 9 2 に記憶させたものであってもよい。記憶部 9 2 には、後述する真空ポンプ用学習モデル 9 2 1 等、学習モデルの実態ファイルが記憶されている。当該学習モデルの実態ファイルは、プログラム P (プログラム製品) に含まれるモジュールとして構成されるものであってもよい。

10

【 0 0 3 3 】

通信部 9 3 は、例えばイーサネット (登録商標) の規格に準拠した通信モジュール又は通信インターフェイスであり、当該通信部 9 3 にはイーサネットケーブルが接続される。通信部 9 3 は、当該イーサネットケーブル等の有線である場合に限定されず、例えば Wi-Fi (登録商標) 、 B l u e t o o t h (登録商標) 等の狭域無線通信モジュール、又は 4 G 、 5 G 等の広域無線通信モジュール等の無線通信に対応した通信インターフェイスであってもよい。

20

【 0 0 3 4 】

入出力 I / F 9 4 は、例えば R S 2 3 2 C 又は U S B 等の通信規格に準拠した通信インターフェイスである。入出力 I / F 9 4 には、キーボード等の入力装置、又は液晶ディスプレイ等の表示装置 9 4 1 が接続される。

30

【 0 0 3 5 】

第 1 レーザ光源 2 1 及び第 2 レーザ光源 2 2 のそれぞれのチャンバは、例えばガス配管を介して真空ポンプ (第 1 真空ポンプ 1 0 1 、第 2 真空ポンプ 1 0 2) と連通 (接続) されている。すなわち、第 1 レーザ光源 2 1 のチャンバには第 1 真空ポンプ 1 0 1 が接続され、第 2 レーザ光源 2 2 のチャンバには第 2 真空ポンプ 1 0 2 が接続されている。

【 0 0 3 6 】

第 1 レーザ光源 2 1 及び第 2 レーザ光源 2 2 のチャンバに封入されているキセノン等のガスは、レーザ光を出射する際の励起によって劣化し、ガスライフに応じた定期的な交換 (全入れ替え) 作業が必要となる。当該ガス交換を行うにあたり、第 1 真空ポンプ 1 0 1 及び第 2 真空ポンプ 1 0 2 は、それぞれに連通されている第 1 レーザ光源 2 1 及び第 2 レーザ光源 2 2 のチャンバ内のガスを吸引 (真空引き) し、これらチャンバ内を所定の圧力以下となる真空状態にする。

40

【 0 0 3 7 】

第 1 レーザ光源 2 1 及び第 2 レーザ光源 2 2 のそれぞれのチャンバ内には、圧力センサー 1 1 3 が設けられている。これら圧力センサー 1 1 3 は、通信線等により制御装置 9 と通信可能に接続されており、当該チャンバ内の圧力値を検出し、制御装置 9 に出力する。詳細は後述するが、制御装置 9 は、第 1 レーザ光源 2 1 及び第 2 レーザ光源 2 2 のそれぞれのチャンバ内に設けられたそれぞれの圧力センサー 1 1 3 が出力した圧力値により、これらチャンバ内が真空状態に至った時点を取得することができる。制御装置 9 は、これらチャンバ内のガスの吸引 (真空引き) を開始した時点から、真空状態に至った時点までの経過時間を真空到達時間として取得する。

50

【 0 0 3 8 】

第 1 真空ポンプ 1 0 1 及び第 2 真空ポンプ 1 0 2 には、温度センサー 1 1 1 及び振動センサー 1 1 2 が設けられている。これら温度センサー 1 1 1 及び振動センサー 1 1 2 は、第 1 真空ポンプ 1 0 1 等の可動部品を可動した際の物理量を検出する検出部に相当する。温度センサー 1 1 1 は、例えばサーミスタ等により構成され、第 1 真空ポンプ 1 0 1 及び第 2 真空ポンプ 1 0 2 のそれぞれの外殻に設けられ、第 1 真空ポンプ 1 0 1 及び第 2 真空ポンプ 1 0 2 の外殻の表面温度を検出する。これら温度センサー 1 1 1 は、圧力センサー

50

113と同様に通信線等により制御装置9と通信可能に接続されており、検出した温度を制御装置9に出力する。

【0039】

振動センサー112は、例えば圧電素子等により構成され、第1真空ポンプ101及び第2真空ポンプ102のそれぞれの外殻に設けられ、第1真空ポンプ101及び第2真空ポンプ102の振動数を検出する。これら振動センサー112は、圧力センサー113と同様に通信線等により制御装置9と通信可能に接続されており、検出した振動数を制御装置9に出力する。

【0040】

第1真空ポンプ101及び第2真空ポンプ102のそれぞれに設けられている温度センサー111及び振動センサー112は、真空引きが行われている期間、すなわちチャンバー内のガスの吸引（真空引き）を開始した時点から、真空状態に至る時点までの間、所定のサンプリング周期にて、温度及び振動数を検出し、制御装置9に出力する。これにより、制御装置9は、真空引きが行われている期間、すなわち真空到達時間における第1真空ポンプ101及び第2真空ポンプ102のそれぞれ温度及び振動数を時系列データとして取得することができる。

10

【0041】

制御装置9は、取得した真空到達時間、当該真空到達時間における温度及び振動数の時系列データと、真空引きを行った日時等の時刻情報を関連付け、例えばテーブル形式の可動履歴データとして記憶部92に記憶するものであってもよい。制御装置9は、複数回行われた各真空引きの真空到達時間を合計することにより、第1真空ポンプ101及び第2真空ポンプ102それぞれの積算運転時間を算出するものであってもよい。

20

【0042】

図3は、真空ポンプ用学習モデル921の一例を示す説明図である。制御装置9の制御部91は、訓練データを用いてニューラルネットワークを学習させ、真空ポンプを可動した際の振動及び温度等の物理量、真空到達時間、及び現時点までの真空ポンプの積算可動時間を入力した場合、真空ポンプの故障までの時間を出力する真空ポンプ用学習モデル921を生成する。

【0043】

本実施形態において、上述のとおり真空ポンプは第1真空ポンプ101及び第2真空ポンプ102から成る2台構成であるが、以下の説明では第1真空ポンプ101を適用した例にて説明する。当該真空ポンプ用学習モデル921は、第1真空ポンプ101及び第2真空ポンプ102のいずれにも適用できるモデルであることは、言うまでもない。

30

【0044】

当該訓練データは、第1真空ポンプ101の振動及び温度等の物理量、真空到達時間、及び積算可動時間を含む問題データと、第1真空ポンプ101の故障までの時間を含む回答データから構成され、制御装置9の記憶部92に記憶されている。これら訓練データの元データは、例えば複数のレーザアニール装置1にて行われたガス交換の実績データを集約することにより、生成することができる。

【0045】

訓練データを用いて学習されたニューラルネットワーク（真空ポンプ用学習モデル921）は、人工知能ソフトウェアの一部であるプログラムモジュールとして利用が想定される。真空ポンプ用学習モデル921は、制御装置9にて用いられるものであり、このように演算処理能力を有するこのように演算処理能力を有する制御装置9にて実行されることにより、ニューラルネットワークシステムが構成される。

40

【0046】

真空ポンプ用学習モデル921は、DNN（Deep Neural Network）にて構成され、第1真空ポンプ101の振動及び温度等の物理量、真空到達時間、及び積算可動時間の入力を受け付ける入力層と、当該物理量等の特徴量を抽出する中間層と、第1真空ポンプ101の故障までの時間を出力とする出力層とを有する。

50

【0047】

入力層は、振動（振動数データ）及び温度（温度データ）等の物理量、真空到達時間、及び積算可動時間の入力を受け付ける複数のニューロンを有し、入力された値を中間層に受け渡す。中間層は、ReLU関数又はシグモイド関数等の活性化関数を用いて定義され、入力されたそれぞれの値の特徴量を抽出する複数のニューロンを有し、抽出した特徴量を出力層に受け渡す。当該活性化関数の重みづけ係数及びバイアス値等のパラメータは、誤差逆伝播法を用いて最適化される。出力層は、例えば全結合層により構成され、中間層から出力された特徴量に基づいて、故障までの時間を出力する。

【0048】

真空ポンプ用学習モデル921に入力される振動数データ及び温度データは、第1真空ポンプ101の運転開始から真空状態に至るまでの間（真空引き期間）に、温度センサー111及び振動センサー112から時系列に取得した複数の温度及び振動数を含む配列形式又は行列形式のデータであってもよい。又は、真空ポンプ用学習モデル921に入力される振動数データは、真空引き期間にて取得した複数の振動数の平均値（平均振動数）、又最高値（最高振動数）であってもよい。同様に、真空ポンプ用学習モデル921に入力される温度データは、真空引き期間にて取得した複数の温度の平均値（平均温度）、又最高値（最高温度）であってもよい。

10

【0049】

訓練データは、第1真空ポンプ101が正常時のデータのみならず、故障時のデータを含むものであってもよい。故障時のデータとして含まれる問題データは、第1真空ポンプ101が故障している際の振動及び温度等の物理量、真空到達時間、及び積算可動時間の少なくともいずれか1つを含み、回答データとなる故障までの時間は0を示す。訓練データは、例えば新品に交換直後、最初の真空引きを行った際の第1真空ポンプ101のデータを含むものであってもよい。当該最初の真空引きにて検出した温度及び振動数等の物理量を問題データとした場合、当該問題データにラベル付けされる回答データ（故障までの時間）は、例えば、第1真空ポンプ101の製品仕様上にて定められている保証運転時間であってもよい。

20

【0050】

このように訓練データに、故障までの時間が0であることがラベル付けされた故障時のデータ（振動、温度又は真空到達時間等）を含ませて真空ポンプ用学習モデル921を学習させることにより、真空ポンプ用学習モデル921を用いて第1真空ポンプ101の故障判定を行うことができる。すなわち、真空ポンプ用学習モデル921が、故障までの時間を0として出力した場合、第1真空ポンプ101は故障していると判定することができる。

30

【0051】

本実施形態では、真空ポンプ用学習モデル921に入力されるデータは、振動（振動数データ）及び温度（温度データ）等の物理量、真空到達時間、及び積算可動時間としたが、これに限定されない。真空ポンプ用学習モデル921に入力されるデータは、振動（振動数データ）、温度（温度データ）、真空到達時間及び積算可動時間のいずれか1つのデータ又は、任意のデータの組み合わせによるものであってもよい。

40

【0052】

本実施形態では、真空ポンプ用学習モデル921は、DNNであるとしたがこれに限定されず、DNN以外のニューラルネットワーク、トランスフォーマー、RNN（Recurrent Neural Network）、LSTM（Long-short term model）、CNN、SVM（Support Vector Machine）、ベイジアンネットワーク、線形回帰、回帰木、重回帰、ランダムフォレスト、アンサンブルなど、他の学習アルゴリズムで構築された学習モデルであってよい。

【0053】

当該DNN以外を用いる一例として、制御装置9の制御部91は、取得した今回の物理量及び過去の複数の物理量に基づき、例えば回帰分析等を行うことにより、故障予測線を

50

導出するものであってもよい。この場合、当該故障予測線は、機械学習により生成される真空ポンプ用学習モデル 921 に相当する。

【0054】

制御装置 9 の制御部 91 は、例えば、故障予測線を直線（線形近似）にて導出する場合、取得した今回の物理量及び過去の複数の物理量に基づき最小二乗法を用いるものであってもよい。又は、制御部 91 は、対数近似曲線、多項式近似曲線、累乗近似曲線又は指數近似曲線等の種々方法を用いて、故障予測線を導出するものであってもよい。当該故障予測線をグラフ化した場合、横軸は経過時間を示し、縦軸は、物理量又は当該物理量を例えれば主成分分析又は次元圧縮等して抽出した特徴量であってもよい。

【0055】

制御装置 9 の制御部 91 は、導出した故障予測線において定義される物理量（特徴量）の範囲において、可動部品である第 1 真空ポンプ 101 の故障が想定される故障閾値を設定する。すなわち、制御装置 9 の制御部 91 は、取得した第 1 真空ポンプ 101（可動部品）の物理量が当該故障閾値に到達した場合、当該第 1 真空ポンプ 101 が故障すると予測し、現時点から当該故障閾値に到達するまでの期間を故障までの時間として算出するものであってもよい。

10

【0056】

制御装置 9 の制御部 91 は、記憶部 92 に記憶されている真空ポンプ用学習モデル 921 を用いることにより、真空引きを行った際の第 1 真空ポンプ 101 の振動及び温度等の物理量、真空到達時間、及び積算可動時間に基づき、第 1 真空ポンプ 101 の故障までの時間を予測（導出）する故障予測部として機能する。当該故障予測部として機能する制御装置 9 の制御部 91 は、現時点の日時に、導出した故障までの時間及び計画停止期間等を加算することにより、予想される故障時期を導出し、導出した故障時期を例えれば表示装置 941、又は通信部 93 を介してレーザアニール装置 1 の管理者等の携帯端末に出力（送信）する。

20

【0057】

レーザアニール装置 1 に含まれる制御装置 9 が真空ポンプ用学習モデル 921 を生成するとしたが、これに限定されず、真空ポンプ用学習モデル 921 は、当該制御装置 9 以外となるクラウドサーバ等の外部のサーバ装置等によって、学習及び生成されるものであってもよい。真空ポンプ用学習モデル 921 は、制御装置 9 にて用いられるものとしたが、これに限定されず、制御装置 9 は、通信部 93 を介して、例えはインターネット等に接続されるクラウドサーバ等と通信し、当該クラウドサーバに実装された真空ポンプ用学習モデル 921 によって出力された故障までの時間を取得するものであってもよい。

30

【0058】

図 4 は、制御部 91 による処理手順の一例を示すフローチャートである。レーザアニール装置 1 に含まれる制御装置 9 の制御部 91 は、例えは入出力に接続されるキーボード等による操作者の操作を受け付け、当該受け付けた操作に基づき、以下の処理を行う。

【0059】

制御装置 9 の制御部 91 は、第 1 真空ポンプ 101 及び第 2 真空ポンプ 102 の物理情報等を取得する（S100）。制御装置 9 の制御部 91 は、第 1 真空ポンプ 101 及び第 2 真空ポンプ 102 が真空引きを行っている際、それぞれに設けられた温度センサー 111 及び振動センサー 112 から出力された温度及び振動数等の物理量を取得する。

40

【0060】

制御装置 9 の制御部 91 は、取得した温度及び振動数に基づき、第 1 真空ポンプ 101 及び第 2 真空ポンプ 102 それぞれの温度データ及び振動数データを生成する。これら温度データ及び振動数データは、時系列に取得した複数の温度及び振動数による配列形式等のデータ、又は真空引き期間にて取得した複数の振動数及び温度の平均値又は最高値であってもよい。

【0061】

制御装置 9 の制御部 91 は、圧力センサー 113 から出力された圧力に基づき、第 1 真

50

空ポンプ101及び第2真空ポンプ102のチャンバ内のガスの吸引（真空引き）を開始した時点から、真空状態に至った時点までの経過時間を真空到達時間として算出する。制御装置9の制御部91は、記憶部92を参照し、現時点までの第1真空ポンプ101及び第2真空ポンプ102のそれぞれの真空到達時間を合計することにより、それぞれの積算運転時間を算出する。これら処理を行うことにより、制御装置9の制御部91は、第1真空ポンプ101及び第2真空ポンプ102それぞれの温度データ、振動数データ、真空到達時間及び積算運転時間を取得する。

【0062】

制御装置9の制御部91は、第1真空ポンプ101の物理情報等を真空ポンプ用学習モデル921に入力することにより、第1真空ポンプ101の故障までの時間を導出する（S101）。制御装置9の制御部91は、第1真空ポンプ101の温度データ、振動数データ、真空到達時間及び積算運転時間を真空ポンプ用学習モデル921に入力し、真空ポンプ用学習モデル921が出力した故障までの時間を取得する。

10

【0063】

制御装置9の制御部91は、故障までの時間が0であるか否かを判定する（S102）。上述のとおり、真空ポンプ用学習モデル921は、故障時の物理量等を含めた訓練データにより学習されているため、真空ポンプ用学習モデル921から出力された値が0（故障までの時間が0）である場合は、第1真空ポンプ101は故障中であると推定されたことを意味する。制御装置9の制御部91は、真空ポンプ用学習モデル921が出力した値が0（故障までの時間が0）であるか否かを判定する。

20

【0064】

故障までの時間が0である場合（S102：YES）、制御装置9の制御部91は、第1真空ポンプ101が故障状態である旨を示す報知信号を生成する（S103）。故障までの時間が0である場合、制御装置9の制御部91は、第1真空ポンプ101は故障中であると判定し、第1真空ポンプ101が故障状態である旨を示す報知信号を生成し、当該報知信号を表示装置941等に出力する。

【0065】

故障までの時間が0でない場合（S102：NO）、制御装置9の制御部91は、故障までの時間に基づき、第1真空ポンプ101の故障時期を算出する（S104）。故障までの時間が0でない場合、制御装置9の制御部91は、第1真空ポンプ101は正常である判定し、現時点の日時に、真空ポンプ用学習モデル921が出力した故障までの時間及び計画停止期間等を加算することにより、予想される故障時期を導出する。

30

【0066】

制御装置9の制御部91は、算出した故障時期を出力する（S105）。制御装置9の制御部91は、当該故障時期を例えば表示装置941、又は通信部93を介してレーザアーナー装置1の管理者等の携帯端末に出力（送信）する。

【0067】

制御装置9の制御部91は、第2真空ポンプ102の物理情報等を真空ポンプ用学習モデル921に入力することにより、故障までの時間を導出する（S106）。

40

【0068】

制御装置9の制御部91は、故障までの時間が0であるか否かを判定する（S107）。

【0069】

故障までの時間が0である場合（S107：YES）、制御装置9の制御部91は、第2真空ポンプ102が故障状態である旨を示す報知信号を生成する（S108）。

【0070】

故障までの時間が0でない場合（S107：NO）、制御装置9の制御部91は、故障までの時間に基づき、第2真空ポンプ102の故障時期を算出する（S109）。

【0071】

制御装置9の制御部91は、算出した故障時期を出力する（S110）。制御装置9の制御部91は、第2真空ポンプ102の温度データ、振動数データ、真空到達時間及び積

50

算運転時間を用いて、第1真空ポンプ101に関する処理（S101からS105）と同様に、第2真空ポンプ102に関する処理（S106からS110）を行う。

【0072】

制御装置9の制御部91は、例えばマルチスレッド又は、複数のサブプロセスによるマルチプロセスを用いて、第1真空ポンプ101に関する処理（S101からS105）と、第2真空ポンプ102に関する処理（S106からS110）とを並行して行う（並行処理）ものであってもよい。

【0073】

本実施形態によれば、レーザアニール装置1（レーザ照射装置）に含まれる制御装置9の制御部91（故障予測部）は、真空ポンプ（第1真空ポンプ101、第2真空ポンプ102）を可動した際に発生する振動、及び当該真空ポンプの温度等の物理量（測定値）を、真空ポンプに設けられた温度センサー111及び振動センサー112から取得する。制御装置9は、これら真空ポンプの振動及び温度等の物理量に基づき真空ポンプの故障時期を導出するため、レーザアニール装置1に含まれる部品の故障予測を効率的に行うことができる。制御装置9は、当該故障時期を、例えば表示装置941に出力することにより、レーザアニール装置1の管理者に対し適切な時期に保守を行うことを喚起させ、当該レーザアニール装置1のダウントIME（稼動停止期間）を抑制（削減）することができる。

10

【0074】

本実施形態によれば、真空ポンプを可動した際の振動及び温度等の物理量に加え、真空ポンプがガスの吸入を開始してからチャンバ内が真空状態となるまでの真空到達時間を当該物理量と組み合わせた情報に基づき、真空ポンプの故障時期を導出するため、当該故障時期の推定精度を向上させることができる。

20

【0075】

本実施形態によれば、真空ポンプを可動した際の振動及び温度等の物理量、真空到達時間、及び現時点までの真空ポンプの積算可動時間を入力した場合に真空ポンプの故障までの時間を出力する学習モデルを用いることにより、故障までの時間を効率的に導出（取得）することができる。制御装置9（故障予測部）は、真空ポンプを可動した時点の日時に当該故障までの時間及び計画停止期間等を加算して、真空ポンプ故障時期を効率的に算出することができる。

30

【0076】

本実施形態によれば、制御装置9（故障予測部）は、複数のレーザ光源2（第1レーザ光源21、第2レーザ光源22）それぞれに対応する各真空ポンプ（第1真空ポンプ101、第2真空ポンプ102）の物理量及び真空到達時間それぞれに基づき、当該複数の真空ポンプ（第1真空ポンプ101、第2真空ポンプ102）それぞれの故障時期を導出する。これにより、レーザ照射装置が複数のレーザ光源2及び真空ポンプを備えるものであっても、これら真空ポンプ（第1真空ポンプ101、第2真空ポンプ102）の故障時期を個別に導出することができる。

【0077】

図5は、実施形態2（各種可動部品）に係るレーザアニール装置1の構成例を示す図である。実施形態2に係るレーザアニール装置1は、可動部品として、第1真空ポンプ101及び第2真空ポンプ102に加え、コールドヘッド103、Heコンプレッサー104及びダイアフラムポンプ105を備える。なお、コールドヘッド103等は、第1真空ポンプ101及び第2真空ポンプ102と同様に、第1レーザ光源21及び第2レーザ光源22のそれぞれに対応して、別個のコールドヘッド103（第1コールドヘッド及び第2コールドヘッド）により構成されるものであってもよい。

40

【0078】

レーザアニール装置1には、真空引きをしてチャンバから吸入したガスの不純物を除去するためのフィルタを冷却する冷凍機が備えられており、当該冷凍機には、可動部品としてコールドヘッド103及びHeコンプレッサー104が含まれる。コールドヘッド103は、シリンダと、シリンダ内で往復動しヘリウム等の冷媒ガスを膨張させ冷熱を発生さ

50

せるディスプレーサと、シリンダの先端に設けられて、発生した冷熱を被冷却物に伝達する冷熱伝達部材とを備えている。Heコンプレッサー104は、冷媒ガスとなるヘリウム(He)を圧縮する圧縮機であり、圧縮したヘリウムをコールドヘッド103に供給する。ダイアフラムポンプ105は、レーザガス(チャンバに封入されているキセノン等のガス)を、コールドヘッド103等を含む冷凍機に循環させる。

【0079】

これら可動部品であるコールドヘッド103、Heコンプレッサー104及びダイアフラムポンプ105には、第1真空ポンプ101等と同様に温度センサー111及び振動センサー112が設けられている。コールドヘッド103、Heコンプレッサー104及びダイアフラムポンプ105に設けられているそれぞれの温度センサー111及び振動センサー112は、実施形態1と同様に通信線等により制御装置9と通信可能に接続されており、検出した温度及び振動数等の物理量を制御装置9に出力する。

10

【0080】

制御装置9の制御部91は、コールドヘッド103、Heコンプレッサー104及びダイアフラムポンプ105に設けられているそれぞれの温度センサー111及び振動センサー112から取得した温度及び振動数を、実施形態1の第1真空ポンプ101等の温度及び振動数と同様に、例えばテーブル形式にて記憶部92に記憶する。制御装置9の記憶部92には、これらコールドヘッド103、Heコンプレッサー104及びダイアフラムポンプ105の積算運転時間が、実施形態1の第1真空ポンプ101等の積算運転時間と同様に記憶されている。

20

【0081】

制御装置9の制御部91は、それぞれの温度センサー111及び振動センサー112にて検出された温度及び振動数を取得し、又は記憶部92に記憶されているこれら温度、振動数及び積算運転時間を参照する。これにより、制御装置9の制御部91は、コールドヘッド103、Heコンプレッサー104及びダイアフラムポンプ105の可動時における温度、振動数及び積算運転時間を取得することができる。

【0082】

実施形態2の制御装置9の記憶部92には、真空ポンプ用学習モデル921に加え、コールドヘッド用学習モデル922、Heコンプレッサー用学習モデル923及びダイアフラムポンプ用学習モデル924の実態ファイルが記憶されている。コールドヘッド用学習モデル922、Heコンプレッサー用学習モデル923及びダイアフラムポンプ用学習モデル924は、実施形態1の真空ポンプ用学習モデル921と同様にDNN等により構成されている。

30

【0083】

コールドヘッド用学習モデル922は、コールドヘッド103の振動及び温度等の物理量と積算可動時間とが入力された場合にコールドヘッド103の故障までの時間を出力する。制御装置9の制御部91は、コールドヘッド用学習モデル922を用いることにより、コールドヘッド103の故障判定及び、故障までの時間を導出することができる。

【0084】

Heコンプレッサー用学習モデル923は、Heコンプレッサー104の振動及び温度等の物理量と積算可動時間とが入力された場合にHeコンプレッサー104の故障までの時間を出力する。制御装置9の制御部91は、Heコンプレッサー用学習モデル923を用いることにより、Heコンプレッサー104の故障判定及び、故障までの時間を導出することができる。

40

【0085】

ダイアフラムポンプ用学習モデル924は、ダイアフラムポンプ105の振動及び温度等の物理量と積算可動時間とが入力された場合にダイアフラムポンプ105の故障までの時間を出力する。制御装置9の制御部91は、ダイアフラムポンプ用学習モデル924を用いることにより、ダイアフラムポンプ105の故障判定及び、故障までの時間を導出することができる。

50

【0086】

図6は、制御部91による処理手順の一例を示すフローチャートである。図7は、制御部91による処理手順(コールドヘッド103)の一例を示すフローチャートである。図8は、制御部91による処理手順(Heコンプレッサー104)の一例を示すフローチャートである。図9は、制御部91による処理手順(ダイアフラムポンプ105)の一例を示すフローチャートである。レーザアニール装置1に含まれる制御装置9の制御部91は、例えば入出力に接続されるキーボード等による操作者の操作を受け付け、当該受け付けた操作に基づき、以下の処理を行う。

【0087】

制御装置9の制御部91は、真空ポンプに関する処理を行う(S21)。当該真空ポンプに関する処理は、例えば、サブルーチン化された処理として、実施形態1と同様に図4にて示されるフローにより行われる。制御装置9の制御部91は、真空ポンプに関する処理に関し、実施形態1にて説明した一連の処理(S100からS110)と同様の処理を行う。

10

【0088】

制御装置9の制御部91は、コールドヘッド103に関する処理を行う(S22)。当該コールドヘッド103に関する処理は、例えば、サブルーチン化された処理として、図7にて示される以下のフローにより行われる。

【0089】

制御装置9の制御部91は、コールドヘッド103の物理情報等を取得する(S220)。制御装置9の制御部91は、コールドヘッド103の温度センサー111及び振動センサー112にて検出された温度及び振動数を取得し、又は記憶部92を参照することにより、コールドヘッド103の可動時における温度及び振動数と、積算運転時間とを取得する。

20

【0090】

制御装置9の制御部91は、コールドヘッド103の物理情報等をコールドヘッド用学習モデル922に入力することにより、コールドヘッド103の故障までの時間を導出する(S221)。制御装置9の制御部91は、取得したコールドヘッド103の温度、振動数及び積算運転時間をコールドヘッド用学習モデル922に入力して、コールドヘッド103の故障までの時間を導出する。

30

【0091】

制御装置9の制御部91は、故障までの時間が0であるか否かを判定する(S222)。故障までの時間が0である場合(S222: YES)、制御装置9の制御部91は、コールドヘッド103が故障状態である旨を示す報知信号を生成する(S223)。制御装置9の制御部91は、コールドヘッド用学習モデル922が出力した値が0である場合、コールドヘッド103は故障している判定し、コールドヘッド103が故障状態である旨を示す報知信号を生成し、表示装置941等に出力する。

【0092】

故障までの時間が0でない場合(S222: NO)、制御装置9の制御部91は、故障までの時間に基づき、コールドヘッド103の故障時期を算出する(S224)。制御装置9の制御部91は、算出した故障時期を出力する(S225)。故障までの時間が0でない場合、制御装置9の制御部91は、コールドヘッド103は正常である判定し、現時点(コールドヘッド103の可動時)の日時に、コールドヘッド用学習モデル922が出力した故障までの時間及び計画停止期間等を加算することにより、予想される故障時期を導出し、表示装置941等に出力する。

40

【0093】

制御装置9の制御部91は、Heコンプレッサー104に関する処理を行う(S23)。当該Heコンプレッサー104に関する処理は、例えば、サブルーチン化された処理として、図8にて示される以下のフローにより行われる。

【0094】

50

制御装置 9 の制御部 9 1 は、He コンプレッサー 104 の物理情報等を取得する (S 2 3 0)。制御装置 9 の制御部 9 1 は、He コンプレッサー 104 の温度センサー 111 及び振動センサー 112 にて検出された温度及び振動数を取得し、又は記憶部 9 2 を参照することにより、He コンプレッサー 104 の可動時における温度及び振動数と、積算運転時間とを取得する。

【0095】

制御装置 9 の制御部 9 1 は、He コンプレッサー 104 の物理情報等を He コンプレッサー用学習モデル 9 2 3 に入力することにより、He コンプレッサー 104 の故障までの時間を導出する (S 2 3 1)。制御装置 9 の制御部 9 1 は、取得した He コンプレッサー 104 の温度、振動数及び積算運転時間を He コンプレッサー用学習モデル 9 2 3 に入力して、He コンプレッサー 104 の故障までの時間を導出する。

10

【0096】

制御装置 9 の制御部 9 1 は、故障までの時間が 0 であるか否かを判定する (S 2 3 2)。故障までの時間が 0 である場合 (S 2 3 2 : YES)、制御装置 9 の制御部 9 1 は、He コンプレッサー 104 が故障状態である旨を示す報知信号を生成する (S 2 3 3)。制御装置 9 の制御部 9 1 は、He コンプレッサー用学習モデル 9 2 3 が出力した値が 0 である場合、He コンプレッサー 104 は故障している判定し、He コンプレッサー 104 が故障状態である旨を示す報知信号を生成し、表示装置 9 4 1 等に出力する。

【0097】

故障までの時間が 0 でない場合 (S 2 3 2 : NO)、制御装置 9 の制御部 9 1 は、故障までの時間に基づき、He コンプレッサー 104 の故障時期を算出する (S 2 3 4)。制御装置 9 の制御部 9 1 は、算出した故障時期を出力する (S 2 3 5)。故障までの時間が 0 でない場合、制御装置 9 の制御部 9 1 は、He コンプレッサー 104 は正常である判定し、現時点 (He コンプレッサー 104 の可動時) の日時に、He コンプレッサー用学習モデル 9 2 3 が出力した故障までの時間及び計画停止期間等を加算することにより、予想される故障時期を導出し、表示装置 9 4 1 等に出力する。

20

【0098】

制御装置 9 の制御部 9 1 は、ダイアフラムポンプ 105 に関する処理を行う (S 2 4)。当該ダイアフラムポンプ 105 に関する処理は、例えば、サブルーチン化された処理として、図 9 にて示される以下のフローにより行われる。

30

【0099】

制御装置 9 の制御部 9 1 は、ダイアフラムポンプ 105 の物理情報等を取得する (S 2 4 0)。制御装置 9 の制御部 9 1 は、ダイアフラムポンプ 105 の温度センサー 111 及び振動センサー 112 にて検出された温度及び振動数を取得し、又は記憶部 9 2 を参照することにより、ダイアフラムポンプ 105 の可動時における温度及び振動数と、積算運転時間とを取得する。

【0100】

制御装置 9 の制御部 9 1 は、ダイアフラムポンプ 105 の物理情報等をダイアフラムポンプ用学習モデル 9 2 4 に入力することにより、ダイアフラムポンプ 105 の故障までの時間を導出する (S 2 4 1)。制御装置 9 の制御部 9 1 は、取得したダイアフラムポンプ 105 の温度、振動数及び積算運転時間をダイアフラムポンプ用学習モデル 9 2 4 に入力して、ダイアフラムポンプ 105 の故障までの時間を導出する。

40

【0101】

制御装置 9 の制御部 9 1 は、故障までの時間が 0 であるか否かを判定する (S 2 4 2)。故障までの時間が 0 である場合 (S 2 4 2 : YES)、制御装置 9 の制御部 9 1 は、ダイアフラムポンプ 105 が故障状態である旨を示す報知信号を生成する (S 2 4 3)。制御装置 9 の制御部 9 1 は、ダイアフラムポンプ用学習モデル 9 2 4 が出力した値が 0 である場合、ダイアフラムポンプ 105 は故障している判定し、ダイアフラムポンプ 105 が故障状態である旨を示す報知信号を生成し、表示装置 9 4 1 等に出力する。

【0102】

50

故障までの時間が 0 でない場合 (S 2 4 2 : N O) 、制御装置 9 の制御部 9 1 は、故障までの時間に基づき、ダイアフラムポンプ 1 0 5 の故障時期を算出する (S 2 4 4) 。制御装置 9 の制御部 9 1 は、算出した故障時期を出力する (S 2 4 5) 。故障までの時間が 0 でない場合、制御装置 9 の制御部 9 1 は、ダイアフラムポンプ 1 0 5 は正常である判定し、現時点 (ダイアフラムポンプ 1 0 5 の可動時) の日時に、ダイアフラムポンプ用学習モデル 9 2 4 が output した故障までの時間及び計画停止期間等を加算することにより、予想される故障時期を導出し、表示装置 9 4 1 等に出力する。

【 0 1 0 3 】

本実施形態によれば、可動部品は、真空ポンプ、ダイアフラムポンプ 1 0 5 、ヘリウムコンプレッサー及びコールドヘッド 1 0 3 の少なくともいずれか 1 つ含むため、これら各種の可動部品に対する個々の故障予測を効率的に行うことができる。制御装置 9 の制御部 9 1 は、それぞれの駆動部品に対応する S 2 1 から S 2 4 までのそれぞれの処理をマルチプロセス等により並行して行うものであってもよい。レーザアニール装置 1 に含まれる複数の可動部品それぞれに対し、故障までの時間の導出に関する処理を並行して行うことにより、処理時間の短縮を図ることができる。

10

【 0 1 0 4 】

(実施形態 3)

図 1 0 は、実施形態 3 (特徴量学習モデル 9 2 5) に係る特徴量学習モデル 9 2 5 の一例を示す説明図である。実施形態 3 の制御装置 9 の制御部 9 1 (故障予測部) は、第 1 真空ポンプ 1 0 1 等の可動部品の振動数、温度、真空到達時間及び積算運転時間から導出した特徴量を、特徴量学習モデル 9 2 5 に入力する。制御装置 9 の制御部 9 1 は、振動数、温度、真空到達時間及び積算運転時間を例えば主成分分析又は次元圧縮することにより、特徴量を導出する。

20

【 0 1 0 5 】

特徴量学習モデル 9 2 5 は、入力された特徴量に基づき、当該入力された特徴量よりも以降の特徴量 (次点の特徴量) を推測 (出力) する。すなわち、特徴量学習モデル 9 2 5 を用いることにより、過去から現時点までの時系列となる複数の特徴量に基づき、これ以降 (将来) の特徴量を導出 (推測) することができる。制御装置 9 の制御部 9 1 (故障予測部) は、特徴量学習モデル 9 2 5 が推測 (出力) した将来の特徴量の値と、予め定められている閾値 (故障に至る特徴量の値) とを比較することにより、第 1 真空ポンプ 1 0 1 等の可動部品の故障までの時間を導出することができる。

30

【 0 1 0 6 】

制御装置 9 の制御部 9 1 は、時系列による複数の特徴量を問題データとし、将来における複数の時点における特徴量を回答データとする訓練データに基づき学習することで、時系列による複数の特徴量を入力とし、将来における複数の時点における特徴量出力とするニューラルネットワーク (特徴量学習モデル 9 2 5) を構築 (生成) する。

【 0 1 0 7 】

特徴量学習モデル 9 2 5 の入力層は、時系列による複数の特徴量を受け付ける単数又は複数のニューロンを有し、入力された特徴量夫々を中間層に受け渡す。中間層は、複数のニューロンを含む自己回帰層を含む。自己回帰層は、例えば L S T M (Long Short Term Memory / 長期短期記憶) モデルとして実装されるものであり、このような自己回帰層を含むニューラルネットワークは、 R N N (再帰型ニューラルネットワーク) と称される。中間層は、時系列に沿って順次に入力された複数の特徴量夫々による変化量を出力する。出力層は、将来における複数の時点における特徴量を一又は複数のニューロンを有し、中間層から出力された複数の特徴量夫々による変化量に基づき、将来における複数の時点における特徴量を出力する。このような R N N に対する学習は、例えば B P T T (Backpropagation Through Time / 通時的逆伝播) アルゴリズムを用いて行われる。

40

【 0 1 0 8 】

訓練データは、配列形式で保存されているものであってもよい。訓練データを配列形式とする場合、例えば、配列番号の 0 から 4 (t - 4 から t) までの要素夫々の値を問題データ

50

ータとし、配列番号の 5 から 7 ($t + 1$ から $t + 3$) までの要素夫々の値を回答データとするものであってもよい。入力層から入力された時系列となる問題データ ($t - 2$ 、 $t - 1$ 、 t) は LSTM (自己回帰層) に順次に受け渡され、 LSTM (自己回帰層) は出力値を出力層及び、自身の層に出力することにより、時間的な変化及び順序を含む系列情報を処理することができる。

【 0109 】

本実施形態において、特微量学習モデル 925 の入力及び出力は、振動数等を主成分分析等した特微量としたがこれに限定されず、振動数、温度、真空到達時間及び積算運転時間のそれぞれ値を、特微量学習モデル 925 への入力等するものであってもよい。

【 0110 】

図 11 は、可動部品の管理画面の一例を説明する図である。制御装置 9 の制御部 91 は、特微量学習モデル 925 から出力された将来における複数の時点における特微量を取得し、取得した特微量を用いて、本実施形態にて一例として示される管理画面 (画面データ) を生成し、例えば表示装置 941 等に出力する。

【 0111 】

可動部品の管理画面は、各可動部品の物理量等をリスト形式で示すリスト表示エリア、特微量の推移をグラフ形式で表示する特微量推移表示エリア、及び保守作業に関するアドバイスを表示する保守作業アドバイス表示エリアを含む。

【 0112 】

リスト表示エリアには、対象となる可動部品 (第 1 真空ポンプ 101 、第 2 真空ポンプ 102 等) の現時点における振動 (振動数データ) 及び温度 (温度データ) 等の物理量、真空到達時間、積算可動時間、特微量値、故障までの時間、計画停止期間、及び補用部品在庫が表示される。振動 (振動数データ) 及び温度 (温度データ) 等の物理量、真空到達時間及び積算可動時間は、実施形態 1 と同様に温度センサー 111 等の検出部からの検出結果、及び制御装置 9 の記憶部 92 に記憶されている事項に基づき表示される。特微量値は、振動数、温度、真空到達時間及び積算運転時間を例えれば主成分分析又は次元圧縮することにより導出された特微量の値である。

【 0113 】

故障までの時間は、特微量学習モデル 925 から出力された将来における複数の時点における特微量の内、閾値 (故障に至る特微量の値) に達する際の経過時間と、現時点までの経過時間との差異により算出された時間である。計画停止期間は、レーザアニール装置 1 の運転計画及び保守点検計画に基づき、対象となる可動部品に対し計画的に可動停止が予定される期間である。故障時期は、現時点の日時に対し、故障までの時間及び計画停止期間を加算した時期であり、対象となる可動部品の故障が想定される時期である。

【 0114 】

特微量推移表示エリアには、対象となる可動部品ごとの特微量の推移がグラフ形式にて表示される。当該グラフの縦軸は、特微量の値を示す。横軸は、経過時間を示すものであり、すなわち第 1 真空ポンプ 101 等の可動部品の可動時間を示す。可動時間 (積算運転時間 / 真空引きの実施回数) が増加するに応じて、特微量の値は増加傾向となり、当該特微量の値が閾値 (故障に至る特微量の値) に達した際、可動部品は故障する可能性が高いと予想される。線図にて示されるポイント (○ で表記) は、導出された特微量を示す。隣り合う 2 つのポイント (○ で表記) 間の長さは、第 1 真空ポンプ 101 等の可動部品における 1 回の運転時間を示すものとなる。当該ポイントにて示される経過時間は、当該特微量を導出した際の積算運転時間となる。

【 0115 】

上述のとおり、制御装置 9 の制御部 91 は、振動数、温度、真空到達時間及び積算運転時間を例えれば主成分分析又は次元圧縮することにより、特微量を導出する。特微量学習モデル 925 に、過去から現時点までの時系列となる複数の特微量を特微量学習モデル 925 に入力することにより、現時点の特微量以降、すなわち入力された時系列の特微量のうちの最後の特微量に対し、次点となる 1 つ以上の特微量 (将来の特微量) を出力すること

10

20

30

40

50

ができる。更に、当該出力した次点以降の特徴量を含めた時系列の複数の特徴量を、特徴量学習モデル 925 に再帰的に入力することにより、これ以降の特徴量についても出力（予想）することができる。これにより、特徴量の増加傾向を把握し、現時点から、予め設定された閾値（故障に至る特徴量の値）に到達するまでの時間を算出することにより、故障までの時間を導出することができる。

【0116】

当該閾値は、例えば、レーザアニール装置 1 の管理者等による操作によって動的に変更できるものであってもよい。制御装置 9 の制御部 91 は、管理者等による閾値の変更を受け、閾値が変更された場合、変更後の閾値に基づき故障までの時間を再計算する。制御装置 9 の制御部 91 は、現時点の日時に故障までの時間を加算することにより、故障時期を算出する。又は、制御装置 9 の制御部 91 は、現時点の日時に、故障までの時間及び計画停止時間を加算することにより、故障時期を算出するものであってもよい。

10

【0117】

保守作業アドバイス表示エリアには、対象となる可動部品の故障までの時間又は故障時期等に基づき、生成されたアドバイス文が表示される。制御装置 9 の制御部 91 は、例えば記憶部 92 に記憶されている状態（故障までの時間又は故障時期等）及び行動（アドバイス）が関連付けられたテーブルを参照することにより、現時点における可動部品の故障までの時間等に対するアドバイスを生成するものであってもよい。

20

【0118】

（その他の実施形態）

図 12、図 13、図 14、図 15 及び図 16 は、その他の実施形態（半導体装置の製造方法）に係る半導体装置の製造方法を示す工程断面図である。その他の実施の形態として、上記実施の形態に係るレーザアニール装置 1 を用いた半導体装置の製造方法について説明する。以下の半導体装置の製造方法のうち、非晶質の半導体膜を結晶化させる工程において、実施の形態 1 から 4 に係るレーザアニール装置 1 を用いたアニール処理を実施している。

【0119】

半導体装置は、TFT（Thin Film Transistor）を備える半導体装置であり、この場合は、アモルファスシリコン膜 84 にレーザ光を照射して結晶化し、ポリシリコン膜 85 を形成することができる。ポリシリコン膜 85 は、TFT のソース領域、チャネル領域、ドレイン領域を有する半導体層として用いられる。

30

【0120】

上記で説明した実施の形態に係るレーザアニール装置 1 は、TFT アレイ基板の製造に好適である。以下、TFT を有する半導体装置の製造方法について説明する。

【0121】

まず、図 12 に示すように、ガラス基板 81（基板 8）の上に、ゲート電極 82 を形成する。ゲート電極 82 は、例えば、アルミニウムなどを含む金属薄膜を用いることができる。次に、図 13 に示すように、ゲート電極 82 の上に、ゲート絶縁膜 83 を形成する。ゲート絶縁膜 83 は、ゲート電極 82 を覆うように形成される。その後、図 14 に示すように、ゲート絶縁膜 83 の上に、アモルファスシリコン膜 84 を形成する。アモルファスシリコン膜 84 は、ゲート絶縁膜 83 を介して、ゲート電極 82 と重複するように配置されている。

40

【0122】

ゲート絶縁膜 83 は、窒化シリコン膜（SiNx）、酸化シリコン膜（SiO₂ 膜）、又はこれらの積層膜等などである。具体的には、CVD（Chemical Vapor Deposition）法により、ゲート絶縁膜 83 とアモルファスシリコン膜 84 とを連続成膜する。アモルファスシリコン膜 84 付のガラス基板 81 がレーザアニール装置 1（レーザ照射装置）における半導体膜となる。

【0123】

そして、図 15 に示すように、上記で説明したレーザアニール装置 1 を用いてアモルフ

50

アスシリコン膜 8 4 にレーザ光 L 3 を照射してアモルファスシリコン膜 8 4 を結晶化させて、ポリシリコン膜 8 5 を形成する。これにより、シリコンが結晶化したポリシリコン膜 8 5 がゲート絶縁膜 8 3 上に形成される。

【 0 1 2 4 】

その後、図 16 に示すように、ポリシリコン膜 8 5 の上に層間絶縁膜 8 6 、ソース電極 8 7 a 、及びドレイン電極 8 7 b を形成する。層間絶縁膜 8 6 、ソース電極 8 7 a 、及びドレイン電極 8 7 b は、一般的なフォトリソグラフィー法や成膜法を用いて形成することができる。これ以降の製造工程については、最終的に製造するデバイスによって異なるので説明を省略する。

【 0 1 2 5 】

上記で説明した半導体装置の製造方法を用いることで、多結晶半導体膜を含む TFT を備える半導体装置を製造することができる。このような半導体装置は、有機 EL (Electro Luminescence) ディスプレイなどの高精細ディスプレイの制御用に好適である。上記のようにポリシリコン膜 8 5 のムラを抑制することで、表示特性の優れた表示用装置を高い生産性で製造することができる。

10

【 0 1 2 6 】

これら一連の加工工程を行うにあたり、レーザアニール装置 1 に含まれる真空ポンプ等の可動部品は、当該可動部品を可動させる際に取得した物理量等に基づき、実施形態 1 等にて開示されている処理によって故障時期が予測される。予測された故障時期に応じて、これら可動部品の点検又は交換等の保守作業を行うことができ、これによりレーザアニール装置 1 のダウントIMEを削減し、レーザアニール装置 1 の稼働率を向上させることができる。

20

【 0 1 2 7 】

なお、本開示は上記実施の形態に限られたものではなく、趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更することが可能である。例えば、において、アモルファスシリコン膜 8 4 にレーザ光を照射してポリシリコン膜 8 5 を形成する例に限らず、アモルファスシリコン膜 8 4 にレーザ光を照射してマイクロクリスタルシリコン膜を形成してもよい。また、シリコン膜以外の非晶質膜にレーザ光を照射して、結晶化膜を形成してもよい。

【 0 1 2 8 】

今回開示された実施の形態は全ての点で例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。各実施例にて記載されている技術的特徴は互いに組み合わせることができ、本発明の範囲は、特許請求の範囲内での全ての変更及び特許請求の範囲と均等の範囲が含まれることが意図される。

30

【 符号の説明 】

【 0 1 2 9 】

1 レーザアニール装置 (レーザ照射装置)

1 1 アニール光学系

2 レーザ光源

2 1 第 1 レーザ光源

2 2 第 2 レーザ光源

40

3 1 第 1 アッテネータ

3 2 第 2 アッテネータ

4 1 第 1 偏光比制御ユニット

4 2 第 2 偏光比制御ユニット

5 合成光学系

6 ビーム整形光学系

6 1 落射ミラー

6 5 プロジェクションレンズ

7 レーザ照射室

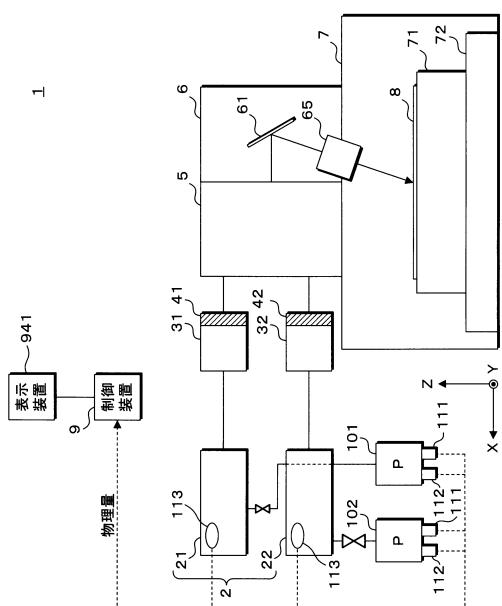
7 1 ステージ

50

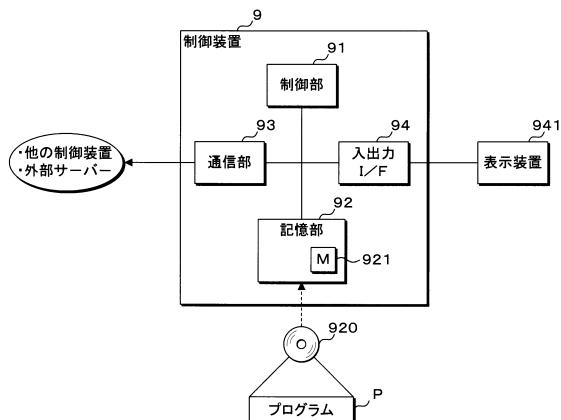
7 2 ベース		
8 基板		
9 制御装置		
9 1 制御部（故障予測部）		
9 2 記憶部		
9 2 0 記録媒体		
P プログラム（プログラム製品）		
9 2 1 真空ポンプ用学習モデル	10	
9 2 2 コールドヘッド用学習モデル		
9 2 3 He コンプレッサー用学習モデル		
9 2 4 ダイアフラムポンプ用学習モデル		
9 2 5 特徴量学習モデル		
9 3 通信部		
9 4 入出力 I / F		
9 4 1 表示装置		
1 0 1 第1真空ポンプ		
1 0 2 第2真空ポンプ		
1 0 3 コールドヘッド		
1 0 4 He コンプレッサー		
1 0 5 ダイアフラムポンプ	20	
1 1 1 温度センサー		
1 1 2 振動センサー		
1 1 3 圧力センサー		
8 1 ガラス基板		
8 2 ゲート電極		
8 3 ゲート絶縁膜		
8 4 アモルファスシリコン膜		
8 5 ポリシリコン膜		
8 6 層間絶縁膜		
8 7 a ソース電極		
8 7 b ドレイン電極	30	

〔 図 面 〕

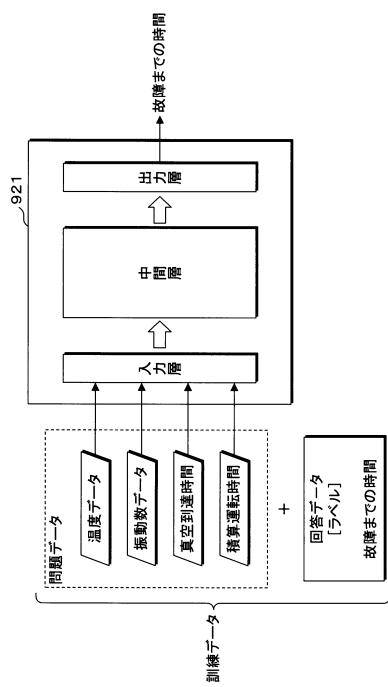
〔 1 〕



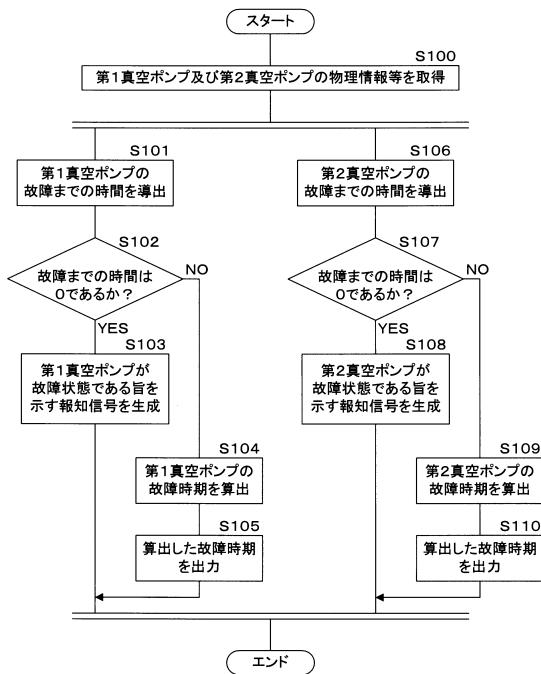
〔圖2〕



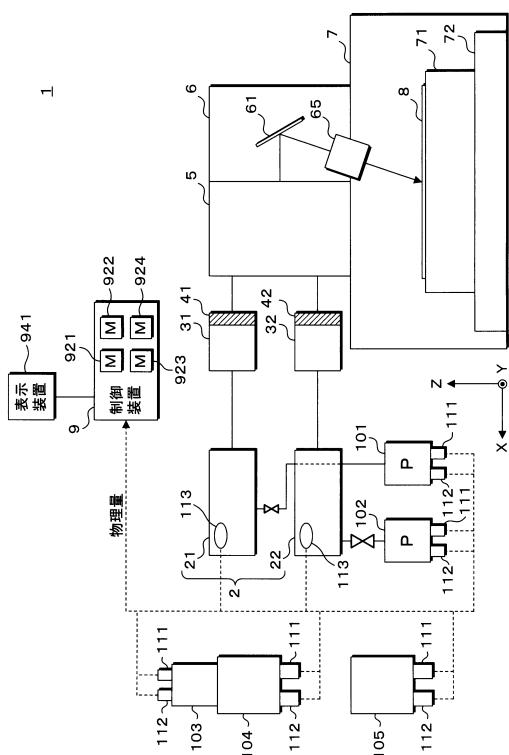
【図3】



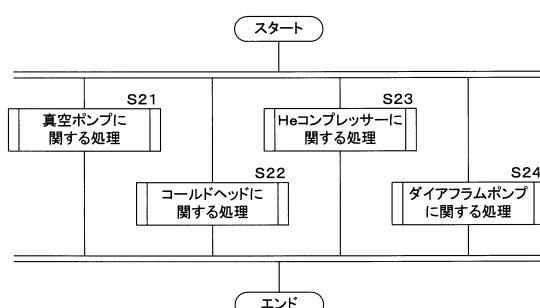
【 図 4 】



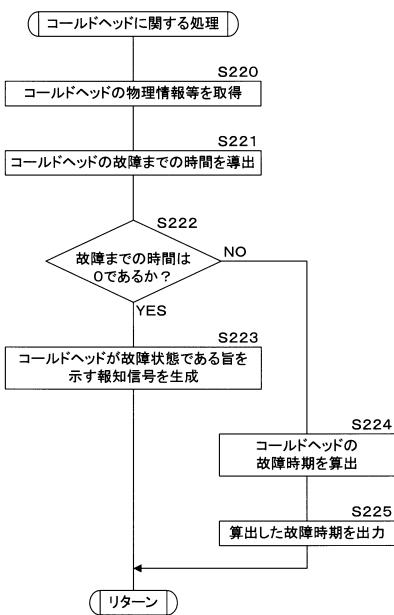
【図5】



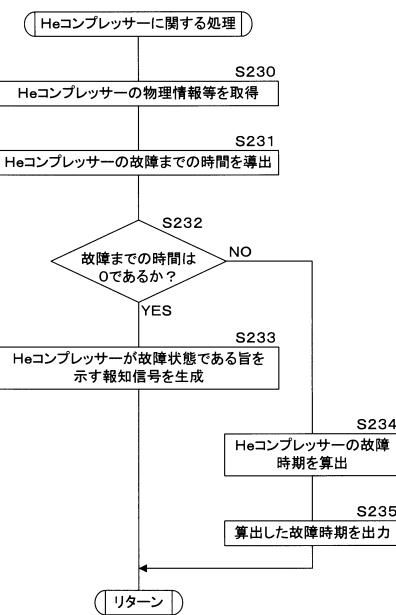
【図6】



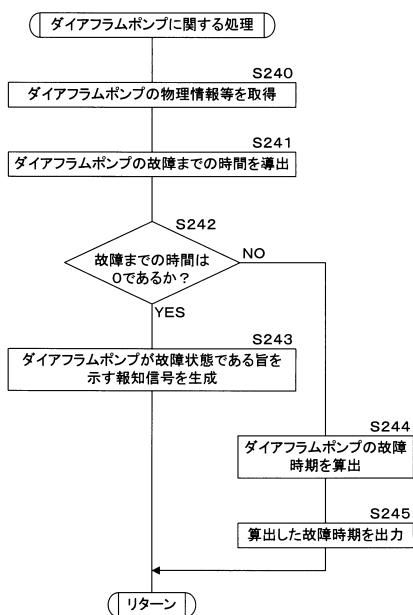
【図7】



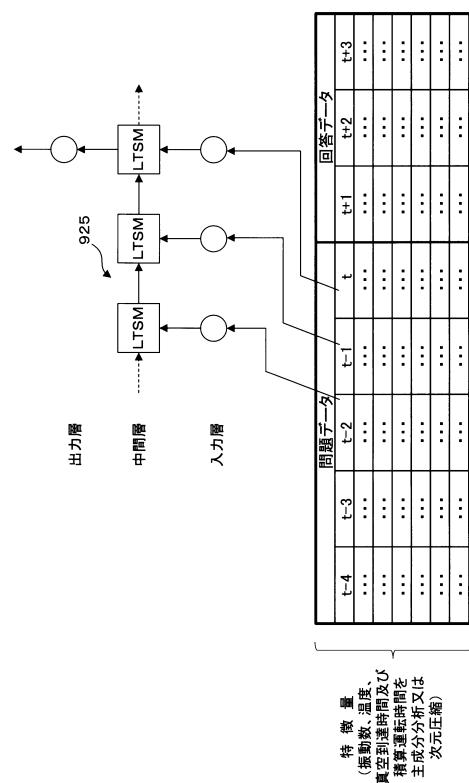
【 図 8 】



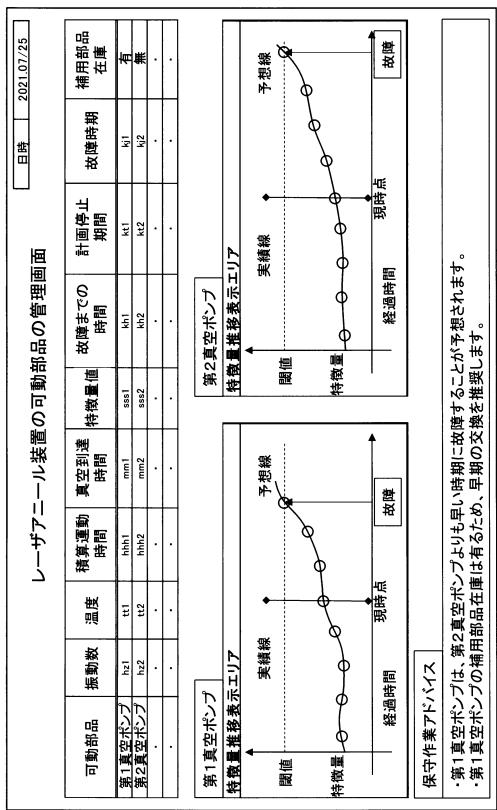
【図9】



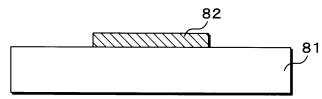
【 10 】



【図 1 1】

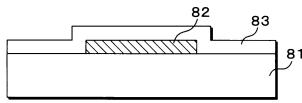


【図 1 2】

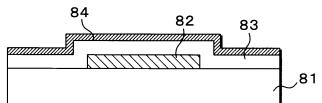


10

【図 1 3】



【図 1 4】



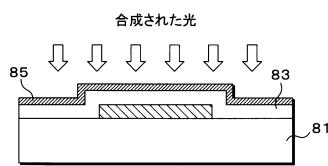
20

30

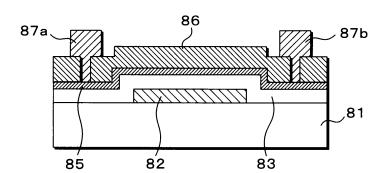
40

50

【図15】



【図16】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

東京都品川区大崎一丁目11番1号 株式会社日本製鋼所内

審査官 正山 旭

(56)参考文献 特表2012-530875 (JP, A)

特開平08-227855 (JP, A)

特開2008-300351 (JP, A)

特開2015-209561 (JP, A)

特開平10-135196 (JP, A)

特開平11-199207 (JP, A)

米国特許第06008101 (US, A)

米国特許出願公開第2012/0209569 (US, A1)

米国特許出願公開第2015/0292082 (US, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01L 21/268

H01L 21/20

H10D 30/01