

明 細 書

発明の名称：

冷却ユニット、対物レンズモジュール及び半導体検査装置

技術分野

[0001] 本開示は、冷却ユニット、対物レンズモジュール及び半導体検査装置に関する。

背景技術

[0002] 特許文献1～4には、半導体デバイスの検査において用いられる冷却ユニットが記載されている。これらの冷却ユニットは、駆動中の半導体デバイスを冷却しながら観察するために用いられる。特許文献1～3に記載された冷却ユニットでは、半導体デバイスに冷却液を噴射することにより、半導体デバイスが冷却される。特許文献4に記載された冷却ユニットでは、冷却ユニットと半導体デバイスとの間に空間が形成されるように冷却ユニットを配置し、冷却ユニットに設けられた供給流路から当該空間に冷却流体を流すことにより、半導体デバイスが冷却される。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：米国特許第6621275号公報

特許文献2：特表2006-519359号公報

特許文献3：米国特許公開2009-0095097号公報

特許文献4：特開2020-106361号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献4に記載されたような冷却ユニットの使用時には、冷却ユニットと半導体デバイスとの間の空間から冷却流体が排出されることで、当該空間内の圧力が負圧となっている場合がある。このような状態において例えば検査位置の変更のために冷却ユニットを半導体デバイスが配置されるステージ

に沿って側方に移動させようとする、負圧によって冷却ユニットがステージに張り付いてしまい、冷却ユニットを移動させることができなかつたり、移動精度が低下してしまつたりするおそれがある。

[0005] そこで、本開示の一側面は、冷却流体を流しながら冷却ユニットを精度良く移動させることが可能な冷却ユニット、対物レンズモジュール及び半導体検査装置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] 本開示の一側面に係る冷却ユニットは、半導体デバイスの検査において用いられる冷却ユニットであつて、半導体デバイスの熱を放熱するためのジャケットを備え、ジャケットは、中央部と、中央部の周囲に位置する外側部と、を有し、中央部には、半導体デバイスからの光が通過する開口が形成されており、外側部は、半導体デバイスが配置されるステージに接触する接触部を有し、ジャケットには、半導体デバイスを冷却するための冷却流体が流れる供給流路が形成されており、ジャケットには、外側部の内側とジャケットの外部との間での空気の流通を可能とする通気経路が形成されている。

[0007] この冷却ユニットでは、ジャケットに、外側部の内側とジャケットの外部との間での空気の流通を可能とする通気経路が形成されている。これにより、外側部の接触部がステージに接触することで形成される空間とジャケットの外部との間での空気の流通が可能となり、当該空間内の圧力が負圧になることを抑制することができる。その結果、冷却流体を流しながら冷却ユニットをステージに沿って移動させる際に、負圧によって冷却ユニットがステージに張り付いてしまう事態の発生を抑制することができる。よつて、この冷却ユニットによれば、冷却流体を流しながら冷却ユニットを精度良く移動させることが可能となる。

[0008] ジャケットにおける中央部と外側部との間には、溝部が形成されており、通気経路は、溝部に接続されていてもよい。この場合、溝部は冷却流体で満たされにくいことから、通気経路を介した上記空間とジャケットの外部との間での空気の流通を確実化することができる。

- [0009] 通気経路は、溝部に配置された通気部材を介して溝部に接続されていてもよい。この場合、通気経路に冷却流体が浸入することを抑制することができる。
- [0010] 通気部材は、通気経路に接続された内部空間を有し、内部空間は、通気部材の側面において開口して溝部に接続されていてもよい。この場合、通気経路（内部空間）に冷却流体が浸入することを効果的に抑制することができる。
- [0011] 通気部材は、側面を含む本体部と、カバーと、を有し、カバーは、側面に対して突出するように本体部上に配置されていてもよい。この場合、通気経路（内部空間）に冷却流体が浸入することを一層効果的に抑制することができる。
- [0012] 溝部は、中央部の上面から冷却流体が流れ落ちるように構成されており、溝部には、外部に排出される冷却流体が流れる排出流路が接続されていてもよい。この場合、外側部の接触部がステージに接触することで形成される空間に冷却流体を流す際に、冷却流体が当該空間の外縁部に至ることを抑制することができる。その結果、当該空間の外縁部から冷却流体が漏れることを抑制することができ、防水性能を向上することができる。
- [0013] 通気経路は、常に開放されていてもよい。この場合、外側部の接触部がステージに接触することで形成される空間の圧力が負圧になることを確実に抑制することができる。
- [0014] 本開示の一側面に係る対物レンズモジュールは、上記冷却ユニットと、開口に配置されるイメージンレンズと、イメージンレンズと向かい合う対物レンズと、を備える。この対物レンズモジュールによれば、上述した理由により、冷却流体を流しながら冷却ユニットを精度良く移動させることが可能となる。
- [0015] 本開示の一側面に係る対物レンズモジュールは、対物レンズに取り付けられ、イメージンレンズを保持するホルダと、ホルダに設けられ、イメージンレンズを対物レンズとは反対側に付勢する第1付勢部材と、ジャケット

に設けられ、イメージョンレンズに付勢力を作用させることなくジャケットをステージに向けて付勢する第2付勢部材と、を更に備えてもよい。この場合、冷却流体を流しながらの冷却ユニットのステージに沿っての移動を良好に実現することができる。

- [0016] 本開示の一側面に係る半導体検査装置は、冷却ユニットと、開口に配置されるイメージョンレンズと、半導体デバイスが配置されるステージと、イメージョンレンズと向かい合う対物レンズと、半導体デバイスからの光をイメージョンレンズ及び対物レンズを介して検出する光検出器と、を備える。この半導体検査装置によれば、上述した理由により、冷却流体を流しながら冷却ユニットを精度良く移動させることが可能となる。

発明の効果

- [0017] 本開示の一側面によれば、冷却流体を流しながら冷却ユニットを精度良く移動させることが可能となる冷却ユニット、対物レンズモジュール及び半導体検査装置を提供することが可能となる。

図面の簡単な説明

- [0018] [図1]実施形態に係る半導体検査装置の構成図である。
[図2]対物レンズモジュールの周辺の断面図である。
[図3]対物レンズモジュールの平面図である。
[図4]図3のIV－IV線に沿っての冷却ユニットの断面図であり、図2の部分拡大図である。
[図5]図3のV－V線に沿っての冷却ユニットの断面図である。
[図6]図5の部分拡大図である。
[図7]図3のVII－VII線に沿っての冷却ユニットの断面図である。
[図8]図7の部分拡大図である。
[図9]対物レンズモジュールの斜視図である。
[図10]通気部材の分解斜視図である。
[図11] (a) 及び (b) は、実施形態に係る対物レンズモジュールの動作を説明するための図である。

[図12] (a) 及び (b) は、実施形態に係る対物レンズモジュールの動作を説明するための図である。

[図13] (a) 及び (b) は、第1変形例に係る対物レンズモジュールの動作を説明するための図である。

[図14] (a) 及び (b) は、第1変形例に係る対物レンズモジュールの動作を説明するための図である。

[図15] 第2変形例に係る対物レンズモジュールの平面図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、本開示の実施形態について、図面を参照しつつ詳細に説明する。以下の説明において、同一又は相当要素には同一符号を用い、重複する説明を省略する。

[半導体検査装置]

[0020] 図1に示される半導体検査装置1は、検査対象のデバイス(DUT: Device Under Test)である半導体デバイス2を観察して検査するための装置である。半導体検査装置1は、例えば、半導体デバイス2における故障箇所を特定するために用いられる。

[0021] 半導体デバイス2は、例えば、ロジックLSI (Large Scale Integration) を含むデバイスである。ロジックLSIは、MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) 構造のトランジスタ、バイポーラ構造のトランジスタ等により構成される。半導体デバイス2の消費電力は、例えば200W程度である。半導体デバイス2は、ステージ3に配置(固定)されている。

[0022] 半導体検査装置1は、信号入力装置11と、光源12と、光学系13と、光検出器14と、制御部15とを備えている。信号入力装置11は、半導体デバイス2に電氣的に接続されており、半導体デバイス2に信号を入力して半導体デバイス2を駆動させる。信号入力装置11は、例えば、半導体デバイス2に刺激信号を加えるパルスジェネレータ、又は、半導体デバイス2にテスト信号を入力するテストユニット等である。信号入力装置11は、半導体デバイス2に所定のテストパターン等の信号を繰り返し入力する。信号入

力装置 11 が入力する信号は、変調電圧信号であってもよいし、直流電圧信号であってもよい。

[0023] 光源 12 は、半導体デバイス 2 を照明する光を出力する。光源 12 は、例えば、LED (Light Emitting Diode)、LD (Laser Diode)、SLD (Super luminescent Diode) 又はランプ光源等である。光源 12 から出力される光の波長は、例えば 1064 nm 以上であってもよい。光源 12 から出力された光は、光学系 13 に導かれる。

[0024] 光学系 13 は、光源 12 から出力された光を半導体デバイス 2 の表面 2a へ導光すると共に、半導体デバイス 2 の表面 2a からの光を光検出器 14 へ導光する。光学系 13 は、例えば、対物レンズ 16、光スキャナ（図示省略）及びビームスプリッタ（図示省略）を含んで構成されている。対物レンズ 16 は、光源 12 から出力されてビームスプリッタ及び光スキャナによって導かれた光を、観察エリアに集光したり観察エリアにて走査したりする。光学系 13 は、例えば XYZ ステージ（図示省略）に載置されている。XYZ ステージは、対物レンズ 16 の光軸に平行な方向を Z 方向とすると、Z 方向、並びに、Z 方向に直交する X 方向及び Y 方向に移動可能に構成されている。XYZ ステージの位置によって観察エリアが決定する。

[0025] 光源 12 から出力されて光学系 13 から出射された光は、駆動中の半導体デバイス 2 により反射され、光学系 13 を介して光検出器 14 に入射する。このとき、半導体デバイス 2 の駆動状態に伴って、半導体デバイス 2 により反射される光の強度が変調される。

[0026] 光検出器 14 は、半導体デバイス 2 で変調された光を検出し、波形データを出力する。光検出器 14 は、光スキャナによって半導体デバイス 2 に対して光が走査されている間に入射した光を検出し、測定画像を出力してもよい。これらの波形データや測定画像に基づいて、半導体デバイス 2 における故障箇所を特定することができる。

[0027] 光検出器 14 は、半導体デバイス 2 に対して光が走査されている間に入射した光を検出し、パターン画像を出力してもよい。パターン画像とは、半導

体デバイス 2 の回路パターン等を確認可能となるように撮像された画像である。光検出器 1 4 としては、例えば、半導体デバイス 2 の基板を透過する波長の光を検出可能なフォトダイオード、A P D (Avalanche Photodiode)、S i P M (Silicon Photomultiplier) 等を用いることができる。

[0028] 制御部 1 5 は、信号入力装置 1 1、光源 1 2、光学系 1 3 及び光検出器 1 4 等に電氣的に接続されており、半導体検査装置 1 全体の制御を行う。制御部 1 5 は、例えば、プロセッサ (C P U : Central Processing Unit)、並びに記憶媒体である R A M (Random Access Memory)、R O M (Read Only Memory) 及び H D D (Hard Disk Drive) 等を含むコンピュータにより構成されている。制御部 1 5 は、記憶媒体に記憶されたデータに対し、プロセッサによる処理を実行する。制御部 1 5 は、例えば、光検出器 1 4 の検出結果に基づいて、半導体デバイス 2 における故障箇所の特定制理を実施する。

[半導体デバイスの冷却のための構成]

[0029] 半導体検査装置 1 は、冷却ユニット 2 1 と、貯留タンク 2 2 と、4 つのレギュレータ (圧力調整部) 2 3 と、ドレーンタンク 2 4 と、チラー 2 5 とを更に備えている。冷却ユニット 2 1、貯留タンク 2 2、レギュレータ 2 3、ドレーンタンク 2 4 及びチラー 2 5 は、検査中に半導体デバイス 2 を冷却するために用いられる。冷却ユニット 2 1 は、対物レンズ 1 6 と組み合わせられて対物レンズモジュール 7 0 を構成している。

[冷却ユニット]

[0030] 図 2 ～図 1 0 を参照しつつ、冷却ユニット 2 1 について説明する。冷却ユニット 2 1 は、半導体デバイス 2 と向かい合うように配置され、半導体デバイス 2 との間に空間 (隙間) S 1 を画定する。半導体検査装置 1 では、空間 S 1 に冷却流体 5 を流すことにより、半導体デバイス 2 が冷却される。冷却流体 5 は、例えば水又は純水であるが、フロリナート (登録商標) 系の電気絶縁性を有する液体であってもよい。

[0031] 冷却ユニット 2 1 は、半導体デバイス 2 が配置されたステージ 3 に接触す

るように配置される（ステージ3に取り付けられる）。この例では、ステージ3は、DUTボード3aと、保持部3bとを備えている。DUTボード3aは、例えば、板状に形成され、信号入力装置11と半導体デバイス2との間の接続部を構成している。DUTボード3aには、信号入力装置11と半導体デバイス2との間の接続部を構成するソケットが組み込まれていてもよい。この例では、半導体デバイス2は、パッケージ2bと、パッケージ2bから突出したダイ2cとを有している。一例として、パッケージ2bはPCボードであり、ダイ2cは、パッケージ2b上に実装（接合）された半導体部分である。

[0032] 保持部3bは、DUTボード3aに固定され、半導体デバイス2を保持している。保持部3bは、例えば、金属により板状に形成されている。保持部3bには、半導体デバイス2が配置される開口3cが設けられている。保持部3bは、半導体デバイス2が開口3cから脱落しないように半導体デバイス2のパッケージの周縁部に接触して半導体デバイス2に係止される係止部3dを有している。

[0033] 冷却ユニット21は、半導体デバイス2の熱を放熱するためのジャケット31を備えている。ジャケット31は、例えば、金属材料により有底の略円筒状に形成されている。ジャケット31は、半導体デバイス2及び保持部3bと向かい合うように配置されている。このジャケット31内に上述した対物レンズ16が配置されている。

[0034] 以下、対物レンズ16の光軸Lに平行な方向を方向D1として説明する。方向D1は上述したZ方向に平行な方向である。また、ステージ3に配置された半導体デバイス2と対物レンズ16が向かい合う状態において、半導体デバイス2に対して対物レンズ16が位置する側を下側とし、対物レンズ16に対して半導体デバイス2が位置する側を上側とする。冷却ユニット21は、半導体デバイス2が対物レンズ16に対して鉛直方向における上側に位置する状態で用いられる。

[0035] ジャケット31は、方向D1から見た場合に、中央部32と、外側部33

と、中間部 3 4 とを有している。以下、方向 D 1 から見た場合における各部の配置及び形状等について説明する。中央部 3 2 は、ジャケット 3 1 の中心を含む部分であり、この例では円形状の部分である。外側部 3 3 は、中央部 3 2 の周囲に位置する部分であり、中央部 3 2 を囲んでいる。外側部 3 3 は、この例ではジャケット 3 1 の外縁部（外周部）を構成する円環状の部分である。中間部 3 4 は、中央部 3 2 と外側部 3 3 との間に位置する部分である。中間部 3 4 は、外側部 3 3 の内側に配置されており、中央部 3 2 を囲んでいる。中間部 3 4 は、この例では円環状の部分である。以下、外側部 3 3 に対して中央部 3 2 が位置する側を内側（径方向の内側）とし、中央部 3 2 に対して外側部 3 3 が位置する側を外側（径方向の外側）として説明する。

[0036] ジャケット 3 1 は、上述したとおり有底の略円筒状に形成されており、概略的には、上側の底部を含む部分を構成する第 1 部材 M 1 と、筒状部を構成する第 2 部材 M 2 と、下側の底部を含む部分を構成する第 3 部材 M 3 と、を含んで構成されている。第 1 部材 M 1 と第 2 部材 M 2 とが互いに接続されると共に第 2 部材 M 2 と第 3 部材 M 3 とが互いに接続されることにより、ジャケット 3 1 が構成されている。中央部 3 2 は第 1 部材 M 1 により構成されており、外側部 3 3 及び中間部 3 4 の各々は第 1 部材 M 1 及び第 2 部材 M 2 により構成されている。中央部 3 2 は、略円板状に形成されており、外側部 3 3 及び中間部 3 4 は、中央部 3 2 よりも厚さが厚い略円環板状（円筒状）に形成されている。

[0037] 中央部 3 2 には、方向 D 1 に沿って中央部 3 2 を貫通する開口 3 5 が形成されている。開口 3 5 は、方向 D 1 から見た場合に例えば略円形状を呈している。開口 3 5 は、光軸 L 上に位置しており、半導体デバイス 2 からの光が開口 3 5 を通過する。開口 3 5 には、半導体デバイス 2 からの光が入射する固浸レンズ（イマージョンレンズ）7 2 が配置される。固浸レンズ 7 2 の詳細については後述する。

[0038] 図 3 及び図 4 に示されるように、開口 3 5 には、可撓性部材 4 5 及び固定部材 3 7、3 8 が更に配置されている。可撓性部材 4 5 は、例えばシリコー

ン等の樹脂（例えば、シリコーンゴム）により形成されており、面状の部材が部分的に蛇腹状に曲げられた形状を有している。可撓性部材４５は、その中央部に開口を有しており、当該開口に固浸レンズ７２が配置されている。可撓性部材４５は、当該開口の縁部において固浸レンズ７２の周縁部に接触しており、これにより固浸レンズ７２と可撓性部材４５の間が水密に封止されている。可撓性部材４５は、固定部材３７、３８により中央部３２に固定されている。固定部材３７は、円環板状に形成されており、例えばボルト等の締結部材３７ａにより可撓性部材４５に固定されている。固定部材３８は、円環板状に形成されており、固定部材３７を囲むように配置されている。固定部材３８は、例えばボルト等の締結部材３８ａにより中央部３２に固定されており、開口３５の縁部に形成された突出部３５ａとの間で可撓性部材４５の外縁部を挟持している。これにより、可撓性部材４５と中央部３２との間が水密に封止されている。

[0039] 中央部３２は、冷却ユニット２１がステージ３に取り付けられた状態（開口３５が半導体デバイス２と向かい合う状態）において、半導体デバイス２と向かい合って半導体デバイス２との間に空間Ｓ１を画定する空間画定面３２ａを有している。空間画定面３２ａは、中央部３２の上面である。この例では、空間画定面３２ａは、方向Ｄ１と垂直な平面に沿って延在する円環状の平坦面であり、半導体デバイス２及び保持部３ｂと向かい合っている。空間画定面３２ａは、方向Ｄ１から見た場合に、上述した開口３５と隣り合っており、開口３５を囲んでいる。空間Ｓ１の厚さ（方向Ｄ１における最小厚さ、すなわち、方向Ｄ１におけるダイ２ｃと空間画定面３２ａとの間の距離）は、例えば０．０５ｍｍ以上１．０ｍｍ以下程度である。

[0040] 外側部３３は、ステージ３に接触して空間Ｓ１の外縁部を画定する接触部３９を有している。つまり、外側部３３の接触部３９がステージ３に接触することで空間Ｓ１が形成される。外側部３３の上面３３ａには、弾性部材４１、４２がそれぞれ配置される一対の配置溝３３ｂが形成されている（図４）。弾性部材４１、４２は、ジャケット３１と保持部３ｂとの間で挟まれて

空間S 1の外縁部を封止するための部材であり、例えばOリングである。図3に示されるように、弾性部材4 1, 4 2は例えばリング状に形成されている。図3では、理解を容易にするために、弾性部材4 1, 4 2がハッチングで示されている。この例では、外側部3 3及び弾性部材4 1, 4 2により、ステージ3に接触して空間S 1の外縁部を画定する接触部3 9が構成されている。

[0041] 図3、図5及び図6に示されるように、中間部3 4には、空間画定面3 2 aから冷却流体5が流れ落ちるように構成された溝部5 1が形成されている。溝部5 1は、第1部分5 2と、方向D 1において第1部分5 2に対して下側（空間画定面3 2 aとは反対側）に位置する第2部分5 3と、を有している。第1部分5 2は、方向D 1から見た場合に周方向に沿って延在するように略リング状に形成されているが、複数（この例では8つ）のブリッジ部3 6により複数の部分5 2 aに仕切られている。すなわち、第1部分5 2は、隣り合うブリッジ部3 6により隔てられた複数の部分5 2 a（ポケット部）を有している。各部分5 2 aは、方向D 1から見た場合に略環状扇形を呈している。各ブリッジ部3 6は、中央部3 2と外側部3 3とを互いに接続している。複数のブリッジ部3 6は、周方向において一定の間隔を空けて並んでいる。各ブリッジ部3 6は、径方向に沿って延在する壁部によって構成されている。

[0042] 図4に示されるように、ブリッジ部3 6の上面3 6 aは、空間画定面3 2 aよりも低い位置に位置する部分3 6 bを有している。上面3 6 aは、ブリッジ部3 6における空間画定面3 2 aに接続された表面である。この例では、上面3 6 aに凹部が形成されることにより部分3 6 bが形成されている。部分3 6 bは、空間画定面3 2 aの外縁に接続された傾斜面3 6 b 1と、傾斜面3 6 b 1の外縁に接続された平坦面3 6 b 2と、平坦面3 6 b 2の外縁に接続された傾斜面3 6 b 3と、傾斜面3 6 b 3の外縁に接続された平坦面3 6 b 4と、を有している。傾斜面3 6 b 1, 3 6 b 3は、下側に向かうほど外側に向かうように傾斜している。空間画定面3 2 aに平行な平面に対す

る傾斜面 3 6 b 3 の傾斜角度は、当該平面に対する傾斜面 3 6 b 1 の傾斜角度よりも大きい。平坦面 3 6 b 4 は、凹部の底面を構成しており、平坦面 3 6 b 2 よりも下側に位置している。平坦面 3 6 b 4 は、方向 D 1 から見た場合に外側部 3 3 と隣り合っている。平坦面 3 6 b 4 は、外側部 3 3 の上面 3 3 a よりも低い位置に位置しており、これによりブリッジ部 3 6 と外側部 3 3 との間には段差部が形成されている。

[0043] 図 6 に示されるように、第 2 部分 5 3 は、第 1 部分 5 2 の下端に接続されている。第 2 部分 5 3 は、方向 D 1 から見た場合に周方向に沿って延在するリング状に形成されており、空間画定面 3 2 a を囲んでいる。すなわち、第 2 部分 5 3 は、第 1 部分 5 2 とは異なり、全周にわたって連続するように形成されている。第 2 部分 5 3 は、第 1 部分 5 2 よりも狭く形成されている。すなわち、溝部 5 1 は、第 2 部分 5 3 における第 1 部分 5 2 との境界部において狭くなっている。この例では、径方向における第 2 部分 5 3 の幅が径方向における第 1 部分 5 2 の幅よりも狭くなっていることにより、第 2 部分 5 3 が第 1 部分 5 2 よりも狭く形成されている。

[0044] 第 2 部分 5 3 の内面 5 3 a は、下側に向かうほど内側に向かうように傾斜した傾斜面 5 3 b を含んでいる。内面 5 3 a は、第 2 部分 5 3 における径方向の外側の内面であり、溝部 5 1 における径方向の外側の内面の一部を構成している。傾斜面 5 3 b は、内面 5 3 a における第 1 部分 5 2 との境界部に形成されており、上端において第 1 部分 5 2 に接続されている。周方向においては、傾斜面 5 3 b は全周にわたって形成されている。

[0045] 溝部 5 1 内の空間は、空間画定面 3 2 a と半導体デバイス 2 との間に画定される空間 S 1 に接続されている。或いは、溝部 5 1 内の空間は、空間 S 1 の一部を構成しているとみなすこともできる。溝部 5 1 は、空間画定面 3 2 a から下側に延在している。そのため、空間 S 1 を流れる冷却流体 5 は、空間画定面 3 2 a から溝部 5 1 に流れ落ちる。すなわち、冷却流体 5 は、重力により落下して空間画定面 3 2 a 上から溝部 5 1 内に移動する。溝部 5 1 に流れ落ちた冷却流体 5 は、例えば第 1 部分 5 2 から傾斜面 5 3 b を伝って第

2部分53に移動し、第2部分53に貯留される。第2部分53に貯留された冷却流体5は、後述する排出流路62から排出される。

[0046] ジャケット31には、空間S1に供給される冷却流体5が流れる4つの供給流路61、及び、空間S1から外部に排出される冷却流体5が流れる4つの排出流路62が形成されている。図2及び図4に示されるように、供給流路61は、ジャケット31の側方においてジャケット31の外部に開口すると共に、中央部32の空間画定面32aに開口している。ジャケット31の側方における開口には、貯留タンク22から供給される冷却流体5が流れる配管P1が接続されている。

[0047] 図4に示されるように、供給流路61は、第1部分61aと、第2部分61bとを有している。第1部分61aは、外側部33を通るように形成されており、ジャケット31の外部に開口している。第2部分61bは、第1部分61aに接続されてブリッジ部36を通るように形成されており、空間画定面32aに開口した供給口61cを有している（図3、図4）。冷却流体5は供給口61cから空間画定面32a（空間S1）に供給される。第2部分61bは、径方向に沿って延在しており、内側に向かうほど上側に向かうように傾斜して延在している。4つの供給流路61は、周方向において一定の間隔を空けて並ぶように配置されている。この例では、8つのブリッジ部36のうちの4つに対応する位置に供給流路61が形成されている。供給流路61から空間S1に供給された冷却流体5は、空間S1内を固浸レンズ72（開口35）に向けて流れる。図4には、冷却流体5が供給流路61を通して供給される経路の例が破線の矢印で示されている。

[0048] 図5及び図6に示されるように、排出流路62は、外側部33を通るように形成されており、ジャケット31の側方においてジャケット31の外部に開口すると共に、溝部51の第2部分53に開口している。ジャケット31の側方における開口には、ドレーンタンク24に排出される冷却流体5が流れる配管P2が接続されている。排出流路62は、第2部分53の底部に開口した排出口62aを有しており、排出口62aにおいて第2部分53に接

続されている。冷却流体 5 は第 2 部分 5 3 から排出口 6 2 a を通って排出される。4 つの排出流路 6 2 は、任意の位置に配置されてよい。この例では、各排出流路 6 2 は、周方向において隣り合う 2 つのブリッジ部 3 6 の間に位置するように配置されている。図 6 には、冷却流体 5 が溝部 5 1 及び排出流路 6 2 を通って排出される経路の例が破線の矢印で示されている。

[0049] 更に、ジャケット 3 1 には、空間 S 1（外側部 3 3 の内側）とジャケット 3 1 の外部との間での空気の流通が可能となるように空間 S 1 をジャケット 3 1 の外部に接続する通気経路 6 5 が形成されている（大気開放構造）。図 8～図 10 に示されるように、通気経路 6 5 は、ジャケット 3 1 の側方においてジャケット 3 1 の外部に開口すると共に、通気部材 6 6 を介して溝部 5 1 に開口している。ジャケット 3 1 の側方における開口は開放されている（塞がれていない）。

[0050] 通気部材 6 6 は、溝部 5 1 の第 1 部分 5 2 に配置されている。通気部材 6 6 は、本体部 6 7 と、カバー 6 8 とを有している。本体部 6 7 は、略直方体状に形成されており、互いに対向する一对の側面 6 7 a を有している。本体部 6 7 の表面 6 7 b には、溝部 6 7 c が形成されている。表面 6 7 b は、カバー 6 8 によって覆われる表面である。溝部 6 7 c は、一方の側面 6 7 a から他方の側面 6 7 a に至るように延在している。この例では、溝部 6 7 c は、側面 6 7 a から延在する一对の直線状部分 6 7 c 1 と、一对の直線状部分 6 7 c 1 から直線状部分 6 7 c 1 と垂直にそれぞれ延在する一对の直線状部分 6 7 c 2 と、一对の直線状部分 6 7 c 2 を互いに接続するように直線状部分 6 7 c 1 と平行に延在する直線状部分 6 7 c 3 とを有している。

[0051] 溝部 6 7 c の上部がカバー 6 8 によって覆われることにより、溝部 6 7 c に対応した形状の内部空間 S 2 が画定される。溝部 6 7 c の直線状部分 6 7 c 3 には本体部 6 7 を貫通する貫通孔 6 7 d が形成されている。内部空間 S 2（溝部 6 7 c）は、貫通孔 6 7 d を介して通気経路 6 5 に接続されている。また、溝部 6 7 c が各側面 6 7 a に至っていることにより、内部空間 S 2 は、各側面 6 7 a において開口して溝部 5 1 の第 1 部分 5 2 に接続されてい

る。この例では、カバー 6 8 は、各側面 6 7 a に対して突出するように本体部 6 7 上に配置されている。すなわち、側面 6 7 a に垂直な方向におけるカバー 6 8 の長さは当該方向における本体部 6 7 の長さ（一对の側面 6 7 a 同士の間隔）よりも長くなっており、当該方向においてカバー 6 8 は各側面 6 7 a から突出している。これにより、空間画定面 3 2 a から溝部 5 1 に流れ落ちる冷却流体 5 が内部空間 S 2 に浸入することが抑制されている。カバー 6 8 は、本体部 6 7 に対して鉛直上側に位置している。

[0052] カバー 6 8 は、例えばボルト等の締結部材 6 8 a により本体部 6 7 に固定されている。通気部材 6 6 は、例えばボルト等の締結部材 6 6 a によりジャケット 3 1 に固定されている。この例では、ジャケット 3 1 は、外側部 3 3 から溝部 5 1 の第 1 部分 5 2 に突出するように形成された固定部 3 1 1 を有しており、通気部材 6 6 は固定部 3 1 1 に固定されている。通気経路 6 5 は、固定部 3 1 1 内を通るように形成されている。図 8 には、空気が通気経路 6 5 及び通気部材 6 6 を通って空間 S 1 とジャケット 3 1 の外部との間を流れる経路の例が破線の矢印で示されている。上述したとおり、ジャケット 3 1 の側方における通気経路 6 5 の開口は開放されており、通気経路 6 5 は常に開放されている。すなわち、冷却ユニット 2 1 では、空間 S 1 とジャケット 3 1 の外部との間での空気の流通が常に可能となっている（空間 S 1 が密閉されていない）。

[0053] 再び図 1 を参照して、冷却流体 5 が流れる経路を説明する。冷却流体 5 は、貯留タンク 2 2 に貯留されている。貯留タンク 2 2 内の冷却流体 5 は、コンプレッサ（図示省略）により昇圧され、レギュレータ 2 3 を介して供給流路 6 1 に供給される。4 つのレギュレータ 2 3 は、それぞれ、配管 P 1 を介して供給流路 6 1 に接続されている。各レギュレータ 2 3 は、制御部 1 5 により制御され、供給流路 6 1 を流れる流体の圧力を変化させる。これにより、空間 S 1 を流れる冷却流体 5 の圧力が調整される。ドレーンタンク 2 4 には、排出流路 6 2 から排出された冷却流体 5 が貯留される。チラー 2 5 は、所定の設定温度となるように冷却流体 5 を冷却する。チラー 2 5 には、排出

流路 6 2 から排出された冷却流体 5 が流入する。チラー 2 5 は、流入した冷却流体 5 を冷却する。チラー 2 5 により冷却された冷却流体 5 は、貯留タンク 2 2 に戻され、再び供給流路 6 1 に供給される。ジャケット 3 1 は、ジャケット 3 1 内に形成された冷媒流路内に冷媒を流すことにより冷却されてもよい。この場合、冷媒は例えば水であってもよいし空気であってもよい。すなわち、ジャケット 3 1 は液冷又は空冷により冷却されてもよい。

[対物レンズモジュール]

[0054] 図 2 及び図 4 に示されるように、冷却ユニット 2 1 は、対物レンズ 1 6 と組み合わせられて対物レンズモジュール 7 0 を構成している。対物レンズモジュール 7 0 は、上述した冷却ユニット 2 1 及び対物レンズ 1 6 に加えて、対物レンズ 1 6 に取り付けられた固浸レンズユニット（イマージョンレンズユニット）7 1 を備えている。固浸レンズユニット 7 1 は、固浸レンズ 7 2 と、ホルダ 7 3 とを備えている。対物レンズ 1 6 は、ジャケット 3 1 の開口 3 5 を介して半導体デバイス 2 と向かい合うように配置されている。固浸レンズ 7 2 は、ホルダ 7 3 によって開口 3 5 内において保持され、対物レンズ 1 6 の光軸 L 上に位置している。

[0055] 固浸レンズ 7 2 は、当接面 7 2 a と、球面 7 2 b と、テーパ面 7 2 c とを有している。当接面 7 2 a は、平坦面であり、半導体デバイス 2 のダイ 2 c に当接する。球面 7 2 b は、下側に向かって凸の半球形状の面であり、対物レンズ 1 6 と向かい合う。テーパ面 7 2 c は、下側に向かって広がる円錐台形状の面であり、当接面 7 2 a の外縁から下側に延びて球面 7 2 b の外縁に接続されている。テーパ面 7 2 c を含む仮想円錐の頂点は、固浸レンズ 7 2 の球心（球面 7 2 b の曲率中心）に一致しており、当接面 7 2 a の上側において対物レンズ 1 6 の光軸 L 上に位置している。固浸レンズ 7 2 の球心は、固浸レンズ 7 2 の焦点に一致する。固浸レンズ 7 2 は、球面 7 2 b とテーパ面 7 2 c との間に配置された円柱形状の面を更に有していてもよい。なお、固浸レンズ以外にも、液浸レンズ或いは油浸レンズなどの他のイマージョンレンズを用いてもよい。

- [0056] 固浸レンズ72は、半導体デバイス2の基板材料と実質的に同一又はその屈折率に近い、高屈折率材料により形成されている。その代表的な例としては、Si、GaP、GaAs等が挙げられる。固浸レンズ72は、観察光を透過させる。固浸レンズ72を半導体デバイス2に光学密着させることにより、半導体デバイス2自身を固浸レンズ72の一部として利用することができる。固浸レンズ72を利用した半導体デバイス2の裏面解析によれば、対物レンズ16の焦点を半導体デバイス2の基板表面に形成された集積回路に合わせた際に、固浸レンズ72の効果により、半導体デバイス2中に開口数(NA)の高い光束を通すことができ、高分解能化が可能となる。
- [0057] ホルダ73は、対物レンズ16に取り付けられており、上述した可撓性部材45と共に固浸レンズ72を保持している。ホルダ73は、側壁部74と、蓋部75とを有している。ホルダ73は、非磁性材料(例えば、アルミニウム、アルミニウム合金、非磁性のステンレス鋼等)により形成されている。側壁部74は、略筒状に形成されている。蓋部75は、側壁部74の上側の開口を塞ぐように構成されている。
- [0058] 蓋部75には、固浸レンズ72が配置される開口75aが形成されている。蓋部75は、開口75aの内面から開口75aの中心側に向かって延びる複数(例えば3つ)の突出部76を有している。突出部76は、先細り形状を呈しており、半導体デバイス2の側の面が、開口75aの中心に近づくにつれて対物レンズ16に近づくように傾斜した傾斜面となっている。複数の突出部76は、例えば、周方向に一定の間隔を空けて配置されている。
- [0059] 固浸レンズ72は、当接面72a及びテーパ面72cが蓋部75の開口75aから上側に突出し、且つ球面72bが蓋部75の開口75aから下側に突出するように、開口75aに配置されている。球面72bは、各突出部76の先端部に接触しており、当接面72a及びテーパ面72cは、可撓性部材45に接触しており、可撓性部材45から上側に突出している。固浸レンズ72は、当接面72aが半導体デバイス2に当接する前の状態において、揺動可能となっている。例えば、固浸レンズ72が揺動すると、球面72b

が突出部 7 6 の先端部に対して滑ると共に、可撓性部材 4 5 が固浸レンズ 7 2 の揺動に追従して変形する。固浸レンズ 7 2 が揺動可能となっていることで、当接面 7 2 a を半導体デバイス 2 に当接させる際に、固浸レンズ 7 2 を半導体デバイス 2 に対して倣って密着させ易い。その結果、例えば、半導体デバイス 2 が光軸 L に対して傾斜して配置されている場合でも、固浸レンズ 7 2 を半導体デバイス 2 に良好に密着させることができ、半導体デバイス 2 を観察することが可能となる。

[0060] ホルダ 7 3 における側壁部 7 4 と蓋部 7 5 との間には、蓋部 7 5 を上側に向けて押圧することにより固浸レンズ 7 2 を上側（対物レンズ 1 6 とは反対側）に付勢する複数（この例では 2 つ）の第 1 付勢部材 8 1 が設けられている。第 1 付勢部材 8 1 は、例えば側壁部 7 4 内に保持されたバネにより構成されている。

[0061] ジャケット 3 1 における第 2 部材 M 2 と第 3 部材 M 3 との間には、第 2 部材 M 2 を上側に向けて押圧することによりジャケット 3 1 をステージ 3 に向けて（上側に向けて）付勢する複数（この例では 4 つ）の第 2 付勢部材 8 2 が設けられている。第 2 付勢部材 8 2 は、例えばガイド部 M 3 a により保持されたバネにより構成されている。ガイド部 M 3 a は、第 3 部材 M 3 に設けられた方向 D 1 に沿って延在する円柱状の部分である。第 2 付勢部材 8 2 は第 1 付勢部材 8 1 から分離／独立して設けられており、第 2 付勢部材 8 2 の付勢力は固浸レンズ 7 2 （対物レンズ 1 6 及び固浸レンズユニット 7 1 ）には作用しない。対物レンズ 1 6 の下側部分は、第 3 部材 M 3 によって保持されている。

[半導体検査方法]

[0062] 半導体検査装置 1 を用いた半導体検査方法では、まず、半導体デバイス 2 をステージ 3 に配置（固定）する（第 1 ステップ）。続いて、冷却ユニット 2 1 を、開口 3 5 が半導体デバイス 2 と向かい合い、且つ、空間画定面 3 2 a と半導体デバイス 2 との間に空間 S 1 が画定されるように配置する（第 2 ステップ）。より具体的には、例えば、上述した X Y Z ステージによって対

物レンズモジュール70を移動させ、開口35が半導体デバイス2と向かい合うように冷却ユニット21をステージ3に取り付ける。これにより、冷却ユニット21と半導体デバイス2及びステージ3との間に空間S1が形成される。第2ステップでは、外側部33及び弾性部材41, 42からなる接触部39がステージ3に接触して空間S1の外縁部が画定される。

[0063] 続いて、XYZステージによって対物レンズ16を移動させることで固浸レンズ72を半導体デバイス2に近づくように移動させ、固浸レンズ72の当接面72aを半導体デバイス2に当接させる（第3ステップ）。続いて、信号入力装置11によって半導体デバイス2を駆動させる（第4ステップ）。続いて、空間S1に冷却流体5を流しながら、駆動中の半導体デバイス2から到来して開口35を通過した光を光検出器14により検出する（第5ステップ）。以上の工程により、半導体デバイス2の検査を行うことができる。なお、半導体デバイス2を駆動させる第4ステップは、第2ステップ又は第3ステップよりも前に行われてもよい。

[0064] 図11及び図12を参照しつつ、半導体検査装置1を用いた半導体検査方法について更に説明する。図11及び図12では、各構成が模式的に示されている。上述したとおり、まず、半導体デバイス2をステージ3に配置（固定）する（第1ステップ、図11（a））。続いて、XYZステージを上昇させて対物レンズモジュール70を上側に移動させ、外側部33及び弾性部材41, 42からなる接触部39をステージ3に接触させる。これにより、冷却ユニット21と半導体デバイス2及びステージ3との間に空間S1が形成される（第2ステップ、図11（b））。この接触部39とステージ3との間の接触は、例えばジャケット31に設けられた第1センサ（図示省略）によって検出される。第2ステップでは、制御部15は、第1センサの検出結果に基づいてXYZステージを制御する。第1センサは、例えば、光を遮ることによりオンオフされるフォトセンサにより構成され得る。

[0065] 続いて、XYZステージを更に上昇させる。このとき、冷却ユニット21は接触部39においてステージ3に接触しているため移動せず、ジャケット

3 1 における第 2 部材 M 2 と第 3 部材 M 3 との間に設けられた第 2 付勢部材 8 2 が収縮する。一方、対物レンズ 1 6 及び固浸レンズ 7 2 は X Y Z ステージの移動に伴って上昇し、固浸レンズ 7 2 が半導体デバイス 2 に接触する（第 3 ステップ、図 1 2（a））。この固浸レンズ 7 2 と半導体デバイス 2 との間の接触は、例えばホルダ 7 3 に設けられた第 2 センサ（図示省略）によって検出される。第 3 ステップでは、制御部 1 5 は、第 2 センサの検出結果に基づいて X Y Z ステージを制御する。第 2 センサは、例えば、光を遮ることによりオンオフされるフォトセンサにより構成され得る。このフォトセンサの配置は特に限定されない。例えば、フォトセンサが側壁部 7 4 に設けられ、フォトセンサの光を遮るドッグ部材が蓋部 7 5 に設けられてもよい。或いは、フォトセンサが蓋部 7 5 に設けられ、ドッグ部材が側壁部 7 4 に設けられてもよい。この点は後述する第 3 センサをフォトセンサにより構成する場合についても同様である。

[0066] 第 3 ステップの後、半導体デバイス 2 を駆動させる第 4 ステップの前に、X Y Z ステージを更に上昇させることにより焦点位置を調整する調整ステップが実施されてもよい（図 1 2（b））。調整ステップにおいて X Y Z ステージを上昇させる場合にも、冷却ユニット 2 1 は接触部 3 9 においてステージ 3 に接触しているため移動せず、第 2 付勢部材 8 2 が収縮する。また、固浸レンズ 7 2 は半導体デバイス 2 に接触しているため移動せず、対物レンズ 1 6 が X Y Z ステージの移動に伴って上昇する。このとき、ホルダ 7 3 における側壁部 7 4 と蓋部 7 5 との間に設けられた第 1 付勢部材 8 1 が収縮する。ホルダ 7 3 には、X Y Z ステージ（対物レンズ 1 6）のオーバーランを防止するための第 3 センサ（図示省略）が設けられている。第 3 センサは、例えば所定位置まで X Y Z ステージが上昇したことを検出する。所定位置は、X Y Z ステージの上昇により装置に破損が生じる位置に対応する位置である。調整ステップでは、制御部 1 5 は、第 3 センサの検出結果に基づいて X Y Z ステージを制御する。これにより、X Y Z ステージが過度に上昇して装置に破損が生じてしまうことを抑制することができる。第 3 センサは、例えば

、光を遮ることによりオンオフされるフォトセンサにより構成され得る。

[0067] その後、上述したとおり、信号入力装置 11 によって半導体デバイス 2 を駆動させ（第 4 ステップ）、空間 S1 に冷却流体 5 を流しながら駆動中の半導体デバイス 2 からの光を光検出器 14 により検出する（第 5 ステップ）。これにより、半導体デバイス 2 の検査を行うことができる。

[0068] 次に、半導体デバイス 2 上において観察エリア（検査位置）を変更する工程の例について説明する。実施形態に係る半導体検査装置 1 では、空間 S1 に冷却流体 5 を流したままで観察エリアを変更することができる。すなわち、半導体デバイス 2 を駆動させたままで、冷却性能を保ちつつ、観察エリアを変更することができる。観察エリアを変更する際には、まず、例えば図 12（a）又は図 12（b）に示される状態から XYZ ステージを下降させ、固浸レンズ 72 を半導体デバイス 2 から離間させる（図 11（b））。固浸レンズ 72 が半導体デバイス 2 に密着したままで対物レンズモジュール 70 を X 方向及び／又は Y 方向に移動させると固浸レンズ 72 又は半導体デバイス 2 に傷がつくおそれがあるためである。例えば、制御部 15 は、第 2 センサがオフとなる位置まで XYZ ステージを下降させることで、固浸レンズ 72 を半導体デバイス 2 から離間させる。このとき、冷却ユニット 21 の接触部 39 はステージ 3 に接触したままであり、冷却ユニット 21 と半導体デバイス 2 及びステージ 3 との間に空間 S1 が形成されたままである。また、空間 S1 への冷却流体 5 の供給は継続されている。続いて、XYZ ステージによって対物レンズモジュール 70 をステージ 3 に対して X 方向及び／又は Y 方向に移動させ、固浸レンズ 72 を所望の観察エリアに対応する位置まで移動させる。続いて、XYZ ステージを上昇させて対物レンズ 16 及び固浸レンズ 72 を上昇させ、固浸レンズ 72 を半導体デバイスに接触させる。以上の工程により、空間 S1 に冷却流体 5 を流したままで観察エリアを変更することができる。

[作用及び効果]

[0069] 冷却ユニット 21 では、ジャケット 31 に、外側部 33 の内側とジャケッ

ト 3 1 の外部との間での空気の流通を可能とする通気経路 6 5 が形成されている。これにより、外側部 3 3 の接触部 3 9 がステージ 3 に接触することで形成される空間 S 1 とジャケット 3 1 の外部との間での空気の流通が可能となり、空間 S 1 内の圧力が負圧になることを抑制することができる。その結果、冷却流体 5 を流しながら冷却ユニット 2 1 をステージ 3 に沿って移動させる際に、負圧によって冷却ユニット 2 1 がステージ 3 に張り付いてしまう事態の発生を回避することができる。よって、冷却ユニット 2 1 によれば、冷却流体 5 を流しながら冷却ユニット 2 1 を精度良く移動させることが可能となる。

[0070] また、冷却ユニット 2 1 では、ジャケット 3 1 に、空間画定面 3 2 a と半導体デバイス 2 との間に画定される空間 S 1 をジャケット 3 1 の外部に接続する通気経路 6 5 が形成されており、空間 S 1 とジャケット 3 1 の外部との間での空気の流通が可能となっている。これにより、空間 S 1 内の圧力が負圧になることを抑制することができる。その結果、冷却流体 5 を流しながら冷却ユニット 2 1 をステージ 3 に沿って移動させる際に、負圧によって冷却ユニット 2 1 がステージ 3 に張り付いてしまう事態の発生を回避することができる。よって、冷却ユニット 2 1 によれば、冷却流体 5 を流しながら冷却ユニット 2 1 を精度良く移動させることが可能となる。

[0071] ジャケット 3 1 における中央部 3 2 と外側部 3 3 との間（中間部 3 4）に、溝部 5 1 が形成されており、通気経路 6 5 が、溝部 5 1 に接続されている。これにより、溝部 5 1 は冷却流体 5 で満たされにくいことから、通気経路 6 5 を介した空間 S 1 とジャケット 3 1 の外部との間での空気の流通を確実化することができる。

[0072] 通気経路 6 5 が、溝部 5 1 に配置された通気部材 6 6 を介して溝部 5 1 に接続されている。これにより合、通気経路 6 5 に冷却流体 5 が浸入することを抑制することができる。

[0073] 通気部材 6 6 が、通気経路 6 5 に接続された内部空間 S 2 を有し、内部空間 S 2 が、通気部材 6 6 の側面 6 7 a において開口して溝部 5 1 に接続され

ている。これにより、通気経路 6 5（内部空間 S 2）に冷却流体 5 が浸入することを効果的に抑制することができる。

[0074] 通気部材 6 6 が、側面 6 7 a を含む本体部 6 7 と、カバー 6 8 とを有し、カバー 6 8 が、側面 6 7 a に対して突出するように本体部 6 7 上に配置されている。これにより、通気経路 6 5（内部空間 S 2）に冷却流体 5 が浸入することを一層効果的に抑制することができる。

[0075] 溝部 5 1 が、空間画定面 3 2 a（中央部 3 2 の上面）から冷却流体 5 が流れ落ちるように構成されており、溝部 5 1 には、外部に排出される冷却流体 5 が流れる排出流路 6 2 が接続されている。これにより、空間画定面 3 2 a と半導体デバイス 2 との間の空間 S 1 に冷却流体 5 を流す際に、冷却流体 5 が空間 S 1 の外縁部に至ることを抑制することができる。その結果、空間 S 1 の外縁部から冷却流体 5 が漏れることを抑制することができ、防水性能を向上することができる。

[0076] 通気経路 6 5 が、常に開放されている。これにより、空間画定面 3 2 a と半導体デバイス 2 との間の空間 S 1 の圧力が負圧になることを確実に抑制することができる。

[0077] 対物レンズモジュール 7 0 が、ホルダ 7 3 に設けられて固浸レンズ 7 2 を対物レンズ 1 6 とは反対側に付勢する第 1 付勢部材 8 1 と、ジャケット 3 1 に設けられて固浸レンズ 7 2 に付勢力を作用させることなくジャケット 3 1 をステージ 3 に向けて付勢する第 2 付勢部材 8 2 と、を備えている。これにより、冷却流体 5 を流しながらの冷却ユニット 2 1 のステージ 3 に沿っての移動を良好に実現することができる。

[0078] ジャケット 3 1 における中央部 3 2 と外側部 3 3 との間（中間部 3 4）に、中央部 3 2 と外側部 3 3 とを互いに接続するブリッジ部 3 6 が形成されており、供給流路 6 1 が、ブリッジ部 3 6 を通るように形成されている。これにより、供給流路 6 1 を好適に形成することができる。例えば、供給流路 6 1 がブリッジ部 3 6 を通らずに溝部 5 1 を回り込むように形成される場合と比べて、供給流路 6 1 の構成を簡易化することができる。

[0079] ブリッジ部 3 6 の上面 3 6 a (空間画定面 3 2 a に接続された表面) が、空間画定面 3 2 a よりも低い位置に位置する部分 3 6 b を有している。これにより、冷却流体 5 が空間画定面 3 2 a から上面 3 6 a を伝って空間 S 1 の外縁部に至ることを抑制することができる。

[0080] 溝部 5 1 が、第 1 部分 5 2 と、方向 D 1 (空間画定面 3 2 a に垂直な方向) において第 1 部分 5 2 に対して空間画定面 3 2 a とは反対側に位置する第 2 部分 5 3 と、を有し、第 2 部分 5 3 が、第 1 部分 5 2 よりも狭く形成されており、排出流路 6 2 が、第 2 部分 5 3 に接続されている。これにより、空間画定面 3 2 a の側に位置する第 1 部分 5 2 を広く形成して溝部 5 1 の開口面積を大きくすることができ、溝部 5 1 に冷却流体 5 が流れ込み易くなる。また、空間画定面 3 2 a とは反対側に位置する第 2 部分 5 3 を狭く形成することで、第 2 部分 5 3 に冷却流体 5 が貯留され易くなり、その結果、第 2 部分 5 3 に接続された排出流路 6 2 から冷却流体 5 を効率的に排出することができる。

[0081] 溝部 5 1 における外側の内面 5 3 a が、下側に向かうほど内側に向かうように傾斜した傾斜面 5 3 b を含んでいる。これにより、溝部 5 1 の体積を大きくすることができると共に、溝部 5 1 に流れ込んだ冷却流体 5 を好適に下側に流すことができる。

[0082] 溝部 5 1 が、方向 D 1 から見た場合に空間画定面 3 2 a を囲むリング状の第 2 部分 5 3 を有している。これにより、溝部 5 1 に冷却流体 5 を効率的に貯留することができ、貯留された冷却流体 5 を効率的に外部に排出することができる。

[変形例]

[0083] 図 1 3 及び図 1 4 に示される第 1 変形例の冷却ユニット 2 1 では、第 2 付勢部材 8 2 に代えて、ジャケット 3 1 とホルダ 7 3 との間に、ジャケット 3 1 をステージ 3 に向けて (上側に向けて) 付勢する付勢部材 8 3 が設けられている。上記実施形態の第 2 付勢部材 8 2 が第 1 付勢部材 8 1 から分離／独立して (第 1 付勢部材 8 1 とは並列に) 設けられていたのに対し、第 1 変形

例の付勢部材 8 3 は第 1 付勢部材 8 1 と直列に設けられており、第 1 変形例では付勢部材 8 3 の付勢力が固浸レンズ 7 2 に作用する。付勢部材 8 3 のバネ定数は、第 1 付勢部材 8 1 のバネ定数よりも小さくなっている。なお、付勢部材 8 3 のバネ定数は、第 1 付勢部材 8 1 のバネ定数よりも大きくしてもよい。

[0084] 第 1 変形例に係る半導体検査装置 1 を用いた半導体検査方法の例について説明する。まず、半導体デバイス 2 をステージ 3 に配置（固定）する（第 1 ステップ、図 1 3（a））。続いて、XYZ ステージを上昇させて対物レンズモジュール 7 0 を上側に移動させ、外側部 3 3 及び弾性部材 4 1, 4 2 からなる接触部 3 9 をステージ 3 に接触させる。これにより、冷却ユニット 2 1 と半導体デバイス 2 及びステージ 3 との間に空間 S 1 が形成される（第 2 ステップ、図 1 3（b））。

[0085] 続いて、XYZ ステージを更に上昇させる。このとき、冷却ユニット 2 1 は接触部 3 9 においてステージ 3 に接触しているため移動せず、ジャケット 3 1 とホルダ 7 3 との間に設けられた付勢部材 8 3 が収縮する。一方、対物レンズ 1 6 及び固浸レンズ 7 2 は XYZ ステージの移動に伴って上昇し、固浸レンズ 7 2 が半導体デバイス 2 に接触する（第 3 ステップ、図 1 4（a））。続いて、XYZ ステージを更に上昇させることにより焦点位置を調整する調整ステップが実施され得る（図 1 4（b））。調整ステップにおいて XYZ ステージを上昇させた場合にも、冷却ユニット 2 1 は接触部 3 9 においてステージ 3 に接触しているため移動しない。また、固浸レンズ 7 2 も半導体デバイス 2 に接触しているため移動せず、対物レンズ 1 6 が XYZ ステージの移動に伴って上昇する。このとき、付勢部材 8 3 は収縮せず、ホルダ 7 3 における側壁部 7 4 と蓋部 7 5 との間に設けられた第 1 付勢部材 8 1 が収縮する。その後、信号入力装置 1 1 によって半導体デバイス 2 を駆動させ（第 4 ステップ）、空間 S 1 に冷却流体 5 を流しながら駆動中の半導体デバイス 2 からの光を光検出器 1 4 により検出する（第 5 ステップ）。

[0086] 第 1 変形例に係る半導体検査装置 1 においても、空間 S 1 に冷却流体 5 を

流したままで観察エリアを変更することができる。観察エリアを変更する際の工程は上記実施形態の場合と同様である。このような第1変形例によっても、上記実施形態と同様に、防水性能を向上することができる。

[0087] 図15に示される第2変形例では、ジャケット31にブリッジ部36が形成されておらず、溝部51の第1部分52（すなわち溝部51の全体）が、方向D1から見た場合に周方向に沿って延在するリング状に形成されている。このような第2変形例によっても、上記実施形態と同様に、防水性能を向上することができる。

[0088] 他の変形例として、半導体デバイス2上における観察位置に応じて、冷却流体5が供給される供給流路61が切替可能となってもよい。例えば、8つの供給流路61が周方向において一定の間隔を空けて並ぶように配置され、第1状態においては8つの供給流路61のうちの4つの供給流路61から冷却流体5が供給され、第2状態においては8つの供給流路61のうちの残りの4つの供給流路61から冷却流体5が供給されてもよい。例えば、第1状態においては、固浸レンズ72に対して、X方向の両側及びY方向の両側の4つの方向から冷却流体5が流れるように4つの供給流路61に冷却流体5が供給され、第2状態においては、固浸レンズ72に対して、第1状態における4つの方向から45度ずつずれた4つの方向から冷却流体5が流れるように残りの4つの供給流路61に冷却流体5が供給されてもよい。半導体デバイス2上における観察位置に応じて発熱箇所は変化し得るため、このような構成を採用することにより、半導体デバイス2上における観察位置に応じた効果的な冷却が可能となる。冷却流体5の数や切替のパターンは適宜設定されてよい。

[0089] 本開示は、上記実施形態及び変形例に限られない。例えば、各構成の材料及び形状には、上述した材料及び形状に限らず、様々な材料及び形状を採用することができる。供給流路61及び／又は排出流路62は、1つだけ設けられていてもよい。弾性部材41、42は、省略されてもよいし、可撓性部材に置き換えられてもよい。

[0090] ブリッジ部36の上面36aは、空間画定面32aよりも低い位置する部分を有していなくてもよく、例えば空間画定面32aと面一となっていてよい。溝部51の第2部分53は、第1部分52よりも狭く形成されていなくてもよく、例えば第1部分52と同程度の幅を有していってもよい。溝部51における外側の内面53aは、傾斜面53bを含んでいなくてもよい。溝部51は、方向D1から見た場合に空間画定面32aを囲むリング状の部分を有していなくてもよい。溝部51は、空間画定面32aから冷却流体5が流れ落ちるように構成されていればよく、任意の形状及び配置を有していよい。通気経路65は形成されていなくてもよく、空間S1とジャケット31の外部との間での空気の流通が可能となっていなくてもよい。

[0091] 通気経路65は、空間S1とジャケット31の外部との間での空気の流通が可能となるように空間S1をジャケット31の外部に接続していればよく、溝部51に接続されていなくてもよい。通気部材66は省略されてもよく、通気経路65は通気部材66を介することなく溝部51に接続されてもよい。

[0092] 半導体デバイス2は、ロジックLSIを含むデバイスに限定されない。半導体デバイス2は、個別半導体素子（ディスクリート）、オプトエレクトロニクス素子、センサ／アクチュエータ、メモリ素子、若しくはリニアIC（Integrated Circuit）等、又はそれらの混成デバイス等であってもよい。個別半導体素子は、ダイオード、パワートランジスタ等を含む。半導体デバイス2は、半導体デバイスを含むパッケージ、複合基板等であってもよい。半導体デバイス2は、例えば、シリコン基板に複数の素子（コンデンサ等）が作り込まれることにより形成されていてもよい。

符号の説明

[0093] 1…半導体検査装置、2…半導体デバイス、3…ステージ、5…冷却流体、14…光検出器、16…対物レンズ、21…冷却ユニット、31…ジャケット、32…中央部、32a…空間画定面、33…外側部、35…開口、36…ブリッジ部、36a…上面、36b…部分、53b…傾斜面、39…接触

部、5 1…溝部、5 2…第 1 部分、5 3…第 2 部分、5 3 a…内面、5 3 b…傾斜面、6 1…供給流路、6 2…排出流路、6 5…通気経路、6 6…通気部材、6 7…本体部、6 7 a…側面、6 8…カバー、7 0…対物レンズモジュール、7 2…固浸レンズ（イメージョンレンズ）、S 1…空間、S 2…内部空間。

請求の範囲

- [請求項1] 半導体デバイスの検査において用いられる冷却ユニットであって、
 前記半導体デバイスの熱を放熱するためのジャケットを備え、
 前記ジャケットは、中央部と、前記中央部の周囲に位置する外側部
 と、を有し、
 前記中央部には、前記半導体デバイスからの光が通過する開口が形
 成されており、
 前記外側部は、前記半導体デバイスが配置されるステージに接触す
 る接触部を有し、
 前記ジャケットには、前記半導体デバイスを冷却するための冷却流
 体が行れる供給流路が形成されており、
 前記ジャケットには、前記外側部の内側と前記ジャケットの外部と
 の間での空気の流通を可能とする通気経路が形成されている、冷却ユ
 ニット。
- [請求項2] 前記ジャケットにおける前記中央部と前記外側部との間には、溝部
 が形成されており、
 前記通気経路は、前記溝部に接続されている、請求項1に記載の冷
 却ユニット。
- [請求項3] 前記通気経路は、前記溝部に配置された通気部材を介して前記溝部
 に接続されている、請求項2に記載の冷却ユニット。
- [請求項4] 前記通気部材は、前記通気経路に接続された内部空間を有し、
 前記内部空間は、前記通気部材の側面において開口して前記溝部に
 接続されている、請求項3に記載の冷却ユニット。
- [請求項5] 前記通気部材は、前記側面を含む本体部と、カバーと、を有し、
 前記カバーは、前記側面に対して突出するように前記本体部上に配
 置されている、請求項4に記載の冷却ユニット。
- [請求項6] 前記溝部は、前記中央部の上面から前記冷却流体が流れ落ちるよう
 に構成されており、

前記溝部には、外部に排出される前記冷却流体が流れる排出流路が接続されている、請求項 2 ～ 5 のいずれか一項に記載の冷却ユニット。

[請求項7] 前記通気経路は、常に開放されている、請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載の冷却ユニット。

[請求項8] 請求項 1 ～ 7 のいずれか一項に記載の冷却ユニットと、
前記開口に配置されるイマージョンレンズと、
前記イマージョンレンズと向かい合う対物レンズと、を備える対物レンズモジュール。

[請求項9] 前記対物レンズに取り付けられ、前記イマージョンレンズを保持するホルダと、
前記ホルダに設けられ、前記イマージョンレンズを前記対物レンズとは反対側に付勢する第 1 付勢部材と、
前記ジャケットに設けられ、前記イマージョンレンズに付勢力を作用させることなく前記ジャケットを前記ステージに向けて付勢する第 2 付勢部材と、を更に備える、請求項 8 に記載の対物レンズモジュール。

[請求項10] 請求項 1 ～ 7 のいずれか一項に記載の冷却ユニットと、
前記開口に配置されるイマージョンレンズと、
前記半導体デバイスが配置されるステージと、
前記イマージョンレンズと向かい合う対物レンズと、
前記半導体デバイスからの光を前記イマージョンレンズ及び前記対物レンズを介して検出する光検出器と、を備える半導体検査装置。