

明 細 書

発明の名称：

半導体製造プロセスのための冷却システム、および半導体製造システム
技術分野

[0001] 本発明は、エッチング装置などの半導体製造装置の冷却に使用される冷却システムに関する。

背景技術

[0002] 半導体製造工程の1つであるドライエッチング工程では、クリーンルームに配置されたエッチング装置が使用され、主にクリーンルームの階下にあるサブファブエリアには、エッチング装置の複数の処理チャンバを流れる循環液を冷却するための冷却システムなどが配置される。機械室などの一般的な設備機械が設置される環境とは異なり、クリーンルームおよびサブファブエリアには、高い清浄度が求められる。図11は、複数の処理チャンバを冷却するための冷却システムを示す模式図である。図11に示すように、エッチング装置501は、複数の処理チャンバ502を有しており、各処理チャンバ502内でウェーハのエッチングを行うように構成されている。

[0003] 複数の処理チャンバ502は、同じ数の複数のチラー505にそれぞれ連結されている。これらチラー505は独立に稼働しており、複数の処理チャンバ502を冷却するための循環液を複数の処理チャンバ502にそれぞれ供給する。各チラー505は、蒸発器506、圧縮機507、および凝縮器508を有する冷凍サイクルを備えており、冷凍サイクル内で冷媒が循環する。各チラー505の冷凍サイクルでは、凝縮器508内で、冷媒と大型冷凍機510により生成される冷却液との間で熱交換が行われ、蒸発器506内で、冷媒と複数の処理チャンバ502を冷却するための循環液との間で熱交換が行われる。冷媒との熱交換により冷却された循環液は、複数の処理チャンバ502内を通過しながら、複数の処理チャンバ502を冷却する。

先行技術文献

特許文献

- [0004] 特許文献1：特開 2 0 2 1 － 8 1 1 4 5 号公報
特許文献2：特開 2 0 2 1 － 7 7 0 8 5 号公報
特許文献3：特開 2 0 2 2 － 1 7 4 8 6 9 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0005] 複数のチラー 5 0 5 は、サブファブエリア内に配置されており、大型冷凍機 5 1 0 は、クリーンルームおよびサブファブエリアの外にある機械室などに配置されている。近年では、エッチング装置の処理チャンバの数は増加する傾向にあり、これら処理チャンバに対応して設けられるチラーの数も増加する傾向にある。しかしながら、サブファブエリアはクリーンルームの直下に設ける必要があるため、サブファブエリアの大きさには限度がある。結果として、増加する数のチラーを置くスペースがサブファブエリア内に確保できないという問題があった。また、チラーの数の増加に伴い、冷却システム全体の消費電力の増加が課題となっていた。

- [0006] そこで、本発明は、大きな設置スペースを必要とせず、半導体製造装置に使用される複数の処理チャンバを冷却することができ、かつ冷却システム全体の消費電力を削減することができる冷却システムを提供する。

課題を解決するための手段

- [0007] 一態様では、半導体製造プロセスに使用される複数の処理チャンバを冷却するための冷却システムであって、クリーンルーム内に配置された前記複数の処理チャンバを冷却するための冷却液を生成し、前記冷却液を前記複数の処理チャンバに供給する少なくとも 1 つの熱交換ユニットと、不凍液を冷却するための冷却装置と、前記熱交換ユニットと前記冷却装置との間を延びる不凍液循環ラインと、前記不凍液を前記不凍液循環ライン内で循環させるための不凍液ポンプを備え、前記熱交換ユニットは、前記冷却液を前記複数の処理チャンバを通して循環させるための冷却液ポンプと、前記冷却液と前記

不凍液との間で熱交換を行う熱交換器と、前記冷却液の循環方向において、前記熱交換器の上流側に配置された冷却側バッファタンクを備えている、冷却システムが提供される。

[0008] 本発明によれば、熱交換ユニットは、従来の複数のチラーの冷凍サイクルとは異なり、蒸発器、圧縮機、凝縮器などの構成要素を有していないので、サブファブエリア内に大きな設置スペースを必要とせず、半導体製造装置に使用される複数の処理チャンバを冷却することができる。

さらに、本発明によれば、複数の処理チャンバに供給する冷却液を生成するための、十分に低い温度の不凍液を冷却装置で包括的に生成することにより、高い冷却効率を達成できる。結果として、冷却装置の消費電力は、従来の複数のチラーの総消費電力よりも小さく、省エネ運転が達成できる。

[0009] 一態様では、前記冷却装置は、前記不凍液と熱交換を行う第1冷媒が循環する第1冷凍装置と、前記第1冷媒と熱交換を行う第2冷媒が循環する第2冷凍装置と、前記第1冷凍装置と前記第2冷凍装置との間で中間媒体を循環させるための中間媒体循環ラインを備えている。

本発明によれば、第1冷凍装置と第2冷凍装置を備えた冷却装置は、複数の処理チャンバを包括的に冷却し、第1冷凍装置と第2冷凍装置が直列に接続されることにより二元冷凍サイクルの冷却装置と同等の作用があり、必要な十分に低い温度にまで不凍液を冷却することができる。また、第1冷凍装置および第2冷凍装置は、別個の装置として構成されているため、異なる場所に設置することができる。

[0010] 一態様では、前記冷却装置は、二元冷凍サイクルを備えた冷凍機である。

本発明によれば、二元冷凍サイクルを持つ冷却装置は、単独で複数の処理チャンバを包括的に冷却するのに必要な十分に低い温度にまで不凍液を冷却することができる。

一態様では、前記熱交換ユニットは、前記クリーンルームの下にあるサブファブエリア内に配置されている。

本発明によれば、熱交換ユニットはクリーンルームの下のサブファブエリ

ア内に設置することにより、クリーンルーム内の設置面積を減らすことができる。

一態様では、前記第1冷凍装置は、前記クリーンルームの下にあるサブファブエリア内に配置され、前記第2冷凍装置は、前記クリーンルームおよび前記サブファブエリアの外に配置されている。

本発明によれば、第1冷凍装置をサブファブエリア内に配置することにより、熱交換ユニットまでの配管を短くすることができ、熱損失を減らすことができる。

また、第2冷凍装置をクリーンルームおよびサブファブエリアの外に配置することにより、クリーンルームとサブファブエリア内に必要な設置スペースを小さくすることができる。

[0011] 一態様では、前記第1冷凍装置は、冷媒ガスを圧縮する圧縮機を備えたターボ冷凍機であり、前記圧縮機は、羽根車と、前記羽根車と一体に回転可能な回転体と、前記回転体を非接触で回転可能に支持する磁気軸受を備えている。

本発明によれば、圧縮機に磁気軸受を使用したターボ冷凍機は、潤滑油を使用しておらず、かつ低騒音のため、高い清浄度が求められるサブファブエリアに配置することができる。

一態様では、前記冷却装置は、冷媒ガスを圧縮する圧縮機を備えたターボ冷凍機であり、前記圧縮機は、羽根車と、前記羽根車と一体に回転可能な回転体と、前記回転体を非接触で回転可能に支持する磁気軸受を備えている。

本発明によれば、圧縮機に磁気軸受を使用したターボ冷凍機は、遠心式の圧縮機を使用することにより、容積式の圧縮機を使用している従来のチラーと比較して大容量化、および高効率化を図ることができる。また、磁気軸受を使用することにより、オイルフリーとなり、油回収をする必要がなく、さらに効率化される。そのため、単独で複数の処理チャンバを包括的に冷却するのに必要な十分に低い温度にまで不凍液を冷却することができる。

一態様では、前記冷却装置は、前記クリーンルームおよび前記クリーンル

ームの下にあるサブファブエリアの外に配置されている。

本発明によれば、冷却装置をクリーンルームおよびサブファブエリアの外に配置することにより、クリーンルームとサブファブエリア内に必要な設置スペースを小さくすることができる。

[0012] 一態様では、前記熱交換ユニットは、前記冷却システムから取り外し可能に構成されている。

本発明によれば、熱交換ユニットを容易に取り外して、メンテナンス、修理などを実行することができる。さらに、熱交換ユニットを、仕様を変更した新たなユニットに容易に置き換えることができる。

一態様では、前記少なくとも 1 つの熱交換ユニットは、前記複数の処理チャンバの数と同じ数の複数の熱交換ユニットである。

本発明によれば、複数の熱交換ユニットは、複数の処理チャンバ内の処理サイクルに従って独立に動作することができる。

[0013] 一態様では、前記少なくとも 1 つの熱交換ユニットは、前記複数の処理チャンバの数よりも少ない数の複数の熱交換ユニットである。

本発明によれば、熱交換ユニット自体に必要な設置スペースが小さくできるのみならず、熱交換ユニットに接続される配管の数も少なくすることができる。結果として、サブファブエリア内に必要な設置スペースをさらに小さくすることができる。

一態様では、前記少なくとも 1 つの熱交換ユニットは、単一の熱交換ユニットである。

本発明によれば、熱交換ユニット自体に必要な設置スペースが小さくできるのみならず、熱交換ユニットに接続される配管の数も少なくすることができる。結果として、サブファブエリア内に必要な設置スペースをさらに小さくすることができる。

また、冷却側バッファタンクがひとつになるので、各処理チャンバからの戻りの冷却液の温度にばらつきがあっても冷却側バッファタンクが熱的バッファとして機能して冷却液が均一の温度となり、熱交換器での熱交換条件が

良くなる。

[0014] 一態様では、前記冷却システムは、前記複数の処理チャンバを加熱するための加熱液を生成し、前記加熱液を前記複数の処理チャンバに供給する少なくとも1つの加熱ユニットをさらに備えており、前記加熱ユニットは、前記加熱液を加熱する加熱装置と、前記加熱液を前記複数の処理チャンバを通過して循環させるための加熱液ポンプと、前記加熱液の循環方向において前記加熱装置の上流側に配置された加熱側バッファタンクを備えている。

本発明によれば、各処理チャンバを冷却のみならず、加熱することができる。

一態様では、前記加熱ユニットは、前記冷却システムから取り外し可能に構成されている。

本発明によれば、加熱ユニットを容易に取り外して、メンテナンス、修理などを実行することができる。さらに、加熱ユニットを、仕様を変更した新たなユニットに容易に置き換えることができる。

[0015] 一態様では、前記少なくとも1つの加熱ユニットは、前記複数の処理チャンバの数と同じ数の複数の加熱ユニットである。

本発明によれば、複数の加熱ユニットは、複数の処理チャンバ内の処理サイクルに従って独立に動作することができる。

一態様では、前記少なくとも1つの加熱ユニットは、前記複数の処理チャンバの数よりも少ない数の複数の加熱ユニットである。

本発明によれば、加熱ユニット自体に必要な設置スペースが小さくできるのみならず、加熱ユニットに接続される配管の数も少なくすることができる。結果として、サブファブエリア内に必要な設置スペースをさらに小さくすることができる。

また、各処理チャンバ内で実行される処理サイクル中に各処理チャンバを加熱すべき時間は比較的短い。したがって、複数の処理チャンバでの加熱時間が重複しないように各処理チャンバの処理サイクルを調整すれば、加熱能力が大きくない（すなわち消費電力の小さい）加熱装置を用いて複数の処理

チャンバを加熱することができる。

[0016] 一態様では、前記少なくとも 1 つの加熱ユニットは、単一の加熱ユニットである。

本発明によれば、加熱ユニット自体に必要な設置スペースが小さくできるのみならず、加熱ユニットに接続される配管の数も少なくすることができる。結果として、サブファブエリア内に必要な設置スペースをさらに小さくすることができる。

また、各処理チャンバ内で実行される処理サイクル中に各処理チャンバを加熱すべき時間は比較的短い。したがって、複数の処理チャンバでの加熱時間が重複しないように各処理チャンバの処理サイクルを調整すれば、加熱能力が大きくない（すなわち消費電力の小さい）加熱装置を用いて複数の処理チャンバを加熱することができる。

また、加熱側バッファタンクがひとつになるので、各処理チャンバからの戻りの加熱液の温度にばらつきがあっても加熱側バッファタンクが熱的バッファとして機能して加熱液が均一の温度となり、加熱装置に流れる加熱液の温度の変動を低減させることができる。

[0017] 一態様では、半導体製造プロセスを実行するための複数の処理チャンバを有する半導体製造装置と、前記複数の処理チャンバの温度を調節するための温度調節器と、前記温度調節器と前記熱交換ユニットとの間を延びる冷却液ラインと、前記温度調節器と前記複数の処理チャンバとの間を延びる温度調節液ラインと、前記複数の処理チャンバを冷却するための上記冷却システムを備えている、半導体製造システムが提供される。

発明の効果

[0018] 本発明によれば、熱交換ユニットは、従来の複数のチラーの冷凍サイクルとは異なり、圧縮機、凝縮器、蒸発器などの構成要素を有していないので、サブファブエリア内に大きな設置スペースを必要とせず、半導体製造装置に使用される複数の処理チャンバを冷却することができる。

さらに、本発明によれば、複数の処理チャンバに供給する冷却液を生成す

るための、十分に低い温度の不凍液を冷却装置で包括的に生成することにより、高い冷却効率を達成できる。結果として、冷却装置の消費電力は、従来の複数のチラーの総消費電力よりも小さく、省エネ運転が達成できる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]冷却システムを含む半導体製造システムの一実施形態を示す模式図である。

[図2]冷却装置の詳細構造の一実施形態を示す模式図である。

[図3]第1冷凍装置の第1圧縮機の詳細構造の一実施形態を示す模式図である。

[図4]冷却装置の詳細構造の他の実施形態を示す模式図である。

[図5]冷却システムを含む半導体製造システムの他の実施形態を示す模式図である。

[図6]図5に示す冷却装置の詳細構造の一実施形態を示す模式図である。

[図7]冷却システムを含む半導体製造システムのさらに他の実施形態を示す模式図である。

[図8]冷却システムを含む半導体製造システムのさらに他の実施形態を示す模式図である。

[図9]冷却システムを含む半導体製造システムのさらに他の実施形態を示す模式図である。

[図10]冷却システムを含む半導体製造システムのさらに他の実施形態を示す模式図である。

[図11]従来の冷却システムを示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

図1は、冷却システム5を含む半導体製造システムの一実施形態を示す模式図である。半導体製造システムは、半導体製造プロセスを実行するための複数の（本実施形態では3つの）処理チャンバ2A～2Cを有する半導体製造装置1と、複数の処理チャンバ2A～2Cの温度を調節するための複数の

(本実施形態では3つの)温度調節器3A～3Cと、複数の処理チャンバ2A～2Cを冷却するための冷却システム5を備えている。半導体製造装置1および温度調節器3A～3Cは、クリーンルーム内に配置されている。

[0021] 本実施形態の半導体製造装置1は、エッチング処理を実施するエッチング装置である。一実施形態では、半導体製造装置1は、CVD装置、PVD装置など他の処理を行う装置であってもよい。本実施形態では、半導体製造装置1は、3つの処理チャンバ2A～2Cを有しているが、一実施形態では、半導体製造装置1は、2つの処理チャンバ、あるいは4つ以上の処理チャンバを有してもよい。半導体製造システムは、複数の処理チャンバの数に対応する数の温度調節器を備えている。複数の温度調節器3A～3Cは、複数の処理チャンバ2A～2Cにそれぞれ連結されており、複数の処理チャンバ2A～2Cの温度を調節する温度調節液をそれぞれ生成するように構成されている。これにより、複数の温度調節器3A～3Cは、複数の処理チャンバ2A～2Cの温度を個別に調節することができる。

[0022] 冷却システム5は、3つの温度調節器3A～3Cを介して3つの処理チャンバ2A～2Cに連結されている。冷却システム5は、3つの処理チャンバ2A～2Cを冷却するための冷却液を生成する複数の(本実施形態では3つの)熱交換ユニット8A～8Cと、3つの処理チャンバ2A～2Cを加熱するための加熱液を生成する複数の(本実施形態では3つの)加熱ユニット9A～9Cと、不凍液を冷却するための冷却装置10を備えている。

[0023] 本実施形態では、熱交換ユニット8A～8Cの数は、処理チャンバ2A～2Cの数と同じであり、加熱ユニット9A～9Cの数は、処理チャンバ2A～2Cの数と同じである。一実施形態では、熱交換ユニット8A～8Cの数は、処理チャンバ2A～2Cの数よりも少なくてもよく、加熱ユニット9A～9Cの数は、処理チャンバ2A～2Cの数よりも少なくてもよい。

[0024] 冷却システム5の少なくとも一部は、サブファブエリア内に配置されている。本実施形態では、熱交換ユニット8A～8C、加熱ユニット9A～9C、および冷却装置10の一部は、サブファブエリア内に配置されている。冷

却液および加熱液としては、フッ素系の不活性液体などの同じ種類の液体が使用される。熱交換ユニット 8 A～8 C、および加熱ユニット 9 A～9 C をクリーンルームの下サブファブエリア内に設置することにより、クリーンルーム内の設置面積を減らすことができる。

[0025] 半導体製造システムは、3つの温度調節器 3 A～3 C と 3つの熱交換ユニット 8 A～8 C との間をそれぞれ延びる 3つの冷却液ライン 1 2 と、3つの温度調節器 3 A～3 C と 3つの加熱ユニット 9 A～9 C との間をそれぞれ延びる 3つの加熱液ライン 1 5 と、3つの温度調節器 3 A～3 C と 3つの処理チャンバ 2 A～2 C との間をそれぞれ延びる 3つの温度調節液ライン 1 8 をさらに備えている。3つの冷却液ライン 1 2 は基本的に同じ構成を有しており、3つの加熱液ライン 1 5 は基本的に同じ構成を有しており、3つの温度調節液ライン 1 8 は基本的に同じ構成を有しているので、以下では、温度調節器 3 A と熱交換ユニット 8 A との間を延びる冷却液ライン 1 2、温度調節器 3 A と加熱ユニット 9 A との間を延びる加熱液ライン 1 5、および温度調節器 3 A と処理チャンバ 2 A との間を延びる温度調節液ライン 1 8 について説明する。また、3つの温度調節器 3 A～3 C は、基本的に同じ構成を有しているため、その重複する説明を省略する。

[0026] 温度調節器 3 A と熱交換ユニット 8 A との間を延びる冷却液ライン 1 2 は、熱交換ユニット 8 A により生成された冷却液を温度調節器 3 A に供給するための冷却液供給ライン 1 3 と、処理チャンバ 2 A および温度調節器 3 A を通過した冷却液を熱交換ユニット 8 A に戻すための冷却液戻りライン 1 4 を備えている。温度調節器 3 A と加熱ユニット 9 A との間を延びる加熱液ライン 1 5 は、加熱ユニット 9 A により生成された加熱液を温度調節器 3 A に供給するための加熱液供給ライン 1 6 と、処理チャンバ 2 A および温度調節器 3 A を通過した加熱液を加熱ユニット 9 A に戻すための加熱液戻りライン 1 7 を備えている。温度調節器 3 A と処理チャンバ 2 A との間を延びる温度調節液ライン 1 8 は、温度調節器 3 A により生成された温度調節液を処理チャンバ 2 A に供給するための温度調節液供給ライン 1 9 と、処理チャンバ 2 A

を通過した温度調節液を温度調節器 3 A に戻すための温度調節液戻りライン 20 を備えている。

[0027] 冷却液供給ライン 13 の一端は、熱交換ユニット 8 A に連結され、加熱液供給ライン 16 の一端は、加熱ユニット 9 A に連結されている。冷却液供給ライン 13 および加熱液供給ライン 16 の他端は、温度調節器 3 A の混合部 22 に連結されている。熱交換ユニット 8 A により生成された冷却液と、加熱ユニット 9 A により生成された加熱液は、冷却液供給ライン 13 および加熱液供給ライン 16 をそれぞれ流れて、温度調節器 3 A の混合部 22 で混合され、温度調節液を形成する。処理チャンバ 2 A に送られる温度調節液の温度は、冷却液の流量と加熱液の流量（すなわち、冷却液と加熱液との混合比）によって決まる。温度調節器 3 A は、図示しない冷却液流量調節弁および加熱液流量調節弁を備え、処理チャンバ 2 A の目標温度に基づいて、冷却液流量調節弁および加熱液流量調節弁により冷却液の流量および加熱液の流量を調節する。このようにして、温度調節器 3 A は、処理チャンバ 2 A の温度を調節するための温度調節液を生成する。

[0028] 一実施形態では、冷却液の流量を 0 にして、処理チャンバ 2 A に加熱液のみを供給してもよい。同様に、加熱液の流量を 0 にして、処理チャンバ 2 A に冷却液のみを供給してもよい。処理チャンバ 2 A の目標温度は、処理チャンバ 2 A を冷却するための温度であってもよいし、処理チャンバ 2 A を加熱するための温度であってもよい。

[0029] 温度調節器 3 A の混合部 22 は、温度調節液供給ライン 19 を通じて処理チャンバ 2 A に連結されている。温度調節器 3 A により生成された温度調節液は、温度調節液供給ライン 19 を流れて、処理チャンバ 2 A に供給される。処理チャンバ 2 A は、温度調節液戻りライン 20 を通じて温度調節器 3 A の分配部 23 に連結されている。冷却液戻りライン 14 の一端は分配部 23 に連結され、冷却液戻りライン 14 の他端は熱交換ユニット 8 A に連結されている。加熱液戻りライン 17 の一端は分配部 23 に連結され、加熱液戻りライン 17 の他端は加熱ユニット 9 A に連結されている。

- [0030] 処理チャンバ2 A内を通過した温度調節液は、温度調節液戻りライン2 0を流れて温度調節器3 Aの分配部2 3で冷却液戻りライン1 4と加熱液戻りライン1 7に分配される。すなわち、温度調節液の一部は、冷却液として冷却液戻りライン1 4を通じて熱交換ユニット8 Aに戻され、温度調節液の他の部分は、加熱液として加熱液戻りライン1 7を通じて加熱ユニット9 Aに戻される。このようにして、冷却液は、冷却液ライン1 2および温度調節液ライン1 8を通じて、熱交換ユニット8 A、温度調節器3 A、および処理チャンバ2 Aとの間を循環する。加熱液は、加熱液ライン1 5および温度調節液ライン1 8を通じて、加熱ユニット9 A、温度調節器3 A、および処理チャンバ2 Aとの間を循環する。
- [0031] 同様に、熱交換ユニット8 Bにより生成された冷却液は、熱交換ユニット8 B、温度調節器3 B、および処理チャンバ2 Bとの間を循環し、加熱ユニット9 Bにより生成された加熱液は、加熱ユニット9 B、温度調節器3 B、および処理チャンバ2 Bとの間を循環する。熱交換ユニット8 Cにより生成された冷却液は、熱交換ユニット8 C、温度調節器3 C、および処理チャンバ2 Cとの間を循環し、加熱ユニット9 Cにより生成された加熱液は、加熱ユニット9 C、温度調節器3 C、および処理チャンバ2 Cとの間を循環する。
- [0032] 次に熱交換ユニット8 A～8 Cの構成について、説明する。3つの熱交換ユニット8 A～8 Cは、基本的に同じ構成を有しているので、以下では、熱交換ユニット8 Aについて説明する。熱交換ユニット8 Aは、冷却液を処理チャンバ2 Aを通して循環させるための冷却液ポンプ3 0と、冷却液と冷却装置1 0から供給された不凍液との間で熱交換を行う熱交換器3 1と、冷却液の循環方向において、熱交換器3 1の上流側に配置された冷却側バッファタンク3 3を備えている。冷却液供給ライン1 3は、冷却液ポンプ3 0を介して熱交換器3 1に連結され、冷却液戻りライン1 4は冷却側バッファタンク3 3を介して熱交換器3 1に連結されている。冷却液ポンプ3 0は、冷却液供給ライン1 3に連結されており、冷却液の循環方向において、熱交換器

３１の下流側に配置されている。一実施形態では、冷却液ポンプ３０は、冷却液の循環方向において、熱交換器３１の上流側に配置されてもよい。冷却側バッファタンク３３は、冷却液戻りライン１４および熱交換器３１に連結されている。冷却液ポンプ３０は、冷却液を温度調節器３Ａ、処理チャンバ２Ａ、および熱交換ユニット８Ａを通して循環させるように構成されている。

[0033] 冷却液戻りライン１４を通じて熱交換ユニット８Ａに戻された冷却液は、冷却側バッファタンク３３内に貯留される。冷却側バッファタンク３３は、熱的バッファとして機能し、熱交換器３１に供給される冷却液の温度の変動を低減させることができる。冷却側バッファタンク３３から流出した冷却液は熱交換器３１に導かれ、熱交換器３１内で冷却装置１０から供給された不凍液と熱交換を行う。冷却液と不凍液との熱交換の結果、冷却液は冷却され、その一方で不凍液は加熱される。熱交換器３１内を通過することによって冷却された冷却液は、冷却液ポンプ３０によって冷却液供給ライン１３を通じて温度調節器３Ａに供給され、温度調節液供給ライン１９を通じて処理チャンバ２Ａに供給される。このようにして、熱交換ユニット８Ａは、冷却液を温度調節器３Ａを介して処理チャンバ２Ａに供給する。

[0034] 同様に、熱交換ユニット８Ｂは、冷却液を温度調節器３Ｂを介して処理チャンバ２Ｂに供給し、熱交換ユニット８Ｃは、冷却液を温度調節器３Ｃを介して処理チャンバ２Ｃに供給する。本実施形態では、熱交換ユニット８Ａ～８Ｃは、冷却システム５から個別に取り外し可能に構成されている。これにより、熱交換ユニット８Ａ～８Ｃのいずれかを取り外して、メンテナンス、修理などを実行することができる。さらに、熱交換ユニット８Ａ～８Ｃを、仕様を変更した新たなユニットに容易に置き換えることができる。一実施形態では、熱交換ユニット８Ａ～８Ｃは、冷却システム５から取り外し可能に構成されていなくてもよい。例えば、熱交換ユニット８Ａ～８Ｃは、加熱ユニット９Ａ～９Ｃと一体に構成されていてもよい。

[0035] 次に加熱ユニット９Ａ～９Ｃの構成について、説明する。３つの加熱ユニ

ット 9 A～9 C は、基本的に同じ構成を有しているので、以下では、加熱ユニット 9 A について説明する。加熱ユニット 9 A は、加熱液を加熱する加熱装置 4 0 と、加熱液を処理チャンバ 2 A を通じて循環させるための加熱液ポンプ 4 1 と、加熱液の循環方向において加熱装置 4 0 の上流側に配置された加熱側バッファタンク 4 3 を備えている。加熱液供給ライン 1 6 は、加熱液ポンプ 4 1 を介して加熱装置 4 0 に連結され、加熱液戻りライン 1 7 は加熱側バッファタンク 4 3 を介して加熱装置 4 0 に連結されている。加熱液ポンプ 4 1 は、加熱液供給ライン 1 6 に連結されており、加熱液の循環方向において、加熱装置 4 0 の下流側に配置されている。一実施形態では、加熱液ポンプ 4 1 は、加熱液の循環方向において、加熱装置 4 0 の上流側に配置されてもよい。加熱側バッファタンク 4 3 は、加熱液戻りライン 1 7 および加熱装置 4 0 に連結されている。加熱液ポンプ 4 1 は、加熱液を温度調節器 3 A、処理チャンバ 2 A、および加熱ユニット 9 A を通って循環させるように構成されている。

[0036] 加熱液戻りライン 1 7 を通じて加熱ユニット 9 A に戻された加熱液は、加熱側バッファタンク 4 3 内に貯留される。加熱側バッファタンク 4 3 は、熱的バッファとして機能し、加熱装置 4 0 に流れる加熱液の温度の変動を低減させることができる。加熱側バッファタンク 4 3 から流出した加熱液は加熱装置 4 0 に導かれ、加熱装置 4 0 内で加熱される。加熱装置 4 0 内で加熱された加熱液は、加熱液ポンプ 4 1 によって加熱液供給ライン 1 6 を通じて温度調節器 3 A に供給され、温度調節液供給ライン 1 9 を通じて処理チャンバ 2 A に供給される。このようにして、加熱ユニット 9 A は、加熱液を温度調節器 3 A を介して処理チャンバ 2 A に供給する。加熱装置 4 0 は、電気ヒータ等を用いることができる。加熱装置 4 0 の構成は、液体を加熱できるものであれば、特に限定されない。

[0037] 同様に、加熱ユニット 9 B は、加熱液を温度調節器 3 B を介して処理チャンバ 2 B に供給し、加熱ユニット 9 C は、加熱液を温度調節器 3 C を介して処理チャンバ 2 C に供給する。本実施形態では、加熱ユニット 9 A～9 C は

、冷却システム5から個別に取り外し可能に構成されている。これにより、加熱ユニット9A～9Cのいずれかを取り外して、メンテナンス、修理などを実行することができる。さらに、加熱ユニット9A～9Cを、仕様を変更した新たなユニットに容易に置き換えることができる。一実施形態では、加熱ユニット9A～9Cは、冷却システム5から取り外し可能に構成されていなくてもよい。例えば、加熱ユニット9A～9Cは、熱交換ユニット8A～8Cと一体に構成されていてもよい。

[0038] 冷却システム5は、3つの熱交換ユニット8A～8Cと冷却装置10との間を延びる不凍液循環ライン25と、不凍液を不凍液循環ライン25内で循環させるための不凍液ポンプ27をさらに備えている。不凍液ポンプ27は、不凍液循環ライン25に配置されており、不凍液を冷却装置10と3つの熱交換ユニット8A～8Cとの間で循環させるように構成されている。不凍液としては、例えば、パーフルオロカーボン（PFC）液、またはエチレングリコール液などを用いることができる。

[0039] 不凍液循環ライン25は、冷却装置10に連結された主幹循環ライン26と、主幹循環ライン26から分岐する第1分岐供給ライン28A、第1分岐戻りライン29A、第2分岐供給ライン28B、第2分岐戻りライン29B、第3分岐供給ライン28C、および第3分岐戻りライン29Cを備えている。第1分岐供給ライン28Aおよび第1分岐戻りライン29Aは、主幹循環ライン26と熱交換ユニット8Aとの間を延びている。第2分岐供給ライン28Bおよび第2分岐戻りライン29Bは、主幹循環ライン26と熱交換ユニット8Bとの間を延びている。第3分岐供給ライン28Cおよび第3分岐戻りライン29Cは、主幹循環ライン26と熱交換ユニット8Cとの間を延びている。不凍液ポンプ27は、不凍液循環ライン25の主幹循環ライン26に配置されている。

[0040] 冷却装置10から供給された不凍液は、主幹循環ライン26を流れて、第1分岐供給ライン28A、第2分岐供給ライン28B、および第3分岐供給ライン28Cに分流する。第1分岐供給ライン28Aを流れる不凍液は、熱

交換ユニット 8 A の熱交換器 3 1 に導かれ、上述したように、熱交換器 3 1 内で冷却液と熱交換を行う。熱交換器 3 1 内を通過することによって加熱された不凍液は、第 1 分岐戻りライン 2 9 A を通って主幹循環ライン 2 6 に合流する。

[0041] 同様に、第 2 分岐供給ライン 2 8 B を流れる不凍液は、熱交換ユニット 8 B の熱交換器 3 1 に導かれ、熱交換器 3 1 内で冷却液と熱交換を行う。熱交換器 3 1 内を通過することによって加熱された不凍液は、第 2 分岐供戻りライン 2 9 B を通って主幹循環ライン 2 6 に合流する。第 3 分岐供給ライン 2 8 C を流れる不凍液は、熱交換ユニット 8 C の熱交換器 3 1 に導かれ、熱交換器 3 1 内で冷却液と熱交換を行う。熱交換器 3 1 内を通過することによって加熱された不凍液は、第 3 分岐戻りライン 2 9 C を通って主幹循環ライン 2 6 に合流する。

[0042] 熱交換ユニット 8 A ～ 8 C を通過して、主幹循環ライン 2 6 に合流した不凍液は、冷却装置 1 0 に戻される。第 1 分岐戻りライン 2 9 A、第 2 分岐供戻りライン 2 9 B、および第 3 分岐戻りライン 2 9 C が主幹循環ライン 2 6 に接続される合流点は、第 1 分岐供給ライン 2 8 A、第 2 分岐供給ライン 2 8 B、および第 3 分岐供給ライン 2 8 C が主幹循環ライン 2 6 から分岐する分岐点よりも、不凍液の循環方向において下流側に位置する。

[0043] 本実施形態によれば、熱交換ユニット 8 A ～ 8 C は、従来の複数のチラー（図 1 1 参照）の冷凍サイクルとは異なり、圧縮機、凝縮器、蒸発器などの構成要素を有していないので、サブファブエリア内に大きな設置スペースを必要とせず、半導体製造装置 1 に使用される複数の処理チャンバ 2 A ～ 2 C を冷却することができる。

[0044] さらに、本実施形態によれば、複数の処理チャンバ 2 A ～ 2 C に供給する冷却液を生成するための、十分に低い温度の不凍液を冷却装置 1 0 で包括的に生成することにより、高い冷却効率を達成できる。結果として、冷却装置 1 0 の消費電力は、従来の複数のチラーの総消費電力よりも小さく、省エネ運転が達成できる。

- [0045] 次に、冷却装置 10 の構成について説明する。図 2 は、冷却装置 10 の詳細構造の一実施形態を示す模式図である。本実施形態の冷却装置 10 は、不凍液と熱交換を行う第 1 冷媒が循環する第 1 冷凍装置 51 と、第 1 冷媒と熱交換を行う第 2 冷媒が循環する第 2 冷凍装置 52 を備えている。第 1 冷凍装置 51 は、液相の第 1 冷媒（冷媒液）を蒸発させて気相の第 1 冷媒（冷媒ガス）を生成する第 1 蒸発器 61 と、気相の第 1 冷媒を圧縮する第 1 圧縮機 62 と、圧縮された気相の第 1 冷媒を凝縮させて液相の第 1 冷媒を生成する第 1 凝縮器 64 を備えている。本実施形態の第 1 冷凍装置 51 は、遠心式の第 1 圧縮機 62 を備えたターボ冷凍機（遠心式冷凍機）である。第 1 蒸発器 61、第 1 圧縮機 62、および第 1 凝縮器 64 は、第 1 冷媒ライン 66 によって連結されている。第 1 冷媒は、第 1 冷媒ライン 66 を通って第 1 蒸発器 61、第 1 圧縮機 62、第 1 凝縮器 64 を循環する。
- [0046] 第 1 冷凍装置 51 は、第 1 蒸発器 61 と第 1 凝縮器 64 との間に位置する第 1 膨張機構としての第 1 膨張弁 67 をさらに備えている。第 1 膨張弁 67 は、第 1 冷媒ライン 66 に取り付けられており、第 1 蒸発器 61 と第 1 凝縮器 64 との間に配置されている。第 1 凝縮器 64 から第 1 蒸発器 61 に流れる第 1 冷媒は第 1 膨張弁 67 を通過することで、第 1 冷媒の圧力と温度が低下する。第 1 膨張弁 67 を通過した第 1 冷媒は、第 1 蒸発器 61 に流入する。
- [0047] 上述した不凍液循環ライン 25 は、第 1 蒸発器 61 に接続されており、第 1 蒸発器 61 内で不凍液と第 1 冷媒との熱交換が行われる。この熱交換の結果、不凍液は冷却されて低温（例えば、 -30°C ～ -120°C ）となり、その一方で第 1 冷媒は不凍液により加熱されて蒸発し、冷媒ガスとなる。冷却された不凍液は、不凍液循環ライン 25 を通って熱交換ユニット 8A～8C に送られ、冷媒ガスは、第 1 冷媒ライン 66 を通って第 1 圧縮機 62 に送られる。第 1 圧縮機 62 は、冷媒ガスを圧縮し、圧縮された冷媒ガスを第 1 凝縮器 64 に送る。第 1 凝縮器 64 では、後述するように、冷媒ガスは、凝縮されて冷媒液となる。

- [0048] 第2冷凍装置52は、液相の第2冷媒（冷媒液）を蒸発させて気相の第2冷媒（冷媒ガス）を生成する第2蒸発器71と、気相の第2冷媒を圧縮する第2圧縮機72と、圧縮された気相の第2冷媒を凝縮させて液相の第2冷媒を生成する第2凝縮器74を備えている。本実施形態の第2冷凍装置52は、遠心式の第2圧縮機72を備えたターボ冷凍機（遠心式冷凍機）である。第2蒸発器71、第2圧縮機72、および第2凝縮器74は、第2冷媒ライン76によって連結されている。第2冷媒は、第2冷媒ライン76を通して第2蒸発器71、第2圧縮機72、第2凝縮器74を循環する。
- [0049] 冷却装置10は、第1冷凍装置51と第2冷凍装置52との間で中間媒体を循環させるための中間媒体循環ライン55をさらに備えている。中間媒体循環ライン55は、第1冷凍装置51と第2冷凍装置52とに接続されている。より具体的には、中間媒体循環ライン55は、中間媒体を第2冷凍装置52の第2蒸発器71から第1冷凍装置51の第1凝縮器64に送るための中間媒体送りライン55Aと、中間媒体を第1冷凍装置51の第1凝縮器64から第2冷凍装置52の第2蒸発器71に戻すための中間媒体戻りライン55Bを有している。中間媒体送りライン55Aの一端は第1凝縮器64に接続され、中間媒体送りライン55Aの他端は第2蒸発器71に接続されている。中間媒体戻りライン55Bの一端は第1凝縮器64に接続され、中間媒体戻りライン55Bの他端は第2蒸発器71に接続されている。
- [0050] 中間媒体は、中間媒体循環ライン55を通して第1冷凍装置51の第1凝縮器64と第2冷凍装置52の第2蒸発器71との間を循環する。気相の第1冷媒（冷媒ガス）と中間媒体は、第1凝縮器64内で熱交換を行う。その結果、気相の第1冷媒は、中間媒体に冷却されて液相の第1冷媒（冷媒液）となる。中間媒体は、第1冷媒に加熱されて温度が上昇する。
- [0051] 第1冷媒に加熱された中間媒体と、液相の第2冷媒（冷媒液）は、第2蒸発器71内で熱交換を行う。その結果、液相の第2冷媒は、中間媒体に加熱されて気相の第2冷媒（冷媒ガス）となり、その一方で、中間媒体は、第2冷媒に冷却されて温度が低下する。冷却された中間媒体は、中間媒体循環ラ

イン 5 5 を通って第 1 冷凍装置 5 1 の第 1 凝縮器 6 4 に送られる。冷却された中間媒体と第 1 冷媒は、第 1 凝縮器 6 4 内で熱交換を行う。このようにして、中間媒体は、中間媒体循環ライン 5 5 を通って第 1 冷凍装置 5 1 の第 1 凝縮器 6 4 と第 2 冷凍装置 5 2 の第 2 蒸発器 7 1 との間を循環する。第 2 蒸発器 7 1 から第 1 凝縮器 6 4 に向かって流れる中間媒体の温度は、例えば、 0°C ～ -80°C である。

[0052] 第 2 蒸発器 7 1 では、第 2 冷媒は中間媒体により加熱されて蒸発し、冷媒ガスとなる。この冷媒ガスは、第 2 冷媒ライン 7 6 を通って第 2 圧縮機 7 2 に送られる。第 2 圧縮機 7 2 は、冷媒ガスを圧縮し、圧縮された冷媒ガスを第 2 凝縮器 7 4 に送る。第 2 凝縮器 7 4 では、図示しない冷却水源から供給される冷却水と、冷媒ガス（気相の第 2 冷媒）と熱交換が行われる。その結果、冷媒ガスは、凝縮されて冷媒液となる。

[0053] 上述したように、第 1 冷凍装置 5 1 の第 1 冷媒と第 2 冷凍装置 5 2 の第 2 冷媒は、中間媒体を介して熱交換する。中間媒体は、第 1 冷媒および第 2 冷媒とは異なる種類の液体である。より具体的には、中間媒体は、パーフルオロカーボン（PFC）液、またはエチレングリコール液などのブライン（不凍液）である。したがって、中間媒体は、液相のまま中間媒体循環ライン 5 5 を循環する。

[0054] 中間媒体には、第 1 冷媒の熱を第 2 冷媒に伝達することができる限りにおいて、第 1 冷媒および第 2 冷媒よりも取り扱いが容易なブライン（不凍液）を使用することができる。したがって、中間媒体循環ライン 5 5 には、樹脂チューブなどの柔軟性のある安価な配管を使用することができる。結果として、製造コストを下げることができ、さらには第 1 冷凍装置 5 1 と第 2 冷凍装置 5 2 の配置の自由度が増す。

[0055] また、中間媒体は、その体積に応じた熱的容量を有するので、第 1 冷媒と第 2 冷媒との間の熱的バッファとしても機能する。一般に、熱交換ユニット 8 A～8 C において熱交換に使用された不凍液の温度は変動し、これに応じて第 1 冷媒の温度も変動しやすい。中間媒体は、このような第 1 冷媒の温度

の変動を吸収することができるので、冷却装置１０の運転を安定させることができる。結果として、冷却装置１０は、安定した温度の不凍液を熱交換ユニット８Ａ～８Ｃに供給することができる。

[0056] 第２冷凍装置５２は、第２蒸発器７１と第２凝縮器７４との間に位置する第２膨張機構としての第２膨張弁７７をさらに備えている。第２膨張弁７７は、第２冷媒ライン７６に取り付けられており、第２蒸発器７１と第２凝縮器７４との間に配置されている。第２凝縮器７４から第２蒸発器７１に流れる第２冷媒は第２膨張弁７７を通過することで、第２冷媒の圧力と温度が低下する。第２膨張弁７７を通過した第２冷媒は、第２蒸発器７１に流入する。

[0057] 本実施形態によれば、第１冷凍装置５１と第２冷凍装置５２を備えた冷却装置１０は、複数の処理チャンバ２Ａ～２Ｃを包括的に冷却し、第１冷凍装置５１と第２冷凍装置５２が直列に接続されることにより二元冷凍サイクルの冷却装置と同等の作用があり、必要な十分に低い温度にまで不凍液を冷却することができる。さらに、第１冷凍装置５１および第２冷凍装置５２は、別個の装置として構成されているため、異なる場所に設置することができる。本実施形態では、第１冷凍装置５１は、サブファブエリア内に配置され、第２冷凍装置５２は、クリーンルームおよびサブファブエリアの外に配置されている。第１冷凍装置５１をサブファブエリア内に配置することにより、熱交換ユニット８Ａ～８Ｃまでの配管を短くすることができ、熱損失を減らすことができる。第２冷凍装置５２をクリーンルームおよびサブファブエリアの外に配置することにより、クリーンルームとサブファブエリア内に必要な設置スペースを小さくすることができる。

[0058] 通常、第１冷凍装置５１には、第１圧縮機６２の軸受部分などに潤滑油が用いられる。しかしながら、サブファブエリア内では高い清浄度が要求されるため、サブファブエリア内に第１冷凍装置５１を配置する場合、第１冷凍装置５１に潤滑油を使用できないことがあった。さらに、サブファブエリア内では、低騒音であることも求められる。そこで、本実施形態では、第１冷

凍装置 5 1 の第 1 圧縮機 6 2 は、潤滑油を使用せず、低騒音を実現するために、軸受装置として磁気軸受を備えている。

[0059] 図 3 は、第 1 冷凍装置 5 1 の第 1 圧縮機 6 2 の詳細構造の一実施形態を示す模式図である。本実施形態の第 1 圧縮機 6 2 は、単段遠心式圧縮機から構成されている。より具体的には、第 1 圧縮機 6 2 は、単段の羽根車 8 1 と、羽根車 8 1 と一体に回転可能な回転体 8 2 と、羽根車 8 1 および回転体 8 2 を回転させる電動機 8 3 と、回転体 8 2 を非接触で回転可能に支持する磁気軸受 8 5 および磁気軸受 8 6 を備えている。本実施形態では、回転体 8 2 は、回転軸であり、羽根車 8 1 は回転軸に固定されている。一実施形態では、回転体 8 2 は、回転軸とギヤとの組み合わせであってもよい。一実施形態では、羽根車 8 1 は回転体 8 2 と一体に構成されてもよい。磁気軸受 8 5 および磁気軸受 8 6 は、電動機 8 3 の内部に配置されており、回転体 8 2 を磁気浮上させて非接触で支持するように構成されている。一実施形態では、第 1 圧縮機 6 2 は、多段の羽根車を備えた多段遠心式圧縮機であってもよい。

[0060] 第 1 圧縮機 6 2 の吸込口には、第 1 冷媒の羽根車 8 1 への吸込流量を調整するガイドベーン 8 8 が配置されている。ガイドベーン 8 8 は羽根車 8 1 の吸込側に位置している。ガイドベーン 8 8 は放射状に配置されており、各ガイドベーン 8 8 が自身の軸心を中心として互いに同期して所定の角度だけ回転することにより、ガイドベーン 8 8 の開度が変更される。第 1 蒸発器 6 1 から送られた第 1 冷媒の冷媒ガスは、ガイドベーン 8 8 を通過し、その後、回転する羽根車 8 1 によって昇圧される。昇圧された第 1 冷媒の冷媒ガスは、第 1 冷媒ライン 6 6 を通って第 1 凝縮器 6 4 に送られる。

[0061] 本実施形態によれば、第 1 圧縮機 6 2 は、非接触で回転体 8 2 を支持する磁気軸受 8 5 および磁気軸受 8 6 を備えているため、第 1 圧縮機 6 2 に潤滑油を使用する必要がなく、高い清浄度かつ低騒音で稼働させることができる。結果として、第 1 冷凍装置 5 1 を高い清浄度かつ低騒音が求められるサブファブエリア内に配置することができる。一実施形態では、第 2 冷凍装置 5 2 も第 1 冷凍装置 5 1 と同様の構成を備え、第 2 圧縮機 7 2 が非接触で回転

体（図示せず）を支持する磁気軸受（図示せず）を備えてもよい。この場合、第2冷凍装置52はサブファブエリア内に配置されてもよい。

[0062] 図4は、冷却装置10の詳細構造の他の実施形態を示す模式図である。図4に示す冷却装置10は、異なる沸点を有する第1冷媒と第2冷媒を用いた二元冷凍サイクルを備えている。第1冷媒の沸点は、第2冷媒の沸点よりも低い。特に説明しない本実施形態の構成および動作は、図2を参照して説明した実施形態と同じであるので、その重複する説明を省略する。

[0063] 第1冷凍装置51の凝縮器と、第2冷凍装置52の蒸発器は、共通のカスケードコンデンサ90から構成されている。カスケードコンデンサ90は、第1冷凍装置51の凝縮器が第2冷凍装置52の蒸発器を兼ねている熱交換器である。二元冷凍サイクルを備えた冷却装置10は、サブファブエリアに設置場所を確保できる場合は、サブファブエリア内に設置されてもよく、あるいは、クリーンルームおよびサブファブエリア内に設置場所を確保できない場合は、サブファブエリアの外に設置されてもよい。

[0064] 本実施形態では、上述した中間媒体循環ライン55は設けられていない。第1冷凍装置51の第1冷媒ライン66と、第2冷凍装置52の第2冷媒ライン76の両方は、カスケードコンデンサ90に接続されている。第1冷凍装置51を循環する第1冷媒および第2冷凍装置52を循環する第2冷媒は、カスケードコンデンサ90を流れ、カスケードコンデンサ90内で第1冷媒と第2冷媒との熱交換が行われる。

[0065] 本実施形態によれば、二元冷凍サイクルを備えた冷却装置10は、複数の処理チャンバ2A～2Cを冷却するのに必要な十分に低い温度まで、不凍液を冷却することができる。また、カスケードコンデンサ90は第1冷凍装置51の凝縮器が第2冷凍装置52の蒸発器を兼ねているので、熱交換器を減らすことができ、冷却装置10の設置面積を減らすことができる。

[0066] 図5は、冷却システム5を含む半導体製造システムの他の実施形態を示す模式図である。本実施形態の冷却装置10は、単一のターボ冷凍機（遠心式冷凍機）であり、冷却装置10の全体はサブファブエリア内に配置されてい

る。図6は、図5に示す冷却装置10の詳細構造の一実施形態を示す模式図である。冷却装置（ターボ冷凍機）10は、冷媒液を蒸発させて冷媒ガス（気相の冷媒）を生成する蒸発器101と、冷媒ガスを圧縮する圧縮機102と、圧縮された冷媒ガスを凝縮させて冷媒液（液相の冷媒）を生成する凝縮器104を備えている。蒸発器101、圧縮機102、および凝縮器104は、冷媒ライン106によって連結されている。冷媒（冷媒ガスまたは冷媒液）は、冷媒ライン106を通して蒸発器101、圧縮機102、凝縮器104を循環する。

[0067] 冷却装置（ターボ冷凍機）10は、蒸発器101と凝縮器104との間に位置する膨張機構としての膨張弁107をさらに備えている。膨張弁107は、冷媒ライン106に取り付けられている。凝縮器104から蒸発器101に流れる冷媒液は膨張弁107を通過することで、冷媒液の圧力と温度が低下する。膨張弁107を通過した冷媒液は、蒸発器101に流入する。

[0068] 上述した不凍液循環ライン25は、蒸発器101に接続されており、蒸発器101内で不凍液と冷媒液との熱交換が行われる。この熱交換の結果、不凍液は冷却されて低温（例えば、 -30°C ～ -120°C ）となり、その一方で冷媒液は不凍液により加熱されて蒸発し、冷媒ガスとなる。冷却された不凍液は、不凍液循環ライン25を通して熱交換ユニット8A～8Cに送られ、冷媒ガスは、冷媒ライン106を通して圧縮機102に送られる。圧縮機102は、冷媒ガスを圧縮し、圧縮された冷媒ガスを凝縮器104に送る。凝縮器104は、冷媒ガスを凝縮して、冷媒液を生成する。

[0069] 本実施形態の圧縮機102は、潤滑油を使用せず、低騒音を実現するために、軸受装置として磁気軸受を備えている。圧縮機102の構成の詳細は、図3を参照して説明した第1冷凍装置51の第1圧縮機62の構成と同様であるので、その重複する説明を省略する。

[0070] 圧縮機102に磁気軸受を使用した本実施形態の冷却装置（ターボ冷凍機）10は、遠心式の圧縮機102を使用することにより、容積式の圧縮機を使用している従来のチラーと比較して大容量化、および高効率化を図ること

ができる。また、磁気軸受を使用することにより、オイルフリーとなり、油回収をする必要がなく、さらに効率化される。そのため、単独で複数の処理チャンバ2 A～2 Cを包括的に冷却するのに必要な十分に低い温度にまで不凍液を冷却することができる。本実施形態の冷却装置（ターボ冷凍機）10は、図2を参照して説明した第1冷凍装置51および第2冷凍装置52のそれぞれよりも冷凍能力の高い大型のターボ冷凍機である。したがって、本実施形態の冷却装置（ターボ冷凍機）10は、単独で不凍液の温度を -30°C ～ -120°C 程度まで冷却することができる。

[0071] 図5に示す実施形態では、冷却装置（ターボ冷凍機）10はサブファブエリア内に配置されているが、一実施形態では冷却装置（ターボ冷凍機）10はクリーンルームおよびサブファブエリアの外に配置されてもよい。

[0072] 図7は、冷却システム5を含む半導体製造システムのさらに他の実施形態を示す模式図である。一実施形態では、図7に示すように、冷却装置10は、クリーンルームおよびサブファブエリアの外に配置されてもよい。本実施形態では、熱交換ユニット8 A～8 C、加熱ユニット9 A～9 Cは、サブファブエリア内に配置されている。このような冷却装置10の配置により、クリーンルームとサブファブエリア内に必要な設置スペースを小さくすることができる。図7に示す実施形態には、図2乃至図6を参照して説明したいずれの冷却装置10を適用してもよい。

[0073] 冷却装置10の構成は、不凍液の温度を -30°C ～ -120°C 程度まで冷却できるものであれば、図2乃至図6を参照して説明した実施形態に限定されない。

[0074] 図8は、冷却システム5を含む半導体製造システムのさらに他の実施形態を示す模式図である。特に説明しない本実施形態の構成および動作は、図1を参照して説明した実施形態と同じであるので、その重複する説明を省略する。図1を参照して説明した実施形態では、冷却システム5は、複数の処理チャンバの数と同じ数の複数の熱交換ユニット（3つの処理チャンバ2 A～2 Cと同じ数の3つの熱交換ユニット8 A～8 C）を備えているが、一実施

形態では、冷却システム 5 は、複数の処理チャンバの数よりも少ない数の複数の熱交換ユニットを備えてもよい。図 8 に示す実施形態では、冷却システム 5 は、単一の熱交換ユニット 8 を備えている。

[0075] 同様に、図 1 を参照して説明した実施形態では、冷却システム 5 は、複数の処理チャンバの数と同じ数の複数の加熱ユニット（3つの処理チャンバ 2 A～2 Cと同じ数の3つの加熱ユニット 9 A～9 C）を備えているが、一実施形態では、冷却システム 5 は、複数の処理チャンバの数よりも少ない数の複数の加熱ユニットを備えてもよい。図 8 に示す実施形態では、冷却システム 5 は、単一の加熱ユニット 9 を備えている。熱交換ユニット 8 および加熱ユニット 9 の構成は、上述した熱交換ユニット 8 A および加熱ユニット 9 A の構成と基本的に同じであるので、その重複する説明を省略する。

[0076] 本実施形態では、冷却システム 5 の不凍液循環ライン 25 は、熱交換ユニット 8 と冷却装置 10 との間を延びている。不凍液ポンプ 27 は、不凍液循環ライン 25 に配置されており、不凍液を冷却装置 10 と熱交換ユニット 8 との間で循環させるように構成されている。冷却装置 10 から供給された不凍液は、不凍液循環ライン 25 を流れて、熱交換ユニット 8 の熱交換器 31 に導かれ、熱交換器 31 内で冷却液と熱交換を行う。熱交換器 31 内を通過することによって加熱された不凍液は、不凍液循環ライン 25 を通って冷却装置 10 に戻される。

[0077] 熱交換ユニット 8 により生成された冷却液は、冷却液供給ライン 13 を通じて温度調節器 3 A～3 C に供給される。より具体的には、冷却液供給ライン 13 は、熱交換ユニット 8 の熱交換器 31 に連結された主幹冷却液供給ライン 93 と、主幹冷却液供給ライン 93 から分岐する第 1 冷却液供給ライン 93 A、第 2 冷却液供給ライン 93 B、および第 3 冷却液供給ライン 93 C を備えている。第 1 冷却液供給ライン 93 A は、主幹冷却液供給ライン 93 と温度調節器 3 A との間を延びている。第 2 冷却液供給ライン 93 B は、主幹冷却液供給ライン 93 と温度調節器 3 B との間を延びている。第 3 冷却液供給ライン 93 C は、主幹冷却液供給ライン 93 と温度調節器 3 C との間を

延びている。冷却液ポンプ30は、主幹冷却液供給ライン93に連結されている。

[0078] 熱交換ユニット8により生成された冷却液は、主幹冷却液供給ライン93を流れて、第1冷却液供給ライン93A、第2冷却液供給ライン93B、および第3冷却液供給ライン93Cに分流する。第1冷却液供給ライン93Aを流れる冷却液は、温度調節器3Aの混合部22で加熱ユニット9により生成された加熱液と混合され、処理チャンバ2Aに供給される。同様に、第2冷却液供給ライン93Bを流れる冷却液は、温度調節器3Bの混合部22で加熱ユニット9により生成された加熱液と混合され、処理チャンバ2Bに供給される。第3冷却液供給ライン93Cを流れる冷却液は、温度調節器3Cの混合部22で加熱ユニット9により生成された加熱液と混合され、処理チャンバ2Cに供給される。このようにして、熱交換ユニット8は、冷却液を温度調節器3A～3Cを介して処理チャンバ2A～2Cに供給する。

[0079] 加熱ユニット9により生成された加熱液は、加熱液供給ライン16を通じて温度調節器3A～3Cに供給される。より具体的には、加熱液供給ライン16は、加熱ユニット9の加熱装置40に連結された主幹加熱液供給ライン96と、主幹加熱液供給ライン96から分岐する第1加熱液供給ライン96A、第2加熱液供給ライン96B、および第3加熱液供給ライン96Cを備えている。第1加熱液供給ライン96Aは、主幹加熱液供給ライン96と温度調節器3Aとの間を延びている。第2加熱液供給ライン96Bは、主幹加熱液供給ライン96と温度調節器3Bとの間を延びている。第3加熱液供給ライン96Cは、主幹加熱液供給ライン96と温度調節器3Cとの間を延びている。加熱液ポンプ41は、主幹加熱液供給ライン96に連結されている。

[0080] 加熱ユニット9により生成された加熱液は、主幹加熱液供給ライン96を流れて、第1加熱液供給ライン96A、第2加熱液供給ライン96B、および第3加熱液供給ライン96Cに分流する。第1加熱液供給ライン96Aを流れる加熱液は、温度調節器3Aの混合部22で熱交換ユニット8により生

成された冷却液と混合され、処理チャンバ2 Aに供給される。同様に、第2加熱液供給ライン9 6 Bを流れる加熱液は、温度調節器3 Bの混合部2 2で熱交換ユニット8により生成された冷却液と混合され、処理チャンバ2 Bに供給される。第3加熱液供給ライン9 6 Cを流れる加熱液は、温度調節器3 Cの混合部2 2で熱交換ユニット8により生成された冷却液と混合され、処理チャンバ2 Cに供給される。このようにして、加熱ユニット9は、加熱液を温度調節器3 A～3 Cを介して処理チャンバ2 A～2 Cに供給する。

[0081] 処理チャンバ2 A～2 C内を通過した温度調節液は、温度調節液戻りライン2 0を流れて温度調節器3 A～3 Cの分配部2 3で冷却液戻りライン1 4と加熱液戻りライン1 7に分配される。すなわち、温度調節液の一部は、冷却液として冷却液戻りライン1 4を通じて熱交換ユニット8に戻され、温度調節液の他の部分は、加熱液として加熱液戻りライン1 7を通じて加熱ユニット9に戻される。冷却液戻りライン1 4は、熱交換ユニット8に連結された主幹冷却液戻りライン9 4と、主幹冷却液戻りライン9 4に合流する第1冷却液戻りライン9 4 A、第2冷却液戻りライン9 4 B、および第3冷却液戻りライン9 4 Cを備えている。第1冷却液戻りライン9 4 Aは、主幹冷却液戻りライン9 4と温度調節器3 Aとの間を延びている。第2冷却液戻りライン9 4 Bは、主幹冷却液戻りライン9 4と温度調節器3 Bとの間を延びている。第3冷却液戻りライン9 4 Cは、主幹冷却液戻りライン9 4と温度調節器3 Cとの間を延びている。

[0082] 処理チャンバ2 A内を通過し、温度調節器3 Aの分配部2 3で分配された冷却液は、第1冷却液戻りライン9 4 Aを流れて、主幹冷却液戻りライン9 4に合流する。処理チャンバ2 B内を通過し、温度調節器3 Bの分配部2 3で分配された冷却液は、第2冷却液戻りライン9 4 Bを流れて、主幹冷却液戻りライン9 4に合流する。処理チャンバ2 C内を通過し、温度調節器3 Cの分配部2 3で分配された冷却液は、第3冷却液戻りライン9 4 Cを流れて、主幹冷却液戻りライン9 4に合流する。主幹冷却液戻りライン9 4を流れる冷却液は、熱交換ユニット8に戻される。

- [0083] 加熱液戻りライン 17 は、加熱ユニット 9 に連結された主幹加熱液戻りライン 97 と、主幹加熱液戻りライン 97 に合流する第 1 加熱液戻りライン 97 A、第 2 加熱液戻りライン 97 B、および第 3 加熱液戻りライン 97 C を備えている。第 1 加熱液戻りライン 97 A は、主幹加熱液戻りライン 97 と温度調節器 3 A との間を延びている。第 2 加熱液戻りライン 97 B は、主幹加熱液戻りライン 97 と温度調節器 3 B との間を延びている。第 3 加熱液戻りライン 97 C は、主幹加熱液戻りライン 97 と温度調節器 3 C との間を延びている。
- [0084] 処理チャンバ 2 A 内を通過し、温度調節器 3 A の分配部 23 で分配された加熱液は、第 1 加熱液戻りライン 97 A を流れて、主幹加熱液戻りライン 97 に合流する。処理チャンバ 2 B 内を通過し、温度調節器 3 B の分配部 23 で分配された加熱液は、第 2 加熱液戻りライン 97 B を流れて、主幹加熱液戻りライン 97 に合流する。処理チャンバ 2 C 内を通過し、温度調節器 3 C の分配部 23 で分配された加熱液は、第 3 加熱液戻りライン 97 C を流れて、主幹加熱液戻りライン 97 に合流する。主幹加熱液戻りライン 97 を流れる加熱液は、加熱ユニット 9 に戻される。
- [0085] このようにして、冷却液は、冷却液ライン 12 および温度調節液ライン 18 を通じて、熱交換ユニット 8、温度調節器 3 A～3 C、および処理チャンバ 2 A～2 C の間を循環する。加熱液は、加熱液ライン 15 および温度調節液ライン 18 を通じて、加熱ユニット 9、温度調節器 3 A～3 C、および処理チャンバ 2 A～2 C の間を循環する。
- [0086] 本実施形態によれば、熱交換ユニット 8 自体に必要な設置スペースが小さくできるのみならず、熱交換ユニット 8 に接続される配管の数も少なくすることができる。結果として、サブファブエリア内に必要な設置スペースをさらに小さくすることができる。また、冷却液戻りライン 14 を通じて熱交換ユニット 8 に戻された冷却液は、冷却側バッファタンク 33 内に貯留される。冷却側バッファタンク 33 がひとつになるので、各処理チャンバ 2 A～2 C からの戻りの冷却液の温度にばらつきがあっても冷却側バッファタンク 3

3が熱的バッファとして機能して冷却液が均一の温度となり、熱交換器31での熱交換条件が良くなる。

[0087] さらに、本実施形態によれば、加熱ユニット9自体に必要な設置スペースが小さくできるのみならず、加熱ユニット9に接続される配管の数も少なくすることができる。結果として、サブファブエリア内に必要な設置スペースをさらに小さくすることができる。また、処理チャンバ2A～2C内で実行される処理サイクル中に処理チャンバ2A～2Cを加熱すべき時間は比較的短い。したがって、複数の処理チャンバ2A～2Cでの加熱時間が重複しないように処理チャンバ2A～2Cの処理サイクルを調整すれば、加熱能力が大きくない（すなわち消費電力の小さい）加熱装置40を用いて複数の処理チャンバ2A～2Cを加熱することができる。また、加熱液戻りライン17を通じて加熱ユニット9に戻された加熱液は、加熱側バッファタンク43内に貯留される。加熱側バッファタンク43がひとつになるので、各処理チャンバ2A～2Cからの戻りの加熱液の温度にばらつきがあっても加熱側バッファタンク43内が熱的バッファとして機能して加熱液が均一の温度となり、加熱装置40に流れる加熱液の温度の変動を低減させることができる。

[0088] 一実施形態では、図9に示すように、冷却システム5は、単一の熱交換ユニット8と、複数の加熱ユニット9A～9Cを備えてもよい。単一の熱交換ユニット8、冷却液供給ライン13、および冷却液戻りライン14の構成は、図8を参照して説明した実施形態と同様であるので、その重複する説明を省略する。冷却装置10、複数の加熱ユニット9A～9C、加熱液供給ライン16、および加熱液戻りライン17の構成は、図1を参照して説明した実施形態と同じであるので、その重複する説明を省略する。

[0089] 本実施形態によれば、複数の加熱ユニット9A～9Cは、複数の処理チャンバ2A～2C内の処理サイクルに従って独立に動作することができる。さらに、本実施形態によれば、熱交換ユニット8自体に必要な設置スペースが小さくできるのみならず、熱交換ユニット8に接続される配管の数も少なくすることができる。結果として、サブファブエリア内に必要な設置スペース

をさらに小さくすることができる。また、冷却側バッファタンク 33 がひとつになるので、処理チャンバ 2A～2C からの戻りの冷却液の温度にばらつきがあっても冷却側バッファタンク 33 内で均一の温度となり、熱交換器 31 での熱交換条件が良くなる。

[0090] 一実施形態では、図 10 に示すように、冷却システム 5 は、複数の熱交換ユニット 8A～8C と、単一の加熱ユニット 9 を備えてもよい。冷却装置 10、複数の熱交換ユニット 8A～8C、冷却液供給ライン 13、および冷却液戻りライン 14 の構成は、図 1 を参照して説明した実施形態と同じであるので、その重複する説明を省略する。単一の加熱ユニット 9、加熱液供給ライン 16、および加熱液戻りライン 17 の構成は、図 8 を参照して説明した実施形態と同様であるので、その重複する説明を省略する。

[0091] 本実施形態によれば、複数の熱交換ユニット 8A～8C は、複数の処理チャンバ 2A～2C 内の処理サイクルに従って独立に動作することができる。さらに、本実施形態によれば、加熱ユニット 9 自体に必要な設置スペースが小さくできるのみならず、加熱ユニット 9 に接続される配管の数も少なくすることができる。結果として、サブファブエリア内に必要な設置スペースをさらに小さくすることができる。また、処理チャンバ 2A～2C 内で実行される処理サイクル中に処理チャンバ 2A～2C を加熱すべき時間は比較的短い。したがって、複数の処理チャンバ 2A～2C での加熱時間が重複しないように処理チャンバ 2A～2C の処理サイクルを調整すれば、加熱能力が大きくない（すなわち消費電力の小さい）加熱装置 40 を用いて複数の処理チャンバ 2A～2C を加熱することができる。

[0092] 図 9 および図 10 に示す実施形態には、図 4 乃至図 7 を参照して説明した冷却装置 10 を適用してもよい。

[0093] 上述した実施形態は、本発明が属する技術分野における通常の知識を有する者が本発明を実施できることを目的として記載されたものである。上記実施形態の種々の変形例は、当業者であれば当然になしうることであり、本発明の技術的思想は他の実施形態にも適用しうる。したがって、本発明は、記

載された実施形態に限定されることはなく、特許請求の範囲によって定義される技術的思想に従った最も広い範囲に解釈されるものである。

産業上の利用可能性

[0094] 本発明は、エッチング装置などの半導体製造装置の冷却に使用される冷却システムに利用可能である。

符号の説明

- [0095]
- | | |
|------------------|------------|
| 1 | 半導体製造装置 |
| 2 A～2 C | 処理チャンバ |
| 3 A～3 C | 温度調節器 |
| 5 | 冷却システム |
| 8, 8 A, 8 B, 8 C | 熱交換ユニット |
| 9, 9 A, 9 B, 9 C | 加熱ユニット |
| 10 | 冷却装置 |
| 12 | 冷却液ライン |
| 13 | 冷却液供給ライン |
| 14 | 冷却液戻りライン |
| 15 | 加熱液ライン |
| 16 | 加熱液供給ライン |
| 17 | 加熱液戻りライン |
| 18 | 温度調節液ライン |
| 19 | 温度調節液供給ライン |
| 20 | 温度調節液戻りライン |
| 22 | 混合部 |
| 23 | 分配部 |
| 25 | 不凍液循環ライン |
| 26 | 主幹循環ライン |
| 27 | 不凍液ポンプ |
| 28 A | 第1分岐供給ライン |

- 2 9 A 第 1 分岐戻りライン
- 2 8 B 第 2 分岐供給ライン
- 2 9 B 第 2 分岐供戻りライン
- 2 8 C 第 3 分岐供給ライン
- 2 9 C 第 3 分岐戻りライン
- 3 0 冷却液ポンプ
- 3 1 熱交換器
- 3 3 冷却側バッファタンク
- 4 0 加熱装置
- 4 1 加熱液ポンプ
- 4 3 加熱側バッファタンク
- 5 1 第 1 冷凍装置
- 5 2 第 2 冷凍装置
- 5 5 中間媒体循環ライン
- 6 1 第 1 蒸発器
- 6 2 第 1 圧縮機
- 6 4 第 1 凝縮器
- 6 6 第 1 冷媒ライン
- 6 7 第 1 膨張弁
- 7 1 第 2 蒸発器
- 7 2 第 2 圧縮機
- 7 4 第 2 凝縮器
- 7 6 第 2 冷媒ライン
- 7 7 第 2 膨張弁
- 8 1 羽根車
- 8 2 回転体
- 8 3 電動機
- 8 5, 8 6 磁気軸受

88	ガイドベーン
90	カスケードコンデンサ
93	主幹冷却液供給ライン
93A	第1冷却液供給ライン
93B	第2冷却液供給ライン
93C	第3冷却液供給ライン
94	主幹冷却液戻りライン
94A	第1冷却液戻りライン
94B	第2冷却液戻りライン
94C	第3冷却液戻りライン
96	主幹加熱液供給ライン
96A	第1加熱液供給ライン
96B	第2加熱液供給ライン
96C	第3加熱液供給ライン
97	主幹加熱液戻りライン
97A	第1加熱液戻りライン
97B	第2加熱液戻りライン
97C	第3加熱液戻りライン
101	蒸発器
102	圧縮機
104	凝縮器
106	冷媒ライン
107	膨張弁
501	エッチング装置
502	処理チャンバ
505	チラー
506	蒸発器
507	圧縮機

5 0 8 凝縮器
5 1 0 大型冷凍機

請求の範囲

- [請求項1] 半導体製造プロセスに使用される複数の処理チャンバを冷却するための冷却システムであって、
- クリーンルーム内に配置された前記複数の処理チャンバを冷却するための冷却液を生成し、前記冷却液を前記複数の処理チャンバに供給する少なくとも1つの熱交換ユニットと、
- 不凍液を冷却するための冷却装置と、
- 前記熱交換ユニットと前記冷却装置との間を延びる不凍液循環ラインと、
- 前記不凍液を前記不凍液循環ライン内で循環させるための不凍液ポンプを備え、
- 前記熱交換ユニットは、
- 前記冷却液を前記複数の処理チャンバを通して循環させるための冷却液ポンプと、
- 前記冷却液と前記不凍液との間で熱交換を行う熱交換器と、
- 前記冷却液の循環方向において、前記熱交換器の上流側に配置された冷却側バッファタンクを備えている、冷却システム。
- [請求項2] 前記冷却装置は、
- 前記不凍液と熱交換を行う第1冷媒が循環する第1冷凍装置と、
- 前記第1冷媒と熱交換を行う第2冷媒が循環する第2冷凍装置と、
- 、
- 前記第1冷凍装置と前記第2冷凍装置との間で中間媒体を循環させるための中間媒体循環ラインを備えている、請求項1に記載の冷却システム。
- [請求項3] 前記冷却装置は、二元冷凍サイクルを備えた冷凍機である、請求項1に記載の冷却システム。
- [請求項4] 前記熱交換ユニットは、前記クリーンルームの下にあるサブファブエリア内に配置されている、請求項1に記載の冷却システム。

- [請求項5] 前記第1冷凍装置は、前記クリーンルームの下にあるサブファブエリア内に配置され、
前記第2冷凍装置は、前記クリーンルームおよび前記サブファブエリアの外に配置されている、請求項2に記載の冷却システム。
- [請求項6] 前記第1冷凍装置は、冷媒ガスを圧縮する圧縮機を備えたターボ冷凍機であり、
前記圧縮機は、
羽根車と、
前記羽根車と一体に回転可能な回転体と、
前記回転体を非接触で回転可能に支持する磁気軸受を備えている、請求項5に記載の冷却システム。
- [請求項7] 前記冷却装置は、冷媒ガスを圧縮する圧縮機を備えたターボ冷凍機であり、
前記圧縮機は、
羽根車と、
前記羽根車と一体に回転可能な回転体と、
前記回転体を非接触で回転可能に支持する磁気軸受を備えている、請求項1に記載の冷却システム。
- [請求項8] 前記冷却装置は、前記クリーンルームおよび前記クリーンルームの下にあるサブファブエリアの外に配置されている、請求項1に記載の冷却システム。
- [請求項9] 前記熱交換ユニットは、前記冷却システムから取り外し可能に構成されている、請求項1に記載の冷却システム。
- [請求項10] 前記少なくとも1つの熱交換ユニットは、前記複数の処理チャンバの数と同じ数の複数の熱交換ユニットである、請求項1に記載の冷却システム。
- [請求項11] 前記少なくとも1つの熱交換ユニットは、前記複数の処理チャンバの数よりも少ない数の複数の熱交換ユニットである、請求項1に記載

の冷却システム。

[請求項12] 前記少なくとも1つの熱交換ユニットは、単一の熱交換ユニットである、請求項1に記載の冷却システム。

[請求項13] 前記冷却システムは、前記複数の処理チャンバを加熱するための加熱液を生成し、前記加熱液を前記複数の処理チャンバに供給する少なくとも1つの加熱ユニットをさらに備えており、

前記加熱ユニットは、

前記加熱液を加熱する加熱装置と、

前記加熱液を前記複数の処理チャンバを通して循環させるための加熱液ポンプと、

前記加熱液の循環方向において前記加熱装置の上流側に配置された加熱側バッファタンクを備えている、請求項1に記載の冷却システム。

[請求項14] 前記加熱ユニットは、前記冷却システムから取り外し可能に構成されている、請求項13に記載の冷却システム。

[請求項15] 前記少なくとも1つの加熱ユニットは、前記複数の処理チャンバの数と同じ数の複数の加熱ユニットである、請求項13に記載の冷却システム。

[請求項16] 前記少なくとも1つの加熱ユニットは、前記複数の処理チャンバの数よりも少ない数の複数の加熱ユニットである、請求項13に記載の冷却システム。

[請求項17] 前記少なくとも1つの加熱ユニットは、単一の加熱ユニットである、請求項13に記載の冷却システム。

[請求項18] 半導体製造プロセスを実行するための複数の処理チャンバを有する半導体製造装置と、

前記複数の処理チャンバの温度を調節するための温度調節器と、

前記温度調節器と前記熱交換ユニットとの間を延びる冷却液ラインと、

前記温度調節器と前記複数の処理チャンバとの間を延びる温度調節液ラインと、

前記複数の処理チャンバを冷却するための、請求項 1 乃至 12 のいずれか一項に記載の冷却システムを備えている、半導体製造システム。