



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I571941 B

(45)公告日：中華民國 106 (2017) 年 02 月 21 日

(21)申請案號：100116971

(22)申請日：中華民國 100 (2011) 年 05 月 12 日

(51)Int. Cl. : **H01L21/34 (2006.01)**

(30)優先權：2010/05/12 美國 61/333,801

2010/07/12 美國 61/363,514

(71)申請人：布魯克機械公司 (美國) BROOKS AUTOMATION, INC. (US)

美國

(72)發明人：巴特雷 艾倫 J BARTLETT, ALLEN J. (US)；強森 威廉 JOHNSON, WILLIAM (US)；柯林斯 馬克 COLLINS, MARK (US)；賽索夫 瑟傑 SYSSOEV, SERGEI (RU)；歐尼爾 詹姆士 A O'NEIL, JAMES A. (US)；小以克巴契 麥可 J EACOBACCI, JR., MICHAEL J. (US)

(74)代理人：閻啟泰；林景郁

(56)參考文獻：

US	3733845	US	5060481
US	5694776	US	6324856B1
US	7126335B2	US	2004/0129015A1
US	2005/0086974A1	US	2005/0227503A1
WO	2008/133965A1		

審查人員：毛弘瑋

申請專利範圍項數：105 項 圖式數：5 共 67 頁

(54)名稱

用於低溫冷卻的系統及方法

SYSTEM AND METHOD FOR CRYOGENIC COOLING

(57)摘要

根據本發明之一實施例，提供一種用於使一負載冷卻之系統。該系統包含一封閉迴路主冷凍系統，該封閉迴路主冷凍系統包含：一主壓縮機，接受在一低壓下的一主致冷劑及排出在一高壓下的該主致冷劑；一絕緣外殼，包含自該主壓縮機接收在該高壓下的該主致冷劑的一入口及將在該低壓下的該主致冷劑傳回至該主壓縮機的一出口；該絕緣外殼內之至少一熱交換器，接收在該高壓下的該主致冷劑且使用來自一次級冷凍系統的一次級致冷劑使該主致冷劑冷卻，在該至少一熱交換器中，該次級致冷劑與該主致冷劑成熱交換關係；該絕緣外殼內之一膨脹單元，接收來自該至少一熱交換器的在該高壓下的該主致冷劑及排出在該低壓下的該主致冷劑；以及將在該低壓下的該主致冷劑遞送至該負載的一供應管線及將該主致冷劑自該負載傳回至該主冷凍系統的一傳回管線。該系統進一步包含該次級冷凍系統，其中該次級冷凍系統包含至少一次級低溫冷凍機。一系統控制單元控制該主冷凍系統與該次級冷凍系統中之至少一者之操作，以基於以下各者中之至少一者將一可變冷凍容量提供至該負載：遞送至該負載的主致冷劑之一壓力，及該負載之至少一溫度。

In accordance with an embodiment of the invention, there is provided a system for cooling a load. The system comprises a closed loop primary refrigeration system comprising: a primary compressor taking in a primary refrigerant at a low pressure and discharging the primary refrigerant at a high pressure; an insulated

enclosure comprising an inlet receiving the primary refrigerant at the high pressure from the primary compressor and an outlet returning the primary refrigerant at the low pressure to the primary compressor; at least one heat exchanger within the insulated enclosure receiving the primary refrigerant at the high pressure and cooling the primary refrigerant using a secondary refrigerant from a secondary refrigeration system, the secondary refrigerant being in heat exchange relationship with the primary refrigerant in the at least one heat exchanger; an expansion unit within the insulated enclosure receiving the primary refrigerant at the high pressure from the at least one heat exchanger and discharging the primary refrigerant at the low pressure; and a supply line delivering the primary refrigerant at the low pressure to the load and a return line returning the primary refrigerant from the load to the primary refrigeration system. The system further comprises the secondary refrigeration system, wherein the secondary refrigeration system comprises at least one secondary cryogenic refrigerator. A system control unit controls operation of at least one of the primary refrigeration system and the secondary refrigeration system to provide a variable refrigeration capacity to the load based on at least one of: a pressure of the primary refrigerant delivered to the load, and at least one temperature of the load.

指定代表圖：

符號簡單說明：

- 100 . . . 冷卻系統
- 101 . . . 低溫冷凍機/低溫冷卻系統
- 102 . . . 低溫冷凍機/低溫冷卻系統
- 103 . . . 低溫冷凍機/低溫冷卻系統
- 104 . . . 再循環氮串流/氮迴路
- 105 . . . 復熱式熱交換器
- 105a . . . 復熱式熱交換器之第一部分
- 105b . . . 復熱式熱交換器之第二部分/傳回側熱交換器
- 107 . . . 膨脹單元/毛細管
- 108 . . . 負載
- 109 . . . 壓縮機封裝/氮壓縮機
- 110 . . . 絕緣外殼/真空空間
- 111 . . . 渦輪分子泵

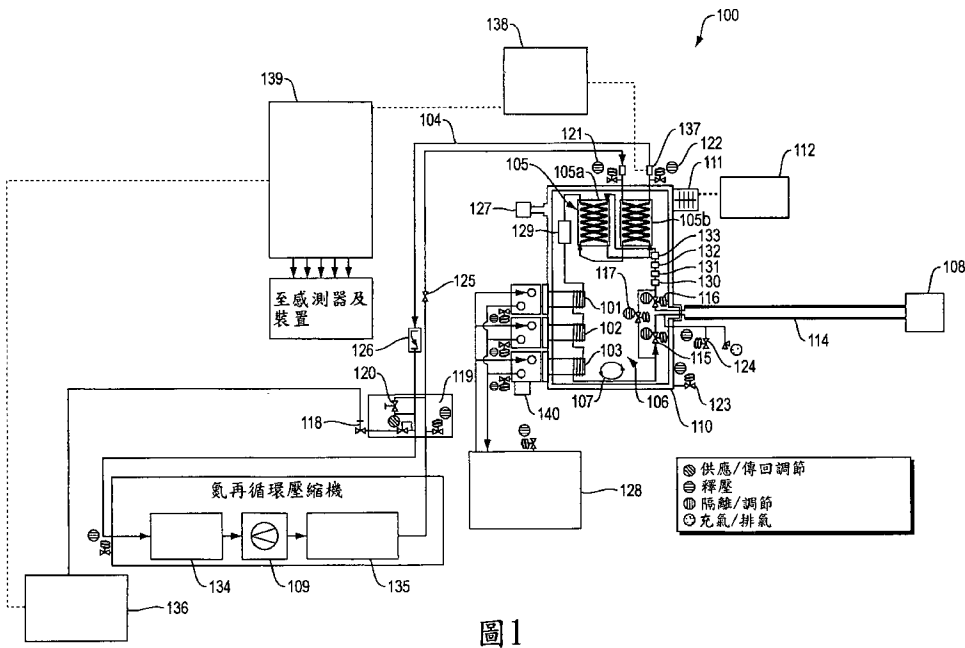


圖 1

- 112 . . . 隔膜低真空
泵
- 114 . . . 熱隔離傳遞
管線
- 115 . . . 隔離閥
- 116 . . . 隔離閥
- 117 . . . 旁路閥
- 118 . . . 壓力調節器
- 119 . . . 高側壓力控
制閥/釋壓閥
- 120 . . . 旁路調節器
- 121 . . . 釋壓閥
- 122 . . . 釋壓閥
- 123 . . . 釋壓閥
- 124 . . . 釋壓閥
- 125 . . . 隔離閥
- 126 . . . 隔離閥
- 127 . . . 壓力計
- 128 . . . 氮壓縮機
- 129 . . . 冷吸附器
- 130 . . . 感測器/壓
力傳感器
- 131 . . . 溫度感測器
- 132 . . . 小加熱器
- 133 . . . 第二溫度感
測器
- 134 . . . 淨化器
- 135 . . . 油分離器
- 136 . . . 壓力控制單
元
- 137 . . . 熱感測器/
次級控制熱感測器
- 138 . . . 安全控制單
元
- 139 . . . 系統控制單
元
- 140 . . . 可變加熱器

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：100116971

※申請日：100. 5. 12

※IPC 分類：H01L 21/34 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

用於低溫冷卻的系統及方法

SYSTEM AND METHOD FOR CRYOGENIC COOLING

二、中文發明摘要：

根據本發明之一實施例，提供一種用於使一負載冷卻之系統。該系統包含一封閉迴路主冷凍系統，該封閉迴路主冷凍系統包含：一主壓縮機，接受在一低壓下的一主致冷劑及排出在一高壓下的該主致冷劑；一絕緣外殼，包含自該主壓縮機接收在該高壓下的該主致冷劑的一入口及將在該低壓下的該主致冷劑傳回至該主壓縮機的一出口；該絕緣外殼內之至少一熱交換器，接收在該高壓下的該主致冷劑且使用來自一次級冷凍系統的一次級致冷劑使該主致冷劑冷卻，在該至少一熱交換器中，該次級致冷劑與該主致冷劑成熱交換關係；該絕緣外殼內之一膨脹單元，接收來自該至少一熱交換器的在該高壓下的該主致冷劑及排出在該低壓下的該主致冷劑；以及將在該低壓下的該主致冷劑遞送至該負載的一供應管線及將該主致冷劑自該負載傳回至該主冷凍系統的一傳回管線。該系統進一步包含該次級冷凍系統，其中該次級冷凍系統包含至少一次級低溫冷凍機。一系統控制單元控制該主冷凍系統與該次級冷凍系

統中之至少一者之操作，以基於以下各者中之至少一者將一可變冷凍容量提供至該負載：遞送至該負載的主致冷劑之一壓力，及該負載之至少一溫度。

三、英文發明摘要：

In accordance with an embodiment of the invention, there is provided a system for cooling a load. The system comprises a closed loop primary refrigeration system comprising: a primary compressor taking in a primary refrigerant at a low pressure and discharging the primary refrigerant at a high pressure; an insulated enclosure comprising an inlet receiving the primary refrigerant at the high pressure from the primary compressor and an outlet returning the primary refrigerant at the low pressure to the primary compressor; at least one heat exchanger within *the* insulated enclosure receiving the primary refrigerant at the high pressure and cooling the primary refrigerant using a secondary refrigerant from a secondary refrigeration system, the secondary refrigerant being in heat exchange relationship with the primary refrigerant in the at least one heat exchanger; an expansion unit within the insulated enclosure receiving the primary refrigerant *at* the high pressure from the at least *one* heat exchanger and discharging the primary refrigerant at the low pressure; and a supply line delivering

the primary refrigerant at the low pressure to the load and a return line returning the primary refrigerant from the load to the primary refrigeration system. The system further comprises the secondary refrigeration system, wherein the secondary refrigeration system comprises at least one secondary cryogenic refrigerator. A system control unit controls operation of at least one of the primary refrigeration system and the secondary refrigeration system to provide a variable refrigeration capacity to the load based on at least one of: a pressure of the primary refrigerant delivered to the load, and at least one temperature of the load.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：圖 1。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

- 100：冷卻系統
- 101：低溫冷凍機/低溫冷卻系統
- 102：低溫冷凍機/低溫冷卻系統
- 103：低溫冷凍機/低溫冷卻系統
- 104：再循環氮串流/氮迴路
- 105：復熱式熱交換器
- 105a：復熱式熱交換器之第一部分
- 105b：復熱式熱交換器之第二部分/傳回側熱交換器
- 107：膨脹單元/毛細管
- 108：負載
- 109：壓縮機封裝/氮壓縮機
- 110：絕緣外殼/真空空間
- 111：渦輪分子泵
- 112：隔膜低真空泵
- 114：熱隔離傳遞管線
- 115：隔離閥
- 116：隔離閥
- 117：旁路閥
- 118：壓力調節器
- 119：高側壓力控制閥/釋壓閥
- 120：旁路調節器

- 121：釋壓閥
- 122：釋壓閥
- 123：釋壓閥
- 124：釋壓閥
- 125：隔離閥
- 126：隔離閥
- 127：壓力計
- 128：氮壓縮機
- 129：冷吸附器
- 130：感測器/壓力傳感器
- 131：溫度感測器
- 132：小加熱器
- 133：第二溫度感測器
- 134：淨化器
- 135：油分離器
- 136：壓力控制單元
- 137：熱感測器/次級控制熱感測器
- 138：安全控制單元
- 139：系統控制單元
- 140：可變加熱器

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無

六、發明說明：

【相關申請】

本申請案主張 2010 年 7 月 12 日申請之美國臨時申請案第 61/363,514 號之權利，且主張 2010 年 5 月 12 日申請之美國臨時申請案第 61/333,801 號之權利。上述申請案之完整教示以引用的方式併入本文中。

【發明所屬之技術領域】

本發明與用於使負載冷卻之系統及方法相關。

【先前技術】

隨著半導體裝置之持續小型化，已存在對超淺接面之增加的需求。舉例而言，已付出巨大努力以建立更好啟動、更淺且更突然的源極-汲極延伸接面以滿足現代半導體裝置之需要。已發現，在離子植入期間之極低晶圓溫度有利於最小化對矽晶圓之損害。另外，在廣泛多種其他半導體製程及其他領域中存在對極低溫度冷卻之持續需要。

【發明內容】

根據本發明之一實施例，提供一種用於使一負載冷卻之系統。該系統包含一封閉迴路主冷凍系統，該封閉迴路主冷凍系統包含：一主壓縮機，該主壓縮機接受在一低壓下的一主致冷劑及排出在一高壓下的該主致冷劑；一絕緣外殼，該絕緣外殼包含自該主壓縮機接收在該高壓下的該主致冷劑的一入口及將在該低壓下的該主致冷劑傳回至該主壓縮機的一出口；該絕緣外殼內之至少一熱交換器，該至少一熱交換器接收在該高壓下的該主致冷劑且使用來自

一次級冷凍系統的一次級致冷劑使該主致冷劑冷卻，在該至少一熱交換器中，該次級冷凍系統與該主致冷劑成熱交換關係；該絕緣外殼內之一膨脹單元，該膨脹單元接收來自該至少一熱交換器的在該高壓下的該主致冷劑及排出在該低壓下的該主致冷劑；以及將在該低壓下的該主致冷劑遞送至該負載的一供應管線及將該主致冷劑自該負載傳回至該主冷凍系統的一傳回管線。該系統進一步包含該次級冷凍系統，該次級冷凍系統包含至少一次級低溫冷凍機。一系統控制單元控制該主冷凍系統與該次級冷凍系統中之至少一者之操作，以基於以下各者中之至少一者將一可變冷凍容量提供至該負載：遞送至該負載的主致冷劑之一壓力，及該負載之至少一溫度。

在另外的相關實施例中，該負載之該至少一溫度可包含自約 -80°C 至約 -250°C 的一溫度。該次級冷凍系統可包含將冷卻遞送至該負載之至少一熱傳遞表面的一第一通道及將該次級致冷劑遞送至該至少一熱交換器的一第二通道。該至少一熱傳遞表面可傳遞熱量以使該負載之至少一部分冷卻至在自約 -40°C 至約 -100°C 的範圍中之一溫度。該至少一熱傳遞表面可包含用以收納待由該負載之一系統處理的一半導體基板之一腔室之至少一部分。該次級冷凍系統可包含一混合氣體冷凍系統。該混合氣體冷凍系統可包含一個以上熱交換器及至少一相分離器。該次級冷凍系統可包含一逆布瑞頓 (Brayton) 冷凍系統。該負載可包含一預冷卻低溫介面模組、一預冷卻腔室、一冷襯墊低溫介面模組、

一壓板及一靜電夾盤中之至少一者。

在其他相關實施例中，該系統可進一步包含與該負載電子通信的一電介面控制單元。該電介面控制單元可接收指示該負載之至少一溫度的一電子信號；及/或指示該負載之至少一設定點溫度的一電子信號。該電介面控制單元可輸出一電信號以控制該次級冷凍系統之操作以控制該負載之至少一溫度。由該電介面控制單元控制的該負載之該至少一溫度可包含該負載之至少一熱傳遞表面的一溫度。

在另外的相關實施例中，該系統控制單元可包含：用以控制至少基於遞送至該負載的該主致冷劑之該壓力而將該可變冷凍容量之提供至該負載的一控制單元；用以控制該主壓縮機之一排出速率的一控制單元；用以控制該主壓縮機之一高壓、一低壓及一壓力差中之至少一者的一控制單元；用以控制一熱量來源以供應待遞送至該主致冷劑的熱量之一控制單元；用以控制一可調整節流閥之操作的一控制單元；用以控制該主致冷劑之流動以繞過該至少一熱交換器之至少一部分的一控制單元；用以控制該主致冷劑之流動以繞過該主冷凍系統之至少一部分的一控制單元；用以控制該主致冷劑之流動之一速率的一控制單元；用以控制該次級致冷劑之流動之一速率的一控制單元；用以控制該次級冷凍系統之一設定點溫度的一控制單元；用以控制一熱量來源以供應待遞送至該次級致冷劑的熱量之一控制單元；用以控制該次級冷凍系統之一次級壓縮機之一速度的一控制單元；用以控制該次級致冷劑之流動以繞過該

次級冷凍系統之至少一部分之一控制單元；用以控制該主致冷劑之至少一部分之流動以使該負載之至少一部分變熱的一控制單元；及/或用以控制該次級致冷劑之至少一部分之流動以使該負載之至少一部分變熱的一控制單元。

在另外的相關實施例中，該絕緣外殼可整合至該次級冷凍系統之至少一部分中。該至少一熱交換器可包含一冷凝器。該系統控制單元可包含用以調整該至少一次級低溫冷凍機之速度的一控制單元。該系統控制單元可進一步包含用以調整該至少一次級低溫冷凍機之至少一次級壓縮機之速度的一控制單元。該系統控制單元可包含用以關斷該至少一次級低溫冷凍機中之至少一者的一控制單元。該系統控制單元可控制該主冷凍系統與該次級冷凍系統中之至少一者之操作，以變化以一液相流至該負載的該主致冷劑對以一氣相流至該負載的該主致冷劑的一比例。該系統可包含一個以上次級低溫冷凍機，且該系統控制單元可包含用以控制該一個以上次級低溫冷凍機之操作以在彼此不同的速度下運作，或在彼此相同的速度下運作之一控制單元。該系統控制單元可控制該主冷凍系統與該次級冷凍系統中之至少一者之操作，以維持該負載之該至少一溫度的一實質恆定溫度。該系統控制單元可包含用以將該主致冷劑之至少一部分導引至該系統中之一較熱表面以減少施加至該負載的冷凍之一控制單元。該系統控制單元可包含用以准許該主壓縮機之可變速度操作及該主壓縮機之脈衝操作中之至少一者的一控制單元。

在另外的相關實施例中，該系統控制單元可藉由以下操作控制該次級冷凍系統之操作以避免對該負載之冷卻不足：基於自該負載所傳回的該主致冷劑之一所量測壓力而判定自該負載所傳回的該主致冷劑之一所計算之沸點；比較自該負載所傳回的該主致冷劑之一所量測溫度與該所計算之沸點；及在該所量測溫度比該所計算之沸點高出一預定溫度差以上時，控制該次級冷凍系統以增加對該負載的可用冷凍。在另一實施例中，該系統控制單元可藉由以下操作控制該次級冷凍系統之操作以避免對該負載之冷卻不足：在該負載下游的一第一溫度感測器處監視自該負載傳回的該主致冷劑之一溫度；若該第一溫度感測器處之該溫度已達到一預定假定飽和溫度點，控制該第一溫度感測器下游的一小加熱器而接通；在該小加熱器下游的一第二溫度感測器處監視該主致冷劑之一溫度；及若該接通該小加熱器會提昇該主致冷劑之該溫度，則控制該次級冷凍系統以增加對該負載之可用冷凍。在另一實施例中，該系統控制單元可藉由以下操作控制該次級冷凍系統之操作以避免對該負載之過度冷卻：在該負載下游的一第一溫度感測器處監視自該負載傳回的該主致冷劑之一溫度；若該第一溫度感測器處之該溫度已達到一預定假定飽和溫度點，控制該第一溫度感測器下游的一小加熱器而接通；在該小加熱器下游的一第二溫度感測器處監視該主致冷劑之一溫度；及若該接通該小加熱器會提昇該主致冷劑之該溫度，則判定由該小加熱器所提供的該熱量之量值，且基於該量值，

判定是否控制該次級冷凍系統以減小對該負載之可用冷凍。該系統控制單元可包含用以調整該至少一次級低溫冷凍機上之一可變加熱器之一控制單元。該系統控制單元可包含用以控制該至少一次級低溫冷凍機之一設定點溫度之一控制單元。該系統控制單元可控制一個以上次級低溫冷凍機以具有彼此不同的設定點溫度。

在另外的相關實施例中，該主致冷劑可包含氫、氫、氫、氫或一混合氣體致冷劑中之至少一者。該主致冷劑可包含具有一比用於該次級冷凍系統中的一致冷劑之一沸騰溫度高的沸騰溫度之至少一致冷劑組份；諸如，該主致冷劑可包含氫、氫、氫及氫中之至少一者，且該次級致冷劑可包含氫及氫中之至少一者。該主致冷劑可包含具有一比用於該次級冷凍系統中的至少一致冷劑之一沸騰溫度低的沸騰溫度之一致冷劑。該主致冷劑可包含氫、氫、氫、氫及氫中之至少一者，且該次級致冷劑可包含一混合氣體致冷劑。該系統可進一步包含一復熱式熱交換器，該復熱式熱交換器在該絕緣外殼內，且在自該絕緣外殼之該入口流動的在該高壓下的該主致冷劑與自該負載所傳回的該主致冷劑之間交換熱量，該復熱式熱交換器將在該高壓下的該主致冷劑排出至一冷凝器。該系統可進一步包含一旁路閥，該旁路閥准許繞過該復熱式熱交換器，以使得自該絕緣外殼之該入口流動的在該高壓下的該主致冷劑並不與自該負載所傳回的該主致冷劑交換熱量。該系統控制單元可藉由以下操作控制該次級冷凍系統之操作以避免對該負載

之冷卻不足：監視該復熱式熱交換器中之一中間點與該復熱式熱交換器之一末端點中之至少一者中的一溫度；及若該所監視之溫度下降為低於一預定溫度，則控制該次級冷凍系統以減小對該負載之可用冷凍。

在另外的相關實施例中，該負載可包含一靜電夾盤，該靜電夾盤可為用以製造一半導體裝置的一離子植入系統之一部分。該系統可進一步包含一預冷卻腔室，該預冷卻腔室用以在由該靜電夾盤處置該半導體裝置之前收納該半導體裝置。該負載可包含以下各者中之至少一者：用於使一半導體晶圓冷卻之一系統之至少一部分，一離子植入系統之至少一部分，及一物理氣相沈積系統之至少一部分。該至少一次級低溫冷凍機可包含一 Gifford-McMahon 循環冷凍機，該 Gifford-McMahon 循環冷凍機可包含一氦冷凍機。該至少一次級低溫冷凍機可包含一脈管冷凍機。該至少一次級低溫冷凍機可包含一逆布瑞頓 (Brayton) 循環冷凍機、一史特林 (Stirling) 循環冷凍機及一焦耳湯姆生 (Joule-Thomson) 循環冷凍機中之至少一者；及可包含一使用一單一致冷劑之冷凍機或一使用一混合氣體致冷劑之冷凍機。該至少一次級低溫冷凍機可包含一個以上次級低溫冷凍機，該等次級低溫冷凍機經連接以冷卻與該一個以上次級低溫冷凍機成熱交換關係的該主致冷劑之一並行或串行流中的主致冷劑。

在另外的相關實施例中，該主冷凍系統之該主壓縮機可包含一可變速度壓縮機。該系統可進一步包含一用以在

該絕緣外殼內建立一真空的低溫泵表面。該低溫泵表面可包含該至少一次級低溫冷凍機之一第二冷卻級。該系統可進一步包含一旁路閥，該旁路閥准許該主致冷劑繞過將該主致冷劑遞送至該負載的該供應管線及使該主致冷劑自該負載傳回的該傳回管線。該膨脹單元可包含一毛細管、一具有一可變流動面積之閥、一彈簧偏差之閥、一活塞擴張器及一渦輪擴張器中之至少一者。該系統可進一步包含一壓力調節器，該壓力調節器調節在該主致冷劑之一來源與由該主壓縮機所接受的在該低壓下的該主致冷劑之間的該主致冷劑之流動；及一壓力控制單元，該壓力控制單元用以控制該壓力調節器以調節至該系統中的該主致冷劑之該流動。該系統可進一步包含一連接至該絕緣外殼上之一壓力計的隔離閥，若該絕緣外殼上之該壓力計偵測到高於一預定最大安全壓力的一壓力，則該隔離閥防止該主致冷劑流至該絕緣外殼之該入口中。該系統可進一步包含一熱感測器，該熱感測器經連接以監視自該絕緣外殼傳回至該主壓縮機的該主致冷劑之溫度；及一安全控制單元，該安全控制單元經連接以在自該絕緣外殼傳回的該主致冷劑之該溫度小於一預定觸摸危險最小溫度的情況下中斷該次級冷凍系統之操作。該系統可進一步包含一淨化器，該淨化器在該主致冷劑進入該系統之前從自該主致冷劑之一供應來源而引導的氣體移除雜質；及/或一油分離器，該油分離器自該主壓縮機內之該主致冷劑移除油。該供應管線及該傳回管線中之每一者的至少一部分可在一真空絕緣傳遞管線

內延伸。該至少一熱交換器可將該主致冷劑之至少一實質部分轉換成一液相；或該至少一熱交換器可實質上並不將該主致冷劑轉換成一液相。該膨脹單元可將該主致冷劑之至少一實質部分轉換成一液相。

在另外的相關實施例中，該供應管線可經由通到該絕緣外殼外之一傳遞管線將在該低壓下的該致冷劑遞送至該負載，且該傳回管線可經由該傳遞管線將該致冷劑自該負載傳回至該絕緣外殼。該負載可在該絕緣外殼內。該負載可包含以下各者中之至少一者：一用於低溫分離之流體串流、一待液化之氣體、一生物樣本、一化學製程、材料性質分析設備、一水蒸氣閘、一製造程序中的一物品、一成像裝置、一亞原子粒子偵測器、一光子偵測器、化學分析設備、及一超導裝置。該負載可包含以下各者中之至少一者：一半導體基板及一超導纜線。

在根據本發明之另一實施例中，提供一種用於將一冷卻致冷劑提供至一負載的系統。該系統包含：一封閉迴路主冷凍系統，該封閉迴路主冷凍系統包含一壓縮機，該壓縮機接受在一低壓下的該致冷劑及排出在一高壓下的該致冷劑；一膨脹閥，該膨脹閥自該壓縮機接收在該高壓下的該致冷劑及將在該低壓下的該致冷劑排出至一絕緣外殼，該絕緣外殼包含自該膨脹閥接收該致冷劑的一入口及將在該低壓下的該致冷劑傳回至該壓縮機的一出口；該絕緣外殼內之至少一熱交換器，該至少一熱交換器接收在該低壓下的該致冷劑且使用與該致冷劑成熱交換關係的一次級冷

凍系統使該致冷劑冷卻；及一將在該低壓下的該致冷劑遞送至該負載的供應管線，及一將該致冷劑自該負載傳回至該主冷凍系統的傳回管線。該系統進一步包含該次級冷凍系統，該次級冷凍系統包含至少一次級低溫冷凍機。一系統控制單元控制該主冷凍系統與該次級冷凍系統中之至少一者之操作，以基於以下各者中之至少一者將一可變冷凍容量提供至該負載：遞送至該負載的主致冷劑之一壓力，及該負載之至少一溫度。

在根據本發明之另一實施例中，提供一種用於使一負載冷卻之方法。該方法包含壓縮一封閉迴路主冷凍系統之一主壓縮機中的一主致冷劑，該主壓縮機接受在一低壓下的一主致冷劑及排出在一高壓下的該主致冷劑；將在該高壓下的該主致冷劑自該主壓縮機傳遞至一絕緣外殼之一入口，及將在該低壓下的該主致冷劑自該絕緣外殼傳回至該主壓縮機；將在該高壓下的該主致冷劑傳遞至該絕緣外殼內之至少一熱交換器，及使用與來自一次級冷凍系統的一次級致冷劑之熱交換而使該至少一熱交換器中的該主致冷劑冷卻，該次級冷凍系統包含至少一次級低溫冷凍機；使用該絕緣外殼內之一膨脹單元使該主致冷劑膨脹，該膨脹單元接收來自該至少一熱交換器的在該高壓下的該主致冷劑及排出在該低壓下的該主致冷劑；將在該低壓下的該主致冷劑遞送至該負載及將該主致冷劑自該負載傳回至該主冷凍系統；及控制該主冷凍系統與該次級冷凍系統中之至少一者之操作，以基於以下各者中之至少一者將一可變冷

凍容量提供至該負載：遞送至該負載的主致冷劑之一壓力，及該負載之至少一溫度。

在另外的相關實施例中，該方法可進一步包含經由該次級冷凍系統之一第一通道將冷卻自該次級冷凍系統遞送至該負載的至少一熱傳遞表面，及經由該次級冷凍系統之一第二通道將該次級致冷劑遞送至該至少一熱交換器。該方法可進一步包含控制至少基於遞送至該負載的該主致冷劑之該壓力而提供該可變冷凍容量至該負載。該方法可進一步包含；控制該主壓縮機之一高壓、一低壓及一壓力差中之至少一者；控制一熱量來源以供應待遞送至該主致冷劑的熱量；控制一可調整節流閥之操作；控制該主致冷劑之流動以繞過該至少一熱交換器之至少一部分；控制該主致冷劑之流動以繞過該主冷凍系統之至少一部分；控制該主致冷劑之流動之一速率；控制該次級致冷劑之流動之一速率；控制該次級冷凍系統之一設定點溫度；控制一熱量來源以供應待遞送至該次級致冷劑的熱量；控制該次級冷凍系統之一次級壓縮機之一速度；控制該次級致冷劑之流動以繞過該次級冷凍系統之至少一部分；控制該主致冷劑之至少一部分之流動以使該負載之至少一部分變熱；及/或控制該次級致冷劑之至少一部分之流動以使該負載之至少一部分變熱。

在另外的相關實施例中，該方法可包含經由通到該絕緣外殼外之一傳遞管線將在該低壓下的該致冷劑遞送至該負載，及經由該傳遞管線將該致冷劑自該負載傳回至該絕

緣外殼。該負載可在該絕緣外殼內。該負載可包含以下各者中之至少一者：一用於低溫分離之流體串流、一待液化之氣體、一生物樣本、一化學製程、材料性質分析設備、一水蒸氣閘、一製造程序中的一物品、一成像裝置、一亞原子粒子偵測器、一光子偵測器、化學分析設備、及一超導裝置。該負載可包含以下各者中之至少一者：一半導體基板及一超導纜線。該方法可進一步包含將待冷卻的一物件或流體自該負載之一熱傳遞表面移動至該負載之另一部分。

【實施方式】

下文描述本發明之實例實施例。

根據本發明之一實施例，提供一種封閉循環低溫冷卻來源以提供供用於單晶圓高輸貫量離子植入器中的低溫離子植入之解決方案。另外，根據本發明之一實施例可用以在廣泛多種其他可能的應用中提供冷卻，諸如用以冷卻流體串流以用於低溫分離、用以使氣體液化，用以提供生物冷凍器之冷卻，控制化學製程之反應速率、用以提供物質性質分析設備之冷卻、用以捕集水蒸氣以在真空製程中產生低蒸氣壓力，用以在製造程序（諸如，半導體晶圓處理及檢驗）中冷卻物品，用以冷卻成像裝置及其他檢測儀錶、亞原子粒子及光子偵測器，用以冷卻化學分析設備，及用以冷卻超導纜線及裝置。應瞭解，可在其他冷卻應用中使用該系統。

圖 1 為根據本發明之一實施例之冷卻系統 100 的示意

圖。在圖 1 之實施例中，系統 100 使用低溫冷凍機 101/102/103 以冷卻再循環致冷劑（諸如，氮串流 104）。參看圖 2 之熱力圖，在圖 2 中對圖 1 之組件使用並行編號，在復熱式熱交換器 105（其可替代地實施為兩個單獨熱交換器）之第一部分 105a 及第二部分 105b 中使氮預冷卻（205a/b），使用低溫冷凍機 101/102/103 使氮冷凝（206），使用膨脹單元 107 使氮膨脹（207）（可藉由低溫冷凍機 101/102/103 及/或藉由膨脹單元 107 使冷凍劑之至少一部分自氣態改變至液態），且將氮提供（208）至負載 108，在負載 108 處氮沸騰，提取熱量而使負載 108 冷卻，且氮以氣體形式傳回至系統。所傳回之氮透過經由復熱式熱交換器 105a/b 傳回（205a/b）而變熱，同時藉由復熱式熱交換器 105a/b 內之傳回串流與傳入串流之間的熱交換而使傳入串流預冷卻（205a/b）。氮接著傳回而在壓縮機封裝 109 中被再壓縮（209）。系統 100 可用於將冷卻提供至用於半導體製造程序期間的離子植入中的晶圓夾盤，以及用於上文所提及之其他應用。

在圖 1 之實施例中，系統包括一低溫冷凍系統 101/102/103、一氮壓縮機 109、一絕緣外殼 110（其中發生自冷凍機 101/102/103 至再循環氮串流 104 之熱傳遞）、閥門組、流量控制、壓力控制、安全控制、系統控制及純化（全部皆在下文中被進一步論述）。該系統可使用氫、氘、氦、另一純致冷劑、混合致冷劑，或包含在比用於冷凍機 101/102/103 中的致冷劑之沸點高的溫度下沸騰之致冷劑組

份之任何致冷劑（諸如，氮及/或氫）之串流，而非使用再循環氮串流 104。應瞭解，如本文中所使用之「致冷劑（refrigerant）」可為氣相與液相之混合物，且氣體對液體之比可在冷凍循環期間改變。低溫冷凍系統 101/102/103 將氮用作穿過執行 Gifford-McMahon（GM）冷凍循環的一或多個冷凍機 101/102/103 之致冷劑。或者，可使用具有單一或混合致冷劑之逆布瑞頓(Brayton)循環、史特林(Stirling)循環或焦耳湯姆生(Joule-Thomson)膨脹循環來提供冷凍 101/102/103。低溫冷凍系統 101/102/103 可使用包含另一冷沸致冷劑組份（諸如，氬）之致冷劑而非氮。一實施例使用可為串行或並行的多個冷凍機 101/102/103，但單一冷凍機亦為可能的。

在圖 1 之實施例中，氮壓縮機 109 使用經修改用於壓縮乾燥氣體之氣密型轉葉泵；然而，亦可使用渦捲式泵或任何其他類型的泵。該泵可在可變速度下操作。或者，可使用恆定速度泵。為了管理壓縮之熱量，可在藉由壓縮機 109 之壓縮之前或在藉由壓縮機 109 之壓縮期間將油注入至氮串流中。接著經由由玻璃纖維之緻密封裝及具有活性炭之室溫吸附器組成的油分離器 135 自氮串流移除此油。

在圖 1 之實施例中，經由在將低於室溫的組件周圍建立低壓或真空封閉區而達成絕緣外殼 110。可藉由渦輪分子泵 111 並輔之以隔膜低真空泵 112 來提供絕緣真空，但亦可經由低溫泵而建立絕緣真空。舉例而言，第二級低溫冷凍機 313（見圖 3）或另一低溫冷凍機可用作低溫泵以在外殼

110 內建立真空。亦藉由使用對絕緣外殼 110 之真空空間開放的硬質傳遞管線、真空夾層卡口式配件，或藉由沿著傳遞管線 114 之單獨密封真空空間（其經主動泵汲或最初達到低壓且經密封）而沿著將液態氮載運至待冷卻的負載 108 的熱隔離傳遞管線 114 使用絕緣真空。亦可經由其他絕緣系統（諸如，冷組件周圍的發泡體）達成絕緣。

在圖 1 之實施例中，經由自冷凍機 101/102/103 至銅塊（管狀熱交換器捲繞在銅塊周圍）之直接熱傳導達成自氮至低溫冷凍機 101/102/103 中的熱傳遞。該銅塊可為冷凍機之部分，或可以允許實現熱傳導之方式接合至冷凍機。銅塊可具有螺旋狀扇形槽以支撐管，管被硬焊在適當位置以使熱傳遞最大化。或者，可使用一側上為平面的 D 形管。管具有平滑內徑，但可將內部鰭狀物、槽或粗糙飾面用以增加內部表面積且改良熱傳遞。

在圖 1 之實施例中，閥門組包含兩個隔離閥 115/116，一隔離閥 115 在將液態氮供應至負載之管線上及一隔離閥 116 在使沸騰的氮傳回之管線上；及一旁路閥 117，旁路閥 117 允許在不將液態氮發送至負載 108 的情況下使液態氮循環。閥門組 115/116/117 允許在將冷凍施加至負載 108 之前可使系統預冷卻至操作溫度且在負載 108 處不需要冷凍之時間週期期間可使系統維持於低溫的操作模式。該等閥可具有使自該等閥至外部環境的熱洩漏最小化之熱隔離致動裝置，該等熱隔離致動裝置為手動的、氣動的或電動的。在存在或不存在斷流器的情況下經由薄壁管達成熱隔離，

斷流器可進一步減少閥體與致動裝置之間的橫截面積。亦可經由使用具有低導熱性的材料來達成熱隔離。

在圖 1 之實施例中，可經由使用毛細管 107 達成流量控制，將毛細管 107 針對系統之溫度、壓力、液態飽和之百分比及所要流量而明確地設定大小。將毛細管 107 置於冷凍機 101/102/103 與將液態氮供應至負載的管線 114 之間，但在系統中之位置可變化。流量控制之替代方法包括在壓縮機 109 與熱的熱交換器 105 之間的孔口中切換之熱節流閥或其他膨脹閥、具有可變流動面積之閥、彈簧偏差之閥，或藉由變化壓縮機 109 之速度而進行。

在圖 1 之實施例中，可使正製造的半導體裝置預冷卻以減少在靜電夾盤處之所需冷卻致冷劑。舉例而言，流動管線（圖中未示）可將氮自氮迴路 104 中之位置分流至預冷卻腔室（圖中未示）。

在圖 1 之實施例中，藉由氮來源與氮壓縮機之傳回側之間的壓力調節器 118、高側壓力控制閥 119、旁路調節器 120 及壓縮機 109 之速度來提供壓力控制。壓力調節器 118 允許提取來自氮來源之氣體，以補償氣態氮與液態氮之間的體積差且在氮被冷凝時維持壓力，且因此控制氮壓縮機之傳回側之最小壓力。氮來源可來自高壓缸（半導體製造工廠中之氮來源設施）或本地氮產生器。將壓力調節器 118 設定至恆定值，但亦可藉由壓力控制單元 136 主動控制壓力調節器 118 以修改流至系統中的氣體，此將允許在將冷凍施加至負載 108 時的溫度動態地變化。當系統中之氮沸騰

時（在增加負載之條件下或在系統正被關閉時），高側壓力控制閥 119 限制供應側壓力。旁路調節器 120 置於氮壓縮機 109 之高壓側與低壓側之間，且控制壓縮機 109 所需之電力，且與高側壓力控制閥 119 協同控制壓縮機 109 之傳回側之最大壓力。壓縮機速度及壓力調節器設置界定壓縮機 109 之供應側之最小壓力。壓縮機 109 之速度可為變化的。或者，壓縮機 109 之速度可為恆定的。

在圖 1 之實施例中，經由氮管線及絕緣外殼 110 上之釋壓閥 119/121/122/123/124 及壓縮機 109 上之釋壓閥、氮串流上之隔離閥 125/126 及熱感測器 137 提供安全控制。氮管線上之釋壓閥 119/121/122/124 安裝於可經由該等閥之操作或自壓縮機 109 載運氮至絕緣外殼 110 之管線之斷開而潛在地被隔離之任何體積上。設定真空空間 110 上之釋壓閥 123 之大小以防止在外殼 110 內之氮管線斷裂及氮後續沸騰的情況下對外殼 110 之過度加壓。氮串流上之隔離閥 125 由絕緣外殼 110 上之壓力計 127 控制。若量計 127 感測到高壓（諸如，超出 1 微米），則量計 127 上之替續器脫扣，從而切斷至通常為關閉組態的隔離閥 125 之電力且隔離閥 125 因此關閉。此防止在氮管線斷裂或真空洩漏（其將導致氮管線中之液態氮之蒸發）的狀況下之來自供應來源的氮繼續進入外殼 110 中。熱感測器 137 監視離開絕緣外殼 110 以傳回至壓縮機 109 的氮之溫度，且將在溫度低到足以產生觸摸危險時停止冷凍機 101/102/103 之操作（或減少由冷凍機 101/102/103 提供的冷凍）。

在圖 1 之實施例中，系統控制單元 139 包括一或多個控制單元，該一或多個控制單元經組態以調整可用以避免使系統過度冷卻或冷卻不足的冷凍電力之量，從而允許該系統將適當量之冷凍提供至負載 108，而不產生危險情形。下文中論述由系統控制單元 139 所實施的控制單元之另外操作。應瞭解，系統控制單元 139 電連接至本文中所論述之各種感測器及裝置，包括感測器 130、131、133、137、小加熱器 132、壓縮機 109 及 128，及控制如本文中所描述之系統之操作所必需的其他感測器及裝置。系統控制單元 139 包括適當電子硬體，包括用以實施本文中所描述之控制技術的特殊程式化的微處理器或其他特殊程式化的電子設備。另外，應瞭解，在本文中論述「控制單元 (control unit)」之處，可 (諸如) 藉由系統控制單元 139 之微處理器或其他電子硬體之次常式或子組件將控制單元實施為系統控制單元 139 之子單元。為了防止過度冷卻或冷卻不足，系統控制單元 139 調整低溫冷凍機 101/102/103 及/或氦壓縮機 128 之速度，及/或關斷冷凍機單元 101/102/103 中之一或多者。此導致至負載 108 的呈液相而非氣相之流之百分比的改變。在正常操作中 (亦即，並不過度冷卻或冷卻不足)，允許冷凍機 101/102/103 在不同速度下運作，但亦可約束冷凍機 101/102/103 皆在同一速度下運作以平衡跨越所有冷凍機之冷凍負載。亦應瞭解，低溫冷凍機 101/102/103 中之一或多者可具有不同大小或不同冷凍類型，或所有低溫冷凍機可具有相同大小及冷凍類型。另外，控制單元可提供低

溫冷凍機 101/102/103 之控制參數（諸如，最大或最小冷凍機速度）（低溫冷凍機必須按照該等控制參數運作），同時允許低溫冷凍機在最大及最小參數的範圍內執行區域控制（使用一或多個板上本地處理器）。另外，控制單元可直接控制冷凍機 101/102/103 之設定點溫度，而非直接控制該等冷凍機之速度。可將冷凍機 101/102/103 控制成具有不同的設定點溫度。

在圖 1 之實施例中，存在調整可用冷凍之其他選項。舉例而言，可變加熱器 140 可用以減少由在恆定或可變速度下運作的低溫冷凍機 101/102/103 施加的冷凍量。另一方法將為使用閥以將氮流導引在傳回側熱交換器 105b 周圍，從而防止或允許在氮到達低溫冷凍機 101/102/103 之前對傳入之氮之預冷卻。亦可將流之一部分導引至系統中之較熱表面以減少施加至負載 108 的冷凍。亦可藉由使用可變速度壓縮機 109 改變氮串流中之流或藉由接通及關斷恆定速度壓縮機而使流脈衝化來調整可用冷凍。

在圖 1 之實施例中，為了使系統控制為有效的，系統可能能夠偵測冷凍不足及過度冷凍兩個條件。可藉由使用壓力傳感器 130 量測氮迴路之傳回管線上的壓力而進行冷凍不足之偵測（壓力傳感器 130 判定液態氮之沸點），接著計算液態氮之沸點。接著比較來自傳回管線上之溫度感測器 131 之資料與所計算之值。若所量測之溫度比所計算之溫度高出預設溫度差以上，則其為系統並不自負載 108 傳回液態氮或近液氮且可利用更多冷凍之指示。接著命令冷

凍機 101/102/103 經由（諸如）增加其速度之手段而增加其可用冷凍。亦可經由其他手段達成冷凍不足條件之偵測，其他手段諸如，熱動力系統之完整模型及比較系統參數（諸如，入口及出口溫度、入口及出口壓力，及流量）。另一方法為使用溫度感測器 131 監視傳回溫度，且在傳回溫度達到假定飽和溫度點時，接通溫度感測器 131 下游的小加熱器 132。接著監視小加熱器 132 下游的第二溫度感測器 133 來查看少量的熱之添加是否會提昇氮之溫度。若會，則氮串流超過設定的過熱位準，且需要更多冷凍。

在圖 1 之實施例中，出於安全及潛在能量效率原因，對過度冷凍之偵測為重要的。可藉由查看經由復熱式熱交換器 105a/b 的中間點處的溫度或者在任一末端處的溫度來監視過度冷凍。若此溫度下降為低於預設位準，則系統調整以減少可用冷凍。次級控制熱感測器 137 監視離開熱交換器 105a/b 且傳回至壓縮機 109 的氮之溫度。若此值下降為低於被視為觸摸危險的溫度，則所有冷凍機 101/102/103 由安全控制單元 138 停用，且系統操作被封鎖。另一方法為使用溫度感測器 131 監視傳回溫度，且在傳回溫度達到假定飽和溫度點時，接通溫度感測器 131 所在的點 116 下游的小加熱器 132。接著監視小加熱器 132 下游的第二溫度感測器 133 來查看少量熱之添加是否會提昇氮之溫度。提昇溫度所需的熱之量之量值為是否存在過度冷凍之指示符。另外，在特定位置處（諸如，在負載處）的溫度可用於增加或減小對負載之冷凍的回饋控制。可藉由減少由冷凍機

101/102/103 所產生的冷凍及/或藉由經由旁路閥 117 將來自負載之流分流而實現減小對負載之冷凍。

另外，在根據本發明之存在致冷劑之二相流（亦即，致冷劑包括液相及氣相）的一實施例中，系統控制單元 139 可使用關於進入負載之致冷劑之壓力（亦即，至負載之致冷劑入口壓力）的資訊調節負載之溫度，且無需接收溫度回饋。此由於二相混合物之壓力/溫度關係而為可能的。在一實施例中，負載之入口壓力及下游溫度兩者可用以准許系統控制單元 139 調節負載之溫度；在另一實施例中，僅可使用入口壓力。在本文中將控制技術描述為係基於一或多個溫度的情況下，因此亦可使用基於壓力及溫度或僅基於壓力的類似技術。

在圖 1 之實施例中，可經由幾種方法確保系統中之再循環氮之純度。首先，使來自系統外部之氮供應之來源的氣體通過使用加熱或未加熱的集氣材料以移除雜質之淨化器 134。在氮壓縮機 109 內，經由由玻璃纖維之緻密封裝及具有活性炭之室溫吸附器所組成的油分離器 135 移除引入至氮串流中的油，油分離器 135 亦移除水及其他氣體污染物。最後，使氮串流通過絕緣外殼 110 內之冷吸附器 129。在使用系統時亦注意減少污染物之引入。隔離閥 126 可允許將室溫或加熱的氮引入至系統中以使負載變熱，且壓力調節器 118 可用以確保在氮串流內總是維持正壓。

圖 4 為根據本發明之一實施例之高輸貫量冷卻系統 400 的示意圖。在圖 4 之實施例中，系統 400 使用雙通道混合

氣體致冷劑系統 441 以准許除了冷卻再循環致冷劑（諸如，氮串流 404）以外亦准許待冷卻之基板之預冷卻。冷卻系統 400 包括混合氣體致冷劑系統 441、氮再循環壓縮機 409、絕緣外殼 410，及電介面控制箱 442。電介面控制箱 442 可與用於控制混合氣體冷凍系統 441 的電子設備分離或與用於控制混合氣體冷凍系統 441 的電子設備成一體。在絕緣外殼 410 中，發生自混合氣體冷凍系統 441 至再循環氮串流 404 之熱傳遞。圖 4 之實施例中之絕緣外殼 410 含有發泡體絕緣，但可改為使用如在圖 1 之實施例中的真空絕緣。絕緣外殼 410 可包括下文所論述之為絕緣的冷組件，而氮壓縮機 409 位於絕緣外殼 410 外部且處於較熱溫度（諸如，室溫）下。

在圖 4 之實施例中，混合氣體冷凍系統 441 之第一通道 443 使混合氣體致冷劑循環至預冷卻設備，（例如）以使被製造的半導體裝置預冷卻以便減少靜電夾盤處之所需冷卻致冷劑。在圖 4 中，第一通道 443 包括用以將混合氣體致冷劑載運至預冷卻設備之第一通道混合氣體致冷劑供應管線 444，及用以使來自預冷卻設備之混合氣體致冷劑傳回之第一通道混合氣體致冷劑傳回管線 445。預冷卻設備可（例如）包括預冷卻低溫介面模組 446，預冷卻低溫介面模組 446 使一或多個預冷卻腔室 447、448 中之熱傳遞表面冷卻；或混合氣體致冷劑可直接循環至預冷卻腔室 447、448 中的熱傳遞表面。另外，混合氣體致冷劑可循環至負載中之任何熱傳遞表面，該負載可能為或可能不為預冷卻設備

且與是否使用預冷卻設備無關。另外，根據本發明之一實施例可用以在兩個不同溫度下使兩個不同負載冷卻（包括在負載中之一者並非另一負載之預冷卻腔室的情況下）。除了諸如本文中所論述之半導體基板之負載以外，可藉由根據本發明之實施例使任何其他負載冷卻。舉例而言，負載可包括用於低溫分離之流體串流、待液化之氣體、生物冷凍器或其他生物樣本、化學程序、材料性質分析設備、針對真空製程之水蒸氣閘、製造程序中之物品、成像裝置或其他檢測儀錶、亞原子粒子或光子偵測器、化學分析設備，或超導裝置（諸如超導纜線）。可使其他負載冷卻。

根據本發明之一實施例，預冷卻腔室 447、448 可（例如）用以使半導體基板冷卻至在自約 -40°C 至約 -100°C 的範圍中之溫度，在此之後，可將基板傳遞至靜電夾盤 449，於是對基板執行離子植入或其他製程。根據本發明之一實施例，自絕緣外殼（諸如，110 及 410）所引導之氮可（例如）用以達成自約 -80°C 至約 -250°C 之目標溫度（諸如，自約 -150°C 至約 -190°C ），目標溫度可能為在冷襯墊低溫介面模組 465、壓板 466、靜電夾盤 449 或負載處之另一位置處的溫度。藉由對預冷卻腔室 447、448 中之半導體基板之預冷卻，根據本發明之一實施例准許半導體製造設備之較高輸貫速率，此係因為當已在預冷卻腔室 447、448 中預冷卻基板時，在靜電夾盤 449 處半導體基板需要較少的時間而冷卻至所要低溫。

在圖 4 之實施例中，混合氣體冷凍系統 441 之第二通

道 450 經由絕緣外殼 410 內所含有的熱交換器而使混合氣體致冷劑循環，以便自單獨氮迴路 404 移除通過相同熱交換器之單獨通道的熱量。在圖 4 之實施例中，氮迴路 404 可基本上使貫穿封閉迴路 404 之處於氣態的所有氮循環，但可使液體與氣體之混合物循環（如上文針對圖 1 之實施例所描述）。在氮迴路 404 中，藉由氮壓縮機 409 壓縮氮，且經由氮供應管線 451 將氮遞送至第一熱交換器 452 之一側，氮自第一熱交換器 452 之該側流至第二熱交換器 453 之一側。在第一熱交換器 452 及第二熱交換器 453 中，藉由自負載傳回之氮使氮冷卻。在第二熱交換器 453 之後，氮流經可選加熱器 454 至第三熱交換器 455 之一側，氮自第三熱交換器 455 之該側流至第四熱交換器 456 之一側。在第三熱交換器 455 及第四熱交換器 456 中，藉由流經第三熱交換器 455 之另一側及第四熱交換器 456 之另一側的混合氣體致冷劑（來自混合氣體冷凍系統 441）使氮冷卻。氮離開第四熱交換器 456，流經吸附器 457 以移除雜質，且經由膨脹單元（諸如，毛細管 458 或節流閥）而膨脹。膨脹單元用以調節氮之流動以及用以提供經由氣體膨脹效應之額外冷卻。在膨脹之後，氮經由氮管線 459 離開絕緣外殼 410 以使負載冷卻，且經由傳回管線 460 自負載傳回至絕緣外殼 410。將傳回氮提供至第二熱交換器 453 之另一側，且自第二熱交換器 453 之該另一側將氮提供至第一熱交換器 452 之另一側，以便使氮變熱且使第一熱交換器 452 及第二熱交換器 453 中之傳入之氮串流冷卻。自第一熱交

換器 452，氮經由傳回管線 461 傳回至壓縮機 409 而被壓縮。

以此方式，在圖 4 之實施例中，前兩個熱交換器 452、453 用於來自負載之冷氮氣傳回 460 與自氮壓縮機 409 進入絕緣外殼 410 之供應氣體 451 之間的復熱式熱交換。第三熱交換器 455 及第四熱交換器 456 用以在混合氣體致冷劑（來自混合氣體致冷劑系統 441 之第二通道 450）與已離開前兩個熱交換器之氮氣之間傳遞熱。藉由混合氣體冷凍系統 441 之第二通道 450 之混合氣體供應管線 462 將混合氣體致冷劑供應至第四熱交換器 456，使混合氣體致冷劑流經第四熱交換器 456 及第三熱交換器 455 中之每一者之一側，且混合氣體致冷劑藉由第二通道 450 之混合氣體傳回管線 463 自第四熱交換器 456 及第三熱交換器 455 中之每一者之一側傳回至混合氣體冷凍系統 441。加熱器 454 可用以防止混合氣體致冷劑在熱交換器 455、456 中凍結。

在圖 4 之實施例中，可控制氮壓縮機 409 之供應側與傳回側之間的壓力差（例如，氮供應管線 451 與氮傳回管線 461 之間的壓力差）以便在氮通過毛細管 458 時達成所要氮流動速率及膨脹位準。另外，電子反相器 464 可用以減少壓縮機 409 之速度，以便減少離開壓縮機 409 之氮流動速率。

在圖 4 之實施例中，閥 415/416/417 可以與上文針對圖 1 之閥 115/116/117 所描述之方式類似的方式使用。詳言之，閥門組可包含兩個閥 415/416，一閥 415 在將氮供應至負載之管線上及一閥 416 在使氮自負載傳回之管線上；及一旁

路閥 417，旁路閥 417 允許在不將氮發送至負載的情況下使氮循環。閥門組 415/416/417 允許在將冷卻施加至負載之前可使系統預冷卻至操作溫度且在負載處不需要冷卻之時間週期期間可使系統維持處於低溫的操作模式。閥門 415/416/417 在絕緣外殼 410 未經真空絕緣時無需為真空閥，但在使用真空絕緣時，閥門 415/416/417 可能為真空閥。

針對半導體製造或其他應用，圖 4 之實施例 400 可以用與由最終使用者所操作的設備介接。舉例而言，客戶設備可包括冷襯墊低溫介面模組 465、壓板 466、靜電夾盤 449、預冷卻低溫介面模組 446 及一或多個預冷卻腔室 447、448 中之一者或全部。離開絕緣外殼 410 的氮管線 459 及傳回至絕緣外殼 410 的氮管線 460 可與此客戶設備連接，混合氣體致冷劑供應管線 444 及混合氣體致冷劑傳回管線 445 亦可如此。客戶設備可（例如）包括圖 4 之部分 467 中所展示之設備。

在圖 4 之實施例中，電介面控制箱 442 在客戶設備 467、混合氣體冷凍系統 441 與絕緣外殼 410 內之系統之間提供電介面。電介面控制箱 442 可（例如）使以下各者中之一或多者或關於此等組件之狀態的其他電信號作為輸入或輸出：指示遠端位置（諸如，預冷卻腔室 447、448）處之溫度的輸入電子信號；指示遠端位置（諸如，靜電夾盤 449 或壓板 466）之溫度控制設定點的輸入電子信號；指示冷卻劑是否將自混合氣體冷凍系統 441 之第一通道 443 流動之輸入電子信號；指示是否冷卻劑將自混合氣體冷凍系

統 441 之第二通道 450 流動之輸入電子信號；指示在混合氣體冷凍系統 441 之第一通道 443 處準備好冷卻之輸出電子信號；指示在混合氣體冷凍系統 441 之第二通道 450 處準備好冷卻之輸出電子信號；指示管線 459 中之供應氮及管線 460 中之傳回氮之溫度的輸出電信號；指示混合氣體致冷劑供應管線 462 及混合氣體致冷劑傳回管線 463 之溫度的輸出電信號；指示混合氣體冷凍系統 441 之回饋的輸出電信號；指示氮迴路 404 中之一或多者或混合氣體冷凍系統 441 之任一通道之疵點的輸出電信號；指示冷源通電之輸出電信號。電介面控制箱 442 可用以提供一或多個系統或子系統之電控制，(例如)以控制混合氣體冷凍系統 441 之第一通道 443 之操作，以使得在遠端點(諸如，在預冷卻腔室 447 及 448 中之一或多者處)維持指定溫度。舉例而言，電介面控制箱 442 可啟動及休止混合氣體冷凍系統 441 之第一通道 443 之操作以便控制此遠端位置處的溫度。除了電介面控制箱 442 以外，圖 4 之實施例亦包括另一系統控制單元 439，系統控制單元 439 可為與電介面控制箱 442 連接之單獨單元或可與電介面控制箱 442 整合。系統控制單元 439 包括一或多個控制單元，該一或多個控制單元經組態以調整可用以避免使系統過度冷卻或冷卻不足的冷凍電力之量，從而允許系統將適當之冷凍量提供至負載(包括(例如)預冷卻設備 446/447/448 及冷襯墊低溫介面模組 465 兩者)，而不產生危險情形。下文中論述由系統控制單元 439 所實施的控制單元之另外操作。應瞭解，系統控制

單元 439 電連接至本文中所論述之各種感測器及裝置，包括加熱器 454、壓縮機 409、閥 415/416/417，及控制如本文中所描述之系統之操作所必需的其他感測器及裝置。系統控制單元 439 包括適當電子硬體，包括用以實施本文中所描述之控制技術的特殊程式化的微處理器或其他特殊程式化的電子設備。另外，應瞭解，在本文中論述「控制單元 (control unit)」的情況下，可（諸如）藉由系統控制單元 439 之微處理器或其他電子硬體之次常式或子組件將控制單元實施為系統控制單元 439 之子單元。

在圖 4 之實施例中，系統控制單元 439 控制至負載之遞送溫度，負載包括（例如）預冷卻設備 446/447/448、冷襯墊低溫介面模組 465、壓板 466 及靜電夾盤 449 中之任一者或全部。為了控制氮迴路 404 之操作以控制此等遞送溫度，可單獨或組合地使用幾種不同的可能技術。在每一狀況下，系統控制單元 439 可藉由自一或多個溫度感測器（圖中未示）接收電子信號而接收負載中之遠端位置處的一或多個溫度之讀數，且作為回應，可經由自為達成此等目的而使用的一或多個控制單元至一或多個裝置之電子信號而控制該等裝置之操作。因此，系統控制單元 439 可實施回饋迴路以控制至負載之遞送溫度。控制可為連續的且為封閉迴路，或者，控制可為開放迴路且無需為連續的。另外，在根據本發明之存在致冷劑之二相流（亦即，致冷劑包括液相及氣相）的實施例中，系統控制單元 439 可使用關於進入負載之致冷劑之壓力（亦即，至負載之致冷劑入口壓

力) 的資訊調節負載之溫度，且無需接收溫度回饋。此由於二相混合物之壓力/溫度關係而為可能的。在一實施例中，負載之入口壓力及下游溫度兩者可用以准許系統控制單元 139 調節負載之溫度；在另一實施例中，僅可使用入口壓力。在本文中將控制技術描述為係基於一或多個溫度的情況下，因此亦可使用基於壓力及溫度或僅基於壓力的類似技術。

在由系統控制單元 439 進行控制之一實例中，在圖 4 之實施例中，可由系統控制單元 439 回應於負載中之一或多個遠端位置處的一或多個溫度而控制來自氮壓縮機 409 之排出速率。氮壓縮機 409 之速度可為變化的，或氮壓縮機 409 可由系統控制單元 439 接通及關斷。系統控制單元 439 可控制氮壓縮機 409 之高壓（供應壓力），例如，氮供應管線 451 處之壓力。另外，系統控制單元 439 可控制氮壓縮機 409 之低壓（傳回壓力），例如，氮傳回管線 461 處之壓力。另外，系統控制單元 439 可控制氮壓縮機 409 之高壓與低壓之間的壓力差；或可控制氮壓縮機 409 之壓力差、高壓及低壓中之兩者或兩者以上。系統控制單元 439 可（例如）使用至加熱器 454、另一加熱器或另一熱源之電子信號控制供應至流動氮迴路 404 之熱量。系統控制單元 439 可使用電子信號以控制將代替毛細管 458 而使用的可調整節流閥。系統控制單元 439 可使用電子信號以經由氮迴路 404 中之熱氣旁路（圖中未示）而切換流（例如，藉由將電子信號提供至一或多個閥），（例如）以引導氮之流繞

過熱交換器 452、453、455、456 中之一或多者的一些部分（或全部），從而導致氮之冷卻迴路之短路。系統控制單元 439 可使用電子信號以經由來自氮迴路 404 中之任何位置（例如，來自壓縮機 409、來自室溫部分或來自氮迴路 404 之另一熱部分）的旁路（圖中未示）而切換流（例如，藉由將電子信號提供至一或多個閥），以將熱氣提供至負載中之位置（諸如，壓板 466 及/或靜電夾盤 449），以便使此位置迅速變熱以供維護。系統控制單元 439 可使用電子信號以經由氮迴路 404 中之任何地方的旁路（圖中未示）而切換流（例如，藉由將電子信號提供至一或多個閥），此使得來自氮迴路 404 之較熱區段（例如，氮迴路 404 之室溫部分）之熱氣與氮迴路 404 之下游較冷區段混合。在流繞過之狀況下，系統控制單元 439 可使用電子信號以控制閥（圖中未示）以進行接通/關斷操作、成比例的操作、或節流操作。

在圖 4 之實施例中，由系統控制單元 439 所實施的控制技術之部分或全部可為執行對產生至負載之所要遞送溫度所需的旁路混合或接通/關斷時間之計算，而非（或額外地）基於所要溫度之讀數之連續回饋而執行該溫度之連續調節。另外，系統控制單元 439 可基於壓力及閥位置執行關於需要多少混合或接通/關斷時間之計算，而非（或額外地）執行其他類型的控制。

在圖 4 之實施例中，為了控制氮迴路 404 之操作及/或為了控制混合氣體冷凍系統 441 之操作以便控制至負載（諸

如，預冷卻設備 446/447/448、冷襯墊低溫介面模組 465、壓板 466 及/或靜電夾盤 449) 之遞送溫度，可單獨或組合地使用幾種另外不同的可能技術。系統控制單元 439 可藉由將電子信號提供至一或多個閥（該等閥可能為成比例閥或接通/關斷閥）而控制混合氣體冷凍系統 441 或氮迴路 404 中之任一者或兩者的致冷劑流動速率。舉例而言，此等閥可位於混合氣體冷凍系統 441 之第一通道 443 及第二通道 450 中之任一者或兩者的供應輸出 444、462 處或氮供應管線 451 或 459 處。系統控制單元 439 可改變混合氣體冷凍系統 441 之設定點溫度。系統控制單元 439 可控制一或多個加熱器以加熱混合氣體致冷劑或氮迴路中之一或多者。系統控制單元 439 可調節混合氣體冷凍系統 441 之壓縮機的速度。系統控制單元 439 可控制（例如，使用一或多個閥）經由自混合氣體冷凍系統 441 之較熱區段（諸如，級聯系統中之較熱熱交換器，或諸如，混合氣體冷凍系統 441 之室溫部分）至系統 400 之較冷部分之旁路管線的流動。系統控制單元 439 可使用電子信號以切換（例如，藉由將電子信號提供至一或多個閥）經由來自混合氣體冷凍系統 441 中之位置（諸如，系統 441 之除霜迴路（圖中未示））的旁路（圖中未示）的流，以將熱氣提供至負載中之位置（諸如，預冷卻設備 446/447/448），以便使此位置迅速變熱以供維護。

在與圖 4 之實施例類似的另一實施例中，混合氣體冷凍系統 441 之第一通道 443 與氮供應管線 459 及氮傳回管

線 460 兩者可用以改良冷襯墊低溫介面模組 465、壓板 466 及/或靜電夾盤 449 之冷卻時間。可藉由具有自第一通道 443 之混合氣體致冷劑供應管線 444 及混合氣體致冷劑傳回管線 445 至冷襯墊低溫介面模組 465 之單獨旁路管線（圖中未示）而進行此。

圖 4 之實施例可包括用於以與上文針對圖 1 所描述之方式類似的方式偵測冷凍不足及過度冷凍之裝置。系統可使用氫、氙、氦、氮、另一純致冷劑或混合致冷劑之串流，而非再循環氮串流 404。可使用與上文針對圖 1 所論述的類似類型的壓縮機。可使用與上文針對圖 1 所描述之彼等技術類似的熱傳導技術執行自混合氣體致冷劑管線 462/463 至熱交換器 455、456 之熱傳遞。可使用如上文針對圖 1 所論述的流動控制之類似方法。可使用與上文針對圖 1 之氮壓縮機 109 所論述者類似之壓力控制方法。可使用與上文針對圖 1 所論述者類似的安全控制，但在不使用絕緣外殼 410 之真空絕緣時，一些安全控制可能為不必要的。可使用與上文針對圖 1 所論述者類似的致冷劑純度控制技術。根據本發明之一實施例，諸如逆布瑞頓(Brayton)之替代冷凍可用以將冷卻致冷劑提供至系統之兩個通道。另外，所需之熱交換器之數目可視冷卻要求及熱交換器設計而變化。

圖 5 為根據本發明之一實施例之高輸貫量冷卻系統 500 的示意圖，該實施例與圖 4 之實施例類似，除了絕緣外殼 510 整合至混合氣體冷凍系統 541 中之外。熱交換器 552、553、555 及 556、毛細管 558、加熱器 554、吸附器 557、

閥 515/516/517 皆位於混合氣體冷凍系統 541 中之外殼 510 內。氮供應管線 551 及氮傳回管線 561 饋入至混合氣體冷凍系統 541 內之外殼 510 中；且至負載之氮管線 559 及來自負載之氮管線 560 自混合氣體冷凍系統 541 饋入至負載。在 562 處供應混合氣體以使來自混合氣體供應管線之氮迴路在混合氣體冷凍系統 541 內冷卻，且在 563 處混合氣體在已使氮迴路冷卻後傳回。第一通道 543 以與圖 4 之操作方式類似的方式操作，第一通道 543 使用混合氣體管線 544 及 545 以將混合氣體致冷劑供應至客戶預冷卻設備 546 及/或 547/548 及使混合氣體致冷劑自客戶預冷卻設備 546 及/或 547/548 傳回。在混合氣體冷凍系統 541 中不需要離開混合氣體冷凍系統 541 之第二通道（如圖 4 之第二通道 450），此係因為混合氣體管線 562 及 563 被引導至混合氣體冷凍系統 541 內之氮迴路。電控制箱 542、氮壓縮機 509 及反相器 564 可位於混合氣體冷凍系統 541 外部。客戶設備 567 可包括預冷卻低溫介面模組 546、冷襯墊低溫介面模組 565、一或多個預冷卻腔室 547 及 548、靜電夾盤 549，及壓板 566。在其他方面，操作可與圖 4 之實施例之操作類似。

根據本發明之一實施例，混合氣體冷凍系統可（例如）為自動冷凍級聯系統，且可包括混合氣體冷凍程序中之多個熱交換器及一或多個相分離器。另外，混合氣體冷凍系統可包括：分支供應管線，分支供應管線將混合致冷劑供應遞送至混合致冷劑供應管線 444 及 462（見圖 4）中之每

一者；及分支傳回管線，分支傳回管線自混合致冷劑傳回管線 445 及 463(見圖 4)中之每一者接收傳回混合致冷劑。另外，在圖 4 及圖 5 之實施例中，可使用其他類型的冷凍系統來代替混合氣體冷凍系統。舉例而言，可使用逆布瑞頓(Brayton)循環或其他冷凍系統；且逆布瑞頓循環或其他冷凍系統可能包括以與圖 4 之供應管線 444、462 及傳回管線 445、463 類似的方式起作用之分支的供應管線及傳回管線。另外，可改為由兩個單獨混合氣體冷凍系統或兩個單獨的其他類型的冷凍系統實施混合氣體冷凍系統 441 之兩個通道 443 及 450。

根據本發明之一實施例，在本文中論述熱交換器之處，可視所需之系統效率而使用不同數目個此等熱交換器。

根據本發明之一實施例之冷卻系統可在各種模式下操作。舉例而言，操作模式可包括穩態操作；待用（或旁路）操作；起動（自室溫初始冷卻）；及關閉（出於維護或其他原因，自操作溫度加溫至室溫之時間）。舉例而言，可由系統控制單元 139 或 439 控制此等操作模式。

根據本發明之一實施例，系統可用以使絕緣外殼（諸如，絕緣外殼 410）內部之負載冷卻，而非使用傳遞管線將致冷劑傳遞到絕緣外殼外部。舉例而言，此實施例在生物樣本被冷卻或凍結時可為有用的，但此實施例亦可與其他負載一起使用。另外，根據本發明之一實施例可包含將待冷卻的基板或其他物件或流體自負載之預冷卻腔室或其他熱傳遞表面移動至負載之另一部分（諸如，處理腔室）。

如本文中所使用，術語「低溫 (cryogenic)」指代在 233 K 與 23 K (-40℃ 與 -250℃) 之間的溫度範圍。

本文中所引用之全部專利、公開申請案及參考文獻的教示之全部內容以引用的方式併入本文中。

雖然已參考本發明之實例實施例而特別展示並描述本發明，但熟習此項技術者應理解，可在不脫離由附加申請專利範圍所涵蓋的本發明之範疇的情況下在本文中進行形式及細節的各種改變。

【圖示簡單說明】

前述內容將根據本發明之如在隨附圖式中所說明的實例實施例之以下更特定描述而為顯而易見的，在隨附圖式中，貫穿不同視圖相同參考字元指代相同部件。圖式未必按比例，實情為著重點在於說明本發明之實施例。

圖 1 為根據本發明之一實施例之冷卻系統的示意圖。

圖 2 為根據本發明之一實施例之氮之熱循環的圖。

圖 3 為根據本發明之一實施例的將第二級低溫冷凍機用作低溫泵之冷卻系統的示意圖。

圖 4 為根據本發明之一實施例之高輸貫量冷卻系統的示意圖。

圖 5 為根據本發明之一實施例之高輸貫量冷卻系統(其中絕緣外殼整合至混合氣體冷凍系統中)的示意圖。

【主要元件符號說明】

100：冷卻系統

101：低溫冷凍機

- 102：低溫冷凍機
- 103：低溫冷凍機
- 104：氮迴路
- 105：熱交換器
- 105a：復熱式熱交換器之第一部分
- 105b：復熱式熱交換器之第二部分
- 106：冷凝器
- 107：膨脹單元
- 108：負載
- 109：壓縮機封裝
- 110：絕緣外殼
- 111：渦輪分子泵
- 112：隔膜低真空泵
- 114：熱隔離傳遞管線
- 115：隔離閥
- 116：隔離閥
- 117：旁路閥
- 118：壓力調節器
- 119：高側壓力控制閥
- 120：旁路調節器
- 121：釋壓閥
- 122：釋壓閥
- 123：釋壓閥
- 124：釋壓閥

- 125：隔離閥
- 126：隔離閥
- 127：壓力計
- 128：壓縮機
- 129：冷吸附器
- 130：感測器
- 131：感測器
- 132：小加熱器
- 133：感測器
- 134：淨化器
- 135：油分離器
- 136：壓力控制單元
- 137：熱感測器
- 138：安全控制單元
- 139：系統控制單元
- 140：可變加熱器
- 205 a/b：預冷卻
- 206：冷凝器
- 207：膨脹單元
- 208：蒸發器
- 209：壓縮機
- 313：低溫冷凍機
- 400：冷卻系統
- 404：流動氮迴路

- 409：氮再循環壓縮機
- 410：絕緣外殼
- 415：閥
- 416：閥
- 417：旁路閥
- 439：系統控制單元
- 441：雙通道混合氣體致冷劑系統 /
- 442：電介面控制箱
- 443：第一通道
- 444：第一通道混合氣體致冷劑供應管線
- 445：第一通道混合氣體致冷劑傳回管線
- 446：預冷卻低溫介面模組
- 447：預冷卻腔室
- 448：預冷卻腔室
- 449：靜電夾盤
- 450：第二通道
- 451：氮供應氣體
- 452：第一熱交換器
- 453：第二熱交換器
- 454：可選加熱器
- 455：第三熱交換器
- 456：第四熱交換器
- 457：吸附器
- 458：毛細管

- 459：氮供應管線
- 460：傳回管線
- 461：傳回管線
- 462：混合氣體供應管線
- 463：混合氣體傳回管線
- 464：電子反相器
- 465：冷襯墊低溫介面模組
- 466：壓板
- 467：客戶設備
- 500：高輸貫量冷卻系統
- 509：氮壓縮機
- 510：絕緣外殼
- 515：閥
- 516：閥
- 517：閥
- 541：混合氣體冷凍系統
- 542：電控制箱
- 543：第一通道
- 544：混合氣體管線
- 545：混合氣體管線
- 546：客戶預冷卻設備
- 547：客戶預冷卻設備
- 548：客戶預冷卻設備
- 549：靜電夾盤

- 551：氮供應管線
- 552：熱交換器
- 553：熱交換器
- 554：加熱器
- 555：熱交換器
- 556：熱交換器
- 557：吸附器
- 558：毛細管
- 559：氮管線
- 560：氮管線
- 561：氮傳回管線
- 562：混合氣體管線
- 563：混合氣體管線
- 564：反相器
- 565：冷襯墊低溫介面模組
- 566：壓板
- 567：客戶設備

七、申請專利範圍：

1. 一種用於使負載冷卻之系統，該系統包含：

封閉迴路主冷凍系統，包含

主壓縮機，該主壓縮機接受在低壓下的主致冷劑及排出在高壓下的該主致冷劑；

絕緣外殼，包含自該主壓縮機接收在該高壓下的該主致冷劑的入口及將在該低壓下的該主致冷劑傳回至該主壓縮機的出口；

該絕緣外殼內之至少一熱交換器，接收在該高壓下的該主致冷劑且使用來自一次級冷凍系統的一次級致冷劑使該主致冷劑冷卻，在該至少一熱交換器中，該次級致冷劑與該主致冷劑成熱交換關係；

該絕緣外殼內之膨脹單元，接收來自該至少一熱交換器的在該高壓下的該主致冷劑及排出在該低壓下的該主致冷劑；

將在該低壓下的該主致冷劑遞送至該負載的供應管線及將該主致冷劑自該負載傳回至該主冷凍系統的傳回管線；

該次級冷凍系統，其中該次級冷凍系統包含至少一次級低溫冷凍機，且其中該次級冷凍系統包含將冷卻遞送至該負載之至少一熱傳遞表面的第一通道及將該次級致冷劑遞送至該至少一熱交換器的第二通道；及

系統控制單元，控制該主冷凍系統與該次級冷凍系統中之至少一者之操作，以基於以下各者中之至少一者將可

變冷凍容量提供至該負載：遞送至該負載的該主致冷劑之壓力，及該負載之至少一溫度。

2. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該負載之該至少一溫度包含自約 -80°C 至約 -250°C 的溫度。

3. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該至少一熱傳遞表面傳遞熱量以使該負載之至少一部分冷卻至在自約 -40°C 至約 -100°C 的範圍中之溫度。

4. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該至少一熱傳遞表面包含用以收納待由該負載之系統處理的半導體基板之腔室之至少一部分。

5. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該次級冷凍系統包含混合氣體冷凍系統。

6. 如申請專利範圍第 5 項之系統，其中該混合氣體冷凍系統包含一個以上熱交換器及至少一相分離器。

7. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該次級冷凍系統包含逆布瑞頓(Brayton)冷凍系統。

8. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該負載包含預冷卻低溫介面模組、預冷卻腔室、冷襯墊低溫介面模組、壓板及靜電夾盤中之至少一者。

9. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其進一步包含與該負載電子通信的電介面控制單元。

10. 如申請專利範圍第 9 項之系統，其中該電介面控制單元接收指示該負載之至少一溫度的電子信號。

11. 如申請專利範圍第 9 項之系統，其中該電介面控

制單元接收指示該負載之至少一設定點溫度的電子信號。

12. 如申請專利範圍第 9 項之系統，其中該電介面控制單元輸出電信號以控制該次級冷凍系統之操作以控制該負載之至少一溫度。

13. 如申請專利範圍第 12 項之系統，其中由該電介面控制單元所控制的該負載之該至少一溫度包含該負載之至少一熱傳遞表面的溫度。

14. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元包含用以控制至少基於遞送至該負載的該主致冷劑之該壓力而提供該可變冷凍容量至該負載的控制單元。

15. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元包含用以控制該主壓縮機之排出速率的控制單元。

16. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元包含用以控制該主壓縮機之高壓、低壓及壓力差中之至少一者的控制單元。

17. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元包含用以控制熱量來源以供應待遞送至該主致冷劑的熱量之控制單元。

18. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該膨脹單元包含可調整節流閥，且其中該系統控制單元包含用以控制該可調整節流閥之操作的控制單元。

19. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元包含用以控制該主致冷劑之流動以繞過該至少一熱交換器之至少一部分的控制單元。

20. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元包含用以控制該主致冷劑之流動以繞過該主冷凍系統之至少一部分的控制單元。

21. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元包含用以控制該主致冷劑之流動之速率的控制單元。

22. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元包含用以控制該次級致冷劑之流動之速率的控制單元。

23. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元包含用以控制該次級冷凍系統之設定點溫度的控制單元。

24. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元包含用以控制熱量來源以供應待遞送至該次級致冷劑的熱量之控制單元。

25. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元包含用以控制該次級冷凍系統之一次級壓縮機之速度的控制單元。

26. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元包含用以控制該次級致冷劑之流動以繞過該次級冷凍系統之至少一部分的控制單元。

27. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元包含用以控制該主致冷劑之至少一部分之流動以使該負載之至少一部分變熱的一控制單元。

28. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制

單元包含用以控制該次級致冷劑之至少一部分之流動以使該負載之至少一部分變熱的一控制單元。

29. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該絕緣外殼整合至該次級冷凍系統之至少一部分中。

30. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該至少一熱交換器包含冷凝器。

31. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元包含用以調整該至少一次級低溫冷凍機之速度的控制單元。

32. 如申請專利範圍第 31 項之系統，其中該系統控制單元進一步包含用以調整該至少一次級低溫冷凍機之至少一次級壓縮機之速度的控制單元。

33. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元包含用以關斷該至少一次級低溫冷凍機中之至少一者的控制單元。

34. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元控制該主冷凍系統與該次級冷凍系統中之至少一者之操作，以變化以液相流至該負載的該主致冷劑對以氣相流至該負載的該主致冷劑的比例。

35. 如申請專利範圍第 1 項之系統，該系統包含一個以上次級低溫冷凍機，且其中該系統控制單元包含用以控制該一個以上次級低溫冷凍機之操作以在彼此不同的速度下運作之控制單元。

36. 如申請專利範圍第 1 項之系統，該系統包含一個

以上次級低溫冷凍機，且其中該系統控制單元包含用以控制該一個以上次級低溫冷凍機之操作以在彼此相同的速度下運作之控制單元。

37. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元控制該主冷凍系統與該次級冷凍系統中之至少一者之操作，以維持該負載之該至少一溫度的實質恆定溫度。

38. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元包含用以將該主致冷劑之至少一部分導引至該系統中之一較熱表面以減少施加至該負載的冷凍之控制單元。

39. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元包含用以准許該主壓縮機之可變速度操作及該主壓縮機之脈衝操作中之至少一者的控制單元。

40. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元藉由以下操作控制該次級冷凍系統之操作以避免對該負載之冷卻不足：

基於自該負載所傳回的該主致冷劑之所量測壓力而判定自該負載所傳回的該主致冷劑之所計算之沸點；

比較自該負載所傳回的該主致冷劑之所量測溫度與該所計算之沸點；及

在該所量測溫度比該所計算之沸點高出預定溫度差以上時，控制該次級冷凍系統以增加對該負載的可用冷凍。

41. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元藉由以下操作控制該次級冷凍系統之操作以避免對該負載之冷卻不足：

在該負載下游的第一溫度感測器處監視自該負載傳回的該主致冷劑之溫度；

若該第一溫度感測器處之該溫度已達到預定假定飽和溫度點，則控制在該第一溫度感測器下游的小加熱器以接通；

在該小加熱器下游的第二溫度感測器處監視該主致冷劑之溫度；及

若該接通該小加熱器會提昇該主致冷劑之該溫度，則控制該次級冷凍系統以增加對該負載之可用冷凍。

42. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元藉由以下操作控制該次級冷凍系統之操作以避免對該負載之過度冷卻：

在該負載下游的第一溫度感測器處監視自該負載傳回的該主致冷劑之溫度；

若該第一溫度感測器處之該溫度已達到預定假定飽和溫度點，則控制該第一溫度感測器下游的小加熱器以接通；

在該小加熱器下游的第二溫度感測器處監視該主致冷劑之溫度；及

若該接通該小加熱器會提昇該主致冷劑之該溫度，則判定由該小加熱器所提供的熱量之量值，且基於該量值，判定是否控制該次級冷凍系統以減小對該負載之可用冷凍。

43. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元包含用以調整該至少一次級低溫冷凍機上之可變加熱

器的控制單元。

44. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該系統控制單元包含用以控制該至少一次級低溫冷凍機之設定點溫度的控制單元。

45. 如申請專利範圍第 44 項之系統，其中該系統控制單元控制一個以上次級低溫冷凍機以具有彼此不同的設定點溫度。

46. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該主致冷劑包含氮串流。

47. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該主致冷劑包含氫、氫、氫、氫及一混合氣體致冷劑中之至少一者。

48. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該主致冷劑包含具有比用於該次級冷凍系統中的致冷劑之沸騰溫度高的沸騰溫度之至少一致冷劑組份。

49. 如申請專利範圍第 48 項之系統，其中該主致冷劑包含氫、氫、氫及氫中之至少一者，且其中該次級致冷劑包含氫及氫中之至少一者。

50. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該主致冷劑包含具有比用於該次級冷凍系統中的至少一致冷劑之沸騰溫度低的沸騰溫度之致冷劑。

51. 如申請專利範圍第 50 項之系統，其中該主致冷劑包含氫、氫、氫、氫及氫中之至少一者，且其中該次級致冷劑包含混合氣體致冷劑。

52. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其進一步包含復

熱式熱交換器在該絕緣外殼內，且在自該絕緣外殼之該入口流動的在該高壓下的該主致冷劑與自該負載所傳回的該主致冷劑之間交換熱量，該復熱式熱交換器將在該高壓下的該主致冷劑排出至一冷凝器。

53. 如申請專利範圍第 52 項之系統，其進一步包含旁路閥准許繞過該復熱式熱交換器，以使得自該絕緣外殼之該入口流動的在該高壓下的該主致冷劑並不與自該負載所傳回的該主致冷劑交換熱量。

54. 如申請專利範圍第 52 項之系統，其中該系統控制單元藉由以下操作控制該次級冷凍系統之操作以避免對該負載之冷卻不足：

監視該復熱式熱交換器中之一中間點與該復熱式熱交換器之末端點中之至少一者中的溫度；及

若該所監視之溫度下降為低於預定溫度，則控制該次級冷凍系統以減小對該負載之可用冷凍。

55. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該負載包含靜電夾盤。

56. 如申請專利範圍第 55 項之系統，其中該靜電夾盤為用以製造半導體裝置的離子植入系統之部分。

57. 如申請專利範圍第 56 項之系統，其進一步包含預冷卻腔室，該預冷卻腔室用以在由該靜電夾盤處置該半導體裝置之前收納該半導體裝置。

58. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該負載包含以下各者中之至少一者：用於使半導體晶圓冷卻之系統之

至少一部分、離子植入系統之至少一部分，及物理氣相沈積系統之至少一部分。

59. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該至少一次級低溫冷凍機包含一 Gifford-McMahon 循環冷凍機。

60. 如申請專利範圍第 59 項之系統，其中該 Gifford-McMahon 循環冷凍機包含氦冷凍機。

61. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該至少一次級低溫冷凍機包含一脈管冷凍機。

62. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該至少一次級低溫冷凍機包含一逆布瑞頓(Brayton)循環冷凍機、史特林(Stirling)循環冷凍機及焦耳湯姆生(Joule-Thomson)循環冷凍機中之至少一者。

63. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該至少一次級低溫冷凍機包含使用單一致冷劑之冷凍機。

64. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該至少一次級低溫冷凍機包含使用混合氣體致冷劑之冷凍機。

65. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該至少一次級低溫冷凍機包含一個以上次級低溫冷凍機，經連接以使與該一個以上次級低溫冷凍機成熱交換關係的該主致冷劑之一並行流中的該主致冷劑冷卻。

66. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該至少一次級低溫冷凍機包含一個以上次級低溫冷凍機，經連接以使與該一個以上次級低溫冷凍機成熱交換關係的該主致冷劑之串行流中的該主致冷劑冷卻。

67. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該主冷凍系統之該主壓縮機包含可變速度壓縮機。

68. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其進一步包含用以在該絕緣外殼內建立真空的低溫泵表面。

69. 如申請專利範圍第 68 項之系統，其中該低溫泵表面包含該至少一次級低溫冷凍機之第二冷卻級。

70. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其進一步包含旁路閥，准許該主致冷劑繞過將該主致冷劑遞送至該負載的該供應管線及使該主致冷劑自該負載傳回的該傳回管線。

71. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該膨脹單元包含毛細管、具有可變流動面積之閥、彈簧偏差之閥、活塞擴張器及渦輪擴張器中之至少一者。

72. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其進一步包含：

壓力調節器，調節在該主致冷劑之來源與由該主壓縮機所接受的在該低壓下的該主致冷劑之間的該主致冷劑之流動；及

壓力控制單元，用以控制該壓力調節器以調節至該系統中的該主致冷劑之該流動。

73. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其進一步包含連接至該絕緣外殼上之壓力計的隔離閥，若該絕緣外殼上之該壓力計偵測到超出預定最大安全壓力的壓力，則該隔離閥防止該主致冷劑流動至該絕緣外殼之該入口中。

74. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其進一步包含：

熱感測器，經連接以監視自該絕緣外殼傳回至該主壓

縮機的該主致冷劑之該溫度；及

安全控制單元，經連接以在自該絕緣外殼傳回的該主致冷劑之該溫度小於預定觸摸危險最小溫度的情況下中斷該次級冷凍系統之操作。

75. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其進一步包含淨化器，該淨化器在該主致冷劑進入該系統之前從自該主致冷劑之供應來源引導的氣體移除雜質。

76. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其進一步包含油分離器，該油分離器自該主壓縮機內之該主致冷劑移除油。

77. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該供應管線及該傳回管線中之每一者的至少一部分在真空絕緣傳遞管線內延伸。

78. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該至少一熱交換器將該主致冷劑之至少一實質部分轉換成液相。

79. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該至少一熱交換器實質上並不將該主致冷劑轉換成液相。

80. 如申請專利範圍第 79 項之系統，其中該膨脹單元將該主致冷劑之至少一實質部分轉換成液相。

81. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該供應管線經由通到該絕緣外殼外之傳遞管線將在該低壓下的該致冷劑遞送至該負載，且其中該傳回管線經由該傳遞管線將該致冷劑自該負載傳回至該絕緣外殼。

82. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該負載在該絕緣外殼內。

83. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該負載包含以下各者中之至少一者：用於低溫分離之流體串流、待液化之氣體、生物樣本、化學製程、材料性質分析設備、水蒸氣閘、製造程序中之物品、成像裝置、亞原子粒子偵測器、光子偵測器、化學分析設備、及超導裝置。

84. 一種用於將一冷卻致冷劑提供至負載之系統，該系統包含：

封閉迴路主冷凍系統，包含

壓縮機，接受在低壓下的致冷劑及排出在高壓下的該致冷劑；

膨脹閥，自該壓縮機接收在該高壓下的該致冷劑及將在該低壓下的該致冷劑排出至絕緣外殼，

該絕緣外殼包含自該膨脹閥接收該致冷劑的入口及將在該低壓下的該致冷劑傳回至該壓縮機的出口；

該絕緣外殼內之至少一熱交換器，接收在該低壓下的該致冷劑且使用與該致冷劑成熱交換關係的一次級冷凍系統使該致冷劑冷卻；

將在該低壓下的該致冷劑遞送至該負載的供應管線及將該致冷劑自該負載傳回至該主冷凍系統的傳回管線；

該次級冷凍系統，其中該次級冷凍系統包含至少一次級低溫冷凍機，且其中該次級冷凍系統包含將冷卻遞送至該負載之至少一熱傳遞表面的第一通道及將該次級致冷劑遞送至該至少一熱交換器的第二通道；及

系統控制單元，控制該主冷凍系統與該次級冷凍系統

中之至少一者之操作，以基於以下各者中之至少一者將可變冷凍容量提供至該負載：遞送至該負載的主致冷劑之壓力，及該負載之至少一溫度。

85. 一種用於使負載冷卻之方法，該方法包含：

壓縮封閉迴路主冷凍系統之主壓縮機中的主致冷劑，該主壓縮機接受在低壓下的主致冷劑及排出在高壓下的該主致冷劑；

將在該高壓下的該主致冷劑自該主壓縮機傳遞至一絕緣外殼之入口，及將在該低壓下的該主致冷劑自該絕緣外殼傳回至該主壓縮機；

將在該高壓下的該主致冷劑傳遞至該絕緣外殼內之至少一熱交換器，及使用與來自一次級冷凍系統的一次級致冷劑之熱交換而使該至少一熱交換器中的該主致冷劑冷卻，該次級冷凍系統包含至少一次級低溫冷凍機；

使用該絕緣外殼內之膨脹單元使該主致冷劑膨脹，該膨脹單元接收來自該至少一熱交換器的在該高壓下的該主致冷劑及排出在該低壓下的該主致冷劑；

將在該低壓下的該主致冷劑遞送至該負載及將該主致冷劑自該負載傳回至該主冷凍系統；

控制該主冷凍系統與該次級冷凍系統中之至少一者之操作，以基於以下各者中之至少一者將可變冷凍容量提供至該負載：遞送至該負載的主致冷劑之壓力，及該負載之至少一溫度；及經由該次級冷凍系統之第一通道將冷卻自該次級冷凍系統遞送至該負載的至少一熱傳遞表面，及經

由該次級冷凍系統之第二通道將該次級致冷劑遞送至該至少一熱交換器。

86. 如申請專利範圍第 85 項之方法，其進一步包含控制至少基於遞送至該負載的該主致冷劑之該壓力而提供該可變冷凍容量至該負載。

87. 如申請專利範圍第 85 項之方法，其進一步包含控制該主壓縮機之高壓、低壓及壓力差中之至少一者。

88. 如申請專利範圍第 85 項之方法，其進一步包含控制熱量來源以供應待遞送至該主致冷劑的熱量。

89. 如申請專利範圍第 85 項之方法，其中該膨脹單元包含可調整節流閥，該方法進一步包含控制該可調整節流閥之操作。

90. 如申請專利範圍第 85 項之方法，其進一步包含控制該主致冷劑之流動以繞過該至少一熱交換器之至少一部分。

91. 如申請專利範圍第 85 項之方法，其進一步包含控制該主致冷劑之流動以繞過該主冷凍系統之至少一部分。

92. 如申請專利範圍第 85 項之方法，其進一步包含控制該主致冷劑之流動之速率。

93. 如申請專利範圍第 85 項之方法，其進一步包含控制該次級致冷劑之流動之速率。

94. 如申請專利範圍第 85 項之方法，其進一步包含控制該次級冷凍系統之設定點溫度。

95. 如申請專利範圍第 85 項之方法，其進一步包含控

制熱量來源以供應待遞送至該次級致冷劑的熱量。

96. 如申請專利範圍第 85 項之方法，其進一步包含控制該次級冷凍系統之一次級壓縮機之速度。

97. 如申請專利範圍第 85 項之方法，其進一步包含控制該次級致冷劑之流動以繞過該次級冷凍系統之至少一部分。

98. 如申請專利範圍第 85 項之方法，其進一步包含控制該主致冷劑之至少一部分之流動以使該負載之至少一部分變熱。

99. 如申請專利範圍第 85 項之方法，其進一步包含控制該次級致冷劑之至少一部分之流動以使該負載之至少一部分變熱。

100. 如申請專利範圍第 85 項之方法，其包含經由通到該絕緣外殼外之傳遞管線將在該低壓下的該主致冷劑遞送至該負載，及經由該傳遞管線將該主致冷劑自該負載傳回至該絕緣外殼。

101. 如申請專利範圍第 85 項之方法，其中該負載在該絕緣外殼內。

102. 如申請專利範圍第 85 項之方法，其中該負載包含以下各者中之至少一者：用於低溫分離之流體串流、待液化之氣體、生物樣本、化學製程、材料性質分析設備、水蒸氣閘、製造程序中之物品、成像裝置、亞原子粒子偵測器、光子偵測器、化學分析設備、及超導裝置。

103. 如申請專利範圍第 85 項之方法，其進一步包含將

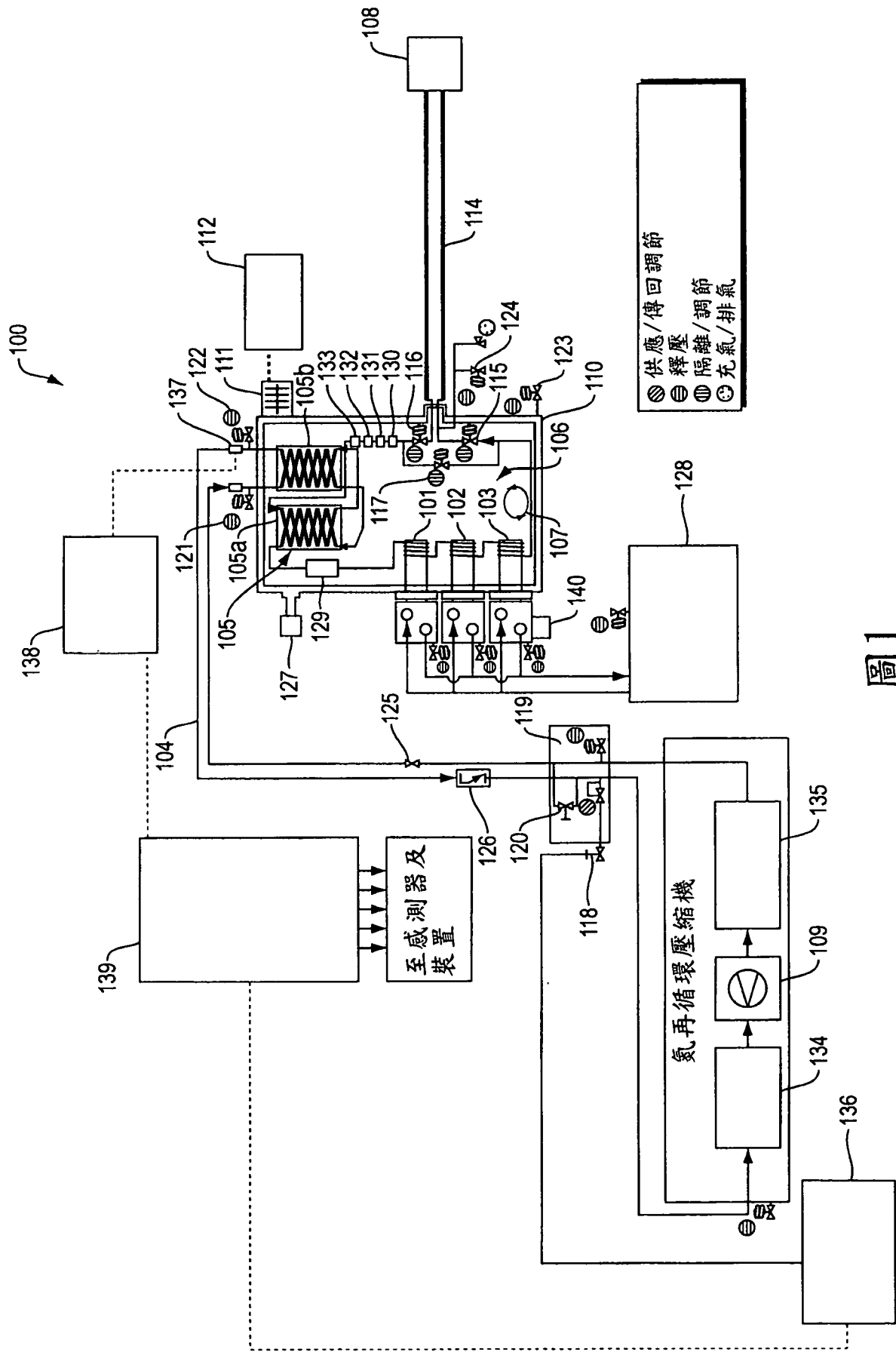
待冷卻的物件或流體自該負載之熱傳遞表面移動至該負載之另一部分。

104. 如申請專利範圍第 1 項之系統，其中該負載包含以下各者中之至少一者：半導體基板及超導纜線。

105. 如申請專利範圍第 85 項之方法，其中該負載包含以下各者中之至少一者：半導體基板及超導纜線。

八、圖式：

(如次頁)



供應/傳回調節
釋壓
隔離/調節
充氣/排氣

圖1

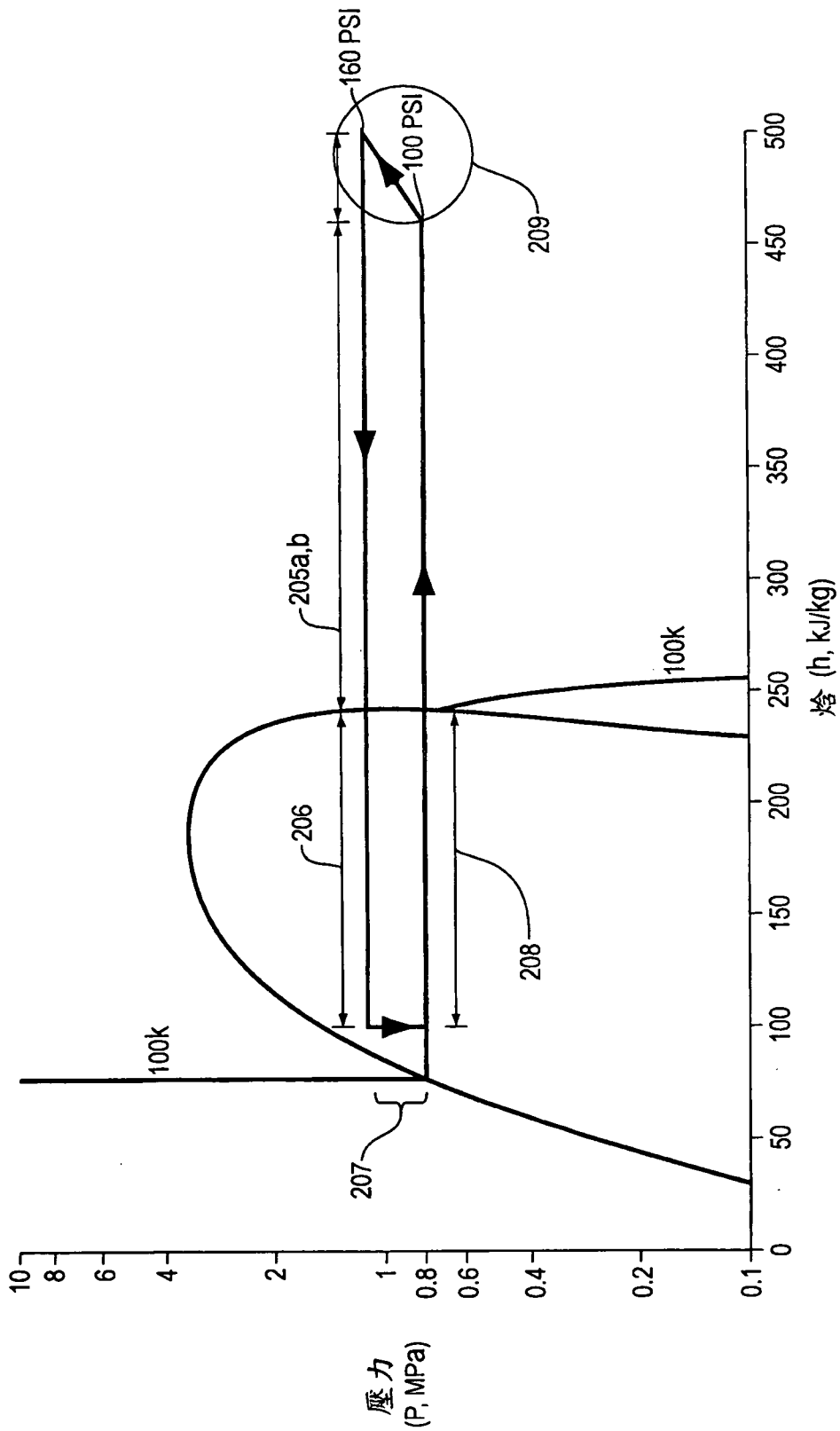


圖2

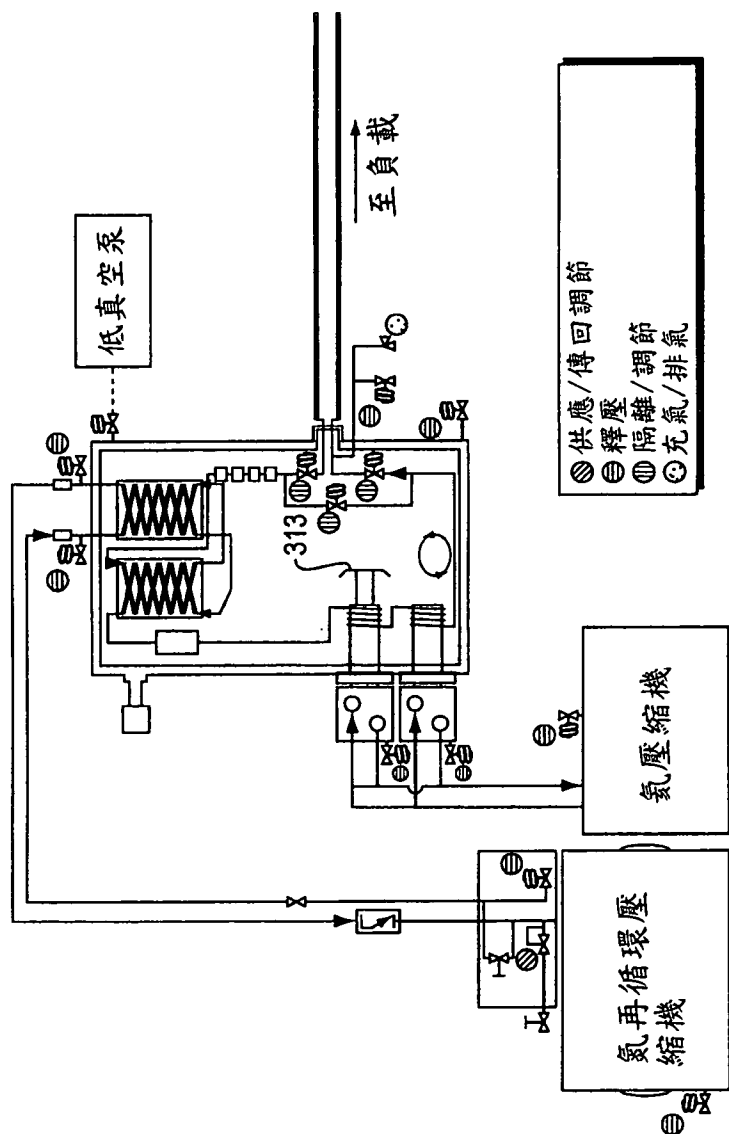


圖3

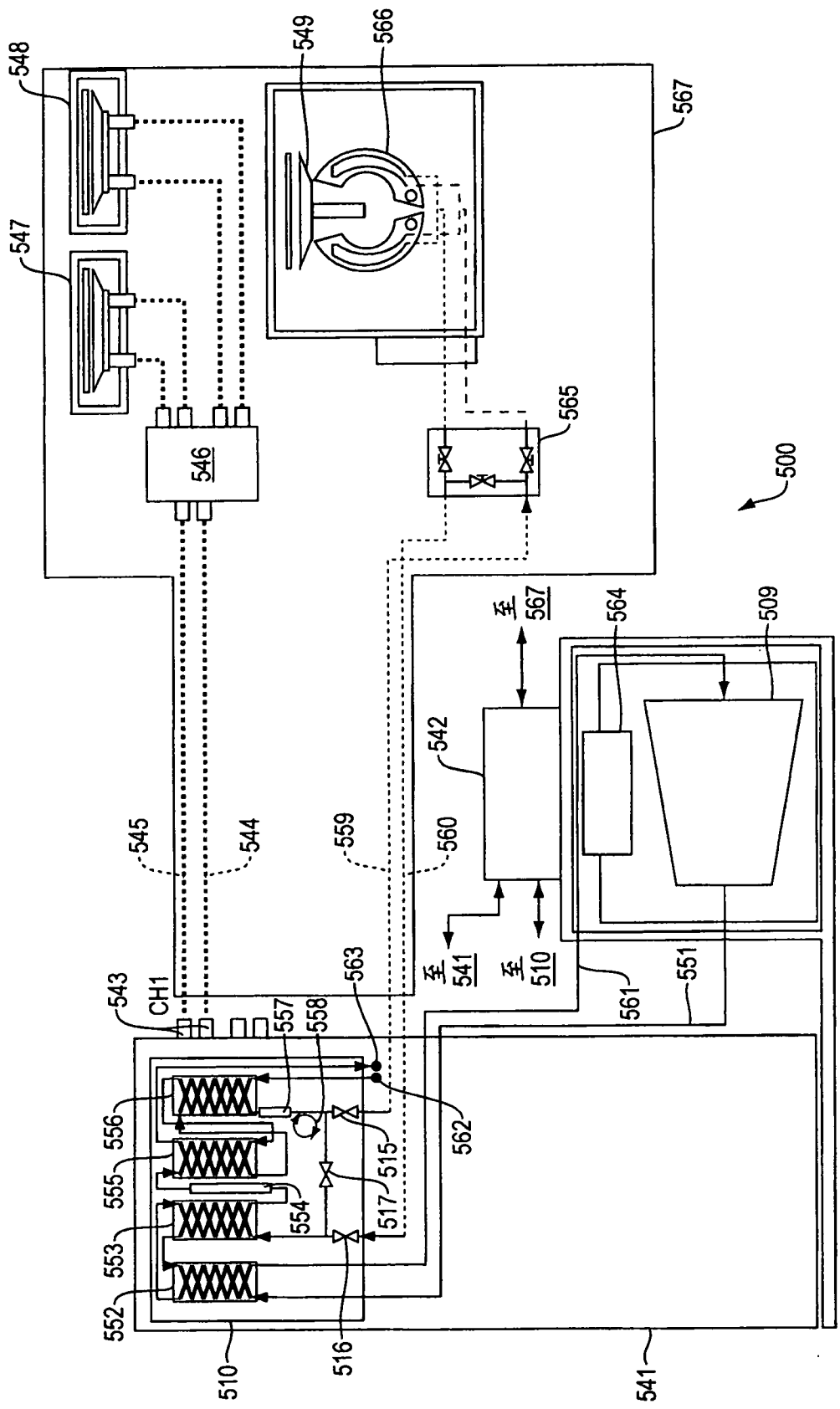


圖5