

國立交通大學

電機工程學院電機與控制組



碩士論文

機體晶片低溫測試系統研製

Low temperature testing system for IC chips

研究生：葉時漢

指導教授：林錫寬 教授

中華民國一〇二年七月

機體晶片低溫測試系統研製

Low temperature testing system for IC chips

研究生：葉時漢

Student : Shih-Han Yeh

指導教授：林錫寬 教授

Advisor : Dr. Shir-Kuan Lin



國立交通大學

電機與控制工程學系

碩士論文

A Thesis
Submitted to Department of
Electrical and Control Engineering
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master
In

Electrical and Control Engineering

June 2013

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 102 年 6 月

機體晶片低溫測試系統研製

學生：葉時漢

指導教授：林錫寬 教授

國立交通大學電機與控制工程學系

摘要

本論文是研究設計一種晶片可以進行低溫測試，利用現行半導體測試的分類機 Handler，改造成可以測試低溫的環境，進而設計低溫環境所需要使用的儀器，此儀器包含致冷器、冷凍機、乾燥機、靜電消除器…等，而創造出來的環境又會衍生出低溫測試的問題，包含靜電及水氣問題，最後都有擬出可行的解決方案，達到低溫測試的目的。

Low temperature testing system for IC chips

Student : Shih-Han Yeh

Advisor : Dr. Shir-Kuan Lin

Department of Electrical and Control Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

This thesis is to design an IC chip can be tested at low temperatures , the use of the classification of the existing semiconductor testing machines Handler, transformed into a low temperature environment can be tested, then calculate and derive the low-temperature environment requires the use of instruments, this system contains refrigerator, freezer, drying machine, static eliminator ... etc., which can provide an environment for low temperature test and can solve the problems, including static change accumulation and moisture problems, and finally have a good solution to achieve low-temperature testing purposes.

誌 謝

碩士班研究期間，承蒙指導教授林錫寬老師對我的關懷和照顧，使我在課業和處事上都獲益良多，尤其感謝老師對本論文的悉心指導，使本論文得以順利完成。同時感謝口試委員熱心指正與建議，使本文更趨完善，同時很幸運能夠進入產業研究實驗室進行研究，除了老師的指導以及充沛的研究資源，特別感謝實驗室的學長與同學們在研究與生活上的協助。最後，感謝我最親愛的家人，是我永遠的支柱和成長的動力。



目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
誌謝	III
目錄	IV
表目錄	VI
圖目錄	VII
符號說明	IX
一、 緒論	1
1-1 前言	1
1-2 論文架構	2
1-3 測試製程簡介	3
1-3-1 探針與測試座簡介	3
1-3-2 測試機與測試製具簡介	5
1-4 低溫測試之背景與目的	5
1-5 文獻回顧	6
二、 低溫測試系統設計	8
2-1 致冷器升降溫原理	8
2-1-1 選定致冷器理論推導	10
2-1-2 選取致冷器舉例說明	12
2-2 冷凍機規格計算	13
2-2-1 冷凍機的冷卻能力舉例說明	14
2-3 空氣乾燥規格計算	15
2-3-1 空氣乾燥機舉例說明	16
2-4 靜電消除器規格選定	17

2-4-1 靜電消除速度	17
2-4-2 離子平衡性	18
2-5 露點溫度與相對溼度間的關係	19
三、 低溫測試	22
3-1 計算儀器規格	22
3-2 NS6000 結構改機流程	25
四、 水氣抑制及靜電消除測試	29
4-1 水氣抑制測試	29
4-2 靜電消除測試	30
五、 實驗結果	32
5-1 低溫實驗架構	32
5-2 低溫實驗測試流程	33
5-3 NS6000 Handler 改機後實驗數據	34
5-4 SLT 實際主機板低溫測試數據	38
5-5 靜電消除改善之實驗	40
六、 結論與展望	43
附錄	44
參考文獻	51

表目錄

表 1 : 全球封裝測試產業市佔表	-----1
表 2 : 高溫乾燥機溫度補償係數表	-----16
表 3 : 高溫乾燥機溫度補償係數表	-----16
表 4 : 乾燥機壓力補償係數	-----16
表 5 : 露點及相對濕度比較表	-----30
表 6 : 靜電與溼度的關係表	-----31
表 7 : 靜電對各元件類型最大承受電壓	-----31
表 8 : 冷凍機溫度與製冷晶片溫度關係	-----35
表 9 : 致冷片降溫速度試驗表	-----35
表 10 : 冷凍機降溫時間表	-----37
表 11 : 靜電量測 p-value 值	-----41
表 12 : 靜電消除器改善後各點靜電壓	-----41

圖目錄

圖 1-1 : 全球車用半導體產值	2
圖 1-2 : 雙動式測試針結構圖	4
圖 1-3 : 測試座結構圖	4
圖 1-4 : 測試治具局部示意圖	6
圖 1-5 : 測試頭實際照片	7
圖 2-1 : 低溫測試設計通則	8
圖 2-2 : Peltier Effect 原理示意圖	9
圖 2-3 : 熱電模組結構及作用示意圖	10
圖 2-4 : Peltier Effect 電流方向原理示意圖	10
圖 2-5 : $\Delta T(I)$ 的關係變化之拋物線圖	12
圖 2-6 : 溫差與電壓特性圖	12
圖 2-7 : 溫差與吸熱量特性圖	12
圖 2-8 : 靜電消除速度圖	18
圖 2-9 : 離子平衡差異圖	18
圖 2-10 : 自動調整脈衝寬度方波圖	19
圖 2-11 : 露點溫度圖	21
圖 3-1 : NS6000 改機示意圖	25
圖 3-2 : 實際壓克力隔板完成圖	26
圖 3-3 : 靜電消除器(ESD)裝置位置	27
圖 3-4 : 機台上方管路孔位圖	27
圖 3-5 : 冷凍機及乾燥空氣機	28
圖 3-6 : 冷凍機架高示意圖	28
圖 5-1 : 低溫測試實驗結構圖	32
圖 5-2 : 低溫測試流程圖	34

圖 5-3 : 測試-25°C 產品無水氣	-----	37
圖 5-4 : SLT CPU 負載與溫度變化圖	-----	38
圖 5-5 : SLT CPU 負載與工作電壓變化圖	-----	38
圖 5-6 : SLT CPU 工作電壓與溫度變化圖	-----	39
圖 5-7 : SLT CPU 頻率與溫度變化圖	-----	39
圖 5-8 : HP83000 規格圖	-----	44
圖 5-9 : Speed 85°C V-Frequency 關係圖	-----	45
圖 5-10 : Speed 5°C V-Frequency 關係圖	-----	45
圖 5-11 : Speed -10°C V-Frequency 關係圖	-----	46
圖 5-12 : Speed -25°C V-Frequency 關係圖	-----	47
圖 5-13 : Speed 5°C 與 -25°C V-Frequency 比較關係圖	-----	47
圖 5-14 : Cache 85°C V-Frequency 關係圖	-----	48
圖 5-15 : Cache 25°C V-Frequency 關係圖	-----	49
圖 5-16 : Cache -10°C V-Frequency 關係圖	-----	49
圖 5-17 : Cache -25°C V-Frequency 關係圖	-----	50

符號說明

T_c : 冷卻端的絕對溫度 [K], ($0^{\circ}\text{C} = 273\text{K}$)

I : 電流值[A]

ΔT : Peltier 的冷卻端與散熱端之間的溫差[K]

α_e : 模阻的 Zebek 起電力[V/K]

R_e : 模阻的阻抗值[Ω]。

K_e : 模阻的熱傳導率[W/cm·m]。

H : 冷卻能力熱量 卡 Kcal

M : 質量 公斤 Kg

S : 比熱 cal/g $^{\circ}\text{C}$

$(T_2 - T_1)$: 環境溫度與欲設定溫度差 $^{\circ}\text{C}$

Q : 帶電量

Q_0 : 飽和帶電量

N : 接觸次數

τ : 時間常數

k : 常數

T : 攝氏溫度

T_d : 露點溫度

RH : 相對溼度%

A_b : 基準空氣量 m^3/min

A_u : 使用空氣量 m^3/min

T_c : 溫度修正係數

A_c : 空氣壓縮修正係數

第一章 緒論

1-1 前言

隨著時代進步，人們對電子產品的品質要求越來越高，電子產品要能在低溫下正常運作的需求逐年增加，例如 3G 智慧型手機的熱賣、汽車上通訊及電腦的需求增加，如圖 1-1，道路上監視系統的普及，而每當冬天來臨，北緯以上及南緯以下的國家也都要使用這些電子產品，面對 IC 對低溫品質的要求越來越高，『低溫測試』就變的是現今最需要發展的重要問題了，而台灣封裝測試產業佔全球 46.5%，如表 1 的市場佔有率來說，泛指日月光、矽品、京元電、南茂、立衛、力成..，都沒有一家封測廠有設備可以做到極低溫的測試，而市場低溫的標準為『車規』需要測試-25°C、軍規則要測試-40°C。本研發技術，能夠至少在-25°C低溫下，對電子 IC 晶片作『低溫運作測試』。研發中會設計製作一個低溫主機板 CPU 測試腔(chamber)，來驗證所研發的晶片低溫測試相關技術。

表 1：全球封裝測試產業市佔表[1]

單位：百萬美元

	2008			2009			2010		
	國家	產值	全球市占率	國家	產值	全球市占率	國家	產值	全球市占率
第一名	台灣	7,038	45.4%	台灣	6,048	45.3%	台灣	9,399	51.3%
第二名	美國	2,395	15.6%	美國	2,046	15.5%	美國	2,816	15.4%
第三名	新加坡	1,663	10.9%	新加坡	1,342	10.1%	新加坡	1,797	9.8%

資料來源：陳玲君；工研院 IEK(2011/05)

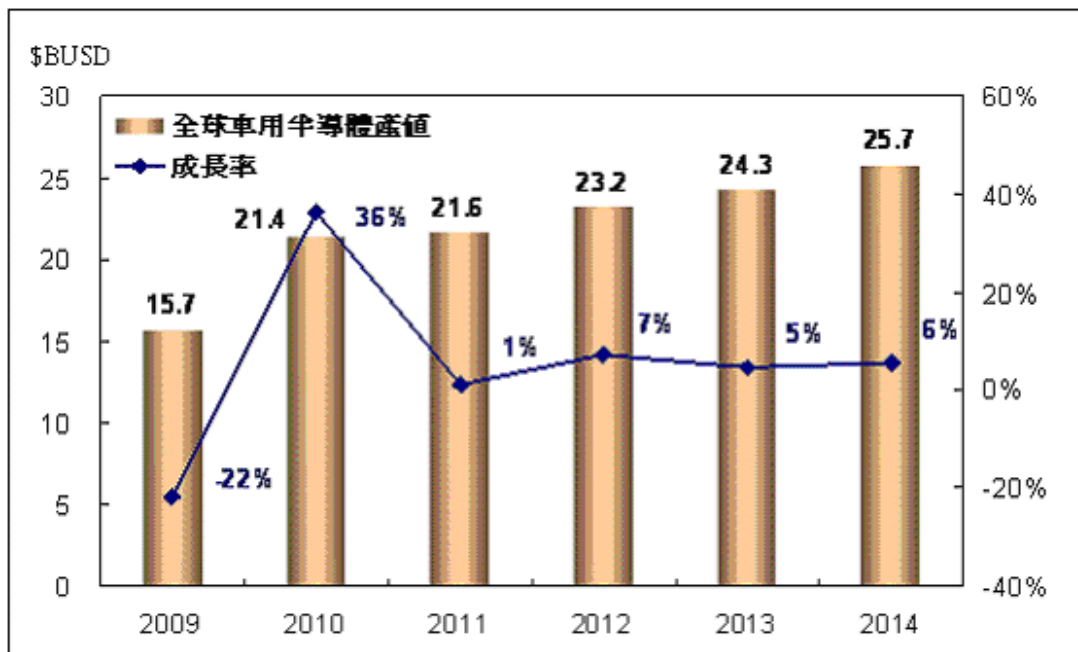


圖 1-1 全球車用半導體產值[2]

資料來源: Gartner; 工研院 IEK(2010/11)

1-2 論文架構

本篇論文總共分為六章，介紹如何設計一台可以測試 -25°C 低溫的機台，並計算所需要用到儀器的規格，第一章緒論在說明目前測試廠製程所用到測試治具的流程與分類，並在文獻回顧裡知道目前低溫測試所遇到的問題，第二章低溫設計的通則，說明設計一台低溫機台所用到儀器的規格，包含致冷器、冷凍機、乾燥機及靜電消除器等。第三章低溫測試執行方式，在說明如何設計製作一台原本無法測試低溫的機台(Handler)，改造成符合業界水準的低溫機台，第四章測試水氣抑制及靜電消除，說明了低溫測試環境所衍生出的問題，並加以改善，第五章實驗數據，說明低溫機台實際測試低溫的數據，包含致冷晶片與冷凍機間的實驗、SLT(System Level Test)主機板實際模擬實驗、靜電消除實驗及附錄的 FT(Final Test)HP83K 測試機的實驗，最後第六章做一個結論。本論文架構可分六大章節，分敘如下：

第一章 緒論。說明目前測試廠製程所用到測試治具的流程與分類。

第二章 低溫測試系統設計。計算所需儀器規格。

第三章 低溫測試。實際改機成低溫測試機台步驟。

第四章 水氣抑制及靜電消除測試。解決低溫衍生出來的問題。

第五章 實驗結果。低溫晶片實際低溫測試實驗。

第六章 結論與展望。總結與討論往後低溫的發展。

1-3 測試製程簡介

IC 在積體電路設計後，經由晶圓製造(wafer fabrication)、晶圓測試(wafer test)、晶圓切割以及在封裝製程後，因製程與機器設備參數設定、環境的不確定因素等影響，使得產品成品內晶片的延遲時間(delay time)便有快慢之區分，測試製程乃是對於產品進行電性等功能測試來驗證產品出廠後功能上的完整性及可靠性，並對於產品作外觀檢驗作業，來區分IC 產品等級的評價依據。

1-3-1 探針與測試座簡介[3]

測試針(pogo-pin)為一金屬材質之針狀結構物，材質可分為鈹銅或不鏽鋼，在表面有鎳、金的表面鍍層，作動類型可分為單動與雙動式兩種形式，雙動式測試針如圖1-2所示，作動原理為當測試針兩端分別與產品錫球及測試板接觸時，測試針兩端會向內部彈簧壓縮，在彈簧被壓縮時即進行電性測試，單動式測試針只有與產品錫球接觸端向彈簧內部壓縮，在業界中並無一定的區分使用方式。測試針使用時需安裝在測試座(socket)上來進行電性測試，如圖1-3所示，產品中錫球與測試板則藉由測試針來傳導電子信號，不同的電性測試也需與測試針及測試座互相搭配。測試製具中下壓力量的判斷標準則是依據錫球的數目以及測試針特性規格來判定，為了

使IC 在測試時有最佳的電性表現，測試針的壓力範圍則依不同製造廠商的規範而有所不同測試針受力範圍約為20~30 公克之間。對於相同尺寸的覆晶構裝體而言，測試製具下壓力量的計算會因錫球間距以及錫球排列方式使得錫球有不同數量，而使用不同的測試針相對的也會有不同的下壓力量。

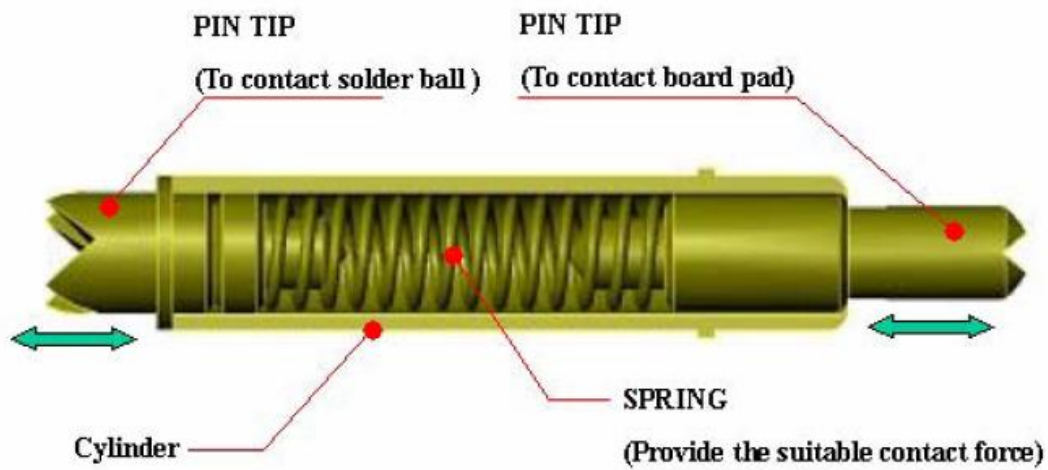


圖1-2 雙動式測試針結構圖

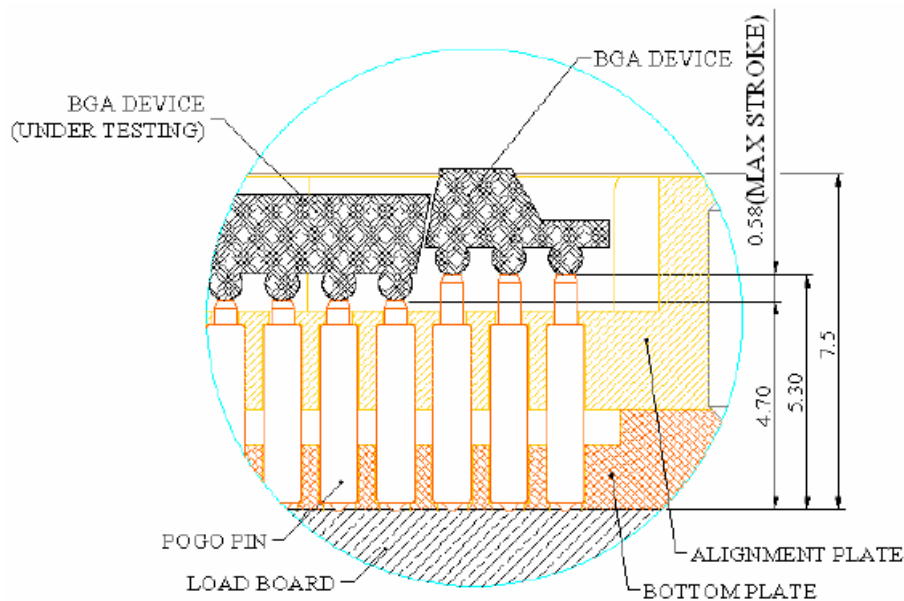


圖1-3 測試座結構圖

1-3-2 測試機與測試治具簡介

IC 在電性測試時，需利用自動化測試機，簡稱測試機(tester)與IC 分類機(handler)互相搭配來進行測試。測試機與IC 分類機目前在業界有許多種類，測試機主要依電性來區分種類，IC 分類機則依產品形式區分，不過在IC 分類機中其作動原理均相同，在進行電性測試時，分類機將產品依序由機器手臂將產品利用真空吸附後，此時測試製具會與產品表面接觸，放入測試座後同時由測試製具進行一下壓的動作使產品錫球處與測試針表面接觸來進行電性的測試。在部分的覆晶構裝體測試過程中，為了因應成品在出廠後需在高溫環境中使用，因此在測試前需將覆晶構裝體加熱至高溫後再來進行測試，而由於IC 分類機在測試過程中並無加熱機構，使得產品在電性測試時因內部電阻以及外在環境溫度不穩定的變化，進而影響在測試後的良率以及程式監控。為了因應高功率、高瓦數的覆晶構裝體在高溫測試的環境需求，近年來利用ATC 系統(activity temperature control system)來輔助測試，即利用溫度控制的方式使產品在測試前後均能維持高溫的穩定。

1-4 低溫測試之背景與目的

而隨著網路及通訊技術的快速發展，對訊號傳輸的品質及速度要求越來越高，而元件性能又不斷提昇，封裝的趨勢又朝向輕薄短小，造成元件的產生熱量密度不斷提昇。如果熱無法迅速散去，會造成產品可靠度降低，甚至損毀的嚴重後果。對於光通訊元件而言，除了散熱，溫度的控制更為重要，例如溫度的變化會影響主動元件如光收發器 Laser Diode 或 Tunable laser 的輸出功率穩定度而影響訊號品質，也會造成被動元件如 AWG 等的光波長偏移而失效。許多高功率電子以及光通訊元件在研發過程中，熱的問題已成為技術發展的瓶頸。以 CPU 為例，到 2005 年時，CPU 發熱量會從現在的 61W 增加到 96W，傳統的散熱方式如散熱片及風扇等，已無法滿

足需求。而水冷及冷凍循環則有成本高、體積大以及污染等問題，因此無噪音、無污染、冷卻溫度低的熱電模組開始受到重視。

1-5 文獻回顧

近年來利用ATC 系統(active temperature control system)來輔助測試低溫，其方式是利用測試頭與覆晶構裝體中間形成一個小型區域(chamber)，裡面灌入低溫的液態氮氣，由溫控器去控制所設定的溫度值，溫度的傳遞屬輻射傳遞，其溫度控制無法做到即時及精準的溫度設定，尤其針對高瓦數的覆晶構裝體特別明顯，因此本論文改善了現行低溫測試無法精準控制溫度的疑慮，而利用制冷晶片方式來控制溫度及時變化，其動作原理為在測試製具吸附IC 後，在內部的感應器會與覆晶構裝體保持接觸，測試過程如圖1-4 所示，測試製具照片如圖1-5 所示，在測試過程中若感應晶片溫度超過或者低於測試溫度設定值時，系統可在約0.1 秒內快速的冷卻及加熱測試製具來維持溫度的穩定，以達到覆晶構裝體在高溫測試時環境溫度的穩定性及可靠性。

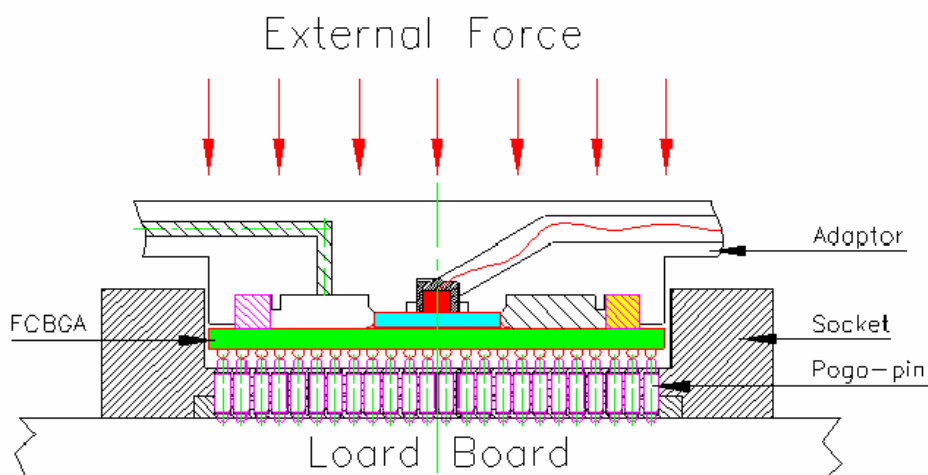


圖 1-4 測試治具局部示意圖

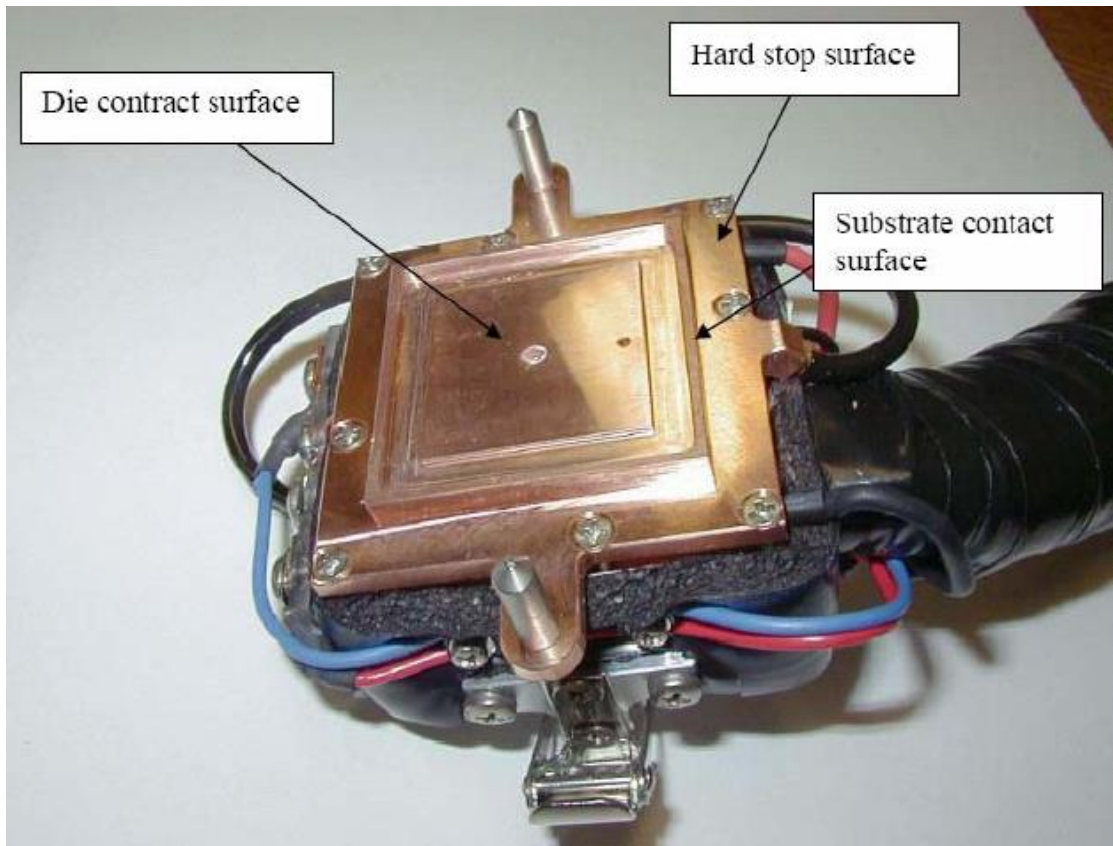


圖 1-5 測試頭實際照片



第二章 低溫測試系統設計

本論文實踐低溫測試所要制訂的規格的要素為致冷器的規格、靜電消除器的規格、乾燥空氣機規格、冷凍機規格，設計流程如圖 2-1。

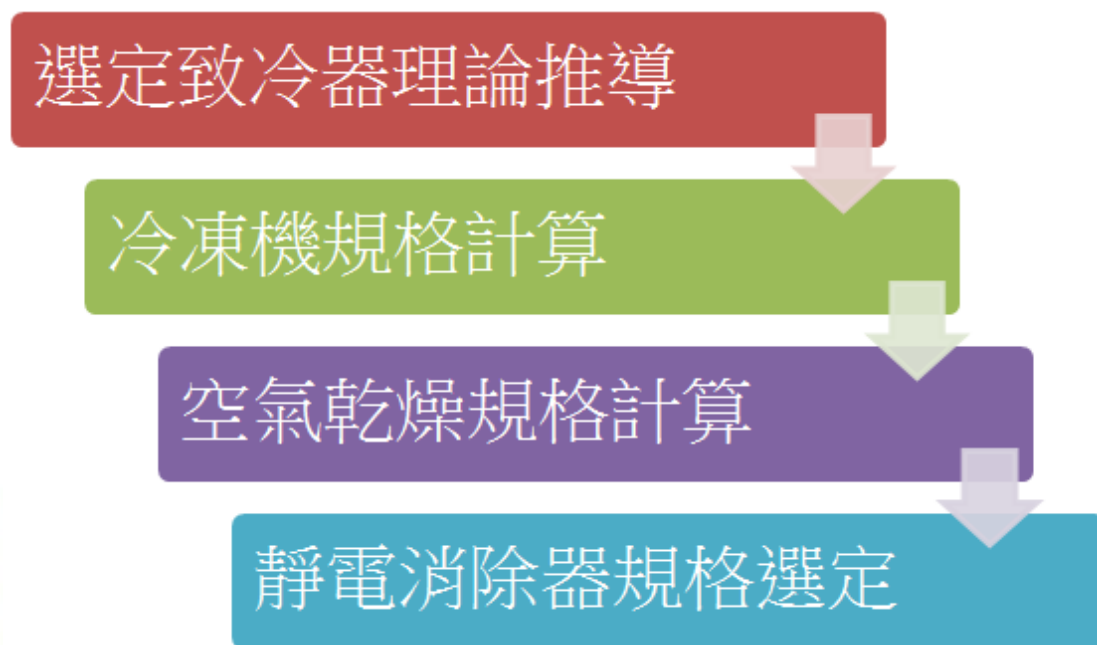


圖 2-1 低溫測試設計流程圖

2-1 致冷器昇降溫原理

熱電元件又稱『致冷器』，目前應用的熱電元件是由半導體所組成的一種冷卻裝置，於 1960 年左右才開始出現真正的應用裝置，然而其理論基礎 Peltier Effect[4]卻可追溯到 19 世紀。於 1821 年德國科學家 Thomas Seeback 觀察到，當兩種不同的金屬構成一閉合迴路，若在兩接合點存在有溫度差時，則迴路中將產生電流，此種效應被命名為 Seeback Effect，這也成為了溫差發電技術的基礎。而到了 1834 年，才由物理學家 Jean Peltier，發現不同的介質交接處，因應電流方向的不同會產生致冷或加熱的效果，其產生冷熱溫差之幅度由電流大小而定，這個現象則稱之為 Peltier Effect，是為 Seeback Effect 的逆效應。其說明如圖 2-2 所示，

X 及 Y 兩種不同的金屬導線構成一封閉迴路，在通上電源之後，A 點的熱量將被移到 B 點，而導致 A 點溫度降低，B 點溫度升高。直到近代，隨著半導體的蓬勃發展，利用半導體的特性，可使材料的熱電轉換性能大幅提昇，如 Bi_2Te_3 、 PbTe 等材料的應用，以及各種新製程如長晶、燒結等技術的開發，使得商業化的產品有了更多的應用。於是在熱電技術上開始了蓬勃的發展。目前熱電元件在電子及光電元件方面已有重要的應用，而新的材料及設計技術也不斷的在發展，以進一步提昇微熱電元件的性能。

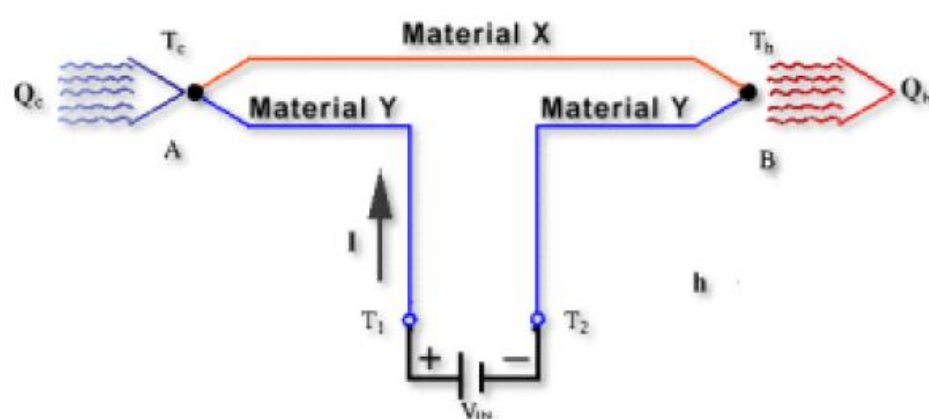


圖 2-2 Peltier Effect 原理示意圖

而圖 2-3 為一個實際應用之熱電元件的典型結構[5]，從圖中可看出其主要結構包含有上下兩片陶瓷板以及中間的 N 型和 P 型半導體材料(主要材料為碲化鉍 Bismuth Telluride)[6]，其中 N 型和 P 型半導體材料之顆粒依序排列，再以一般的導體物質將 N 型和 P 型顆粒串聯，而使之成為一完整線路，串聯用的導體材料通常是銅、鋁或是其他金屬，最後再由兩片陶瓷片，將 N、P 材料像夾心餅乾一樣地包夾起來。因此在熱電元件結構中最重要也最基本的單元便是熱電偶(thermocouple)[7]，而數個熱電偶串聯便組成熱電堆(thermopile)，所以將之闡述地更詳細點，即是：一個熱電偶包含有兩個熱電單元，其各為 N 型和 P 型的半導體，而若有多組 N 型和 P 型的半導體相串聯，此時則稱為熱電堆。

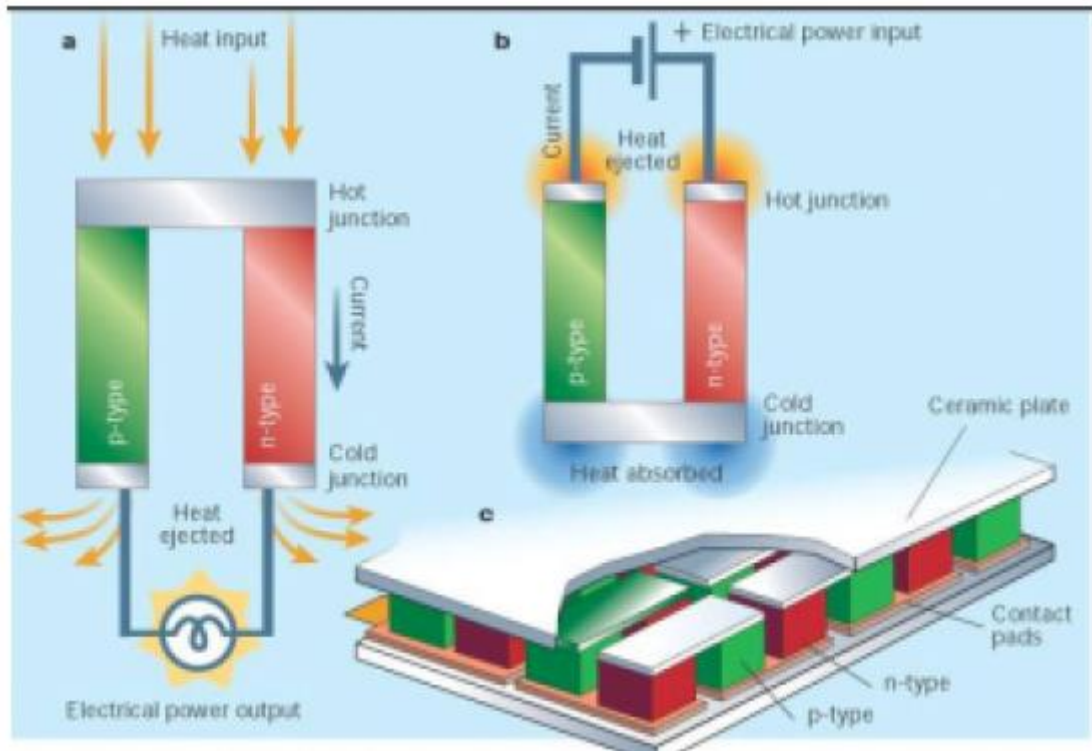


圖 2-3 熱電模組結構及作用示意圖

2-1-1 選定致冷器理論推導[8]

對相異金屬接合構成的電路施加直流電，其中一方(黃色箭頭)的接合處會吸熱，另一方的接合處則會放熱。如果改變電流的流動方向成(綠色箭頭)，上述的吸熱與發熱部位也會隨著改變。

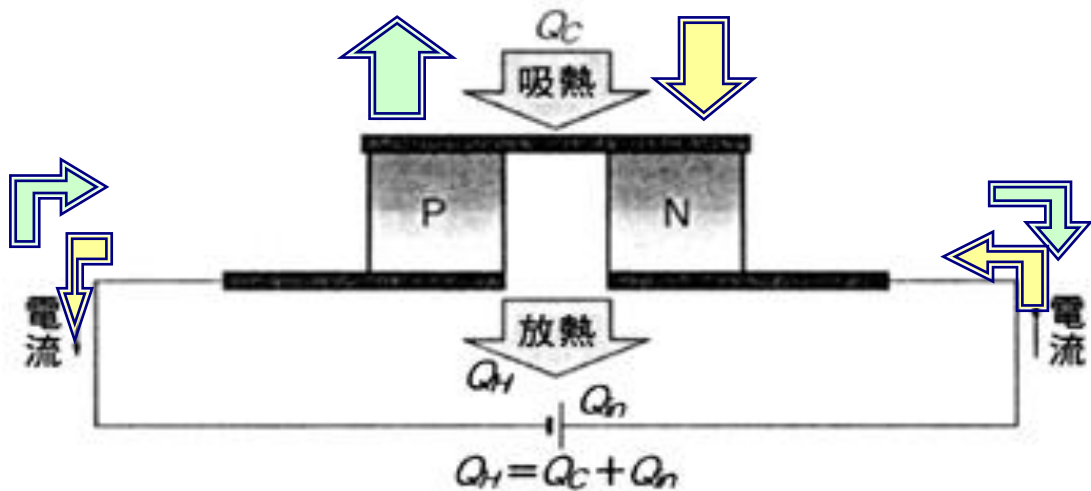


圖 2-4 Peltier Effect 電流方向原理示意圖

$$Q_H = Q_c + Q_{in} \quad (1)$$

其中 Q_H : 放熱熱量

Q_c : 吸熱熱量

Q_{in} : 元件本身發熱熱量

如果直流電流從 N 型流入 P 型熱電半導體時，可吸收上方接合面產生的熱能，並運送至下方接合面。反之，電流從 P 型流入 N 型熱電半導體時，熱能則從下方流至上方。

以下為吸熱量 $Q_c(W)$ 和最大溫差的計算值：

吸熱量 $Q_c(W)$ 的理論計算[9]：

$$Q_c(W) = \alpha_e T_c I - R_e I^2 / 2 - K_e \Delta T \quad (2)$$

其中： T_c : 冷卻端的絕對溫度 [K], ($0^\circ\text{C} = 273\text{K}$)

I : 電流值[A]

ΔT : Peltier 的冷卻端與散熱端之間的溫差 [K]

α_e : 模阻的 Zebek 起電力 [V/K]

R_e : 模阻的阻抗值 [Ω]。

K_e : 模阻的熱傳導率 [$\text{W}/\text{cm}\cdot\text{m}$]。

最大溫差：當吸熱量 Q_c 為 0 時的冷卻端與散熱端之間的溫差最大值，可利用 $Q_c=0$ 求得

$$\Delta T = (-\frac{1}{2}R_e I^2 + \alpha_e T_c I) / K_e \quad (3)$$

$\Delta T(I)$ 的關係變化是具有二次式凸狀之拋物線變化，如圖 2-5[10]。

該 ΔT 變成最大時的電流值稱為最大電流，此時的電壓稱為最大電壓。對致冷器而言，所謂的最大電壓並不是指可施加於致冷器之電壓的最大值。

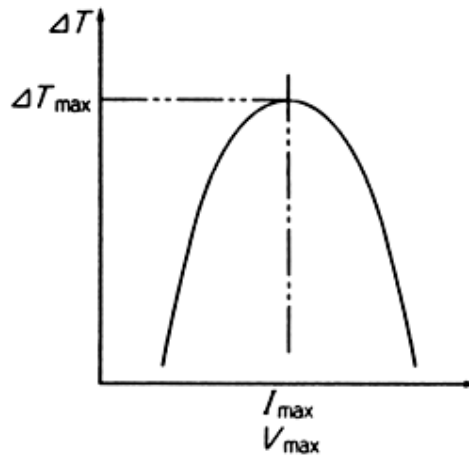


圖 2-5 $\Delta T(I)$ 的關係變化之拋物線圖

但實際使用時，會有從周圍流入熱量吸收因素與散熱端溫升等問題。由於使用上會有溫差現象，因此實際的可吸收的熱量是最大吸熱量 $Q_{c,max}$ 的 30~50%左右。

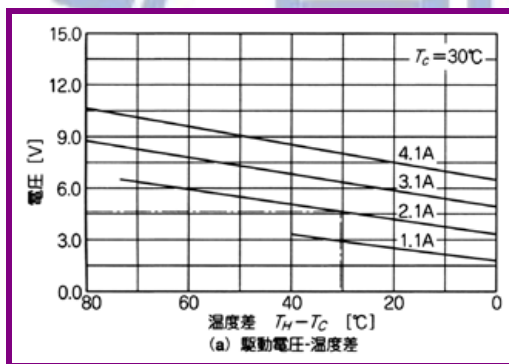


圖 2-6 溫差與電壓特性圖

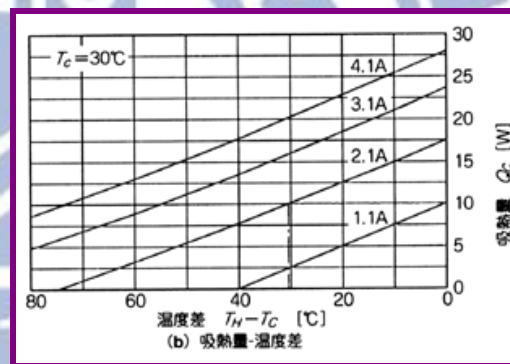


圖 2-7 溫差與吸熱量特性圖

2-1-2 選取致冷器舉例說明

假設在常溫 25°C 的環境欲將 10 W 的發熱體冷卻至 -5°C 為例：
根據圖 2-7 溫差與吸熱量特性圖，就可藉由 Y 軸吸熱量 $Q_c = 10\text{ W}$ ，與 X 軸溫差 ΔT 為 30°C 時，求出兩者的交點，之後再用圖 2-6 溫差與電壓特性圖，X 軸 30°C 的溫差 ΔT 與上述用圖 2-6 求得 2.1 A 的電流值，利用兩者的交點求取電壓值。

由此可知，要求溫差 $\Delta T = 30^{\circ}\text{C}$ ，則吸熱量 $Q_c = 10\text{ W}$ ，此時必需對致冷

器施加的電壓與電流分別如下：

$$V = 4.16 \text{ v} \quad I = 2.1 \text{ A} \quad , \quad Q_{in} = 8.736 \text{ W}$$

Q_{in} 是 TE 致冷器的消費電力，該 TE 致冷器的散熱量可利用下式求得

$$Q_h = Q_c + Q_{in} = 10 + 8.736 = 18.736 \text{ W}$$

也就是說散熱器必需具備的散熱特性如下所示

$$K = \Delta T / Q_h = 30 / 18.736 = 1.6^\circ\text{C} / \text{W}$$

(4)

一般而言，鋁擠型散熱器若搭配冷卻風扇(cooling fan)，通常都可以將致冷器的散熱量完全排除。假設散熱器的散熱能力不足，亦即實際溫度比設計值 T_H 更高，必需重新變更設定溫度，由於實際電流值若超過 I_{max} 的 60~70%，熱電元件部的電流密度會增加，使用壽命則大幅降低。

2-2 冷凍機規格計算

計算我們所需要的冷凍機規格，首先須知道我們產品會產生多少熱量，多少時間需將熱量被帶走，而本論文欲降溫的是致冷片所產生的熱量，而選定的冷凍機規格必須大於我們的需求。

要知道冷凍機的規格，我們首先要知道冷凍機的冷卻能力為何，以下是冷卻能力的計算公式

$$H = M * S * (T_2 - T_1) \quad (5)$$

其中 H ：冷卻能力熱量 卡 Kcal

M ：質量 公斤 Kg

S ：比熱 $\text{cal/g}^\circ\text{C}$

$(T_2 - T_1)$ ：環境溫度與欲設定溫度差 $^\circ\text{C}$

2-2-1 冷凍機的冷卻能力舉例說明

- (1). 假設冷卻能力是在循環水量 13L/min，入口水溫 37°C，出口水溫 32°C，外氣濕氣溫度 27°CWB 條件下計算。1 冷凍噸約為 3320kcal/hr

$$H = M * S * (T_2 - T_1)$$

$$\text{冷卻水 } 1 \text{ L} = 1 \text{ kg}$$

$$13\text{kg/min} * 60\text{min/hr} * 1 * (37-32)^\circ\text{C}$$

$$=3900 \text{ kcal/hr}$$

而冷卻水循環量的計算為

假設溫度差 5°C 時，每 1 冷凍噸所需循環水量 L

$$L = 3320 / 5 * 60 = 11.1 \text{ kg/min}$$

$$= 11.1 \text{ L/min} = 666 \text{ L/hr}$$

- (2). 我們結合 2-1 章節致冷器的例子，假設在常溫 25°C 的環境欲將 10 W 的發熱體冷卻至 -5°C，重新計算我們需要的冷凍機的冷卻能力及水流流量規格如下：

選取的最少的冷卻能力為：

致冷器發熱源 total : 18.736W

散熱裝置有效效率 : 18.736 W / 0.65 = 28.82 W

$$1 \text{ cal} = 4.18\text{J} \text{ 、 } 1\text{Kcal} = 4180\text{J} \text{ 、 } 1\text{hr} = 3600 \text{ sec}$$

$$1 \text{ J/msK} * 1/4180 \text{ Kcal/J} * 3600/1 \text{ s/h} = 0.86 \text{ kcal/mhK} = \\ 0.86\text{kcal/mh}^\circ\text{C}$$

$$\text{則 } 1 \text{ W/mk} = 0.86 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$$

$$\text{最低需求冷卻能力為 } 28.82 \text{ W} * 0.86 = 24.79 \text{ Kcal/mh}^\circ\text{C}$$

而最低規格的冷卻水量計算為：

$$\text{已知 } K = \Delta T / Q_h = 30 / 18.736 = 1.6^\circ\text{C/W}$$

$$H = M * S * T$$

$$24.79 \text{ Kcal/mh}^\circ\text{C} = M \text{ kg} * 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C} * 1.6^\circ\text{C}$$

$$L = M = 15.49 \text{ L/hr}$$

2-3 空氣乾燥規格計算

空氣乾燥機的機型必需配合不同的使用條件做選擇。否則除了無法確保其性能之外，還容易造成故障，對於工廠生產機械的影響甚大。一般空氣乾燥機提供您冷凍式、吸附式、膜式三類型的空氣乾燥機選擇，當使用場合和規格表所列的條件不同時，請依下列的機種選擇方法來選擇正確的機種。

乾燥機計算公式如下：

$$A_b > A_u / (T_c * A_c) \quad (6)$$

其中 A_b ：基準空氣量 m^3/min

A_u : 使用空氣量 m^3/min

T_c : 溫度修正係數

A_c : 空氣壓縮修正係數

表 2 高溫乾燥機溫度補償係數表

入氣溫度(°C)	55			65			75			80			
出口露點(°C)	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	
周圍溫度(°C)	32	0.82	1.00	1.10	0.78	0.89	1.03	0.71	0.82	0.98	0.57	0.75	0.88
	35	0.74	0.89	1.06	0.67	0.79	1.00	0.61	0.73	0.92	0.49	0.64	0.82
	40	-	-	-	0.56	0.60	0.81	0.48	0.54	0.75	0.40	0.46	0.63

表 3 一般溫乾燥機溫度補償係數表

入氣溫度(°C)	35			40			45			50			
出口露點(°C)	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	
周圍溫度(°C)	32	0.93	1.00	1.10	0.60	0.84	1.02	0.48	0.69	0.89	0.26	0.45	0.68
	35	0.68	0.97	1.10	0.53	0.80	0.97	0.42	0.65	0.81	0.19	0.43	0.60
	40	-	-	-	0.47	0.74	0.93	0.34	0.60	0.73	0.10	0.39	0.50

表 4 乾燥機壓力補償係數

空氣壓力 (Mpa)	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
壓力係數	0.67	0.73	0.80	0.87	0.93	1.00	1.07	1.13	1.20

2-3-1 空氣乾燥機舉例說明

已知工廠端條件為空壓機入口溫度為 40°C ，需求出口露點溫度為 10°C ，周圍溫度為 40°C ，空壓機壓力規格為 0.8 Mpa ，空氣量為 $3.0\text{ m}^3/\text{min}$ ，求符合標準之基準空氣量的機種？

入口溫度為 50°C 以下，因此查表 3 選擇一般溫度修正係數、出口露點 10°C 、周圍溫度 40°C ，得到溫度修正係數為 0.74 而使用空壓機壓力為

0.8Mpa 查表 4 乾燥機壓力補正係數表，可以得到壓力補正係數為 1.07。

因此基準空氣量 $> 3.0 / (0.74 * 1.07) = 3.79 \text{ m}^3/\text{min}$

則空氣乾燥機之基準空氣量要選擇 $3.3 \text{ m}^3/\text{min}$ 以上的機種就可以。

2-4 靜電消除器規格選定

首先要知道被消除產品帶電量是多少伏特，方決定採用何種規格的產品，以下公式可以算出我們所需要選定規格。

$$Q = Q_0 (1 - \exp kn/\tau) \quad (7)$$

其中

Q ：帶電量

Q_0 ：飽和帶電量

n ：接觸次數

τ ：時間常數

k ：常數

帶電量的飽和由電荷發生量和電荷洩漏量決定，具有導電性的物體，每次接觸產生的電荷都迅速流向地面，因此很難達到飽和。要計算Socket內有多少靜電量，條件及環境的不同，計算出來的值也會有所不同，因此要知道Socket內有多少靜電量，我們直接用儀器直接非接觸式量測該區域含有多少靜電量，而如何挑選適合我們使用的靜電消除器才是本論文重點，靜電消除器的效能是由靜電消除速度和離子平衡性決定的。

2-4-1 靜電消除速度

靜電消除速度是指讓帶電物體變為電中和(0 V) 狀態所需的時間長度。右圖中的Y 軸代表帶電量，X 軸代表靜電消除時間。在此圖中，藍線代表快速、高效能的靜電消除器。物體在經歷摩擦或剝離時產生的靜電較為明顯，因此才有了對高速消除靜電對策的需求。

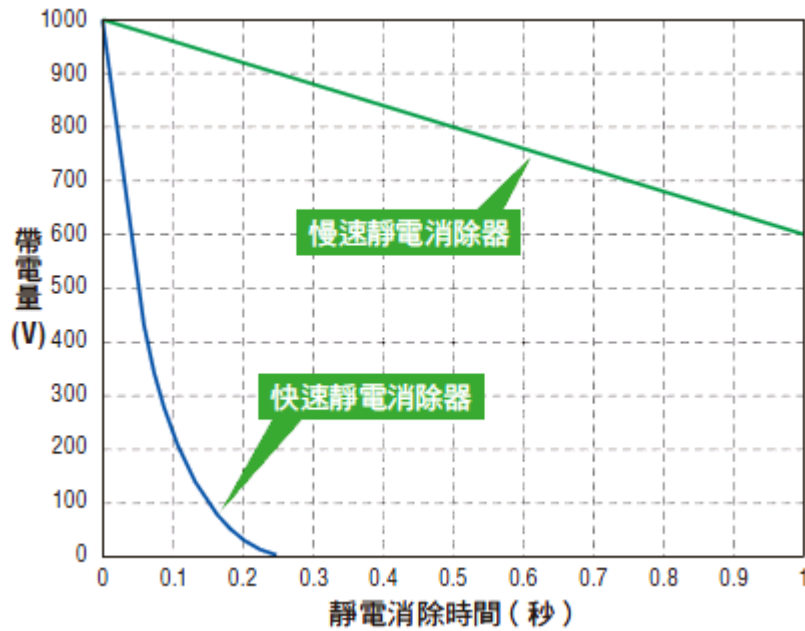


圖2-8 靜電消除速度圖

2-4-2 離子平衡性

離子平衡性衡量的是消除器能夠消除多少靜電，及其能夠在最低值保持多長的時間。藍線代表的靜電消除器可持續保持 0V 的帶電量，因此其離子平衡性很好。相較之下，紅線和綠線代表的靜電消除器，一個無法完全消除靜電，另一個則使目標帶上了相反的電荷。因此，這兩種靜電消除器的離子平衡性較差。

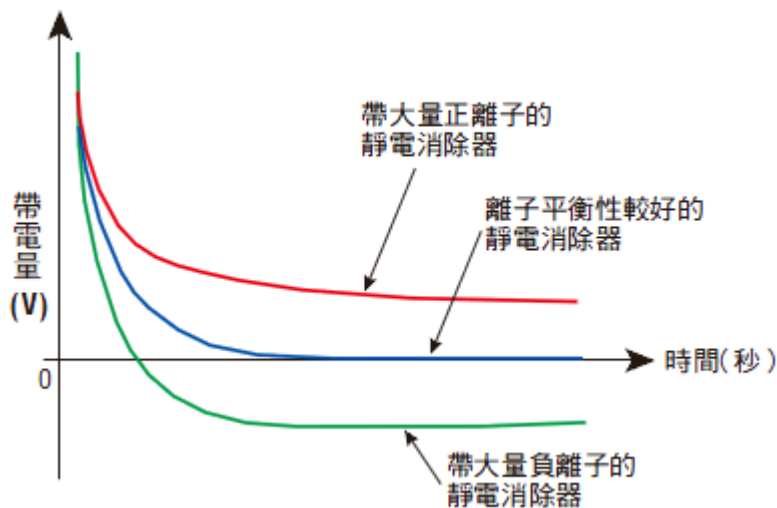


圖2-9 離子平衡差異圖

因為摩擦產生靜電，可能被測物是帶正離子的靜電，也可能會帶負離子的靜電，因此選定靜電消除器要多考慮是否含有自動調整離子平衡的功能的靜電消除器，圖2-10可以清楚表示當被測物帶負電的靜電時，脈衝寬度自動縮小，已達到快速靜電消除的目的。

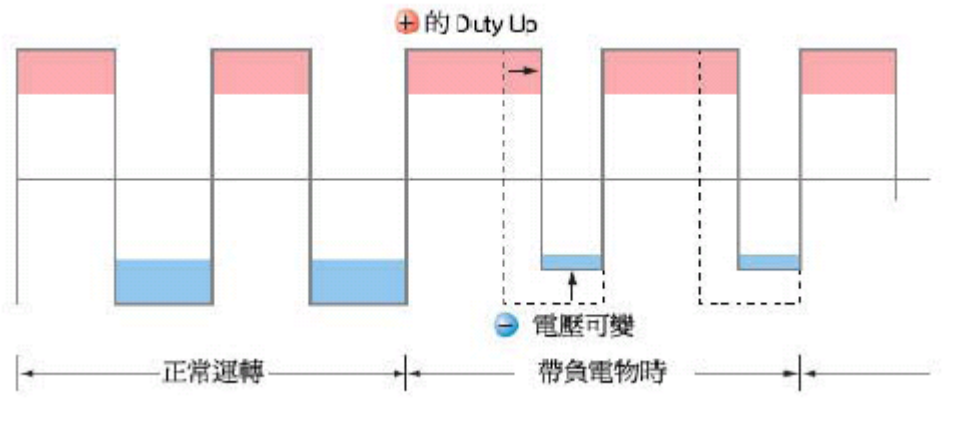


圖2-10 自動調整脈衝寬度方波圖

2-5 露點溫度與相對溼度間的關係

露點（Dew point）或露點溫度是在固定氣壓之下，空氣中所含的氣態水達到飽和而凝結成液態水所需要降至的溫度。在這溫度時，凝結的水飄浮在空中稱為霧、而沾在固體表面上時則稱為露，因而得名露點。

當露點降到冰點以下時，此時從空氣中析出的水氣並不會結成液態水，而是直接凝固成固態的水，微細的冰粒沾在其他物體的表面上型成霜，這時的露點亦會被稱為霜點（Frost Point）。

露點與另一個常用濕度指標相對溼度有所關聯。相對濕度越高，露點會越接近氣溫；當相對濕度達到 100%時，露點與氣溫相等。當露點不變時，相對濕度與氣溫成反比。

透過露點就可以知道出空氣中的水氣含量，因而露點是一項絕對濕度的指標。而在天氣圖上，一般都以露點來表示氣象站的濕度。

知道乾球溫度、而相對濕度大於 50%時，露點可以用下列的公式求得，其誤差值僅為 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

$$T_d = T - \frac{(100 - RH)}{5} \quad (8)$$

或者

$$RH = 100 - 5(T - T_d) \quad (9)$$

以文字表示，即露點與乾球溫度每相差 1°C ，相對濕度即下降 5%。在這裡乾球溫度 T 和露點 T_d 單位為攝氏、相對濕度 RH 為百分比。

因為我們需要選取乾燥機的規格，裡面的露點溫度是我們所要知道的條件，因此利用換算表表 6，來舉一個例子，假設 20°C 的室溫下，相對溼度為 65% RH，則此時的露點溫度為多少 $^\circ\text{C}$ ？

$$T_d = 20^\circ\text{C} - (100 - 65)/5 = 13^\circ\text{C}$$

則 露點溫度在 20°C 、65% RH 條件下為 13°C

參考圖 2-11「露點溫度圖」，該圖顯示了在不同溫度下，海平面空氣質量可以容納的水氣質量的最大百分比。當溫度上升時，水氣的平衡分壓亦會隨之上升，從而使蒸發出更多的水氣；反之亦然。亦即，空氣中的水氣增減與其他氣體無關。當溫度到達露點時，不論其他氣體存在與否，露也會開始形成。露點也就是水氣分壓的單調函數

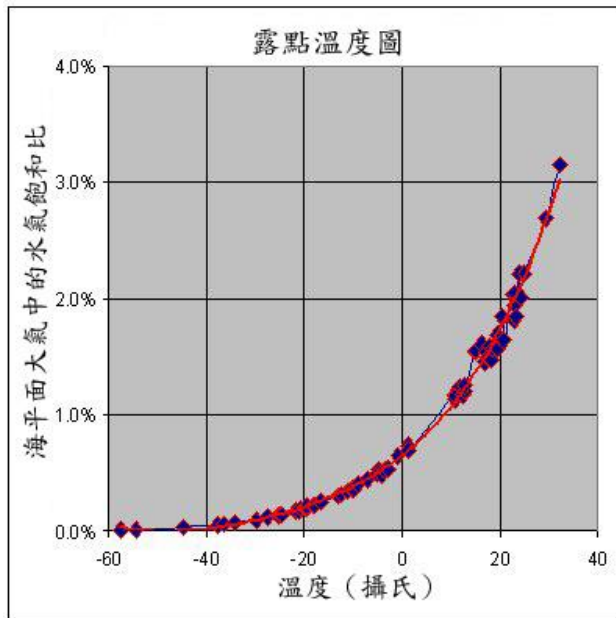
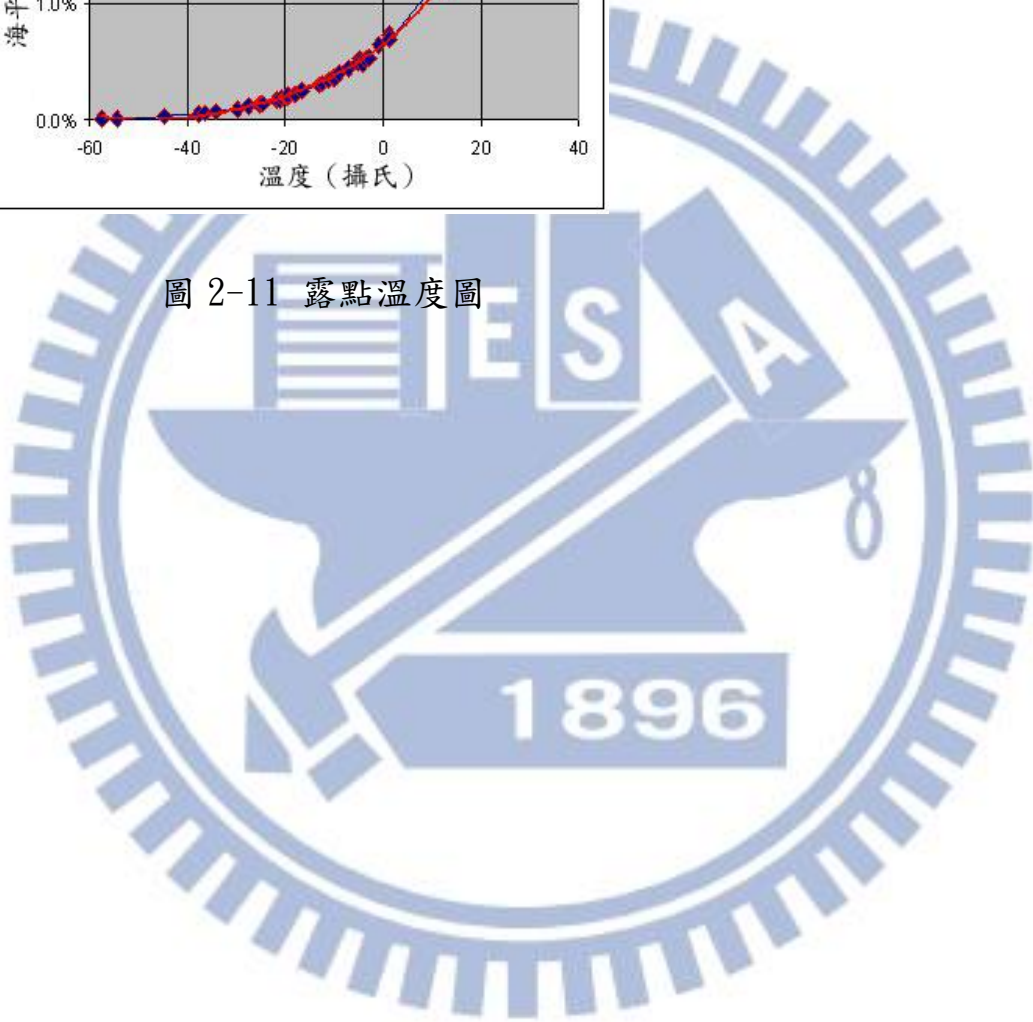


圖 2-11 露點溫度圖



第三章 低溫測試

Seiko Epson NS6000 機台是半導體測試廠中市佔率最高的分類機 (Handler)，該機台設計只能測試高溫及常溫的 IC，而無法測試低溫，而本次改機是利用該機台高速的移動穩定性搭自行研發的低溫裝置，使得機台能夠做到全方位的測試目的。

3-1 計算儀器規格

首先我們計算這次改機我們需要使用到，致冷器、冷凍機、乾燥機，及靜電消除器的規格廠牌。

需求條件：我們需設計一台可以測試 -25°C 環境的機台，測試 IC 為 VIA CPU 規格為 C5J 15W，工廠空壓機規格為空壓機入口溫度為 35°C ，需求出口露點溫度為 5°C ，周圍溫度為 35°C ，空壓機壓力規格為 1.0 Mpa，空氣量為 $10.0 \text{ m}^3/\text{min}$ ，靜電產生不確定是否為正負電。

由第二章計算方式首先先計算致冷器所產生的熱能，計算出來後就可以知道如何選用冷凍機規格，再來工廠端得知空壓機規格後，就可以計算乾燥機與靜電消除器的規格

致冷器熱量：

需求為常溫 25°C 的環境欲將 15 W 的發熱體冷卻至 -25°C ，根據圖 2-7 溫差與吸熱量特性圖，就可藉由 Y 軸吸熱量 $Q_c=15\text{W}$ ，與 X 軸溫差 ΔT 為 50°C 時，求出兩者的交點，之後再用圖 2-6 溫差與電壓特性圖，X 軸 50°C 的溫差 ΔT 與上述用圖 2-6 求得 4.1A 的電流值，利用兩者的交點求取電壓值。

由此可知，要求溫差 $\Delta T=50^{\circ}\text{C}$ ，則吸熱量 $Q_c=15\text{W}$ ，此時必需對致冷器施加的電壓與電流分別如下：

$$V = 9 \text{ V} \quad I = 4.1 \text{ A} \quad , \quad Q_{in} = 36.9 \text{ W}$$

Q_{in} 是 TE 致冷器的消費電力，該 TE 致冷器的散熱量可利用下式求得

$$Q_h = Q_c + Q_{in} = 15 + 36.9 = 51.9 \text{ W}$$

因此致冷器總消耗熱能為 51.9 W

冷凍機規格：

致冷器發熱源 total : 51.9 W

散熱裝置有效效率 : $51.9 \text{ W} / 0.65 = 79.84 \text{ W}$

$1 \text{ cal} = 4.18\text{J}$ 、 $1\text{Kcal} = 4180\text{J}$ 、 $1\text{hr} = 3600 \text{ sec}$

$$1 \text{ J/msK} * 1/4180 \text{ Kcal/J} * 3600/1 \text{ s/h} = 0.86 \text{ kcal/mhK} = 0.86\text{kcal/mh}^\circ\text{C}$$

則 $1 \text{ W/mk} = 0.86 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$

最低需求冷卻能力為 $79.84 \text{ W} * 0.86 = 68.66 \text{ Kcal/mh}^\circ\text{C}$

而最低規格的冷卻水量計算為：

已知散熱效能 $K = \Delta T / Q_h = 50^\circ\text{C} / 79.84 = 0.62^\circ\text{C} / \text{W}$

$$H = M * S * T$$

$$68.66 \text{ Kcal/mh}^\circ\text{C} = M \text{ kg} * 0.6 \text{ cal/g}^\circ\text{C} * 0.62^\circ\text{C}$$

$$L = M = 184.57 \text{ L/hr}$$

因此冷凍機最低冷凍能力為 $68.66 \text{ Kcal/mh}^\circ\text{C}$ ，冷卻水量為 184.57 L/hr，冷卻溫度可以達到 -40°C ，冷卻循環液體為油(比熱: $0.6 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$)。

乾燥機規格：

入口溫度為 50°C 以下，因此查表 3 選擇一般溫度修正係數、出口露點 5°C、周圍溫度 35°C，得到溫度修正係數為 0.68，而使用空壓機壓力為 1.0Mpa 查表 4 乾燥機壓力補正係數表，可以得到壓力補正係數為 1.2。

因此基準空氣量 $> 10.0 / (0.68 * 1.2) = 12.25 \text{ m}^3/\text{min}$

因此空氣乾燥機之基準空氣量要選擇 12.25 m³/min 以上的機種就可以。

靜電消除器：

因為無法確定靜電正負，因此根據第二章選定方式選定可以使用區域小的範圍，還可以自動調整脈衝 AC 式的規格，且可以自動清潔探針的靜電消除器就可以了。

3-2 NS6000 結構改機流程

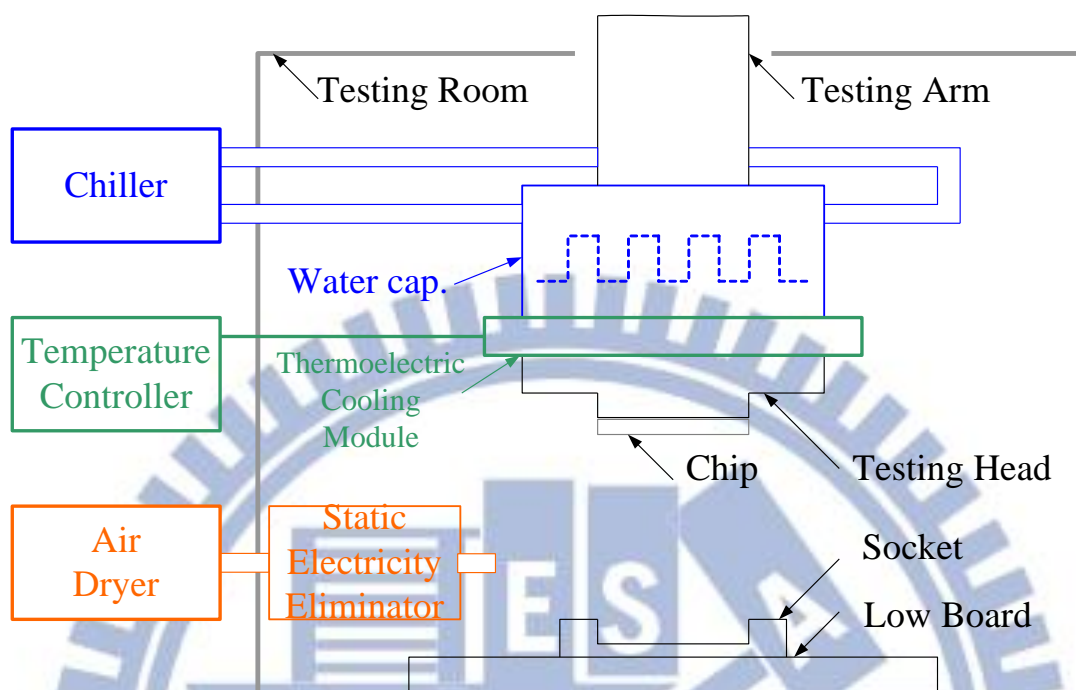


圖 3-1 NS6000 改機示意圖

NS6000 低溫改機需完成以下動作，圖 3-1 為整個改機的示意圖

- (1). 測試區製作壓克力隔絕外部空氣
- (2). 測試頭製作水冷測試頭，連結冰水機
- (3). 測試頭埋設感溫 Sensor，連結溫控器
- (4). 在測試區內裝置 Air Dryer 乾燥空氣
- (5). 在測試區內埋設靜電消除裝置

首先，因測試機的測試環境為開放式空間，因此我們需將測試區域用壓克力隔板做半密閉的隔間。

而用壓克力隔板的目的是，最主要我們要灌入乾燥空氣，使得腔體內的空氣大於一大氣壓，空氣的流動就能由內往外流動，不使外面濕度高的空氣流至測試區內破壞低溫測試的環境，而造成 Socket 內有水分殘留，無法

持續測試，圖 3-2 照片為實際壓克力隔板完成。

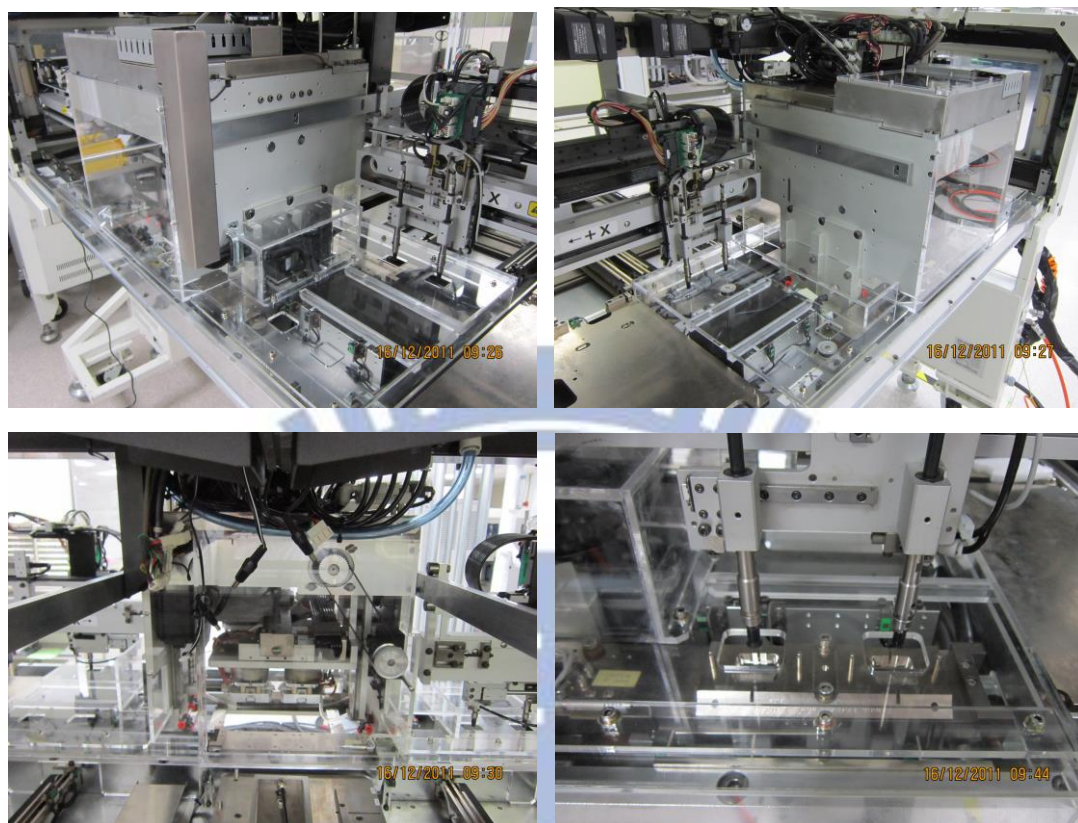


圖 3-2 實際壓克力隔板完成圖

完成壓克力組裝後，接下來要埋設靜電消除器管路、水管及電源線，其安裝方式由機台上方埋設至測試腔內，而靜電消除器則直接裝置於測試腔內，如圖 3-3。

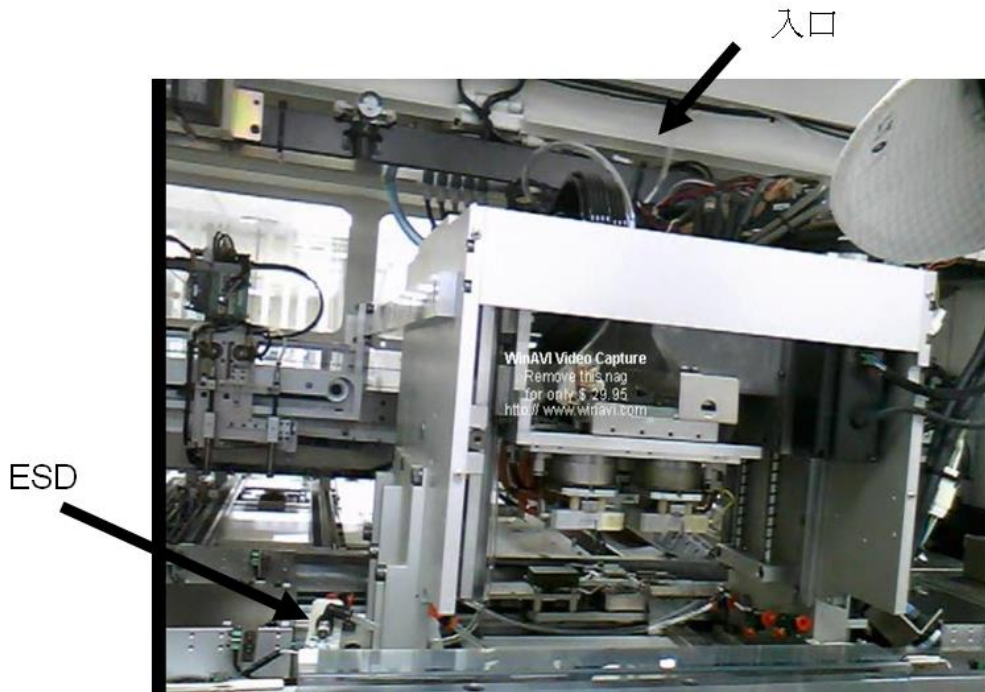


圖 3-3 靜電消除器(ESD)裝置位置

再來將機台上方用電鑽鑽出直徑 8cm 的孔位，聯通所有管路、電源及 Sensor，溫度控制器也直接放在機台上方控制溫度，如圖 3-4。



圖 3-4 機台上方管路孔位圖

再來連結冷凍機及乾燥空氣機管路，如圖 3-5，冷凍機裝設的位置因低溫管路內流動的液體為半稠狀不易流動，低溫管路又必須由機台上方流入測試腔內，因此裝設冷凍機就必須架高平台，如圖 3-6，使得冷凍液體

流速才可提升至 2.2LPM，而冷凍機至機台的所有低溫管路，必須使用海綿包覆保溫，減少因能量損耗。



圖 3-5 冷凍機及乾燥空氣機

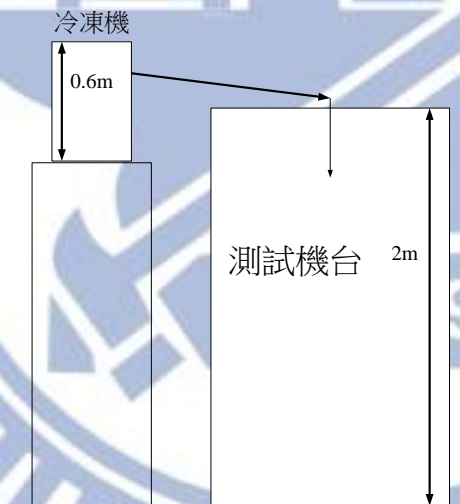


圖 3-6 冷凍機架高示意圖

如此 NS6000 handler 低溫改機就大功告成。

第四章 水氣抑制及靜電消除測試

4-1 水氣抑制測試

當溫度降低到室溫以下時，就會有水氣產生。在測試時如有水氣情形發生時，測試板就會動作異常，輕則會造成不開機等情形發生、重則會造成測試板燒毀及 IC 原來是良品的經由測試完後變成不良品，而低溫測試如要考慮不能有水分的存在，其關鍵點在於露點溫度，由表 5 中可以知道，如果低溫測試要測試 -25°C 時，測試腔內相對濕度就要控制在 2.67%以下的值，就不會有結霜的情形發生，因此我們就需埋設乾燥機管路於測試腔下方，使得整個測試腔均勻分佈乾燥空氣，並使測試腔中維持大於 1 大氣壓的壓力，迫使外面的空氣沒有機會流入測試腔中，造成水氣的凝結，破壞了整個測試的環境。

表 5 露點及相對濕度比較表

露點 °C	飽和水蒸汽氣壓 Pa	混合比(空氣) g/kg	比濕(空氣) g/kg	絕對溼度 (20°C)g/m ³	體積比 PPmv	重量比 PPmw	相對溼度 (20°C)%
0	611.213	3.775	3.761	4.518	6069	3775	26.14
1	657.089	4.06	4.043	4.857	6527	4060	28.1
2	705.949	4.364	4.345	5.218	7016	4364	30.19
3	758.023	4.688	4.666	5.603	7537	4688	32.41
4	813.467	5.034	5.009	6.013	8093	5034	34.79
5	872.469	5.402	5.373	6.449	8685	5402	34.79
6	935.223	5.795	5.761	6.913	9316	5795	39.99
7	1001.93	6.212	6.174	7.406	9987	6212	42.84
8	1072.8	6.656	6.612	7.929	10701	6656	45.87
9	1148.06	7.128	7.078	8.486	11460	7128	49.09
10	1227.94	7.63	7.573	9.076	12267	7630	52.51
11	1312.67	8.164	8.098	9.702	13125	8164	56.13
12	1402.51	8.73	8.655	10.366	14036	8730	59.97
13	1497.72	9.332	9.246	11.07	15003	9332	64.05
14	1598.55	9.97	9.872	11.815	16029	9970	68.36
15	1705.32	10.648	10.535	12.605	17118	10648	72.92
16	1818.29	11.366	11.238	13.44	18273	11366	77.75
17	1937.7	12.127	11.982	14.323	19497	12127	82.86
18	2064.09	12.934	12.769	15.256	20795	12934	88.26
19	2197.57	13.789	13.602	16.243	22169	13789	93.97
20	2338.54	14.695	14.482	17.285	23625	14695	100
-15	165.319	1.016	1.222	1634	201.6	243.5	7.069
-16	150.694	0.9264	1.114	1489	183.7	221.9	6.444
-17	134.263	0.8438	1.015	1357	167.3	202.1	5.87
-18	124.938	0.7679	0.9235	1235	152.3	183.9	5.343
-19	113.634	0.6983	0.8399	1123	138.5	167.3	4.589
-20	103.276	0.6346	0.7633	1020	125.9	152	4.416
-21	93.7904	0.5763	0.6932	926.5	114.3	138	4.011
-22	85.1104	0.5229	0.6291	840.7	103.7	125.2	3.639
-23	77.1735	0.4741	0.5704	762.2	94.02	113.6	3.3
-24	69.9217	0.4295	0.5168	690.6	85.18	102.9	2.99
-25	63.3008	0.3888	0.4679	625.1	77.11	93.13	2.67
-26	57.2607	0.3517	0.4232	565.4	69.75	84.24	2.449
-27	51.7546	0.3179	0.3825	511	63.04	76.14	2.213
-28	46.7393	0.287	0.3455	461.5	56.93	68.76	1.999
-29	42.1748	0.259	0.3117	416.4	51.36	62.04	1.803
-30	38.0238	0.2335	0.281	375.4	46.31	55.93	1.625

4-2 靜電消除測試

光電及半導體產業中，良率是每個測試廠所關切的問題，靜電的累積與放電對電子元件品質特性或產品良率有嚴重影響，但除了產品本身及製程之設計外，另外一個重要之關鍵，即是靜電效應，此項常是造成良率下降之兇手，一般在製程或量測設備上，多會安裝靜電消除器(ionizer)，本結

構就是在乾燥空氣機出口端加裝靜電消除器的方式來使得靜電得以消除。

因為在測試腔中需加入大量乾燥空氣才能使得測試時不會有水氣的產生，而加入乾燥空氣伴隨著濕度需要更低，空間中一旦溼度很低，測試摩擦就會產生大量的靜電，如表 6 例如人在地毯中走動時，相對溼度 65%時產生 1500V 的靜電，但是相對濕度在 10%的環境時，則靜電就攀高成 35,000V，空氣中靜電高在測試時就會將 CPU 電灼而破壞，如表 7，因此 CPU 對靜電的敏感度需控制在 100V 以下的靜電量，以下就是我們針對本機構靜電消除作的實驗結果。

表 6 靜電與溼度的關係表

人體動作	靜電電壓(V)	
	10~20% 相對溼度下	65~90% 相對溼度下
在地毯上走動	35,000	1,500
在塑膠地板走動	12,000	250
提起塑膠袋子	20,000	1,200
從塑膠椅子站起	18,000	1,500

表 7 靜電對各元件類型最大承受電壓

元件類型	靜電敏感度(伏特)
VMOS	30 - 1,200
Mosfet , GaAsfet , EPROM	100 - 300
JFET	150 - 7,000
OP-AMP	190 - 2,500
Schottky Diodes	300 - 2,500
Film Resistors	300 - 3,000
Schottky TTL	1,000 - 2,500

參考文獻:[http://www.webjiin.com/rom/04_esd-c.htm]

第五章 實驗結果

5-1 低溫實驗架構

本論文實驗架構分為四大部分，如圖 5-1，以下是實驗項目

1. 致冷晶片與冷凍機溫度變化之實驗。
2. SLT(System Level Test)，使用實際主機板，再利用測試程式去實際執行 Windows XP 作業系統及商業軟體(Office、3D Marks、3D 遊戲等等..)，使 CPU 於不同 Load 狀態下，溫度還是能夠精準控制在正負 3°C 的誤差值內。
3. 靜電消除實驗，在低溫下靜電消除前後之實驗結果
4. FT(Finish Test) 使用 HP83000 Tester 量測 CPU 於低溫狀態下功能失效之數據模擬實驗於附錄。



圖 5-1 低溫測試實驗結構圖

5-2 低溫實驗測試流程

低溫測試執行流程，如圖 5-2，我們將先設計一台測試腔(chamber)，再委託儀器製作的機械加工廠製作主體，安裝於 EPSON6000 Handler 裡面，接著再經由第二章的分析，規劃出選用致冷器和冷凍機的法則，選出一款適合低溫測試致冷器和冷凍機，安裝於測試腔內，並且結合電腦主機板位於致冷器之下。接著將溫控系統接於測試腔外，設定與控制低溫溫度，完成後溫度控制在 $-25^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ 時，實際執行主機板的測試程式(該程式可以由公開網站取得)。執行測試過程中，要將主機板上 CPU 的溫度值讀出並且儲存，測試完後作溫度的統計與分析，完成 SLT(System Level Test)模擬測試實驗，並證明此論文所提出的做法確實能有效控制溫度，優於業界。

接下來 FT(Finish Test)低溫實驗，利用 HP Tester 套裝 Shmoo 軟體，分析針對 Speed 與 cache 的程式，去顯示 CPU 在不同溫度及電壓與頻率的變化。

接下來證明冷卻系統的冷卻能力，測試致冷晶片與冷凍機間的致冷能力，我們使用 -30°C 的冷凍機去快速將致冷晶片的產生的熱量帶走，完成致冷晶片與冷凍機間的實驗。

最後實驗為消除低溫測試時產生大量的靜電，不能將客戶的產品因毀損，因此做了靜電消除的實驗，證明低溫測試的環境是可靠的。

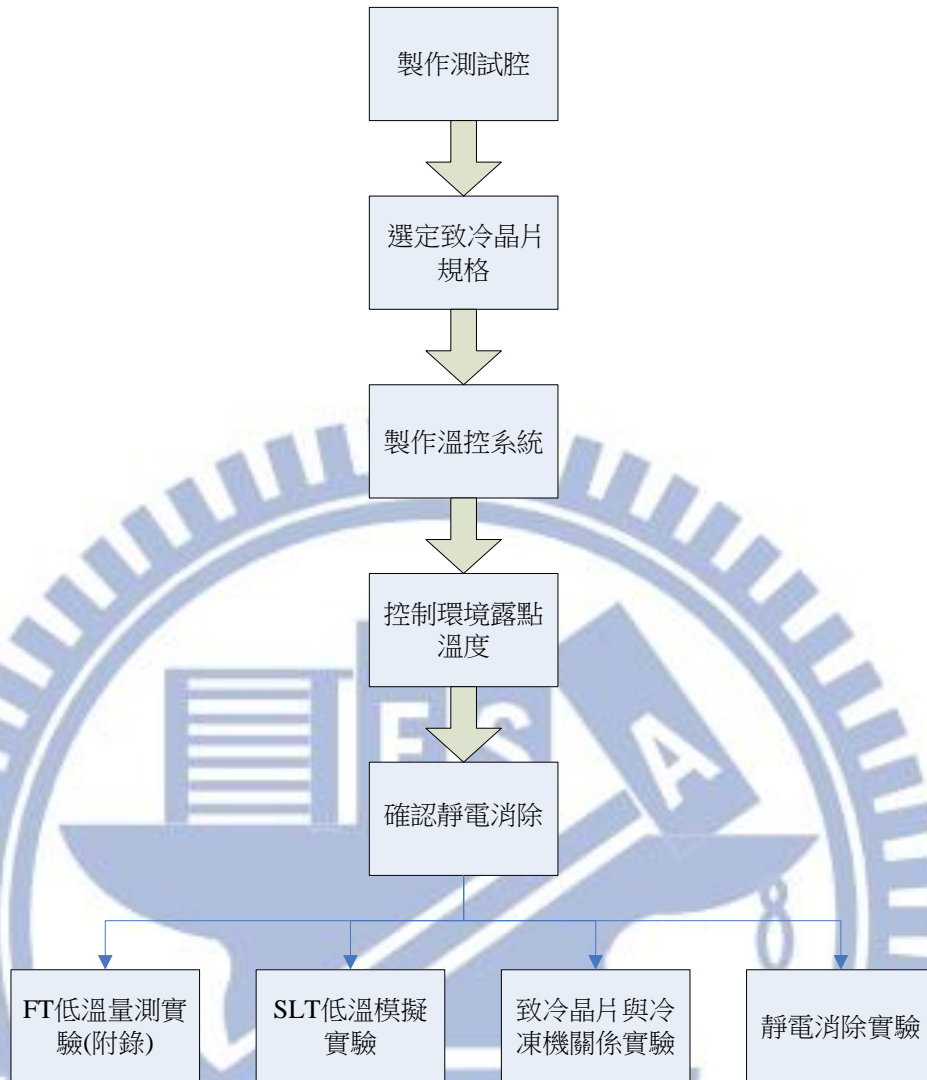


圖 5-2 低溫測試流程圖

5-3 NS6000 Handler 改機後實驗數據

- 冷凍機溫度與製冷晶片溫度關係

冷凍機流速 2.2 公升/每分鐘(LPM)條件下

如果冷凍機溫度調至 0°C 時，則致冷晶片溫度可下降至-35°C

冷凍機溫度調至-10°C 時，則致冷晶片溫度可下降至-41.25°C

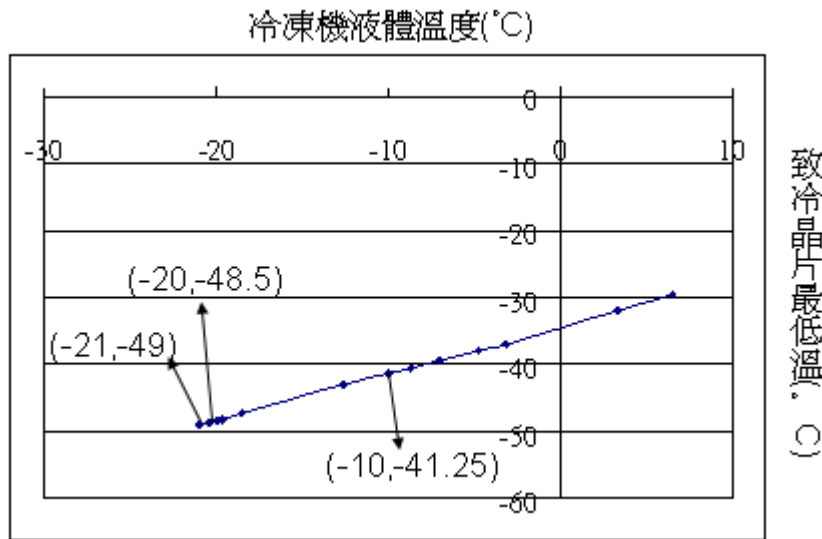
冷凍機溫度調至-20°C 時，則致冷晶片溫度可下降至-48.5°C

冷凍機溫度調至-21°C 時，則致冷晶片溫度可下降至-49°C

因溫控器溫度設定只能調至小於-50°C，因此如表 8 所示，若斜率不變時，

冷凍機溫度調至 -30°C 時，則致冷晶片溫度可下降至 -55.75°C

表 8 冷凍機溫度與製冷晶片溫度關係



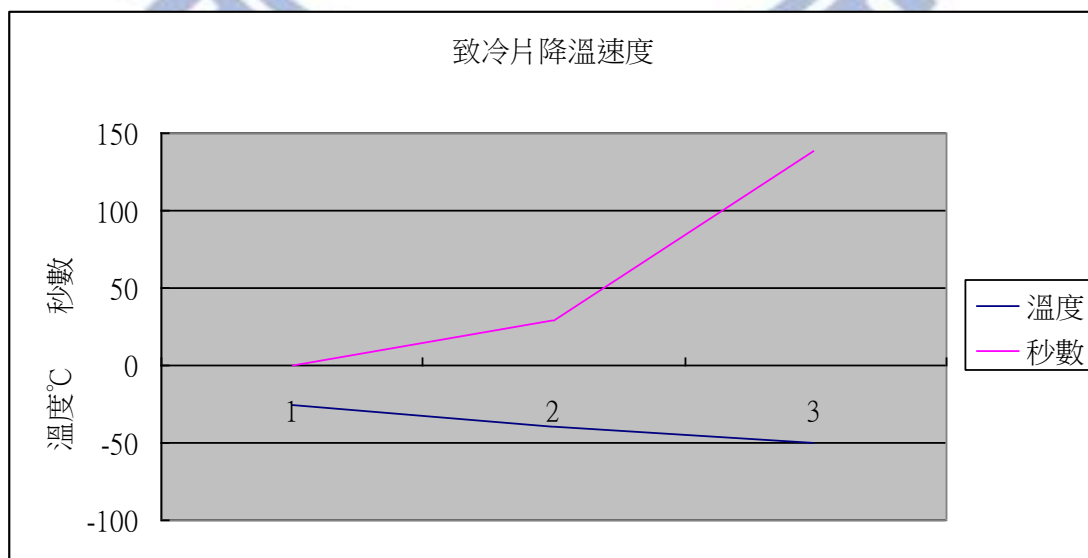
● 製冷晶片降溫速度

冷凍機溫度設在 -25.2°C ，流速 2.2 公升/每分鐘(LPM)條件下

致冷晶片從 -25.2°C 降到 -40°C :需要 29 秒

致冷晶片從 -40°C 降到 -50°C :需要 138 秒，如表 9

表 9 致冷片降溫速度試驗表



- 致冷力試驗

冷凍機溫度設在 -20°C ，溫度控制器溫度設定 -40°C ，則致冷晶片降到 -40°C ，致冷晶片冷端接觸室溫(20°C)水杯:致冷晶片可維持 -40°C 不變。

不過我們再做制冷晶片的極限驗證，冷凍機溫度設定 -20°C ，溫度控制器溫度設定 -49°C ，則致冷晶片只能下降至 -48.5°C 就到最大極限，這時將冷端接觸室溫(20°C)水杯，致冷晶片 1 分鐘後回升至 -47.5°C ，之後拿開水杯，15 秒後制冷晶片溫度又回到 -48.5°C 。

熱量=接觸面積 x 傳熱係數 x 溫度差

$0.0004\text{ m}^2 \times 3000\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C} \times 68.5\text{ }^{\circ}\text{C} = 82.2\text{W}$ (大於 CPU 最大功率 15W)

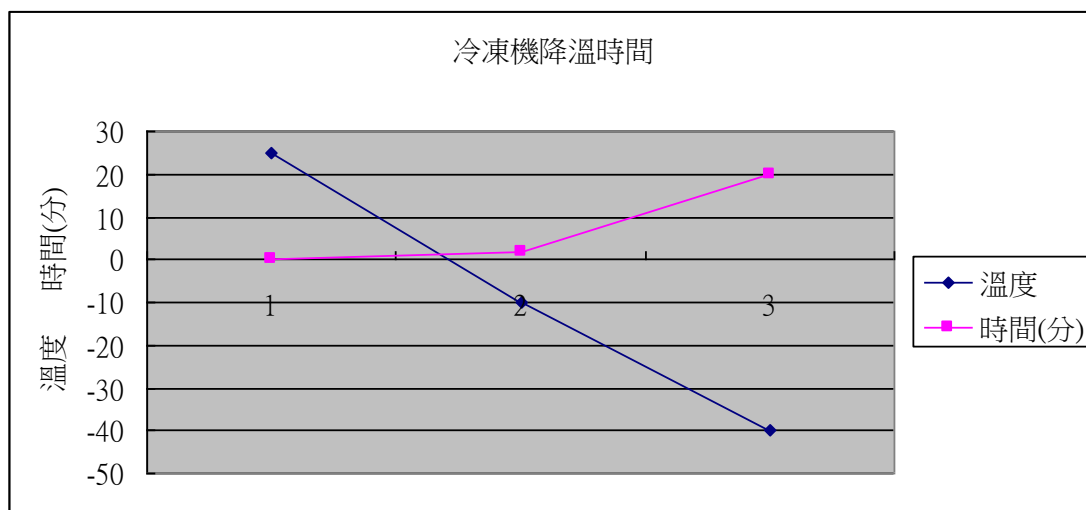
致冷晶片到最低極限溫度時，接觸到測試中的晶片，最多回溫 1°C 。若距離最低極限溫度 1°C 以上，接觸晶片可帶走熱量並維持原溫度。

- 冷凍機流量試驗

冷凍機溫度設定 -21°C ，致冷晶片降到 -49°C :流量為 2.2LPM，如果將冷凍液體流量減至 2LPM，則致冷晶片回溫至 -48°C ，若冷凍機設定 -25.2°C 之最低設定溫度，流量調整到 0.44LPM 之最低流量，則致冷晶片溫度只能到達 -38°C

- 冷凍機從常溫 25°C 降低至設定的 -10°C ，時間需要 2 分鐘的時間，溫度如果設定 -40°C ，則時間將長達 20 分鐘的時間，如表 10。

表 10 冷凍機降溫時間表



乾燥空氣機規格為出口露點溫度 -55°C ，不過我們在測試腔中，實際量測的露點溫度為只能到達 -35°C ，由露點及相對濕度表中查得露點溫度 -35°C 的相對溼度(20°C)只有 1.2%。

所以我們在測試 -25°C 的產品時，測試腔裡面的露點溫度為 -35°C 的相對濕度(20°C)的 1.2%是低於要求的 2.67%，因此測試中不會有水氣的產生，如圖 5-3。

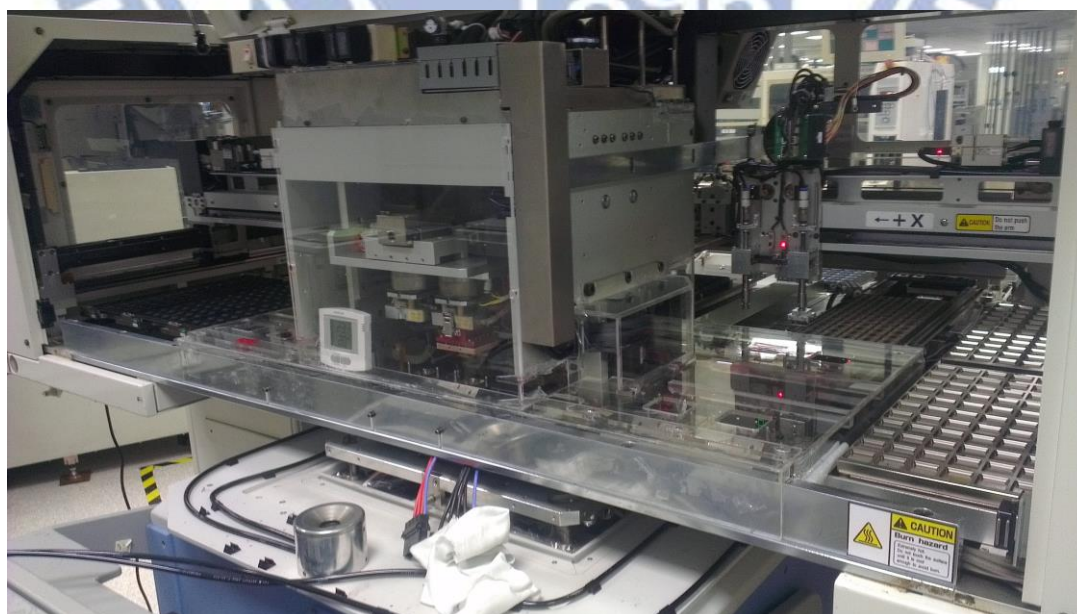


圖 5-3 測試 -25°C 產品無水氣

5-4 SLT 實際主機板低溫測試數據

測試的有效性就是要在實際的主機板去測試 CPU 在低溫下溫度與負載或頻率等相關的變化，以證明本文在溫度控制使用致冷晶片下得到 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 誤差值的能力，優於一般使用氮氣的低溫測試的誤差值。

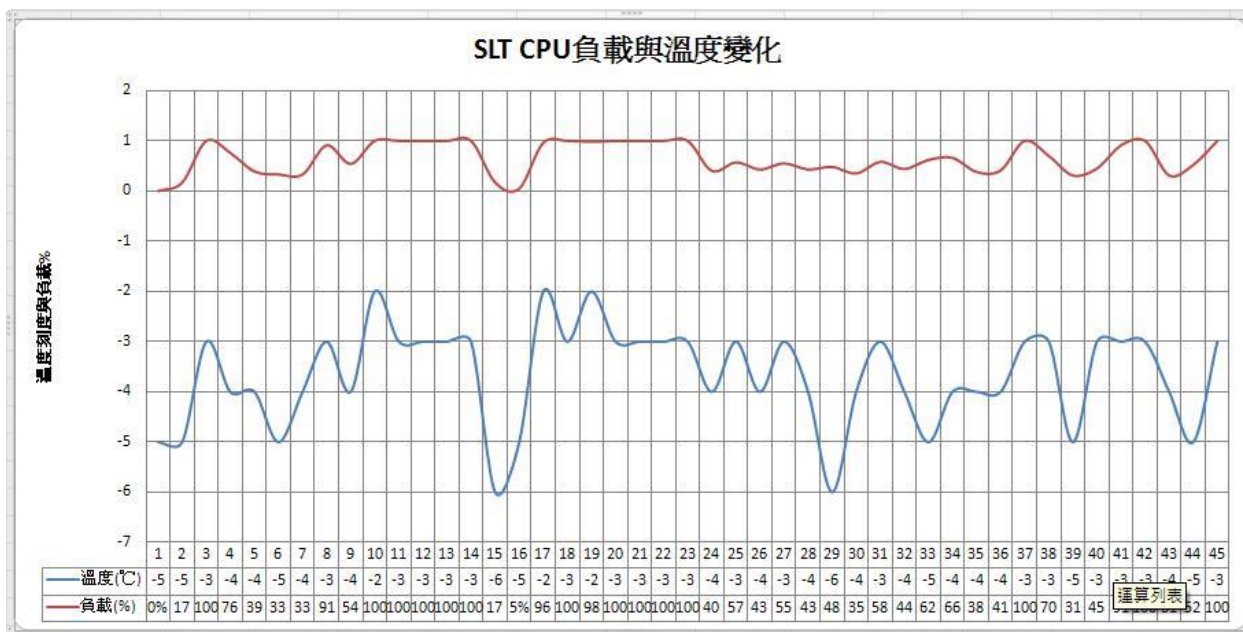


圖 5-4 SLT CPU 負載與溫度變化圖

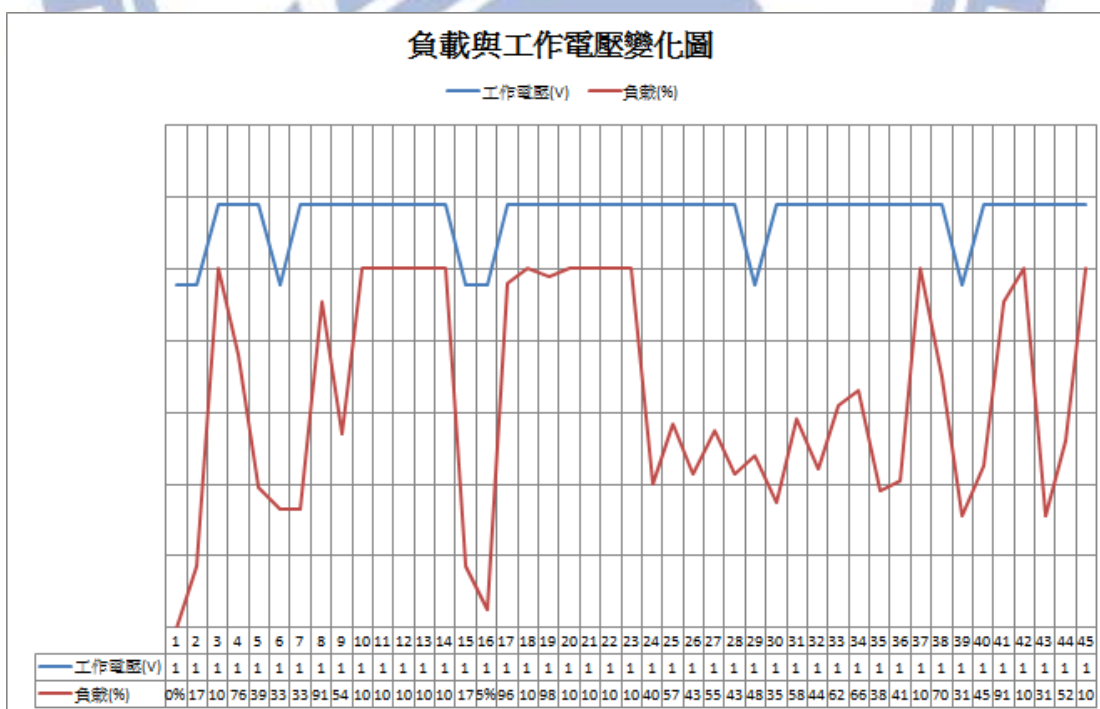


圖 5-5 SLT CPU 負載與工作電壓變化圖

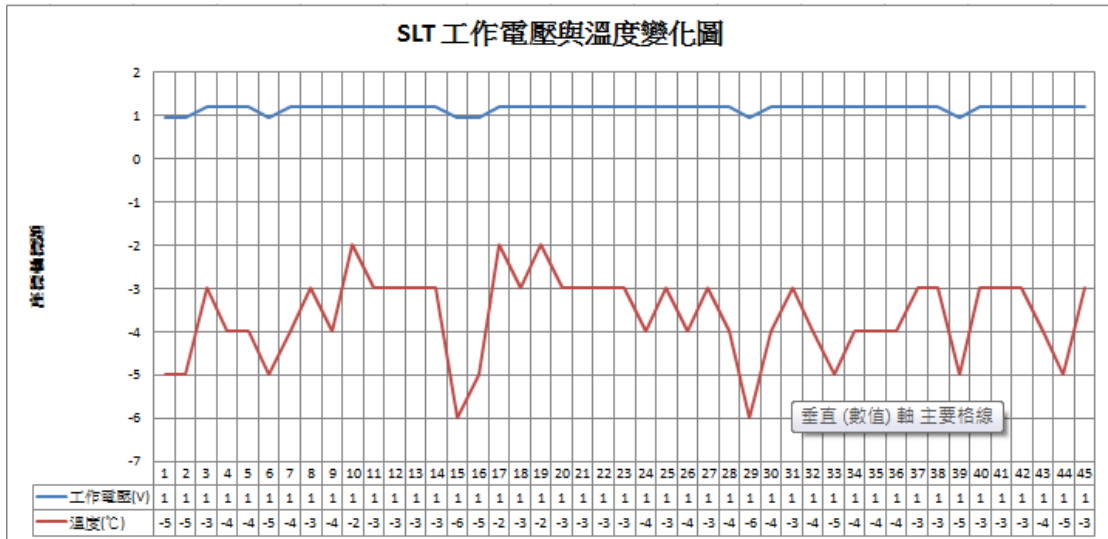


圖 5-6 SLT CPU 工作電壓與溫度變化圖

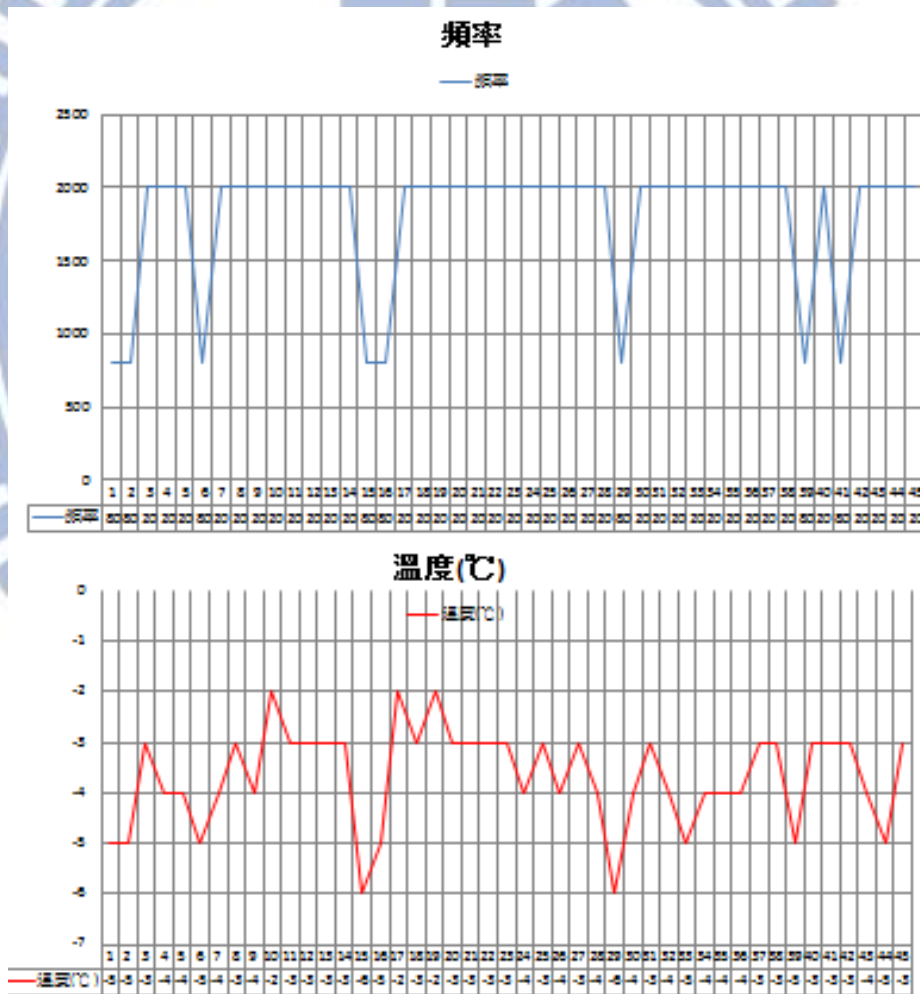


圖 5-7 SLT CPU 頻率與溫度變化圖

5-5 靜電消除改善之實驗

靜電消除器效能之優劣不只影響到產品品質，也不利實驗研發能力的提升，但如何確保靜電消除器之功能正常且有效，的確是重要的關鍵。如何做到靜電消除的量測，不外乎在測試板上量測其由 $\pm 1000V$ 衰減到 $\pm 100V$ 之時間(static decay time)或者其穩定後的靜電壓大小。當然這些檢測對靜電消除器的功能確認為簡單而有效的。在此我們應用統計方法實際量測壓克力基板以及 Socket 周圍，量測前後之靜電壓大小比對，並藉由資料轉換的方式使其符合常態分配，以避免獲致誤差過大的結果，公式如下：

$$y_i = \frac{|ESD_f| - |ESD_l|}{|ESD_f|} \times 100 \quad (10)$$

y_i ：玻璃基板上帶電量去除程度(%)

$i=1$ 為電消除器未開啟之狀況

$i=2$ 為靜電消除器開啟之狀況

ESD_f ：在 socket 上不同點量測前之帶電量

ESD_l ：在 socket 上不同點量測後之帶電量

因此根據式(10)可知當 $y_i > 0$ 時，代表靜電消除器有其效果存在，且值越大代表其效果越好；反之，若其為負值表示基板上帶電量有增加的趨勢，而因為靜電帶有正負，因此取絕對值表示其帶電量之大小。

接著根據不同的實驗條件以 95%信賴區間檢定其顯著性，步驟如下：

$$\begin{aligned} H_0 : \bar{y}_1 &= \bar{y}_2 \\ H_A : \bar{y}_1 &\neq \bar{y}_2 \end{aligned} \quad (11)$$

式(11)應用 Socket 周圍五個點當作樣本，將資料轉換使其呈常態分配，並假設其樣本變異相等進行統計檢定，定義如下：

假設 socket 周圍變異為相同的條件之下，以 p-value 檢定有開啟與無

開啟（靜電消除器）之狀態下，其帶電量減少程度之差異。如果其值大於 0.05 即代表靜電消除器對於 socket 周圍上的電荷消除效果不佳，屬於 H_0 ，若其值小於 0.05，表示靜電消除器產生了很好之靜電去除效果，屬於 H_A 。因此我們可藉由這兩個步驟進行靜電消除器裝設位置與工作距離之效果確認，其結果如下表 11 所示。

表 11 靜電量測 p-value 值

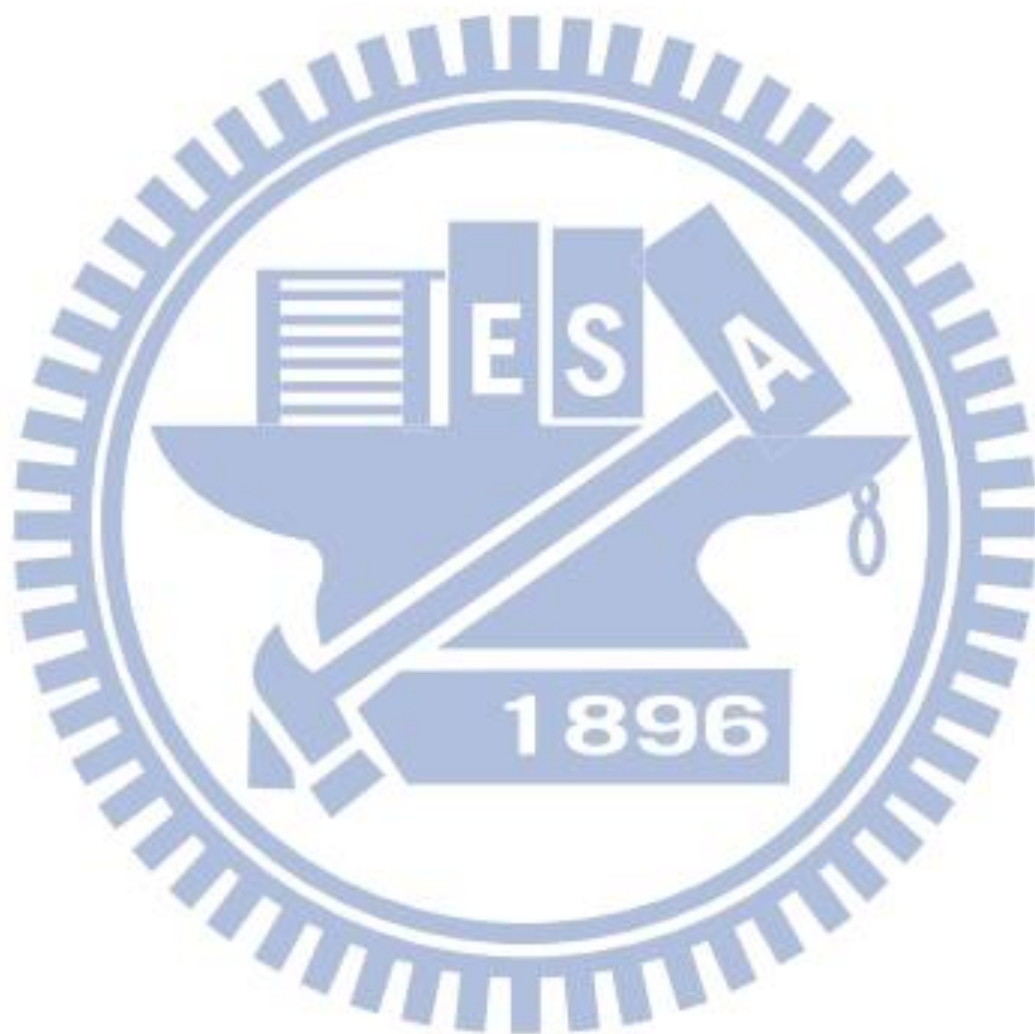
量測地點	p-value
Socket 中心點	0.035
Socket 上方 30cm	0.152
壓克力表面	0.042
Input shuttle	0.052

由上表可發現當有量測處 p-value > 0.05 的現象，代表其去靜電效果不顯著，其原因可能為靜電消除器位置不當需改變。因此我們將靜電消除器以管路的方式埋設以改善去靜電的效能。

表 12 靜電消除器改善後各點靜電壓

	Ionizer on	Ionizer off
量測地點	靜電壓(v)	靜電壓(v)
Socket 中心點	25	125
Socket 上方 30cm 處	57	258
壓克力表面	38	156
Input shuttle	46	201

由表 12 之結果可知改裝後之 ionizer 確有良好去除靜電之效果。未改裝前依 ionizer on 及 off 所蒐集到之數據，計算得 p-value 為都不是很好，改裝後數據計算得 p-value 為 0，顯示靜電去除效果十分良好。



第六章 結論與展望

本論文是解決目前測試低溫各家測試廠所遭遇到的問題，也因為此台灣的測試廠目前都沒辦法接外國廠商有關低溫測試的訂單，台灣是代工的大國，每年測試的量都超過全球 50% 的量以上，如果台灣測試廠都有這項的低溫技術，那整個測試領域就能完整，不過這只是個開端，還有更多的技術需要更精進，需要更多的人可以參與研發與研究，好讓台灣更成為達到世界代工的強國。



附錄：

FT HP83000 Tester 使用 Shmoo 軟體分析低溫測試數據

Handler 低溫改機後，我們實際將 Handler 與測試機作連結，實際測試 CPU 作各溫度階看看低溫時 CPU 的表現是如何，我們利用目前測試廠最常使用的測試機(Tester)來量測數值而圖 5-8 為測試機(HP83000)的規格



HP83000 test Information

Tester Specifications

- 383 pin 120/330Mhz Digital
- Multi Site Capability
- Direct dock for Wafer Probe
- 8 power supplies and PMU per pin
- +/-150ps accuracy
- 8 Meg Pattern Depth
- Algorithmic Pattern Generator
- Mixed Signal Capabilities

Targeted Technology

- High pin count and high speed requirements
- Digital, Memories, Processors & Microcontrollers
- Mixed Signal VLSI, ASIC and FPGAs

圖 5-8 HP83000 規格圖

我們針對 Speed 與 cache 的程式用 Shmoo 軟體，去顯示 CPU 在各溫度階的情形，首先在 Speed 85°C 電壓與頻率的關係，由圖 5-9 可以看出 CPU 在 0.65V 時，16 MHz 時動作是正常，這裡的 16 MHz 是測試機量測到速度，實際速度需乘上 32 倍的倍頻器的速度，因此解讀為 0.65V 時，速度 512Mhz(16*32)到 656Mhz(20.5*32)都是 PASS，如果速度要快，工作電壓需往上增加，例如工作電壓為 0.85V 則速度可提昇為 1536 MHz(48*32)。

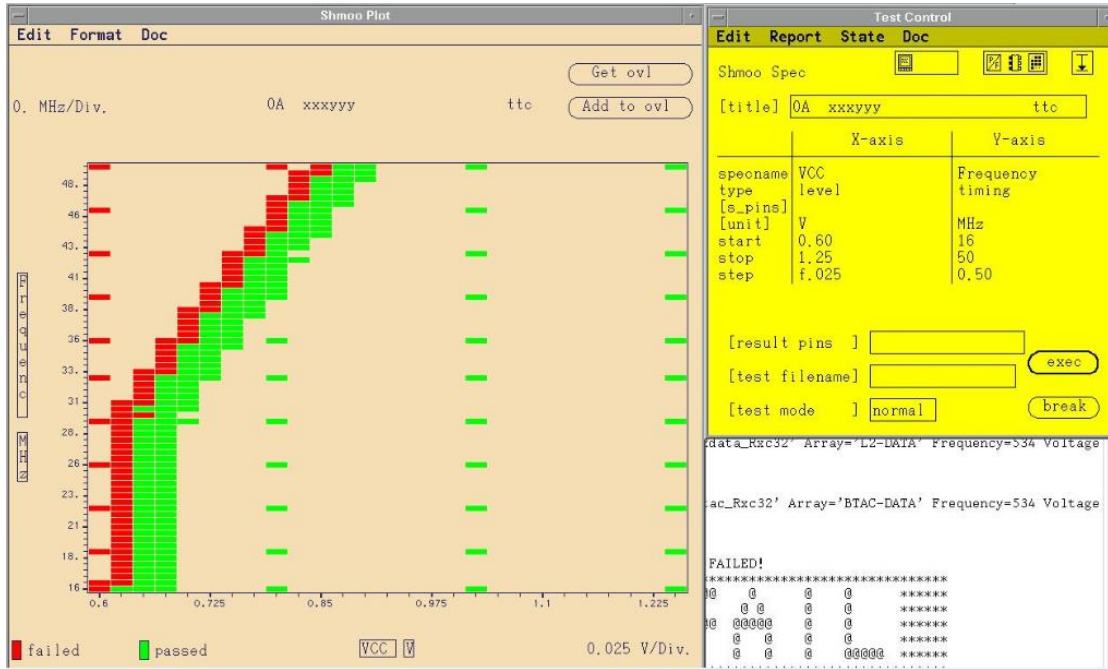


圖 5-9 Speed 85°C V-Frequency 關係圖

由圖 5-10 可以看出，將溫度改變為 5°C 時，工作電壓則需要增加至 0.675V 以上，CPU 才能正常動作，不過 1536Mhz 的速度，只要 0.825V 就可以達到。

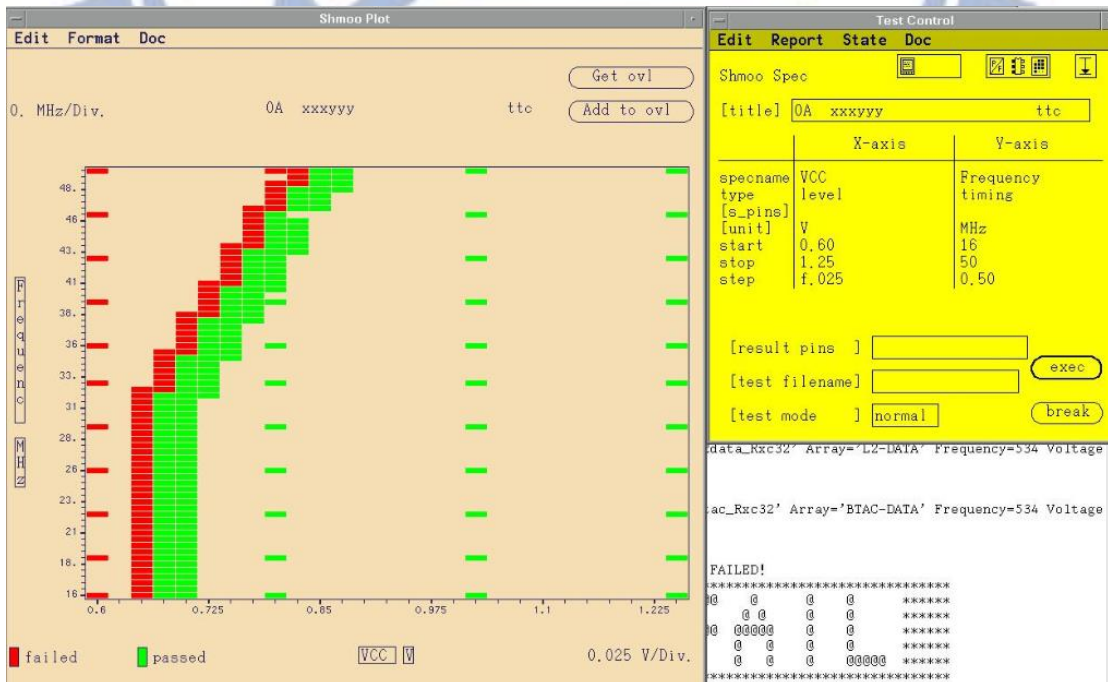


圖 5-10 Speed 5°C V-Frequency 關係圖

由圖 5-11 可以看出，溫度繼續調低至 -10°C ，由圖表可以看出它與 5°C 呈現一樣的圖形，這表示 CPU 在 5°C 與 -10°C 功能上都能完全做動。

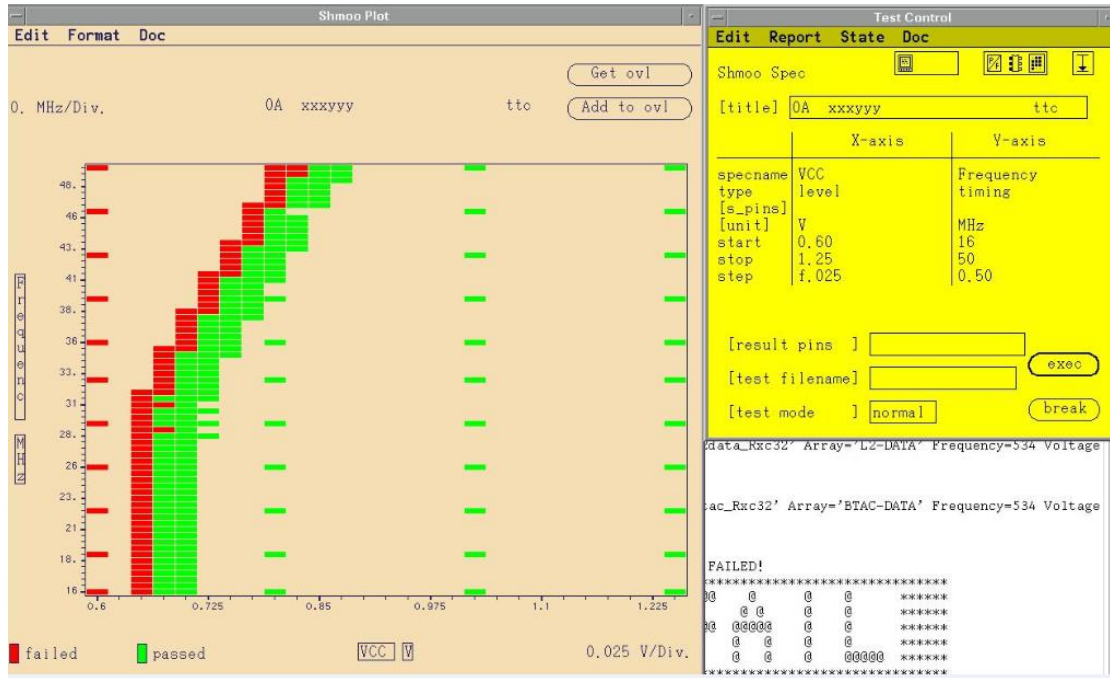


圖 5-11 Speed -10°C V-Frequency 關係圖

當溫度降至 -25°C 時，由圖 5-12 我們就發現 PASS 區域裡有非常多的空洞，而一個完整的測試程式是由非常多的 Pattern 所組成的，空洞的解讀為有少數 Pattern 無法正常動作，導致下面圖形不完整的情形發生。

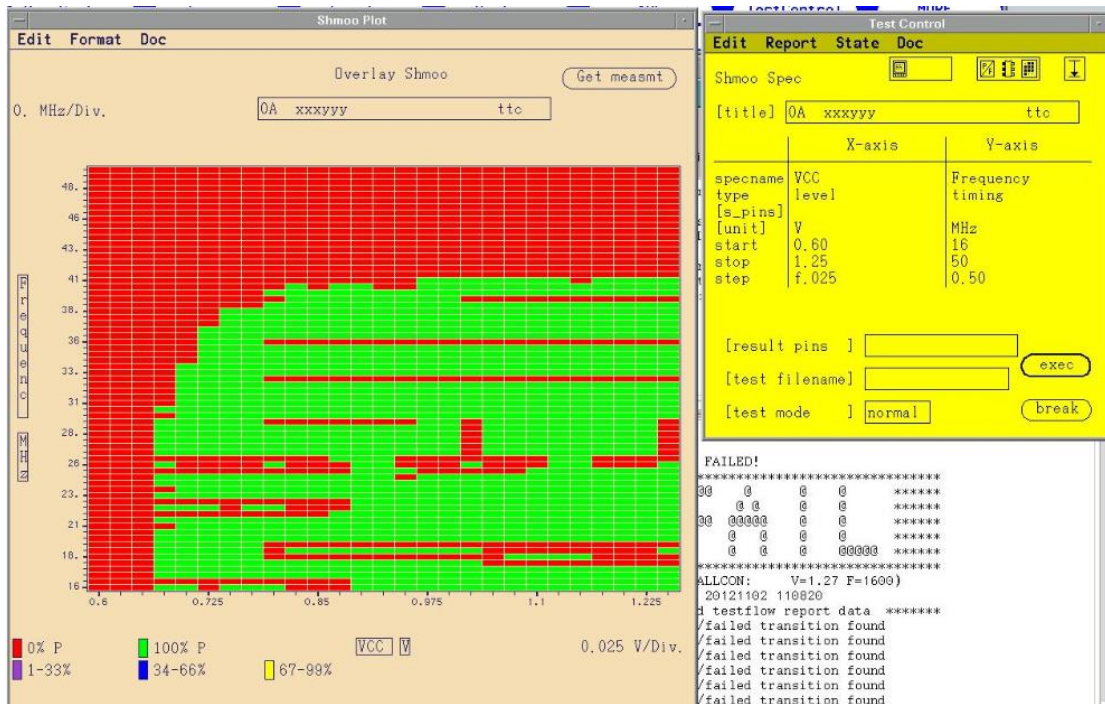


圖 5-12 Speed -25°C V-Frequency 關係圖

圖 5-13 則是 5°C 與 -25°C 的差異圖形，藍色區域則是 Fail 的 Pattern 段，這也是低溫測試時才有的異常，因此 IC 需不需要低溫測試則就需要討論的地方，如何在 Wafer 製程中改善這些問題，RD 人員就需要花時間探討材料及製程中找出 root cause。

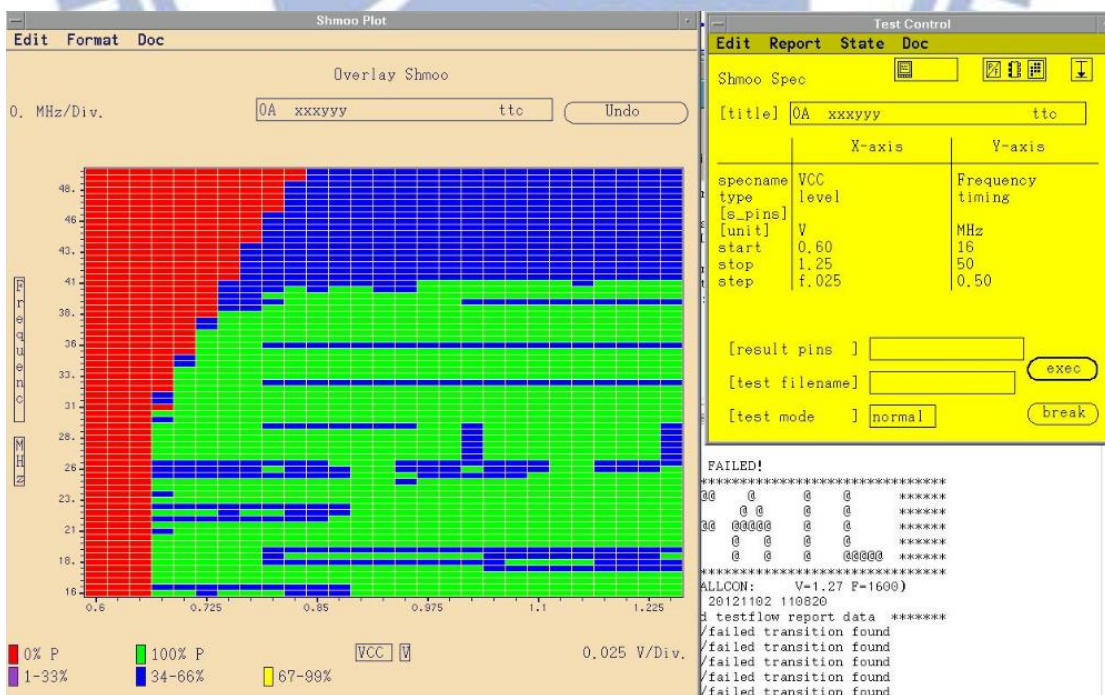


圖 5-13 Speed 5°C 與 -25°C V-Frequency 比較關係圖

圖 5-14 是針對 Cache 的 Pattern，在不同溫度下之變化，由圖表可以看出，工作電壓 0.65V 可以啟動 CPU 動作，不過它能工作的頻率只能在 640MHz~960MHz(20*32~30*32)。如果我們把工作電壓調高至 1.225V 頻率則可以上升至 2240MHz(70*32)。

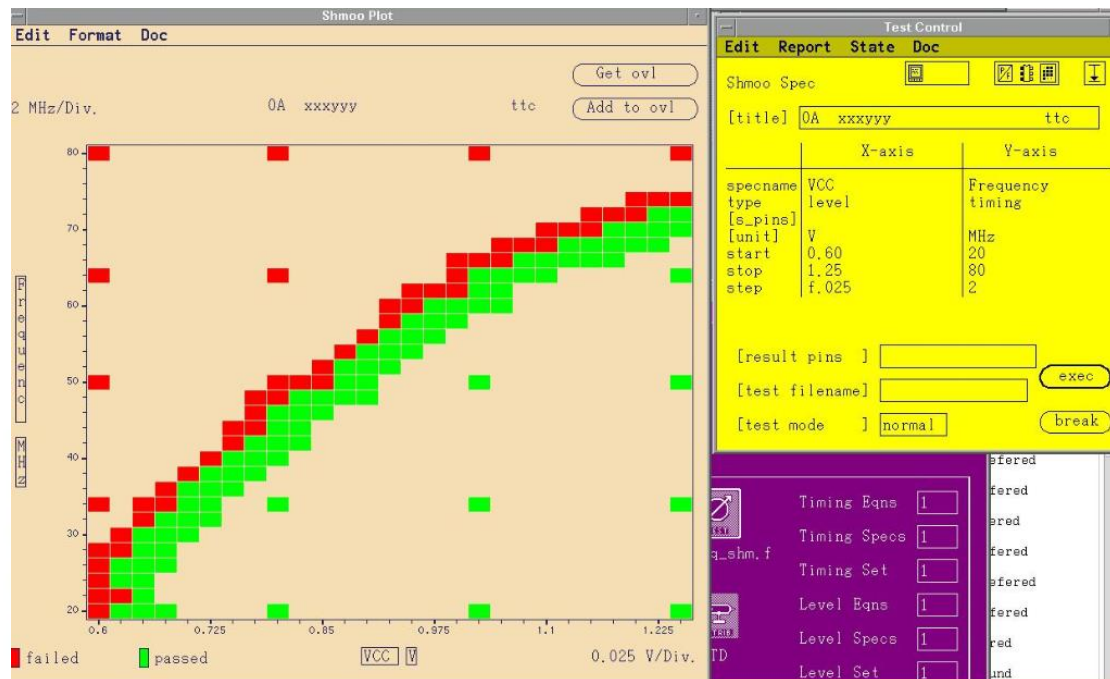


圖 5-14 Cache 85°C V-Frequency 關係圖

由圖 5-15 可以看出，當溫度調至 25°C 常溫時，工作電壓則 Shift 一個 Div 至 0.625V。

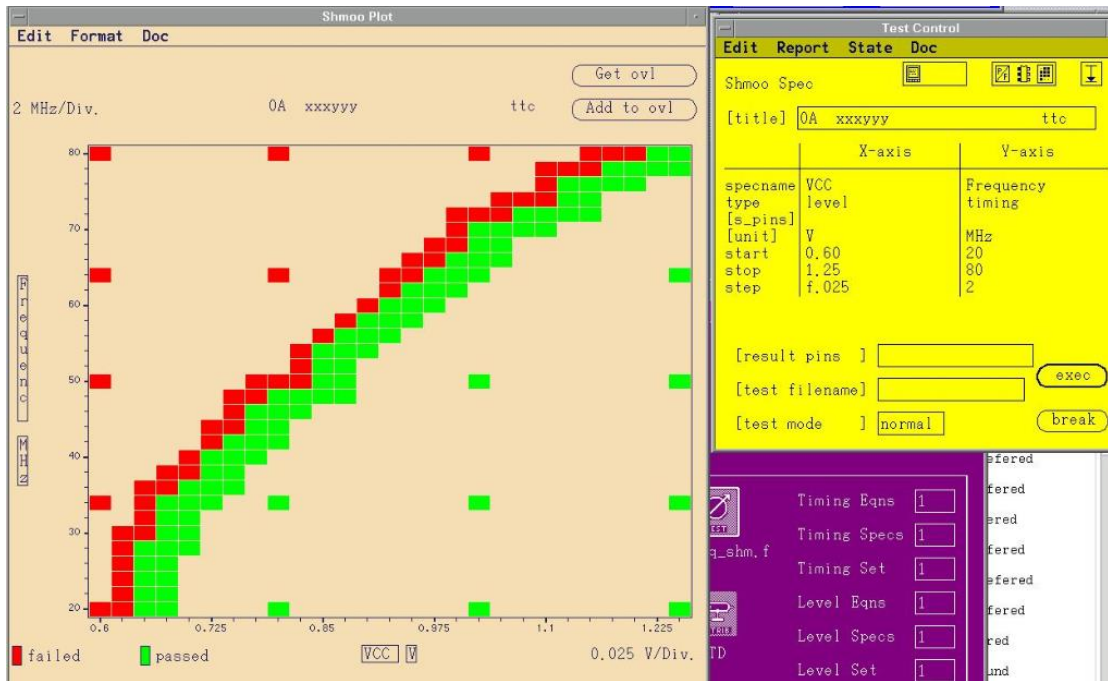


圖 5-15 Cache 25°C V-Frequency 關係圖

當溫度調至-10°C時，則工作電壓則需再增加 0.025V 至 0.65V，不過工作電壓只要 1V 就可以達到 2240MHz(70*32)的速度，由圖 5-16 的圖形顯示裡可以發現，溫度低有比較好的工作曲線，但是需要比較高的啟動電壓。

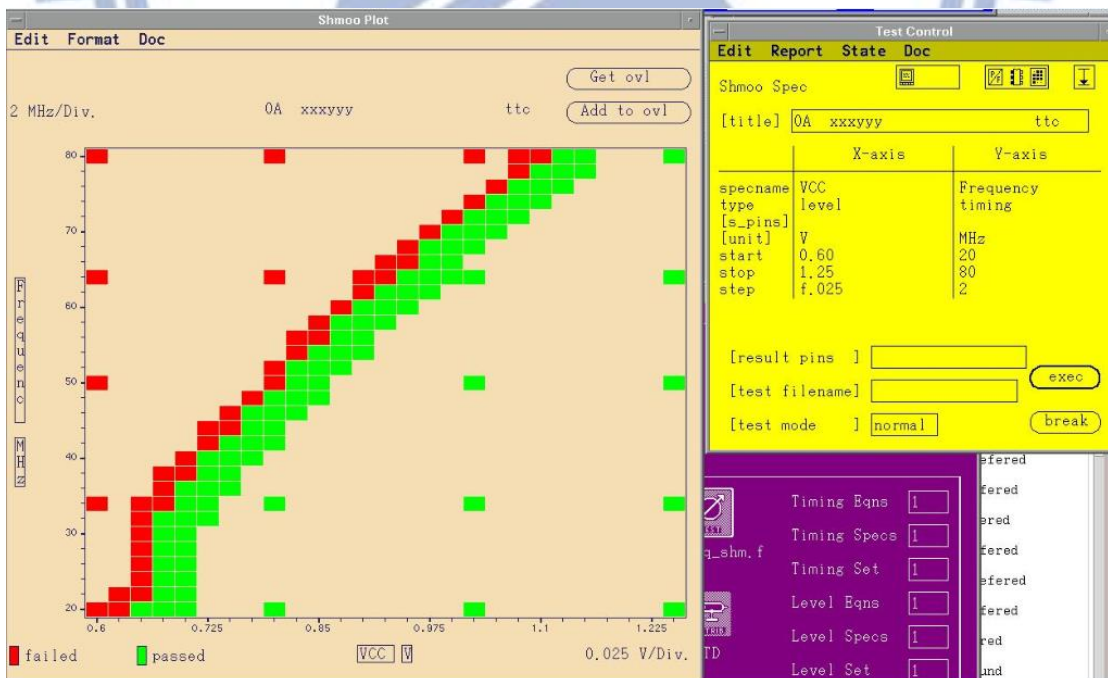


圖 5-16 Cache -10°C V-Frequency 關係圖

當溫度調至-25°C時，由圖 5-17 中可以看出，CPU 的 Cache pattern 完全無法工作，所以 CPU 如果要被使用到車用電腦時，這顆 CPU 就無法在低溫時被使用了，因此低溫測試是絕對需要被重視需要的。



圖 5-17 Cache -25°C V-Frequency 關係圖

參考文獻

- [1] 陳玲君. (2011, May). 全球封裝測試產業市佔表[Online]. Available:
<http://www2.itis.org.tw/>
- [2] Gartner. (2010, Nov).全球車用半導體產值[Online].Available:
<http://www2.itis.org.tw/>
- [3] 鄭茂卷，覆晶構裝在負載應力測試下晶片應力分佈之研究，國立中山大學機械與機電工程學系碩士論文，2007.
- [4] B. C. Sales, “Thermoelectric materials smaller is cooler”, *Science*, vol. 295, no.5558, pp.1248-1249, 2002.
- [5] C. B. Vining, “Semiconductors are cool”, *Nature*, vol. 413, no.23, pp.577-579, 2001.
- [6] G. Chan, “Transactions on components and packaging technologies”, *IEEE Trans. Compon. Packag. Technol.* vol. 29, no. 2, pp. 238-246, 2006
- [7] D. M. Rowe, “CRC handbook of thermo electrics”, CRC press, USA, 1995
- [8] RMT Ltd. (2011). Thermoelectric cooling.[Online].Available:
<http://www.rmtltd.ru>
- [9] “Thermoelectric Cooling Systems Design Guide Rev 2”, Marlow Industries, Inc., no. 017-7939, pp.1-22, 1998
- [10] Y. M. Yang , et al., “Thermoelastic stress analysis of multilayered films in a micro-thermoelectric cooling device”, *ACTA MECH SINICA*, vol. 28, no 6, pp1644-1650, Dec. 2012.