

臺北市立大安高級工業職業學校

電子科

專題報告

電子致冷冰箱

Electronic Refrigeration Refrigerator

學生 組長：汪志宇

組員：李永澤

組員：施鈞譯

指導老師：王村益 老師

中華民國 109 年 1 月

中文摘要

目前市面上的冰箱大多採用壓縮機及冷媒，冷媒對大自然有造成危害的疑慮，而且市面上的冰箱因為使用壓縮機的緣故通常對於電量上有大量的需求，因此本專題決定使用半導體製冷晶片來製作冰箱，再加上 Arduino 程式新增溫度感測及顯示的功能，完成本專題。

本專題致力於開發一款使用半導體致冷晶片製作的冰箱，目標是在室溫 30 度下，也能保持 2~8 度的低溫來冷卻料，專題概念及應用包含了熱電效應、主動式製冷、箱體機構、水冷及風冷散熱系統、功率轉換器、軟硬體結合溫度感測器等，能減少對環境的危害，也能減少電量的使用，是一項非常實用的作品。

關鍵字:冰箱、半導體製冷、熱電效應、感測器、水冷

英文摘要(Abstract)

At present, most refrigerators on the market use compressors and refrigerants. Refrigerants are suspected of causing harm to nature, and most refrigerators on the market usually have a large demand for electricity because of the compressors, this topic decided to use semiconductor refrigeration chips. Let's make a refrigerator, and add the temperature sensing and display function of Arduino program to complete this project.

This project is devoted to the development of a refrigerator made of semiconductor cryogenic chips. The goal is to cool the material at a room temperature of 30 ° C and maintain a low temperature of 2 ~ 8 ° C. The thematic concepts and applications include thermoelectric effects and active cooling. The cabinet mechanism, water-cooled and air-cooled heat dissipation system, power converter, combined with hardware and software temperature sensors can reduce the harm to the environment and reduce the use of electricity. It is a very practical product.

Keywords: refrigerator, semiconductor cooling, thermoelectric effect, sensor, water cooling.

目錄

中文摘要.....	I
英文摘要(ABSTRACT).....	II
目錄.....	III
圖目錄.....	V
表目錄.....	VI
第一章 前言	1
1-1 專題製作背景及目的.....	1
1-2 預期成果.....	1
第二章 理論探討	2
2-1 元件與硬體.....	2
2-2 熱電效應.....	2
2-2-1 賽貝克效應.....	2
2-2-2 帕爾帖效應.....	4
2-2-3 湯姆森效應.....	4
2-3 各種散熱系統.....	5
2-3-1 風冷.....	5
2-3-2 熱導管.....	5
2-3-3 液冷(水冷).....	6
2-3-4 半導體致冷.....	6
2-3-5 壓縮機致冷.....	6
2-4 半導體致冷晶片.....	6
2-4-1 致冷晶片概述.....	6
2-4-2 致冷晶片的內部與工作原理.....	7
2-4-3 規格表.....	8
2-5 溫度感測元件—AD590.....	8
第三章 專題設計	10
3-1 流程圖.....	10
3-2 甘特圖.....	10
第四張 專題成果	10
第五章 結論	13

5-1 結論.....	13
5-2 問題與解決.....	13
參考文獻.....	14
附錄.....	15
附錄一 設備清單.....	15
成員簡歷.....	錯誤! 尚未定義書籤。

圖目錄

圖 1 賽貝克效應示意圖.....	3
圖 2 熱電效應的應用.....	4
圖 3 致冷晶片.....	7
圖 4 熱電效應的原理.....	8
圖 5 流程圖.....	10
圖 6 甘特圖.....	10
圖 7 完成品-背面	11
圖 8 完成品-正面	12

表目錄

表 1 致冷晶片規格表.....	8
表 2 材料清單.....	15
表 3 設備清單.....	16

第一章 前言

1-1 專題製作背景及目的

以前的人們如果想要保存食品，必須把食品醃漬或是煙燻起來，避免食品腐敗，直到 1913 年製造了第一台人工操作的家用冰箱，才能更長久的保存食物，引起我的好奇，為什麼冰箱能延緩食物腐敗，經過網路上的查詢，我發現是因為低溫可以有效地抑制微生物的繁殖作用，降低食品中酶的活性和減慢食品內化學反應的速度。了解冰箱的作用後，我們善用從高一至高三所學的專業技巧與理論，希望能夠自己做出一台冰箱，並且能達成我們的需求。

1-2 預期成果

本專題預計完成一台電子製冷冰箱，並透過 Arduino 來控制溫度顯示在七段顯示器上，使溫度維持在 5 度，同時附上計時器的功能，用來計算時間，在這次的研究中，透過組員們互相溝通與學習後，我們針對理論進行探討與用，其中包括有 Arduino、製冷晶片以及冰箱結構等各項資訊，幫助我們度過各種難關。

第二章 理論探討

2-1 元件與硬體

2-2 熱電效應

熱電效應(英語:Thermoelectric effect)是一個由溫差產生電壓的直接轉換，且反之亦然。簡單的放置一個熱電裝置，當他們的兩端有溫差時會產生一個電壓，而當一個電壓施加於其上，他也會產生一個溫差。這個效應可以用來產生電能、測量溫度，冷卻或加熱物體。因為這個加熱或製冷的方向決定於施加的電壓，熱電裝置讓溫度控制變得非常的容易。

熱電效應這個術語包含了三個分別經定義過的效應，分別為：[賽貝克效應](#)(Seebeck effect)、[帕爾帖效應](#)(Peltier effect)，與[湯姆森效應](#)(Thomson effect)。還有一個術語叫[焦耳加熱](#)，也就是說當一個電壓通過一個阻抗物質上，即會產生熱，它是多少有關係的，儘管它不是一個普通的熱電效應術語(由於熱電裝置的非理想性，它通常被視為一個產生損耗的裝置)。帕爾帖-塞貝克效應與湯姆森效應是可逆的，但是焦耳加熱是不可逆的。

2-2-1 賽貝克效應

將二種不同金屬各自的二端分別連接構成的迴路，如果兩種金屬的兩個結點處溫度不同，就會在這樣的線路內發生電流，這種現象稱為賽貝克效應(Seebeck Effect)。

不同的金屬導體(或半導體)具有不同的自由電子密度，當兩種不同的金屬導體相互接觸時，在接觸面上的電子就會擴散以消除電子密度的差異，在兩塊金屬的另兩端點形成穩定的電壓，電子的擴散速率與接觸區的溫度成正比。由此產生的電壓通常每克耳文溫差只有幾微伏。而不同溫度的相同金屬(或半導體)也具有不同的自由電子密度，所以只要維持金屬兩端的溫差，也能使電子持續擴散，在金屬的兩個端點形成穩定的電壓。

不同的金屬與半導體具有不同的塞貝克係數(所產生賽貝克效應大小不同)，半導體與金屬的主因略有不同。半導體在不同的溫度下具有不同的載流子密度，當單一半導體兩端具有溫度差時，載子會擴散以消除密度的差異，因

而造成電動勢。兩端的溫度相差越大，則產生的賽貝克電位差越大。而金屬的自由電子密度與費米能階幾乎不會隨溫度改變，因此金屬的賽貝克效應遠小於半導體。金屬的賽貝克效應由電子的平均自由徑來決定。若平均自由徑隨溫度上升，則熱端的自由電子有較高的機會向冷端移動，此時的塞貝克係數為負值。反過來說，若電子的平均自由徑隨溫度上升而下降，則冷端的自由電子有較高的機會流向熱端，塞貝克係數為正值。

在以下電路中，若電壓計兩端的溫度同為 T_1 ：

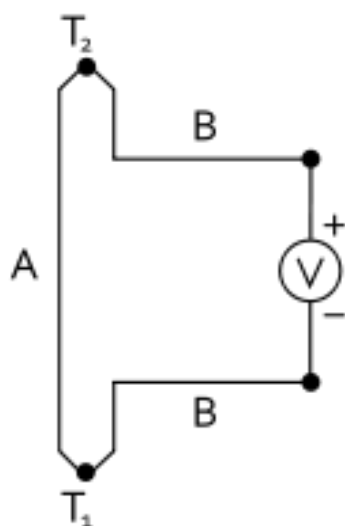


圖 1 賽貝克效應示意圖

設 S_A 和 S_B 是金屬 A 和 B 的賽貝克係數， T_1 和 T_2 是兩塊金屬結合處的溫度。塞貝克係數取決於溫度和材料的分子結構。如果塞貝克係數在實驗的溫度範圍內接近常數，方程式可以近似成：

$$V = (S_B - S_A) * (T_2 - T_1).$$

將兩種不同的金屬連接，並在兩接點給予溫度差，兩種金屬會分別產生各自的溫差電動勢。選用適當的二種不同金屬製成熱電偶，利用賽貝克效應可以直接測量溫差，或者將金屬的一端設定到已知溫度來測另一端的溫度。當幾個溫差電偶連接在一起時叫做熱電堆，用來製造更大的電壓。塞貝克效應還可以用來鑑定合金的成分：將未知金屬和已知金屬連接，並保持溫度不變，根據測得的電壓可以算出未知金屬的塞貝克係數，從而判斷它的材料。若使用相同的金屬形成迴路，則會因為溫差造成的電動勢互相抵銷而無法觀察到賽貝克效應。

2-2-2 帕爾帖效應

傳統上有時稱帕爾帖效應是塞貝克效應，但此說法並不嚴謹。與塞貝克效應不同，帕爾帖效應可以產生在兩種不同金屬的交界面，或者一種多相材料的不同相界間，也可以產生在非勻質導體的不同濃度梯度範圍內。當對上述三種材料嵌入迴路中並施加電流時，金屬 1 會對金屬 2 或相 1 對相 2，或濃度點 C1 與 C2 間產生放熱或吸熱反應。

帕爾帖效應即為塞貝克效應的反效應，即當在兩種金屬迴路中加入電源產生電位後，不同的金屬接觸點會有一個溫差。

2-2-3 湯姆森效應

當電流在溫度不均勻的導體中流過時，導體除產生不可逆的焦耳熱之外，還要吸收或放出一定的熱量（稱為湯姆森熱）。湯姆森效應（英語：Thomson effect）是英國物理學家威廉·湯姆森於 1854 年發現的：將一根導線通恆定電流，由於導線有電阻而發熱。再將這根帶電的導線的某小局部加熱；使它產生溫度梯度。這根導線就在原有發熱的基礎上，出現吸熱或放熱的現象。[3]或者反過來，當一根金屬棒的兩端溫度不同時，金屬棒兩端會形成電位差。

一個金屬(或半導體)材料的帕爾帖係數並不是一個定值，也會隨著溫度而改變。在一個具有溫度梯度的導體中，每個位置都可以視為是具有不同帕爾帖係數的材料。當電流通過時，不同的位置會各自產生帕爾帖效應，造成局部的吸熱或放熱。由於金屬的熱導率較高，這些局部的吸收或放出的熱能會分散至整個導體，因而造成導體整體的吸熱或放熱。吸熱或放熱要由恆定電流的方向和導線熱梯度的方向而決定。這種現象稱為湯姆森效應，湯姆森效應並不會在均勻溫度的通電流導體中出現。

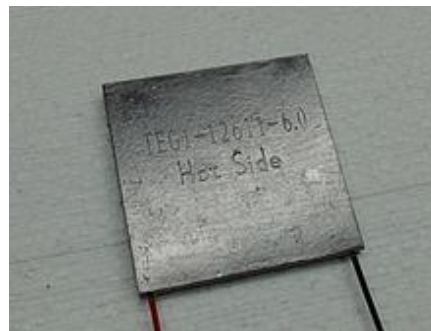


圖 2 熱電效應的應用

2-3 各種散熱系統

有些設備工作時會產生大量的熱量，而這些多餘的熱量不能有快速散去並聚積起來產生高溫，很可能會毀壞正在工作的設備，這時散熱器便能有效地解決這個問題。散熱器是附在發熱設備上的一層良好導熱介質，扮演猶如中間人一樣的角色，有時在導熱介質(導熱膏)的基礎上還會加上風扇等等東西來加快散熱效果。但有時散熱器也扮演強盜的角色，如冰箱的散熱器是強制抽走熱量，來達到比室溫更低的溫度。

散熱器的工作原理是熱量從發熱設備產生傳至散熱器再傳到空氣等物質，其中熱量通過熱力學中的熱量傳遞進行傳遞。而熱量的傳遞方式主要有熱傳導、熱對流和熱輻射，如當物質與物質接觸時只要存在溫差，就會發生熱量傳遞，直到各處溫度相同為止。散熱器正是利用這一點，如採用良好的導熱材料，薄而大塊的鰭片狀結構增大由發熱設備與散熱器到空氣等物質的接觸的面積與導熱速度。

2-3-1 風冷

風冷，又稱氣冷，是冷卻方式的一種，即用空氣作為媒介冷卻需要冷卻的物體。通常是加大需要冷卻的物體的表面積，或者是加快單位時間內空氣流過物體的速率，抑或是兩種方法共用。前者可依靠在物體表面加散熱片來實現，通常把散熱片掛在物體外，或是固定在物體上以使散熱更高效。後者可用風扇（風機）來加強通風、強化冷卻效果。大多數情況下，加入散熱片可以使冷卻效率大大提高。

在任何情況下，所用的空氣都要比物體及其表面的溫度低，才能帶走熱量，這是由於熱力學第二定律的約束，即不可能把熱量從低溫物體傳到高溫物體而不引起其他變化。

2-3-2 熱導管

熱導管，或稱熱管，是一種具有快速均溫特性的特殊材料，其中空的金屬管體，使其具有質輕的特點，而其快速均溫的特性，則使其具有優異的熱超導性能；熱管的運用範圍相當廣泛，最早期運用於航太領域，現早已普及運用於各式熱交換器、冷卻器、天然地熱引用等，擔任起快速熱傳導的角色，更是現今電子產品散熱裝置中最普遍高效的導熱（非散熱）元件。

熱導管基本上是一內含作動流體之封閉腔體，藉由腔體內作動流體持續循環的液汽二相變化，及汽&液流體於吸熱端及放熱端間汽往液返的對流，使腔體表面呈現快速均溫的特性而達到傳熱的目的；

其作動機制為，液相作動流體於吸熱端蒸發成汽相，此一瞬間在腔體內產生局部高壓，驅使汽相作動流體高速流向放熱端，汽相作動流體於放熱端凝結成液相後，藉由重力/毛細力/離心力…迴流至吸熱端，循環作動。由此可知，熱導管作動時，氣流係由氣壓壓力差驅動，液流則須依使用時之作動狀態，採用或設計適合的迴流驅動力。

熱導管理想作動時，作動流體處於液&汽兩相共存的狀態，兩相無溫差，亦即整個腔體內均處於均溫狀態，此時雖然有熱能進出此一腔體系統，但吸熱端與放熱端卻是等溫，形成等溫熱傳的熱超導現象。

2-3-3 液冷(水冷)

則是使用液體在泵的帶動下強制循環帶走散熱器的熱量，與風冷相比具有安靜、降溫穩定、對環境依賴小等等優點。但液冷的價格也相對較高，安裝也相對麻煩一些。

2-3-4 半導體致冷

利用一塊 N 型半導體材料和一塊 P 型半導體材料聯結成電偶對時，在這個電路中接通直流電流後，就能產生能量的轉移，電流由 N 型元件流向 P 型元件的接頭吸收熱量，成為冷端由 P 型元件流向 N 型元件的接頭釋放熱量，成為熱端，從而產生導熱作用。此種散熱方式便是本專題所使用，詳細說明將在章節 2-4 討論。

2-3-5 壓縮機致冷

從吸氣管吸入低溫低壓的製冷劑氣體，通過壓縮機對其進行壓縮後，向排氣管排出高溫高壓的製冷劑氣體，為製冷循環提供動力，從而實現壓縮→冷凝→膨脹→蒸發（吸熱）的製冷循環。如空調、冰箱。

2-4 半導體致冷晶片

2-4-1 致冷晶片概述

(1)外形、尺寸：一般為方形，也有長方形、圓形和寶塔形等。單片厚度約 3-5mm，雙片或多片近 3mm 的倍數。

(2)最大產冷量：保持熱面溫度 27°C（或 50°C）時，可從冷面抽出熱量的最大值。一般用來比較不同規格的製冷能力。

(3)最大溫差電壓：致冷晶片維持兩端溫差大小的能力與直流電壓成正比，達到最大溫差時稱為最大溫差電壓，若施加的電壓超過該電壓後溫差將會縮小。

(4)最大溫差電流：是確認致冷晶片功率的重要指標，有時用電阻值替代表示，當冷熱面溫度 27°C 時（溫差為 0），是在最大溫差電壓下的電流值。該數值可代表致冷晶片的功率大小，亦表示運作時的電流範圍。



圖 3 致冷晶片

2-4-2 致冷晶片的內部與工作原理

致冷晶片的工作原理是一塊 N 型半導體和一塊 P 型半導體材料聯成電偶對在這個電路中接通直流電流後，就能發生能量的轉移，電流由 N 型元件流向 P 型元件的接頭吸收熱量，成為冷端。電流由 P 型元件流向 N 型元件的接頭釋放熱量，成為熱端。吸收熱量和放出熱量的大小由電流大小來決定。

致冷晶片的內部結構則是由許多的 N 型和 P 型半導體之顆粒互相排列而成的冷卻裝置，目前致冷晶片所採用的半導體材料最主要為碲化鉍(Bismuth telluride)，加入不純物經處理後，變形成 N 型和 P 型半導體相互交錯的半導體接面。至於 N 與 P 極之間以一般的導體相連接而成一完整線路，通常是銅、鋁或其他金屬導體，最後由兩片陶瓷片像夾心餅乾一樣夾起來，陶瓷片必須絕緣且導熱良好，本專題所使用的致冷晶片標準輸入電壓是 12 伏特，使用的電源轉換器為了小型化所以採用交換式電源供應器，將一般交流 110 伏特轉為直流電 12 伏特供給致冷晶片，如此致冷晶片會產生能量的轉移，將一側的溫度帶至另一側，使一端為熱面、另一端為冷面，其工作原理如圖 4 所示。

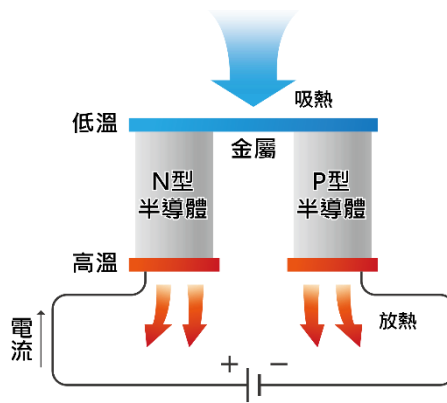


圖 4 熱電效應的原理

2-4-3 規格表

致冷晶片規格表

型號 Model number	最大溫 差電流 I _{max} (A)	最大溫 差電壓 V _{max} (V)	最大溫差 ΔT _{max} (°C)		最大產冷量 Q _{max} (W)		外形尺寸 Dimensions(mm)				
			Th=27°C		Th=50°C		Lc	Wc	Lh	Wh	H
FPH1-3102NC	2.0	3.8	70.0	4.4	77.0	5.0	15.0	15.0	4.7		
FPH1-7102NC		8.8		10.2		11.2	20.0	20.0			
FPH1-12702AC		15.7		18.2		19.5	30.0	30.0			
FPH1-3103NC	3.0	3.8	70.0	7.3	77.0	8.0	15.0	15.0	3.8		
FPH1-7103NC		8.8		16.6		18.0	20.0	20.0			
FPH1-12703AC		15.7		29.8		32.5	30.0	30.0			
FPH1-3104NC	3.9	3.8	70.0	8.6	77.0	9.5	15.0	15.0	3.6		
FPH1-7104NC		8.8		18.7		20.9	20.0	20.0			
FPH1-12704AC		15.7		35.2		39.0	30.0	30.0			
FPH1-3106NC	6.0	3.8	70.0	13.0	77.0	14.3	15.0	15.0	3.1		
FPH1-7106NC		8.8		29.7		32.7	20.0	20.0			
FPH1-12706AC		15.7		53.1		59.1	30.0	30.0			
FPH1-1707NC	6.0	2.1	70.0	7.4	77.0	8.2	15.0	15.0	3.9		
FPH1-3107NC		3.8		13.6		14.9	20.0	20.0			
FPH1-7107AC		8.8		31.1		34.2	30.0	30.0			
FPH1-9707AC	8.5	11.8	70.0	48.0	77.0	52.8	30.0	30.0	3.95		
FPH1-12707AC		15.7		55.6		61.0	40.0	40.0			
FPH1-1708NC		2.1		10.3		11.3	15.0	15.0			
FPH1-3108NC	8.5	3.8	70.0	18.8	77.0	20.8	20.0	20.0	3.4		
FPH1-7108AC		8.8		43.1		48.0	30.0	30.0			
FPH1-12708AC		15.7		77.1		85.0	40.0	40.0			

表 1 致冷晶片規格表

2-5 溫度感測元件 – AD590

1. 線性電流輸出：其轉換率為 $1\mu\text{A}/^\circ\text{K}$
2. 有寬廣的測溫範圍： $-55^\circ\text{C}\sim 150^\circ\text{C}$
3. 體積小：僅有二端子，配線容易，電壓輸入／電流輸出

4.準確度極高

5.使用的電壓範圍彈性大： $+4V\sim 30V$ ，輸出特性不會隨輸入電壓變化

第三章 專題設計

3-1 流程圖

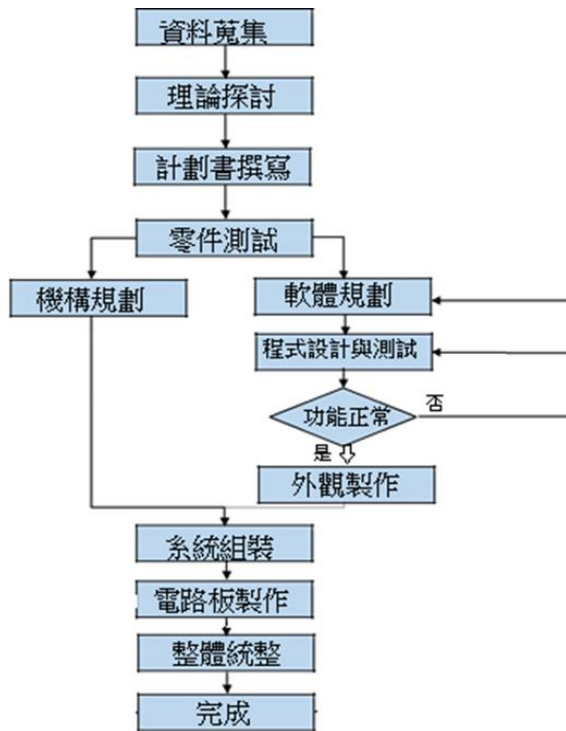


圖 5 流程圖

3-2 甘特圖

次 工作項目	週 (日期)																		負責成員
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
資料收集	█	█	█																
理論探討	█	█	█																
計畫書製作	█	█																	
零件測試					█	█													
軟體規劃		█	█	█															
機構規劃										█	█								
程式設計							█	█	█										
程式測試					█	█	█	█	█	█	█	█							
程式 DEBUG													█	█					
系統組裝																█			
電路板製作																	█		
整體統整																	█		
完成&報告																		█	
預定進度	5	10	12	15	20	25	30	33	35	40	45	50	60	65	70	80	90	100	
																			累積百分比%

圖 6 甘特圖

第四張 專題成果

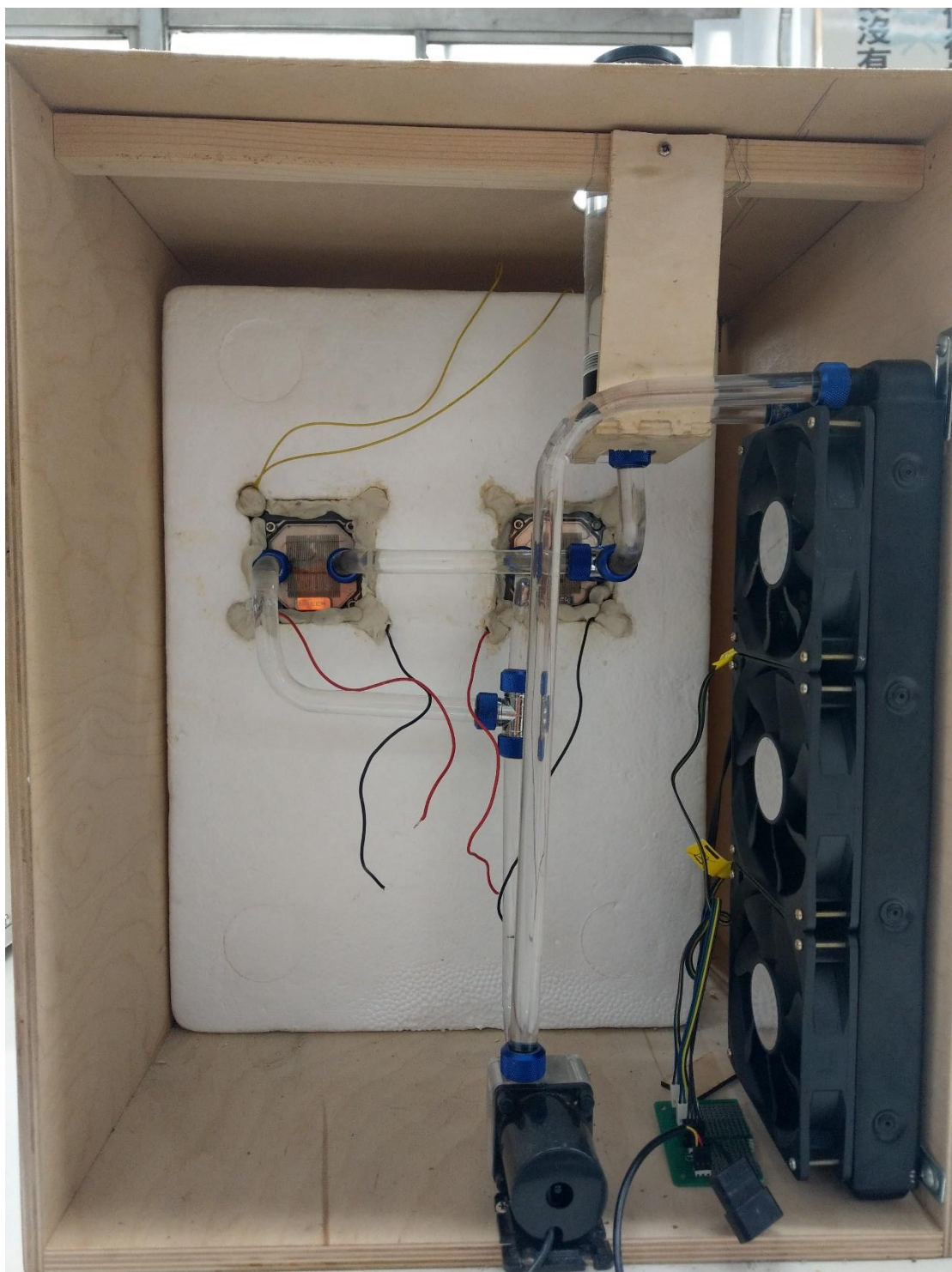


圖 7 完成品-背面



圖 8 完成品-正面

第五章 結論

5-1 結論

在本次研究中，我們研究了許多關於致冷晶片、各種散熱系統等等相關的理論與知識，在製作硬體上整體還算是順利，並沒有遇到太大的困難，倒是在程式的部分，因為我們組的組員本來都對這方面比較不熟悉，最後花了許多時間學習才完成這個部分，中間的討論也讓我們學習到如何更好的與組員相處，實在是受益良多。

致冷冰箱雖然不會是市場趨勢，但就個人化使用來說，本次專題成果確實能夠讓其發揮很大的作用，比起壓縮機致冷來說，功率大大的降低，也不需要浪費太多的功率，就能有一般冰箱 7~8 成左用的效果，所以我們的專題就聚焦在使用半導體致冷晶片來達成降溫的效果。

本次專題使用 Arduino 結合串列式四位元七段顯示器來達成溫度感測的功能，由於七段顯示器本身就有 PT6961 的 IC 來控制其多工並且也有函示庫可以直接使用指令來控制顯示器，所以使用起來非常方便。

5-2 問題與解決

在撰寫程式的時候是花了最多的時間的，其中 Arduino 的類比腳位會受到雜訊干擾，而導致我們感測器的溫度值有明顯的浮動，這部份我們後來使用程式的方法來解決，透過多次讀值取平均的方式來解決這個問題。

參考文獻

1. 淺談熱電效應 - 鄭永銘老師的 Blog
<https://www.masters.tw/190214/thermoelectric-effect>
2. 科技年輪 | 電腦也講風水？散熱系統的
<https://kknews.cc/geomantic/nk9plkq.html>
3. 熱電致冷晶片之特性與應用
<https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=32853>
4. 溫度感測器 AD590 中文資料 | 研發互助社區
<https://cocdig.com/docs/show-post-37905.html>

附錄

附錄一 材料清單

類別	材料名稱	單位	數量	應用說明
箱體	保麗龍箱	箱	1	保冷
散熱	散熱塊	塊	2	吸收熱量
電子元件	電源供應器	個	1	將交流轉直流供給設備
電子元件	致冷晶片	片	2	將熱量轉移至外面
散熱	水冷頭	個	2	將致冷晶片熱量轉移至水
散熱	水冷液	瓶	1	傳導熱量
散熱	幫浦	個	1	提供系統循環動力
箱體	petg 硬管	個	5	傳輸水流
散熱	水冷排	個	1	將水的熱量轉移空氣中
散熱	風扇	個	3	加速散熱效率
箱體	板	片	3	固定元件

表 2 材料清單

附錄二 設備清單

類別	設備、軟體名稱	應用說明
硬體	電腦	工作應用
硬體	手機	照相
軟、硬體	Arduino	程式撰寫
軟體	Word2013	文書報告
軟體	PowerPoint2013	簡報製作
硬體	雷射切割機	製作外殼
硬體	印表機	列印結構圖、電路圖

表 3 設備清單

附錄三 程式碼

```
#include <PT6961.h>
#define AD590 A2
#define button1 10
// Pin 4 = DIN = A3
// Pin 3 = CLK = A4
// Pin 2 = CS = A5

PT6961 LED ;
boolean flag = false;
int sensorValue ;           // 電壓讀取變數
float temp ;                // 溫度值浮點數
float sb ;                  // 浮動值控制變數
float old_temp;            // 儲存上一次輸出的溫度值
int Val ;
long T1;                   // 時間變數
int a = 0;
boolean ledMode = HIGH;    // 顯示模式
boolean buttonState = HIGH; // 目前按鈕狀態
boolean lastButtonState = LOW; // 紀錄之前的按鈕狀態
long lastDebounceTime = 0; // 時間變數
long debounceDelay = 50;   // 消除彈跳時間

void setup()
{
  pinMode(A2, INPUT);
  pinMode(button1,INPUT);
  LED.setPin(A3, A4, A5);    // 設定 PT6961 功能腳之對應腳位
  LED.initDisplay();        // 初始化顯示
```



```

Serial.begin(9600);
delay(500);

}

void loop(){
  boolean sw = digitalRead(button1);          // 偵測按鈕狀態
  if (sw != lastButtonState){                // 如果狀態改變,更新 millis()
    lastDebounceTime = millis();
  }

  if ((millis()-lastDebounceTime) > debounceDelay){ // 超過 50 毫秒則繼續動作(消除
  彈跳)
    if (sw != buttonState){                  // 將 10 腳讀值傳給 ButtonState
      buttonState = sw;
      if (buttonState == HIGH){              // 按鈕放開才改變狀態
        a = 0;
        ledMode = !ledMode;
      }
    }
  }

  if (ledMode == LOW){
    if (a==0)
      LED.initDisplay();

    if((millis()-T1) > 1000){                 // 間隔超過 0.5 秒才重新讀值
      for (int i=0 ; i<30 ;i++){              // 讀取 AD590 所回傳之電壓值(讀 30 次取平均)

```

```

    sensorValue += analogRead(AD590);
}
sensorValue /= 30;

temp = sensorValue * (5.00 / 1023.00) * 1000 - 273; // 溫度換算公式
temp = 0.85*old_temp + 0.15*temp;           // 控制顯示值浮動
Val = temp + 273;

if (temp - sb > 0.5)
temp = sb + 0.47;
else if (sb - temp > 0.5)
temp = sb - 0.47;

Serial.print (Val);           // 監控視窗顯示讀取電壓值
Serial.print("Temp=");       // 監控視窗顯示溫度
Serial.print(temp);
Serial.println("C");
old_temp = temp;             // 記錄溫度
sb = temp;
T1 = millis();               // 紀錄 millis()
}
LED.sendNum(temp);           // LED 模組顯示溫度
a += 1;
}
else if(ledMode == HIGH){
LED.sendCmd(_DISPLAY_OFF);   // 關閉顯示器
}
sensorValue, temp , Val =0 ;
lastButtonState = sw;        // 記錄按鈕狀態
}

```