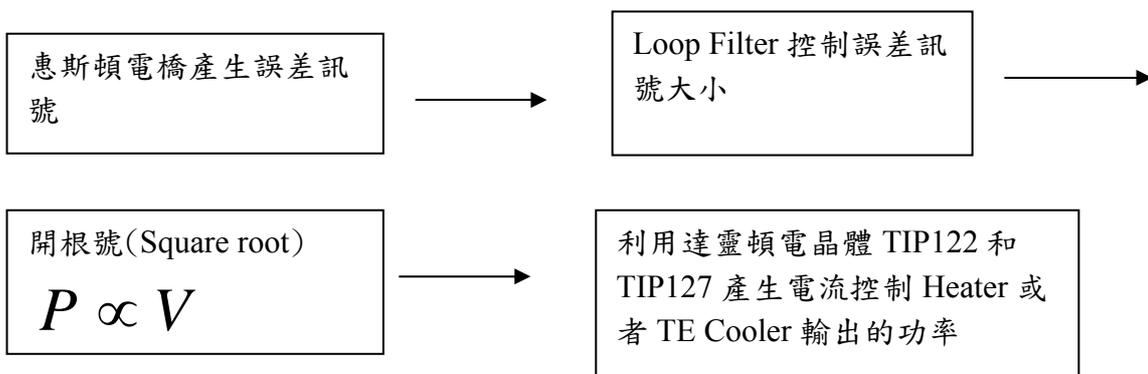


第一章 溫控電路設計

1.1 設計緣由

由於雷射的溫度會影響到它的輸出頻率和 Power，因此必須先做一個溫控器，來穩定雷射的溫度，並由於經費有限，所以自行發展溫控器對我們實驗室來說是非常重要的。一件事。

1.2 簡介



穩定度可以達到 < 0.01

1.3 原件介紹

a. AD704(由四個 Op Amp 組成，當作一般放大器使用)

FEATURES

High DC Precision

- 75 μV max Offset Voltage
- 1 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ max Offset Voltage Drift
- 150 pA max Input Bias Current
- 0.2 pA/ $^\circ\text{C}$ typical I_B Drift

Low Noise

- 0.5 μV p-p typical Noise, 0.1 Hz to 10 Hz

Low Power

- 600 μA max Supply Current per Amplifier
- Chips & MIL-STD-883B Processing Available
- Available in Tape and Reel in Accordance with EIA-481A Standard

Single Version: AD705, Dual Version: AD706

CONNECTION

14-Pin Plastic DIP (N)
14-Pin Cerdip (Q) Packages

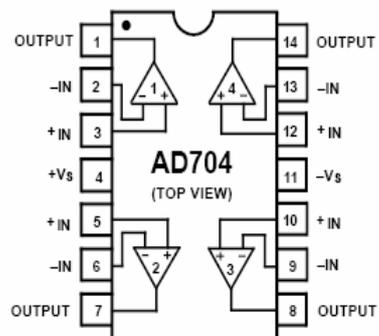


圖 1-1 AD704

b. AD633JN(內建乘法器與加法器，與 OP27 搭配組成開根號線路)

FEATURES

- Four-Quadrant Multiplication
- Low Cost 8-Lead Package
- Complete—No External Components Required
- Laser-Trimmed Accuracy and Stability
- Total Error Within 2% of FS
- Differential High Impedance X and Y Inputs
- High Impedance Unity-Gain Summing Input
- Laser-Trimmed 10 V Scaling Reference

APPLICATIONS

- Multiplication, Division, Squaring
- Modulation/Demodulation, Phase Detection
- Voltage-Controlled Amplifiers/Attenuators/Filters

CONNECTION DIAGRAMS
8-Lead Plastic DIP (N) Package

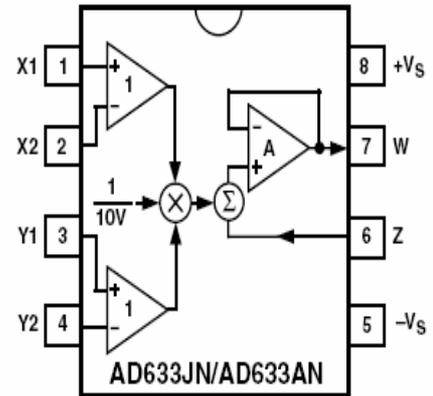


圖 1-2 AD 633 JN

$$W = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10V} + Z$$

c.OP27(一般 OP Amp 與 AD633JN 組成開根號電路)

Low Noise-----80nVp-p (0.1Hz to 10Hz)

Low Drift-----0.2μV/

High Sped-----8MHz Gain Bandwidth

Low Vos-----10μV

d. OP177(當作反向放大器以及 Buffer 使用)

Ultralow Offset Voltage

TA=+25 10μV max

-55 TA +125 20μVmax

Outstanding Offset Voltage Drift 0.1μV/ max

d.二極體：1N4148

Silicon Epitaxial Planer Diode

Fast switching diode

Reverse Voltage 75V

e.穩壓器：LM399

Guaranteed 0.0001%/ temperature coefficient

Low dynamic impedance 0.5Ω

Initial tolerance on breakdown voltage 2%

Sharp breakdown at 400μA

Wide operating current 500μA to 10 mA

Wide supply range for temperature stabilizer

Guaranteed low noise

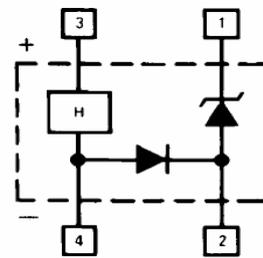


圖 1-3 LM399

f. 達靈頓電晶體：TIP122、TIP127

	Test Conditions	TIP122	TIP127
V_{CEO}	$I_C=100\text{mA}$, $I_B=0$	100V	-120V
I_{CEO}	$V_{CE}=50\text{V}$, $I_B=0$	2mA	-2mA
I_{CBO}	$V_{CB}=100\text{V}$, $I_E=0$	1mA	-1mA
I_{EBO}	$V_{BE}=5\text{V}$, $I_C=0$	2mA	-2mA
h_{FE}	$V_{CE}=3\text{V}$, $I_C=0.5\text{A}$	1000	1000
$V_{CE}(\text{sat})$	$I_C=5\text{A}$, $I_B=20\text{mA}$	4.0V	-4.0V

1.4 電路設計與原理

1.4.1 如何運用惠斯頓電橋

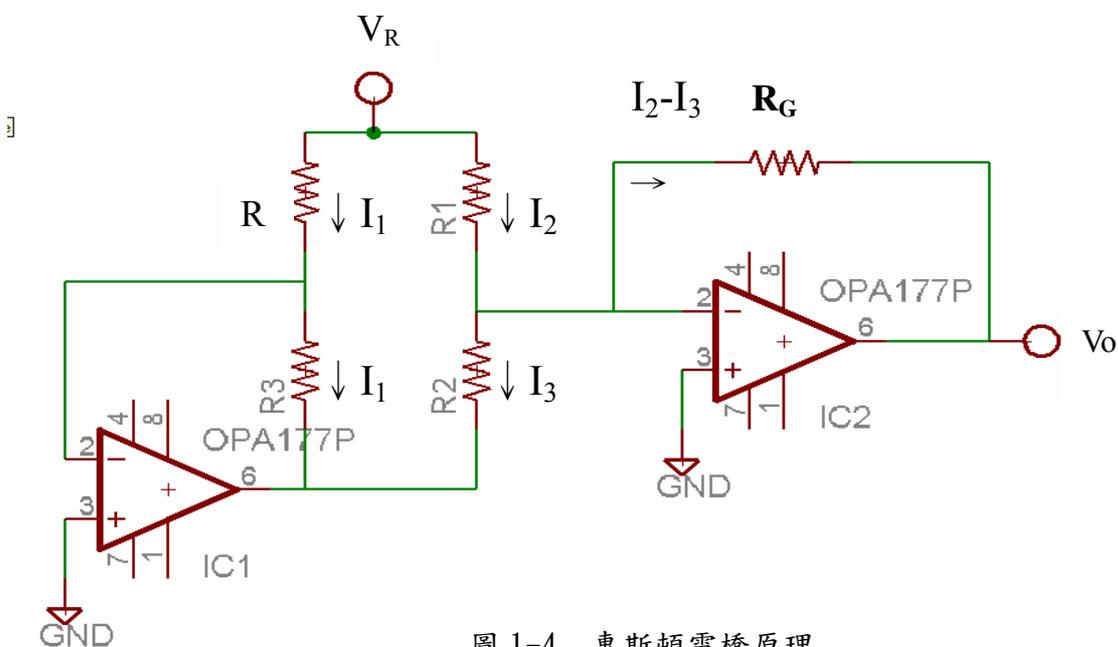


圖 1-4 惠斯頓電橋原理

$$I_2 R_1 = V_R$$

$$I_3 R_2 = I_1 R_3$$

$$I_1 R = V_R$$

所以

$$I_3 = I_1 \frac{R_3}{R_2} = \frac{V_R}{R} \frac{R_3}{R_2}$$

因此

$$V_0 = (I_2 - I_3)R_G = \left(\frac{V_R}{R_1} - \frac{V_R}{R} \frac{R_3}{R_2} \right) R_G = \left(\frac{1}{R_1} - \frac{R_3}{RR_2} \right) V_R R_G$$

當

$$\frac{1}{R_1} = \frac{R_3}{RR_2}$$

$$V_0 = 0 \text{ 即 } RR_2 = R_1 R_3 \text{ 時}$$

1.4. 2 利用惠斯頓電橋原理，產生溫度的誤差訊號

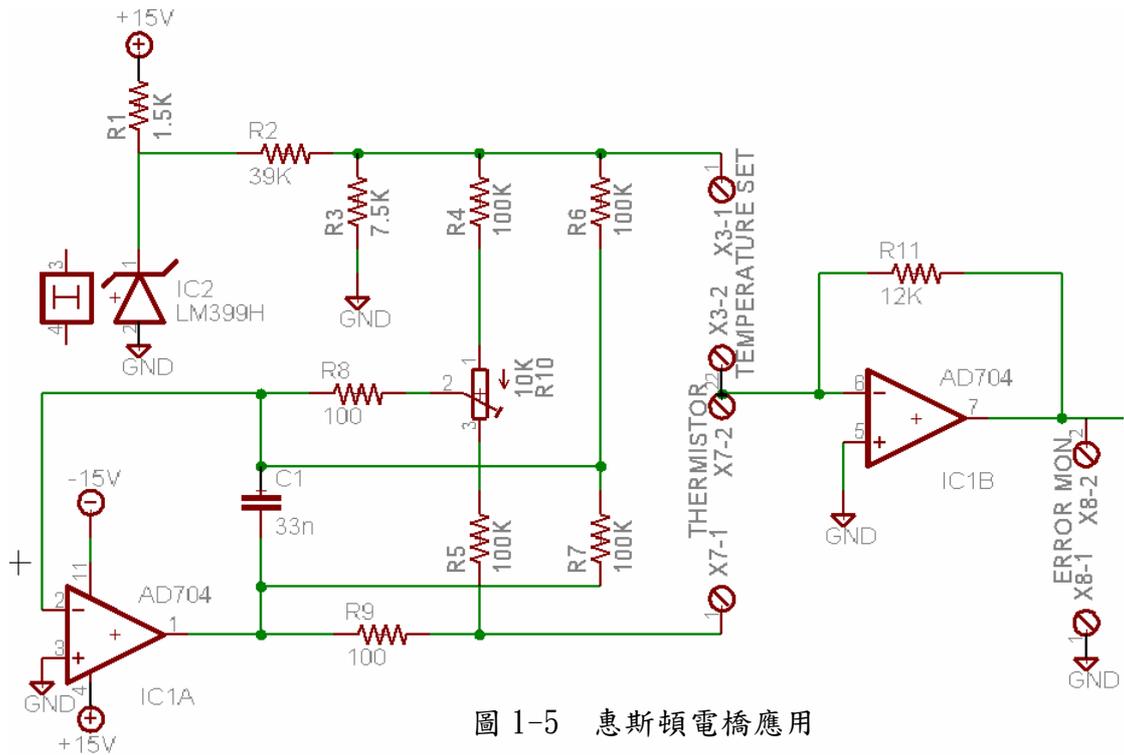


圖 1-5 惠斯頓電橋應用

- a. 利用穩壓器 LM399 提供穩定的電壓源 6.8V，再利用分壓定律，輸出我們要的參考電壓 1.1V。
 - b. 接下來是利用惠斯頓電橋的原理，藉由熱敏電阻(Thermistor)回授控制我們的誤差訊號(如圖 1-10)。由電阻與溫度的對照表(附錄一)，我們可以溫控系統在我們所需要的溫度。例如：
- 我們想溫控在攝氏 20 度，由對照表可知攝氏 20 度為 12260 歐姆，於是我們把可變電阻值調到 12260 歐姆，假如當時室溫為攝氏 25 度熱敏電阻值為 10000 歐姆，因此電橋並不平衡，也就是說 ERROR MON.並不等於零，藉而回授控制溫度。
- c. 在圖二中加了電阻 R8、R9(100Ω)和電容 C1(33nF)是為了要成為積分電路，增加誤差訊號之靈敏度。
 - d. 圖二中 R10(10KΩ)為精密可變電阻，可以微調溫度攝氏 ± 2 度。

1.4. 3 PI Control 的回授控制(feedback)

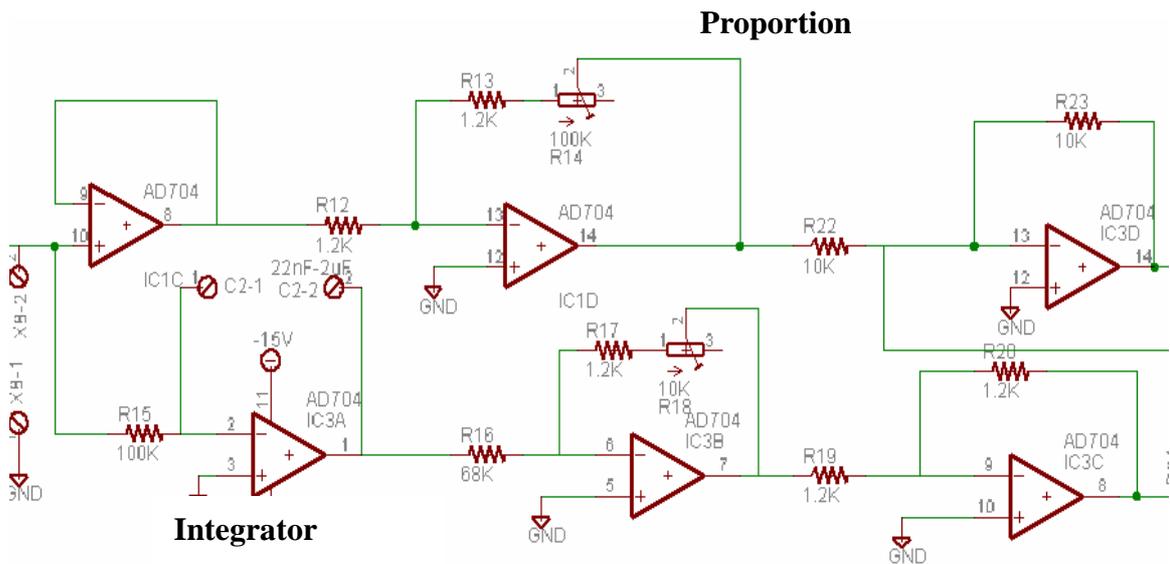


圖 1-6 PI 回授控制電路

P (Proportional) Control：等比例回授控制，P gain 越大容易 overshoot，但比較容易達到穩定

$$V(t) = -\frac{R_2}{R_1} v_{in}(t)$$

I (Integrator) Control：積分回授控制，I gain 越大容易震盪，必須尋找適合的 Time constant，主要目的是將誤訊號拉回零點，因為 P control 在誤差訊號接近零點時，比較沒有力把誤差訊號拉回到零點。

$$V(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_{in}(x) dx$$

藉由積分的效果，即使誤差訊號很小，但在 t 秒之內，會將訊號累積放大，使物體繼續加熱或減溫。

在 P control 之前會加一個 Buffer 防止 PI Control 訊號會互相干擾，而在 I control 之後加一個反向放大之線路，可以調節積分出來的訊號大小，來適當的穩定溫度。

1.4. 4 開根號器(Square root)

開根號器的目的是為了使 TE Cooler 或 Heater 輸出的功率與誤差訊號成正比，避免誤差訊號太小時，電晶體反應不靈敏，誤差訊號太大時，電晶體反應會太大。

$$P = \frac{\sqrt{V}^2}{R} \quad P \propto V$$

V 是我們的誤差訊號， \sqrt{V} 是開根號完之後的訊號

a. 我們利用 AD633JN 與 OP27 組成一個開根號線路

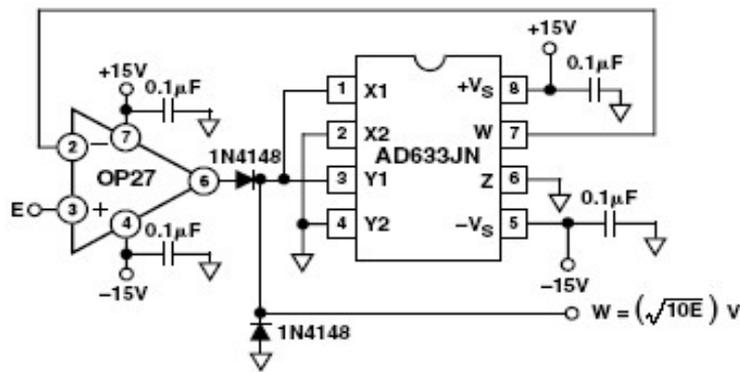


圖 1-7 開根號基本電路

圖上的 E 為輸入端，W 為輸出端

$$W = (\sqrt{10 E}) v$$

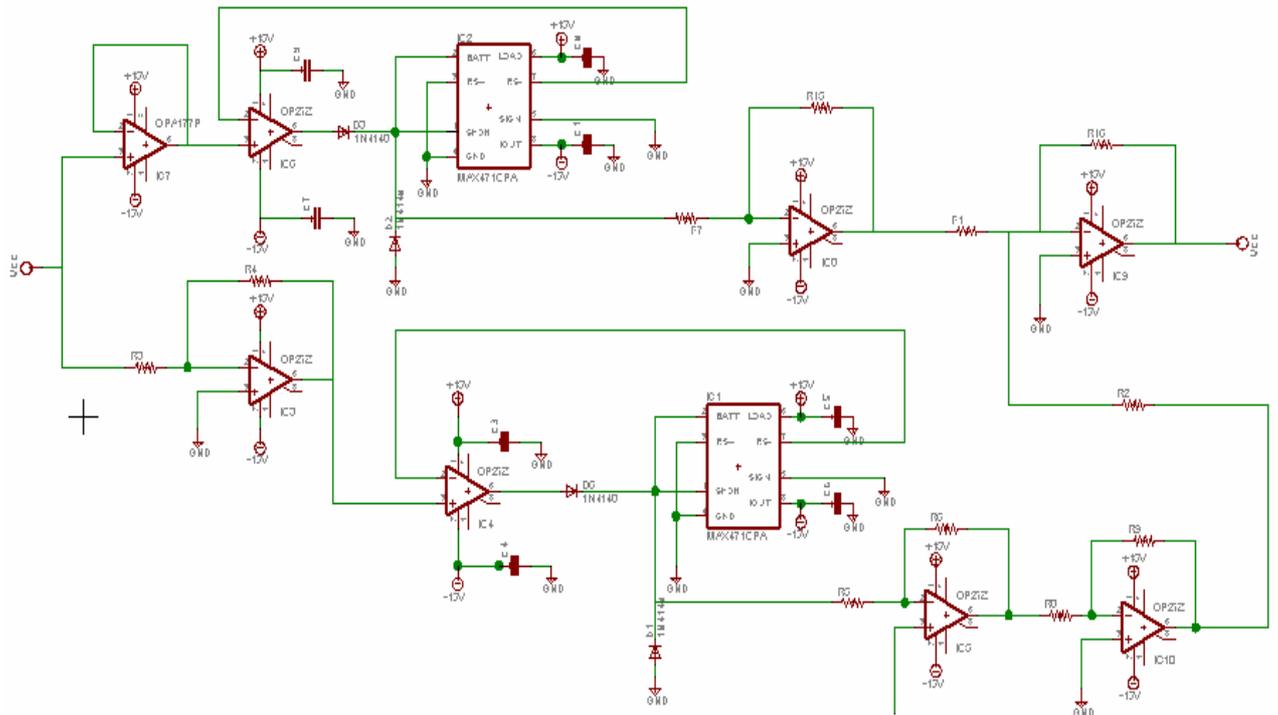


圖 1-8 開根號電路

b. 不過由於 AD633 開根號器只能把正的訊號做開根號，如果訊號為負的則不能開根號，因此必須分兩路做開根號的動作。

圖 1-8 的上面是正訊號開根號，下面則是負的訊號。在正訊號線路前面也會加個 Buffer 以避免訊號互相影響。下面負訊號則是利用反向放大器之線路一比一的放大，將訊號反向為正，開完根號再反向回來，最後利用加法器把正負誤差訊號相加。

c. 在測試的當中，我們發現如果在開根號器的後面選用 OP177 作反向放大器，可以把開根號出來的雜訊以及 Offset 去掉。

1.4. 5 預熱(Preheat)

a. 預熱的目的是為了當我們所需要穩的溫度離室溫很遠時，直接開啟溫控，誤差訊號會很大，很容易加熱過頭。假設我們要溫控的物體(如晶格結構)有最高溫度的限制，會使物體結構破壞。下面是示意圖

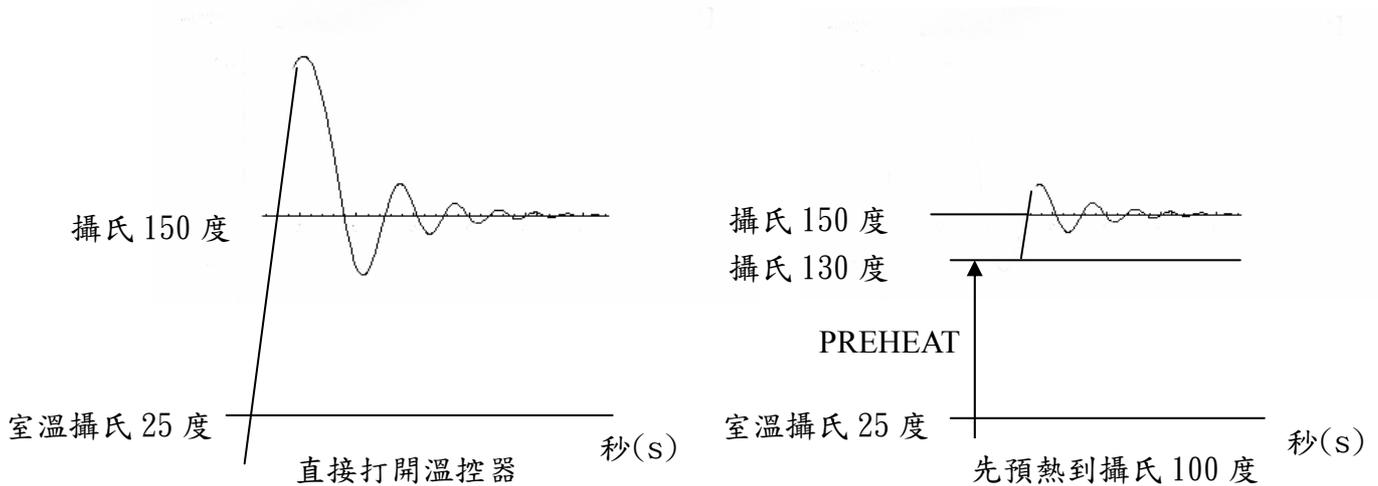


圖 1-9 預熱示意圖

由圖 1-9 所示，假設我們要溫控物體在攝氏 150 度，而物體所能承受的最高溫度為攝氏 170 度。左邊為直接打開溫控器的時候，由於室溫離攝氏 150 度有一大段距離，因此這時誤差訊號會很大，TE Cooler 會一直加熱物體，直到溫度到達 150 度，誤差訊號等於零，但是由於這時 TE Cooler 的功率很大，還是會持續給熱一小段時間，所以溫度容易繼續上升，造成晶體結構的破壞。但是如果我們先預熱到攝氏 130 度左右，再開啟溫控，這時誤差訊號會比較小，不易使溫度超過太多。

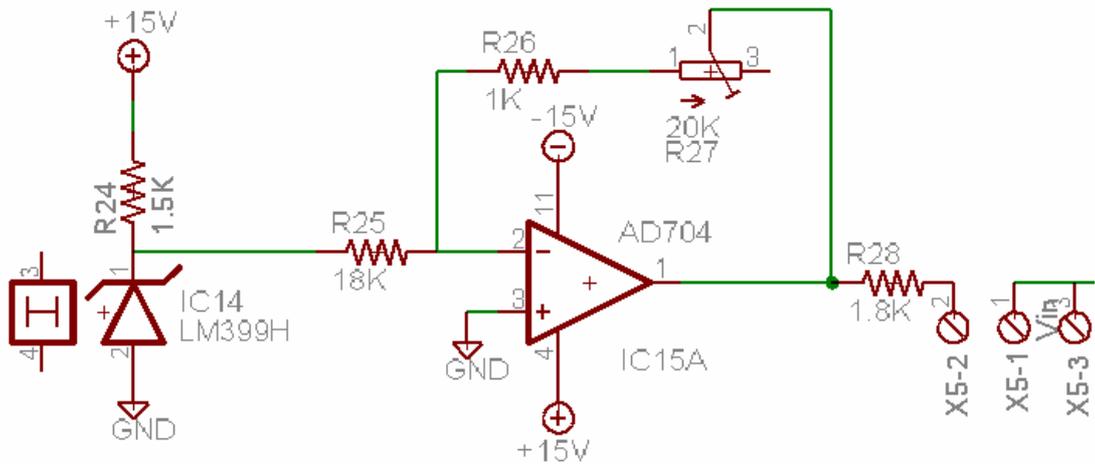


圖 1-10 預熱電路圖

- b. LM399 提供穩定的直流電壓源，在經過反向放大器做任意的放大。要溫控在離室溫很遠的溫度時，我們可以把預熱開關打開，做預先加熱的動作。
- c. 如果要溫控在極低溫的時候，必須要先預冷，只要在加一個等比例反向放大器就可以了，不過由於當初在設計線路時，由於疏忽並未加入等比例反向放大之線路。

1.4. 6 電壓源變電流源

將誤差訊號轉換成電流，這是由於加熱帶(Heater)和 TE Cooler 是由電流控制其輸出功率。

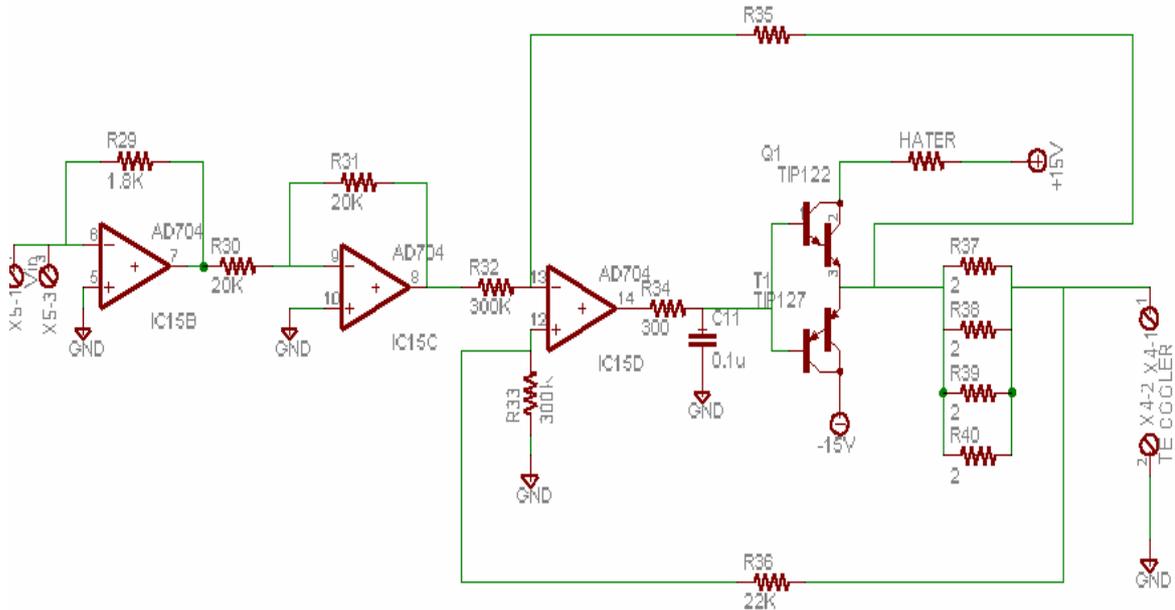


圖 1-11 電壓源變電流源電路圖

利用兩顆達靈頓電晶體 TIP122 和 TIP127 在提供電壓 $\pm 15V$ 時產生最大 1.5 安培的電流源，提供加熱帶(Heater)或者致冷板(TE Cooler)power。在電晶體 Base 端前加 0.1uF 電容(C11)是為了去掉高頻(大約 40KHz)的雜訊。

兩顆電晶體組成一個雙極電晶體(opposite polarity)，主要控制 TE Cooler 的電流大小以及方向，這時候必須把 Heater 關掉。

如果要使用 Heater 的時候，則不需要用到 TIP127，稱為單極電晶體(Unipolar)

電容前面的電阻 R34 的大小會影響電晶體的靈敏度，電阻值大的話靈敏度會降低，但比較不容易震盪太厲害；電阻值小靈敏度會提高，但震盪會比較大，因此必須要選擇恰當的電阻值和搭配適合的 I Control 。

1. 5 測試報告

溫控物體：鋁塊，外面用保麗龍包覆著，跟外界隔絕

量測器材：熱敏電阻，用三用電錶讀取它的數值

YSI 55031 Glass Thermistor

Resistance 10,000 Ohms @ 25

Interchangeability : ± 0.1 from 0 to 70

Max. Transient Temperature : -80 to +100

TE Cooler : 6V 4A

數 據

由於三用電錶只能讀取電阻值到小數點第二位，因此穩定度最好只能估計到

< 0.01 。

a. 所穩溫度 61 電流 0.6A Time Constant : $100K\Omega \times 0.002\mu F$ Preheat on

Stability < 0.05

Short term

	三分鐘	六分鐘	九分鐘	十二分鐘	十五分鐘	十八分鐘
電阻大小	2.61 $\pm 0.004K$					
對應溫度	61.67 ± 0.045					

表 1-1 61 Short term

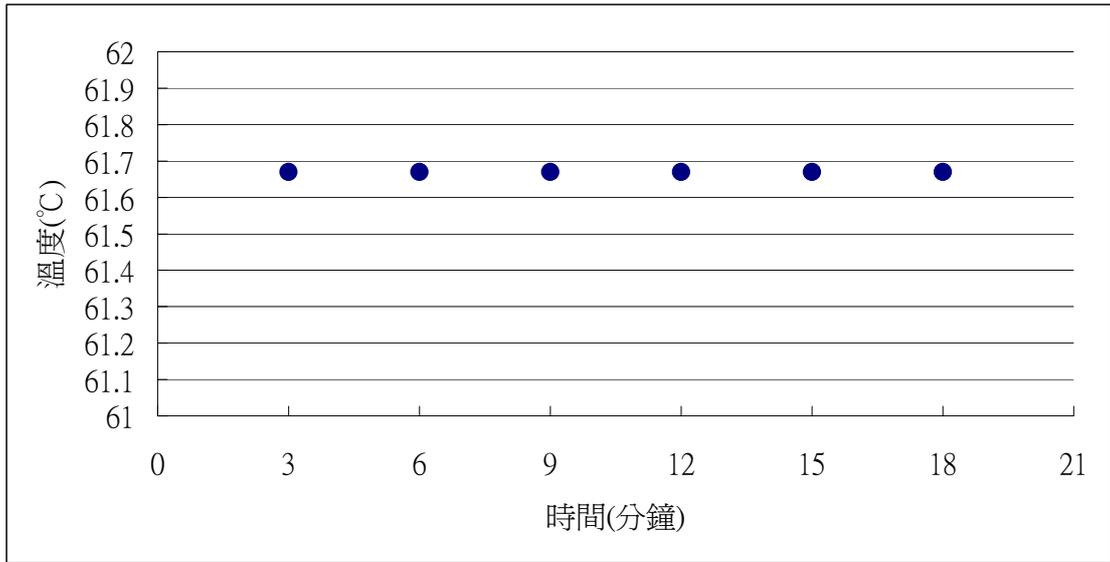


圖 1-12 61 Short term

Long term

	一小時	二小時	三小時	四小時	五小時	六小時
電阻大小	2.61 ±0.004K	2.61 ±0.004K	2.61 ±0.004K	2.61 ±0.004K	2.61 ±0.004K	2.61 ±0.004K
對應溫度	61.67 ±0.045	61.67 ±0.045	61.67 ±0.045	61.67 ±0.045	61.67 ±0.045	61.67 ±0.045

	七小時	八小時	九小時	十小時	十一小時	十二小時
電阻大小	2.61 ±0.004K	2.61 ±0.004K	2.61 ±0.004K	2.61 ±0.004K	2.61 ±0.004K	2.61 ±0.004K
對應溫度	61.67 ±0.045	61.67 ±0.045	61.67 ±0.045	61.67 ±0.045	61.67 ±0.045	61.67 ±0.045

表 1-2 61 Long term

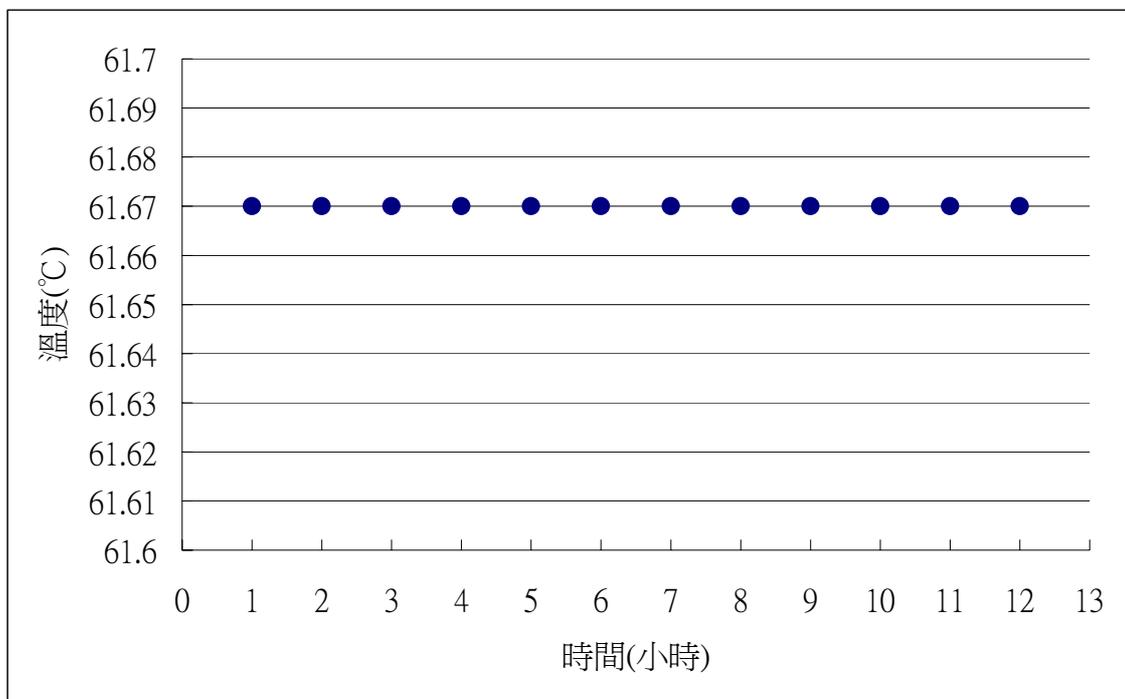


圖 1-13 61 Long term

b. 所穩溫度 32 電流 0.2A Time Constant : 100KΩ X 1uF Preheat off

Stability < 0.01

Short term

	三分鐘	六分鐘	九分鐘	十二分鐘	十五分鐘	十八分鐘
電阻大小	7.43 ±0.004K	7.43 ±0.004K	7.43 ±0.004K	7.43 ±0.004K	7.43 ±0.004K	7.43 ±0.004K
對應溫度	32.52 ±0.013	32.52 ±0.013	32.52 ±0.013	32.52 ±0.013	32.52 ±0.013	32.52 ±0.013

表 1-3 32 Short term

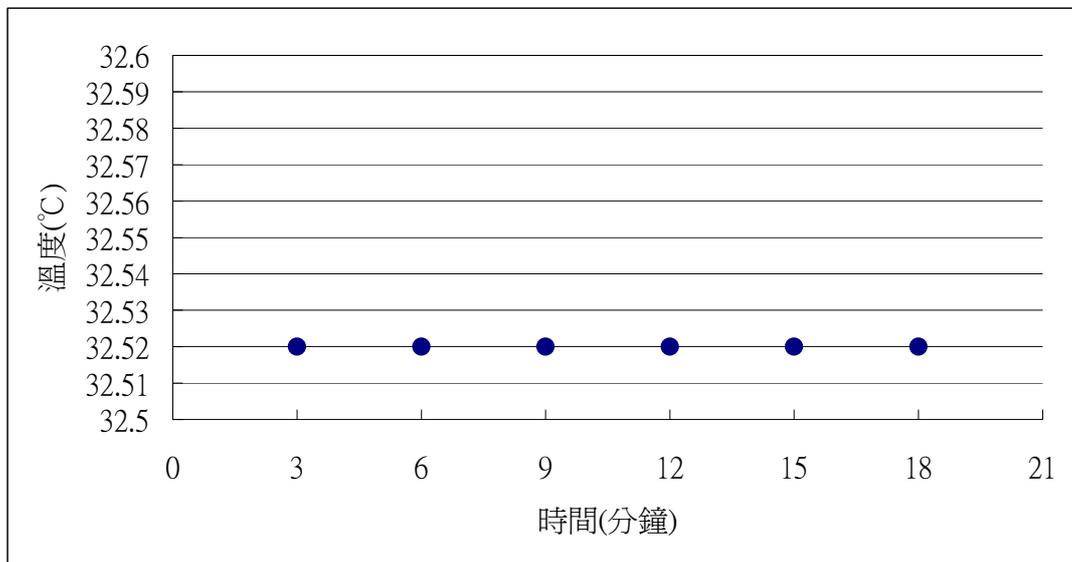


圖 1-14 32 Short term

Long term

	一小時	二小時	三小時	四小時	五小時	六小時
電阻大小	7.42 ±0.004K	7.43 ±0.004K	7.43 ±0.004K	7.43 ±0.004K	7.43 ±0.004K	7.42 ±0.004K
對應溫度	32.55 ±0.013	32.52 ±0.013	32.52 ±0.013	32.52 ±0.013	32.52 ±0.013	32.55 ±0.013

	七小時	八小時	九小時	十小時	十一小時	十二小時
電阻大小	7.42 ±0.004K	7.42 ±0.004K	7.43 ±0.004K	7.43 ±0.004K	7.43 ±0.004K	7.43 ±0.004K
對應溫度	32.55 ±0.013	32.55 ±0.013	32.52 ±0.013	32.52 ±0.013	32.52 ±0.013	32.52 ±0.013

表 1-4 32 Long term

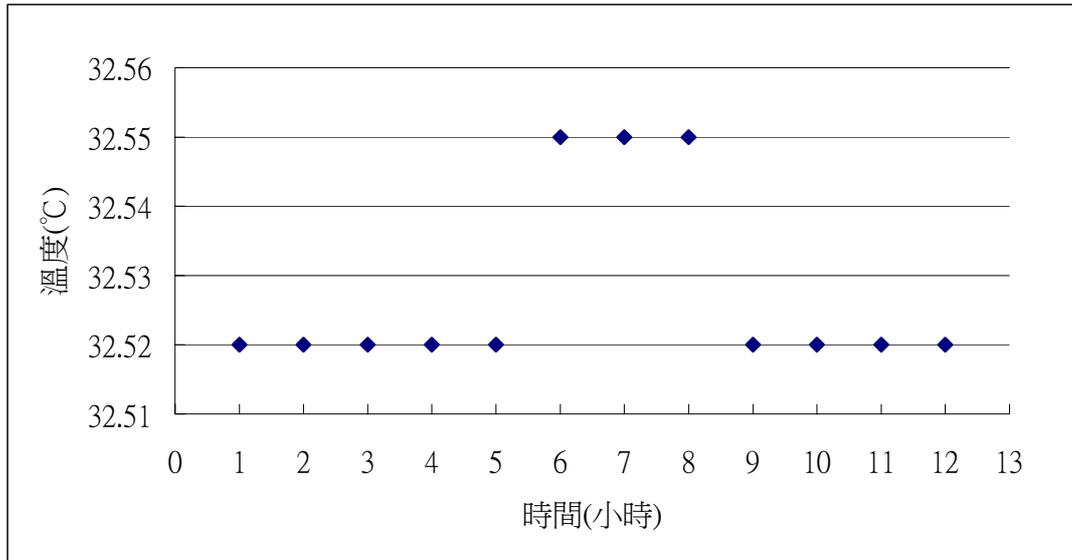


圖 1-15 32 Long term

c. 所穩溫度 10 電流 0.3A Time Constant : 100KΩ X 0.2uF Preheat off

Short term

	三分鐘	六分鐘	九分鐘	十二分鐘	十五分鐘	十八分鐘
電阻大小	18.93 ±0.004K	18.93 ±0.004K	18.93 ±0.004K	18.93 ±0.004K	18.93 ±0.004K	18.93 ±0.004K
對應溫度	9.83 ±0.005	9.83 ±0.005	9.83 ±0.005	9.83 ±0.005	9.83 ±0.005	9.83 ±0.005

表 1-5 10 Short term

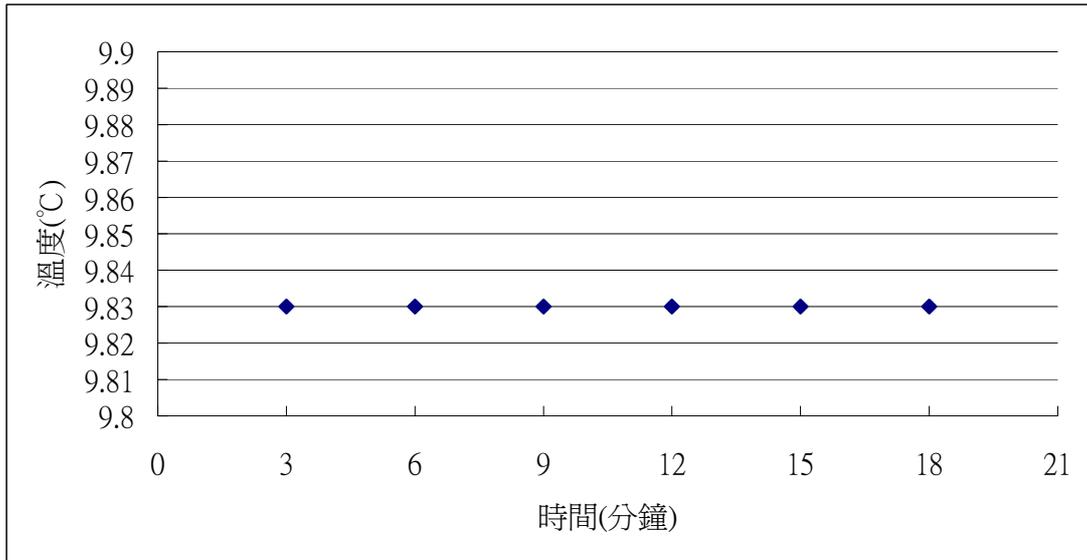


圖 1-16 10 Short term

Long term

	一小時	二小時	三小時	四小時	五小時	六小時
電阻大小	18.93	18.92	18.93	18.93	18.92	18.93
	±0.004K	±0.004K	±0.004K	±0.004K	±0.004K	±0.004K
對應溫度	9.83	9.84	9.83	9.83	9.84	9.83
	±0.005	±0.005	±0.005	±0.005	±0.005	±0.005

	七小時	八小時	九小時	十小時	十一小時	十二小時
電阻大小	18.93K ±0.004K	18.93K ±0.004K	18.93K ±0.004K	18.93K ±0.004K	18.93K ±0.004K	18.93K ±0.004K
對應溫度	9.83°C ±0.005	9.83°C ±0.005	9.83°C ±0.005	9.83°C ±0.005	9.83°C ±0.005	9.83°C ±0.005

表 1-6 10 Long term

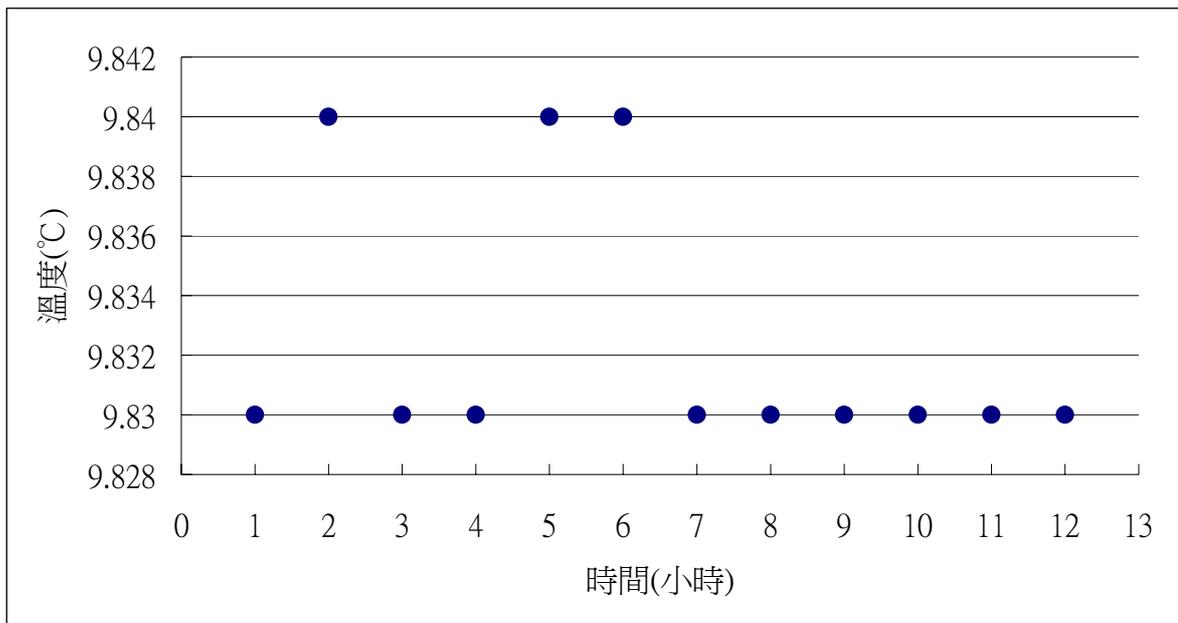


圖 1-17 10 Long term

1. 6 結論

溫控線路是要講究很高精確性的控制系統，電路中每個參數都要考慮的很恰當。因此必須要仔細的觀察每一級的訊號輸出是否很精準，否則會影響到整個系統的回授控制。當中也試著調過開根號的正負兩端的大小，使 TIP122 和 TIP127 在正負相同的電壓值下，所輸出的電流會相同，才會達到雙極電晶體(opposite polarity)的功效。在測試的過程中，電晶體與 TE Cooler 散熱系統必須做的很好，否則並不會達到理想的效果。但是我們只是用了小電風扇吹而已，效果還算不錯，但是如果穩到離室溫很遠的時候，可能就沒辦法。另外，由於預熱(Pre-heat)沒做反向的開關(預冷 Pre-cool)，以致於穩在低溫 0 時，效過很差。不過要穩在 0 以下還要考慮一個因素就是空氣中的水分不能太多，否則在熱敏電阻的外層會結一層冰，由於冰塊有保溫的效果，所以我們無法測量到正確值。

老師要求我們在光學實驗室要先做電子電路便是因為要培養我們的細心以及耐心，從找尋電子零件的 DATA SHEET，了解每個 IC 的特性，去購買適合的 IC，測試電路，尋找相關資料，洗電路板，焊零件，到利用機械加工裝殼，每個步驟都要徹底的做好，這樣才會有足夠的能力上光學桌做實驗，不會出差錯。

1. 7 可以改進的地方

1. 這次的開根號的 IC 由於買不到 MPY100，因此選用了 AD633，以致於浪費了許多 IC 做為反向之用，可以找找看是否有更恰當的 IC 來代替 AD633。
2. 就如前面所說，預熱的穩定電壓源沒有做反向的開關，穩低溫時不穩定。
3. 用更高功率的電晶體，由於兩顆達靈頓電晶體在運作時非常的燙，會影響到本身的穩定性，可以試著嚐試更高功率的電晶體，以求穩定度。

第二章 偏振干涉儀之研究

2.1 前言

這是由我們鄭王耀老師所設計的光路，所以是否能真正 WORK 還是未知數，不過最重要的前提是要先把雷射溫度控制好，看看是否有干涉的圖形出現，在去討論如何穩頻。

2.2 簡單實驗原理說明

- i. 雷射光經 Isolator 後由分光鏡分出兩道光，一道光用來確定雷射輸出是否為 single mode。另一道光是用來穩頻雷射。
- ii. 經過 $\lambda/2$ 玻片板 (Half-Wave Plate) 的光，藉由調整玻片板的角角度，使垂直跟平行的振幅 A 和 B 相等，出來的干涉才會是最大值，這樣解析度才會大。
- iii. 接著經過 Wollston prism crystal 後會分出平行跟垂直分量的電場，再由凹面鏡將兩道光聚焦到 Wollston prism crystal 射出面，讓兩道光沿原路徑回去。
- iv. 通過 $\lambda/4$ 玻片板後，這兩道電場由於完全垂直，因此合成圓形偏振光 (circularly polarized light)，而形成一同心圓的干涉條紋，如果不是互相垂直，我們所觀測到的干涉將不是一同心圓而是平行條紋。
- v. 由 Glan-Foucault Prism 將電場再分出垂直和平行，由 Detector 去偵測其電場之強度。
- vi. 再由示波器去觀看電場強度和時間的變化且定義鑑別率為 $\frac{\Delta\omega}{4}$ ，進而回授去控制輸出的 power 來穩定頻率。
- vii. 另外一開始所分出的另一道光，經過 mode-matching lens 會聚焦在 F.B Cavity 的 beam waist，使得這道光的行進方式為一 Gaussian beam 的形式在 Cavity 裡面震盪，使雷射光能在 Cavity 裡存活下來。

viii. 由裝置在 F.B Cavity 的 PZT 來調變 F.B Cavity 的腔長，當腔長符合雷射的共振頻時，雷射光便會穿透，來確定雷射是否為 single modem。

2.3 光學儀器介紹

2.3.1 Laser 結構介紹：

利用半導體 pump Nd:YVO4，使得 Nd:YVO4 放出 1064nm 的光，然後再經過倍頻的晶體(KTP)而產生綠光雷射，再由 filter 濾掉 1064nm 的光，讓總輸出的光只有 532nm 的綠光，如圖 2-1 為其內部結構。

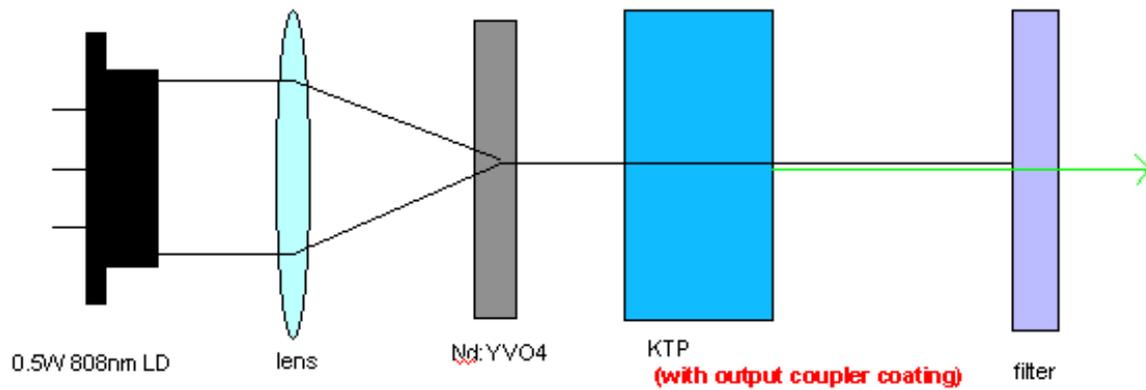


圖 2-1 Laser 結構圖

2.3.2 Half-Wave Plate and Quarter-Wave Plate :

Half-Wave Plate :

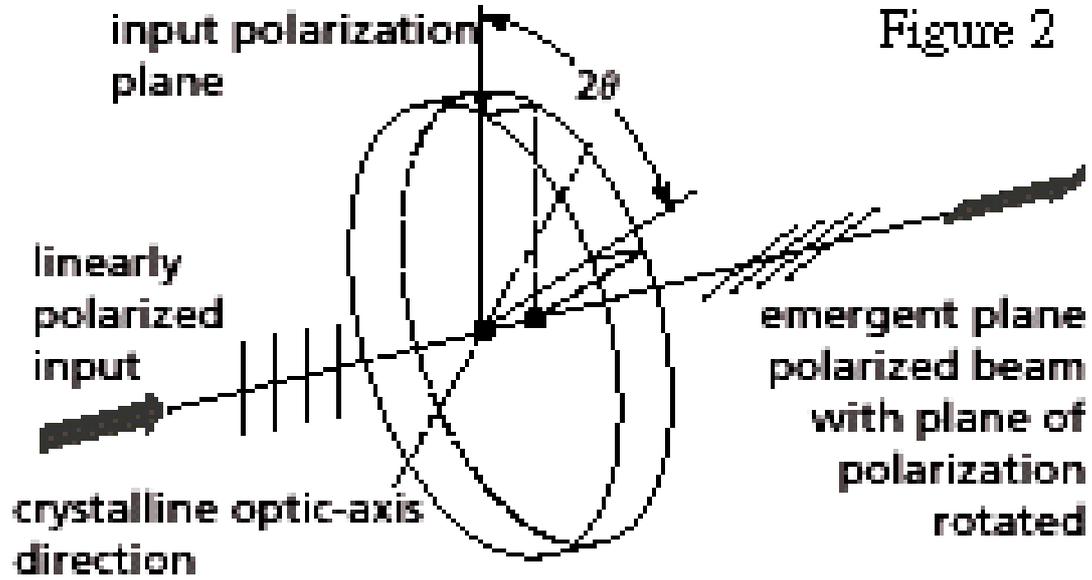


圖 2-2 Half-Wave Plate

Quarter-Wave Plate :

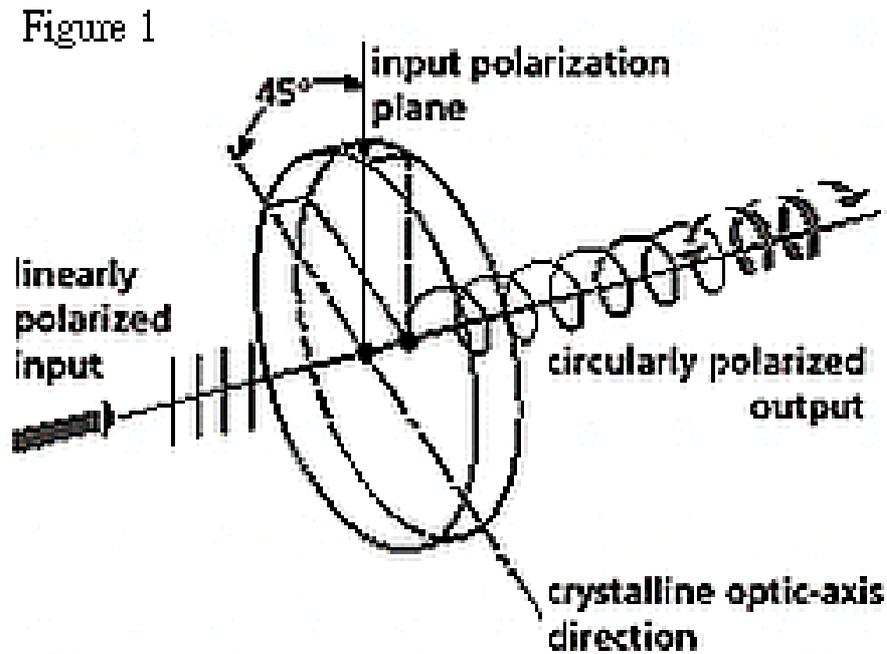


圖 2-3 Quarter-Wave Plate

玻片板是一種雙折射晶體，當平行光入射時，分解成 o-ray(ordinary ray)和 e-ray(extraordinary ray)，這兩道光傳播方向雖然不變，但是它們在玻片板內的速度 V_o ， V_e 不同，或者說波片板對於它們的折射率 $n_o=C/V_o$ ， $n_e=C/V_e$ 不同。設玻片板的厚度為 d ，則 o-ray 和 e-ray 通過玻片板時的光程也不同；

$$\text{o-ray 的光程 } L_o = n_o d$$

$$\text{e-ray 的光程 } L_e = n_e d$$

同一時刻兩光束在出射界面上的相位比入射界面上落後如下：

$$\text{o-ray } \varphi_o = \frac{\lambda}{2\pi} n_o d$$

$$\text{e-ray } \varphi_e = \frac{\lambda}{2\pi} n_e d$$

這裏 λ 是光束在真空中的波長。這樣一來，當兩光束通過玻片板後 o-ray 的相位相對於 e-ray 多延遲了；

$$\sigma \equiv \varphi_o - \varphi_e = \frac{\lambda}{2\pi} (n_o - n_e) d$$

σ 除與折射率之差 $(n_o - n_e)$ 成正比外，還與玻片板的厚度 d 成正比。適當的選擇厚度 d ，可以使兩光束之間產生任意數值相對相位延遲 σ 。實際上最常用的玻片板是 Half-Wave Plate 其厚度 d 滿足關係式 $(n_o - n_e)d = \pm \lambda/4$ ，於是 $\sigma = \pm \pi/2$ ；其次是 Quarter-Wave Plate，厚度 d 滿足關係式 $(n_o - n_e)d = \pm \lambda/2$ ，即 $\sigma = \pm \pi$ 。

2.3.3 光隔絕器

是用來隔絕反方向傳播的光束，避免光學回饋，有以下幾種方法：

i 衰減器

雷射光路中，加一穿透率 T 的衰減器，使回來進入雷射的光最多只是原輸出光的 T^2 。

ii Faraady 偏振旋轉器

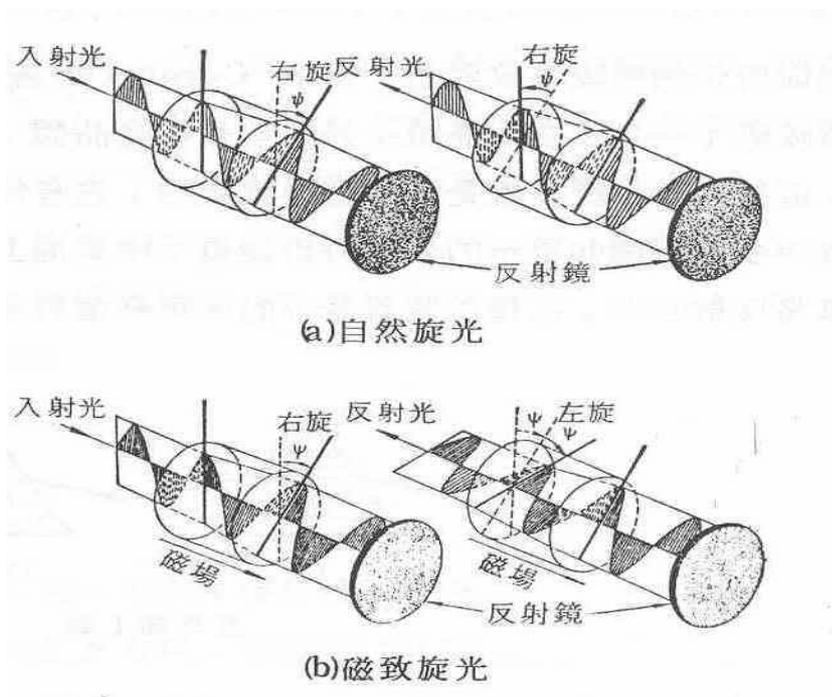


圖 2-4 Faraady 偏振旋轉器原理

當線性偏振光通過偏振旋轉器時，如果沿磁場方向傳播，振動面向右旋轉；當光束沿反方向傳播時，迎著傳播方向看去振動面將向左旋。所以如果光束由於反射一正一反兩次通過偏振旋轉器後，振動面的最終位置與初始位置比較，將轉過 2φ 的角度。

iii $\lambda/4$ 玻片板和線性偏振片

利用 $\lambda/4$ 玻片板將線性偏振光變為圓偏振光，經反射鏡反射後，又變為旋性相反的圓偏振光，再經過 $\lambda/4$ 玻片板變回與原入射成垂直的線性偏振光，如此便無法通過線性偏振片或偏振分光器。

iv 聲光調制器(Acousto-Optic Modulator, AOM)

利用 AOM 將雷射的頻率上移或下移，移開雷射的共振腔頻率。即使再有雷射光回饋回雷射共振腔內也不會干擾到雷射的共振狀況。

2.3.4 Prisms for Polarization :

可分為三種不同的三稜鏡(prism) :

- i. Wollston prism 2. Glan-Foucault Prism 3. Nicol Prism

我們這實驗所用的是 Wollston prism and Glan-Foucault Prism 兩種

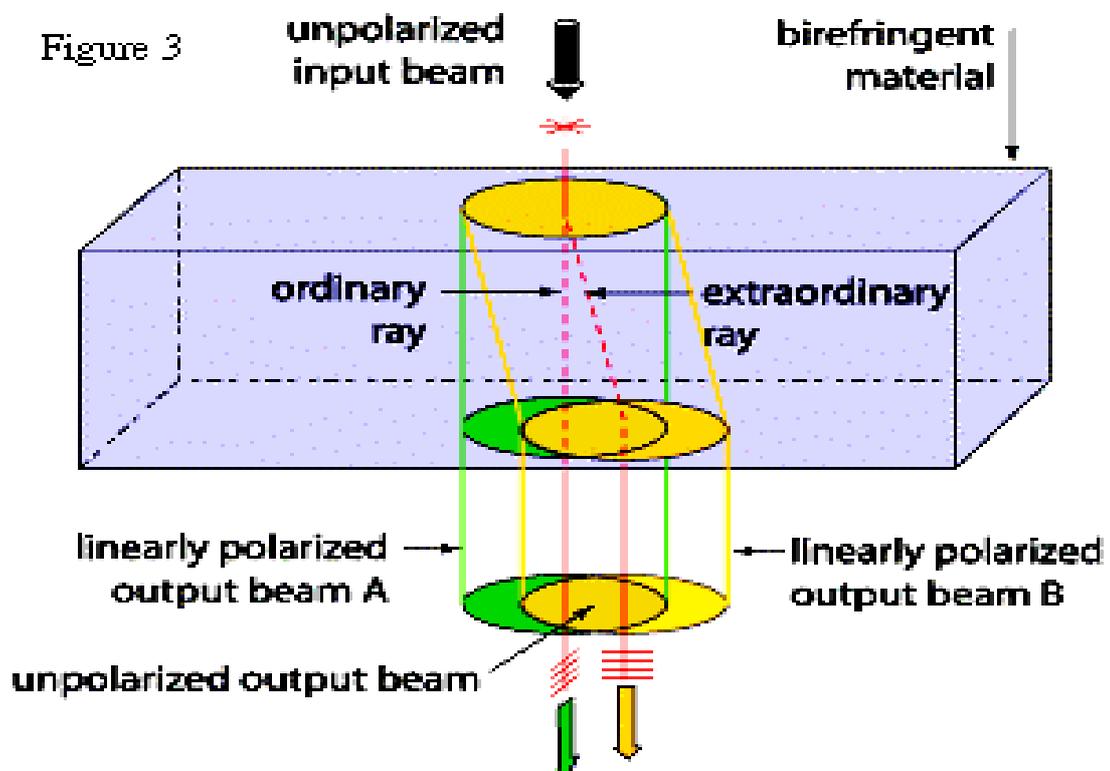


圖 2-5 Wollston prism 原理

它會將入射的單一頻(monochromatic)的光束分成兩道相反 polarized 的光，這光束傳播有著不同的方向及擁有不同的速度，在 crystal 裡將有一個或是兩個晶體光軸(optic axis)，在 crystal 的光束仍然保持在同一直線上，相同的速度是決定在 birefringent crystal 是單軸或是雙軸。如果這 crystal 的平面是平行和晶體光軸(optic axis)的方向不是在同一直線上，這道光的投影就會分成 orthogonally polarized beams. 這兩道光投影如果有 overlap 到，那這陰影部分光束會形成一 unpolarized。The rays 所指的是 extraordinary(E) and ordinary(O) rays 這些 rays 的速度會隨著方向改變，E ray 的折射率會隨方向改變而改變，O ray 則不會受影響，但 E-ray 不遵守 Snell Law 而 O-ray 則會遵守。

ii. Glan-Foucault Prism :

它是由兩個三菱鏡所做成的，沒有其他干涉材質，也就是介於它們之間只有空氣。The O-ray 會被反射，而 The E-ray 會穿透過這三菱鏡，用此原理來分開這兩道光。而 Glan - Foucault 的棱柱的優點之一是它能夠處理雷射工作的高權力密度(high power densities) (大約 100 watts/cm²) 特性。但是它為一的一個劣勢是視野小(narrow field of view)，大約 10 度。在 Glan - Thompson 的棱柱中擴大了那個視野，大約 30 度。

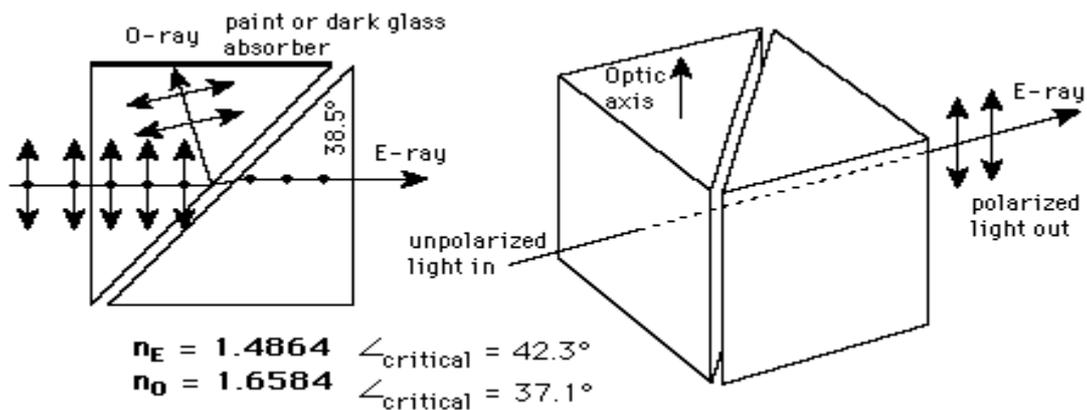


圖 2-6 Glan-Foucault Prism 原理

2.3.5 Fery Perot Cavity 介紹：

由兩面凹透鏡所組成的，這兩面凹透鏡為 98% 的反射率，2% 的穿透率，當雷射光的頻率符合 F.P Cavity 共振頻時，光便會完全穿透過去。主要是要來確定這道雷射是不為 single mode。

2.3.6 Piezoelectric Ceramic(壓電陶瓷材料)：

壓電材料可分很多種類，Disc、Disc with hole、Bar、Hollow Cylinder...等

我們這所用的是 Hollow Cylinder 一維度的伸長，他的性質是利用 HVamp 去驅動它使它長度伸縮來改變 F.P Cavity 腔長，進而可以調它的 Free spectral range

$$FSR = \frac{c}{2nd}$$

c 為光速 d 腔體的長度 n 是介質的折射率

2.3.7 Mode matching lens :

主要的功能是為了讓雷射光可以聚焦在 F.P Cavity 的 beam waist 等於零的地方，讓雷射光在 cavity 裡行成高斯光束(Gaussian beam)，而減少其能量的損失，

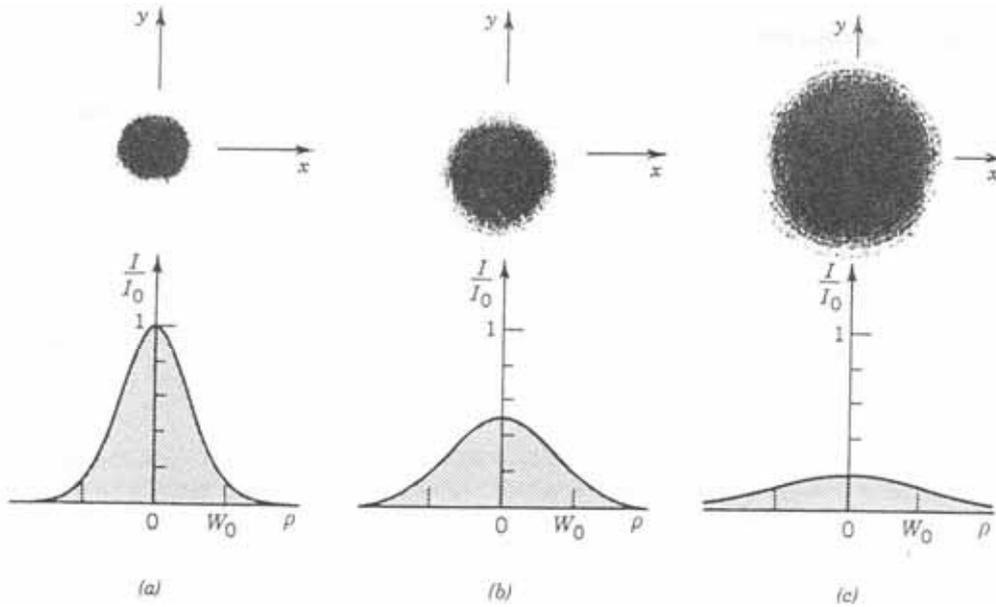


圖 2-7 The normalized beam intensity I / I_0 as a function of the radial distance ρ at different axial distances: (a) $z=0$; (b) $z=z_0$; (c) $z=2z_0$

$$I(0, z) = I_0 \left[\frac{W_0}{W(z)} \right]^2 = \frac{I_0}{1 + (z/z_0)^2}$$

參考資料

[1]光學 趙凱華、鍾錫華編著 儒林出版社 第 567 頁，第 606 頁

[2]BAHAA E. A. SALEH and MALVIN CARL TEICH ,“Fundamentals of Photonics”,page 84 Figure 3.1-1 Figure 3.1-2

[3] : GRABT R.FOWLES, “Introduction to Modern Option” P32 頁

[4] : 圖 2-5 擷取於 MELLES GRIOT 網站

<http://www.mellesgriot.com/glossary/wordlist/glossarydetails.asp?wID=195>

[5] : 圖 2-4 擷取於 MELLES GRIOT 網站

<http://www.mellesgriot.com/glossary/wordlist/glossarydetails.asp?wID=170>

[6] : 圖 2-7 擷取於 MELLES GRIOT 網站

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/polpri2.html#c1>

[7] : 圖 2-8 擷取於 HyperPhysics 網站

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/polpri.html>

[8] : ALLAN R. HAMBLEY “Electronics” Second Edition PRENTICE HALL

[9] : JILA ELECTRONICS LAB TEMPERATURE CONTROLLER CIRCUIT
DIAGRAM

		YSI Precision Temperature Group			
		2670 Indian Ripple Road			
		Dayton, Ohio 45440-3605 USA			
		937 427 1231 fax 937 427 1640			
Resistance Data for YSI Thermistors					
	Thermistor	"H"			
	Ohms @ 25 度	10,000			
攝氏	電阻值	攝氏	電阻值	攝氏	電阻值
-80	3,558,000	-51	470,100	-22	87,660
-79	3,296,000	-50	441,300	-21	83,160
-78	3,055,000	-49	414,500	-20	78,910
-77	2,833,000	-48	389,400	-19	74,910
-76	2,629,000	-47	366,000	-18	71,130
-75	2,440,000	-46	344,100	-17	67,570
-74	2,266,000	-45	323,700	-16	64,200
-73	2,106,000	-44	304,600	-15	61,020
-72	1,957,000	-43	286,700	-14	58,010
-71	1,821,000	-42	270,000	-13	55,170
-70	1,694,000	-41	254,400	-12	52,480
-69	1,577,000	-40	239,800	-11	49,940
-68	1,469,000	-39	226,000	-10	47,540
-67	1,369,000	-38	213,200	-9	45,270
-66	1,276,000	-37	201,100	-8	43,110
-65	1,190,000	-36	189,800	-7	41,070
-64	1,111,000	-35	179,200	-6	39,140
-63	1,037,000	-34	169,300	-5	37,310
-62	968,400	-33	160,000	-4	35,570
-61	904,900	-32	151,200	-3	33,930
-60	845,900	-31	143,000	-2	32,370
-59	791,100	-30	135,200	-1	30,890
-58	740,200	-29	127,900	0	29,490
-57	692,800	-28	121,100	1	28,150
-56	648,800	-27	114,600	2	26,890
-55	607,800	-26	108,600	3	25,690
-54	569,600	-25	102,900	4	24,550
-53	534,100	-24	97,490	5	23,460
-52	501,000	-23	92,430	6	22,430

攝氏	電阻值	攝氏	電阻值	攝氏	電阻值
7	21,450	46	4489	85	1255
8	20,520	47	4331	86	1218
9	19,630	48	4179	87	1183
10	18,790	49	4033	88	1149
11	17,980	50	3893	89	1116
12	17,220	51	3758	90	1084
13	16,490	52	3629	91	1053
14	15,790	53	3504	92	1023
15	15,130	54	3385	93	994.2
16	14,500	55	3270	94	966.3
17	13,900	56	3160	95	939.3
18	13,330	57	3054	96	913.2
19	12,790	58	2952	97	887.9
20	12,260	59	2854	98	863.4
21	11,770	60	2760	99	839.7
22	11,290	61	2669	100	816.8
23	10,840	62	2582	101	794.6
24	10,410	63	2497	102	773.1
25	10,000	64	2417	103	752.3
26	9605	65	2339	104	732.1
27	9227	66	2264	105	712.6
28	8867	67	2191	106	693.6
29	8523	68	2122	107	675.3
30	8194	69	2055	108	657.5
31	7880	70	1990	109	640.3
32	7579	71	1928	110	623.5
33	7291	72	1868	111	607.3
34	7016	73	1810	112	591.6
35	6752	74	1754	113	576.4
36	6500	75	1700	114	561.6
37	6258	76	1648	115	547.3
38	6026	77	1598	116	533.4
39	5805	78	1549	117	519.9
40	5592	79	1503	118	506.8
41	5389	80	1458	119	494.1
42	5193	81	1414	120	481.8
43	5006	82	1372	121	469.8
44	4827	83	1332	122	458.2
45	4655	84	1293	123	446.9

攝氏	電阻値	攝氏	電阻値	攝氏	電阻値
124	435.9	163	178.7	202	83.3
125	425.3	164	175.0	203	81.9
126	414.9	165	171.4	204	80.4
127	404.9	166	167.8	205	79.0
128	395.1	167	164.4	206	77.6
129	385.6	168	161.0	207	76.2
130	376.4	169	157.7	208	74.9
131	367.4	170	154.5	209	73.6
132	358.7	171	151.4	210	72.3
133	350.3	172	148.3	211	71.0
134	342.0	173	145.3	212	69.8
135	334.0	174	142.4	213	68.6
136	326.3	175	139.6	214	67.4
137	318.7	176	136.8	215	66.2
138	311.3	177	134.1	216	65.1
139	304.2	178	131.5	217	64.0
140	297.2	179	128.9	218	62.9
141	290.4	180	126.3	219	61.8
142	283.8	181	123.9	220	60.8
143	277.4	182	121.5	221	59.8
144	271.2	183	119.1	222	58.8
145	265.1	184	116.8	223	57.8
146	259.2	185	114.6	224	56.8
147	253.4	186	112.4	225	55.9
148	247.8	187	110.2	226	55.0
149	242.3	188	108.1	227	54.1
150	237.0	189	106.1	228	53.2
151	231.7	190	104.1	229	52.3
152	226.6	191	102.2	230	51.5
153	221.7	192	100.2	231	50.6
154	216.9	193	98.4	232	49.9
155	212.2	194	96.6	233	49.0
156	207.6	195	94.8	234	48.2
157	203.2	196	93.0	235	47.4
158	198.8	197	91.3	236	46.7
159	194.6	198	89.7	237	46.0
160	190.5	199	88.0	238	45.2
161	186.5	200	86.5	239	44.5
162	182.6	201	84.9	240	43.8

