



逢甲大學學生報告 ePaper

報告題名：

遠紅外線穿透率量測裝置

作者：張嘉珉

系級：電子四乙

學號：D9572860

開課老師：陳德請

課程名稱：奈米應用概論

開課系所：電機系

開課學年：97 學年度 第二學期



中文摘要

紅外線透鏡係使用在紅外線光譜區域，此區域人眼看不到，無法利用一般量測可見光透鏡的穿透率方法量測紅外線透鏡的穿透率，因此增加量測紅外線透鏡球面穿透率的困難度。本研究利用紅外線感測元件(Thermopile sensor)與紅外線準直光束光源進行物體穿透率的量測。本實驗使用紅外線準直光束光源、熱電堆檢知器(Thermopile)、OP 放大器與 A/D IC 及微處理器…等所組成遠紅外線穿透率量測裝置。熱電堆將熱輻射轉換成電子信號，此電子信號在被 OP 放大器放大，類比電壓信號經 A/D IC 轉換成數位再經 8051 微處理器處理結果由 LCD 顯示器顯示，以實現即時量測目的。本裝置使用紅外線準直光束大小 2mm，藍寶石光學平板 1mm，穿透率量測重覆性精度可達 5%。

關鍵字：紅外線、穿透率、熱電堆檢知器

目 次

一、前言	3
二、穿透率原理	3
三、系統架構	4
四、實驗方法與結果	8
五、結論	10
六、參考文獻	11



一、前言

近年來，隨著光電產業蓬勃發展、產值不斷提升，光學元件需求愈殷切，尤其在光學系統的輕量化、小型化與高精度化後，光學系統對光學元件加工與組裝的公差的要求更嚴謹，因此對於光學元件的檢測日益重要。有鑑於此，我們需不斷提升光學元件檢測技術，且針對業界需求開發新型量測機台。一般可見光光學元件穿透率檢測方式是採取光譜儀。至於紅外線光學元件因為係使用在不可見光區，眼睛看不到，無法利用可見光光學元件穿透率量測方法進行量測，而紅外線光學元件穿透率量測的人才相當缺乏，資源也比較少，相對提高量測困難度，而紅外線光學元件量測裝備也比較昂貴。本文所採用光電式紅外線準直光束穿透率測試裝置係針對紅外線光學元件穿透率量測所設計，這個技術係結合(1)紅外線準直光束與 thermopile sensor、(2)放大電路與 A/D IC 及(3)微處理器單元等三種技術。

二、穿透率原理

一般而言，當一個平面波碰到一個介面，在不考慮介質吸收的情況下，部份波被折射，部份被反射。而描述穿透與反射跟入射場的比值叫做 Fresnel 方程式。幾何光學中折射與反射定律，入射光束、折射光束、反射光束與界面的法線是在同一平面上。由求解麥克斯威爾方程式，並加上必要的邊界條件給出與幾何光學一樣的結果：反射角與入射角一樣，但差個正負號，而折射角依 Snell 定律而定。由入射光傳播向量、反射、折射及法線構成的平面叫做入射面，如圖 1 所示電場永遠都可以分成二個分量，一個與入射面平行，另一則是與入射面垂直。平行的分量被稱 p、 π 或者 TM (transverse magnetic) 偏振，而垂直分量被稱作 s、 σ 或 TE (transverse electric) 偏振，(s 源自德文「senkrecht」，意指正交)。如果我們註記入射角叫 θ_i ，折射角叫 θ_t ，而反射光振幅與入射光振幅比值叫做 r ，透射(折射)光振幅與入射光振幅比值 t ，則 Fresnel 方程式如下：

$$\text{TE: } r_{\perp} = \frac{\cos \theta - \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} = -\frac{\sin(\theta_i - \theta_t)}{\sin(\theta_i + \theta_t)} \quad (1)$$

$$\text{TM: } r_{\parallel} = \frac{n^2 \cos \theta - \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}{n^2 \cos \theta + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} = \frac{\tan(\theta_i - \theta_t)}{\tan(\theta_i + \theta_t)} \quad (2)$$

$$\text{TE: } t_{\perp} = \frac{2 \cos \theta}{\cos \theta + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} = \frac{2 \sin \theta_t \cos \theta_i}{\sin(\theta_i + \theta_t)} \quad (3)$$

$$\text{TM: } t_{\parallel} = \frac{2n \cos \theta}{n^2 \cos \theta + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} = \frac{2 \sin \theta_t \cos \theta_i}{\sin(\theta_i + \theta_t) \cos(\theta_i - \theta_t)} \quad (4)$$

在方程 (1) ~ (4) 中，n 是入射光所在介質的折射率，n' 是折射光所在介質的折射率。另外我們假設介質的磁導率 μ (permeability) 與真空中一樣 ($\mu = \mu' = \mu_0$)。反射率 R (在反射光束裡所含的入射光強度) 是由振幅反射係數 r 的平方所給定，

其形如下：

$$R_s = r_s r_s^* , R_p = r_p r_p^* \quad (5)$$

可以證得

$$|r_s|^2 + |t_s|^2 = 1 , |r_p|^2 + |t_p|^2 = 1 \quad (6)$$

式(6)可以解釋成光在二介電物質的界面上能量是守恆的。一般而言，s 跟 p 偏振反射率是不一樣的，只有在正向入射時，反射率才會一樣，亦即：

$$R_{s,normal} = R_{p,normal} = \left[\frac{n - n'}{n + n'} \right]^2 \quad (7)$$

考慮典型空氣、玻璃介面 ($n=1.0, n'=1.5$)，式(7)告訴我們一個熟知的結果：一個未鍍膜的玻璃反射光介面有 4% 反射損光。每個光束的入射電場在一介面會被分成 s 和 p 的分量。之後，Fresnel 方程式會用來計算透射場的振幅。而每個光束的 s 與 p 方向是由光束方向及法線向量來決定。通常在面上的每個光束都會不同。所以對一個非平面波入射在非平面上整個 s 及 p 方向，通常不容易定出。

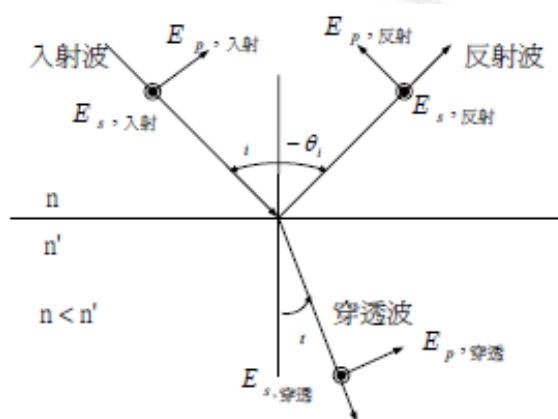


圖 1 反射、折射及法線構成的平面

三、系統架構

本系統光電感測單元與一般可見光光電感測單元架構相似，最大差別是 IR 準直光源使用 thin film IR emitter 與檢知器係採用熱型檢知器(thermo detector)。圖 2 所示為遠紅外線光學元件穿透率量測系統裝置示意圖，由(1)紅外線準直光束與 thermopile sensor、(2)放大電路與 A/D IC 及(3)微處理器圖所組成。圖 3(a)所示為 IR emitter 外觀圖(IR-55)，圖 3(b)所示為 IR emitter 配上拋物面鏡形成準直系統外觀圖，圖 3(c)所示為 IR 準直光源外觀尺寸圖(IR-55)，圖 3(d)所示為 IR 光源調制特性圖。

遠紅外線穿透率量測裝置

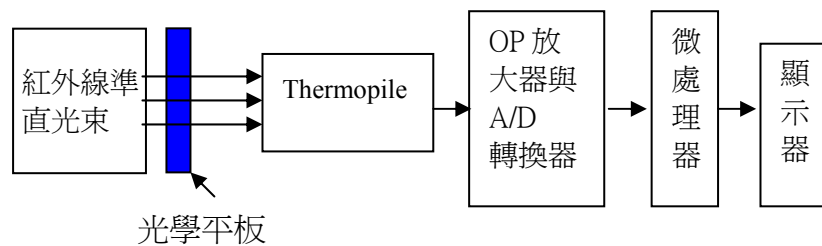


圖 2 遠紅外線光學元件穿透率量測系統裝置示意圖



圖 3(a) A 1 W thin film infra red source 外觀圖(IR-55)



圖 3(b) IR 熱源加上拋物面反射鏡

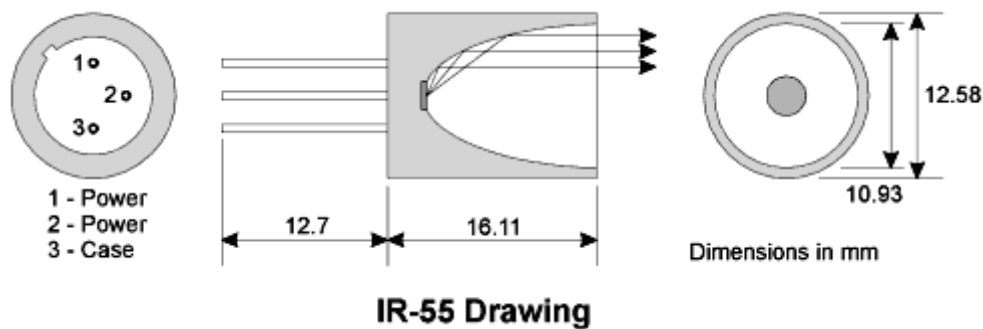


圖 3(c) IR 準直光源外觀尺寸圖

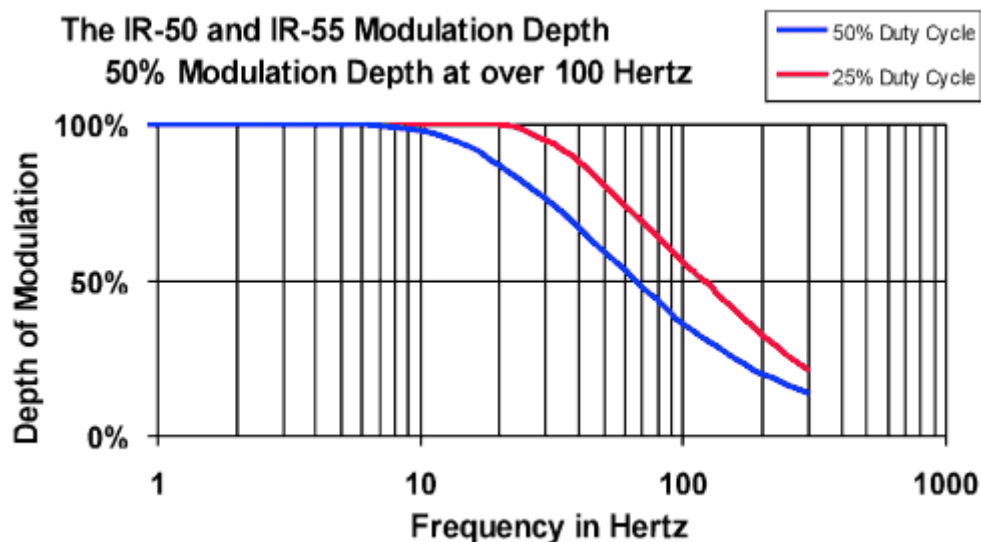
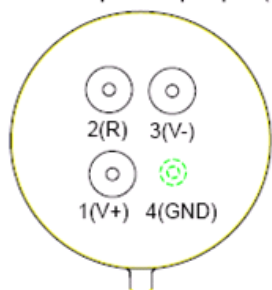


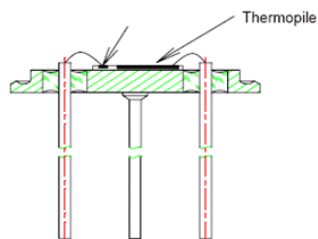
圖 3(d) IR 光源調制特性

IR-55 有效發射面積 2.25 mm^2 ($1.5 \times 1.5 \text{ mm}$) 需擴束為外徑 30mm，調制頻率最高達 100Hz，使用 TO-5 包裝，工作溫度 $500^\circ\text{C} \sim 750^\circ\text{C}$ ，壽命約三年。本研究使用熱型檢知器的熱電堆係由 116 個小型熱感測單元所組成，小型熱感測單元直徑大小為 $545 \mu\text{m}$ ，用金屬殼封裝，熱電堆檢知器單元(thermopile)前有一 $5 \mu\text{m} \sim 12 \mu\text{m}$ 的寬頻光譜視窗濾光片，其外型如圖 4 所示。

- 1 thermopile output pin (+)
- 3 thermopile output pin (-)



(a)底視圖



(b)側視圖



(c) thermopile 實體圖

圖4 熱電堆感測器外觀圖

熱電堆檢知器光電參數特性如表 1 所列，輸出電壓與輸入溫度特性如圖 5 所示，圖 5 中 A 與 E 為不同光譜特性的濾光片。表 2 所列為一般紅外線光學材料光學特性表。因為紅外線信號非常弱，thermopile 之後需使用低雜訊的高放大倍率的 OP 放大器放大。為提高系統解析度 OP 放大器之後使用 13 Bit 的 A/D converter 轉換成數位信號，此數位信號在經微處理器處理。

表1 光電參數特性表

Parameter	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Thermopile					
Number of thermojunctions		---	116	---	
Chip size		---	1740*1740	---	μm^2
Active region size	Interference layer	---	Diameter 545	---	μm
Thickness of substrate	Silicon-substrate	600	625	650	μm
Resistance of thermopile	25 \square	50	65	80	K Ω
Sensitivity	With 5-14 μm filter	70	85	100	V/W
Detecctivity		1.0×10^8	1.3×10^8	1.7×10^8	$\text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} / \text{W}$
Time constant		---	16	---	ms
Noise voltage		28	32	36	$\text{nV}/\text{Hz}^{1/2}$
NEP		0.28	0.36	0.48	$\text{nW}/\text{Hz}^{1/2}$
Temperature range	Operation	-20	---	100	\square

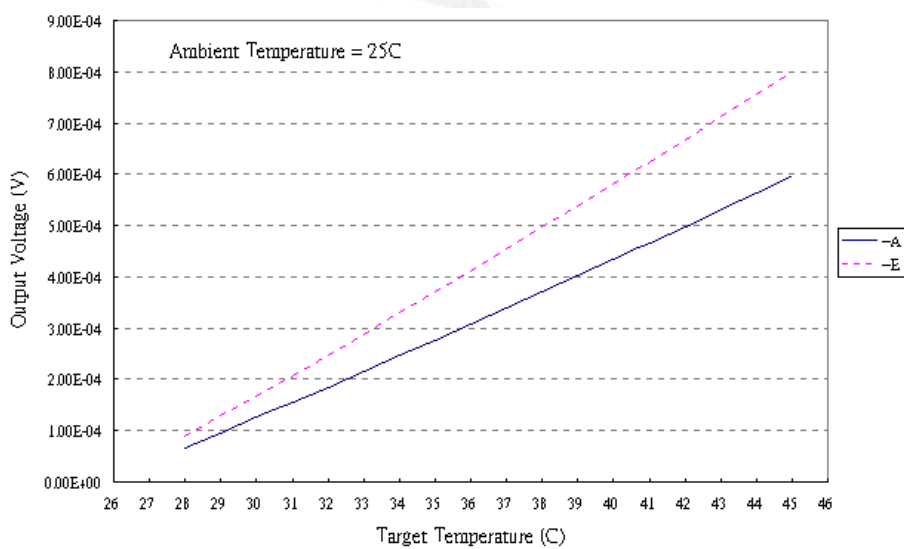


圖5 輸入與輸出特性圖

表2 紅外線材料光學特性表

Material	spectral range (μm)	Index of refraction		dn/dT ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
		$\lambda = 4\mu\text{m}$	$\lambda = 10\mu\text{m}$	
Germanium (Ge)	2.0 - 17.0	4.0242	4.00030	396
Silicon	1.2 - 9.0	3.4290	N/A	160
Gallium Arsenide (GaAs)	0.9 - 16.0	3.3246	3.295217	148
GASIR	1.0 - 14.0	2.5116	2.495974	55
AMTIR 1	0.7 - 14.0	2.5106	2.495324	72
AMTIR 3	3.0 - 14.0	2.6210	2.6023	56
Zinc Selenide (ZnSe)	0.55 - 20.0	2.4331	2.406523	60
Arsenic Trisulfide (As_2S_3)	0.65 - 8.0	2.4112	2.381624	-8.6
Thallium Bromiodide (KRS5)	0.6 - 40.0	2.3834	2.372015	-240
Zinc Sulfide (ZnS)	0.37 - 14.0	2.2518	2.200164	54
Sapphire	0.17 - 5.0	1.6752	N/A	13
Barium Fluoride (BaF_2)	0.15 - 12.5	1.4558	1.40140	-15
Calcium Fluoride (CaF_2)	0.13 - 12.0	1.4096	1.30020	-11
Fused Silica (SiO_2)	0.17 - 3.3	1.388831*	N/A	11

四、實驗方法與結果

本實驗所使用元件與裝置詳述如下：

- (1)測試物品：藍寶石、矽、壓克力等三種光學平板，藍寶石與矽穿透率光譜圖如圖 6 及圖 7 所示。
- (2)精密鏡片夾具：要求垂直度與平行度。
- (3)遠紅外線光學元件穿透率量測系統。
- (4)實驗方法
 - a.確認遠紅外線光學元件穿透率量測系統在最佳運作狀況。
 - b Alignment 紅外線準直光束與 Thermopile 在同一水平面及同一光軸，使 Thermopile 輸出信號最大。
 - c.將藍寶石光學平板置於遠紅外線光學元件穿透率量測系統裝置中。
 - d.調整藍寶石光學平板垂直於紅外線準直光束，使 Thermopile 接受到穿透信號最大
 - e.改變遠紅外線光源強弱，量取不同穿透信號。
 - f.進行藍寶石光學平板穿透率分析。

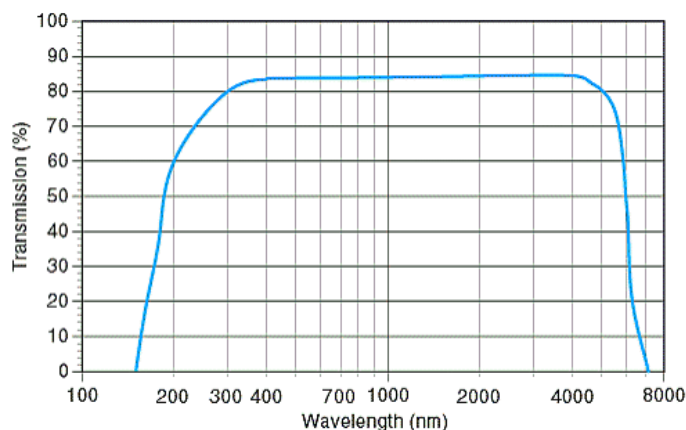


圖 6 藍寶石穿透率光譜圖

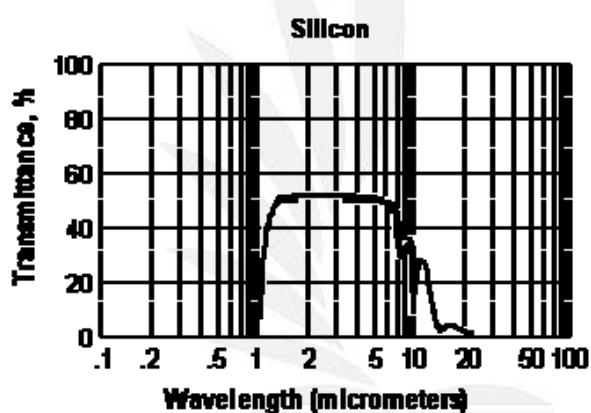


圖 7 矽穿透率光譜圖

(5)實驗結果

藍寶石、矽與壓克力等三種光學平板量測結果如表 3 所列，穿透率大小為矽 > 藍寶石 > 壓克力。紅外線幾乎不穿透壓克力，矽與藍寶石穿透率量測結果與原廠提供資料一致。

表 3 穿透率量測數據(環境溫度 25°C)

光源距離(cm)	無待測物	藍寶石	矽	壓克力
7	3.52 V	1.45 V	3.26 V	1.34 V
8	2.75 V	1.42 V	2.68 V	1.36 V
9	2.34 V	1.39 V	2.20 V	1.37 V
10	2.15 V	1.36 V	2.01 V	1.38 V
11	2.00 V	1.34 V	2.84 V	1.37 V
12	1.89 V	1.32 V	1.75 V	1.37 V
備註	無光源 Thermopile 輸出 1.36V±0.1V			

五、結論

本研究利用紅外線感測元件(Thermopile sensor)與紅外線準直光束光源進行物體穿透率的量測。本實驗使用紅外線準直光束光源、熱電堆檢知器(Thermopile)、OP 放大器與 A/D IC 及微處理器…等所組成遠紅外線穿透率量測裝置。熱電堆將熱輻射轉換成電子信號,此電子信號在被 OP 放大器放大,類比電壓信號經 A/D IC 轉換成數位再經 8051 微處理器處理結果由 LCD 顯示器顯示,以實現即時量測目的。本裝置使用紅外線準直光束大小 2mm,藍寶石光學平板 1mm,穿透率量測重覆性精度可達 5%。



六、參考文獻

1. Smith ,Warren J., Modern Lens Design, McGraw Hill, N.Y., 1992.
2. <http://www.escoproducts.com/html/sapphire.html>
3. <http://www.alkor.net/Silicon.html>
4. http://www.analog.com/zh/technical-library/technical-articles/design-center/technical-articles/Using_Thermopile_Sensor_in_IR_Digital_Thermometers/resources/fca.html

