

利用波長可調雷射量測 $\lambda/2$ 波片的拍頻長度

Fang-Wen Sheu^{a,b} (許芳文) and Shu-Chun Yang^a (楊舒淳)

^aDepartment of Applied Physics, National Chiayi University, Chiayi 60004, Taiwan

^bGraduate Institute of Optoelectronics and Solid State Electronics, National Chiayi University, Chiayi 60004, Taiwan

(國立嘉義大學 ^a應用物理學系, ^b光電暨固態電子研究所)

Telephone: 05-2717993; Fax: 05-2717909; E-mail: fwsheu@mail.ncyu.edu.tw

(NSC-95-2815-C-415-003-M)

摘要 --- $\lambda/2$ 波片的光學特性有許多種,在此我們想要深入探討 $\lambda/2$ 波片的拍頻長度,我們利用兩個垂直偏振模態相位差與波長之間的關係來求得其拍頻長度。將線性偏振光源輸入 $\lambda/2$ 波片,其線性偏振角度與 $\lambda/2$ 波片主軸呈 45° ,一般來說,在 $\lambda/2$ 波片輸出端將成為橢圓偏振光,而橢圓長短主軸與 $\lambda/2$ 波片特徵主軸將會差 45° 。接著在 $\lambda/2$ 波片後面放置一個檢偏片,然後用光功率計量測各種角度下穿透光的強度,兩個 $\lambda/2$ 波片主軸偏振模態的相位差與其最大和最小光強度有一關係式,我們藉由實驗量得最大和最小光強度,即可求得在 $\lambda/2$ 波片輸出端兩個模態之間的相位差。當輸入光波長改變,兩個模態之間的相位差會呈線性變化,若將相位差對波長作圖,其斜率會與拍頻長度有關,藉由此方法即可求得 $\lambda/2$ 波片之拍頻長度,並探討其光學特性。

關鍵字 --- 拍頻長度 (beat length)、波長可調雷射 (wavelength tunable laser)、波片 (wave plate)

1. 利用波長可調雷射量測拍頻長度之原理

將線性偏振光源輸入具有雙折射特性物質,如果其線性偏振光角度與雙折射主軸呈 45° ,一般來說,在雙折射物質輸出端將成為橢圓偏振光,而橢圓長短主軸與雙折射特徵主軸將會差 45° 。接著在雙折射物質後面放置一個檢偏片 (Analyzer),然後用光功率計 (optical power meter) 量測檢偏片在各種旋轉角度下穿透光的強度,橢圓兩個主軸偏振模態的相位差與最大和最小光強度 I_a 和 I_b 的關係式可寫成 $\sin\phi = \pm \frac{2\sqrt{I_a I_b}}{I_a + I_b}$, 我們藉由實驗得到 I_a 和 I_b , 即可求得 ϕ 。在雙折射

物質輸出端兩個模態之間的相位差又可寫為 $\phi = \ell \Delta\beta$, 其中 $\Delta\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta n$ 為兩個模態的傳遞常

數差, ℓ 為光通過雙折射物質的寬度。利用波長可調雷射,輸入光源波長 λ 有 $\Delta\lambda$ 的微調,則

$\Delta\phi = \ell \Delta\lambda \frac{d(\Delta\beta)}{d\lambda} = \ell \Delta\lambda \left(-\frac{2\pi}{\lambda^2} \Delta n\right) = \ell \Delta\lambda \left(-\frac{\Delta\beta}{\lambda}\right) = -\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \ell \Delta\beta$, 將拍頻長度 $L_B = \frac{2\pi}{\Delta\beta}$ 的定

義代入得 $\frac{\Delta\phi}{\Delta\lambda} = -\frac{1}{\lambda} \frac{2\pi \ell}{L_B}$, 並且把先後求得的 ϕ 對 λ 做圖[1], 求出其直線斜率即可得到拍頻

長度 L_B 。

2. $\lambda/2$ 波片拍頻長度理論值的推導過程

2.1 $\lambda/2$ 波片階數及相關探討

$\lambda/2$ 波片相位延遲(phase retardation) $\Gamma = (n_e - n_o) \frac{2\pi}{\lambda_0} \ell = \pi + 2m\pi$, 我所使用的波片材質為石英, 其 $n_e = 1.5518$ 、 $n_o = 1.5427$ [2], 適用波長 $\lambda_0 = 633\text{nm}$, 利用游標卡尺量測波片厚度 $\ell = 0.4\text{mm}$,

代入可求得 $m = 5.25 \approx 5$ 。

此 $\lambda/2$ 波片階數為 $m = 5$ ，則有兩個需要探討的地方。(1) 假設文獻給的 n_e 及 n_o 為準確的，將 $m = 5$ 和 $\Delta n = 0.0091$ 代入相位延遲公式可得波片厚度 ℓ 精確值為 0.3826 mm ，即游標卡尺無法測量的精密度；(2) 假設游標卡尺量測波片厚度為正確的，將 $m = 5$ 和 $\ell = 0.4 \text{ mm}$ 代入相位延遲公式可得 Δn 精確值為 0.00870375 。

2.2 $\lambda/2$ 波片拍頻長度理論值

由 2.1 探討可知拍頻長度理論值分為兩種情況下討論。第一種情況假設文獻給的 $\Delta n = 0.0091$ 為準確的，拍頻長度定義 $L_B = \frac{2\pi}{\Delta\beta}$ ，將 $\Delta\beta = \frac{2\pi}{\lambda_c} \cdot \Delta n$ 代入 L_B ，則 $L_B = \frac{\lambda_c}{\Delta n}$ ，實驗的雷射光

中心波長 $\lambda_c = 655.45 \text{ nm}$ ，因此拍頻長度理論值 $L_B = \frac{656.45 \text{ nm}}{0.0091} = 72.0276 \mu\text{m}$ 。

第二種情況假設游標卡尺量測波片厚度 0.4 mm 為正確的， $\lambda/2$ 波片相位延遲

$$\Gamma = \Delta n \frac{2\pi}{\lambda_0} \ell = \pi + 2m\pi, \text{ 則 } \Delta n = \frac{(m + \frac{1}{2})\lambda_0}{\ell} \text{ 並代入 } L_B = \frac{\lambda_c}{\Delta n} \text{ 可得 } L_B = \frac{\ell}{(m + \frac{1}{2}) \frac{\lambda_0}{\lambda_c}}, \text{ 因此拍}$$

$$\text{頻長度理論值 } L_B = \frac{0.4 \text{ mm}}{(5 + \frac{1}{2}) \frac{633 \text{ nm}}{655.45 \text{ nm}}} = 75.31 \mu\text{m}。$$

3. 實驗系統與步驟

圖 1 為我們實驗系統架構圖，波長可調雷射光源為 AlGaInP 二極體雷射，藉由控制不同溫度，中心波長會漂移（如圖二所示）。雷射光經由反射鏡調整其水平準直度，再經過分光鏡分成兩道光，其中一道光利用準直物鏡聚焦至豬尾巴光纖（pigtail fiber），接到光譜儀（optical spectrum analyzer）量測雷射光的中心波長；另外一道光輸入 $\lambda/2$ 波片，二極體雷射光為線性偏振光，我們調整其線性偏振角度與 $\lambda/2$ 波片主軸呈 45° ，一般來說在波片輸出端將成為橢圓偏振光，檢偏片和光功率計用來量測最大和最小穿透光強度 I_a 和 I_b 。接著再調整不同雷射光源波長，反覆做實驗。

我們由實驗獲得許多波長下的最大和最小穿透光強度 I_a 和 I_b 並代入 $\sin\phi = \pm \frac{2\sqrt{I_a I_b}}{I_a + I_b}$ ，可求得

在不同波長下的垂直偏振模態相位差 ϕ ，即可對 ϕ 和 λ 做圖，求出其直線斜率。再將波片厚度 ℓ 與中心波長 λ 代入 $\frac{\Delta\phi}{\Delta\lambda} = -\frac{1}{\lambda} \frac{2\pi\ell}{L_B}$ ，便可求得拍頻長度 L_B 。

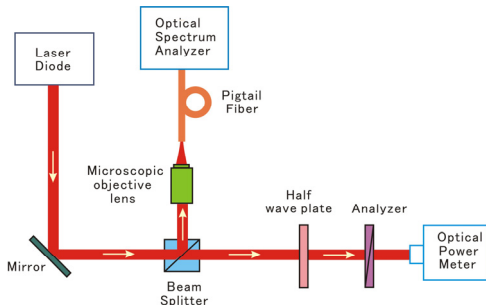


圖 1 $\lambda/2$ 波片拍頻長度實驗系統架構圖

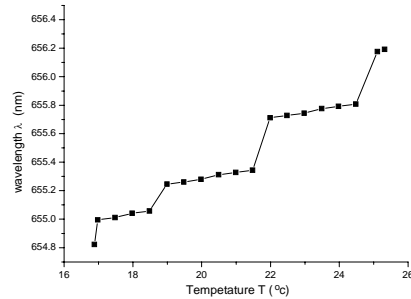


圖 2 雷射二極體 λ -T 特性曲線圖

4. $\lambda/2$ 波片拍頻長度實驗結果與分析討論

圖 3 為相位差 ϕ 對波長 λ 的關係圖，黑色點為我們實驗量測的結果，紅色直線為利用 Origin

軟體 linearfitting 量測數據的結果，其最佳直線斜率 $\frac{\Delta\phi}{\Delta\lambda} = -2.91979 \text{ }^\circ/\text{nm}$ 。實驗結果沒有完全

落在斜直線上，其誤差原因可能為使用的波長可調雷射為二極體雷射，當二極體雷射利用溫度控制來調整波長時，會因熱擾動而有不穩定所造成的。

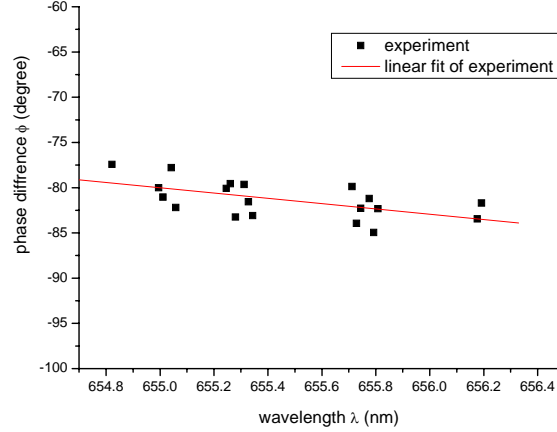


圖 3 相位差對波長的關係

由 2.1 節可知此實驗分為兩種情況來討論，第一種情況假設文獻給的 $\Delta n = 0.0091$ 為準確的，則可知波片厚度 ℓ 為 0.3826 mm ，並將 $\frac{\Delta\phi}{\Delta\lambda} = -2.91979 \text{ }^\circ/\text{nm}$ 、中心波長 $\lambda_c = 655.45 \text{ nm}$ 代入

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta\lambda} = -\frac{1}{\lambda} \frac{2\pi\ell}{L_B}$$

，可得此種情況下拍頻長度實驗結果 $L_B = 71.97 \text{ }\mu\text{m}$ 。由 2.2 節可知其理論值為

$72.0276 \text{ }\mu\text{m}$ ，誤差百分率為 0.079% 。

第二種情況假設游標卡尺量測波片厚度 $\ell = 0.4 \text{ mm}$ 為正確的，並將 $\frac{\Delta\phi}{\Delta\lambda} = -2.91979 \text{ }^\circ/\text{nm}$ 、中心波長 $\lambda_c = 655.45 \text{ nm}$ 代入 $\frac{\Delta\phi}{\Delta\lambda} = -\frac{1}{\lambda} \frac{2\pi\ell}{L_B}$ ，可得此種情況下拍頻長度實驗結果 $L_B = 75.24 \text{ }\mu\text{m}$ 。由 2.2 節可知其理論值為 $75.31 \text{ }\mu\text{m}$ ，誤差百分率為 0.084% 。

第一種情況假設 $\Delta n = 0.0091$ 為正確時的實驗結果較另一種情況準確一些，因此 $\lambda/2$ 正確厚度應修正為 0.3826 mm ，拍頻長度實驗結果為 $L_B = 71.97 \text{ }\mu\text{m}$ ，其理論值為 $72.0276 \text{ }\mu\text{m}$ ，誤差百分率為 0.079% 。些許誤差原因可能為利用溫度調變時雷射波長會有所擾動、溫度取樣數據取太少以及光強度量測上的疏失等等。

5. 結論

我們利用波長可調雷射準確量測出石英材質的 $633\text{-nm } \lambda/2$ 波片在 655 nm 的拍頻長度 $L_B = 71.97 \text{ }\mu\text{m}$ ，另外，並得知 $\lambda/2$ 波片的正確厚度為 0.3826 mm 。藉由此方法，可量測任何具有雙折射性質的樣品，並得知其光學特性。

參考文獻

- [1] K. Kikuchi and T. Okoshi, "Wavelength-sweeping technique for measuring the beat length of linearly birefringent optical fibers", *Opt. Lett.* **8**, 122 (1983).
- [2] Optics Guide, CASIX co. (1995) p. 1 [$n_e = 1.5518$ 、 $n_o = 1.5427$ (633 nm)].