

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

以干涉相位測量法探討對掌物質的特性及其相關應用(1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2215-E-009-052-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學光電工程研究所

計畫主持人：蘇德欽

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 17 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫期中報告
以干涉相位測量法探討對掌物質的特性及其相關應用
Studies on the characteristics of chiral materials with interferometric
phase measurement techniques and associated applications

計畫編號：NSC92-2215-E-009-052

執行期限：92年08月01日至95年07月31日

主持人：蘇德欽 國立交通大學 光電工程研究所

E-mail：t7503@faculty.nctu.edu.tw

中文摘要

本計畫是讓一線性偏極光在半球玻璃與對掌性溶液之間的介面反射，反射光經過一方位角在特定方向的檢偏板後干涉。反射光 s-與 p-偏極之間的相位差可以被外差干涉術精確測出。將所測得之值代入推導的方程式中，即可求出對掌性參數。此外，由於當入射角接近臨界角時，相位差會發生急遽變化，根據此特性將此訂為臨界角，並將平均折射率求出。本方法有共光程干涉術與外差干涉術的優點。

關鍵字：對掌性物質、旋轉性、外差干涉儀。

英文摘要

A linearly polarized light is incident at an appropriate angle on the interface between a glass hemisphere and a chiral liquid. The reflected light passes through an analyzer with the transmission axis at an appropriate angle and this analyzer extracts the necessary polarizing components to interfere. Then the phase difference between s- and p-polarizations is measured accurately with the heterodyne interferometry. Substituting this data into the specially derived equations, the chiral parameter can be estimated. In addition, this phase difference changes rapidly as the incident angle is approaching to the critical

angle, and the critical angle can be determined based on this phenomenon. Consequently, the average refractive index can be calculated. This method needs only a little quantity of chiral liquid for the measurement. In addition, it has both merits of the common-path interferometry and the heterodyne interferometry.

Key words: Chiral medium, gyrotropy, heterodyne interferometry.

一、緒論

測量對掌性物質的旋轉性(gyrotropy)可以知道其分子的量子構造及幾何組態的相關資訊[1]。此外，測量對掌性物質的旋轉性也可應用到生物及醫學方面，如對掌性液體濃度的分析、人體血糖的檢測、DNA 結構的分析及製造藥品等方面[2-4]。一般測量對掌性物質的旋轉性方法為穿透式的偏極計[5]，但是這種方法的缺點是所需的對掌性物質的量較多，且當對掌性液體存在懸浮物質時，光穿透之中容易造成光的偏折及散射進而引進誤差。有鑑於此，本計畫中，提出在臨界角附近以反射式方式並結合外差干涉術來測量旋轉參數。反射式的優點是可避免傳統穿透式測量法中光在懸浮物質中因光散射及光程的偏折而產生誤差，並且反射式方法只需少量待測物及可測量不透光的對掌性物質。此

外，由於本架構是共光程，所以系統較為穩定，並可做及時量測。

二、原理

本光學架構如 Fig.1(a)所示，一水平偏振之線性偏振光分別經過快軸與水平方向成 θ_h 、 θ_e 及 θ_q 的半波片 H、電光晶體 EO 及四分之一波片 Q；此時有一來自 driver (信號產生器 FG) 的鋸齒波電壓信號(角頻率為 ω ，振幅為半波電壓，大小為 $V_{\lambda/2}$) 加在 EO 上，此光線再經過一個折射率為 n_0 的玻璃半球，並以入射角 θ 入射至緊靠在半球之平面的對掌性物質(此對掌性物質的折射率為 $n_{\pm} = n \pm g$ ， n_+ 、 n_- 為左右圓偏極折射率， n 為平均折射率， g 為旋轉參數。)，反射光再經半球及穿透軸與水平方向成 α 角的檢偏板 AN，而進入光偵測器 D_t 中，此時的振幅為 E_t ，則所得的信號為測試信號 I_t ， $I_t = |E_t|^2$ 。

為了明白起見，當我們測量平均折射率及旋轉參數時，分別在相關符號加入下標 1 及 2。

2.1 平均折射率的量測[6]:

在 $\theta_h = 0^\circ$ 、 $\theta_e = 45^\circ$ 及 $\theta_q = 0^\circ$ 的條件下，在光偵測器 D_t 所接收之測試信號強度為:

$$I_{t1} = \frac{1}{2} t_0^2 t_0'^2 (I_0^2 + |r_{12}|^2) + \frac{1}{2} t_0^2 t_0'^2 I_1 \cos(\omega t + \phi_1), \quad (1)$$

其中

$$I_1 = I_0^2 - |r_{12}|^4 - 2I_0 |r_{12}|^2 (\cos\beta \cos 2\alpha + \sin\beta \sin 2\alpha), \quad (2)$$

$$I_0 = (r_{11}^2 \cos^2 \alpha + r_{22}^2 \sin^2 \alpha) / 2, \quad (3)$$

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{2 \sin \alpha \cos \alpha \cdot r_{11} r_{22}}{r_{11}^2 \cos^2 \alpha - r_{22}^2 \sin^2 \alpha} \right), \quad (4)$$

$$\phi_1 = \tan^{-1} \left(\frac{I_0 \sin \beta - |r_{12}|^2 \cos 2\alpha}{I_0 \cos \beta - |r_{12}|^2 \cos 2\alpha} \right), \quad (5)$$

且

$$r_{11} \equiv \left[\left(\frac{n}{n_0} \right)^2 \cos \theta - q_1 \right] / \left[\left(\frac{n}{n_0} \right)^2 \cos \theta + q_1 \right], \quad (6)$$

$$r_{22} \equiv (\cos \theta - q_1) / (\cos \theta + q_1), \quad (7)$$

$$r_{12} = -r_{21} = \frac{i \left[\left(\frac{n}{n_0} \right)^2 (z_+ - z_-) \cos \theta \right]}{\left[(\cos \theta + q_1) \left\{ \left(\frac{n}{n_0} \right)^2 \cos \theta + q_1 \right\} \right]}, \quad (8)$$

$$q_1 = \left[\left(\frac{n}{n_0} \right)^2 - \sin^2 \theta \right]^{1/2}, \quad (9)$$

$$z_+ - z_- \equiv 2n_0 g \sin^2 \theta / n^2 q_1. \quad (10)$$

另一方面，由信號產生器 FG 所產生的信號經過濾波後，當作參考信號。因此參考信號具有下面之形式:

$$I_r = I [1 + \cos(\omega t + \phi_r)], \quad (11)$$

其中 ϕ_r 為初始相位；將參考信號與測試信號送入鎖相放大器，則可得相位差為:

$$\phi_1' = \phi_1 - \phi_r. \quad (12)$$

接著讓測試光如 Fig.1(b)所示，不經待測物反射，直接經過 AN 而進入光偵測器 D_t 中，此時測試光信號如(1)式的形式，但其中 $\phi_1 = 0$ ，因此在 Fig.1(b)中相位計所測得的相位差為 $-\phi_r$ ，將此值代入(12)式中即可得相位差 ϕ_1 。

因為一般旋轉參數 $g \ll n$ ，所以 $r_{12} \approx 0$ ，

$r_{11} \approx r_p$ ， $r_{22} \approx r_s$ ，因此(5)式可簡化成:

$$\phi_1 = \tan^{-1} \left(\frac{(\sin^2 \theta - n^2 \cos^2 \theta) \sin 2\alpha}{(2 \sin^4 \theta - \sin^2 \theta + n^2 \cos^2 \theta) \cos 2\alpha - 2 \sin^2 \theta \cos \theta \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} \right). \quad (13)$$

由(13)式可知，只要在已知的入射角下，可以藉由鎖相放大器測得相位差 ϕ_1 值，進而求得平均折射率 n 值。

2.2 旋轉參數與相位差關係:

在 Fig.1(a)的裝置中取下 Q 並且使 $\theta_e = 0^\circ$

及 $\theta_h = \psi/2$ ，則在光偵測器 D_t 所得到的強度

為:

$$I_{t2} = |E_{t2}|^2 = A^2 + B^2 + 2AB\cos(\alpha + \phi_2), \quad (14)$$

其中相位差:

$$\phi_2 \equiv -\tan^{-1} \left[\frac{2 \left(\frac{n}{n_0} \right)^2 n_0 g \sin^2 \theta \cos \theta / n^2 q_1}{\left((\cos \theta + q_1) \left\{ \left(\frac{n}{n_0} \right)^2 \cos \theta - q_1 \right\} \right)} \tan \alpha \right], \quad (15)$$

由上式可知，將入射角接近臨界角，並且調整檢偏板接近 90 度，如此可將相位差 ϕ_2 放大變得較容易測量。將所測得之相位差 ϕ_2 及平均折射率 n 代入(15)式，即可求得旋轉參數 g 。

三、實驗與結果

本實驗以 632.8nm，頻差 1kHz 之 He-Ne 雷射為外差光源，半球玻璃材料折射率為 $n_0=1.51509$ 的 BK7，相位計解析度為 0.03° ，旋轉平台角解析度為 0.001° 。測試樣品為重量百分比 50% 的蔗糖及葡萄糖溶液。測量結果如 Fig. 2 和 Fig. 3 所示。其中 Fig.2 為 ϕ_1 與入射角 θ 的關係圖。Fig.3 為 ϕ_2 與入射角 θ 的關係圖。根據 Fig. 2 及 Fig. 3 所求得之旋轉參數與平均折射率如 Tab. 1 所示。

四、討論

對(13)式微分，可得:

$$\Delta n = \left| \sec \theta_B \cdot \sin^3 \theta_B \cdot \tan \alpha \right| \times \Delta \phi_1, \quad (16)$$

考慮在布魯斯特角時，系統解析度 $\Delta \phi_1 = 0.001^\circ$ [7]，將所測得之葡萄糖及蔗糖之布魯斯特角 43.105° 、 43.146° 、檢偏板 $\alpha = 30^\circ$ 代入上式計算，則可得 $\Delta n \approx 1 \times 10^{-5}$ 。

另外對(15)式微分可得:

$$\Delta g = \left| \frac{dg}{d\phi_1} \cdot \Delta \phi_2 \right| + \left| \left(\frac{dg}{dq_1} \cdot \frac{dq_1}{d\theta} + \frac{dg}{d\theta} \right) \Delta \theta \right| + \left| \left(\frac{dg}{dq_1} \cdot \frac{dq_1}{dn} + \frac{dg}{dn} \right) \cdot \Delta n \right|, \quad (17)$$

將系統解析度 $\Delta \phi_2 = 0.005^\circ$ [7]，檢偏板穿透軸與水平軸夾角 $\alpha = 88^\circ$ ，旋轉平台角解析度 $\Delta \theta = 0.001^\circ$ ，半球玻璃折射率 $n_0=1.51509$ ，

以及所測量的平均折射率和旋轉參數代入上式，則可得葡萄糖溶液和蔗糖溶液的最佳旋轉參數解析度為 3×10^{-8} 和 4×10^{-8} 。

五、結論

在本計畫中，提出了反射式外差干涉術來測量對掌性物質的旋轉參數的方法。本方法以葡萄糖溶液及蔗糖溶液做為測試樣本，所測得之結果與參考值接近，此外葡萄糖液與蔗糖溶液的平均折射率的解析度可達 10^{-5} ，而旋轉參數解析度分別為 3×10^{-8} 與 4×10^{-8} 。

六、參考文獻

1. M. P. Silverman, N. Ritchie, G. M. Cushman, and B. Fisher, J. Opt. Soc. Am. A. **11**, 1852-1862 (1988).
2. P. K. Yang and J. Y. Huang, J. Opt. Soc. Am. A. **6**, 1698-1704 (1998).
3. H. J. King, C. Chou, H. Chang and Y. C. Huang, Opt. Comm. **110**, 259-262 (1994).
4. G. L. Cote, M. D. Fox and R. B. Northrop, IEEE Tran. Biomed. Eng. **39**, 752-756 (1992).
5. C. Chou, Y. C. Huang, C. M. Feng and M. Chang, Jpn. J. Appl. Phys. **36**, 356-359 (1997).
6. J. Y. Lee and D. C. Su, J. Opt. **29**, 349-353 (1998).
7. M. H. Chiu, J. Y. Lee and D. C. Su, Appl. Opt. **38**, 4047-4052 (1999).

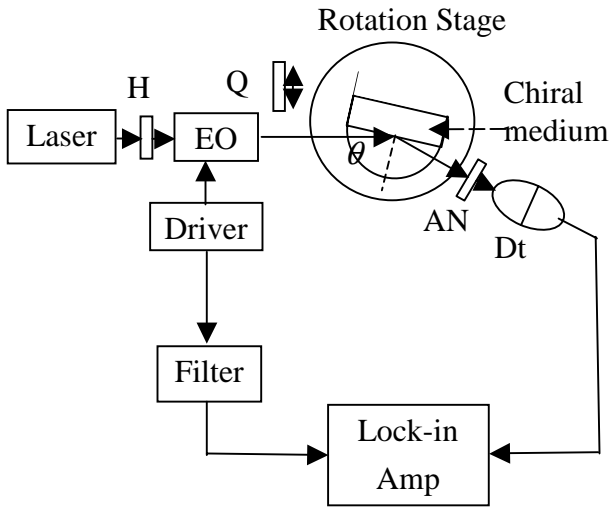


Fig.1(a) 實驗架構圖

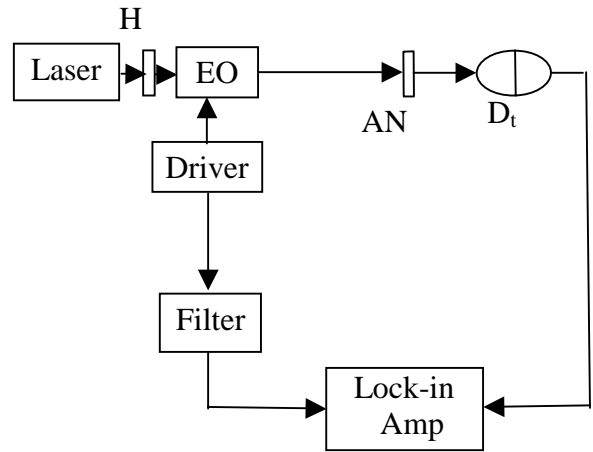


Fig. 1(a) 初始相位測量圖

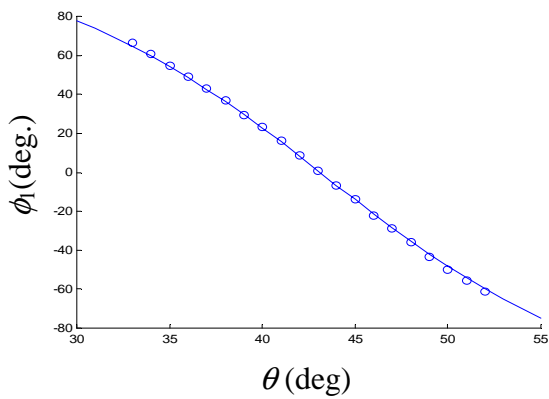


Fig.2(a) 葡萄糖溶液之布魯斯特角測量結果

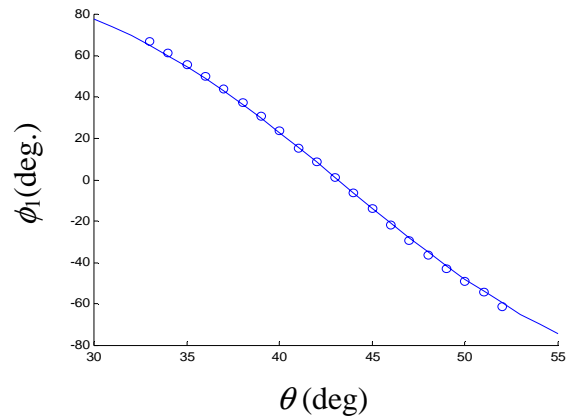


Fig.2(b) 蔗糖溶液之布魯斯特角測量結果

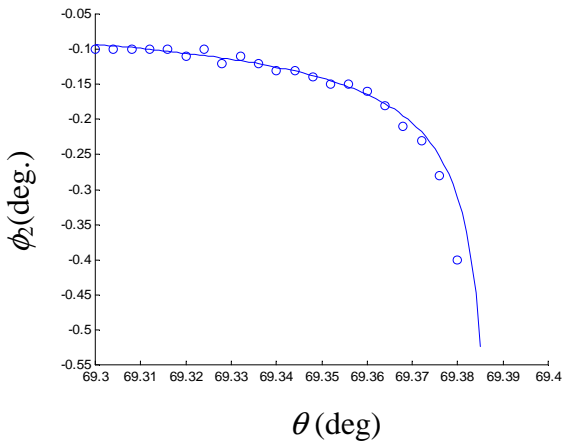


Fig.3(a) 葡萄糖溶液相位差對入射角測量之結果圖

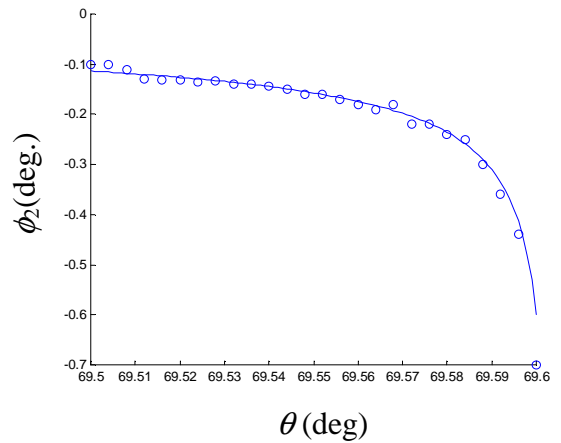


Fig.3(b) 蔗糖溶液相位差對入射角測量之結果圖

Tab. 1

	θ	ϕ_1	g	g_{ref}	θ_B	n	n_{ref}
1 蔗糖(50%)	69.548°	0.160°	6.4×10^7	6.2×10^7	43.146°	1.42007	1.4201
2 葡萄糖(50%)	69.340°	0.130°	4.9×10^7	4.8×10^7	43.105°	1.41804	1.4181

