

第一章 緒論

對掌性物質(chiral medium)具有光學活性(optical activity)這個特性，早在十九世紀初年就由 Biot & Arago 發現[1,2]。從分子結構來看，光學活性是因為對掌性分子非對稱結構所造成[3-4]，因而使得一線性偏振光(可視為左右旋光的線性組合)在此介質中，因為左右旋光相速度(phase velocity)的不同，使得線性偏振光通過對掌性物質後，發生偏極平面旋轉，這個現象我們之稱為光學旋轉(optical rotation)，旋轉的角度稱為光學旋轉角(optical rotation angle)。許多材料如葡萄糖、果糖、蔗糖及酒石酸等都具有光學活性。測量光學活性除了可以知道對掌性分子的幾何組態(geometrical configuration)與量子構造(quantum structure)以應用於生物與製藥技術上外[5]，還能應用在化學與醫學方面，例如測量光學活性可以分析對掌性溶液的濃度[6]，也可用於測量人體血糖濃度，以判斷是否罹患糖尿病[7-9]。



要測量光學活性必須使用光學偏極計。傳統的方法是利用機械式地旋轉檢偏板來測量光學旋轉角[10]，但此方法的反應較慢，無法做即時量測；同時其精確度受限於檢偏板的消光比(extinction ratio)。近來的研究已經發展出許多可以做即時量測的光學偏極計，如有人使用 Pockels cell 對入射光強度做振幅調變[7]，並量測光信號的強度來換算旋轉角，但此方法需用回授系統使調制器穩定，較為麻煩；有人則利用 Mach-Zehnder 干涉儀及聲光調制器結合成準光學外差偏極計[1,6,11]或一般光學外差偏極計[9]來測量光學活性。準光學外差偏極計主要是測量光信號的強度變化，以取得光學旋轉角，但是因為測量的是光強度，所以精確度受限於光的穩定度，而且由於不是共光程的架構，所以干涉信號容易受到擾動。而一般光學外差偏極計因為是測量相位差，且由於環境的擾動可以被消除，

所以精確度較準光學外差偏極計為高，但是這種光學外差偏極計卻無法同時測量對掌性物質的光學活性與平均折射率，而且對於微小光學旋轉角或是含有散射性物質的對掌性物質也不易量測。

為了改善上述光學偏極計的一些缺點，以滿足量測對掌性物質光學活性上的各種需要，本論文提出了以外差干涉術為基礎[12]的各種光學偏極計之研究，包括了新型的光學外差偏極計、高精確度光學外差偏極計、測量散射性對掌性物質的光學外差偏極計及反射式光學外差偏極計等，其原理與實驗結果分別敘述於第四、五、六與七章中。本論文除了本章之外，其餘各章內容簡述如下：

在第二章中，首先說明了外差干涉術的基本原理。接著說明了外差光源如何產生，其中也包括了外差干涉術中所使用的各種移頻器，以及本論文所使用之電光晶體的調制原理。其次，說明了外差干涉儀的基本架構。最後探討了外差干涉儀系統中所引進的偏振旋轉與偏振混合之週期非線性誤差。本論文除了本章之外，其餘各章內容簡述如下：

在第三章中，說明了光學偏極計的基本原理及對掌性物質的定義。接著並介紹幾種常見光學偏極計，如高精確度通用偏極計(HAUP)、準光學外差偏極計及一般光學外差偏極計等。

在第四章中，提出了一種新型的光學外差偏極計，其原理主要是利用特殊設計並裝有待測液的玻璃盒，使得本架構能夠同時測量對掌性物質的對掌參數(chiral parameter：與光學旋轉角成正比關係)及平均折射率。在本章中，我們除了說明其工作原理外，並且實際去量測葡萄糖溶液與蔗糖溶液，最後分析了與光學活性相關的對掌參數與平均折射率的量測精確度。

在第五章中，提出了高精確度光學外差偏極計，其原理主要是將光學系統中某些偏光元件設置在特殊條件下，使得含有對掌性物質的光學旋轉角之相位差被放大，因而使得量測解析度也被提高。為了驗證方法的可行性，我們首先以二分之一波片取代對掌性物質，最後再針對不同濃度的葡萄糖溶液去量測並且分析其精確度。此偏極計因為量測解析度較一般光學偏極計為高，所以適合用於測量較小的光學旋轉角。

在第六章中，提出了可測量散射性對掌性物質的光學外差偏極計，其原理主要是利用 post-configuration，即是將待測物置於移頻器之前，如此可將因散射物質所引進的額外相位差與訊號消除。此外，由於系統中某些偏光元件設置在特殊條件下，所以可使與光學旋轉角相關的相位差被放大，也因為這個關係，使得待測物的厚度可以被縮短，如此更能減低散射效應。為了驗證本方法的可行性，我們測量了含有聚苯乙烯微小散射球的葡萄糖溶液。此外，我們也討論了本方法的量測精確度與分析將調變器置於待測物前對量測相位差的影響。

在第七章中，提出了反射式光學外差偏極計，其原理主要是根據光在對掌性物質介面反射，當其入射角接近臨界角時，反射光的耦合係數會發生放大的特殊現象，並且利用系統中一些設置在特定條件下的偏光元件，使得反射光的相位差被放大到可測範圍內，而將對掌性物質的對掌參數與平均折射率同時求出。為了驗證本方法的可行性，我們測量了葡萄糖溶液和蔗糖溶液的對掌參數及平均折射率，並且分析兩者的精確度。本方法除了可將對掌參數與平均折射率同時求出，並且所需之待測物的量很少。

本論文除了上述各章外，還有第八章的結論，將本研究作一總結。本研究主要是提出了各種不同的光學外差偏極計，除了有各自使用目的外，還具有幾項共同的優點：

1. 光學結構簡單及容易操作。
2. 測量的對象是相位差而非強度並且是共光程結構，所以不受光源穩定度與外界擾動的影響。
3. 可即時量測。
4. 因為外差光源的頻差較低，所以在製作處理電子信號的電路上較為簡單，並且有較高的相位解析度。



參考資料

1. C. Chou, Y. C. Huang, C. M. Feng, and M. Chang, "Amplitude sensitive optical heterodyne and phase lock-in technique on small optical rotation angle detection of chiral liquid", *Jpn. J. Appl. Phys.* **36**, 356-359 (1997).
2. L. Velluz, M. Legrand, and M. Grosjean, "*Optical Circular Dichroism*", Academic, New York, Ch.1-Ch.3 (1965).
3. M. P. Silverman, "Reflection and refraction at the surface of a chiral medium comparison of gyrotropic constitutive relations invariant or noninvariant under a duality transformation", *J. Opt. Soc. Am A* **3**, 830-837 (1986).
4. B. E. A. Salech, and M. C. Tecich, "*Fundamentals of Photonics*", JohnWiley & Sons, New York, Ch.6 (1991).
5. M. P. Silverman, N. Ritchie, G. M. Cushman, and B. Fisher, "Experiment configurations using optical phase modulation to measure chiral asymmetries in light specularly reflected from a naturally gyrotropic medium", *J. Opt. Soc Am. A* **5**, 1852-1862 (1988).
6. H. J. King, C. Chou, H. Chang, and Y. C. Huang, "Concentration measurements in chiral media using optical heterodyne polarimeter", *Opt. Commun.* **110**, 259-262 (1994).
7. T. W. King, G. L. Cote, R. McNichols, and M. K. Goetz, "Multispectral polarimetric glucose detection using a single Pockels cell", *Opt. Eng.* **33**, 2746-2753 (1994).
8. G. L. Cote, M. D. Fox, and, and R. B. Northrop, "Noninvasive optical polarimetric glucose sensing using a true phase technique", *IEEE Trans. Biomed. Eng.* **39**, 752-756 (2000).
9. C. M. Feng, Y. C. Huang, J. G. Chang, M. Chang, and C. Chou, " A true phase

- sensitive optical heterodyne polarimeter on glucose concentration measurement”, *Opt. Commun.* **141**, 314-321 (1997).
10. K. Iizuka (Ed.), “*Elements of Photonics: Free Space and Special Media, vol.1.*”, Wiley, New York (2002).
11. T. Mitusi, and K. Sakurai, “Precise measurement of the refractive index and optical rotatory power of a suspension by a delayed optical heterodyne technique”, *Appl. Opt.*, **35**, 2253-2258 (1996).
12. M. H. Chou, J. Y. Lee, and D. C. Su, “Refractive-index measurement based on the effects of total internal reflection and the uses of heterodyne interferometry”, *Appl. Opt.* **36**, 2936-2939 (1997).

