

第一章 緒論

1902年 Wood[1]首先發現當電磁波入射於刻有光柵(grating)的金屬表面時，其反射光譜將會產生異常的現象，此現象被解釋為與沿著金屬表面傳播的電磁共振波有著密切的關聯，此即後來所著稱的金屬表面電漿 (surface plasma) 現象；之後在 1960 年代，Kretschmann[2]和 Otto[3]分別提出利用衰減全反射式的光學方法來激發金屬的表面電漿波(surface plasma wave, SPW)，這不但使得科學家對於激發金屬表面電漿波的理論有更深入的了解，同時也使得金屬表面電漿共振 (surface plasmon resonance, SPR)的特性開始被廣泛的應用在許多不同科學研究領域中，如 Y. C. Cheng 等應用發生表面電漿共振時之共振角的變化測量液體濃度[4]；K. E. Peiponen 等用相位補償的方式來測量渾濁的工業液體之光學常數[5]；H. P. Ho 等用白光二極體為光源入射在金膜上，藉以測在其上之折射率[6]；J. Guo 等用表面電漿共振測量微小角度[7]；B. Chadwick 等用表面電漿共振設計溫度感測器[8]；C. Jung 等用表面電漿共振作成光波導調變器[9]；X. Yu 等用表面電漿共振量測抗體與麻毒蛋白之作用[10]；M. J. Jory 等用光柵引起表面電漿共振的結構製作成氣體偵測器[11]；M. Weisser 等用表面電漿共振原理應用在多模波導量測單層物質之厚度及折射率[12]等等。

雖然表面電漿共振特性已經被廣泛使用在不同的研究領域中，但如何發展出一套具有非破壞性、高靈敏度、不受外界環境擾動之影響並且可即時量測的感測裝置，為目前的研究重點之一。在前述的應用中，其原理大部份都是利用表面電漿共振發生時，光波經由發生表面電漿共振的界面處所反射出來的反射p-偏光光強度會隨著入射角與入射光源之波長作極劇烈的變化[4,11]，因此當待測的相關物理參數有變化時，例如：折射率、濃度、波長、溫度等，其發生表面電漿波的

共振角與共振波長亦會隨之改變，故藉由測量共振角與共振波長的變化量，即可測得相關的物理參數值。由於上述測量的方法與反射光強度有關，因此在測量的過程中容易受到光源的穩定度、環境散射光和儀器本身放大迴路等因素的影響，使得測量光強度的靈敏度大約只能到達 10^{-5} [13]。

為了改善上述測量反射光強度的缺點，同時為了增加測量的靈敏度，因此利用測量反射p-偏光相位變化的方法也相繼被提出，此方法在表面電漿共振發生時，反射p-偏光的相位會有極劇烈的變化，因此利用此特性當作偵測的方式包括有：馬赫任德干涉術(Mach-Zehnder interferometry)[14]、剪切干涉術(shear interferometry)[15]、偏振分析法(analysis of polarization)[16]和外差干涉術(heterodyne interferometry)[17]等。其中馬赫任德干涉術則是利用一道測試光經過待測物反射，當此測試光路滿足激發待測物上的表面電漿波時，則測試的光路將會引入一相位差，此測試光路再與另一道參考光路形成干涉圖案，最後再由CCD接收；此方法由於是不共光程的架構，因此干涉圖案亦容易受到外界環境擾動的影響，使得圖案的解析度並不高。剪切干涉術的方法則是利用表面電漿共振發生時，藉由加上一片雙折射晶體形成相位的錯移，再利用CCD偵測其影像，進而解得相關的物理量，但此法的影像解析度並不高。而偏振分析法主要是測量反射光的水平偏振方向和垂直偏振方向的比值，此方法相似於橢圓儀測量的方法，因此比較容易受到環境上的干擾，同時折射率變化的靈敏度也只有 3×10^{-5} 。

至於，本論文中的外差干涉術是屬於共光程的架構，同時又兼具有快速測量及高精確度的優點，所以利用共光程外差干涉術測量表面電漿共振裝置所引起的相位變化，將可以有效改善上述各式測量架構的缺點，同時也可以提高測量的靈敏度。因此，本論文主要提出一種表面電漿共振外差干涉儀的架構，並且將此架構應用在不同的研究領域上，而這些應用包括了微小波長變化之測量、葡萄糖溶液濃度之光學式偵測、液體濃度之測量、液體微小折射率差異之測量，最後再針

對最佳測量靈敏度的條件進行探討與分析，這些原理和實驗結果將分別敘述於第二、三、四、五、六、七章中。

在第二章中，首先將說明表面電漿共振的基本原理與其特性。其次說明一般外差干涉術的原理及外差光源的調制方式，與其共光程外差干涉儀的工作原理；而針對共光程外差干涉儀所引起的測量誤差量也將進行探討與分析。最後再說明表面電漿共振外差干涉儀之基本的架構。由於表面電漿共振裝置提供了非常靈敏的特性，而共光程外差干涉儀可以提供精確且不受環境干擾的測量相位差之裝置，因此結合兩者構成的表面電漿共振外差干涉儀將具有裝置簡單、操作容易、即時、快速、避免環境干擾且具有高解析度等的優點。

在第三章中，將提出一種簡單的旋光外差干涉術測量法來測量金屬膜的複數折射率和厚度。由於金屬膜的複數折射率和厚度將會影響到表面電漿共振裝置在實驗上測量的結果，所以如何準確測量金屬膜的厚度及其複數折射率，將有助於提昇表面電漿共振裝置偵測的靈敏度。

在第四章中，將提出一種表面電漿共振外差干涉儀測量波長微小的變化量。此架構將利用表面電漿共振的特性，當入射光的入射角以表面電漿共振角入射至表面電漿共振裝置時，些微的波長變化量將會造成相位劇烈的變化；接著將透過共光程外差干涉技術測量相位的變化，進而可以測得微小波長的變化量。

在第五章中，將提出一種新型低濃度葡萄糖計。此架構主要改進前述所提之表面電漿共振外差干涉儀的架構，加以組裝成單一模組(module)，此模組將可以製作成可攜帶式的偵測儀器，不但體積小，還可作為現場的即時量測，並且可重複使用。

在第六章中，將針對在化學和生物上的相關物理參數之量測及其應用，提出兩種測量的方法。首先將針對液體濃度之測量，提出表面電漿共振外差干涉儀的測量方法；此架構由於是反射式的裝置，所以只需少量的溶液即可量測。其次對於液體微小折射率變化之測量，提出另一種模組化的測量方法。此方法將可以有效針對待測液體與參考液體之間的微小折射率差異，進行即時的測量與分析。

在第七章中，將針對表面電漿共振裝置最佳測量靈敏度的條件進行探討與分析。其中將說明如何藉由偏振光經由表面電漿共振裝置反射後所產生的相位差公式，去計算在待測物作微小折射率變化時，其偵測相位差的最佳條件，最後再探討如何利用最佳的條件計算出它們的折射率變化之靈敏度。

最後第八章為結論，對本研究作一個總結。針對此表面電漿共振外差干涉儀的各種測量之應用，其優點包含：

1. 光學架構簡單，容易調整與校正。
2. 所測量的對象是光的相位而非光的強度，因此不受光源的穩定度與外界環境干擾影響。
3. 測量的架構可以模組化，同時也可以製作成可攜帶式的偵測儀器。
4. 可作為即時量測。
5. 靈敏度高且成本低。

参考文献

1. R. W. Wood, "On a remarkable case uneven distribution of light in a diffraction grating spectrum," *Phil. Magm.* **4**, 396-402 (1902).
2. E. Kretschmann, "The determination of the optical constants of metals by excitation of surface plasmons," *Z. Phys.* **241**, 313-324 (1971).
3. A. Otto, "Excitation of surface plasma waves in silver by the method of frustrated total reflection," *Z. Physik.* **216**, 398-410 (1968).
4. Y. C. Cheng, W. K. Su, and J. H. Lion, "Application of a liquid sensor based on surface plasma wave excitation to distinguish methyl alcohol from ethyl alcohol," *Opt. Eng.* **39**, 311-314 (2000).
5. K. E. Peiponen, J. RAty, E. M. Vartiainen, T. Sugiura, and S. Kawata, "Optical constants of industrial liquids obtained by phase retrieval from reflectometric and surface-plasmon-resonance data," *Meas. Sci. Technol.* **10**, 145-148 (1999).
6. H. P. Ho, S. Y. Wu, M. Yang, and A. C. Cheung, "Application of white light-emitting diode to surface plasmon resonance sensors," *Sensors and Actuators B* **80** 89-94 (2001).
7. J. Gau, Z. Zhu, and W. Deng, "Small-angle measurement based on surface plasmon resonance and the use of magneto-optical modulation," *Appl. Opt.* **38**, 6550-6555 (1999).
8. B. Chadwick, and M. Gal, "An optical temperature sensor using surface plasmons," *Japn. J. Appl. Phys.* **32**, 2716-2717 (1993).
9. C. Jung, S. Yee, and K. Kuhn, "Integrated optics waveguide modulator based on surface plasmon resonance," *Journal of Lightwave Technology* **12**, 1802-1806 (1994).

10. X. Yu, L. Zhao, H. Wang, H. Wang, C. Yin, and S. Zhu, "Immunnosensor based on optical heterodyne phase detection," *Sensors and Actuators B* **76**, 199-202 (2001).
11. M. J. Jory. P. S. Vukusic, and J. R. Sambles, "Development of a prototype gas sensor using surface plasmon resonance on gratings," *Sensors and Actuators B* **17**, 1203-1209 (1994).
12. M. Weisser, B. Menges, and S. M. Neher, "Refractive index and thickness determination of monolayer by multi mode waveguide coupled surface plasmons," *Sensors and Actuators B* **56**, 189-197 (1999).
13. K. J. Kasunic, "Comparison of Kretschmann-Raether angular regimes for measuring changes in bulk refractive index," *Appl. Opt.* **39**, 61-64 (2000).
14. P. I. Nikitin. A. N. Grigorenko, A. A. Beloglaziv, M. V. Valeiko, A. I. Savchuk, O.A. Savchuk, G. Steiner, C. Kuhne, A. Huebner, and R. Salzer, "Surface plasmon resonance interferometry for micro-array biosensing," *Sensors and Actuators A* **85**, 189-193 (2000).
15. P. I. Nikitin. A. A. Beloglaziv, V. E. Kochergin, M. V. Valeiko, and T. I. Ksenevich, "Surface plasmon resonance interferometry for biological and chemical sensing," *Sensors and Actuators B* **54**, 43-50 (1999).
16. A. A. Kruchinin. Y. G. Vlasov, "Surface plasmon resonance monitoring by means of polarization state measurement in reflected light as the basis of a DNA-probe biosensor," *Sensors and Actuators B* **30**, 77-80 (1996).
17. M. H. Chiu, 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).