

利用受挫式全反射法配合 Otto 組態 激發表面電漿波對丙酮之量測

Acetone Measurement Using Surface Plasma Wave Excited by Frustrated Total Reflection Method with Otto Configuration

李正民¹Cheng-Min Lee

健行科技大學電子工程研究所

咎德立³De-Li Zan

健行科技大學電子工程研究所

陳冠宇³Guan-Yu Chen

健行科技大學電子工程研究所

趙文鴻²Wen-Hung Chao

元培醫事科技大學生物醫學工程系

羅鳴謙³Ming-Cian Luo

健行科技大學電子工程研究所

黃沛晴³Pei-Qing Huang

健行科技大學電子工程研究所

¹Department of Electronic Engineering, Chien Hsin University of Science and Technology

²Department of Biomedical Engineering, Yuanpei University of Medical Technology

³Department of Electronic Engineering, Chien Hsin University of Science and Technology

(Received March 3, 2014; Revised October 7, 2014; Accepted October 24, 2014)

摘 要：本篇論文是利用受挫式全反射法和 Otto 組態 (BK-7 稜鏡-銀金屬薄膜-丙酮) 激發表面電漿波對丙酮的量測，我們的主要研究方向針對：銀金屬薄膜厚度的變化、雷射光源波長的變化、不同的量測物質對表面電漿波之共振角影響。由實驗結果顯示，丙酮在銀薄膜厚度為 51 奈米條件下，對不同的雷射光源波長、不同的量測物質，都具有最佳檢測響應。

關鍵詞： Otto 組態、表面電漿波、丙酮、共振角



Abstract : The object of this paper is to measure acetone using surface plasma wave excited by a frustrated Total Reflection method with otto configuration [BK7 prism - metal film of silver(Ag)-acetone/air] . Our main research contents include silver metal film thickness variation, changes in the wavelength of the laser light source, and the impact of different substances to the influence in surface plasma resonance angle. Experimental results showed that the optimal detection response for different laser light wavelength and measurement of different material were under the conditions, acetone silver film thickness was 51 nm.

Key words : Otto configuration, Surface plasma wave, Acetone, Resonance angle

壹、前言

我們在清潔時會大量的使用清潔劑來清洗我們的家具或是車子，尤其是在過年的期間會增加使用清潔劑，這些清潔劑中含有丙酮的存在，這就是會容易出現富貴手的原因。但在醫學上，丙酮對人體具有肝毒性，對於黏膜有一定的刺激性，吸入其蒸氣後可引起頭痛，支氣管炎等症狀。如果大量吸入，還可能失去知覺。日常生活中主要用於脫脂，脫水。在血液和尿液中為重要檢測項目，有些癌症患者尿液中含有丙酮的成分會異常升高。

利用受挫式全反射法配合 Otto 組態激發表面電漿波對丙酮量測，針對清潔中含有的丙酮來做模擬結果，以金屬薄膜厚度對丙酮的吸收深度與共振角度做分析與研究，收集相關資料和分析結果來探討出在何種程度上會對人體產生傷害。

貳、基本理論原理

一、表面電漿波（Surface Plasma Waves, SPW）

表面電漿波（Surface Plasma Waves, SPW）又稱為表面電漿子（Surface Plasmon, SP）。要在金屬或是介質的表面激發出表面電漿波就必須要有耦合器。於是利用受挫式內部全反射（FTIR）法來產生微小的衰逝波，使晶體表面的電子受垂直於表面方向上之電磁波的電場分量震盪，感應出電磁場波動。此種波動稱為表面電漿波（Surface Plasma Waves, SPW）¹。

二、隧道效應

從古典物理力學得知，當粒子遇到位能障礙時，由於粒子沒有足夠的位能可以越過障礙，故無法穿越。但是從近代物理力學得知，當光波遇到障礙時，除了會有能量反射之外，也有一小部分的能量可以穿越，穿越的波稱為衰減波。



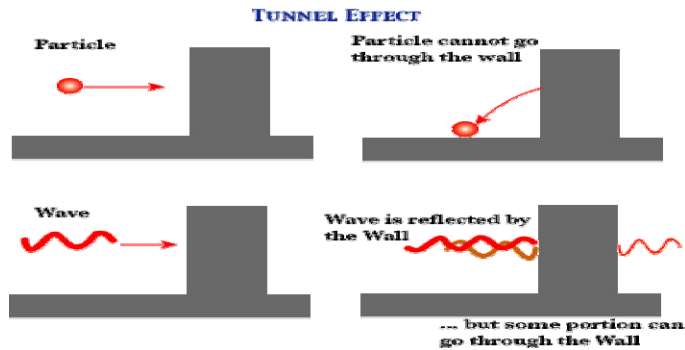


圖 1. 隧道效應

三、受挫式內部全反射 (Frustrated Total Internal Reflection)

光從稜鏡進入空氣時，光由光疏介質進入光密介質，若入射角大於臨界角 θ_c (Critical Angle)，會發生全反射 (Total Reflection) 的現象。但從量子力學理論來說，在隧道效應^{2,3,4}下會產生衰減波，這時全反射現象會被破壞，稱受挫式內部全反射 (Frustrated Total Internal Reflection ; FTIR)。

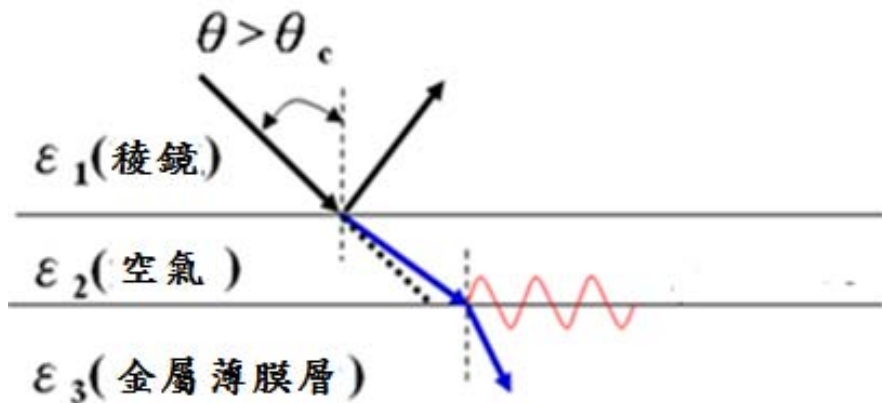


圖 2. 受挫式內部全反射

四、Otto 組態

Otto 組態的模層架構中介質 I 為稜鏡、介質 II 為空氣、介質 III 為金屬，介質 IV 為基底，如下圖⁵。



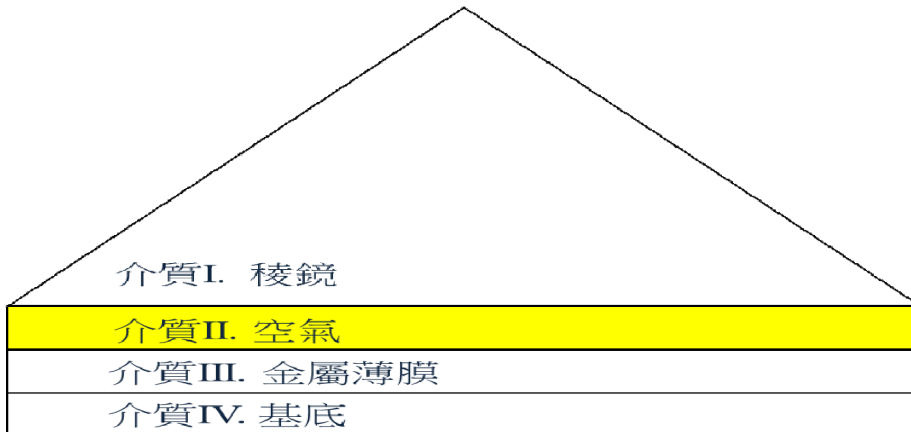


圖 3. Otto 組態的模層架構

五、Otto 組態激發表面電漿波

當光源進入稜鏡時，依據斯涅爾定律，光疏介質進入光密介質，折射會偏向法線，光源進入空氣時，若入射角大於臨界角 θ_c (Critical Angle) 時，會發生全反射 (Total Reflection) 的現象。但從量子力學理論來說，在隧道效應^{2,3,4}下會產生衰減波，在空氣和金屬薄膜介面上的表面電子會吸收衰減波的能量，會產生表面電漿共振，進而激發表面電漿波⁶。

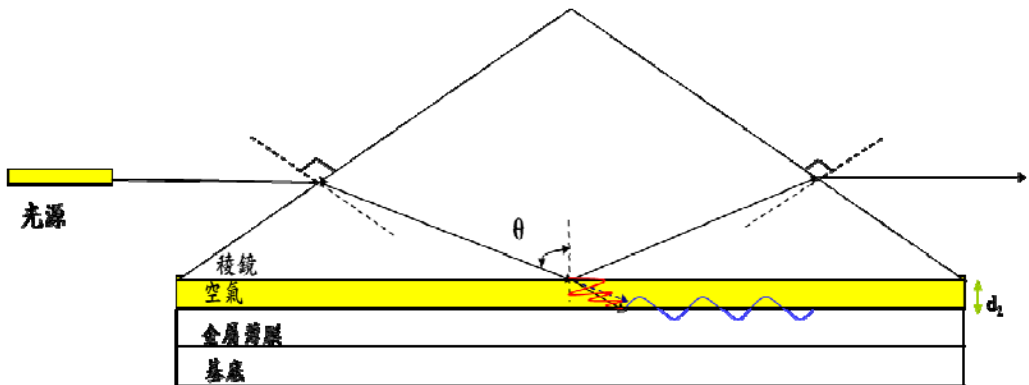


圖 4. Otto 組態激發表面電漿波

六、三層反射率公式

圖 5 所示，當入射光從介質 1 進入到介質 2 時，會產生折射和反射。接著介質 2 的光進入到介質 3 時也會產生折射和反射。



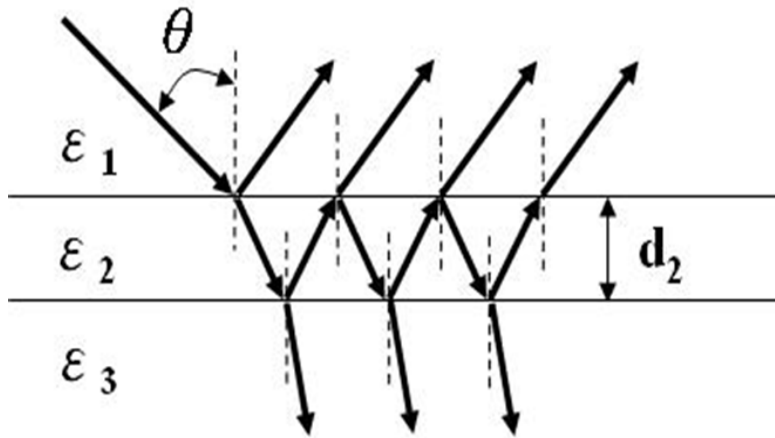


圖 5. 三層反射示意圖

衰減波具有垂直於介面的電場分量，若要激發出表面電漿波，就必須要有耦合器（本實驗室所使用的耦合器為稜鏡 BK7）來提供 TM-mode 之衰減波（Evanescent Wave），即符合光子動量 k 要再平行介面上守恆的概念，應此可再金屬或是介電質的介面激發出表面電漿波。根據 Fresnel Formula，三層介質的光總反射率如（1）式。 R_{123} 為總反射率， r_{123} 代表總反射係數，其中的 r_{12} 及 r_{23} 個別代表 1-2 層以及 2-3 層的反射係數，所示^{7,8}。

$$R_{123}(\theta) = |r_{123}(\theta)|^2 = \left| \frac{r_{12}(\theta) + r_{23}(\theta)e^{j2k_{z2}(\theta)d_2}}{1 + r_{12}(\theta)r_{23}(\theta)e^{j2k_{z2}(\theta)d_2}} \right| \quad (1)$$

$$r_{12}(\theta) = \frac{\varepsilon_2 k_{z1}(\theta) - \varepsilon_1 k_{z2}(\theta)}{\varepsilon_2 k_{z1}(\theta) + \varepsilon_1 k_{z2}(\theta)} \quad (2)$$

$$r_{23}(\theta) = \frac{\varepsilon_3 k_{z2}(\theta) - \varepsilon_2 k_{z3}(\theta)}{\varepsilon_3 k_{z2}(\theta) + \varepsilon_2 k_{z3}(\theta)} \quad (3)$$

七、介電常數

在電磁學裏⁹，我們可以用介電常數 ε 、導磁率 μ 來表示折射率 n 。依照文獻記載¹⁰，電磁波在一介質中的傳播速率如（4）所示：



$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (4)$$

依據折射率的定義，我們可以得到介電質的折射率與其介電常數和導磁率的關係如 (5)：

$$n = \sqrt{\epsilon\mu} \quad (5)$$

在光學頻率(Optical Frequency)中， $\mu \approx 1$ 則 (5) 式可改寫為

$$\epsilon = n^2 \quad (6)$$

此為就是介電係數與折射率的關係。

參、實驗架構

如圖 6 所示，入射光源是採用波長 632.8nm 的氦氖紅光雷射及波長 405nm 的藍光雷射。首先將雷射光源置於一準直透鏡的焦距上，雷射光由氦氖雷射發出，經過準直透鏡而形成一平行輸入光。而後入射光源再經過一分光極化器，將光束以 1：1 的比例分開成入射及參考兩束光，我們於參考光源處，置一功率量測計，量測參考光的功率。同時將 Otto 組態放置於旋轉平台上，並於稜鏡的反射光處，置一光功率量測計，以量測入射光進入稜鏡並經由稜鏡底部反射後的反射光功率大小，其中量測反射光功率的偵測器，是隨著待測樣品容器同步旋轉，以便量測入射光在不同入射角入射時，經由稜鏡底部反射後所得到的功率大小，並運用實驗中 Otto 組態的架構，第二層採用丙酮、第三層採用金屬 (Ag) 層，第四層為基底。然而隨著第三層的變化，找出表面電漿波共振角度。

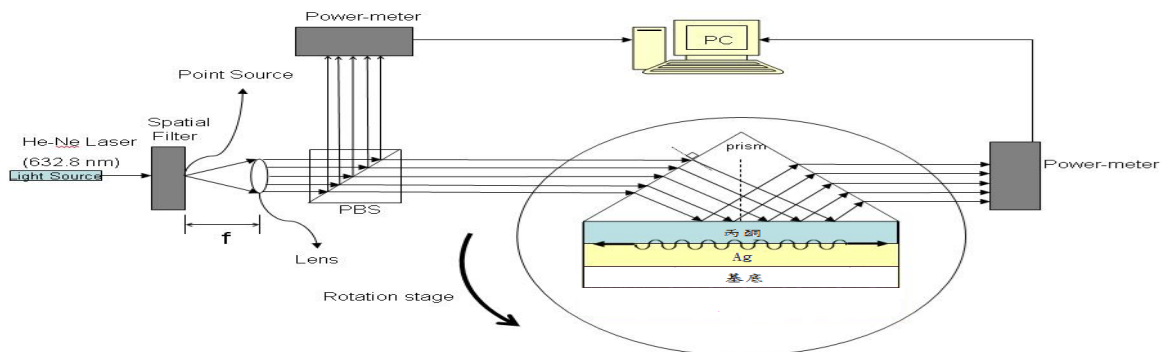


圖 6. 實驗架構



肆、模擬結果與討論

圖 7~圖 11 為丙酮在銀薄膜的吸收深度與共振角度的曲線圖，以圖 8 為丙酮在銀薄膜 51nm 表面電漿波共振角度為最佳化作為基準點，比較丙酮在其他銀薄膜吸收深度與共振角度，可看出吸收深度與共振角度的差異，而丙酮在銀薄膜 91nm 吸收深度與共振角度較差，而圖 12 為丙酮在不同厚度之共振角比較圖，由圖中可看出丙酮在 51nm 厚度為最佳化，圖 13 是最佳化基準點探測丙酮與空氣的共振角差異性，圖 14 利用藍光波長與不同介電常數來進行對丙酮之比較。

一、金屬薄膜厚度效應：

因為最佳化的表面電漿波器具深且窄，所以圖 7~11 丙酮在銀薄膜厚度之共振角度看出：圖 8 丙酮在銀薄膜厚度 51nm 之共振角度為最佳化。圖 11 丙酮在銀薄膜厚度 91nm 之共振角度吸收效果差。

二、光源波長效應：

由圖 13 光源採用波長 632.8nm 和圖 14 光源採用波長 405nm，得知光源波長 632.8nm 的波形深度比光源波長 405nm 的波形深度要來的深，所以在波長 632.8nm 比波長 405nm 的共振角吸收較果佳。

三、不同的量測物質效應：

由圖 13~圖 14 得知空氣的共振角度落在約 43.4 度而丙酮的共振角度落在約 43 度之共振角差異性。

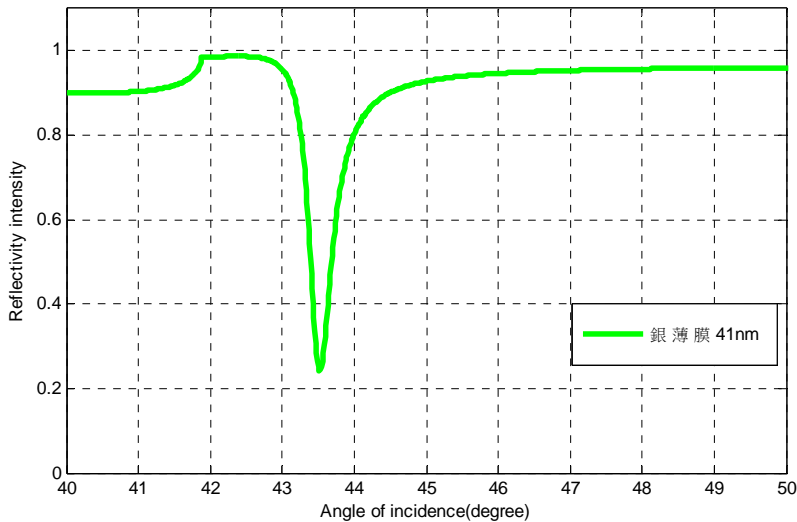


圖 7. 丙酮在銀薄膜厚度 (41nm) 之共振角度[雷射波長：632.8 (nm)]



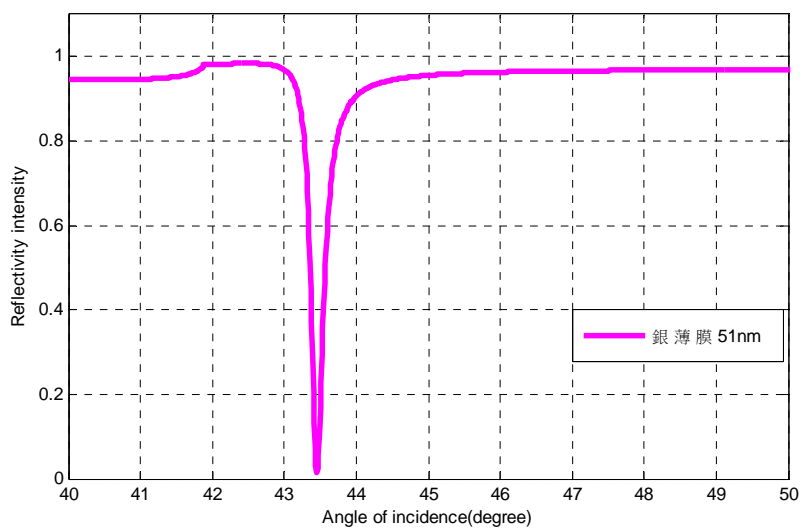


圖 8 丙酮在銀薄膜厚度 (51nm) 之共振角度[雷射波長：632.8 (nm)]

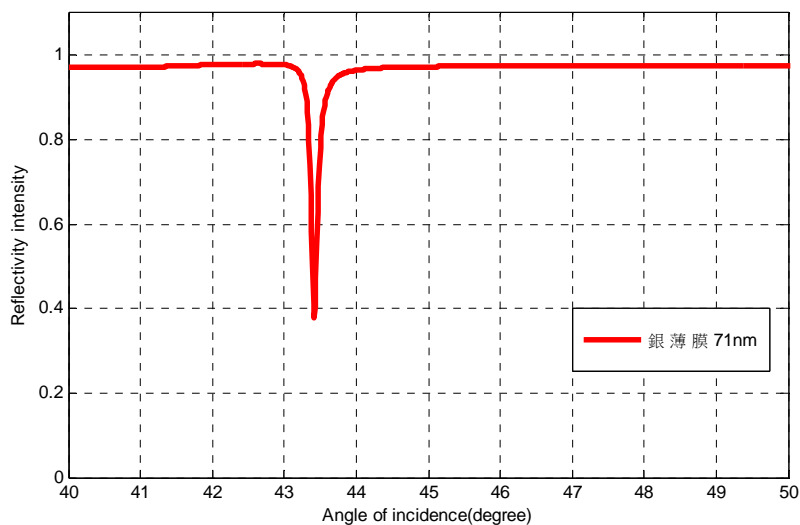


圖 9. 丙酮在銀薄膜厚度 (71nm) 之共振角度[雷射波長：632.8 (nm)]



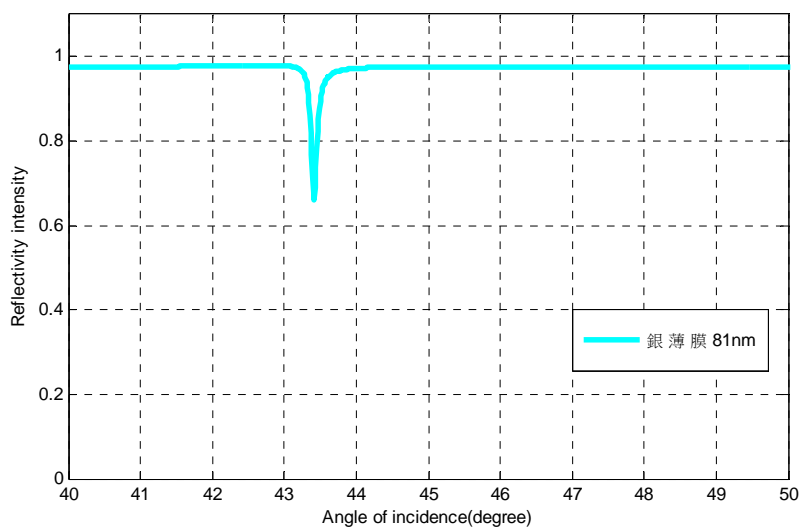


圖 10. 丙酮在銀薄膜厚度 (81nm) 之共振角度[雷射波長：632.8 (nm)]

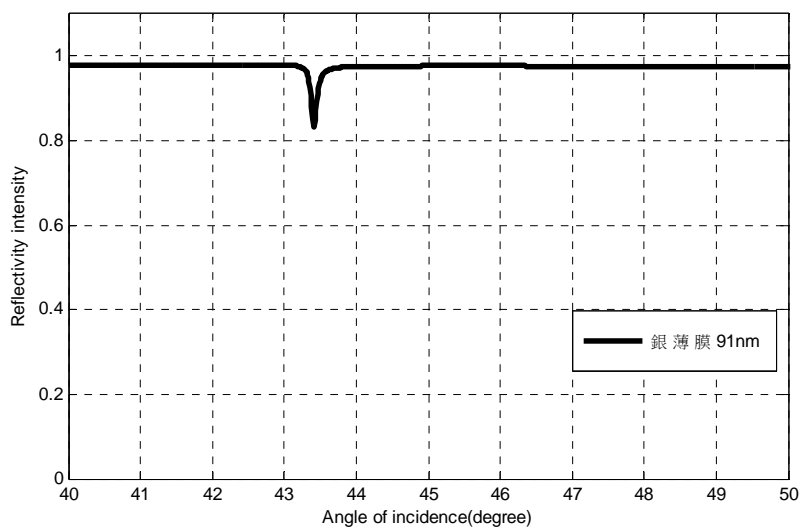


圖 11. 丙酮在銀薄膜厚度 (91nm) 之共振角度[雷射波長：632.8 (nm)]



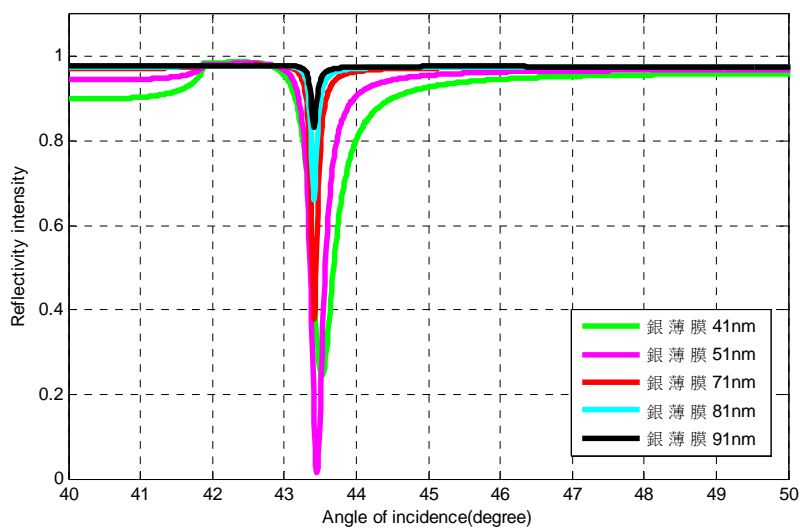


圖 12. 丙酮在不同銀薄膜厚度之比較圖[雷射波長：632.8 (nm)]

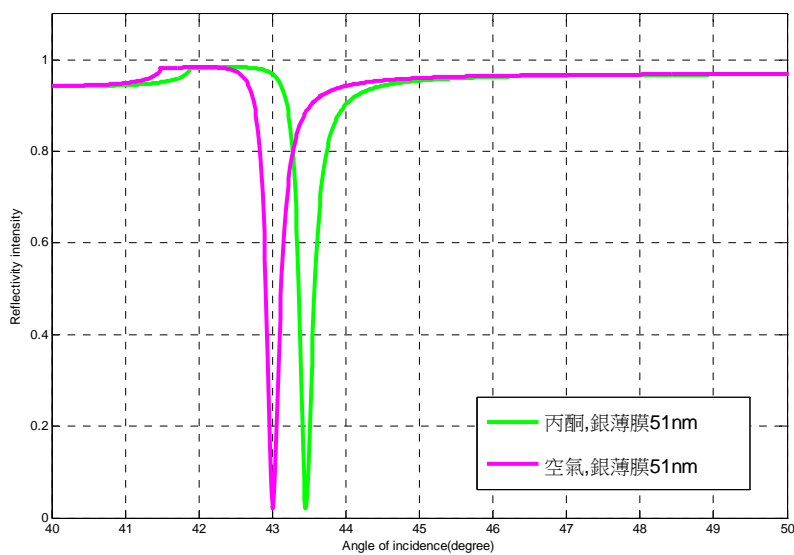


圖 13. 丙酮與空氣在銀薄膜厚度之比較圖[雷射波長：632.8 (nm)]



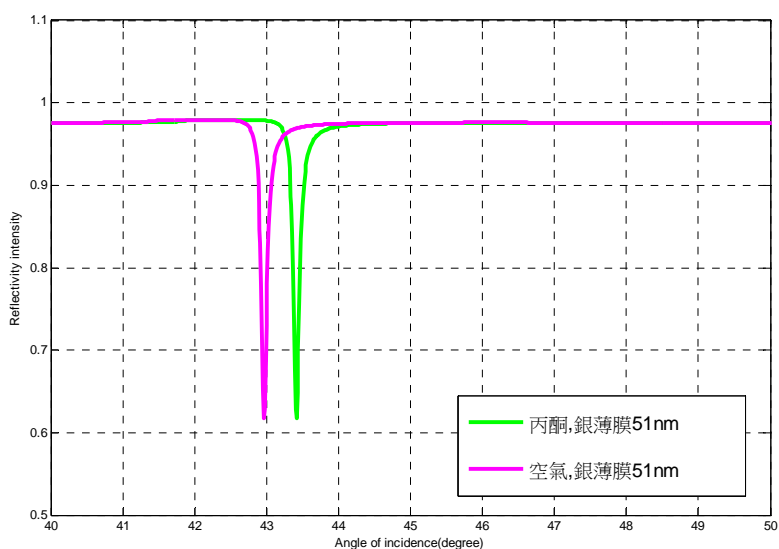


圖 14. 丙酮與空氣在銀薄膜厚度之比較圖[雷射波長：405 (nm)]

伍、結 論

本實驗應用 BK-7 稜鏡做為耦合器，將丙酮的最佳化共振角做為參考基準點，探討影響表面電漿波共振角度和吸收深度。利用波長 632.8nm 丙酮在不同銀薄膜厚度時，得知銀薄膜厚度在 51nm 之共振角度為最佳化，而銀薄膜厚度 91nm 之共振角吸收效果差。藉由本文實驗模擬結果可以延伸出液體感測技術，來感測在工業用途上是否存在丙酮，使用表面電漿波感測技術的液體感測器，可以來判斷液體靈敏度即其穩定特性，此結構已達到符合工業安全的標準法。

參考文獻

1. 廖志雄，「在多層系統中表面電漿子的共振特性與化學感測器的最佳化之研究」，國防科學研究所博士學位論文，民國86年。
2. 李正民，「表面電磁波在多層薄膜界面的性質研究」，國立中央大學物理與天文研究所碩士論文，民國 74 年。
3. 趙凱華、鐘錫華，光學，儒林圖學，民國 85 年。
4. A. Otto, "Excitation of nonradiative surface plasma waves in silver by method of frustrated



- total reflection,” *Z. Phys.* , Vol. 216, No. 4, 1968, pp. 398-410.
5. A. Otto, *Zeitschrift für Physik*. Vol. 216, No. 4, 1968, pp.398-410.
 6. A. Otto, *Zeitschrift für Physik*. Vol. 216, No. 4, 1968, pp.398-410.
 7. Lee, C. M., Liao, C. H., Chang, L. B., and Chiao, T. L., “The Influence of Metal Film Thickness on Wave properties of Surface Plasma Waves,” *Jpn. Appl. Phys.*, Vol. 35, No. 10, 1996, pp. 5448-5452.
 8. Chiao, D. L. and Lee, C. M., “The Frequency of an Attenuated Total Reflection Modulator,” *J. Appl. Phys.*, Vol. 65, No. 9, 1989, pp. 3344-3346.
 9. David K. Cheng, *Field and Wave Electromagnetics*, 2ed, 1989.
 10. 李正民，「表面電漿波在多層膜介面的性質研究」，國立中央大學物理與天文研究所碩士論文，民國 74 年。

