

不同銀金屬薄膜厚度之 Kretschmann 組態對氯化鉀

表面電漿波共振角的研究

The study of resonance angle of surface plasma waves in different silver metal films thickness of Kretschmann configuration to potassium chloride

李正民

孫郁興

陳銅欽

呂天男

洪振剛

Chen-Min Lee

Yuh-Sien Sun

Tong-Cin Chen

Tian-Nan Lu

Chen-Kang Hun

摘要

本文主要是利用光學受挫式全反射方法和新樣式的 Kretschmann 組態(磷化鎵稜鏡-銀金屬薄膜-氯化鉀)為基礎(原 Kretschmann 創始基本組態是:玻璃稜鏡-金屬薄膜-空氣)激發金屬表面電漿波對本研究量測物質-氯化鉀之研究。本文主體研究是藉由改變銀金屬薄膜厚度變化的變因,進行電腦模擬,並找出本新樣式的 Kretschmann 組態激發表面電漿波時之最佳化銀金屬薄膜層厚度,並對整個模擬結果作深入分析與探討。本研究結果顯示,本新樣式的 Kretschmann 組態在於量測物質氯化鉀時,銀薄膜厚度 50(nm) 時,所產生的表面電漿波具有深且窄的最佳化表面電漿波共振角。

關鍵詞: 表面電漿波, Kretshmann 組態, 受挫式內部全反射, 氯化鉀, 銀

ABSTRACT

This paper use frustrated total internal reflection method combined with Kretshmann type configuration (gallium phosphide Prism - Silver metal film - potassium chloride)(Kretschmann was the original Configuration of the basic configuration:Glass Prism - Metal film - air) to stimulate the metal surface plasma waves - the study of potassium chloride. From the study we will identify the best of the surface plasma wave resonance angle and the corresponding metal layer thickness of the silver film .The experiment in silver metal layer 50 nms for The best case surface plasmon resonance angle wave absorption depth.

Keywords : Surface Plasma Waves, Kretshmann configuration,Frustrated Total Internal Reflection, Potassium chloride , silver

一、前言

由於國人的飲食,經常含有過量的食鹽,而食鹽中的鈉主要是導致人類的心血管疾病的來源。對高血壓患者來說,減少鹽的攝取,血壓能下降。適當減鹽可以平均降低高血壓的收縮壓 4.9mmHg (毫米汞柱)、舒張壓 2.6mmHg。長期食

鹽的減量,平均可以使高血壓病人收縮壓降低 7mmHg,血壓正常者降低收縮壓 5mmHg [1]。為了減少食鹽的使用且不失食物的美味下,我們利用不同銀金屬薄膜厚度之 Kretschmann 組態的表面電漿波量測原理,對氯化鉀表面電漿波共振角的研究,對食物是否有參雜氯化鉀更進一步了解。

二、基本理論原理

2.1 表面電漿波(Surface Plasma Waves)

表面電漿波是金屬表面的自由電子受到垂直於表面方向之電磁波分量震盪，感應出電磁場波動。依據能量傳遞方式的不同，可分為輻射性表面電漿波及非輻射性表面電漿波。本論文中所應用的是非輻射性表面電漿波原理。

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

依據光的折射與反射原理，光由光密介質進入光疏介質時，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。但根據量子力學理論來說，入射光並非完全反射，而會有少量光會穿透介面進入光疏介質，此謂為隧道效應，且光強度會隨著距離成指數形式衰減，此為受挫式內部全反射(Frustrated Total Internal Reflection; FTIR)。如圖 1 所示， ϵ_1 為第一層介質的介電常數(稜鏡層)， ϵ_2 為第二層介質的介電常數(空氣層)， ϵ_3 為第三層介質的介電常數(金屬薄膜層)。

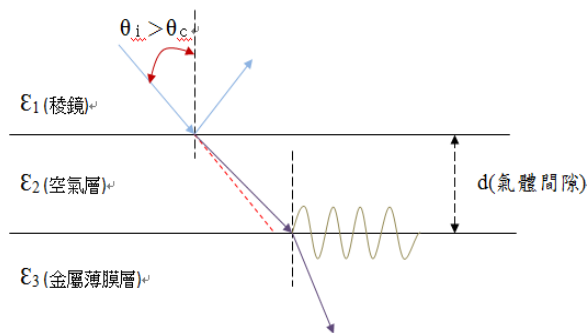


圖 1 受挫式內部全反射

2.3 三層反射率公式

如圖 2 所示，根據 Fresnel Formula，三層介質的入射光反射率可推導為(1)式[8-12]。 $R_{123}^{(0)}$ 為總反射率， r_{123} 代表總反射係數。

$$R_{123}^{(0)} = |r_{123}^{(0)}|^2 \quad (1)$$

$$= \left| \frac{r_{12}^{(0)} + r_{23}^{(0)} e^{i2k_{z2}^{(0)}d_2}}{1 + r_{12}^{(0)} r_{23}^{(0)} e^{i2k_{z2}^{(0)}d_2}} \right|^2$$

$$r_{12}(\theta) = \frac{\epsilon_2 k_{z1}(\theta) - \epsilon_1 k_{z2}(\theta)}{\epsilon_2 k_{z1}(\theta) + \epsilon_1 k_{z2}(\theta)} \quad (2)$$

$$r_{23}(\theta) = \frac{\epsilon_3 k_{z2}(\theta) - \epsilon_2 k_{z3}(\theta)}{\epsilon_3 k_{z2}(\theta) + \epsilon_2 k_{z3}(\theta)} \quad (3)$$

其中的 r_{12} 及 r_{23} 代表 1-2 層及 2-3 層的反射係數，如(2)、(3)所示， k_{z1} 為入射光的波向量在介質 1 中垂直介面之分量， k_{z2} 為入射光的波向量在介質 2 中垂直介面之分量， k_{z3} 為入射光的波向量在介質 3 中垂直介面之分量， d_2 為介質第 2 層的厚度， ϵ_1 為介電常數， θ 為入射角， ϵ_1 為第一層介質的介電常數(稜鏡層)， ϵ_2 為第二層介質的介電常數(空氣層)， ϵ_3 為第三層介質的介電常數(金屬薄膜層)。

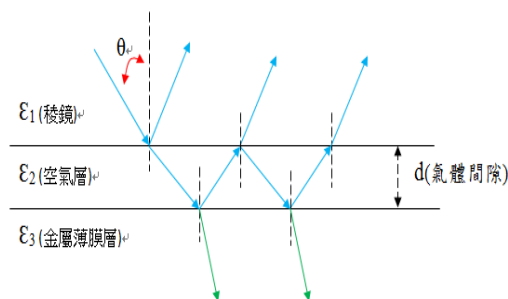


圖 2 三層反射系統示意圖

2.4 Kretschmann 組態

原始的 Kretschmann 組態由稜鏡、金屬、空氣等三層介質組成，如圖 3 所示(請參考文獻 9)。當光源入射至 KR 組態中稜鏡與空氣介質的界面時，因為量子力學的穿隧效應所造成的受挫式全反射，產生衰減波(Evanescence Wave)得以在空氣和金屬兩介質之界面激發表面電漿波。

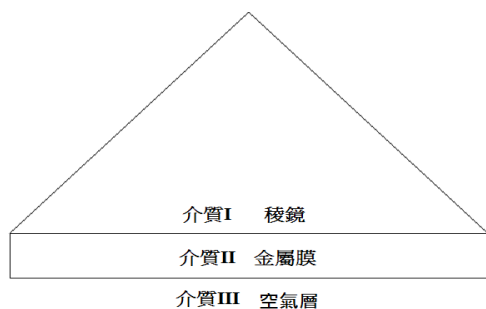


圖 3 Kretschmann 組態示意圖

三、模擬實驗架構

本實驗架構如圖 4 所示，利用氦氖雷射 632.8nm 作為入射光源，經過一個空間濾波器使光源形成為點光源，再透過準直透鏡使光線變成平行光，經過 50:50 的極光分光鏡分成二道光源，一道光源進入光功率計(I)作為參考光，另一道光源為探測光射入應用氯化鉀的 Kretschmann 組態，利用受挫式內部全反射原理，使光源在氯化鉀及金屬層的厚度會產生微小的衰減波，當金屬薄膜吸收衰減波時，並激發表面電漿波，則剩餘探測光能量會進入光功率計(II)量測能量大小，傳回電腦與光功率計(I)大小作比較，利用旋轉平台將應用氯化鉀的 Kretschmann 組態作 0 到 90 度的旋轉，使 0 到 90 度的反射率強度變化經由光功率計(II)傳回電腦記錄。我們可以利用此系統偵測氯化鉀之表面電漿波光譜的共振角度和吸收深度，做為系統偵測器判斷氯化鉀(Potassium chloride)在鹽本身中含量的多寡。

偵測系統中，對應波長(λ)= 6328Å m 的

介電常數 Kretschmann 組態之第一介質為磷化鎵之稜鏡(14.835+1.528j)，第二介質銀金屬薄膜(-18+0.47i)，第三介質為氯化鉀(5)做測量，介電常數和折射率之關係式為 $\epsilon_{介} = n^2$ 折。使用程式模擬時撰寫出三層反射率公式程式，將第二層介質設為銀薄膜時，將銀金屬薄膜的厚度設定在 50nm，在此厚度下為偵測系統可以激發出最佳化的表面電漿波，故表面電漿波光譜的反射率在此厚度時為接近理想值零。經由分光稜鏡分出的參考光與受挫式內部全反射的反射光作比較，找尋氯化鉀介電係數下表面電漿波光譜共振角與吸收深度的曲線圖。

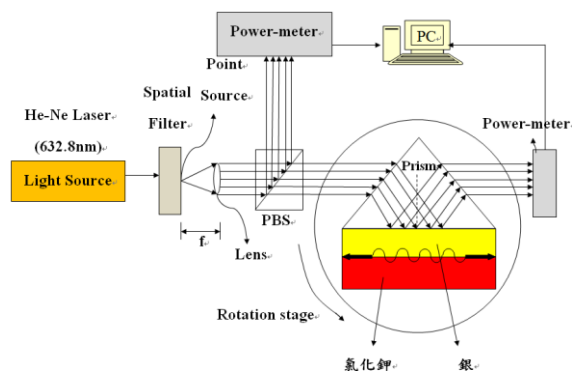


圖 4 實驗架構圖

四、模擬結果與討論

在圖 5~9 為測量氯化鉀模擬圖，當銀膜厚度在 30nm~70nm，即可以發現氯化鉀在此銀膜厚度下激發表面電漿波時，而在銀薄膜厚度 50nm，為最佳化表面電漿波光譜共振角及吸收深度，在圖 10 中為氯化鉀與氯化鈉共振角差異在銀金屬厚度同樣 50nm 時，介電常數不同，共振角度也會不同。

在圖 9 為經過多次的模擬實驗結果總比較圖，本研究結果發現將銀膜厚度固定在 50nm 為所偵測出最佳化共振角圖，如圖 6 超出 70nm 或圖 8 低於 30nm 銀膜厚度時，愈不能激發出表面

李正民 孫郁興 陳銅欽 呂天男 洪振剛 不同銀金屬薄膜厚度之 Kretschmann 組態對氯化鉀表面電漿波共振角的研究

電漿波，而形成全反射，因此能清楚的判斷，在氣體的介電常數愈大時，會激發產生表面電漿波而產生共振角的角度愈大。

利用 Kretschmann 組態激發表面電漿波氣體偵測技術用在液體的量測時有極高的靈敏度與即時性，即使是介電常數差距不多的相異之液體，也可以準確的辨別出共振角的差異。

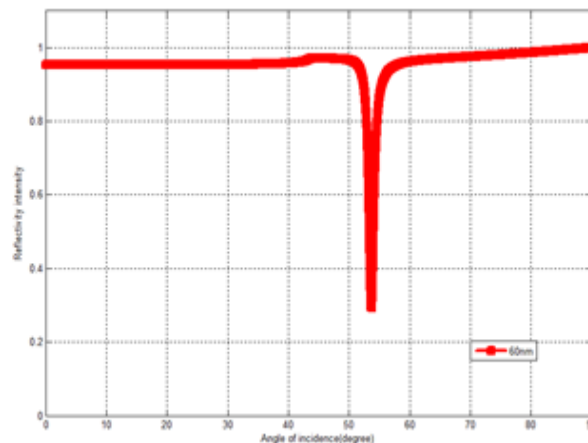


圖 7 氯化鉀共振角圖(厚度 60nm)

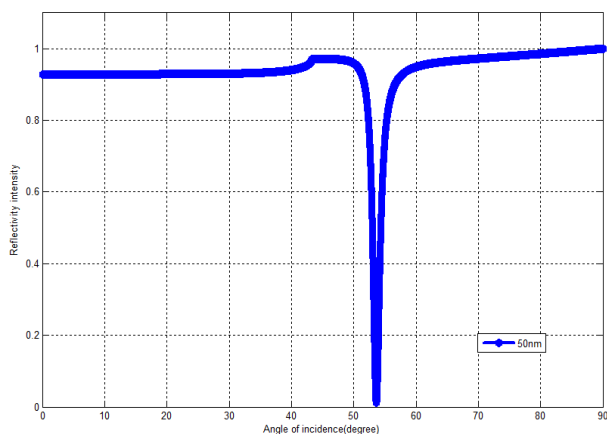


圖 5 氯化鉀最佳化共振角圖(厚度 50nm)

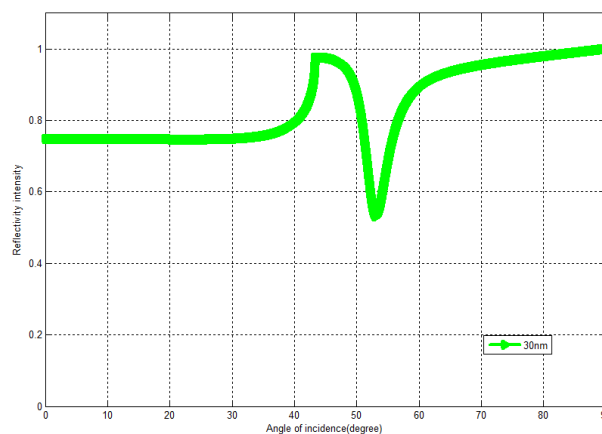


圖 8 氯化鉀最佳化共振角圖(厚度 30nm)

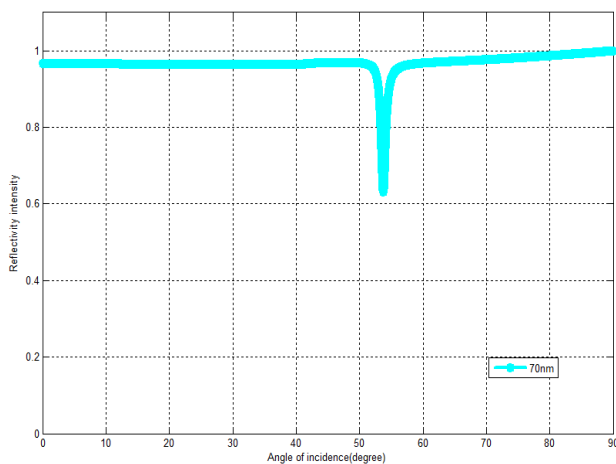


圖 6 氯化鉀共振角圖(厚度 70nm)

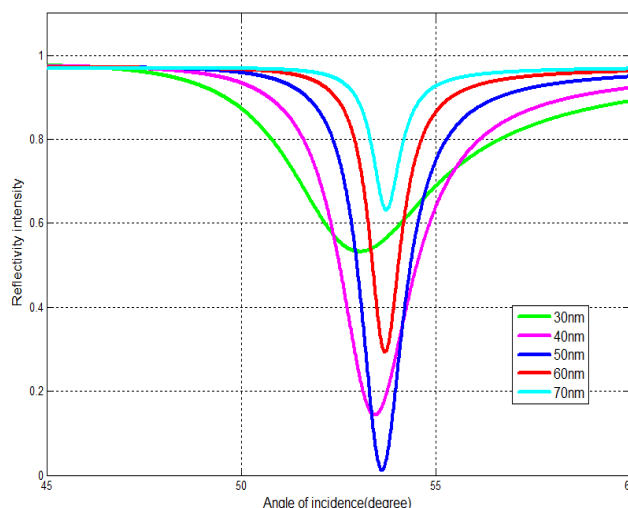


圖 9 氯化鉀最佳化共振角差異圖

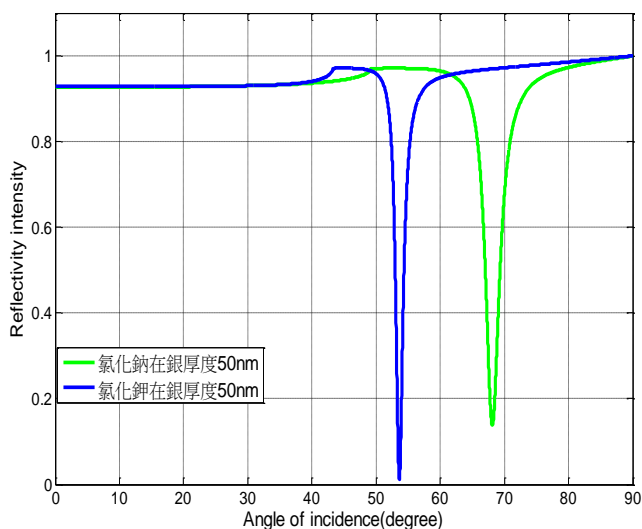


圖 10 氯化鉀與氯化鈉共振角差異圖

五、結論

利用 Kretschmann 組態激發表面電漿波設計感測氯化鉀系統，此系統具有反應即時、穩定度高且不受干擾的特性，本系統未來可應用在食物添加物偵測物質。

由本文可看出不同銀薄膜厚度的共振角度及吸收深度，在 30(nm)~70(nm)厚度中其中銀薄膜厚度 50(nm)之共振角度為最佳化，而銀薄膜厚度 70(nm)之共振角度吸收效果為最差。

參考文獻

- 1.張曉卉，「低鈉鹽真的比較健康？」，康健雜誌第 18 期，PP. 2, 2000.李正民，(1985)，「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。
- 2.蘇文寬、李正民、鄭益昌、張連璧、劉建宏、許志民，(1998)「表面電漿波能量吸收光譜對金膜厚度變化的 Kretschmann 組態及化學偵測器之特性研究」，中正嶺學報，第一期，頁 91-97。
- 3.蘇文寬，(2000)，「利用激發表面電漿波對化學感測器及光電調制器之研究」，國防大學中正理

工學院國防科學研究所博士學位論文。

- 4.李正民、趙文鴻、咎德立、羅鳴謙、陳冠宇、黃沛晴，(2014)，「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」，元培學報，第 21 期，頁 1-12。
- 5.李正民、孫郁興、洪健綸、林華烈(2015)「利用光模擬方法對游泳池氫氯酸之研究」，2015 智慧城市與檢測技術研討會，頁 1-4。
- 6.蘇文寬、李正民、鄭益昌、張連璧、劉建宏、許志民，(1998)「表面電漿波能量吸收光譜對金膜厚度變化的 Kretschmann 組態及化學偵測器之特性研究」，中正嶺學報，第一期，頁 91-97。
7. Wood, R. W. (1992), "On a Remarkable Case of Uneven Distribution of Light in A Diffraction Grating Spectrum," *Phil. Magm.*, vol.4, 396-402.
8. Kretschmann, E. (1968), Raether, H., "Radiative Decay of Non Radiative Surface Plasmons Excited by Light", *Z. Naturforsch*,23a, 2135.
9. Kretschmann, E. (1971), "Die Bestimmung optischer Konstanten von Metallen durch Anregung von Oberflächenplasmaschwingungen," *Z.Phys*, 241,313-324.
- 10.Otto, A. (1968), "Excitation of nonradiative surface plasma waves in silver by method of frustrated total reflection, " *Z. Phys.*, 216, 398-410 .

李正民 孫郁興 陳銅欽 呂天男 洪振剛 不同銀金屬薄膜厚度之 Kretschmann 組態對氯化鉀表面電漿波共振角的研究