

# 利用受挫式內部全反射法搭配 Otto 組態激發表面電漿波對花生油之共振角檢測

## Using the Optical Frustrated Total Internal Reflection Method with Otto Configuration to Study the Resonance Angle of the Plasma Wave to Peanut oil

趙文鴻<sup>1</sup> Wen- Hung Chao  
元培醫事科技大學生物醫學工程系

陳秀文<sup>2</sup> Shiou-Wen Chen  
樹人醫護管理專科學校醫學影像暨放射技術科

何昇遂<sup>3</sup> Sheng-Sui He  
健行科技大學電子工程系碩士班

鄧智承<sup>3</sup> Zhic-Heng Deng  
健行科技大學電子工程系碩士班

李正民<sup>\*4</sup> Cheng-Min Lee  
健行科技大學電子工程系

<sup>1</sup> Department of Biomedical Engineering, Yuanpei University of Medical Technology

<sup>2</sup> Department of Medical Imaging and Radiology, Shu-Zen Junior College of Medicine and Management

<sup>3</sup> Master's Program in Department of Electronic Engineering, Chien Hsin University of Science and Technology

<sup>4</sup> Department of Electronic Engineering, Chien Hsin University of Science and Technology

(Received May 4, 2017; Revised November 20, 2017; Accepted November 27, 2017)



**摘要：**本篇論文是利用受挫式內部全反射法搭配 Otto 組態(磷化鎵稜鏡-花生油-銀金屬薄膜層)激發表面電漿波對花生油的量測，並藉由不同銀金屬薄膜層厚度變化進行電腦模擬，找出 Otto 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分析與探討。本研究結果顯示，量測物質花生油在本 Otto 組態的銀金屬薄膜層厚度 330(nm)時，具有最佳化檢測響應;即本研究組態在銀金屬薄膜層厚度 330(nm)時，所產生的表面電漿波具有深且窄的表面電漿波共振角。

**關鍵詞：** Otto 組態、受挫式內部全反射法、表面電漿波、花生油

**Abstract:** This paper used frustrated total internal reflection configuration with Otto (gallium phosphide prism-peanut oil-silver metal film layer) excitation surface plasma wave measurements for peanut oil by different silver metal film layer thickness changes in computer simulation to find this Otto machine through a silver metal film layer optimal configuration film thickness of the surface plasma wave. This paper also completed the entire simulation results for in-depth analysis and discussion. The results of this study show the measuring of substances peanut oil of Otto configuration with silver metal film layer thickness of 330 (nm) has the best detection response. Namely, the present study configured in silver metal film layer thickness of 330 (nm) surface plasma waves produced deep and narrow optimal resonance angle of surface plasma wave.

**Keywords:** Otto configuration, frustrated total internal reflection method, surface plasma waves, peanut oil

## 壹、前言

中秋節到了每個人都一定會吃月餅，在香港生產的恆香雙黃白蓮蓉月餅爆發假花生油摻雜香精，被澳門驗出每千克含 7.48 微克致癌物(黃麴毒素)；它會使肝癌還會引起組織失血、厭食等症狀由於現今社會黑心食品的氾濫，許多不肖業者為圖便利會使用假花生油來製作月餅，讓許多不知情的民眾吃下肚，長期下來就容易得到上述所說的症狀<sup>1</sup>。

## 貳、基本理論

### 一、表面電漿波

表面電漿波(surface plasma waves)又稱為表面電漿子(surface plasmon, SP)，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，所感應出電磁場波動，並且沿著兩個相異介質的界面來傳遞。依據能量的傳遞方式不同，表面電漿波又可以分為輻射性表面電漿波及



非輻射性表面電漿波，前者是將能量以輻射方式傳遞出去；後者是以振幅的方向垂直於介面，垂直距離呈指數衰減，所以無法傳遞能量出來。本文將以非輻射性表面電漿波特性與應用作為研究。

## 二、受挫式內部全反射

圖 1 有三層介質[稜鏡-空氣層-銀金屬薄膜層]，當入射光從稜鏡進入空氣層時，入射光由光密介質進入光疏介質時，若入射角  $\theta_i$  大於臨界角  $\theta_c$ (critical angle)時，會產生全反射現象(total reflection)。然而從量子力學中的隧道效應觀點：當發生全反射時，入射光並非在光密介質中完全反射，會有少部分的光進入光疏介質，且光的強度會隨著距離呈指數型式衰減，這時全反射現象會被破壞，此為受挫式內部全反射(frustrated total internal reflection; FTIR)。

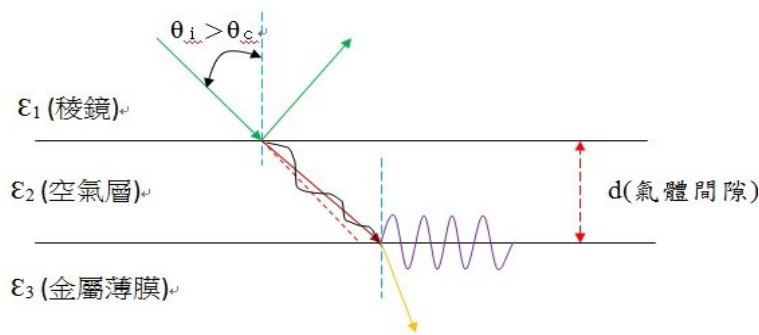


圖 1 受挫式內部全反射示意圖

## 三、三層反射定率公式

如圖 2 所示，將根據 Fresnel Formula，三層介質的入射光反射率可推導為(1)式<sup>2-5</sup>。 $R_{123}(\theta)$  為總反射率， $r_{123}$  代表總反射係數。

$$R_{123}(\theta) = |r_{123}(\theta)|^2$$

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

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

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

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。

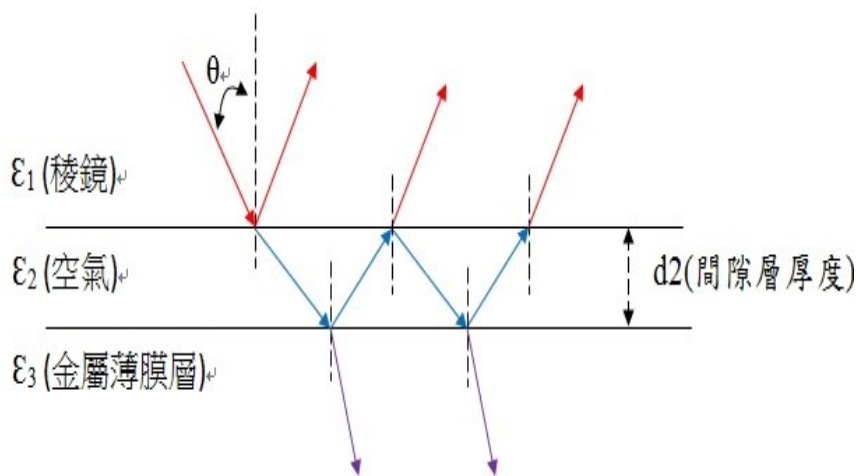


圖 2 三層反射系統示意圖

#### 四、Otto 組態

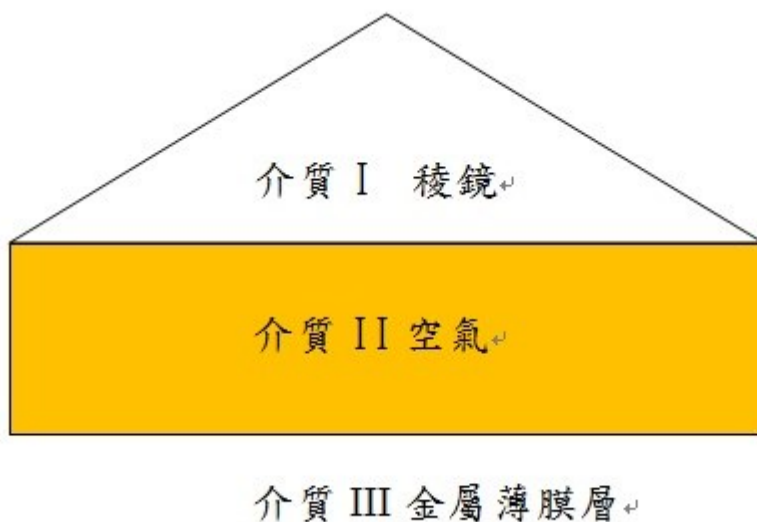


圖 3 Otto 組態架構示意圖

Otto 組態的膜層是以稜鏡-空氣層-金屬薄膜層作為一個架構如圖 3 所示。



### 參、模擬實驗架構

利用受控式內部全反射法搭配 Otto 組態激發表面電漿波來架設實驗架構，如圖 4 所示。我們更換空氣層為待測物花生油，金屬薄膜層使用的是銀。利用紅光氦氖雷射波長 632.8(nm) 為入射光源，經過空間濾波器讓光源呈現一點的光源型式，並透過準直透鏡使光源呈現均勻的平行光，而平行光經由極化分光鏡來使光線分出兩道光(強度 1:1)的光線，其中一道光是用來作為進入光偵測器量測光強度之用，而另一道光線是用來作為檢測光，當光進入此研究的組態架構後，光偵測器會偵測光的強度，將參考光和檢測光進行分析和比較，作為此研究模擬結果。利用旋轉平台應用花生油之 Otto 組態從 0 到 90 度旋轉改變入射光的入射角度時，會影響反射光強度的大小，且反射光大小會經由光功率器回傳到電腦，並利用電腦來處理光強度的變化再進行分析<sup>3-5</sup>。

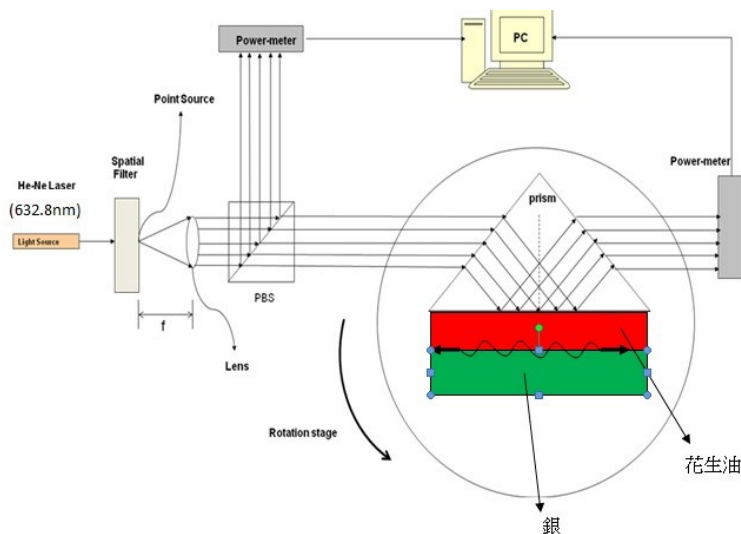


圖 4 實驗架構圖

### 肆、模擬結果與討論

圖 5~圖 7 為電腦模擬共振角曲線圖，藉由改變原空氣層(本篇論文改成花生油層)不同厚度來觀察表面電漿波產生的角度，其中模擬圖上的橫軸為入射角度，而縱軸為總反射率的強度。

圖 5 花生油在金屬薄膜層厚度 330(nm)之共振角曲線圖;圖 6 是金屬薄膜層的厚度 100(nm)時之共振曲線圖。圖 7 為不同金屬薄膜層厚度 [ 100(nm)、150 (nm)、200(nm)、250(nm)、330(nm)、400(nm) ]，藉由 Otto 組態模擬會得到吸收深度及共振角度，從圖可以研判具有最



佳吸收效果及最佳共振角度是 330(nm)。

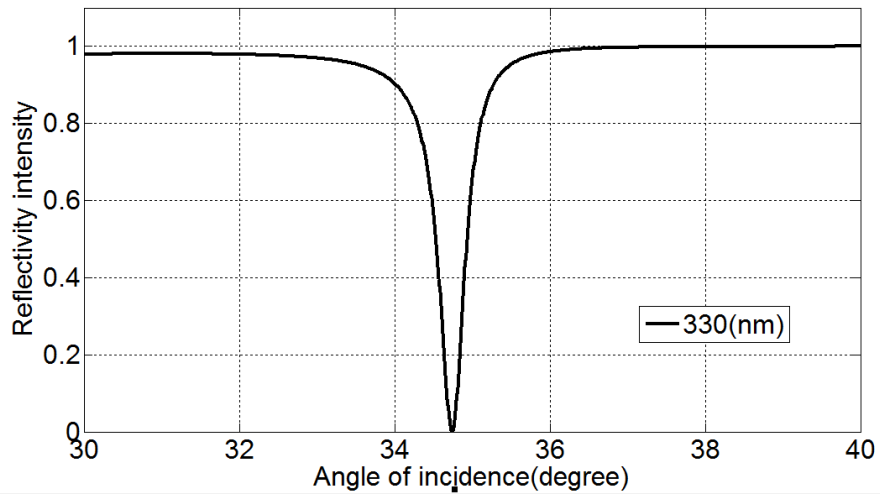


圖 5 花生油在金屬薄膜層厚度 330(nm)之共振角曲線圖

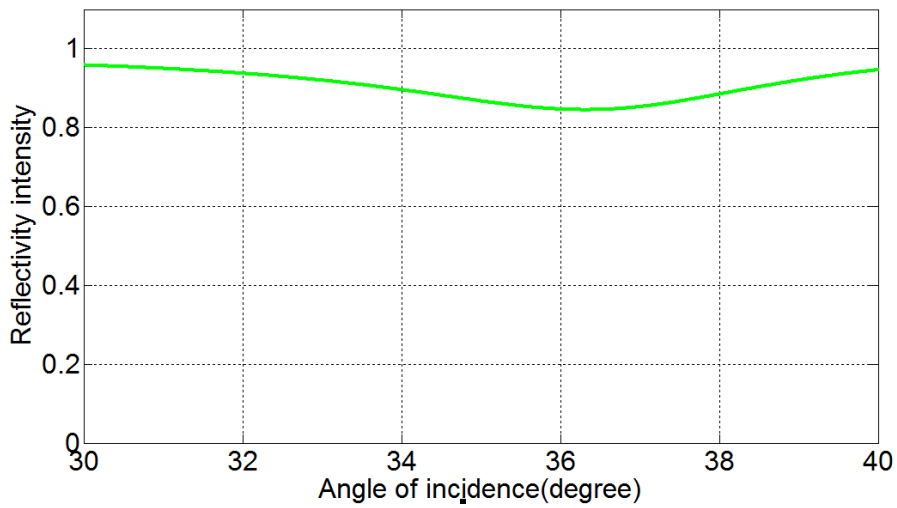


圖 6 花生油在金屬薄膜層厚度 100 (nm)之共振角曲線圖



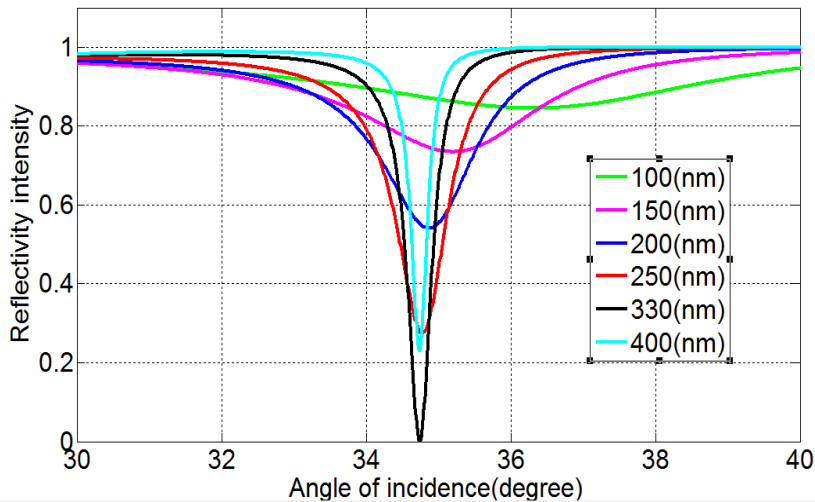


圖 7 花生油在不同的金屬薄膜層厚度之比較圖

## 伍、結論

本篇的模擬是利用受挫式內部全反射法搭配 Otto 組態激發表面電漿波對花生油之共振角檢測，得知在銀金屬厚度 330nm 時有較佳的共振角。此研究技術具有高靈敏度、反應即時、穩定度高且不受干擾的特性達到本研究的目標且此偵測系統可有效監測有害物質添加物。

## 陸、致謝

本研究感謝元培醫事科技大學補助計畫 105-COMP6017-06 提供經費之支持。

## 參考文獻

1. 嚴敏慧，致癌物超標 澳門回收恆香月餅，蘋果日報，民國 105 年。
2. 劉建宏、鄭益昌、蘇文寬、李正民、許志民、張連璧、宋大偉，利用雷射激發表面電漿波之化學感測器研究，中正嶺學報，第六十二期，民國 87 年，5-12 頁。
3. 李正民，表面電漿波在多層薄膜界面的性質研究，民國 74 年，國立中央大學物理與天文研究所。
4. 蘇文寬，利用激發表面電漿波對化學感測器及光電調制器之研究，民國 89 年，國防大學中正理工學院國防科學研究所。
5. 李正民、趙文鴻、咎德立、羅鳴謙、陳冠宇、黃沛晴，利用受挫式全反射配合 Otto 組態激發表面電漿波對丙酮之量測，元培學報，第二十一期，民國 103 年，1-12 頁。
6. Wood, R. W., "On a Remarkable Case of Uneven Distribution of Light in A Diffraction Grating



- Spectrum," *Phil. Magm.*, vol.4,1902, pp.39 6-402.
7. Kretschmann, E., Raether, H., "Radiative Decay of Non Radiative Surface Plasmons Excited by Light," *Z. Naturforsch*, vol.23a,1968, pp.2135.
  8. Kretshmann, E., "Die Bestimmung optischer Konstanten von Metallen durch Anregung von Oberflächenplasmaschwingungen," *Z. Phys.*, vol.241,1971, pp.313-324.
  9. Otto, A., "Excitation of nonradiative surface plasma waves in silver by method of frustrated total reflection," *Z. Phys.*, vol.216,1968, pp.398-410.

