

## 壹、前言

表面電漿子 (surface plasmon, SP) 係為介電質與金屬交界下的金屬內自由電子，在符合共振條件下吸收入射光能量，使得表面集膚深度 (skin depth) 內之電荷密度發生集體式電偶極振盪行為之量子表述，而依 SP 的特性又可區分為表面電漿極化子 (surface plasmon polariton, SPP) 及侷域表面電漿子 (localized surface plasmon, LSP) 兩種，SPP 是指在金屬和介電質的連續界面上傳播的 SP，此處金屬可以無窮厚或為奈米薄膜，但此條件下之 SP 無法和任何自由空間下的入射光子動量匹配以滿足共振條件並產生光能量吸收，因而必須使入射光經由稜鏡或光柵繞射以取得額外動量補償而與金屬內自由電子形成共振激發出 SPP，且入射光電場偏極方向 SPP，亦須為橫磁模態 (即 TM 波)，才能在金屬表面聚集與產生高密度電荷變化，而 SPP 對應的正負電荷會以類似彈簧之疏密波方式沿交界的金屬平面傳播，同時集體式電偶極也伴隨產生呈指數形式衰減的強化電磁場 (或稱衰逝場)，當離介面很近時，其電磁場強度可數十倍於入射光強度，而離介面很遠 (約數百奈米) 時，其電磁場強度便會迅速減弱而無法被偵測到，至於 LSP 則存在於金屬奈米結構和介電質間的界面，其和自由空間之特定波長入射光子可直接產生共振與能量吸收，但共振頻率與對應之電偶極分布皆受奈米結構與尺寸之影響，且強化電磁場也侷限於結構的某些特定區域的近場範圍內。

SP 吸收入射光能量的多寡以及能滿足共振條件之入射光波長或入射角度皆與金屬以及金屬周遭介質的介電常數有很靈敏的關聯，且在共振波長或共振角度下會產生最大吸收峰，因此，探測共振波長或共振角度的偏移，便可偵測與研究發生在離金屬膜表面約數百奈米的空間內的微量分子反應或物質成分變化，此處，SPP 還會額外受稜鏡或光柵耦合元件的形式和光學性質的影響。

由於採用表面電漿波共振 (surface plasmon resonance, SPR) 檢測方式之生物感測器無須事先標定待測物，便具有高靈敏度、可定性／定量／動態分析生物分子交互作用以及進行大量平行篩檢等優點，因此相較於須進行螢光或輻射標定之傳統生物檢測法有更好發揮之潛力，不過即便如此，就目前的偵測靈敏度或解析度還是很難直接量測在生理濃度下的微小生物分子的反應，因此，設計 SP 之激發機構，可使得 SPR 生物感測器的靈敏度與解析度得到提升，並開發出更簡便之 SPR 生物感測器一直是相關研究單位的努力方向。

不同檢測方式的 SPR 生物感測器的偵測靈敏度 (sensitivity) 與對待測物折射率變化之解析度 (resolution) 也有顯著差異。由於檢測方式繁多，此處研究

者以兩個例子來看 SPP 與 LSP 間的不同，激發 SPP 的耦合方式可用稜鏡或光柵，而偵測的參數可以是共振波長、共振角度、反射率變化與光相位變化，對偵測菱鏡耦合 SPP 之共振波長而言，使用 BK7 材質半圓形稜鏡、金膜厚度 50 nm、待測物折射率為 1.32 的情形下，共振波長在 630 nm 附近，其靈敏度為 970 nm/RIU (Homola, Yee, & Gauglitz, 1999)，RIU 為“refractive index unit”之縮寫，其代表折射率單位，而光譜儀對共振波長的解析度若為 0.02 nm，則所對應的折射率解析度為「 $0.02 \div 970 = 2 \times 10^{-5}$  RIU」；而對於偵測激發 LSP 的共振波長之場合，考慮兩個直徑為 D 間距為 s 之金奈米粒子對，隨著 s/D 比值由 2.25 減少到 0.1，折射率之偵測靈敏度雖由 75 nm/RIU 增加到 172 nm/RIU (Jain & El-Sayed, 2008)，但可看出第一例之 SPP 的偵測靈敏度還是優於第二例之 LSP 數倍，雖然比較兩個例子並不够嚴謹，但從尺寸的概念上，仍可以理解 SPP 在連續的金屬介面上可產生較大或較密的電偶極振盪，也可以有穿透介質深度較大之衰逝場，因此可強烈反映出介面附近空間的光學性質，而 LSP 因受限於粒子尺寸或者粒子間距，產生之電偶極大小（與粒子尺寸有關）與密度（與粒子間距有關）將不如 SPP，對介質性質的靈敏度及共振波長解析度也相對較差，雖然如此，檢測 LSP 共振波長的系統架構遠簡單於檢測 SPP 共振，且奈米粒子型態與應用具有豐富的多樣性，因此，有關 SPP 與 LSP 的研究論文數量都非常可觀。

在本研究中，結合多層膜之 Fresnel 方程式及菱鏡折射定律計算出不同底角之菱鏡耦合 SPP 共振角度反射光譜，並由共振角度推算其偵測靈敏度，希望能歸納出菱鏡形狀對於表面電漿波共振檢測系統之影響。

## 貳、數值計算方法

首先本文考慮之角度掃描式表面電漿波共振檢測系統中的菱鏡元件如圖 1，圖 1(a) 中  $\theta_{pt}$  與  $\theta_{pb}$  分別為等邊三角菱鏡之頂角與底角， $\theta_e$  為雷射光入射等邊三角菱鏡之外部角度， $\theta_i$  為菱鏡內部雷射光入射 Cr 膜之角度，各角度間之關係如公式 1 ~ 4：

$$\sin \theta_e = n_p \sin \theta' \quad (\text{公式 1})$$

$$\theta_i = 180^\circ - \frac{\theta_{pt}}{2} - (90 - \theta') = 90 - \frac{\theta_{pt}}{2} + \theta' \quad (\text{公式 2})$$