

基于辅助电介质层的棱镜表面等离子体共振效应研究*

张倩昀 曾捷[†] 李继峰 周雅斌 张先辉 曹海东

(南京航空航天大学, 机械结构力学及控制国家重点实验室, 南京 210016)

(2013年7月26日收到; 2013年9月26日收到修改稿)

研究了一种基于棱镜基底-辅助电介质层-金膜-待测介质四层结构的表面等离子体共振 (surface plasmon resonance, SPR) 效应激励模型. 采用薄膜光学与波导理论, 探索了由辅助电介质层与金膜复合而成共振薄膜对 SPR 效应的激励机理与调制特性. 借助时域有限差分方法, 数值模拟得到辅助电介质层属性与共振能量传输特性关系. 在此基础上, 构建了波长调制型棱镜辅助电介质层结构 SPR 激励系统. 研究表明, 当待测介质折射率相同时, 相较于棱镜基底-金膜-待测介质三层结构的 Kretschmann 激励模型, 辅助电介质层激励模型共振光谱整体向长波方向偏移且半波宽度出现显著展宽效应. 而当待测介质折射率增大时, 辅助电介质层激励模型的共振光谱不仅会向长波方向偏移, 而且折射率响应灵敏度比棱镜 Kretschmann 三层激励模型高出 75%. 因此该模型能够为诸如高灵敏度检测、新型光学滤波与调制器件设计等领域的研究应用提供理论与实践储备.

关键词: 棱镜 SPR 激励模型, 辅助电介质层, 折射率灵敏度, 共振光谱调制

PACS: 42.81.Pa, 07.60.-j, 42.82.Et

DOI: 10.7498/aps.63.034207

1 引言

表面等离子体共振 (surface plasmon resonance, SPR) 效应作为一种存在于金属薄膜与电介质界面利用衰减全反射引起金属表面电荷振荡的物理光学现象, 对于待测介质折射率的变化非常敏感^[1]. SPR 技术具有特异性好、适于原位标记、无二次污染、场增强效应强等优点, 已在抗原抗体免疫分析^[2,3]、药物筛选与鉴定^[4,5]、光电光刻技术^[6,7] 等领域受到广泛重视. 随着分子生物检测、环保监测以及新型光学滤波器技术探索的持续深入, 使得如何进一步提升 SPR 效应调制效果及提高其响应灵敏度已成为国内外相关研究的热点.

Sarid, Quail 等^[8,9] 提出在介质层-金属膜-待测物结构中激发一种非传统模式的表面等离子体

波——长程表面等离子体波. 其激励机理是在介质层折射率与待测物折射率相匹配且金属膜厚度足够薄的条件下, 金属膜上下两界面形成的表面等离子体波相互耦合. 虽然长程表面等离子体波损耗非常小, 但该结构模式尺寸一般较大, 对光约束能力稍弱^[10]. Wu 等^[11] 采用在金膜外侧增覆石墨烯, 研制了检测碳基环结构的 SPR 生物传感器, 该方法主要适用于对特定生物分子的检测, 其外置敏感薄膜易因变性而失去传感功能. Regatos 等^[12] 研制了基于磁光效应 Au/Co/Au 夹层结构的棱镜 SPR 传感器, 提高了 DNA 短链杂交的检测灵敏度, 但由于系统采用角度调制装置使得检测过程较为复杂.

为解决目前某些高灵敏度共振传感结构中敏感薄膜对特定分子的监测, 满足 SPR 传感结构应用通用性与轻巧经济的要求. 本文研究了一种基

* 国家自然科学基金 (批准号: 51275239)、国家自然科学基金国际合作与交流项目 (批准号: 51161120326)、航空科学基金 (批准号: 20125652055)、高等学校博士学科点专项科研基金 (批准号: 2012321811003) 和江苏高校优势学科建设工程资助的课题.

[†] 通讯作者. E-mail: zj2007@nuaa.edu.cn

于辅助电介质层波长调制型棱镜 SPR 效应激励模型. 采用薄膜光学与波导理论, 借助时域有限差分法, 研究由辅助电介质层与金膜复合而成共振薄膜对 SPR 效应的激励机理与调制特性. 通过构建波长调制型棱镜辅助电介质层结构 SPR 激励系统, 对其共振效应与折射率灵敏度响应特性加以试验验证.

2 理论分析

2.1 辅助电介质层型 SPR 效应激励原理

图 1 分别给出了基于棱镜基底-金膜-待测介质三层结构 Kretschmann SPR 激励模型^[13] (以下简称“三层结构 SPR 激励模型”)与棱镜基底-辅助电介质层-金膜-待测介质四层结构类 Kretschmann SPR 激励模型(以下简称“四层结构 SPR 激励模型”)示意图. 由图 1 (a) 所示, P 偏振光以入射角 θ_1 入射, 在棱镜-金膜界面发生衰减全反射, 形成的消逝波 (evanescent wave, EW) 波矢沿 Z 方向分量 k_{ew} 与金膜界面表面等离子体振荡波 (surface plasmon wave, SPW) 波矢沿 Z 方向分量 k_{spw} 相匹配时, 即发生 SPR 现象. 由图 1 (b) 所示, 由于辅助电介质层对光波的调制作用, 改变了其传播路径使得辅助电介质层-金膜界面成为全反射面, 继而在该界面形成消逝波. 若此消逝波与金膜-空气界面形成的表面等离子体波在 Z 方向波矢分量相匹配, 则将激发 SPR 效应.

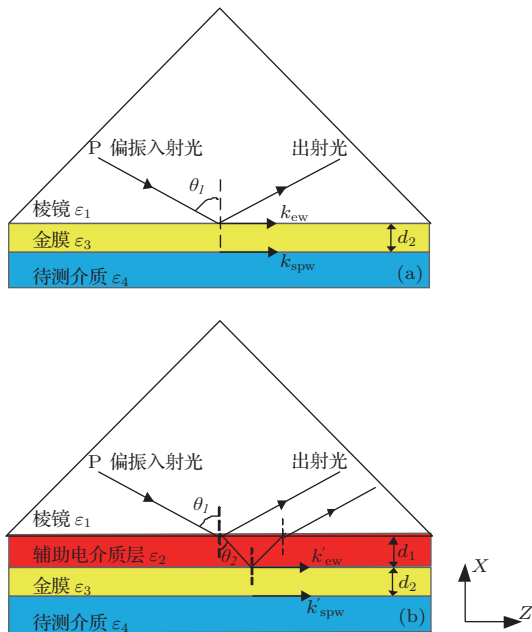


图 1 (a) 三层结构 SPR 激励模型; (b) 四层结构 SPR 激励模型

当待测介质为空气时, 消逝波与表面等离子体振荡波的色散关系, 如图 2 所示. 棱镜-金膜 SPW、金膜-空气 SPW 分别表示金膜上下界面 SPW 的色散曲线. 直线 1 表示三层结构 SPR 激励模型 EW 的色散曲线, 其波矢量为 $k_{ew} = \omega\sqrt{\epsilon_1} \sin \theta_1 / c$. 当入射光频率为 ω_1 时, 直线 1 与金膜-空气 SPW 相交, 意味着两个波波矢相匹配, 激发 SPR 效应^[14,15]. 点划线 2 表示四层结构 SPR 激励模型 EW 的色散曲线, 其波矢量为 $k'_{ew} = \omega\sqrt{\epsilon_2} \sin \theta_2 / c$. 由于辅助电介质层折射率大于棱镜折射率, 使得点划线 2 斜率增大, 偏移至直线 1 左侧, 由其形成的消逝波矢量与金膜-空气 SPW 波矢量再次匹配, 此时所对应入射光波频率变为 ω_2 . 由图 2 所示, ω_2 小于三层结构共振时对应的入射光波频率 ω_1 , 这将导致四层结构 SPR 激励模型共振波长较三层结构 SPR 激励模型, 整体向长波方向显著移动.

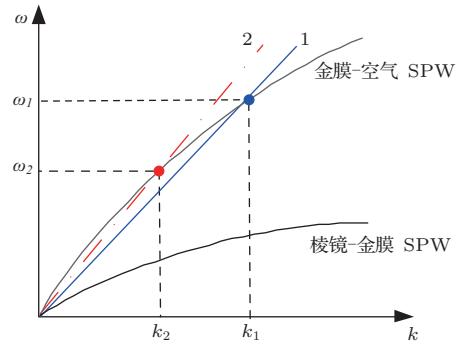


图 2 消逝波与表面等离子体波的色散关系

2.2 SPR 效应激励模型

根据薄膜光学以及 Maxwell 方程, 棱镜导纳为 η_1 , 棱镜基体与膜层组合导纳 Y 与入射光电场振幅 $|E|$ 和磁场振幅 $|H|$ 有关, 定义为 $Y = |H| / |E|$. 光波振幅反射系数 r 和光强能量反射率 R 为^[16]

$$r = \frac{\eta_1 - Y}{\eta_1 + Y},$$

$$R = r \cdot r^* = \left(\frac{\eta_1 - Y}{\eta_1 + Y} \right) \left(\frac{\eta_1 - Y}{\eta_1 + Y} \right)^*$$

$$= \left| \frac{\eta_1 - Y}{\eta_1 + Y} \right|^2. \quad (1)$$

由三层结构 SPR 激励模型棱镜基底-金膜界面与金膜-待测介质界面电磁场边界条件, 得到这两界面电场强度矢量 E_0, E_2 与磁场强度矢量 H_0, H_2 关系为

$$\begin{bmatrix} E_0 \\ H_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \delta_3 & \frac{i}{\eta_3} \sin \delta_3 \\ i\eta_3 \sin \delta_3 & \cos \delta_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_2 \\ H_2 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

金膜层和棱镜基体组合的特征矩阵为

$$\begin{bmatrix} |E| \\ |H| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \delta_3 & \frac{i}{\eta_3} \sin \delta_3 \\ i\eta_3 \sin \delta_3 & \cos \delta_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \eta_4 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

式中, θ_j ($j = 1, 3, 4$) 是波长为 λ 的入射光在棱镜、金膜层、待测介质界面入射角及反射角; $\eta_j = N_j / \cos \theta_j$ 为棱镜、金膜层、待测介质的导纳; $\delta_3 = 2\pi N_3 d_2 \cos \theta_3 / \lambda$, $N_3 = n_3 - ik_3$, d_2 是金膜层位相厚度、复折射率、厚度, 其中 n_3, k_3 是金膜折射率、吸收系数, i 表示虚数单位; $N_1^2 = \varepsilon_1$, $N_4^2 = \varepsilon_4$ 是棱镜基体、待测介质绝对折射率, 其中 $\varepsilon_1, \varepsilon_4$ 是棱镜基体、待测介质介电常数.

同理, 在四层结构 SPR 激励模型界面处应用边界条件, 可以得到

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} E_0 \\ H_0 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos \delta_2 & \frac{i}{\eta_2} \sin \delta_2 \\ i\eta_2 \sin \delta_2 & \cos \delta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ H_1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos \delta_2 & \frac{i}{\eta_2} \sin \delta_2 \\ i\eta_2 \sin \delta_2 & \cos \delta_2 \end{bmatrix} \\ &\quad \cdot \begin{bmatrix} \cos \delta_3 & \frac{i}{\eta_3} \sin \delta_3 \\ i\eta_3 \sin \delta_3 & \cos \delta_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_2 \\ H_2 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (4)$$

这样, 辅助电介质层、金膜层和棱镜基体组合的特征矩阵表示为

$$\begin{bmatrix} |E'| \\ |H'| \end{bmatrix} = \left\{ \begin{bmatrix} \cos \delta_2 & \frac{i}{\eta_2} \sin \delta_2 \\ i\eta_2 \sin \delta_2 & \cos \delta_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \delta_3 & \frac{i}{\eta_3} \sin \delta_3 \\ i\eta_3 \sin \delta_3 & \cos \delta_3 \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} 1 \\ \eta_4 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

式中, $\eta_2 = N_2 / \cos \theta_2$, $\delta_2 = 2\pi N_2 d_1 \cos \theta_2 / \lambda$, $N_2^2 = \varepsilon_2$, d_1 分别表示辅助电介质层导纳、位相

厚度、绝对折射率、厚度, 其中 ε_2 是辅助电介质层的介电常数; θ_2 为入射光在辅助电介质层界面反射角; E_m, H_m ($m = 0, 1, 2$) 分别表示四层结构 SPR 激励模型中各界面的电场强度矢量与磁场强度矢量. 棱镜内光波在各层界面的反射引起金膜-待测介质界面激发 SPR 效应, 根据电磁场边界条件, 将 (4) 式, (5) 式求解的相关参数代入 (1) 式, 从而得到四层结构 SPR 激励模型的光强能量反射率是一个多参量的复变函数, 简化为

$$R = R[\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, d_1, d_2, \varepsilon_1(\lambda), \varepsilon_2(\lambda), \varepsilon_3(\lambda), \varepsilon_4, \lambda]. \quad (6)$$

当四层结构 SPR 激励模型固定时, 相关参数已知, 光强能量反射率仅与辅助电介质层有关, (6) 式可继续再简化为

$$R = R[\theta_2, d_1, \varepsilon_2(\lambda)]. \quad (7)$$

3 数值模拟

3.1 四层结构 SPR 激励模型能量分布特性研究

采用基于时域有限差分方法^[17]的 OptiFDTD 软件, 研究棱镜 SPR 效应激励模型能量传输特性. 求解域为 $3 \mu\text{m} \times 3 \mu\text{m} \times 3 \mu\text{m}$ 的正方体; 边界条件设置为完美匹配吸收层 (UPML); 棱镜折射率为 1.5163; 金属膜选用 Lorentz-Drude 金膜, 厚度为 50 nm; 待测介质为空气, 折射率为 1, 厚度 0.5 μm ; 入射光为在 XZ 平面传输呈高斯分布的平面 P 偏振光, 与棱镜左表面法线呈 45° 水平入射, 该角度保证了两种激励模型激发 SPR 效应入射角均大于衰减全反射临界角; 网格尺寸为 $\Delta = 0.005 \mu\text{m}$.

棱镜基底-辅助电介质层 ($d_1 = 50 \text{ nm}$, $n_2 = 2.0$)-金膜-待测介质四层结构类 Kretschmann SPR 激励模型 TM 模式电磁场分量分布图, 如图 3 所示.

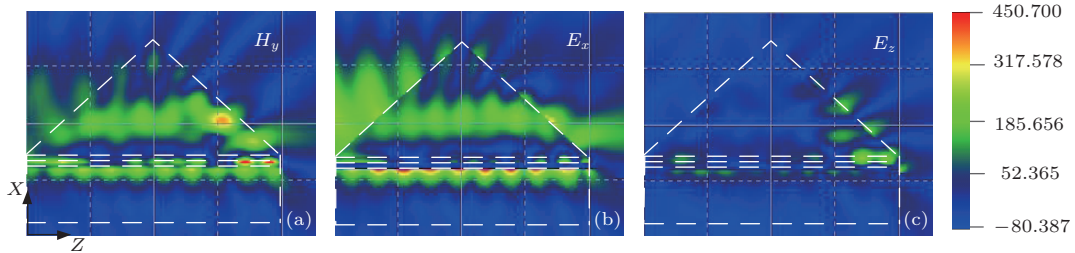


图3 四层结构 SPR 激励模型 TM 模式电磁场分量分布图 (a) Y 方向磁场分量 H_y ; (b) X 方向电场分量 E_x ; (c) Z 方向电场分量 E_z

P 偏振光为 TM 激励模式, 包含 H_y , E_x , E_z 三个电磁场分量, 其中磁场分量 H_y 垂直于光波的传播方向. 图中显示, 磁场分量 H_y 和电场分量 E_x 在金膜-待测介质界面能量较为集中; 电场分量 E_z 在金膜界面分布近似为 0. 这与半无限大金属薄膜/电介质界面表面等离子体的电磁场分量分布^[18]相一致. 可见, 在棱镜型结构中金膜-空气界面表面等离子体波也是以 TM 模式存在. 当表面等离子体波波矢与消逝波波矢相匹配时, 便能有效的激发 SPR 效应.

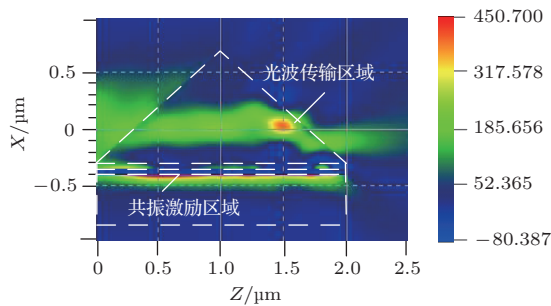


图4 四层结构 SPR 激励模型在 XZ 平面坡印亭矢量分布图

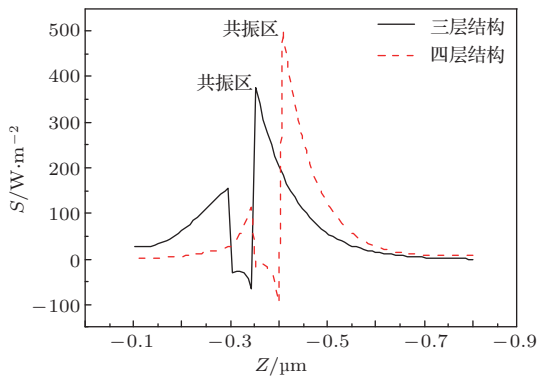


图5 $z = 0.5 \mu\text{m}$ 处坡印亭矢量 S 沿 X 轴方向分布曲线

图 4 所示为该四层结构的坡印亭矢量 S 分布图. 其中坡印亭矢量 S 表示电磁波能流密度, 定义为 $S = E \times H$. 其大小表示单位时间单位面积电磁能分布, 方向表示电磁能传递方向^[19]. 在棱镜-辅助电介质层界面 ($x = -0.3 \mu\text{m}$, 光波传输区域), 能量主要集中在棱镜基体内侧传播. 而在金膜-空气界面 ($x = -0.4 \mu\text{m}$, 共振激励区域), 由于存在 SPR 效应, 光波能量沿 Z 方向发生泄漏. 分别取三层结构与四层结构在 $z = 0.5 \mu\text{m}$ 处坡印亭矢量 S 沿 X 轴方向分布曲线, 如图 5 所示. 入射光传播规律相似, 而当辅助电介质层厚度 50 nm, 折射率 2.0 时, 相较三层结构, 四层结构共振激励能量曲线不

仅沿 X 轴方向整体向右平移了 50 nm, 使其共振区域移至金膜-空气分界面, 而且该区域能量峰值显著增大, 此仿真结果与 2.1 节四层结构 SPR 激励原理分析相符合.

为考察辅助电介质层属性(厚度、折射率)对 SPR 效应的调制特性, 在图 4 棱镜基底内侧光波传输区域 ($x = -0.3 \mu\text{m}$) 坡印亭矢量峰值及共振激励区域 ($x = -0.4 \mu\text{m}$) 坡印亭矢量峰值处分别设置观察点, 得到观察点的坡印亭矢量 S 随辅助电介质层厚度、折射率变化关系曲线, 如图 6、图 7 所示.

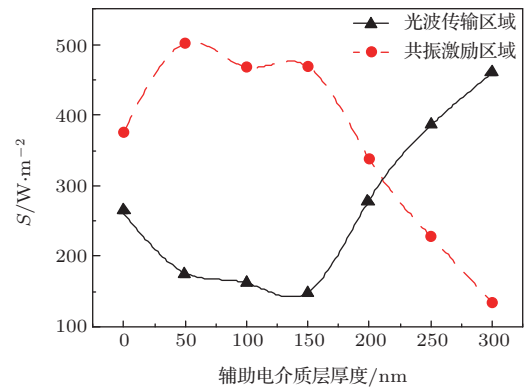


图6 辅助电介质层厚度与共振效应关系

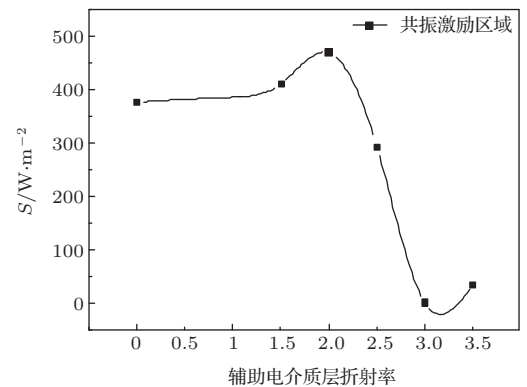


图7 辅助电介质层折射率与共振效应关系

图 6 中光波传输区域与共振激励区域观察点处的坡印亭矢量 S 变化曲线相互对称. 当辅助电介质层厚度为 50—150 nm 时, 共振区域观察点处的坡印亭矢量 S 显著高于其他厚度对应共振区域的 S , 而此厚度范围相应的光波传输区域 S 均较小. 这是由于金膜表面等离子振荡波吸收棱镜内侧光波能量, 使得共振区域能量大幅提高, 而引起相应反射光波能量明显减少所致. 当辅助电介质层为 150 nm 时, 共振激励区域观察点 S 较大, 相应的光波传输区域观察点 S 极小, 表明共振区域能量集

中、光波传输区域能量分布较少, 此时 SPR 效应最强烈. 此外, 在图 7 中, 当辅助电介质层折射率为 2.0 时, 共振区域观察点处 S 显著大于其他折射率对应的 S , 表明此处 SPR 激励效应最强. 因此, 研究中选用厚度 150 nm, 折射率 2.0 作为辅助电介质层属性优化参数.

3.2 四层结构 SPR 激励模型共振光谱特性研究

当三层结构与四层结构 SPR 激励模型确定时, 波长调制下棱镜 SPR 激励模型存在与待测介质的输入输出关系, (6) 式可简化为

$$R = R[\theta_4, \varepsilon_4, \lambda]. \quad (8)$$

金膜界面激发 SPR 效应时, 激励模型共振光谱会随着待测介质折射率变化而发生偏移. 若待测介质折射率变化量相同, 根据光谱中最小光强能量反射率下共振波长的偏移量变化, 可以实现对两种激励模型传感检测性能的比较.

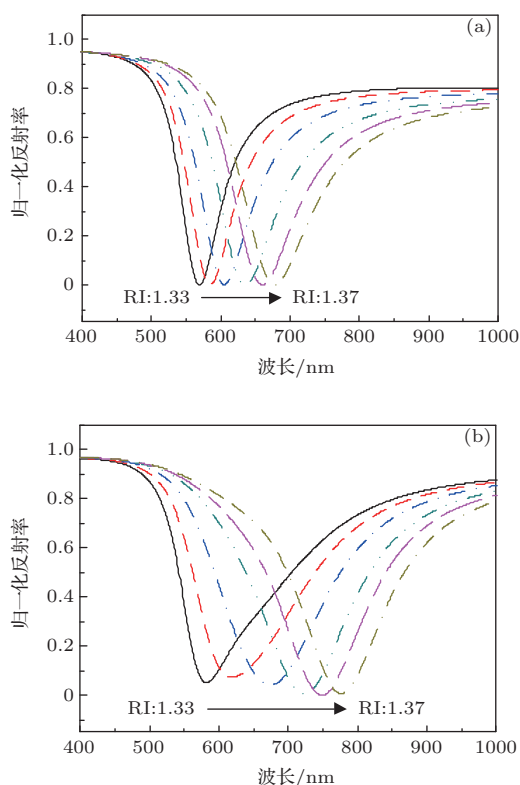


图 8 (a) 三层结构 SPR 激励模型共振光谱; (b) 四层结构 SPR 激励模型共振光谱

根据 (8) 式能够得到三层结构 SPR 激励模型与四层结构 SPR 激励模型共振光谱随待测介质折射率 (refractive index, RI) 变化的关系曲线, 如

图 8 (a), (b) 所示. 随着待测介质折射率增加, 两种 SPR 激励模型共振光谱均会向长波方向偏移.

当待测介质折射率相同时, 四层结构相对于三层结构, 其共振波长向长波方向出现明显偏移, 如图 9 (a) 所示. 此外, 四层结构 SPR 激励模型共振光谱呈现明显展宽效应, 两种模型共振半波宽度与折射率变化的关系曲线, 如图 9 (b) 所示. 对于相同环境折射率, 四层结构激励模型共振半波宽度均明显大于三层结构激励模型. 这主要是由于光波到达棱镜-辅助电介质层界面时, 将由光疏介质传输至光密介质, 使得经折射后到达金膜-待测介质界面的光波能量显著增加, 导致满足共振匹配条件的消逝波范围扩展所致. SPR 共振半波展宽导致共振光谱之间的距离增加, 虽然光谱底部最小值识别难度增加, 但波谷值仍处在可辨识范围内, 且该值惟一, 不存在多值. SPR 激励模型折射率灵敏度^[20]表示共振波长变化量与待测介质折射率变化量的比值. 经计算得到四层结构 SPR 激励模型折射率灵敏度理论值为 4934.74 nm/RIU, 比三层结构 SPR 激励模型提高约 80%.

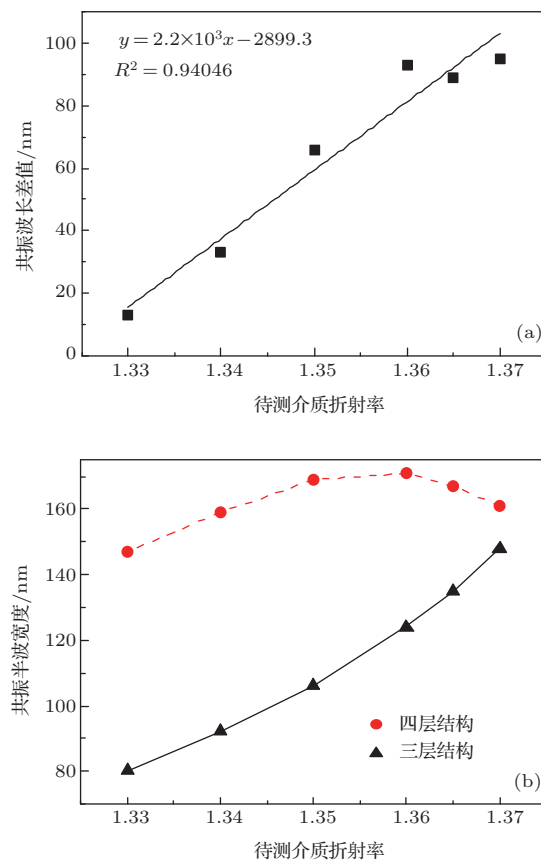


图 9 (a) 相同待测介质折射率下, 两种激励模型对应的共振波长差值; (b) 两种激励模型共振半波宽度随待测介质折射率变化关系曲线

4 实验结果

实验选择K9等腰直角三棱镜, 辅助电介质层材料选择折射率为2.2的二氧化钛薄膜, 采用真空

蒸镀法在棱镜基底外侧依次均匀蒸镀150 nm 二氧化钛膜和50 nm 金膜. 共振激励系统主要由宽带光源、传输光纤、棱镜、辅助电介质层SPR激励模型、聚焦透镜、微型光纤光谱仪及计算机组成, 如图10所示.

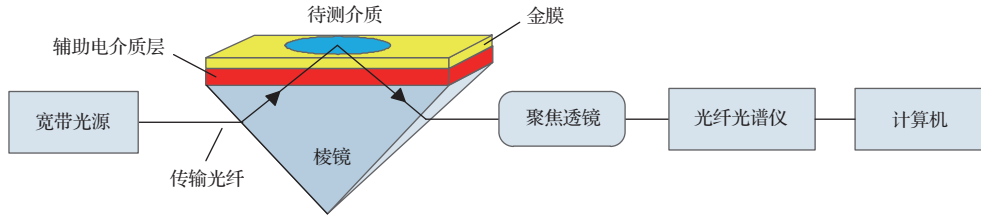


图10 四层结构SPR共振激励系统示意图

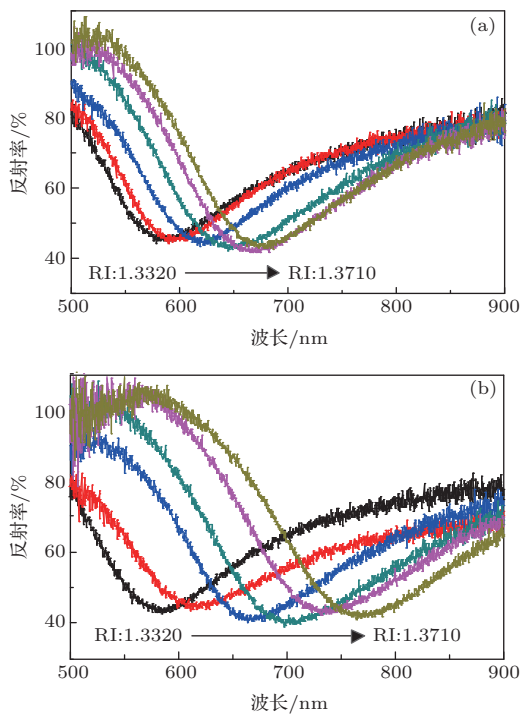


图11 波长调制型棱镜激励SPR共振光谱 (a) 三层结构SPR激励模型; (b) 四层结构SPR激励模型

三层结构SPR激励模型与四层结构SPR激励模型随液体待测介质折射率变化的共振光谱曲线, 如图11(a), (b)所示. 随着环境折射率增加, 四层结构激励模型共振光谱向长波方向偏移了约190 nm, 较三层结构约100 nm的偏移量呈现明显增大. 当待测介质折射率相同时, 相较于三层结构, 四层结构共振波长往长波方向偏移. 这主要是由于EW与SPW波矢匹配时, 其共振吸收的光波频率小于三层结构对应的共振光波频率, 也即四层结构共振波长变大. 此外, 四层结构SPR激励模型共振光谱还存在明显展宽现象, 表明金膜-待测介质界面

SPR效应整体激发效果得到了增强, 这与仿真结果图9中所示情况相符合. 采用移动小波提升算法对实验光谱降噪处理, 光谱曲线共振波谷位置仍可准确辨识.

图12给出了在数值模拟与实验条件下, 两种激励模型共振波长随待测介质折射率变化的响应曲线. 图中显示, 四层结构SPR激励模型对应的曲线斜率均明显大于三层结构曲线斜率, 该斜率即折射率响应灵敏度. 因而, 四层结构折射率灵敏度呈现大幅提高, 达到约4863.52 nm/RIU, 比三层结构提高约75%. 实验结果与数值模拟结果具有良好的一致性, 表明辅助电介质层能够实现共振光谱位置与半波宽度的有效调制.

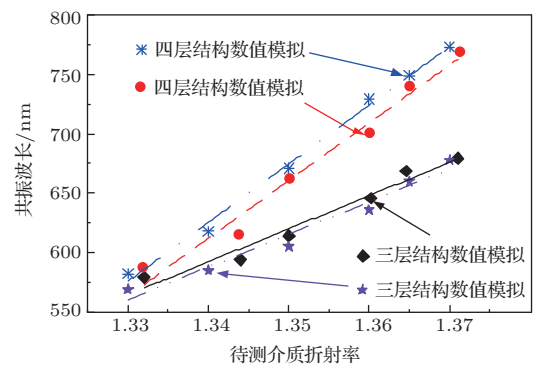


图12 共振波长与待测介质折射率关系曲线

5 结论

研究了一种基于辅助电介质层棱镜SPR效应激励模型. 通过在棱镜基底与金膜之间增覆辅助电介质层, 能够实现对SPR共振光谱和折射率灵敏度的有效调节. 该模型具有结构简单, 折射率检测通用性强等特点. 当待测介质折射率相同时, 其共

振光谱整体较棱镜Kretschmann三层结构SPR激励模型向长波方向偏移,且共振半波宽度出现显著展宽效应.当待测介质折射率逐渐增大时,共振光谱向长波方向偏移,折射率灵敏度得到有效提高.

参考文献

- [1] Zhao H J 2012 *Chin. Phys. B* **21** 087104
- [2] Andreas N 2010 *J. Biol. Pharm. Anal.* **51** 252
- [3] Xu X, Ye Z Z, Wu J, Ying Y B 2010 *Chinese J. Anal. Chem.* **38** 1052
- [4] Pernites R, Ponnampati R, Felipe M J, Advincula R 2011 *Biosens Bioelectron.* **26** 2766
- [5] Jia Z X, Duan X, Lv T T, Guo Y N, Xue W R 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 057301 (in Chinese)[贾智鑫,段欣,吕婷婷,郭亚楠,薛文瑞 2011 物理学报 **60** 057301]
- [6] Hong X, Guo X B, Fang X, Li K, Ye H 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 178502 (in Chinese)[洪霞,郭雄彬,方旭,李衍,叶辉 2013 物理学报 **62** 178502]
- [7] Hong X G, Xu W D, Li X G, Zhao C Q, Tang X D 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 6643 (in Chinese)[洪小刚,徐文东,李小刚,赵成强,唐晓东 2008 物理学报 **57** 6643]
- [8] Sarid D 1981 *Phys. Rev. Lett.* **47** 1927
- [9] Quail J C, Rako J G, Simon H J 1983 *Opt. Lett.* **8** 377
- [10] Li M Y 2010 *MS Thesis* (Beijing: Beijing Jiaotong University) (in Chinese) [李敏钰 2010 硕士学位论文 (北京: 北京交通大学)]
- [11] Wu L, Chu H S, Koh W S, Li E P 2010 *Opt. Exp.* **18** 14395
- [12] Regatos D, Sepúlveda B, Fariña D, Carrascosa L G, Lechuga L M 2011 *Opt. Exp.* **19** 8336
- [13] Kretschmann E, Raether H 1968 *Z. Naturforsch. A* **23** 2135
- [14] Wijaya E, Lenaerts C, Maricot S, Hastanin J, Habraken S, Vilcot J P, Boukherroub R, Szunerits S 2011 *Curr. Opin. Solid State Mater. Sci.* **15** 208
- [15] Maier S A 2007 *Plasmonics: fundamentals and applications* (Vol.1) (New York: Springer) p44-46
- [16] Zhang J T, Gu Z T, Deng C L 2010 *Acta Phot. Sin.* **39** 1216 (in Chinese)[张江涛,顾铮先,邓传鲁 2010 光子学报 **39** 1216]
- [17] Li Q B, Wu R X, Yan Y, Sun H L 2013 *Chin. Phys. Lett.* **30** 074208
- [18] Shalabney A, Abdulhalim I 2010 *Sens. Actuators A: Phys.* **159** 24
- [19] Jiang Y Y, Shi H Y, Zhang Y Q, Hou C F, Sun X D 2007 *Chin. Phys.* **16** 1959
- [20] Zayats A V, Smolyaninov I I, Maradudin A A 2005 *Phys. Reports* **408** 131

Study of prism surface plasmon resonance effect based on dielectric-aided layer*

Zhang Qian-Yun Zeng Jie[†] Li Ji-Feng Zhou Ya-Bin Zhang Xian-Hui
Cao Hai-Dong

(State Key Laboratory of Mechanics and Control of Mechanical Structures, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,
Nanjing 210016, China)

(Received 26 July 2013; revised manuscript received 26 September 2013)

Abstract

A prism surface plasmon resonance (SPR) incentive model based on the dielectric-aided layer structure is studied. The model consists of four structure layers: prism-dielectric-aided layer-gold-environmental media. According to the thin film optics and waveguide theory, the excited mechanism and modulation characteristic of SPR effect are explored based on resonance composite film composed of dielectric-aided layer and gold film. Numerical simulation is conducted on the relation of layer thickness, film dispersion characteristics and resonance energy transfer by the finite difference time domain method. Thereby, the wavelength modulation prism dielectric-aided layer SPR excitation system is also developed. Results show that with the same refractive index of liquid, the SPR resonance spectrum of dielectric-aided layer incentive model shifts to the longer wavelength region and the resonant halfwave width is wider than the spectrum of common Kretschmann incentive model based on prism-gold-environmental media. With increasing refractive index, the SPR resonance spectrum redshifts, and its sensitivity is 75% higher than the common incentive model. The designed model can effectively improve the sensitivity of the prism surface plasmon resonance effect, and in the areas such as high sensitivity detection, new types of optical filter, the modulator and other fields the SPR technology may provide a theoretical and practical basis.

Keywords: prism surface plasmon resonance incentive model, dielectric-aided layer, sensitivity of refractive index, resonance spectrum modulation

PACS: 42.81.Pa, 07.60.-j, 42.82.Et

DOI: [10.7498/aps.63.034207](https://doi.org/10.7498/aps.63.034207)

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 51275239), the Funds for International Cooperation and Exchange of the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 51161120326), the Aviation Science Foundation of China (Grant No. 20125652055), the Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China (Grant No. 2012321811003), and the Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions.

[†] Corresponding author. E-mail: zj2007@nuaa.edu.cn