

光近接場顕微鏡用金属プローブの伝搬モードについて： 金属円錐モードからの類推

Propagation Modes of Metallic Probes for Optical Near-Field Microscopy:

Analogy with Modes in the Metallic Cone

福井大教育 ○栗原 一嘉

Univ. Fukui ○Kazuyoshi Kurihara

E-mail: kuri@u-fukui.ac.jp

回折限界を超える光学イメージ像を観測できる光近接場光学顕微鏡において、その金属プローブはまさに心臓部品と言えるにも関わらず、その伝搬モードの解析解は導かれていない¹⁾。金属プローブは、図1に示すように、長形回転楕円体座標系で曲率半径を有する金属円錐でモデル化する。

最近、金属円錐構造で複素誘電率の範囲で有効な近似解析解を考察した²⁾。角度関数 $\Psi^{(0)}(\theta, r)$ を、 $P_{-1/2+i\tau}^{-1}(\cos\theta)$ と $\widehat{Q}_{-1/2+i\tau}^{-1}(\cos\theta)$ の円錐関数³⁾ で用いて、次式

$$\Psi^{(0)}(\theta, r) = \begin{cases} P_{-1/2+i\tau_1}^{-1}(\cos\theta)/P_{-1/2+i\tau_1}^{-1}(\cos\alpha) & 0 \leq \theta \leq \alpha \\ \widehat{Q}_{-1/2+i\tau_2}^{-1}(\cos\theta)/\widehat{Q}_{-1/2+i\tau_2}^{-1}(\cos\alpha) & \alpha \leq \theta \leq \pi \end{cases}$$

で表記すると、近似解析解が求まることが理解された。この自然な拡張として、曲率半径を有する金属円錐では、角

度関数 $H(\eta, \xi)$ を、回転楕円体関数の $\text{Ps}_\nu^{-1}(\eta, \gamma^2)$ や $\widehat{\text{Qs}}_\nu^{-1}(\eta, \gamma^2)$ を用いて、次式

$$H(\eta, \xi) = \begin{cases} \text{Ps}_{\nu_1(\xi)}^{-1}(\eta, \gamma_1^2)/\text{Ps}_{\nu_1(\xi)}^{-1}(\cos\alpha, \gamma_1^2) & 1 \geq \eta \geq \cos\alpha \\ \widehat{\text{Qs}}_{\nu_2(\xi)}^{-1}(\eta, \gamma_2^2)/\widehat{\text{Qs}}_{\nu_2(\xi)}^{-1}(\cos\alpha, \gamma_2^2) & \cos\alpha \geq \eta \geq -1 \end{cases}$$

で表記すると、金属円錐モードを基礎として拡張した議論が可能となる。ここで、 $\widehat{\text{Qs}}_\nu^{-1}(x, \gamma^2)$ は、 $\widehat{Q}_{-1/2+i\tau}^{-1}(\cos\theta)$ と同じ形式で定義するものとする。曲率半径を有する円錐は、曲率半径を無限小にする極限において、円錐になる。このことを利用して、曲率半径を有する金属円錐モードの近似解析解を、金属円錐モードの摂動として求める。当日は、数式とその数値計算をあわせて示す。

参考文献

- 1) 栗原一嘉、「光近接場顕微鏡用金属プローブの伝搬モードについて：難しさの要因」、2018年9月、第79回応用物理学会秋季学術講演会、19a-PA7-1.
- 2) 栗原一嘉、「複素誘電率を有する金属構造のプラズモン超集束モードの近似解析解」、2018年12月、第79回応用物理学会秋季学術講演会、19a-PA7-1.
- 3) ‘NIST Handbook of Mathematical Functions’ edited by Frank W. J. Olver et al. (2010).

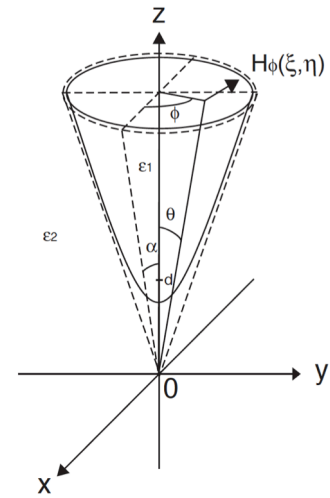


図1 回転双曲面による金属プローブのモデル化。長形回転楕円体座標系で回転双曲面を記述する。