

誘電体コアを持つ金属ナノ構造中の局在プラズモン励起

Excitation of Localized Plasmons in Metal Nanostructures with Dielectric Cores

東大院工 ○ 市川 昌和

Univ. Tokyo, ○ Masakazu Ichikawa

E-mail: ichikawa@ap.t.u-tokyo.ac.jp

本講演では、局在プラズモン励起の理論[1]を用いて、誘電体コアを持つ金属ナノシェルと金属ナノチューブにおける局在プラズモン励起と、それに伴う光放射について報告する。

ナノ構造内の電磁場の遅延効果を見捨てる準静的近似を用いると、乱雑位相近似 (RPA)における高周波数 (プラズモン周波数領域) 条件において、有効スカラーポテンシャル $\varphi_{\text{eff}}(\mathbf{r}, \omega)$ と外部スカラーポテンシャル $\varphi_{\text{ext}}(\mathbf{r}, \omega)$ は、金属ナノ構造中の局所電子密度を $n(\mathbf{r})$ 、誘電体コアの局所電気感受率を $\chi_d(\mathbf{r}, \omega)$ とすると、以下の積分方程式を満たす[1]。

$$\left[1 - \frac{4\pi e^2 n(\mathbf{r})}{m_e \omega^2} + 4\pi \chi_d(\mathbf{r}, \omega)\right] \varphi_{\text{eff}}(\mathbf{r}, \omega) + \int d\mathbf{r}_1 \varphi_{\text{eff}}(\mathbf{r}_1, \omega) \nabla_1 \frac{1}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_1|} \cdot \nabla_1 \left[\frac{e^2 n(\mathbf{r}_1)}{m_e \omega^2} - \chi_d(\mathbf{r}_1, \omega) \right] = \varphi_{\text{ext}}(\mathbf{r}, \omega).$$

上式において、局所電子密度と局所電気感受率が界面で階段関数的に変化すると仮定すると解析的に解け、有効スカラーポテンシャルの極値から、誘電体コアを持つナノシェルとナノチューブに対して、以下の局在表面プラズモンの共鳴振動数 ω が得られる。

- ・ **誘電体コアを持つナノシェル**：真空中の場合、外径 a 、内径 b 、 l は軌道角運動量に相当する正の整数、 $\chi_c(\omega)$ は位置に依存しない誘電体コアの電気感受率

$$\omega_{\pm} = \omega_p \sqrt{\frac{\left\{1 + 4\pi \chi_c(\omega) l \left[l + (l+1)(b/a)^{2l+1} \right] / (2l+1)^2 \right\} \pm D}{2 \left[1 + 4\pi \chi_c(\omega) l / (2l+1) \right]}}, \quad \because \omega_p = \sqrt{\frac{4\pi e^2 n_0}{m_e}},$$

$$D = \sqrt{\left\{1 + 4\pi \chi_c(\omega) l \left[l + (l+1)(b/a)^{2l+1} \right] / (2l+1)^2 \right\}^2 - 4 \left[1 + 4\pi \chi_c(\omega) l / (2l+1) \right] \left[1 - (b/a)^{2l+1} \right] l(l+1) / (2l+1)^2}.$$

- ・ **誘電体コアを持つナノチューブ**：真空中で $m=1$ の場合、 m は磁気量子数に相当する整数、外径 a 、内径 b 、 $\varepsilon_c(\omega)$ は位置に依存しない誘電体コアの誘電関数

$$\omega_{\pm}^1 = \omega_p \sqrt{\frac{1 + \pi \chi_c(\omega) \left[1 + (b/a)^2 \right] \pm \sqrt{\left\{ 1 + \pi \chi_c(\omega) \left[1 + (b/a)^2 \right] \right\}^2 - \left[1 + 2\pi \chi_c(\omega) \right] \left[1 - (b/a)^2 \right]}}{\left[1 + \varepsilon_c(\omega) \right]}},$$

原子層の厚さを持つフラーレンや単層カーボンナノチューブ(CNT)は、近似的に $b/a \rightarrow 1$ に相当する。このとき金属ナノ構造中の双極子モーメントは消えて金属ナノ構造からの光放射は起こらない。一方、フラーレンに対する共鳴振動数 ω は、 $1 + 4\pi \chi_c(\omega) \frac{l}{2l+1} = 0$ から、単層 CNT に対する共鳴振動数 ω は $1 + \varepsilon_c(\omega) = 0$ @ $m=1$ から、それぞれ求められる。この場合、それぞれの誘電体コア表面からの光放射のみが起こる。

参考文献：[1] M. Ichikawa; e-J. Surf. Sci. Nanotech. **16**, 329 (2018), ibid **18**, 190 (2020).