カソードルミネセンスによるミー共鳴モードの可視化

Visualization of Mie modes by cathodoluminescence

東工大物質理工¹ ⁰三宮工¹

Tokyo Tech.¹, °Takumi Sannomiya¹

E-mail: sannomiya.t.aa@m.titech.ac.jp

高い屈折率を持つ誘電体のナノ構造中には電磁波が定在波として閉じ込められ共鳴する。特に 球体において、光周波数付近の共鳴は、Mie 共鳴と呼ばれる。誘電体ナノ球における Mie 共鳴モ ードは、電気モードと磁場モードの二つが励起される。(金属ナノ粒子中は電場存在しないため磁 気モードがない)。この共鳴モードの電磁場分布は理論的には比較的容易に解析可能だが、実験的 に可視化することは容易ではない。特に、磁気モードの場は主に誘電体内部に存在するため、物 質内部の電磁場にアクセスする必要がある。また、高誘電体中の電磁場波長は、真空波長よりも 短くなり、それらの近接場を考慮すると、その電磁場分布はナノスケールで変化する。すなわち、 ナノスケール空間分解能で物質内部の電磁場を可視化する方法が必要となる。

本研究では、1 nm 以下の高い空間分解能を持つ走査透過電子顕微鏡(STEM)に搭載したカソ ードルミネセンス(CL)測定系を用いて、誘電体の Mie モードを可視化する。コヒーレントな CL 信号は、モード電場の電子線平行成分の強度におおよそ対応するため、収束電子線をスキャン しながら CL を取り込むことで、電子線の空間分解能程度で電磁場モードの電場分布を可視化す ることが可能である。数十 kV 以上に加速された高速電子線は、Si 等の誘電体内部を数百 nm 以上 透過することができるため、数百 nm サイズの誘電体の内部にアクセス可能である。また、 STEM-CL 法では、角度分解や偏光分解を行うことにより、縮退したモードを分離して可視化する ことも可能である[1]。ここでは、代表的な誘電体のシリコン(Si)の球状粒子内の Mie 共鳴モード を可視化した結果を紹介する[2]。また、Si 球の Mie モードの位相を制御することによる円偏光制 御についても紹介する[3]。

CL 計測には、透過型電子顕微鏡(JEM-2100F)をベースにした装置を用いた。試料からの発光 を放物面ミラーでコリメートし、真空外に取り出し、分光を行う。放物面ミラーと共役な位置に ピンホールマスクを導入することによって、特定の放射角度を選択することができる。分光器の 検出カメラ上の波長分散と垂直な軸に角度空間を投影することで、角度分散したスペクトルを2 次元情報として取り込むことができ、電子線2次元スキャンと合わせて4次元 CL 計測が可能と なる[3]。また、光路上の偏光素子を導入することにより、直線偏光あるいは円偏光、さらにはス トークスパラメタの解析が可能である。

[1] Z. Thollar, C. Wadell, T. Matsukata, N. Yamamoto, T. Sannomiya, ACS Photonics, 5, 2555 (2018).

- [2] T. Matsukata, N. Matthaiakakis, T. Yano, M. Hada, T. Tanaka, N. Yamamoto, T. Sannomiya, ACS Photonics, 6, 2320 (2019).
- [2] T. Matsukata, F. J. García de Abajo, T. Sannomiya, ACS Nano, 15,2219 (2021).