

ナノ構造と非放射場の理論

Theory of Nanostructure and Non-radiative Optical Field

山梨大院医学工学総合 坂野 斎

Univ. of Yamanashi

E-mail: banno@yamanashi.ac.jp

§1 はじめに

近接場特有の現象の原因を非放射場であると簡単に考えてみる。通常の光学が放射場を対象とすることと相補的であり、近接場光学には非放射場とその源泉として電荷密度を中心に据えた相応しい理論があってよい。§2 – §3 で構成方程式を現象論的に与える理論、§4 で微視的 (または現象論的に) 与える理論をご紹介します。

§2 表面・界面電荷が生む光学現象

電場についての Maxwell の境界条件は表面電荷密度に焼き直せ、いくつかのナノ構造に関わる現象の理解が容易になる: レイリー散乱、強磁性体のドメイン境界での放射 (Schäfer-Hubert 効果) などを表面電荷密度により解釈する。本来、非放射場であるものがナノ構造のために双極子放射されるという考え方は一般的である。また、近接場領域でも観測可能と考えられる。

§3 エッジ・カスプが生む非線型非放射場

近接場光学系は低対称性の系なので様々な非線型現象が可能になる。平面を想定した Maxwell の境界条件では記述できないので、ナノ構造として表面、エッジ、カスプを定義し、特徴量をそれぞれ法線ベクトル n_i 、 n_i の 1 階微分、 n_i の 2 階微分とした。たとえば、表面特有の分極として n_i と 2 つの電場の積を導入できる。(この表式は 1960 年代に発見された表面 SHG の分極と整合する。) 表面分極から電荷密度、電流密度を計算すると、エッジにのみ存在する電荷密度が導かれる; それは空間微分が n_i に演算した項に相当する。このようにエッジ近傍で 2 次の非線型非放射場の存在が予想される。同

様にエッジ分極には 3 次の非線型性があり、カスプで 3 次の非線型非放射場が予想される。

§4 非放射場を扱える単一感受率^[1]

ナノ構造が生む光近接場中にある物質は、放射場と非放射場両方を感じている。両者による遷移振幅には違いがあり、両者を同じ立場で扱える理論が相応しい。また、従来の誘電率・透磁率による扱いは条件過多であり低対称性の系で破綻するので、単一感受率を使うべきである。以上の要請からスカラーポテンシャル・ベクトルポテンシャルを原因、電荷密度・電流密度を結果とする関係を担う単一感受率を定義する。その際、冗長自由度を排除する 電荷保存則とゲージ不変性を感受率が保証しているはずである。この条件をたよりに単一感受率の関数形を制限できる。感受率を微視的に計算するとともに近い将来、制限された関数形に §2 – §3 の現象論的手法を適用し、誘電率・透磁率の代替として実験の予測・解釈に役立つ実用的な単一感受率にして近接場光学系に適用したい。

§5 まとめ

非放射場と電荷密度を軸に近接場光学の理論の枠組みをいくつか紹介させていただいた。今後、明確な物理的描像を備え、近接場光学のインフラとなる理論を目指す。

謝辞: 全般の議論をして下さった東京大学大津研究室の皆さまに感謝いたします。§4 について議論をして下さった張紀久夫大阪大学名誉教授に感謝いたします。§4 は JSPS 科研費 25610071 (挑戦的萌芽研究) の助成を受けています。

[1] 坂野 斎: 非放射場と放射場を対等に扱う単一感受率の理論 I, 本学術講演会 3.1 へ投稿。