

光近接場の量子化：再訪

Quantization of optical near field: Revisited

山梨大院¹, 徳島大院² ○小林 潔¹, 福井 萬壽夫², 岡本 敏弘², 原口 雅宣², 石川 陽¹

Univ. of Yamanashi¹, Tokushima Univ.², °K. Kobayashi¹, M. Fukui²,

T. Okamoto², M. Haraguchi², and A. Ishikawa¹

E-mail: kkoba@yamanashi.ac.jp

我々は、光と結合する電子-正孔 (e-h) 無限系の素励起であるポラリトンに着目して、ナノ領域で相互作用する電磁場の量子論を展開してきた [1]. その定式化は、半導体 (励起子) でも金属 (プラズモン) でも共通であるが、非平衡過渡応答が重要となる量子ダイナミクスを考えるとときには、寿命の長い系が望ましいと判断し、半導体を想定して、ミクロ-メゾ-マクロの接続を考えた階層的環境下での量子ダイナミクス理論の構築を目指してきた [2]. 一方、実験技術の進歩により表面プラズモン (ポラリトン) の時間空間分解分光が行われ、理論的には、我々と同じハミルトニアンから出発して3次元電子ガスと相互作用する電磁場の量子化と2次元表面プラズモン (SPP) への応用が議論されているが [3], SPP の電磁場 (光近接場) の量子化には未解明の点も多い.

本稿の目的は、プラズモン素励起に着目して、ナノ領域で相互作用する電磁場の量子化を議論し、非平衡量子ダイナミクスを取り扱う方法論を示すことである. 出発点は、横ベクトルポテンシャル $\vec{A}^\perp$ ($\nabla \cdot \vec{A}^\perp = 0$) で記述される自由横電磁場、自由 (e-h) 場とその相互作用を表す横分極場 $\vec{P}^\perp$ の自乗 (クーロン相互作用) 項、及び $\vec{P}^\perp$ と横変位ベクトル場 $\vec{D}^\perp$ の相互作用項からなるハミルトニアン H である.

$$H = \sum_{\vec{k}, \lambda} \hbar \omega_{\vec{k}} a_{\vec{k}\lambda}^\dagger a_{\vec{k}\lambda} + \sum_{\vec{k}, \alpha} \hbar \omega_{\vec{k}\alpha} b_{\vec{k}\alpha}^\dagger b_{\vec{k}\alpha} + \frac{1}{2\epsilon_0} \int \vec{P}^{\perp 2} d^3 r - \frac{1}{\epsilon_0} \int \vec{P}^\perp \cdot \vec{D}^\perp d^3 r$$

まず、無限物質場を考えると、自由 (e-h) 場と横分極場 $\vec{P}^\perp$ の自乗項は素励起プラズモンで書き表すことができ、 $\vec{D}^\perp$ と $\vec{P}^\perp$ の相互作用項は横電磁場光子とプラズモンで記述できる. このように変換したハミルトニアンに量子熱力学を適用することにより [4], あるいは階層構造の環境系を加えた理論により [2,5], 量子緩和ダイナミクスを求めることができる. また、同期現象や光近接場の起源を議論することも可能になる [6]. 当日の発表では、このアプローチの2次元物質系、あるいは3次元有限ナノ物質系への拡張可能性と問題点を議論する.

[1] K. Kobayashi et al., Prog. Quant. Electron. **59**, 19 (2018).

[2] A. Ishikawa et al., J. Phys. Soc. Jpn. **87**, 054001 (2018).

[3] 例えば, Y. Todorov, Phys. Rev. B **89**, 075115 (2014).

[4] 森下天平 他, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会.

[5] 秋山祐樹 他, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会.

[6] 瀬崎陸 他, 矢崎智昌 他, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会.