

## 光子—局在プラズモン系のオフシェル科学解析

### Off-shell science analysis of photon-localized plasmon system

ドレスト光子研究起点<sup>1</sup>, 徳島大学<sup>2</sup>, 山梨大学<sup>3</sup>, 東洋大学<sup>4</sup>

○福井 萬壽夫<sup>1,2</sup>, 岡本敏弘<sup>2</sup>, 原口雅宣<sup>2</sup>, 小林潔<sup>3,4</sup>

RODreP<sup>1</sup>, Tokushima Univ.<sup>2</sup>, Yamanashi Univ.<sup>4</sup>, Toyo Univ.<sup>4</sup>

°Masuo Fukui<sup>1,2</sup>, Toshihiro Okamoto<sup>2</sup>, Masanobu Haraguchi<sup>2</sup>, Kiyoshi Kobayashi<sup>3,4</sup>

E-mail: mh.fukui@tokushima-u.ac.jp

位相緩和時間に着目すると、半導体量子ドットでの励起子のそれが ps のオーダーであるのに対して、たとえば局在プラズモン (LSP) では 5fs~10fs の短さである。それゆえ、表面プラズモンポラリトン (SPP) や LSP は寿命が短く、多電子系でもあり、量子効果は無視できると考えられていた。しかしながら、様々な量子もつれ、量子干渉、不確定性原理に基づくスクイーミング、久保効果、量子トンネリング、波—粒子双対性などの量子論に立脚した諸現象が SPP や LSP に対して実験的に観測され、それらを理解するための理論、計算手法も開発され、「量子プラズモニクス」という分野が存在するようになった。もちろん、大きな損失の存在は量子効果を弱めるので、量子プラズモニクスにおける散逸問題は今でも主要な課題であり、常に念頭に置く必要がある。

現在のプラズモン理論はオンシェル科学に基づくものである。一方、ナノ構造においては、ドレスト光子[1]のようにオフシェル科学に立脚する事が不可欠である事が分かってきている。我々は、春の本大会で多体量子論と量子光学を組み合わせ量子プラズモンを扱う方法の端緒の報告[2]を行った。本報告では、文献 2 とは別の視点から LSP と光子系に対してドレスト光子の解析に用いられたオフシェル科学に基づいて解析する方法[1]を述べる。LSP を量子論で正確に述べるには、遅延効果 (非局所性) を取り入れる必要があるが、ここでは局所近似で扱い、遅延効果は次のステップで考慮する。解析の手順は、① LSP によるスカラーポテンシャル ( $\Phi$ 、静電近似) を考え、球座標系のラプラス方程式から  $\Phi$  を求める。② 電子運動を流体力学方程式で表し、 $\Phi$  の動径方向の微分が駆動源となり、電気分極が導出され、LSP 付随の表面電荷を求める。③ 表面電荷と  $\Phi$  からポテンシャルエネルギーを求め、流体力学方程式から求まる電子変位から運動エネルギーを求める。④  $\Phi$  の振幅を LSP の生成・消滅演算子で量子化して、その量子化表現をポテンシャルエネルギーと運動エネルギーの和に入れると、調和振動子に対するエネルギー表現と同じ式が得られる。⑤ 入射光子のベクトルポテンシャルと LSP による電流密度のスカラー積の体積分が相互作用ハミルトニアンである。⑥ 入射光子ハミルトニアン、LSP ハミルトニアン、相互作用ハミルトニアンをオフシェル科学によって表現して、すべてのハミルトニアンを加算したものが全系のハミルトニアンである。⑦ ハミルトニアンのユニタリ変換を行うと、LSP が光子を、逆に光子が LSP を纏った状態が得られ、全ハミルトニアンが近似的に対角化される。

[1] 大津元一：ドレスト光子 (朝倉書店、2013 年)

[2] 小林, 福井, 岡本, 原口, 石川：2019 年第 66 回応用物理学会春季学術講演会 10p-W621-8.