

ドレスト光子による作用積分の増強とフォトンブリーディング

Photon Breeding Process and Enhanced Action Integral owing to the Dressed Photon

○坂野 斎¹、川添 忠^{2,3}、大津元一³

(1. 山梨大院、2. 東京電機大、3. ドレスト光子研究起点)

○Itsuki Banno¹, Tadashi Kawazoe^{2,3}, Motoichi Ohtsu³

(1.Univ. of Yamanashi, 2. Tokyo Denki Univ., 3.Research Origin of Dressed Photon)

E-mail: banno@yamanashi.ac.jp

川添・大津らが行った非金属を用いた近接場光学系の非共鳴条件下での一連の実験 [1] は、今まで認知されていない光学のレジームのものであり、電場・磁場の概念が破綻し、線型応答はベクトルポテンシャル (VP) を原因、反磁性電流を結果とするロンドン方程式が支配することを前回の発表: 19a437-1 と-2 で述べた。これらの系での特有の現象の原因は、物質に内在する電磁場: ドレスト光子 (DP) と考えられる。その著しい効果はフォトンブリーディング (Photon Breeding, PB; 発光してほしい波長の光を照射しながらキャリア電流を流すアニーリングの手法) で、それにより間接遷移型半導体が発光デバイス、磁気光学デバイスになる [3]。DP による PB の効果を理論的に記述するために、スカラーポテンシャル (SP)・VP を対等に扱う非線型応答理論 [2] と、非相対論系での誘導電荷密度・誘導電流密度の次の変換不変性を利用する (場の量はすべて 4 元表示)。

$$\text{電磁ポテンシャル: } \Delta A^\mu(x) \rightarrow \Delta \tilde{A}^\mu(x) \equiv \left(\Delta \phi(x) + \frac{-q}{2m} |\Delta \mathbf{A}(x)|^2, c \Delta \mathbf{A}(x) \right),$$

$$\text{非線型感受率: } \hat{\chi}_{\mu_1 \dots \mu_n}^\mu(x, x_1, \dots, x_n) \rightarrow \frac{1}{n!} \hat{\mathcal{T}} \left[\left[\dots [\hat{\chi}_{\mu_1}^\mu(x, x_1), \hat{j}_{\mu_2}^{(in0)}(x_2)], \dots \right], \hat{j}_{\mu_n}^{(in0)}(x_n) \right].$$

SP に繰り込まれた VP の 2 次の項が変換前の非共鳴応答に相当する。PB 後には光学フォノンのキャビティが形成されると考えられ、VP は TO フォノン、外磁場、入射光からなる。2 次の項は、DP を含むこれらの寄与の 2 つの間に強い相互作用を約束する。ここで、PB の効果は TO フォノンの VP の 2 次の項が多数回関わりと考える。Heisenberg 描像での摂動論によればこのプロセスによる発光は次の誘導電流密度を源泉とするものになる:

$$\Delta j_i(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \hat{\mathcal{T}} \frac{1}{n! (i\hbar c)^n} \int d^4 x_1 \dots \int d^4 x_n \left[\left[\dots [\hat{j}_i^{(0)}(x), c \hat{\rho}^{(0)}(x_1)], \dots \right], c \hat{\rho}^{(0)}(x_n) \right] \frac{-q}{2m} |\Delta \mathbf{A}(x_1)|^2 \dots \frac{-q}{2m} |\Delta \mathbf{A}(x_n)|^2$$

右辺の多重積分以下の部分は摂動の作用積分であり、一つの交換子にともなう積分値が系統的に $i\hbar c$ 程度になれば大きな寄与をする非線型過程となる。作用積分の増強には、 $\hat{j}^{(0)\mu}(x) = (c \hat{\rho}(x), \hat{\mathbf{j}}(x))$ からなる代数の非可換性、キャビティによる TO フォノンの VP の振幅の増大、変換された SP 中の VP の 2 次の項が強調される非共鳴条件が揃うことが必要であり、その可能性を議論する。

謝辞

ドレスト光子研究起点 (RODreP) での数理物理的な議論について次の方々に感謝いたします: 小嶋泉博士 (RODreP)、佐久間弘文博士 (RODreP)、西郷甲矢人博士 (長浜バイオ大学)、岡村和弥博士 (名古屋大学)、安藤浩志博士 (千葉大学)。この研究の一部は光科学技術研究振興財団からの援助 (2018-2019) を受けています。

参考文献

- [1] M. Ohtsu, "Progress in Dressed Photon Technology and the Future", in *Progress in Nanophotonics* **4** eds. by M. Ohtsu and T. Yatsui (Springer, 2017) Chap. 1.
- [2] I. Banno: "Response Theory Supporting Dressed Photons", in *Progress in Nanophotonics* **5**, ed. by T. Yatsui (Springer Nature, 2018) Chap. 6; I. Banno: "Theory of Single Susceptibility for Near-field Optics Equally Associated with Scalar and Vector Potentials", <http://arxiv.org/abs/1807.10992>.
- [3] 川添 忠, 橋本 和信, 杉浦 聡, "高出力ホモ接合シリコンレーザー", 応物講演会 (2018 春 19p-F310-14); T. Kawazoe and M. Ohtsu, "Bulk crystal SiC blue LED with p-n homojunction structure fabricated by dressed-photon-phonon-assisted annealing", *Appl. Phys. A*, **115**, 127-133, (2014); M. A. Tran, T. Kawazoe, M. Ohtsu, "Fabrication of a bulk silicon p-n homojunction-structured light-emitting diode showing visible electroluminescence at room temperature", *Appl Phys A* **115**, 105-111 (2014); Ohtsu, M. *Silicon Light-Emitting Diodes and Lasers* (Springer International Publishing, Switzerland, 2016).