

Oral presentation | 3 Optics and Photonics : 3.11 Nanoscale optical science and near-field optics (formerly 3.12)

📅 Fri. Sep 22, 2023 1:00 PM - 3:15 PM JST | Fri. Sep 22, 2023 4:00 AM - 6:15 AM UTC | 🏢 A310 (KJ Hall)

[22p-A310-1~8] 3.11 Nanoscale optical science and near-field optics (formerly 3.12)

Seiken Saito(Kogakuin Univ.), Kazuya Okamura(Chubu Univ.)

1:00 PM - 1:15 PM JST | 4:00 AM - 4:15 AM UTC

[22p-A310-1] Current-induced Non-equilibrium Structure II

○Itsuki Banno¹ (1.Univ. of Yamanashi)

1:15 PM - 1:30 PM JST | 4:15 AM - 4:30 AM UTC

[22p-A310-2] Theoretical study on dressed photon and its development

○Hirofumi Sakuma¹ (1.RODreP)

1:30 PM - 1:45 PM JST | 4:30 AM - 4:45 AM UTC

[22p-A310-3] Off-shell Science and the Concept of Spacetime

○Hayato Saigo¹ (1.Nagahama Institute of Bio-Science and Technology)

1:45 PM - 2:00 PM JST | 4:45 AM - 5:00 AM UTC

[22p-A310-4] Categorical Considerations on State Subspaces and State Transitions

○Kazuya Okamura¹ (1.Chubu Univ.)

2:15 PM - 2:30 PM JST | 5:15 AM - 5:30 AM UTC

[22p-A310-5] On the stationary state of a quantum walk in a certain 1D 3-state with perfect reflection}

○Seiken Saito¹, Etsuo Segawa², Kenta Yuki^{3,1} (1.Kogakuin Univ., 2.Yokohama Nat. Univ., 3.Middenii)

2:30 PM - 2:45 PM JST | 5:30 AM - 5:45 AM UTC

[22p-A310-6] Quantum walk simulation of energy transport problem for dressed photon on wheel graph

○Etsuo Segawa¹, Seiken Saito³, Yuki Kenta⁴, Ohtsu Motoichi² (1.Yokohama Nat Univ, 2.Res. Origin Dressed Photon, 3.Kogakuin Univ, 4.Middenii)

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[22p-A310-7] Quantum walk analyses of photon breed of photon breeding with respect to photon momentua from a silicon light-

○Motoichi Ohtsu¹, Etsuo Segawa², Kenta Yuki³, Seiken Saito⁴ (1.Research Origin for Dressed Photon, 2.Yokohama National University, 3.Middenii, 4.Kogakuin University)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[22p-A310-8] Control of Dressed-Photon Localization and Dissipation Mediated by Geometrical Arrangement of Matter Systems

○Suguru Sangu¹, Hayato Saigo², Motoichi Ohtsu³ (1.Ricoh Co., Ltd., 2.Nagahama Inst. Bio-Sci. Tech., 3.Res. Origin Dressed Photon)

流れが誘導する平衡から遠い量子構造 II

Current-induced Non-equilibrium Structure II

○坂野 斎 (山梨大院)

○Itsuki Banno (Univ. of Yamanashi)

E-mail: banno@yamanashi.ac.jp

内在電磁場；ドレスト光子（DP）を利用した川添，大津らのフォトン・ブリーディング [1] は間接遷移型半導体から発光デバイスを作製可能にする方法であり，その発光波長は物質のバンドギャップではなくデバイス作製過程の照射光波長で決められる．PB デバイスが巨大磁気光学効果 [2] や強磁性 [3] を現すことは，内在ベクトルポテンシャルの関与を，現象の強さはコヒーレント長が大きな電子系の関与を示唆する [4]．今回は開放系熱力学の散逸構造を下敷きに，「流れ」と「非線形性」の存在によって，基底状態から遠いところで系を最適化する状態が現れる一般的仕組みを説明した．今回は，この仕組みを詳細化し，非相対論系の量子電磁力学の作用積分の期待値を最小化することで，PB 過程で作られたデバイスの発光現象，磁気光学現象にアプローチしたい．基本的な考え方は以下のとおり：

- 差分の作用はハイゼンベルグ表示の線形・非線形感受率で記述する；つまり，電子の場の演算子はハイゼンベルグ方程式を満たすよう予め最適化し，電磁ポテンシャルの自由度を残す．
- 非相対論的效果として，ベクトルポテンシャルの自己相関と電荷密度の結合を考慮し，電磁ポテンシャルと感受率の誘導電流を不変に保つ変換を利用する；これにより高次の効果：「非線形性」を考慮しやすくする．
- ベクトルポテンシャルは，オンシェル成分，オフシェル成分の2つの重ね合わせとする．
- 発光の実験に相応しい状態，磁気光学効果の実験に相応しい状態により，系に与えられるキャリアの「流れ」を規定し，共通の差分の作用を最小化する．

上記の作用積分の最小化は，非相対論的電子系の誘導電流密度・誘導電荷密度を考慮したマクスウェル方程式を解くことに相当する．望むらくは，オフシェル，オンシェルを2つの秩序変数が大振幅の解をもつことである．

謝辞

大津元一博士が主宰されるドレスト光子研究起点 (RODreP) での研究会のメンバーの方々に感謝いたします．この研究の一部はドレスト光子研究起点からの援助を受けています．

参考文献

- [1] T. Kawazoe and M. A. Mueed and M. Ohtsu, Appl. Phys. B, **104** p.747–754(2011); M. A. Tran, T. Kawazoe, and M. Ohtsu, Appl. Phys. A, **115** p.105-111(2014); M. Ohtsu, "Silicon Light-Emitting Diodes and Lasers" (Springer International Publishing, Switzerland, 2016).
- [2] N. Tate, T. Kawazoe, W. Nomura, and M. Ohtsu, Scientific Reports **5** p.12762-1-7 (2015); M. Ohtsu, in Off-shell archive (<http://offshell.rodrep.org>), DOI: 10.14939/1809R.001.v1.
- [3] 門脇 拓也, 川添 忠, 大津 元一, 佐野 雅彦, 向井 孝志. 「ドレスト光子による誘導放出を利用した波長 1.3~1.9 μ m 帯の非冷却型 Si 受光素子」, 応用物理学会 2021 年春季学術講演会, 17p-Z14-8.
- [4] 坂野 斎, 「ドレスト光子 / 内在電磁場と最小作用の原理」 2022 年春季学術講演会, 22a-E103-1; 坂野 斎, 「最小作用の原理で達成される内在電磁場を伴う散逸構造の理論」 2022 年秋季学術講演会, 22a-A101-1. 坂野 斎, 「流れが誘導する平衡から遠い量子構造」 2023 年春季学術講演会, 16a-A201-1.

ドレスト光子の生成理論とその発展

Theoretical study on dressed photon and its development

ドレスト光子研究起点、佐久間弘文

RODreP, Hirofumi Sakuma

E-mail: sakuma@rodrep.or.jp

数年前に、ドレスト光子 (DP) 研究の創始者である大津氏の研究グループに参加させて頂き、未解明の現象としての DP の理論構築という挑戦に取り組む事となった。きっかけは、DP 研究起点の小嶋顧問に以前から相談に乗って頂いていた、“一風変わった流体力学モデル” が、DP 研究に役立つのではないかという指摘を頂いた事であった。

私は、地球流体力学という分野に長らくいたので、波動には横波と縦波がある事が常識となっていたが、光の分野で研究をし始めて、まず当惑した事は、多くの教科書的テキストにおいては「光は横波である」という断定的な記述が圧倒的であるのに対して、少数の論文では縦波を議論しているものがあるという状況であった。「なんだ、これは!」と悩んでいた時に、一筋の光明となったのが、2006 年に小嶋氏が数理研の講究録に発表した論文で、これで横波 vs 縦波の議論がすっきりしたと同時に、量子場の相互作用には off-shell 的な spacelike 運動量の関与が必須であるという Greenberg-Robinson 定理という重要な知見がある事も小嶋氏から教えて頂き、これによって、上で触れた“一風変わった流体力学モデル” をどの様に発展させれば、DP 研究に役立つのかがはっきりした。

これまでの発表でも、折りにつけ言及した古典論としての Maxwell が定式化した電磁場の方程式及びその場が随伴するエネルギー・運動量テンソルを spacelike 領域に拡張した研究は、以上の様な背景を基に成されたものであった。この様に、Maxwell 場を拡張してみると、その場のエネルギー・運動量テンソルの表現が、一般相対論の基礎式に顔を出す Einstein テンソルと同型となり、思わぬ所から電磁場と重力場が繋がる事になった。ここで議論している場は spacelike な場であるので、ここで言う重力場は反重力場であり、それが現代宇宙論

に謎の一つとなっているダークエネルギーと同定できる事は、既に論文発表を行っている。

今回の発表は、焦点を DP に絞り、上述した古典場の spacelike 領域へ拡張した場が、どのようにして量子化されるのかをまず説明し [1]、それがナノフォトニクスという工学分野において如何なる意味を持つのかを考察する。量子化のあらすじは、以下の通りである。Dirac 方程式を参照にして、spacelike Klein Gordon 方程式の量子化の意味を調べてみると、それは、Majorana fermion (MF) 場である事がわかる。そして、boson 場としての spacelike な電磁場は、その運動量が直交する (Pauli の排他率の為に) 一組の MF がスピン軸を共有する形で結合したスピン 1 の場として定義される。

その様な off-shell 的な光の場が、物質場と相互作用する事により生成される DP は、相互作用から生じる不安的な Majorana の粒子-反粒子対が生成直後にその場で対消滅する事により、局在化した DP が生成されると思われる。従って、DP そのものは電荷をもっていないが、一組の fermion から構成されるその構造に着目すれば、それは、超伝導現象で重要な役割を果たす boson 化した Cooper 対のようなものなので、適切な“工学的制御”下では、超低温でなくとも、効率の良い電磁エネルギー流速を発生できると思われる。DP の特徴は、スピン 0 の電場的な DP と共にスピン 1 の磁場的 DP も存在する事で、後者に関しては、Kadowaki et al.(2020)[2] の先駆的実験によりその存在が示唆される。

参考文献

- [1] H. Sakuma et al. *J. Europ. Opt. Soc. Rapid Publ.* (2021); <https://doi.org/10.1186/s41476-021-00171-w>.
- [2] T. Kadowaki, T. Kawazoe & M. Ohtsu, *Scientific Reports* (2020) 10:12967
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-69971-3>.

オフシェル科学と時空概念

Off-shell Science and the Concept of Spacetime

○西郷 甲矢人 (長浜バイオ大学)

○Hayato Saigo (Nagahama Institute of Bio-Science and Technology)

E-mail: h.saigoh@nagahama-i-bio.ac.jp

本講演では、時空を「(構造づけられた) 点集合」としてではなく「圏」—より詳細に言えば「(部分的な) 対合構造を持つ因果的圏」[5]—として見直すことが、ドレスト光子研究[1]に端を発するオフシェル科学にとって核心的であるという見方を提示する。

2022年春・2022年秋の本学会における講演では、[4, 5]に基づき、量子場とその状態を「(部分的な) 対合構造をもつ圏上の圏代数とその上の状態」として定義することにより、圏構造としての相対論的構造と非可換確率構造としての量子論的構造を直接に統合できることを示し、代数的量子場理論や位相的量子場理論などの先行するアプローチとの概念的関係についても論じた。また、内部自由度を持つ状態空間の取り扱いを通じて、このアプローチがオフシェル科学への量子ウォークからのアプローチやネットワーク上の「(一般化された) 生成消滅演算子」を活用するアプローチとも深く関連していることを明らかにしてきた。また、2023年春の本学会においては、これらを踏まえてオンシェル・オフシェルの概念を見直した。

以上の成果に基づき、本講演においては、「オフシェル状態」の概念をある種の圏上の状態として定義する。そしてこの意味でのオフシェル状態概念の現実性が代数的量子場理論やそれを踏まえた小嶋のミクロ・マクロ双対性[2]の議論において繰り返し示唆されてきたことを明らかにした上で、この概念を我々の枠組み[4, 5]によって自然に位置付けることができることを示す。さらに、大津らによるドレスト光子研究[1]やそれを踏まえた佐久間らによる「時空の渦的・熱力学的構造」についての研究[3]との関連についても議論する。

Acknowledgments

本研究は(社)ドレスト光子研究起点の助成を得た。

参考文献

- [1] M. Ohtsu: *Dressed Photons* (Springer, Berlin Heidelberg 2014)
- [2] 小嶋泉：量子場とミクロ・マクロ双対性 (丸善出版, 東京 2013)
- [3] Sakuma, H., Ojima, I., Saigo, H., Okamura, K. Conserved relativistic Ertel's current generating the vortical and thermodynamic aspects of space-time. *International Journal of Modern Physics A*. **2022**, 37, 22. <https://doi.org/10.1142/S0217751X2250155X>
- [4] Saigo, H. Category Algebras and States on Categories. *Symmetry* **2021**, 13 7, 1172. <https://doi.org/10.3390/sym13071172>
- [5] Saigo, H. Quantum Fields as Category Algebras. *Symmetry* **2021**, 13 9, 1727. <https://doi.org/10.3390/sym13091727>

状態部分空間と状態遷移に関する圏論的考察

Categorical Considerations on State Subspaces and State Transitions

中部大工¹, ○岡村和弥¹

Chubu Univ.¹, ○Kauzya Okamura¹

E-mail: k.okamura.renormalizable@gmail.com

本講演では、量子系の状態空間における圏構造と、状態遷移の圏論的記述についての発表を行う。代数的な量子論の定式化に基づいてドレスト光子 [1, 2] のモデリングを行う研究の一環であり、量子系での状態の指定に関して状態概念および（測定・データ解析などの）実験設定の観点から検討を行ったものである。

X を物理系の物理量のなす C^* -代数とすると、系の状態は X 上の規格化された正值線型汎関数（期待値汎関数）として定義される。 X 上の状態 ω に対し、GNS 表現 $(\pi_\omega, \mathfrak{H}_\omega, \Omega_\omega)$ と呼ばれる表現 $(\pi_\omega, \mathfrak{H}_\omega)$ と単位ベクトル $\Omega_\omega \in \mathfrak{H}_\omega$ をあわせたものにより

$$\omega(X) = \langle \Omega_\omega | \pi_\omega(X) \Omega_\omega \rangle, \quad X \in X \quad (1)$$

となることが知られている。ここで問題となるのが「無数の（互いにユニタリー非同値な）表現の存在」である。

そこで Haag-Kastler [3] は、各状態 ω での有限精度近傍 $U_\omega(\{A_i, \varepsilon_i\}_{i=1}^n)$ を考えた： n は自然数、 $\{A_i, \varepsilon_i\}_{i=1}^n$ は $A_1, \dots, A_n \in X$ および $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n > 0$ であり、任意の $i = 1, \dots, n$ に対して、

$$|\varphi(A_i) - \omega(A_i)| < \varepsilon_i \quad (2)$$

を満たす状態 φ の集合からなる ω の近傍を意味する。その名前の通り、有限個の物理量を有限の精度で状態を指定する際に現れる近傍である。 $(\pi, \mathfrak{H})$ を X の表現とすると、 X 上の状態 ω は、 $\mathfrak{H}$ 上の密度作用素 ρ で

$$\omega(X) = \text{Tr}[\pi(X)\rho], \quad X \in X \quad (3)$$

となるものが存在するとき、 π -正規であるという。Haag-Kastler は、 X の表現 $(\pi_1, \mathfrak{H}_1)$ と $(\pi_2, \mathfrak{H}_2)$ に対して、「どの π_1 -正規状態のどの有限精度近傍にも π_2 -正規状態が含まれ、その逆も成り立つ」とき、 $(\pi_1, \mathfrak{H}_1)$ と $(\pi_2, \mathfrak{H}_2)$ は物理的同値（physically equivalent）であると呼んだ。表現の物理的同値の導入により、ユニタリ同値を超えたところでの表現の移行が考えられるようになったのである。

講演者は [7] で導入した、 X の双対空間 X^* の「中心部分空間」を利用して状態空間の部分空間に対して物理的同値を自然に取り込んだ圏構造を導入する。必ずしも表現を参照せず概念的に明晰となる利点があり、量子系におけるマクロな観点を供給するセクター理論 [4] とも深く関わる圏である。そして、測定理論 [5, 6, 7] の中心概念である「完全正值インストルメント」を射とする状態遷移に関する圏構造を導入する。

参考文献

- [1] 大津 元一, 小嶋 泉 編著, 『ここからはじまる量子場 —ドレスト光子が開くオフシエル科学—』, (朝倉書店, 2020).
- [2] R. Haag and D. Kastler, J. Math. Phys. **5** (1964), 848–861.
- [3] I. Ojima, Micro-Macro Duality in Quantum Physics. In: *Stochastic Analysis: Classical and Quantum*, T. Hida, eds, pp.143–161, (World Scientific, 2005), (available at arXiv:math-ph/0502038).
- [4] M. Ozawa, J. Math. Phys. **25** (1984), 79–87.
- [5] K. Okamura and M. Ozawa, J. Math. Phys. **57** (2016), 015209.
- [6] K. Okamura, Symmetry **13** (2021), 1183.

ある 1 次元 3 状態の量子ウォークが完全反射する場合の定常状態について

On the stationary state of a quantum walk in a certain 1D 3-state with perfect reflection

工学院大¹, 横国大², Middenii³○ 齋藤正顕¹ 瀬川悦生² 結城謙太^{3,1}Kogakuin Univ.¹, Yokohama Nat. Univ.², Middenii³○Seiken Saito¹, Etsuo Segawa², Kenta Yuki^{3,1}

ドレスト光子 (DP) を説明するモデルとして, 大津-瀬川 [1] によって 3 状態の量子ウォーク (QW) モデル (ドレスト光子の量子ウォークモデル) が提案され, 次元が 2 以上の場合に, その数値的な挙動が調べられている [2]. 本研究では, より簡単な 1 次元のドレスト光子の QW モデルについて理論的に解析し, 前回発表 [3] では, 「量子ウォークの定常状態での振幅が内部で指数関数的に減衰する」(内部に対して**嫌忌的**) となるための入力パラメータ $z = e^{i\xi}$ ($\xi \in \mathbb{R}$) の偏角 ξ の条件を与えた. 本研究で考察する 1 次元 3 状態の QW では, M 個の欠陥があり, 初期状態 $\Psi_0(x)$ を $x \leq 0$ においては $\Psi_0(x) = z^x |R\rangle$, $x > 0$ においては 0 とする. ここで, $R = [0, 0, 1]^T$, $z = e^{i\xi}$ ($\xi \in \mathbb{R}$) である. この入力パラメータ z が変わると QW の挙動が変化する.

Proposition 1 ([3]) QW を与えるユニタリ行列が

$$H := \begin{bmatrix} a_{LL} & a_{LO} & a_{LR} \\ a_{OL} & a_{OO} & a_{OR} \\ a_{RL} & a_{RO} & a_{RR} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_L & \chi & J \\ \chi & \varepsilon_{\text{phonon}} & \chi \\ J & \chi & \varepsilon_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos^2 \theta & \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{2}} & \sin^2 \theta \\ \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{2}} & \cos 2\theta & \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{2}} \\ \sin^2 \theta & \frac{\sin 2\theta}{\sqrt{2}} & -\cos^2 \theta \end{bmatrix}$$

であるとき, $z = \Delta \frac{\bar{a}_{RR}}{a_{LL}}$ ならば, 完全反射が起こる. ここで, $\Delta = -(\det H) z \frac{|z - a_{OO}|^2}{(z - a_{OO})^2}$. である. 特に, $z = 1$ または $\cos^2 \theta = 1$ ならば, 完全反射が起こる.

今回の発表では, 完全反射の場合を詳しく調べ, 次の結果を得た. この 3 状態モデルは, ある 2 状態モデルに帰着される. その定常状態 φ_∞ は, 方程式 $(z - E_M)\varphi_\infty = [1, 0 | 0, 0 | \cdots | 0, 0 | 0, 0]^T$ の解であるが, $\varphi_\infty = (1 - \Pi_L)\phi_0$ (Π_L は $L = \text{span}\{\phi_1, \dots, \phi_{M-1}\}$ への射影) となる. ここに, $\phi_1, \dots, \phi_{M-1}$ は $(z - E_M)\phi_j = 0$ の解のうち欠陥 j を台としてもつものとする.

Theorem 1 $\Pi_L = \sum_{k=1}^{M-1} \frac{1}{(k+1)(k+2)} \sum_{l,m=1}^k (-1)^{l+m} (\bar{z}a_{12})^{l+m} (l+1)(m+1) |\phi_l\rangle \langle \phi_m|$.

また, 電気回路の「定電流源」のように, 欠陥の内側から walker が一定に湧き出る場合は, blow up が起こることが分かった.

謝辞 この研究の一部はドレスト光子研究起点の支援を受けています.

参考文献

- [1] M. Ohtsu, A Quantum Walk Model for Describing the Energy Transfer of a Dressed Photon, Preprint, 2021, Offshell: 10.14939/2109R.001.v1.
- [2] 大津元一, 瀬川悦生, 結城謙太, 量子ウォークモデルによるドレスト光子エネルギー移動のシミュレーション, 2022 年第 83 回応用物理学会秋季学術講演会 (講演番号 22a-A101-6).
- [3] 齋藤正顕, 瀬川悦生, ドレスト光子の量子ウォークモデル: 1 次元の場合, 2022 年第 83 回応用物理学会秋季学術講演会 (講演番号 22a-A101-4).

車輪グラフ上のドレスト光子エネルギー移送問題の量子ウォークシミュレーション

Quantum walk simulation of energy transport problem for dressed photon on wheel graph

○ 瀬川悦生 (横浜国大)¹, 斎藤正顕 (工学院大)², 結城謙太 (Middenii)³, 大津元一 (ドレスト光子)⁴,
○ Etsuo Segawa (Yokohama Nat. Univ.)¹, Seiken Saito (Kogakuin Univ.)², Kenta Yuki (Middenii)³,
Motoichi Ohtsu (Dressed photon)⁴.

E-mail: segawa-etsuo-tb@ynu.ac.jp

本研究では、ドレスト光子のエネルギー移送問題の量子ウォークによる素子化モデル [1], 特に車輪グラフ W_r 上について考える [2]. 車輪グラフの全ての外側の r 個の頂点は、毎時刻外部から 1 の入力を受け、中心の頂点 u_* から放出されるエネルギー $P(r)$ を最大にする頂点数 r を量子ウォークモデル [3] により探す. ドレスト光子数値実験 [2] によると、直感に反して、 $P(r)$ の r に対する単調性が崩れることが知られている. そこでまず量子ウォークで最も研究がされている、Grover walk で考察してみる. すると、次のことが [3] の結果を用いて導かれる.

Proposition 1. 車輪グラフの外側の頂点から毎時刻 1 の流入を受けるとする. すると、Grover walk の場合の、車輪グラフ W_r の中心から放出されるエネルギーは

$$P^{(Gr)}(r) = 4(1 - 1/r)^2.$$

したがって、 r に対して、値 4 に向かって単調に増加することになり、[2] の数値実験の結果と整合しない. そこでグラフの背後にある向き付け可能な閉局面への埋め込みもダイナミクスの中に反映された新しいタイプの量子ウォークモデル [4] で今回は考察してみる. 各頂点に時計回りもしくは反時計回りに付随したローテーションが、あるアルゴリズムを経て、この埋め込みを達成する. そこで今回は、外側の頂点は時計回り、中心は反時計回りのローテーションを付随させた場合で考察してみる. この量子ウォークモデルはこちらで設定する 2×2 ユニタリ行列 H でダイナミクスが決まる. そしてローテーションで誘導される沿側閉歩道と、流入を受ける境界との交点数の数え上げで、その出力を計算できることを証明した. この事実を用いると次のようなことが導かれる.

Theorem 1. $\det(H)=1$, $(H)_{2,2} = d \in (-1, 1)$ のとき、

$$P^{(New)}(r) = \begin{cases} (1 - d^2)^2 \left(\frac{1}{1+d} + \frac{d^r}{1-d^{r+1}} \right)^2 & : r \text{ is odd,} \\ (1 - d^2)^2 \left(\frac{1}{1+d} - \frac{d^{r/2}}{1-d^{r/2+1}} \right)^2 & : r \text{ is even.} \end{cases}$$

例えば、 $d = 1/\sqrt{2}$ とすると、 $P^{(New)}(3) = P^{(New)}(6) > P^{(New)}(j)$ ($j \notin \{3, 6\}$) となることがわかり、 r に対する単調増加性の破綻という意味では、 $r = 3, 4$ 付近で最大となる [2] の結果と大体一致する.

参考文献

- [1] M. Ohtsu et al., Off-shell archive: 2304O.001.v1 (2013).
- [2] M. Naruse et al., Nano Communication Networks **2** (2011) 189–195.
- [3] Yu. Higuchi and E. Segawa, J. Phys. A Math. Theor. **52** (2009) 395202.
- [4] Y. Mizutani et al., Phys. Rev. A **106** (2022) 022402.

シリコン発光素子の光子ブリーディングの量子ウォーク解析

Quantum walk analyses of photon breeding with respect to photon momenta from a silicon light-emitting device

ドレスト光子¹, 横浜国大², Middenii³, 工学院大⁴

○大津元一¹, 瀬川悦生², 結城謙太^{3,4}, 齋藤正顕⁴

Res. Origin Dressed Photon¹, Yokohama Ntnl. Univ², Middenii³, Kogakuin Univ.⁴

○Motoichi Ohtsu¹, Etsuo Segawa², Kenta Yuki^{3,4}, Seiken Saito⁴

E-mail: ohtsu@rodrep.or.jp

【まえがき】間接遷移型半導体である Si 結晶にドレスト光子 (DP) とフォノンの結合場 (DPP) 援用のアニールを施すと発光素子 (LED、レーザーなど) として機能する。さらにその際立った特徴は光子ブリーディング (PB) である。これまでの実験により光子のエネルギー、スピンに関する PB が観測されている[1]。即ち発光の周波数、偏光は DPP 援用アニール時に照射する光のそれらの複製になっている。さらに運動量 (波数ベクトル) に関する PB も期待されることから、本講演では QW モデルによりそれを解析・再現した結果を報告する。

【方法】前回までに報告した QW モデルを用い、発光に含まれる DPP 援用アニールの照射光の伝搬方向と同方向、逆方向の成分の強度を求め比較する。Si 結晶中の B 原子対に閉じ込められる DPP が源となった発光が結晶外部に放射される強度を求めるため、エネルギー散逸のある QW モデルを用いる[2]。

【結果と考察】図 1 の●、○は各々結晶外部への散逸エネルギーのうち、上記の同方向、逆方向成分の値である[3]。(a)は B 原子対を構成する B 原子、Si 原子のサイトからの散逸エネルギーの値、(b)は B 原子対全体からの散逸エネルギーの値を散逸係数 κ の関数として表した

結果である。両図とも●の値が○よりも著しく大きい、これはまさに運動量に関する PB の証左である。また、(b)では数 $\kappa=2$ の時に散逸エネルギーが最大値をとるが、これは前回の計算結果と整合する[3]。

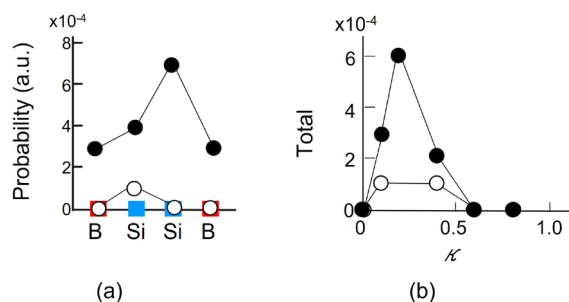


図 1. 散逸エネルギーのうち、照射光と同方向 (●)、逆方向 (○) 成分の値。(a) 原子サイト依存性。
(b) 散逸係数 (κ) 依存性。

【まとめ】散逸を含む QW モデルにより運動量に関する光子ブリーディングを再現することに成功した。

【文献】

- [1] M. Ohtsu, *Silicon Light-Emitting Diodes and Lasers*, Springer, Heidelberg (2016) Chapter 3.
- [2] 大津、瀬川、結城、齋藤、第 70 回応用物理学会春季学術講演会 (2023 年 3 月) 講演番号 16a-A201-4.
- [3] M. Ohtsu, E. Segawa, K. Yuki, and S. Saito, *Off-shell Archive* (April, 2023) Offshell: 2304O.001.v1. doi 10.14939/2304O.001.v1.

物質系の幾何学的配置によるドレスト光子の局在・散逸制御

Control of Dressed-Photon Localization and Dissipation Mediated by Geometrical Arrangement of Matter Systems

(株)リコー¹, 長浜バイオ大², ドレスト光子研究起点³ 〇三宮 俊¹, 西郷 甲矢人², 大津 元一³

Ricoh Co., Ltd.¹, Nagahama Inst. Bio-Sci. Tech.², Res. Origin Dressed Photon³

〇Suguru Sangu¹, Hayato Saigo², Motoichi Ohtsu³

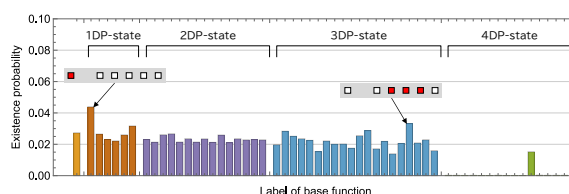
E-mail: suguru.sangu@jp.ricoh.com

ドレスト光子を介在した興味深い物理現象の一つとして、ドレスト光子フォノン援用アニール法により作製される間接遷移型半導体構造の発光現象が知られている[1]。アニールにより物質中を熱拡散するドーパント(不純物)が所定位置に対構造を形成し、ドレスト光子の局在およびエネルギー散逸が誘発されることで自律的構造形成および発光が発現するものと定性的に理解されている。著者らは前回応物理学会の講演において、不純物対形成時に物質系内のドレスト光子数が増大し、相まって散逸現象が加速することを数値シミュレーションにより説明した[2]。この特性には、ドレスト光子による超放射現象に類似した集団運動が影響しており、不純物対の位置関係に依存した非対称性がドレスト光子数増減に関わる遷移において重要な役割を担っている。

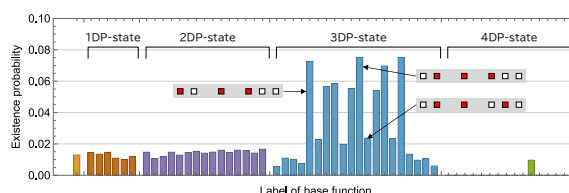
非対称性は不純物配置の他、物質系の幾何学的配置によっても制御可能と考えられる。本発表では、物質系の幾何学的配置がドレスト光子の緩和ダイナミクスの加減速に与える影響について数値シミュレーションを基に考察する。

異なる非対称性を有するモデルとして、1欠陥を有する一次元鎖状構造と2欠陥の同構造の数値シミュレーションを実施した。1欠陥の場合(Fig. 1(a)), 1~3個のドレスト光子の存在する状態の占有確率が広く分布する様子を確認できる。挿入図は計算に用いた特定サイトにドレスト光子が存在するドレスト光子基底状態を表わしている。一方、2欠陥の場合には、Fig. 1(b)に示すように、3個のドレスト光子が存在する一部の状態が選択的に励起され、これは高速なドレスト光子の励起・緩

和をとまう現象が発現する状況にあると解釈することができる。物質系の幾何学的構造による影響はこれまでも幾つかの研究報告があり、周回鎖状構造やその中央部へのエネルギー集約効果などについて議論されている[3]。講演時には、過去の研究事例との類似性や差異、特に複数ドレスト光子による影響についてまで議論を深め報告する予定である。



(a) 1欠陥鎖状構造



(b) 2欠陥鎖状構造

Fig. 1: ドレスト光子存在確率の分布 (縦軸: 存在確率、横軸: 基底状態ラベル)

参考文献

- [1] M. Ohtsu, *Silicon Light-Emitting Diodes and Lasers: Photon Breeding Devices using Dressed Photons (Nano-Optics and Nanophotonics)* (Springer, 2016).
- [2] 三宮・他, 第70回応用物理学春季学術講演会 講演予稿集 (2023) 16a-A201-5.
- [3] M. Naruse, et. al., *Nano Commun. Networks* 2 (2011) 189.