

## 半導体における全量子力学的光学応答理論と非線形光子制御への応用

2010/1/7 第3回 DYCE シンポジウム@京都大学

越野 和樹

東京医科歯科大学教養部, JSTさきがけ

## 研究目的

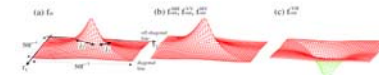
- 光子の量子状態を別の光子を用いて制御する「**全光学的量子制御**」は現代物理学の最も挑戦的な課題の一つです。
- これに必要とされる単一光子に敏感な巨大非線形効果を可能にするのは、**共振器に少数準位量子系を内包した系**であると考えられています。集積化などの面に優れた固体光学媒質で実現することができれば遥かに魅力的です。
- そこで本応募課題では、**半導体を用いた光子群の量子状態制御**を大目標に据え、半導体における全量子力学的光学応答理論を構築します。

## Introduction: 光学的量子ゲート

- 光子qubitの長所
  - 環境自由度に乱されない=decoherenceに強い
- 光子qubitの短所
  - 光子間相互作用が弱く、光の光による制御(2-qubitゲート)が難しい。
- 部分的解決策: 線形光学量子計算
  - 2-qubitゲートは可能だが、確率的にしか動作しない

## Introduction: 決定論的量子ゲートへの道

- 二光子間にはたらく非線形効果を最大化
  - 共振器の活用
  - 二準位系, 飽和非線形効果
  - 共鳴入射
- たった二光子でも、大きな非線形効果(符号反転= $\pi$ シフト)
  - 問題: 波束形状歪み, 出力光子の時間相関
- 波束形状を保持した制御Zゲート [KK, PRA 80 \(2009\) 023813](#)
  - 欠点: 時間相関した入射光子=特定の相手でない駄目



## 本日の話題

### Deterministic photon-photon (SWAP)<sup>1/2</sup> gate using a $\Lambda$ system

[Koshino, Ishizaka & Nakamura, arXiv:0909.4762](#)

- これまでは「二光子同時入射+非線形効果」という先入観があった。
- 本提案では、一光子ずつ入射
  - 波束形状は何でもよい
  - 「特定の相手」でなくてもOK
- (SWAP)<sup>1/2</sup> gateの重要性
  - 一光子ゲートと併せて「ユニバーサル・ゲートセット」を構成する。
  - Deterministic all-optical quantum computation が可能!

$$SWAP = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad \sqrt{SWAP} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (1+i)/2 & (1-i)/2 & 0 \\ 0 & (1-i)/2 & (1+i)/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

## System(1)

- 反射型の「 $\Lambda$ 型3準位系+1次元フォトン」
  - 荷電量子ドット+フォトニック結晶ナノ共振器
  - 別々には実現できている。結合も難しいくない?

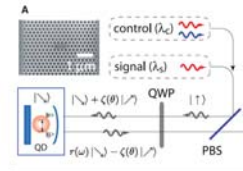
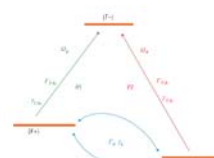


Figure 3 The interaction scheme of the generation of QP. A three-level system formed by spin ground states ( $|g, \pm\rangle$ ) of an electron and an intermediate transition state ( $|f\rangle$ ).

D. G. Steel et al., Nature Phys 4 692 (2008)

Vuckovic et al., Science 320 769 (2008)