

量子ドット集合体を用いた広帯域フォトンエコー量子インターフェース の量子状態トモグラフィー

Quantum State Tomography of Broadband Photon-echo Quantum Interface using a Quantum Dot Ensemble

慶大理工¹, 情通機構² ○鈴木 一将¹, 赤羽 浩一², 小西 広一郎¹, 早瀬 潤子¹

Keio Univ.¹, National Institute of Information and Communications Technology (NICT)²,

○Kazumasa Suzuki¹, Kouichi Akahane², Koichiro Konishi¹, and Junko Ishi-Hayase¹

E-mail: pluto.0@z2.keio.jp

量子情報技術において、光子—物質間の量子インターフェースを実現することは重要な課題の1つである。特に単一光子源や量子もつれ光子対の広帯域化に伴い、量子インターフェースの広帯域化が必要となる。不均一集合体とフォトンエコー (Photon echo; PE) 法を組み合わせた量子インターフェースは、帯域幅と保存時間の間のトレードオフが存在しないため、広帯域量子インターフェースを実現する方法として適している。現在までに固体中の希土類イオンを用いた PE 量子インターフェースの実証実験が行われているが、不均一幅の不足から帯域幅は 5 GHz 程度に制限されていた[1]。半導体量子ドット集合体 (Quantum dot; QD) は非常に広い不均一幅 (> 10 THz) を有することから、広帯域量子インターフェースを実現するうえで最も適した物質であると期待される。我々は今までに、PE 法を用いて QD 集合体へのピコ秒単一光子 Time-bin 量子ビットの転写・再生に高い忠実度で成功している[2]。今回我々は、量子状態トモグラフィーを用いて PE 量子インターフェースの忠実度をより定量的に調べたので報告する。

実験系を Fig. 1 に示す。光源は時間幅 1 ps、波長 1530 nm のパルスレーザである。ND フィルターにより 1 パルスあたりの平均光子数を 1 以下にした擬似的な単一光子パルスを生対称な Michelson 干渉計に入射し、Time-bin 量子ビット (Data) を生成した。ピエゾ素子 (PZT) を用いて Time-bin 量子ビット間の相対位相 ϕ を変化させることで Time-bin 量子ビットの状態を変化させた。Time-bin 量子ビットを歪補償 InAs QDs[3]に入射し、 ϕ を QDs に転写・保存した。時間遅延 τ を与えた高強度光 (Read) を QDs に入射し、 2τ に PE 信号として Time-bin 量子ビットを再生した。PE 光として再生された Time-bin 量子ビットの状態を解析するため、非対称な Michelson 干渉計を用いて量子状態トモグラフィーを行った。極微弱な PE 信号を検出するため、高感度で時空間的かつ周波数的なノイズ除去が可能な光ヘテロダイン検出法を用いた。

量子状態トモグラフィーにより得られた $\phi = 0$ の状態の Time-bin 量子ビットの密度行列を Fig. 2 に示す。入射した Time-bin 量子ビットと再生された Time-bin 量子ビットの忠実度は $97.3 \pm 2.7\%$ であった。Time-bin 量子ビットの異なる状態 $\phi = \pi/2, \pi, 3\pi/2$ に対して忠実度を評価したところ、それぞれ $93.8 \pm 5.6\%$, $94.9 \pm 4.6\%$, $94.5 \pm 4.5\%$ であった。いずれの場合も忠実度の古典限界 87.6 % [4] を上回ることから、QD 集合体を用いた PE 量子インターフェースが量子的な重ね合わせ状態を保持できることが示された。また、保存時間を少なくとも 400 ps まで伸ばしても、忠実度が古典限界を上回ることを実証した。

本研究の一部は、最先端・次世代研究開発支援プログラムの支援を受けて行われた。

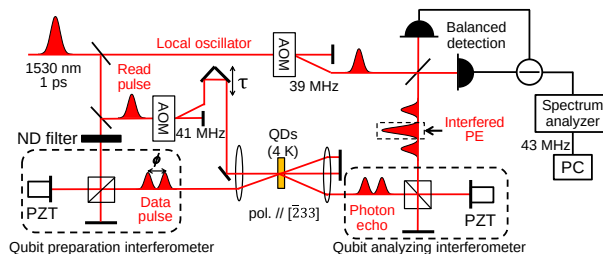


Fig. 1 Experimental setup.

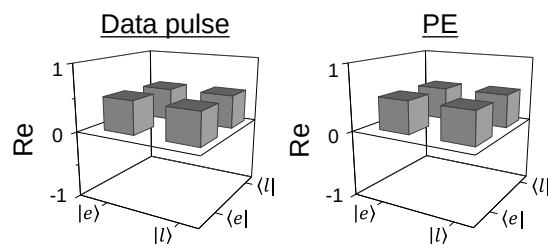


Fig. 2 Reconstructed density matrix of Data and PE (Data: 0.6 photon/qubit). Imaginary part is negligibly small. Storage time corresponds to 100 ps.

- [1] E. Saglamyurek *et al.*, *Nature* **469**, 512 (2011).
- [2] 鈴木 他, 第 74 回秋季応用物理学会学術講演会, 18p-D6-10 (2013).
- [3] K. Akahane *et al.*, *J. Cryst. Growth* **245**, 31 (2002).
- [4] M. Gündoğan *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **108**, 190504 (2012).