

量子ドット集合体への通信波長帯ピコ秒単一光子パルスの コヒーレントな転写・再生

Coherent Transfer and Retrieval of Picosecond Single Photon Pulses to a Quantum Dot Ensemble in the Telecommunication Wavelength Range

慶大理工¹, 情報通信研究機構² ○鈴木一将¹, 赤羽浩一², 山本直克², 早瀬潤子¹
Keio Univ.¹, National Institute of Information and Communications Technology (NICT)²
○Kazumasa Suzuki¹, Kouichi Akahane², Naokatsu Yamamoto², and Junko Ishi-Hayase¹
E-mail: pluto.0@z2.keio.jp

光の持つ量子状態を保存する量子メモリは、長距離量子情報通信に不可欠である。特に通信波長帯光は、光ファイバーを用いた伝送に適している。近年不均一な系に適用できるフォトンエコー (Photon Echo; PE) 法を用いて、希土類イオンをドーブした固体への通信波長帯単一光子の量子状態の転写・再生実験が行われた [1]。しかしながら希土類イオンは光との結合が弱く、適用できる光の帯域が狭い ($\sim$ MHz) という欠点があった。半導体量子ドット (Quantum Dots; QDs) は光との結合が強く、広い不均一幅とエネルギー準位間隔により広帯域 ($>$ THz) の光パルスを適用できることから、これらの問題を克服できると期待される。特に歪補償 InAs QDs [2] は励起子の共鳴波長が通信波長帯 (1530 nm at 5 K) であること、超積層構造により非常に高密度であること (QD 密度 10^{13} cm⁻²)、コヒーレンス時間が比較的長い ($T_2 > 1$ ns at 3 K) ことから、本研究に適した QDs であると言える。我々はこれまでにフォトンエコー法を用いた歪補償 QDs への高強度光パルス対のコヒーレンスの転写・再生に成功している [3]。今回我々は歪補償 QD 集合体への単一光子レベルの極微弱なピコ秒パルスのコヒーレントな転写・再生に成功したので報告する。

実験系を Fig. 1 に示す。光源のパルス幅は 1 ps であり、波長は励起子の共鳴波長の中心 (1530 nm) に調整した。1 パルス当たりの平均強度を 1 光子より十分弱めた光パルスを非対称なマイケルソン干渉計に入射し、単一光子パルスが時間的に先にある状態と後にある状態の重ね合わせ状態である Time-bin qubit (Data pulse) を生成した。Time-bin qubit の相対位相 ϕ は圧電素子 (PZT) で制御した。生成された Time-bin qubit を QDs に入射・転写し、一定時間保存した後、 τ の時間遅延を与えた光パルス (Read pulse) を入射し、 2τ の時間に PE 信号として再生した。生成された PE 信号の相対位相を検出するため、PE 信号を非対称なマイケルソン干渉計に入射し、PE 信号の前のパルスと後のパルスを干渉させた。干渉した PE 信号のみを時間的に選択し、かつ高感度に検出するため、Reference 光と干渉させ光ヘテロダイン検出を行った。光ヘテロダイン検出のために、Read pulse と Reference 光に音響光学変調器 (AOM) を用いてそれぞれ 41 MHz と 39 MHz の周波数シフトを施した。PE 信号の周波数のみを Spectrum analyzer で切り出して検出した (RBW $\sim$ 10 Hz)。バランス検出を行い、ノイズの除去及び PE 信号の増強を行った。

結果の一例を Fig. 2 に示す。Data pulse の平均光子数を 0.4 photon/pulse まで弱め、QDs に 2 個以上の光子が入射しないようにした。明瞭な干渉縞が見られたことから、通信波長帯ピコ秒単一光子パルスの相対位相を高い忠実度で転写・再生することに成功したことが示された。この結果は、単一光子パルスのコヒーレンスが QD 集合体のマクロなコヒーレンスに転写され、200 ps 保存された後 PE 信号として再生されていることを示唆している。通信波長帯光に限らず、THz オーダーの広帯域単一光子パルスを不均一な固体 2 準位系にコヒーレントに転写・再生した例は本研究が初めてである。我々の成果は通信波長帯単一光子に対する広帯域量子メモリの可能性を示している。

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なわれた。

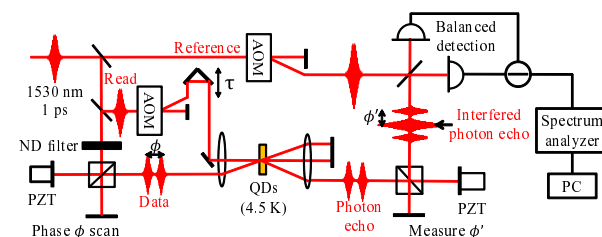


Fig. 1 Experimental setup.

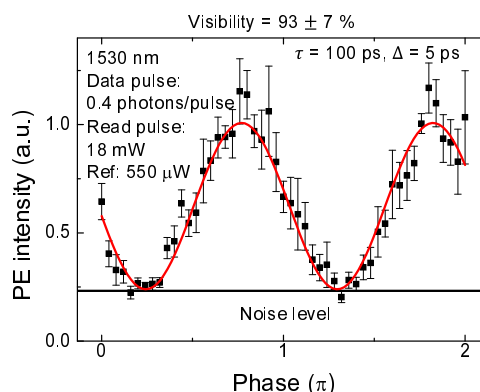


Fig. 2 Interference fringe of PE signal. The storage time corresponds to 200 ps.

- [1] B. Lauritzen *et al.*, Phys. Rev. A **83**, 012318 (2011).
- [2] K. Akahane *et al.*, J. Cryst. Growth **245**, 31 (2002).
- [3] J. Ishi-Hayase *et al.*, 2011 Nonlinear Optics (NLO 2011), Kauai, USA (July 2011).