

量子ドット集合体からのフェムト秒 Time-bin フォトンエコー信号の周波数上方変換単一光子検出器による位相評価

Evaluation of Femtosecond Time-bin Signals Stored in Photon-echo-based Quantum Dots Quantum Memory by Frequency Up-converted Single-photon Detector

¹慶大, ²慶大 CSRN, ³物材機構, ⁴情通機構

◦(M2)河内 優太^{1,2}, (M1)木下 裕太郎^{1,2}, 栗村 直³, 赤羽 浩一⁴, 早瀬 潤子^{1,2}

¹Keio Univ., ²Keio CSRN, ³NIMS, ⁴NICT

◦(M2)Y. Kochi^{1,2}, (M1)Y. Kinoshita^{1,2}, S. Kurimura³, K. Akahane⁴, and J. Ishi-Hayase^{1,2}

E-mail: yuta.kouchi@keio.jp

【背景・目的】近年注目されている光を用いた量子技術において、光子の重ね合わせ状態を壊さずに保存できる量子メモリの開発は必要不可欠である。また、伝送量子ビット数増加のためには、量子ビットの超短パルス化と時間的マルチモード化が重要である。広帯域化と時間的マルチモード化を可能にする量子メモリとして共鳴周波数の不均一分布を用いたフォトンエコー法が有力であり、これまで希土類イオンを用いた量子メモリが研究されてきた。しかし、希土類イオン量子メモリでは帯域幅が~MHzであり、THz オーダーの帯域幅を持つ超短パルスの保存は不可能であった。また、「単一光子検出器」側の時間分解能と dead time の性能限界も存在し、これらの制約から測定可能な量子ビットは~ns に制限されていた^[1]。そこで我々の研究グループでは、量子メモリとして独自開発した 150 層量子ドット集合体を用い、フェムト秒パルス保存に対応できる 7.2 THz の広帯域化を実現した。また、フェムト秒フォトンエコー測定において、我々が開発した周波数上方変換単一光子検出器(以下 UCSPD)^[2]を導入し、検出器側の課題を克服した。前回、フェムト秒 Time-bin フォトンエコー信号の保存について報告したが^[3]、今回は UCSPD を用いた単一光子レベル微弱 Time-bin フォトンエコー信号の位相測定について報告する。

【方法】時間的マルチモード性を確認するため、干渉計によって 1.5 ps ずらした微弱 time-bin 信号(20 μ W/time-bin)を量子メモリに保存した。量子メモリには多積層 InAs 量子ドットを用い、量子劣化原因の反転分布形成を抑制できる 3 パルスフォトンエコー法を用いて再生した。再生された Time-bin フォトンエコー信号は再び干渉計に通すことで前後のパルスを干渉させ、その強度変化から位相を測定した。測定には 415 fs の時間分解能で測定可能な UCSPD (Fig. 1(a))を用いた。UCSPD では測定対象のシグナル光とポンプ光(波長:820 nm, パルス幅:300 fs)を非線形光学結晶 PPMgSLT(結晶長:2 mm)に入射し、和周波光のみを取り出し Si APD で検出することで高時間分解能を達成している。

【結果】Figure 1(b)に 120 ps 保存した Time-bin フォトンエコー信号干渉波形の UCSPD による測定結果を示す。保存前の Time-bin 信号の位相によって干渉波形の中央ピークカウントが変化していることがわかる。中央ピークのカウント変化を Fig. 1(c)に示すが、保存前の Time-bin 信号の位相が保存後も明瞭度 85 %で保たれていることが確認できた。フォトンエコー信号の強度は平均光子数 1/time-bin であり、UCSPD による単一光子レベル Time-bin フォトンエコー信号の評価に成功した。今後、フォトンエコー法で用いる読み出し光にチャープを付与し、断熱的な量子操作によって再生効率を向上させる ARPs という手法を導入することでさらなる最適化を行う予定である。

【謝辞】本研究の一部は、慶大スピントロニクス研究開発センターの支援を受けて行なわれた。量子ドットサンプルは、NICT 先端 ICT デバイスラボの支援の下作製された。電気通信大学の清水教授との有意義な議論に感謝する。

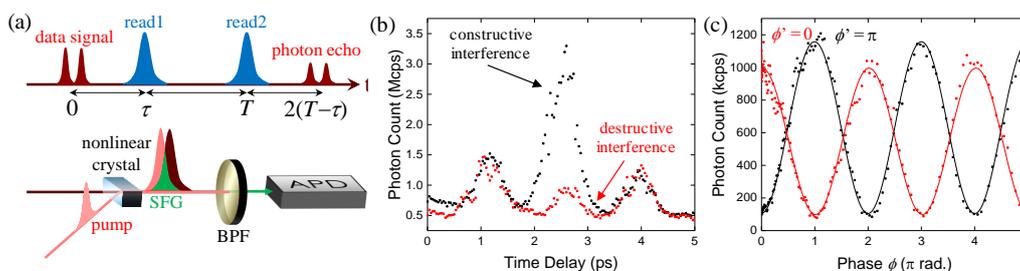


Fig. 1 (a) 3 パルスフォトンエコー法による再生と UCSPD による波形測定. (b) UCSPD によるフェムト秒 Time-bin フォトンエコー信号干渉波形. (c) Time-bin 信号の位相変化. ϕ' は評価側干渉計の位相.

[1] Y. Ma, *et al.*, *Nature Commun.*, **12** 2381 (2021).

[2] Y. Kochi, *et al.*, *arXiv*, 2205.06957 (2022).

[3] 河内他, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会, 20p-A404-2 (Sep, 2022).