

周波数上方変換を用いたフェムト秒 Time-bin 量子ビットの評価

Evaluation of Femtosecond Time-bin Qubits Using Frequency Up-Conversion Technique

¹慶應義塾大学, ²物材機構 [○]河内 優太¹, 松浦 亮¹, 栗村 直², 早瀬 潤子¹

¹Keio Univ., ²NIMS, [○]Yuta Kochi¹, Ryo Matsuura¹, Sunao Kurimura², and Junko Ishi-Hayase¹

E-mail: yuta.kouchi@keio.jp

【背景・目的】近年, 光子を情報単位(量子ビット)として用いた量子情報処理・通信が注目されている。中でも時間の異なる単一光子パルスの重ね合わせを用いた Time-bin 量子ビットは、偏光回転によって量子情報が劣化しない為、光ファイバを用いた長距離伝送に適している。単位時間あたりに伝送可能な量子ビット数を増やす為には Time-bin 量子ビットのパルス間隔 Δt を小さくすることが重要だが、単一光子検出器の時間分解能と Dead time から、測定可能な Time-bin 量子ビットの Δt は 2 ns 程度に制限されていた^[1]。そこで本研究では、我々が開発したフェムト秒ポンプパルスを用いた周波数上方変換単一光子検出器(以下 UCSPD)^[2]を導入する事により、 ~ 300 fs の高時間分解能と Dead time のない測定を可能とし、現在最短となるフェムト秒 Time-bin 量子ビットの評価を行ったので報告する。

【方法】1 パルス当たりの平均光子数を 1 程度に低下させた微弱なパルスレーザー(波長:1520 nm、パルス幅:240 fs)を非対称マイケルソン干渉計 A に入射し Time-bin 量子ビットを生成、それらをもう一つの非対称マイケルソン干渉計 B に通して前後のパルスを重ねる事で、Time-bin 量子ビットの相対位相を評価した。干渉計内にはガラス板が挿入されており、ガラス板角度を変える事で相対位相 ϕ を任意に変化させる事が出来る。Time-bin 量子ビットの干渉信号は UCSPD を用いる事で、時間分解測定を行った。UCSPD の測定系を Fig. 1(a)に示す。UCSPD では測定対象のシグナル光とポンプ光を非線形光学結晶 PPMgSLT(結晶長:1 mm)に入射し、和周波光のみを取り出し Si APD で検出した。ポンプ光としてパルスレーザー(波長:820 nm、パルス幅:200 fs)を用いる事で、 ~ 300 fs の時間分解能を得る事が出来る。

【結果】Figure. 2(b)は Time-bin 量子ビット(平均光子数:10)の干渉波形を UCSPD にて測定した結果である。高時間分解能(~ 300 fs)での測定が可能である事が示された。また、Fig. 2(b)中央のピークは Time-bin 量子ビットの相対位相によって強度が変化するが、その関係を Fig. 2(c) (平均光子数:0.5)に示す。黒点と赤点はそれぞれ干渉計 B 内の相対位相を $\phi = 0, \pi$ に設定したときの測定結果、青は UCSPD の dark count を示している。干渉強度変調の明瞭度はそれぞれ、黒 $87.3 \pm 2.4 \%$ 、赤 $82.0 \pm 2.1 \%$ であり、フェムト秒 Time-bin 量子ビットの位相評価に成功した。また、UCSPD の和周波変換効率は 3.7 %、系全体の検出効率は 0.4 %と見積もられた。この変換効率は、より高強度のポンプ光を用いる事で 10 %程度まで上昇させられると考えられる。時間分解能はポンプ光のパルス幅と結晶長に依存しており、結晶長が長くなると和周波変換効率が高くなる一方でシグナル光とポンプ光の群遅延差によって時間分解能は悪化する。本 UCSPD では、ポンプ光のパルス幅が得られる最短の時間分解能となる。

【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。

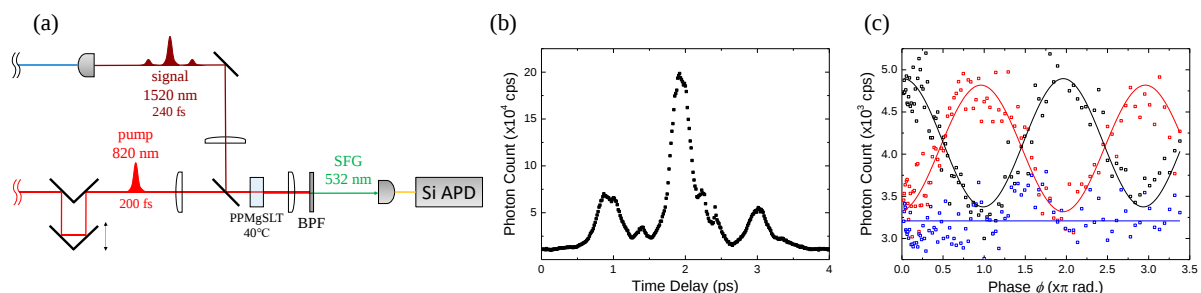


Fig. 1 (a)Setup of the UCSPD. (b)Temporal waveform of interfered Time-bin qubits measured by UCSPD. (c)Decoding the relative phase of Time-bin qubits (black: $\phi = 0$, red: $\phi = \pi$, blue: dark count).

[1] A. Martin, *et al.*, Phys. Rev. A **87**, 020301(R) (2013).

[2] 松浦他, 第 81 回応用物理学会秋季学術講演会, 10p-Z19-11 (Sep, 2020).