

通信波長帯 Atomic Frequency Comb による Time bin qubit の量子メモリ実証

Demonstration of an optical quantum memory for time bin qubit using an atomic frequency comb in telecom C-band

NTT 物性基礎研¹, 北大院工², 大和大³, 日本大⁴

○安井 翔一郎^{1,2}, 日達 研一¹, 尾身 博雄³, 稲葉 智宏¹, Xuejun Xu¹, 鍛冶 怜奈², 眞田 治樹¹, 足立 智², 俵 毅彦⁴

NTT BRL¹, Grad. Sch. Eng., Hokkaido Univ.², Yamato Univ.³, Nihon Univ.⁴

○S. Yasui^{1,2}, K. Hitachi¹, H. Omi³, T. Inaba¹, X. Xu¹, R. Kaji², H. Sanada¹, S. Adachi², T. Tawara⁴

E-mail: syou157next@eis.hokudai.ac.jp

近年、広域量子情報ネットワークの構築に向けて、量子中継器及び、量子メモリ (QM) の開発が盛んに行われている。特に、時間・周波数多重光 qubit のメモリを可能とする Atomic Frequency Comb (AFC) を用いたフォトンエコー型の QM プロトコルが注目されている。我々は通信波長帯に超微細光学遷移準位を有し、QM 材料として有望である同位体純化 $^{167}\text{Er}^{3+}:\text{Y}_2\text{SiO}_5$ バルク結晶について光学コヒーレンス時間を伸長するために、 $^{167}\text{Er}^{3+}$ 添加濃度が 10ppm の低濃度結晶を研究している [1-3]。しかし、それに伴い AFC を構成する $^{167}\text{Er}^{3+}$ 電子集団の吸光度が低下し、書き込み読み出し効率 (メモリ効率) が低下するという問題点があった。我々はこれを解決するために、低繰り返し光周波数コムを用いた新たな AFC 作製法 [Comb Transfer 法 (CT 法)] を開発し、メモリ効率の大幅な改善 (0.1% → 4%) に成功した。量子中継を行うにあたり、AFC QM には長距離伝送に適した Time bin qubit (TBQ) の保存が要求される。今回は実際に TBQ を作製し、CT 法で作製した AFC を用いて TBQ の光位相情報の保存を実証したことを報告する。

初めに、非対称マッハツェンダー干渉計 (uMZI) を用いて、75 ns の時間間隔を有する TBQ を作製した。同様の uMZI を用いてメモリ前後の TBQ の可干渉性を評価した結果、その明瞭度は $V_{\text{in}} = 97.7 \pm 0.2\%$ [メモリ前: 図 1(a) 上段], $V_{\text{out}} = 88.7 \pm 3.4\%$ [メモリ時間 500 ns 後: 図 1(a) 下段] であった。また、メモリ前後における干渉位相を比較した結果、その差はわずか 0.08π rad. であった。これらの結果より、TBQ と

$^{167}\text{Er}^{3+}$ 電子集団間で位相情報の変換・逆変換がなされたことが確認できた。AFC QM のメカニズムや干渉測定の詳細は講演に譲る。

本研究は JSAP 科研費 19H02636, 21H01745, 22H01995 の助成を受けたものです。

[1] T. Tawara *et al.* Appl. Phys. Express **10**, 042801 (2017). [2] S. Yasui *et al.* Opt. Express **29**, 27137 (2021). [3] S. Yasui *et al.* Opt. Continuum **1**, 45729 (2022).

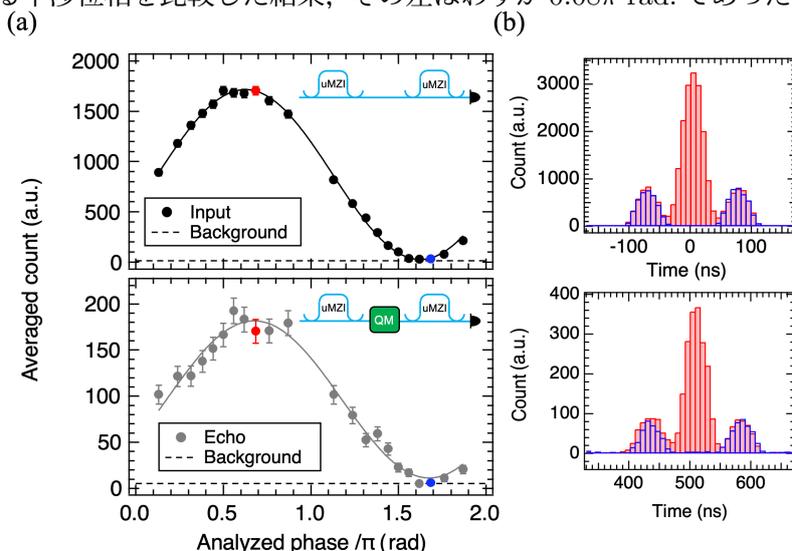


Fig. 1: Coherence measurements of time bin qubits. (a) [the upper fig.] Interference without QM. (b) [the lower fig.] Interference after storage at $t = 500$ ns. Inset: Schematic of the measurement system. (b) Time histogram of the interference signal. (red) Constructive interference. (blue) Destructive interference. These correspond to the red (blue) plot in (a), respectively.