

He 循環型冷凍機を用いた超高純度 1.5 μm 帯単一光子発生器

Ultrahigh purity single-photon generator at 1.5 μm using closed cycle refrigerator

○東大ナノ量子機構¹, 富士通研², 日本電気³, 情通機構⁴, 物材機構⁵, 東大生研⁶

○宮澤 俊之¹, 竹本 一矢², 南部 芳弘³, 三木 茂人⁴, 山下 太郎⁴, 寺井 弘高⁴, 藤原 幹生⁴,
佐々木 雅英⁴, 佐久間 芳樹⁵, 高津 求², 山本 剛之², 荒川 泰彦^{1, 6}

NanoQuine Univ. of Tokyo¹, Fujitsu Labs.², NEC³, NICT⁴, NIMS⁵, IIS Univ. of Tokyo⁵

○Toshiyuki Miyazawa¹, Kazuya Takemoto², Yoshihiro Nambu³, Shigehito Miki⁴, Taro Yamashita⁴,
Hiroataka Terai⁴, Mikio Fujiwara⁴, Masahide Sasaki⁴, Yoshiki Sakuma⁵, Motomu Takatsu²,
Tsuyoshi Yamamoto², Yasuhiko Arakawa^{1, 6}

E-mail: miyatosi@iis.u-tokyo.ac.jp

(はじめに) 単一光子源は量子情報通信における基本リソースである。特に光ファイバーを利用した実用システムに向けては、波長 1.5 μm 帯で長時間安定的に単一光子を生成可能なデバイスが不可欠とされる。我々はこれまで 1.5 μm 帯の InAs/InP 量子ドットで $g^{(2)}(0) = 0.002$ となる高純度単一光子発生を実現し、さらに超伝導単一光子検出器(SSPD)と組み合わせたシステムで 100 km を超える量子鍵配付を実証した[1]。しかしながら上記実験を含め、良質の単一光子生成を得るには一般に極低温環境が必須であり、そのために消費される液体ヘリウムが単一光子源の動作時間を大幅に制限していた。寒剤を用いない冷却方式としては He 循環型のパルスチューブ冷凍機がよく用いられるが、比較的振動が大きく精密測定への利用は困難とされてきた。今回、量子ドットチップと集光光学系を冷却ステージ上に一体配置することで振動の影響を排した冷凍機内蔵型の単一光子発生器を試作し、世界で初めて 10^{-4} 台の $g^{(2)}(0)$ 値を観測したのでこれを報告する。

(実験) 図 1 (a), (b)に冷凍機の外観写真および内部構造の概略図を示す。円筒フランジの内部に量子ドットチップを配置し、極低温ピエゾ素子による集光光学系のサブミクロン精度での位置決めを実現している。励起子の基底準位発光が得られる励起準位のうち最もエネルギーに近い $e1h0$ 状態に共鳴する励起光パルス(波長: 1537.8 nm, パルス幅: 10 ps)を光ファイバーから照射し、発生した 1578.1 nm の基底準位発光を単一光子として同じ光ファイバーで取り出す構成となっている[2]。得られた単一光子パルスは 0.3 nm 幅のバンドパスフィルターを通した後、偏波コントローラにより直線偏光化し、超低雑音のマルチチャネル SSPD[3]により単一光子性を評価した。

(結果) 図 1 (c)は冷凍機により 8 K まで冷却し、繰り返しレート 20 MHz の励起光パルスを照射して測定した光子相関関数(縦軸対数表示)である。時間原点では超高純度の単一光子発生を示す明瞭なアンチバンチングが確認できる。ダークカウントを含めた時間幅 2 ns での積分カウントから、 $g^{(2)}(0) = 4.3 \times 10^{-4}$ を得た。これは 1 μm 以下の短波長領域も含め報告された中で最小の値となる。装置自体は数週間以上の連続動作も可能であり、この結果は単一光子源を利用した量子通信システムの実用化に向けた大きなマイルストーンと考えられる。

(謝辞) 本研究は文部科学省イノベーションシステム整備事業の支援により遂行された。制御プログラムの作成に関して上智大学 中岡俊裕准教授の協力に感謝します。

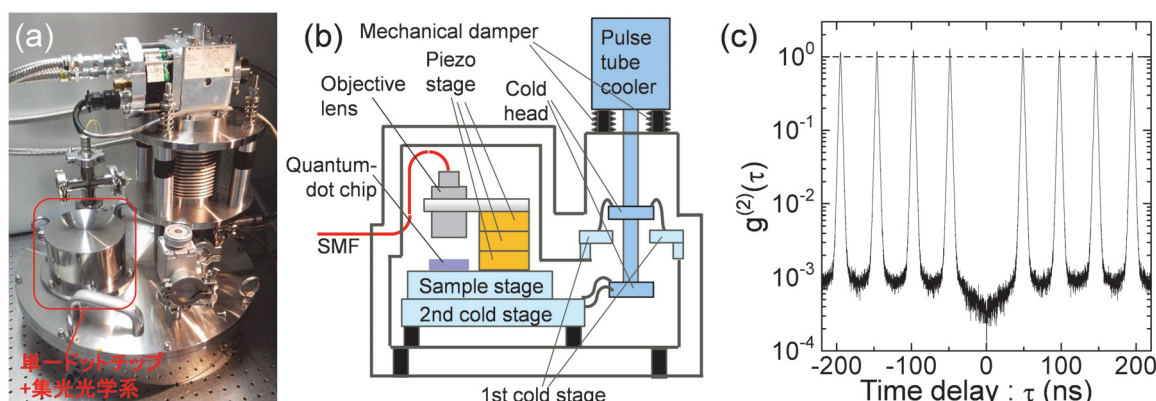


図 1 (a) 循環型冷凍機の外観写真, (b) 循環冷凍機の内部構造概略図, (c) 光子相関関数

[1] 竹本ら, 第 59 回応用物理学関係連合講演会, 18a-E3-8 (2012), [2] T. Miyazawa *et al.*, IPRM 2013, MoC3-2, Kobe, Japan (2013), [3] S. Miki, *et al.*, Opt. Express **21**, 8, 10208 (2013).