

人工 Λ 型原子を用いたマイクロ波単一光子検出Microwave single photon detection using an artificial Λ -type atom○猪股 邦宏¹、Lin Zhirong¹、越野 和樹²、山本 剛³、中村 泰信^{1,4}

(1. 理研創発物性、2. 東京医歯大、3.NEC スマエネ研、4. 東大先端研)

○K. Inomata¹, Z. R. Lin¹, K. Koshino², T. Yamamoto³, and Y. Nakamura^{1,4}

(1.RIKEN-CEMS, 2.TMDU, 3.NEC-SERL, 4.Univ. Tokyo-RCAST)

E-mail: kunihiro.inomata@riken.jp

人工原子として振る舞う超伝導量子ビットとマイクロ波共振器が結合した回路量子電磁力学 (回路 QED) 系は、マイクロ波領域における量子光学実験の格好の舞台を提供する。我々はこの回路 QED 系において、エネルギー準位間の特定の輻射崩壊レートを量子ビットの駆動マイクロ波パワーによって制御し、人工 Λ 型三準位原子 (インピーダンス整合 Λ 系) を実現した [1,2]。この系において観測された共鳴入射マイクロ波光子のラマン遷移による周波数下方変換は、入射マイクロ波光子による系の決定論的スイッチングを裏付けるものである。この現象を応用することにより、可視領域の光子と比較してエネルギーが 4 ~ 5 桁小さく検出が困難なマイクロ波単一光子の高効率検出を実証した。

量子ビット-共振器結合系の固有エネルギーは、基底状態ラダー $|g, n\rangle$ と励起状態ラダー $|e, n\rangle$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) によって記述でき (図 1(a))、適切な量子ビットの駆動マイクロ波周波数を選択することによって、回転座標系におけるエネルギー最低 4 準位を $|g, 0\rangle < |e, 0\rangle < |e, 1\rangle < |g, 1\rangle$ とすることができる (図 1(b))。さらに、量子ビットの駆動マイクロ波パワーにより、結合系の着衣状態 $|\bar{m}\rangle$ ($m = 1, 2, 3, 4$) 間における二つの輻射崩壊レートが等しくなるよう制御することで、インピーダンス整合 Λ 系を構成する。

実験では、適切なパワーと周波数に選択された駆動マイクロ波パルスを経系に照射することにより、パルス照射時のみ $|\bar{1}\rangle, |\bar{2}\rangle, |\bar{4}\rangle$ の着衣状態によってインピーダンス整合 Λ 系を構成する。駆動パルスと同時に Λ 系に共鳴な光子パルス (平均光子数 ~ 0.1) をそれぞれ独立なポートから同時に入力すると (図 1(d))、マイクロ波光子は $|\bar{1}\rangle \rightarrow |\bar{4}\rangle \rightarrow |\bar{2}\rangle$ のラマン遷移によって周波数下方変換され、同時に系の状態、具体的には量子ビットの状態を決定論的に励起させる (図 1(b))。この状態 $|e, 0\rangle$ を単一試行で読み出すことによって、マイクロ波光子の検出となる (図 1(c))。光子検出効率は量子ビットの緩和時間によってリミットされるものの、これまでのところ $66 \pm 6\%$ の最大検出効率を達成した。本講演では、マイクロ波光子検出器の高速リセットやダークカウント等についても議論する予定である。

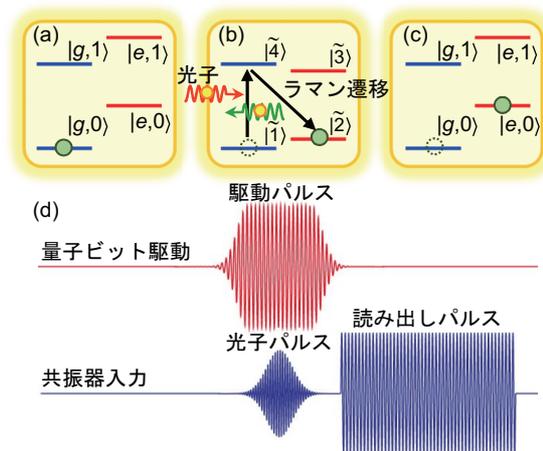


図 1: マイクロ波光子検出の概念図

[1] K. Koshino *et al.*, Phys. Rev. Lett. **111**, 153601 (2013).[2] K. Inomata *et al.*, Phys. Rev. Lett. **113**, 063604 (2014).