

NbN フルエピタキシャル接合を用いた超伝導量子ビットの作製・評価

Fabrication and measurement of superconducting qubits consisting of fully-epitaxial NbN-based Josephson junctions

情通機構¹、名大工²、さきがけ³ ○寺井 弘高¹、金 鮮美¹、布施 智子¹、丘 偉¹、山下 太郎^{2,3}、吉原 文樹¹、仙場 浩一¹

NICT¹, Nagoya univ.², JST PRESTO³ ○H. Terai¹, S. Kim¹, T. Fuse¹, W. Qiu¹, T. Yamashita^{2,3}, F. Yoshihara¹, K. Semba¹
E-mail: terai@nict.go.jp

はじめに 現在、シャドーマスク法で作製した Al/AIO_x/Al 接合が超伝導量子ビットの基本素子として広く用いられている。障壁層である AIO_x は非晶質の酸化物であり 2 準位系によるエネルギーや位相緩和が懸念されるが、接合面積の微細化、回路設計の改良、測定環境の改善により、最近では 1 ms を超えるエネルギー緩和時間 T₁ も報告されている[1]。しかしながら、今後のさらなるコヒーレンス時間の延伸、大規模集積化に向けて、我々は障壁材料の見直しも視野に入れた材料プロセスの検討が重要になると考えている。これまでに、MgO(100)基板上に作製したフルエピタキシャル NbN/AlN/NbN 接合を用いてトランズモン量子ビットの作製・評価を行ったが、MgO 基板の誘電損失により、観測された T₁ は 0.5 μs 程度と顕著な改善には至らなかった[2]。この結果を受けて、MgO 以外の基板材料、具体的には Si (100)基板上へのフルエピタキシャル NbN/AlN/NbN 接合の作製を目標に、薄膜成長・回路作製プロセスの見直しに取り組み、Si 基板上での(100)配向 TiN 薄膜の作製 [3]、この(100)配向 TiN 薄膜をバッファ層として低リークのフルエピタキシャル NbN/AlN/NbN 接合の作製に成功した[4]。また、(100)配向 TiN 薄膜を用いて作製した準平面型 (Coplanar Waveguide: CPW) 共振器において、シングルフォトンレベルのマイクロ波強度で 7 × 10⁵ を超える内部 Q 値を観測し、TiN 薄膜が電極材料として十分に低損失であることを確認した。今回、この Si 基板上に作製したフルエピタキシャル NbN/AlN/NbN 接合を用いてトランズモン量子ビットを作製・評価した。

実験結果 トランズモン量子ビットの設計は、CPW 共振器の共振周波数や外部 Q 値の変更以外は MgO 基板上で行った実験に準拠した。また、安定して寸法 1 μm 以下の接合を作製するために化学機械研磨 (CMP) による平坦化プロセスを導入し、CPW 共振器は TiN/NbN 積層膜で構成した。ベース層と配線層の絶縁に用いた SiO₂ は、測定前にバッファードフッ酸により除去した。完成したトランズモン量子ビットの SEM 写真を図 1 に示す。このトランズモン量子ビットを希釈冷凍機で 20 mK まで冷却・評価した結果、図 2 に示す明瞭なラビ振動が観測された。図 2 のフィッティングからラビ振動の減衰時間は 1.2 μs と見積もられた。

謝辞 本研究の一部は、JST ERATO (grant no. JPMJER1601) および CREST (grant no. JPMJCR1775)、科研費 (JP19H00764) の支援により行われた。

[1] Y. Lin *et al.*, Phys. Rev. Lett. 120, 150503, 2018, [2] Y. Nakamura *et al.*, Appl. Phys. Lett. 99, 212505, 2011, [3] R. Sun *et al.*, IEEE Trans. on Appl. Supercond. 25, 15101204, 2015, [4] K. Makise *et al.*, IEEE Trans. on Appl. Supercond. 26, 1100403, 2016.

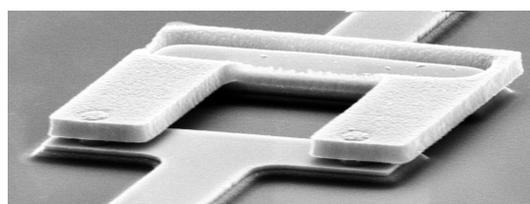


Fig. 1 Scanning Electron Microscope (SEM) image of transmon qubit consisting of fully-epitaxial NbN/AlN/NbN junctions on Si (100) substrate.

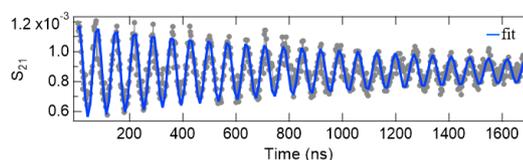


Fig. 2 Rabi oscillation observed in transmon qubit consisting of fully-epitaxial NbN/AlN/NbN junctions on Si (100) substrate.