

窒化物超伝導量子ビット

Superconducting qubits based on nitride superconductors

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 浩一¹NICT¹, 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

我々はフルエピタキシャル NbN/AlN/NbN 接合を用いた超伝導量子ビットの作製・評価を進めている。この接合は、障壁層である AlN を含めて上部電極層まで(100)配向で結晶成長するため、現在広く用いられている Al/AIO_x/Al 接合の非晶質 AIO_x 障壁層に起因したコヒーレンスの劣化を抑制できる可能性がある。また、低臨界電流密度の接合の作製が比較的容易であり、Al/AIO_x/Al 接合と同じ臨界電流をより面積の大きい接合で実現できるため、特性の均一性向上を期待できる点も大きな優位点と考えている。このフルエピタキシャル NbN/AlN/NbN 接合は MgO(100)基板上に室温成膜で作製できるため、まず MgO 基板上に作製した 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 基板の誘電損失の影響が大きく、コヒーレンス時間の顕著な改善には至らなかった[1]。この結果を踏まえて、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[2]、この(100)配向 TiN 薄膜をバッファ層として低リークフルエピタキシャル NbN/AlN/NbN 接合の作製に成功した[3]。また、(100)配向 TiN 薄膜を用いた準平面型共振器では、基板品質の影響により多少の変動はあるものの、シングルフォトンレベルのマイクロ波強度でコンスタントに 10 万を超える内部 Q 値が得られている。現在、この内部 Q 値のもう一桁の向上を目指して作製条件の検討を行っているところである。

(100)配向 TiN 薄膜をバッファ層として作製した NbN/AlN/NbN 接合の電流-電圧特性を図 1 に示す。3 層膜接合をベースとした超伝導量子ビットで最も懸念されるのが、ベース層と配線層の絶縁に用いる非晶質の SiO₂ による誘電損失で、この影響を排除するために、図 1 の走査電子顕微鏡 (SEM) 像に示すように配線層のパターニング後に SiO₂ をバッファードフッ酸 (BHF) で除去している。我々は、SiO₂ を除去前後で接合特性に全く変化がなく、サブギャップ抵抗/常伝導抵抗比

(R_{SG}/R_N) が 60 以上とリーク電流の小さな接合が作製できることを確認している。この技術をベースに作製した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 に示す減衰時間 1.2 μ s の明瞭なラビ振動の観測に成功した。

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. Nakamura *et al.*, Appl. Phys. Lett. 99, 212505, 2011, [2] R. Sun *et al.*, IEEE Trans. on Appl. Supercond. 25, 15101204, 2015, [3] K. Makise *et al.*, IEEE Trans. on Appl. Supercond. 26, 1100403, 2016.

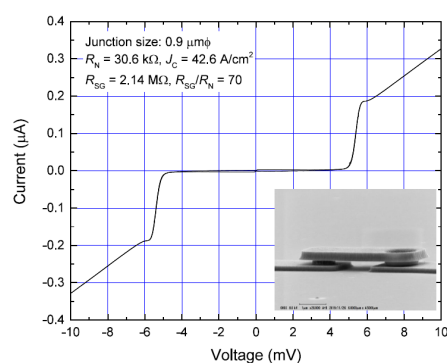


Fig. 1 Current-voltage characteristic and SEM image of fully-epitaxial NbN/AlN/NbN junction with eliminated SiO₂ layer by BHF..

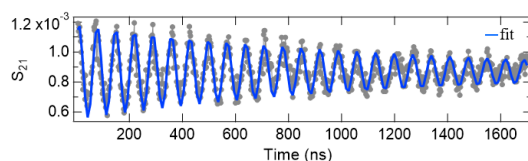


Fig. 2 Rabi oscillation observed in transmon qubit consisting of fully-epitaxial NbN/AlN/NbN junctions on Si (100) substrate.