

量子ビット応用に向けた sidewall spacer 構造を有するフルエピタキシャル NbN/AlN/NbN ジョセフソン接合

Fully Epitaxial NbN/AlN/NbN Josephson Junctions with Sidewall Spacer Structure for Superconducting Qubits

東北大院工¹, 情通機構² ◯(M1)本田 浩輝¹, (M2)栗原 大輝¹,

Pham Duong¹, 沓間 弘樹¹, 寺井 弘高², 山下 太郎¹

Tohoku Univ.¹, NICT², ◯Koki Honda¹, Daiki Kurihara¹,

Duong Pham¹, Hiroki Kutsuma¹, Hirotaka Terai², Taro Yamashita¹

E-mail: koki.honda.s6@dc.tohoku.ac.jp

現在の超伝導量子ビットは、そのほとんどがアルミニウム(Al)ベースのジョセフソン接合によって構成されているが、絶縁層の非晶質酸化アルミニウム(AIO_x)に含まれる多くの欠陥二準位系がデコヒーレンス源となることが知られている。最近では、Al 以外の接合材料を用いた量子ビットにおいてコヒーレンス特性の向上が報告されている [1, 2]。その中でも、フルエピタキシャル成長した窒化ニオブ(NbN)ジョセフソン接合は、絶縁層に結晶化した窒化アルミニウム(AlN)を用いることで欠陥二準位系の低減が期待されている [1]。一方で、層間絶縁膜 SiO₂ の平坦化を含む複雑な素子作製プロセスにより、本来のコヒーレンス特性が抑制されている可能性がある。また、量子ビットの損失源となる SiO₂ はプロセスの最終工程で除去する必要があるが、従来プロセスでは SiO₂ が基板全面に存在するため、エッチング残渣によるデヒーレンスが懸念される。

そこで我々は、最近コヒーレンス特性の改善が報告された Nb 量子ビットに用いられた sidewall spacer 構造 [2, 3]に着目し、同構造を有する NbN/AlN/NbN ジョセフソン接合の作製を試みた。

Sidewall spacer 構造では、SiO₂ が接合側壁近傍のみに存在するため、基板全面に SiO₂ が存在する従来構造に比べてその体積が圧倒的に少ない。そのため、接合完成後に行うフッ酸による SiO₂ の除去が容易となり、デコヒーレンス源となる SiO₂ 残渣の低減が期待される。

本研究では、AlN 膜厚 0.9 – 2.0 nm の NbN/AlN/NbN 接合を作製し、10 mK および 2.2 K における電流電圧特性を評価した。その結果、Fig 1. に示すように、AlN 膜厚 1.27 nm の試料において、量子ビットへの応用に適した、低リークかつ低臨界電流密度の接合特性を得ることができた。発表では、SiO₂ エッチングによる接合特性への影響や、電子線描画装置を用いた量子ビットの試作状況についても報告する。

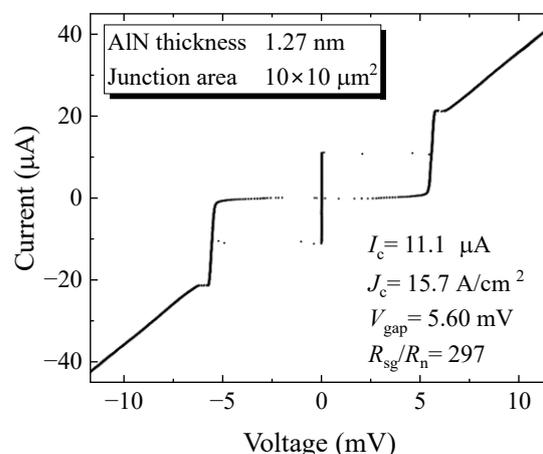


Fig. 1 Current-voltage characteristics of the NbN/AlN/NbN junction at 10 mK. I_c , J_c , V_{gap} , and R_{sg}/R_n are Josephson critical current, critical current density, gap voltage, and junction quality factor, respectively.

謝辞 本研究の一部は、JST ムーンショット型研究開発事業 (JPMJMS2067), JST CREST (JPMJCR2415), ならびに文部科学省「マテリアル先端リサーチインフラ」事業 (課題番号: JPMXP1224TU0095)の支援により行われた。

[1] S. Kim *et al.*, Commun. Mater. **2**, 98 (2021). [2] A. Anferov *et al.*, Phys. Rev. Appl. **21**, 024047 (2024).

[3] L. Grönberg *et al.*, Supercond. Sci. Technol. **30**, 125016 (2017).