

超伝導量子ビット制御に向けた窒化物系超伝導集積回路プロセスの開発

Development of a fabrication process for superconducting integrated circuits based on nitride superconductors for qubit control

情通機構¹, 名大院工², 産総研³

○宮嶋 茂之¹, 山下 太郎², 田中 雅光², 竹内 尚輝³, 寺井 弘高¹

NICT¹, Nagoya Univ.², AIST³,

○Shigeyuki Miyajima¹, Taro Yamashita², Masamitsu Tanaka², Naoki Takeuchi³, Hirotaka Terai¹

E-mail: miyajima@nict.go.jp

超伝導量子ビットは固体素子であり、集積性、拡張性に優れることから、量子計算機を実現するためのハードウェア候補として世界的規模で研究開発が進められている。我々のグループでは NbN/AlN/NbN エピタキシャル接合を用いた超伝導量子ビットの開発を進めてきた[1]。従来の Al ベースの JJ ではトンネル障壁にアモルファスの酸化物である AlO_x を用いており、トンネル障壁に含まれる欠陥 (2 準位系) がデコヒーレンスの要因と考えられている。我々のグループでは TiN バッファ層を用いることで Si 基板上に NbN エピタキシャル接合を作製する技術確立し[2]、この技術を用いて作製した超伝導量子ビットにおいて、 $20\ \mu\text{s}$ を超えるコヒーレンス時間を実証した[3]。一方、超伝導量子ビットの欠点として、量子ビットの状態制御/読出にマイクロ波を使用するため、量子ビットの数だけ同軸ケーブルが必要で、希釈冷凍機に実装できる同軸ケーブルの本数で回路規模が制限されてしまう。最も冷却能力の大きい BlueFors 社製の XLD1000 でも実装できる配線数は 1000 本程度である。この限界を打破する手段として極低温信号処理の導入が考えられる。量子ビットの状態制御/読出を量子ビットと同じ動作温度上の信号処理回路で行うことで冷凍機内のケーブルを大幅に削減し、量子ビットの更なる大規模化が期待できる。我々は NbN/AlN/NbN エピタキシャル接合を用いて、超伝導量子ビットと制御用デジタル回路をモノリシックに集積化するための回路プロセスの開発を行っている。我々が開発した作製プロセスでは量子ビット及び信号処理回路用の JJ の J_c はどちらも $50\ \text{A}/\text{cm}^2$ であり、 $2 \times 2\ \mu\text{m}^2$ の接合面積で $I_c = 2\ \mu\text{A}$ に相当する。この値は 4 K 動作回路の 1/100 であり、 $20\ \text{mK}$ での動作を想定して超低消費電力での動作が可能な回路パラメータとなっている。Fig. 1 に作製プロセスの断面図を示す。超伝導層は BAS、WIRE、GP の 3 層であり、抵抗体には Pd を用いている。層間絶縁層には SiO_2 を用いているが、量子ビット部分の SiO_2 に関しては BHF を用いて除去する。講演では作製プロセスの詳細及び作製したデバイスの評価について報告する。

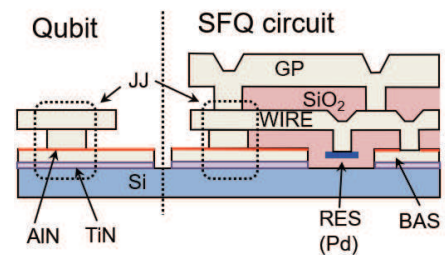


Fig. 1 Device structure for integration circuits based on NbN/AlN/NbN JJs.

[1] Y. Nakamura, *et al.*, Appl. Phys. Lett. vol. 99, 212502 (2011).

[2] K. Makise, *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 26, no. 3, 1100403 (2016).

[3] S. Kim, *et al.*, Commun. Mater., vol. 2, 98, (2021).

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 (JP19H05615)、文部科学省光・量子飛跳プログラム (Q-LEAP) JPMXS0118068682 の助成を受けたものである。