

中性粒子ビーム酸化により制御された Nb 酸化膜厚が超伝導共振器性能に与える影響

Effects of Nb oxide film thickness controlled by neutral beam oxidation on superconducting resonators

東北大流体研¹, 東北大 AIMR², 産総研³, 東理大⁴, 理研 RQC⁵

○(M2)紺野 太彦¹, 大堀 大介¹, 日高 睦夫³, 野田 周一³, 遠藤 和彦³, 向井 寛人^{4,5},

朝永 顕成^{4,5}, 蔡 兆申^{4,5}, 寒川 誠二^{1,2}

IFS, Tohoku Univ.¹, AIMR, Tohoku Univ.², AIST³, TUS⁴, RQC, RIKEN⁵

○(M2)T. Konno¹, D. Ohori¹, M. Hidaka³, S. Noda³, K. Endo³, H. Mukai^{4,5},

A. Tomonaga^{4,5}, J.S. Tsai^{4,5}, S. Samukawa^{1,2}

E-mail: taichi.konno.r5@dc.tohoku.ac.jp, samukawa@ifs.tohoku.ac.jp

【緒言】

多くの選択肢から最適解を求める経路最適化や化学物質の組み合わせなどの分野において、非ノイマン型コンピュータである量子コンピュータを用いて高速に効率よく解を得ることが期待されている[1,2]。超伝導量子コンピュータにおいて単一光子を介して情報の伝達、読み出しを行う Nb 超伝導共振器の性能向上が要求されている。単一光子を高感度に取り扱うためには、超伝導共振器の内部損失に起因する Q 値の向上が必須である。Nb 酸化層には絶縁体の Nb₂O₅ と金属的な性質を有する NbO や NbO₂ などのサブオキไซด์があり[3]、これらの酸化膜の膜厚や組成比は加工やその後の表面処理条件に依存している。サブオキไซด์は Nb 超伝導共振器の損失を増加させ、Q 値の低下につながっていることが示唆されている[4]。本研究では、SF₆ 中性粒子ビーム(NB)を用いた低欠陥加工を行った試料に対して表面酸化膜厚を NB 酸化(NBO)によって制御し、高い Q 値が得られる Nb 表面酸化条件を検討した。

【実験方法と結果】

Si ウェハ上にスパッタ法を用いて Nb 膜を 50 nm 堆積させた試料を用意し、共振器パターンを形成した。この試料に対してステージ温度 30 °C、SF₆ NBE で加工を行った。加工後に、Si 基板上の SiO₂ を NF₃ ガスを用いたドライ処理により除去し、その後に NBO を Fig. 1 に示す条件で行い、Nb 酸化膜(Nb₂O₅)厚を変化させた。透過型電子顕微鏡により Nb 酸化膜厚測定および同様の処理を施した Nb 共振器の Q 値を 10mK において測定した。Fig. 1 に各 NBO 後の Nb 表面酸化膜の透過電子顕微鏡像を示す。NBO パワー及び時間によって、Nb 酸化膜の形成が Å オーダーで制御できており、かつ Nb 酸化膜と Nb 界面は非常に滑らかである事が分かった。Fig. 2 に Fig. 1 から見積もられた Nb 酸化膜厚と Q 値の関係を示す。Nb 酸化膜(Nb₂O₅)厚を薄く制御することで、高い Q 値が得られることが分かった。NBO により形成した酸化膜は長期間に渡り高い安定性を有することが過去の報告より分かっている[5]。したがって、NBO 処理を行った安定な極薄 Nb₂O₅ が表面を覆っている Nb 共振器は、高い Q 値を長期にわたり安定して保持することが期待できる。

【参考文献】

- [1] S. Tanaka, 知能と情報 **30**, 42 (2018).
- [2] C. Neill, et al., *Science* **360**, 195 (2018).
- [3] G. V. Chandrashekar, et al., *J. Solid State Chem.* **2**, 528 (1970).
- [4] 紺野太彦ほか, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会, 18p-Z27-7.
- [5] T. Ohno and Seiji Samukawa, *Appl. Phys. Lett.* **106**, 173110 (2015).

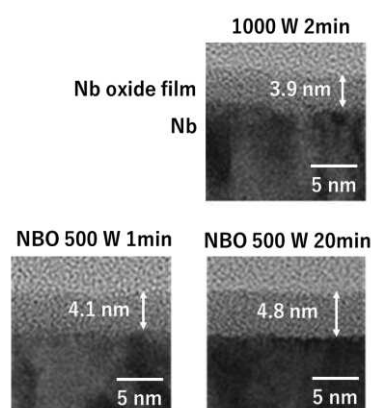


Fig. 1 Nb surface TEM images with various NBO conditions.

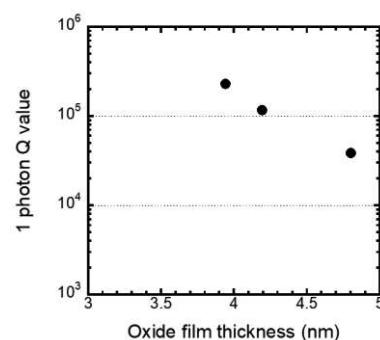


Fig. 2 Relationship between Nb oxide film thickness and Q value.