

中性粒子ビームにより制御された Nb 電極表面酸化膜が 超伝導共振器に与える影響

Effects of surface oxide film on Nb electrode controlled by neutral beam 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 太壱¹, 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,
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. Mukai⁴,
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】

量子コンピュータは機械学習、量子シミュレーションなどの、量子重ね合わせを用いた論理計算分野で、従来のコンピュータと比較して高速に解を求めることが期待されている。超伝導材料を用いて作製した量子ビットは、集積可能性と設計自由度に優れており、Al や Nb が超伝導材料として化学的・機械的に安定であることから採用されている。しかしながら、量子ゲート加工時や回路加工時に表面に生じる 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がある[2]。そのサブオキไซด์が含まれたジョセフソン接合を作製すると、良好な特性の接合ができないことが知られている[3]。また、Nb 表面のサブオキไซด์の割合は Nb 加工時のプラズマエッチング状態とも関連していることも指摘されており、さらに、データの読み出しに利用する Nb 超伝導共振器の共振特性劣化にもつながっていることが示唆された[4]。そこで本研究では、SF₆ 中性粒子ビーム(NB)を用いた低欠陥加工(NBE)を行い、その後に酸素 NB を用いた酸化(NBO)を行い、表面酸化膜質の制御を行うことで高い共振周波数の Q 値が得られる最適な Nb 表面酸化条件を検討した。

【実験方法と結果】

Nb 加工時の表面酸化膜形成を議論するために、Si ウェハ上にスパッタ法を用いて Nb 膜を 200 nm 堆積させた試料と、50 nm 堆積させた試料に共振器パターンを形成したものを用意した。200 nm の試料は各処理後の表面酸化膜含有比率を調べるために用いた。用意した試料に対して SF₆ NBE で加工を行った。ステージ温度は 30°C であった。レジスト除去後に Si 基板上的 SiO₂ を除去するため NF₃ 処理を行った試料と、NF₃ 処理後さらに NBO を行った共振器試料を作製した。NBO はエッチング後の試料表面を酸化して、絶縁性の高い Nb₂O₅ を形成させることを目的とした。Nb 加工前後での表面 XPS 測定で得られた Nb3d 信号を Nb metal, Nb₂O₅, NbO₂, NbO の 4 つにピーク分離を行い、その含有比を求めた。また、Ar を用いてスパッタリングすることで深さ方向分析を行った。Fig. 1 に処理前後の Nb3d 信号中の深さ方向の組成比を示す。(a)は無処理、(b)はソースパワー1000 W で 2 分間 NBO を行ったもの、(c)はソースパワー1000 W で 20 分間 NBO を行ったものである。NBO 後は照射時間に関わらず、表面のサブオキไซด์が抑制され、Nb₂O₅ の割合が増加した。20 秒間の Ar スパッタ後の結果を比較すると、(a)と(b)は同じ酸化組成比を示した。一方、(c)においては NbO₂ の割合が増加した。長時間 NBO を行うことで内部のサブオキไซด์が増加したことが示唆された。以上より、NBO の時間を変化させることで表面酸化の厚さを制御できた。共振器の Q 値への影響に関しては、当日詳細に議論する。

【参考文献】

- [1] C. Neill, et al., *Science* **360**, 195 (2018).
- [2] G. V. Chandrashekar, et al., *J. Solid State Chem.* **2**, 528 (1970).
- [3] M. Gurvitch, et al., *IEEE Trans. Magn.*, **19**, 791 (1983).
- [4] 紺野太壱ほか, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会, 18p-Z27-7.

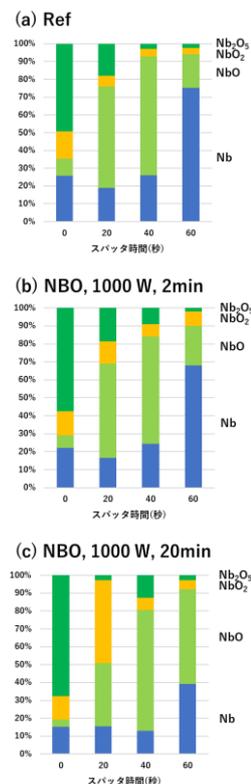


Fig. 1 Depth profile of Nb3d signal for each sample with NBO.