

中性粒子ビームプロセスによる Nb 表面酸化膜制御と Q 値に与える影響

Control of Nb Surface Oxide Film by Neutral Beam Processes and Effect on Q Value

東北大流体研¹, 東北大 AIMR², 産総研³, 東理大⁴, 理研 CEMS⁵

○(M1)紺野 太吾¹, 大堀 大介¹, 日高 睦夫³, 遠藤 和彦³, 向井 寛人⁴, 蔡 兆申^{4,5}, 寒川 誠二^{1,2,3}

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

○(M1)T. Konno¹, D. Ohori¹, M. Hidaka³, K. Endo³, H. Mukai⁴, J.S. Tsai^{4,5}, S. Samukawa^{1,2,3}

E-mail: samukawa@ifs.tohoku.ac.jp

【緒言】

量子力学原理に基づくコンピュータには量子コンピュータと量子アニーリングマシンがある。量子アニーリングマシンは組み合わせ最適化問題を高速に解くことができ[1]、すでに実用化が進んでいる。一方、量子コンピュータは実用化には至っていないが、機械学習、量子シミュレーションなどの特定の問題に対して高速に解を求められることが分かっている。超伝導に基づく量子ビットは集積可能性と設計自由度に優れている。超伝導材料として化学的、機械的に安定な Nb を用いる。Nb 加工時に表面に生じる Nb 酸化膜には絶縁体の 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]。Nb とその酸化物で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]。これはサブオキไซด์が接合特性を劣化させる為であると考えられている。更に、Nb 表面のサブオキไซด์の割合は Nb 酸化前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いる[4]。つまり、Nb 表面のサブオキไซด์の割合を低減できるプロセスや表面処理が極めて重要である。そこで、本研究では中性粒子ビーム(NB)を用いて、Nb の加工および表面酸化を行い、Nb 表面酸化膜組成の制御と共振器 Q 値への影響を調べた。

【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 500 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。500 nm の試料は各処理後の表面含有比を調べるために使用した。用意した試料に対して、中性粒子ビーム (NB) でそれぞれ加工を行った。プロセスガスは SF₆ を用い、Bias パワー 0 W で加工した。加工時のステージ温度は 30 °C とした。Fig. 1 に共振器作製の処理工程を示す。アセトン洗浄は超音波洗浄機で 10 min 行った。その後、Si 基板上的 SiO₂ を除去するために NF₃ 処理を行った試料と、NF₃ 処理後さらに中性粒子ビーム酸化(NBO)を行った 2 種類の共振器試料を作製した。NBO はエッチング後の試料表面のサブオキไซด์酸化を促進し Nb₂O₅ を形成させるために行った。プロセスガスは O₂ を用い、条件は 1000 W, 20 min 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。Fig. 2 に NBO 前後の Nb3d 信号中の組成比を示す。NBO によってサブオキไซด์が抑制され Nb metal の表面酸化が促進されたことがわかった。Nb 表面の Nb₂O₅ の含有比はエッチング後が 72% だったが、NBO 後は 92% まで上昇した。NBO を用いて作製した共振器の Q 値は当日に発表する。

【参考文献】

- [1] C. Neill, et al., Science **360**, 195-199 (2018).
- [2] G. V. Chandrashekar, et al., J. Solid State Chem. **2**, 528-530 (1970).
- [3] M. Gurvitch, et al., IEEE Transactions on Magnetics Volume: 19, Issue: 3, 791-794 (1983)
- [4] J.E. Nordman, et al., Phys. Lett. **36 A**, 52 (1971).

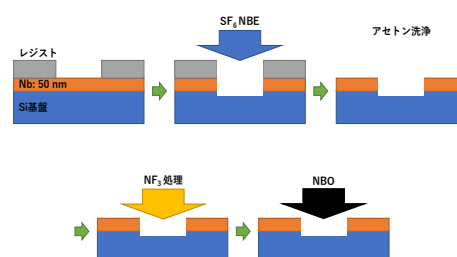


Fig. 1 Process flow of resonator creation.

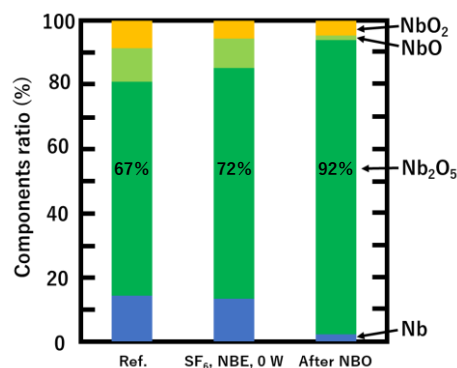


Fig. 2 Component ratio of the Nb3d signal on Nb surface with SF₆ NB and after NBO.