

## 中性粒子ビームによるニオブ加工特性

### Niobium Etching Characteristics by Neutral Beam

東北大流体研<sup>1</sup>, 東北大 AIMR<sup>2</sup>, 産総研<sup>3</sup>, 東理大<sup>4</sup> ○(B)紺野 太吉<sup>1</sup>, (P)大堀 大介<sup>1</sup>,

日高 睦夫<sup>3</sup>, 遠藤 和彦<sup>3</sup>, 向井 寛人<sup>4</sup>, 蔡 兆申<sup>4</sup>, 寒川 誠二<sup>1,2,3</sup>

IFS, Tohoku Univ.<sup>1</sup>, AIMR, Tohoku Univ.<sup>2</sup>, AIST<sup>3</sup>, TUS<sup>4</sup>, °(B)T. Konno<sup>1</sup>, (P)D. Ohori<sup>1</sup>, M. Hidaka<sup>3</sup>,

K. Endo<sup>3</sup>, H. Mukai<sup>4</sup>, J.S. Tsai<sup>4</sup>, S. Samukawa<sup>1,2,3</sup>

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

#### 【緒言】

AI・IoT 社会の発展により膨大なデータを解析し、高速に最適解を得ることが求められている。経路最適化を始めとする総当たり計算に対して、量子コンピュータを用いることで高速化できることが分かっている[1]。量子ビットを構成する超伝導材料として Nb を用いた場合、Nb 表面の酸化膜組成が量子ビット特性に影響を与える可能性がある。Nb 酸化膜には絶縁体の Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> と金属的な性質を有する NbO や NbO<sub>2</sub> などのサブオキไซด์がある[2]。これらのサブオキไซด์がジョセフソン接合のトンネルバリア界面に存在すると接合特性が大きく劣化することが知られている[3]。これらの Nb 酸化膜組成は Nb 酸化前のイオンエッチングやスパッタエッチング処理と関連していることも指摘されている[4]。そこで、本研究では中性粒子ビーム(NB)を用いて、Nb 表面に形成される酸化膜の構造制御を試みたので報告する。

#### 【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 堆積させたものを用意した。用意した試料に対して、プラズマ (PE) と中性粒子ビーム (NB) でそれぞれ加工を行った。プロセスガスは Cl<sub>2</sub> または SF<sub>6</sub> を使い、それぞれのガスに対して Bias パワーを GND(接地)と 16 W でエッチング深さ 50 nm となるように加工した。加工時のステージ温度は 30 °C 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、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、NbO<sub>2</sub>、NbO の 4 つにピーク分離を行い、その含有比を求めた。Fig. 1 に各加工条件に対する Nb3d 信号中の組成比を示す。Fig. 1 より、両ガス共に NB, GND の条件でサブオキไซด์の存在が一番小さくなり、NB, 16W, PE では Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> が減少し、サブオキไซด์および Nb metal が増加した。とりわけ、SF<sub>6</sub> ガスを用いた NB, GND の条件で Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> が増加し、サブオキไซด์が最小となった。この結果より、高いエネルギーで加工を行うことで、サブオキไซด์の生成が促進されていることが示唆された。SF<sub>6</sub> ガスを用いた NB, GND においてはサブオキไซด์生成が抑制される可能性が示された。以上より、量子ビットへの悪影響が懸念される Nb サブオキไซด์の発生を抑制した Nb 超伝導体の加工には、SF<sub>6</sub> ガスを用いた低エネルギー NB が最も適していることが分かった。

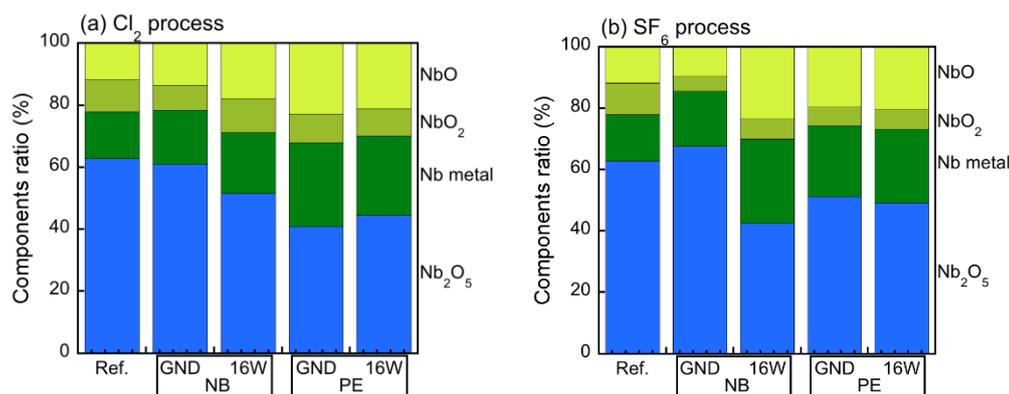


Fig. 1. Components ratio of Nb3d signal on Nb surface with (a) Cl<sub>2</sub> and (b) SF<sub>6</sub> NB.

#### 【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] R. F. Broom, et al., IEEE Trans. Electron Devices **27**, 1998-2008 (1980).
- [4] J.E. Nordman, et al., Phys. Lett. **36 A**, 52 (1971).