

Nb バッファ層を用いた超伝導 Ta 膜のマイクロ波特性評価

Microwave Characterization of Superconducting Ta Films Using Nb Buffer Layer

産総研 ○浦出 芳郎、薬師寺 啓、辻本 学、山田 隆宏、牧瀬 圭正、水林 亘、猪股 邦宏

AIST, ○Yoshiro Urade, Kay Yakushiji, Manabu Tsujimoto, Takahiro Yamada,

Kazumasa Makise, Wataru Mizubayashi, Kunihiro Inomata

E-mail: yoshiro.urade@aist.go.jp

超伝導量子ビットは、その高い設計性と制御性から量子コンピュータの基本素子として有望なデバイスのひとつである。その量子情報が保持される目安の時間となるコヒーレンス時間は 1 ms を超えるものが報告されている。コヒーレンス時間向上の一翼を担ってきたのが、材料面での改善である。超伝導量子ビットは約 10 mK という極低温かつ、単一光子レベル（マイクロ波帯）という極限的な低パワーで動作するため、その材料に求められる性能も従来の超伝導薄膜と異なる。例えば、超伝導量子ビットを構成する電極材料には Nb が広く使われてきたが、導電性の亜酸化物を含む数 nm の表面自然酸化膜 (NbO_x) のマイクロ波損失が量子ビットの性能を制限していることが、近年の研究で明らかとなった [1]。また、超伝導転移温度では Nb を下回る Ta がより低損失の電極材料として働くことが示された [2]。Nb と比べて Ta の表面自然酸化膜がより低誘電損失を示すことがその理由である。ただし、高周波の導体損失が小さい α 相（体心立方晶系、低抵抗）の Ta 膜を成長するには摂氏数百度以上の基板加熱が必要であり、良質な膜が得られる条件や基板は限られる。一方、制御性の高い室温成膜では比較的導体損失の大きい β 相（正方晶系、高抵抗）が成長してしまうため、高品質な α -Ta を室温成膜する技術の開発が求められている。

本研究では、体心立方晶系の Nb をバッファ層として用いることで室温でも α 相の Ta 膜が成長することに着目し、その膜の単一光子レベルまでのマイクロ波損失を調査する。スパッタリング装置 (C-7100, キヤノンアネルパ製) を使い、高抵抗 Si ウエハ上に Nb バッファ層 (5 nm) と Ta 層 (200 nm) を成膜した。図 1 に作製した薄膜の広角 X 線回折測定の結果を示す。バッファ層がない場合には β 相の Ta が成長しているのに対し、バッファ層がある場合には α 相の Ta が成長していることが分かる。

また、電気抵抗率の温度依存性を測定したところ、バッファ層ありの場合はバルク値に近い 4.3 K で超伝導転移を示し、バッファ層なしの場合は測定範囲（下限 2.1 K）での転移は示さず、 β 相 Ta の転移温度の文献値 (0.5 K [3]) と整合する結果となった。発表では、これらの膜を微細加工してコプレーナ導波路型共振器（約 10 GHz）を作製し、その特性を約 10 mK の極低温下で評価した結果について議論する。

謝辞 本講演で発表した研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP16007) の結果得られたものである。本研究に使用されたデバイスは、産総研の Qufab において作製された。

参考文献

- [1] M. V. P. Altoé *et al.*, PRX Quantum **3**, 020312 (2022); J. Verjauw *et al.*, Phys. Rev. Applied **16**, 014018 (2021).
 [2] A. P. M. Place *et al.*, Nat. Commun. **12**, 1779 (2021); C. Wang *et al.*, npj Quantum Inf. **8**, 1 (2022).
 [3] M. H. Read and C. Altman, Appl. Phys. Lett. **7**, 51 (1965).

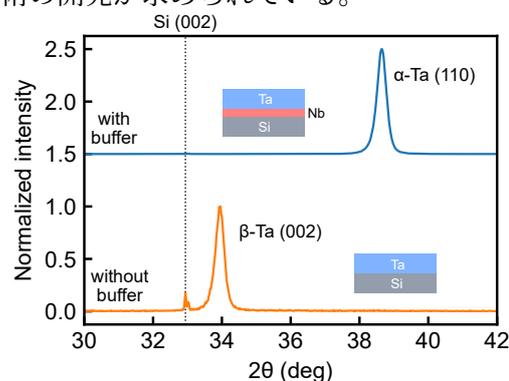


Fig. 1: X-ray diffractometry of the Ta films with and without a Nb buffer layer.