

高性能超伝導空洞製作を目指した Nb の表面状態の観測 Nb surface analysis for high Q and high G superconducting cavities

許斐太郎^{1,*}

¹高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 応用超伝導加速器センター
〒305-0801 つくば市大穂 1-1

Taro Konomi^{1,*}

¹ Center for Applied Superconducting Accelerator, Accelerator Laboratory
High Energy Accelerator Research Organization,
1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

1 はじめに

純ニオブを空洞材料とした超伝導高周波加速空洞の性能向上のための材料表面の分析を行っている。近年米国フェルミ研究所で開発された「120°Cの窒素中熱処理」により従来の処理方法「標準レシピ」に比べて10%の高電界・2倍の高Q値(Q値はRF表面抵抗の逆数であり、RFの蓄積効率を表す)が達成された[Ref.1]。素粒子物理の実験を目的とした国際リニアコライダー計画(ILC)では8000台の超伝導高周波加速空洞を用いるが、窒素中熱処理技術を導入することで受け入れ加速電界を従来の35 MV/mから40 MV/mに向上させることを目的としている。

超伝導空洞の母材は純ニオブである。RFの侵入深さは50 nm程度であるが、表面層は酸化膜や他の不純物に覆われている。真空炉の温度、窒素圧力、導入時間などを最適化することで、安定に高性能な条件を得られる窒素中熱処理条件を探索することを目指しており、XRDおよびXRRで表面の状態との関係を明らかにする。

2 実験

サンプルは最初、空洞を模擬して多結晶ニオブを電解研磨したものを用意したが、XRRの測定には多結晶の面方位が見えることや結晶表面の平坦度が不十分であることなどの問題があった。これらはBL-8AのXRDを用いた測定により明らかとなり、最終的に単結晶、サブナノメートルで鏡面研磨したサンプルを用いた。空洞の熱処理に使用している真空炉を用いて測定サンプルの熱処理を行った。用意したサンプルは800°C×3時間のアニールしたもの、120°C、160°C、200°Cのそれぞれの温度で窒素中熱処理(Ninf)を行ったサンプルである。

XRR測定はBL7CのRIGAKU SMARTLABを用いた。光の波長は9keVに固定し、0°から10°まで入射角度を変えて測定を行った。

3 結果および考察

反射強度の解析では基板は純ニオブとし、その表面を3層の構造が覆っていると仮定して解析を行った。図1に各熱処理温度における典型的な反射波形と解析で得られた密度の分布を示す。~1 g/cm³の低密度層を大気中の水分等と考えると、アニールサン

プルと120°C、160°Cの窒素中熱処理を行ったものは~4g/cm³の中密度の層が3~4 nmの厚さである。一方、200°Cの窒素中熱処理を行ったものは中密度の層が~2nmと薄くなる。これはTOF-SIMSで同一ロットのサンプルより得られた結果の傾向とも合致している。このようにXRRを用いることでニオブ表面層厚さを測定することが可能であることが分かった。

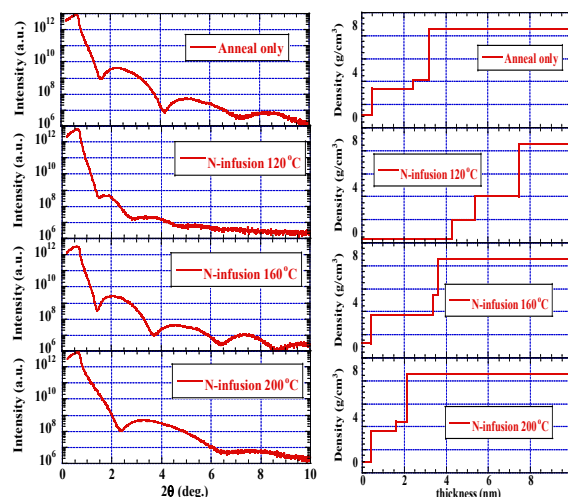


図1：各処理の密度分布。

4 まとめ

窒素中熱処理はILC用超伝導加速空洞の高電界化を目標とした技術であり、本研究ではXRRを用いて処理温度による表面層の変化を測定した。本研究で得られた熱処理温度と表面層厚さ依存性TOF-SIMSで得られた結果と合致している。今後はサンプル数を増やし、処理温度と表面層の関係を詳細に解き明かしたい。

謝辞

本研究は、放射光科学第一研究系の熊井玲児教授、佐賀山基準教授に多くのご助力、ご助言をいただいたことに深く感謝いたします

参考文献

[1] A. Grassellino et al, Supercond. Sci. Technol. 30 (2017) 094004.

* konomi@post.kek.jp