

結晶材料組成が Bi2212-THz 波発振素子の デバイス特性に及ぼす影響に関する研究

Study of the effect of material composition on Bi2212-THz emitter characteristics

筑波大数理物質¹, 産総研², KEK 物構研 PF³, NIMS⁴, 東大物性研⁵, 東北大金研⁶

○中山 薊^{1,2}, 柏木 隆成¹, 中川 駿吾^{1,2}, Kim Jeonghyuk¹, 山口 啄弥¹, 桑野 玄気¹, 辻本学^{1,2},
南 英俊¹, 門脇 和男¹, 永崎 洋², 石田 茂之², 中尾 裕則³, 茂筑 高士⁴, 長谷川 幸雄⁵, 木村 尚次郎⁶

Univ. of Tsukuba¹, AIST², PF IMSS KEK³, NIMS⁴, The Univ. of Tokyo⁵, IMR Tohoku Univ.⁶

○M. Nakayama^{1,2}, T. Kashiwagi¹, S. Nakagawa^{1,2}, T. Yamaguchi¹, J. Kim¹,

G. Kuwano¹, M. Tsujimoto^{1,2}, H. Minami¹, K. Kadowaki¹,

H. Eisaki², S. Ishida², H. Nakao³, T. Mochiku⁴, Y. Hasegawa⁵, S. Kimura⁶

E-mail: nakayama.mayu.su@alumni.tsukuba.ac.jp

テラヘルツ帯の電磁波は次世代の電波技術として注目を集めており、我々は銅酸化物超伝導体 $\text{Bi}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (Bi2212) 単結晶を用いたテラヘルツ波発振器(Bi2212-THz 波発振器)の開発を行っている^[1]。この発振器は、Bi2212 単結晶の c 軸方向に積層する固有ジョセフソン接合を利用したものであり、接合への印加電圧で発振周波数が調整可能であるという特徴を持つ。材料の Bi2212 単結晶には Bi/Sr の不定比性と過剰酸素量 δ が存在し、これによって超伝導層である CuO_2 面の歪みや結晶中のホールキャリア数の変化などが生じ、 c 軸方向の輸送特性や超伝導転移温度 T_c などに影響を与えることが知られている^{[2][3]}。よって、Bi2212-THz 波発振器の高強度化・狭線幅化といったデバイス性能の向上において、材料特性とデバイス特性の相関を理解することが重要であると考えている。我々は前回の学会までに、 δ や Bi/Sr 比の変化($x=0.05, 0.15$)に伴う結晶性の変化とデバイス特性の対応について報告しており、特に酸素雰囲気下で熱処理した試料において、格子定数 c の異なるドメインの存在とそれに対応した電流-電圧特性の変化について報告した^{[4][5]}。本研究では、上記結果の理解をさらに深めることを目的に、 $x=0.25$ の単結晶を育成し、その結晶性とデバイス特性の評価を行うことを目指した。

本研究に用いた単結晶は仕込み組成を $x=0.25$ とし、FZ 法を用いて育成した。得られた単結晶を制御雰囲気下 ($\text{O}_2:400^\circ\text{C}$, $\text{N}_2:600^\circ\text{C}$) にて 5 日間程度熱処理を行い、過剰酸素量 δ を調整した。それらの結晶はウェットエッチング法^[6]を用いて、 $80 \times 400 \times 3 \sim 5 \mu\text{m}^3$ 程度の Bi2212-THz 波発振素子チップに加工した。これらの発振素子チップの結晶性を、放射光の 4 軸 X 線回折装置(KEK BL-4C)を用いて評価した。図 1 には、窒素及び酸素で熱処理をした試料の 0026 付近の $2\theta/\theta$ スキャンの結果を示した。前回の報告^[4]と同様に、酸素処理した試料において、ピークの分裂と高角側へのシフトを観測した。また、前回の結果との比較から、同様な熱処理でも x の増加に伴って $2\theta/\theta$ スキャンのピークの位置が高角側へシフトする傾向が見られた。現在、この結果とそれぞれの結晶の T_c の関係を整理しており、格子定数 c とキャリア数の対応が x に対してどのようになっているかを検討している。当日は、これらの結晶性の評価に加えデバイス特性の相関について議論する予定である。

[1] L. Ozyuzer *et al.*, Science **318**, 1291 (2007).

[2] T. Watanabe *et al.*, Phys. Rev. B **79**, 2113 (1997).

[3] H. Eisaki *et al.*, Phys. Rev. B **69**, 064512 (2004).

[4] 中川ら, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会, 17a-Z20-2 (2021).

[5] 中山ら, 第 81 回応用物理学会秋季学術講演会, 9p-Z27-23 (2020).

[6] Y. Shibano *et al.*, AIP Advances **9**, 015116 (2019).

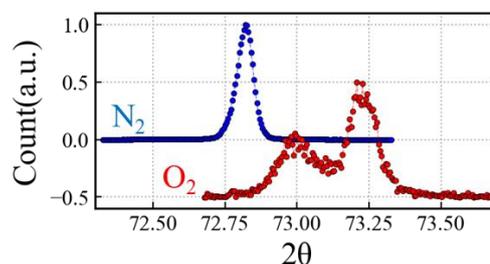


図 1 $x=0.25$ の素子チップにおける 0026 付近での $2\theta/\theta$ スキャンの熱処理依存性