

高温超伝導体 Bi2212 の THz 波デバイス性能向上に向けた物性研究

SATテクノロジー・ショーケース2020

■ はじめに

テラヘルツ波 (THz波) は、電波と光波の中間の周波数を持つ電磁波であり、高速通信や医療計測、イメージングなど幅広い領域での応用が可能である。一方で、このテラヘルツ帯の電磁波については、安価で小型な発生装置の開発が遅れている^[1]。次世代のTHz波発生装置としていくつかのデバイスが提案されているが、本研究ではこの中でも、小型かつ周波数可変といった強みを持つ、高温超伝導体 $\text{Bi}_{2-x}\text{Sr}_{2-x}\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (Bi2212) を台地状 (メサ型) に加工したTHz波発振器を取り扱う。このBi2212-THz波発振器は、2007年に初めて発振が観測されて以降、複数のグループで素子構造や熱特性などの研究がなされてきた^[2]。現在までで、出力にして $\sim 600 \mu\text{W}$ 、周波数にして0.3 \sim 11 THzの発振の報告がある^[3,4]。ところで、この材料となるBi2212単結晶は、組成式中のBiとSrの比率や、酸素量についてある程度の範囲で変化させられることが知られている。一方で、これらの組成の変化が、THz波の発振特性に与える影響については、未だ深くは調べられていない。本研究は、組成を変化させたBi2212の物性を評価するとともに、THz波デバイスとして最適な組成を調べることを目的とする。

■ 活動内容

1. 高品質なBi2212単結晶の育成・熱処理

材料となるBi2212単結晶は、浮遊帯域溶融法という方法を用いて育成を行う。筑波大学と産業技術総合研究所のグループの共同研究で、BiとSrの比について、 $x=0\sim 0.3$ の範囲で変化させた単結晶を育成する。また、これらの単結晶に対して、雰囲気や温度を制御した熱処理を行い、酸素量を調整する。

2. 放射光を用いたBi2212単結晶の測定

Bi2212の材料特性を評価する上では、結晶の超伝導特性を調べることが重要となる。高温超伝導体において、電荷 (キャリア) 量、結晶構造の歪み (変調構造) が超伝導転移温度に影響を持つことが知られている^[5]。これらについて、高エネルギー加速器研究機構の放射光を用いて測定する。

● XAFSによるキャリア量測定

結晶にX線を当てたままX線のエネルギーを変化させていくと、結晶の電子状態を反映した蛍光X線が結晶から放出される。この蛍光X線スペクトルにおいて、キャリア量を

反映して強度が変化するピークが存在する^[6]。これを用いて、各結晶のキャリア量を比較する。

● 4軸X線回折計による構造測定

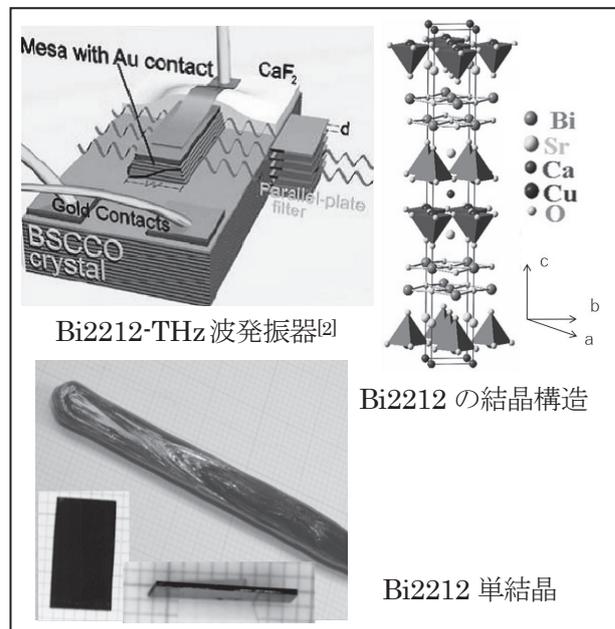
4軸X線回折計を用いることで、結晶の格子定数や変調構造を反映したピークを測定することができる。各組成において、これらがどのように変化するかを系統的に分析する。

3. 各結晶のデバイス性能の評価

物性測定を行った各結晶から素子を作製する。その後、各素子の電流-電圧特性・発振強度・周波数・線幅などのパラメータを測定し、結晶組成と発振性能の関連性を調べる。また、デバイスとして最適な組成を明らかにする。

■ 関連情報等 (特許関係、施設)

- [1] M. Tonouchi, Nat. Photonics **1**, 97 (2007).
- [2] L. Ozyuzer *et al.*, Science **318**, 1291 (2007).
- [3] T. Benseman *et al.*, APL **103**, 022602 (2013).
- [4] E.A. Borodianskyi *et al.*, Nat. Commun. **8**, 1742 (2017).
- [5] B. Keimer *et al.*, Nature **518**, 179 (2015).
- [6] R. Muller *et al.*, Phys. B **312**, 94 (2002).



代表発表者 中川 駿吾 (なかがわ しゅんご)
 所属 筑波大学大学院 数理物質科学研究科
 産業技術総合研究所
 問合せ先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1
 TEL: 029-853-5600-8296
 s1920405@s.tsukuba.ac.jp

■ キーワード: (1) テラヘルツ波
 (2) Bi系高温超伝導体
 (3) 放射光