$BiNbSe_3$ 層状超伝導体単結晶の育成とその超伝導異方性の評価

Growth and superconducting anisotropies of $BiNbSe_3$ single crystals

山梨大 [1]，物材機構 [2]
°長尾雅則 [1]，丸山祐樹 [1]，綿打敏司 [1]，高野義彦 [2]，田中功 [1]
Univ. of Yamanashi[1], NIMS[2]
°M. Nagao[1], Y. Maruyama[1], S. Watauchi[1], Y. Takano[2], I. Tanaka[1]
E-mail: mnagao@yamanashi.ac.jp

[はじめに] AMX_3(A=Sn,Pb,Bi,Y,La-Lu M=Nb,Ta,Ti,Cr,V X=S,Se)で表記される三元系層状カルコゲナイドは，モノカルコゲナイド層(AX)とダイカルコゲナイド層(MX_2)がファンデルワールス力により積層した構造を有しており，超伝導性を示す化合物もいくつか報告されている [1,2]. AMX_3 は AX 層と MX_2 層を任意に積層することが出来るため，元素選択の多彩性により，超伝導にさらに別の機能を付加するといった 2 つの機能を同時に併せ持つマテリアルデザインも可能である．また，AX と MX_2 層の結晶対称性の違いから，積層構造に不整合性が付与されることがあり，ミスフィット層状化合物と呼ばれることもある [3]．そのため，積層方向と各層の面内方向で，大きな異方性を持つことが予測される．本研究では，超伝導が観測されている $BiNbSe_3$(A=Bi, M=Nb, X=Se)(直方晶系：$P2_12_12_1$)[1,4]について単結晶を育成し，その超伝導特性と異方性について評価を行った．

[実験] Bi, Nb, Se を合計 0.8 g になるように $BiNbSe_3$ の仕込み組成で秤量し，これに CsCl:KCl=5:3 のモル比の CsCl/KCl フラックスを 5 g 加え混合したものを石英管に真空封入した．これを 700 ℃で 10 h 保持後，200 h で 600 ℃まで徐冷し，室温まで炉冷したものを石英管から取り出し，蒸留水を加えてフラックスを溶解させ，ろ過・乾燥することで単結晶を得た．得られた単結晶は，走査電子顕微鏡(SEM)，エネルギー分散型 X 線分析(EDS)，X 線回折(XRD)により形状，組成，構造を調べた．磁化の温度依存性から，超伝導転移温度 T_c を測定した．印加磁場の方向を変えて測定した面内(ab 面方向)電気抵抗率(ρ_{ab})の温度依存性から，上部臨界磁場 H_{c2} をそれぞれ見積もることで，超伝導異方性 γ_s を求めた．有効質量モデルによる γ_s の評価も行った [5]．また，収束イオンビームを用いて微細加工を行うことで，積層方向(c 軸方向)の電気抵抗率(ρ_c)を測定し，常伝導状態における異方性 $\gamma_n=(\rho_c/\rho_{ab})^{1/2}$ についても評価を行った．

[結果] 得られた結晶は，1-2 mm 角，厚さ 10-30 μm 程度の薄状で，EDS と XRD により，$BiNbSe_3$ の単結晶であることを確認した．T_c は，2.6 K であり，H_{c2} から求めた γ_s は，およそ 3.0 であった．一方，有効質量モデルによる γ_s の評価を行ったところ，スケーリングにおいて，データの逸脱が大きいことから，H_{c2} より求めた γ_s を採用した．Fig.1 には，面内(ab 面方向)および積層方向(c 軸方向)の電気抵抗率(ρ_{ab} および ρ_c)の温度依存性を示す．どちらも金属的な振る舞いを示し，$\gamma_n=(\rho_c/\rho_{ab})^{1/2}$ は，1.5-1.6 (3K-300K)であった．これらの結果から，$BiNbSe_3$ は，超伝導および常伝導状態における異方性がファンデルワールス力で結合している他の層状超伝導体と比べ比較的小さいことが明らかとなった．

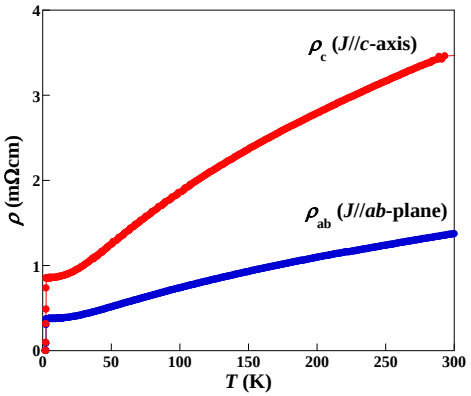

Fig.1. Temperature dependence of resistivity (ρ–T characteristics) for $BiNbSe_3$ single crystal along the ab-plane (ρ_{ab}) and c-axis (ρ_c).

1) Y. Gotoh *et al.*, Chem. Lett. (1989) 1559-1562. 2) H. Bai *et al.*, J. phys., Condens. matter. 30 (2018) 355701. 3) W. Y. Zhou *et al.*, Mat. Res. Bull. **27** (1992) 563-572. 4) A. Nader *et al.*, Solid State Commun. **101** (1997) 149-153. 5) G. Blatter *et al.*, Phys. Rev. Lett. **68** (1992) 875.

© 2019年 応用物理学会