

単結晶 Bi ワイヤの抵抗率温度依存性を考慮したモデルの構築

Temperature dependence of resistivity for single crystal bismuth wire

埼玉大学大学院¹, 日本学術振興会特別研究員 DC1², 埼玉県産業技術総合センター³,

○山下 大輔¹, 大塚 美緒子^{1,2}, 篠崎 諒¹, 森田 寛之^{1,3}, 長谷川 靖洋¹

Saitama Univ.¹, JSPS DC1², Saitama Industrial Technology Center³

Daisuke Yamashita¹, Mioko Otsuka^{1,2}, Ryo Shinozaki¹, Hiroyuki Morita^{1,3}, Yasuhiro Hasegawa¹

E-mail: yamashita@env.saitama-u.ac.jp

【背景】

熱電変換や超伝導など、多くの分野で研究されてきた材料の1つにBiがあり、フェルミ面やバンド構造も解明されている。Biは半金属であり、伝導帯の下部と価電子帯の上部が重なり合ったバンド構造を持つため、バルク材料の輸送現象は2キャリアモデルによって記述される。また、Biは有効質量が 10^{-2} 程度と小さく、液体ヘリウム温度ではキャリア平均自由行程がミリスケール長さを有する¹⁾。しかし、Bi材料をナノまたはマイクロスケール直径のワイヤー状にすると、平均自由行程がワイヤー径に制限されるため、バルク材料とは異なる抵抗率を示す²⁾。また目安として77 K以下かつワイヤー径が200 nm以下の領域では低次元状態密度の導入によるゼーバック係数の上昇が期待されており、本研究グループでは熱電変換材料への応用を目的として、単結晶Biワイヤーの開発と評価を行っている。

【現行のモデル計算】

Biの2キャリアモデルではキャリア密度の真性条件 $n = p$ を仮定して計算を行っている。抵抗率 ρ は電子とホール移動度 μ_e, μ_h を用いて以下のように表される。

$$\rho = \frac{1}{e(n\mu_e + p\mu_h)} \quad e: \text{電気素量} \quad n, p: \text{電子及びホール密度}$$

バルクの場合、300 Kで $1.2 \mu\Omega\text{m}$ 程度であり、温度が下がると直線的に減少する。一方、Biワイヤーの場合は次第に温度係数が小さくなる。これは移動度 $\mu_{i,\text{wire}}$ がマティーンセン則から、バルク移動度 $\mu_{i,\text{bulk}}$ 、ワイヤー化による平均自由行程の制限項 $\mu_{i,\lambda}$ を用いて

$$\frac{1}{\mu_{i,\text{wire}}} = \frac{1}{\mu_{i,\text{bulk}}} + \frac{1}{\mu_{i,\lambda}} \quad i: \text{電子}(e) \text{またはホール}(h)$$

と記述されることによる²³⁾。室温における移動度はバルクと殆ど変わらないが、温度が下がるとにつれ、Fig.1の挿入図のように移動度が制限される。Fig.1に示した直径1.90 μm 、長さ1,544 μm の単結晶Biワイヤーの抵抗率測定結果では、300から200 K付近まではバルクと同じような挙動だが、その後Biワイヤーの温度係数が減少しているのが確認できる。Fig.1で示した単結晶Biワイヤーの実測値は約50 K以下から再び温度係数が大きくなっているが、現行のモデルでは再現できていないため、新たなモデルを構築する。

【参考文献】

- 1) R. Hartman, Phys. Rev. 181 (1969) 1070
- 2) D. Nakamura et al., J. Appl. Phys. 110, 053702 (2011)
- 3) M. Murata et al., J. Appl. Phys. 121, 014303 (2017)

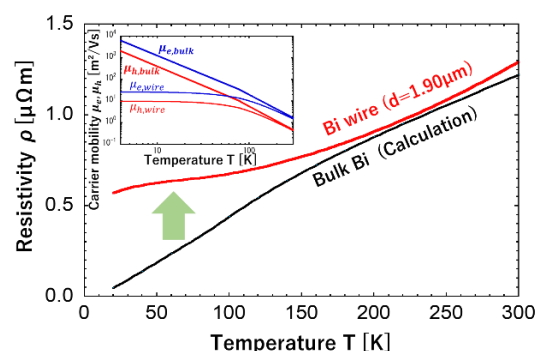


Fig.1 Temperature dependence of resistivity for Bi wire ($d=1.90 \mu\text{m}$) and bulk Bi. Inset figure shows temperature dependence of carrier mobility for Bi wire and bulk Bi