

ワイヤー直径 216nm の Bi ワイヤーにおけるホール係数測定

Hall coefficient measurement of Bi wire possessing 216nm-diameter

埼玉大院¹, 埼玉県産業技術総合センター² ○廣川 潤¹, 森田 寛之², 長谷川 靖洋¹

Saitama Univ.¹, Saitama Industrial Technology Center²,

○Jun Hirokawa¹, Hiroyuki Morita², Yasuhiro Hasegawa¹

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

【背景】熱電材料にナノワイヤー構造を取り入れた熱電変換ナノワイヤーは、量子効果の導入によって状態密度の傾きが急峻となり、熱電変換性能の向上が示唆されている。¹本研究グループではこの現象の実証を目標に、熱電変換 Bi ワイヤー(以下 Bi ワイヤー)の開発と評価を進めている。Bi ワイヤーの正確な評価にはワイヤー直径がナノスケールであることに加えてミリスケールの長さであることが望まれる。²この形状を実現するために長さ方向に孔の開いた石英ガラスの鑄型に Bi を圧入する手法により Fig.1 に示す Bi ワイヤーを作製し、段階的に直径の小さい Bi ワイヤーの熱電物性測定を行っている。

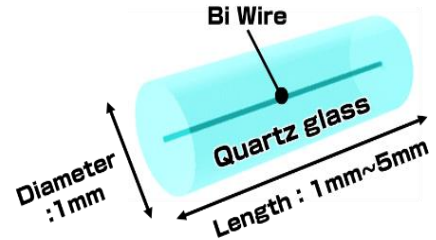


Fig.1 Schematic diagram of Bi wire

【FIB による局所電極形成を施した Bi ワイヤーのホール係数測定】

本研究ではワイヤー直径 216nm、長さ 1.71mm の Bi ワイヤーを用意し、四端子法による抵抗率 ρ 、ホール係数 R_H の測定を目的とした。Bi ワイヤーは石英ガラスに封入されているため、側面への電極形成が困難である。そこでまず、Fig.1 に示した石英ガラスの片方の側面を研磨し、その面に電極パッドとしての役割を果たす銅を蒸着する。次に集積イオンビーム(FIB)を用いたナノ加工によりワイヤー側面への電極形成を実現する。その後、電極パッドへ配線を行うことにより Fig.2(a)に示す測定サンプルが完成する。Fig.2(b)に示すように電極はワイヤーの側面に 6 箇所、端部に 4 箇所取り付けられ、実際の測定では電流を A_1 - B_1 間で印加し、抵抗率は 1-3 間、ホール係数は 2-5 間の電圧を読み取る。

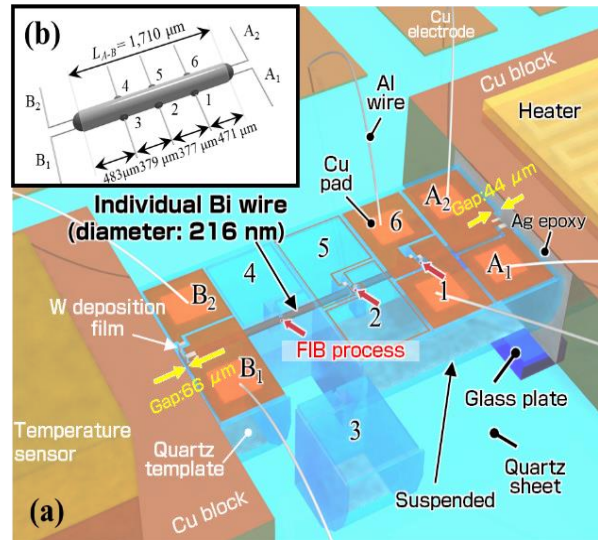


Fig.2 Schematic diagram (a) measured sample
(b) Bi wire attached local electrodes

本研究で扱う Bi ワイヤーの抵抗値は 300K では数十[k Ω]程度と予想され、実際に測定した抵抗率は $\rho = 1.83[\mu\Omega\text{m}]$ となった。過去の報告値より多結晶バルク Bi の抵抗率は $1.10\sim 1.30[\mu\Omega\text{m}]$ 程度であることから、³比較すると 1.5 倍程度大きい値を示した。低磁場領域近似内におけるホール係数の測定に関しては、出力されるホール電圧 $V_H[\text{V}]$ は $V_H \propto W \cdot J \cdot B$ (W : ワイヤーの幅[m], J : 電流密度[MA/m²], B : 磁場[T])と表される。ホール係数を正確に評価するには電流密度 J [MA/m²] を高くすることが求められることから、5 μA (電流密度 $J = 194[\text{MA}/\text{m}^2]$)の電流を印加して Lock-in amp で電圧を測定した。その結果 300K において 0.1[T]の磁場をかけた際のホール電圧は 70.6[nV]と測定され、算出されるホール係数の値は $R_H = -0.00464[\text{cm}^3/\text{C}]$ となった。この際、発生した熱に伴う Bi ワイヤー自体の抵抗値の増加が懸念されるが、Bi ワイヤーに対する石英ガラスの体積が非常に大きいことためワイヤーの発熱を抑えて測定を遂行することができた。

【参考文献】

- 1 Yu-Ming Lin et al., Phys. Rev. B 62, 4610 (2000)
- 2 Masayuki Murata et al., Nano Lett. 17, 110 (2017)
- 3 Taichi Arisaka et al., J. Appl. Phys. 123, 235107 (2018)