

単結晶 Bi ナノワイヤーの作製と物性測定

長谷川靖洋, 埼玉大院

Bi を熱電変換の基本材料と考えた場合、超格子・ナノワイヤーなどの低次元材料の概念を用いることで、低次元状態密度導入によるゼーベック係数の飛躍的な向上が期待されている[1]。その一方、実際にどのように低次元材料を作製するか、また有効なゼーベック係数を測定するためにどのように温度差を与えるかなどの測定の見地からも大きな問題となっていた。一方、最近の熱電変換研究では、材料中にナノ粒子を混ぜることでフォノン散乱を促進させ、その性能を向上するアプローチが採られている[2]。

本研究グループでは光ファイバー作製技術を適用・発展させ、外径 1mm, 長さ数 mm の円筒形石英ガラスにナノ空孔を空けた石英テンプレートと呼ばれる鋳型を作製し、そのナノ空孔中に液化された Bi を圧入し、再結晶化させることで、単結晶 Bi ナノワイヤーの作製を進めている (図 1)。特徴として、**1)**最小ワイヤー直径 20nm までの作製が可能であること、

2)ミリスケール長さ方向に一様な温度勾配を与えることができ、ゼーベック係数をはじめとする物性測定が可能になること、**3)**絶縁物に取り囲まれており理論に近い量子閉じ込め状態を実現できること、**4)**石英ガラスを透した X 線回折から結晶方向を同定できること、**5)**Bi 表面が酸化されず良好な結晶性と表面状態を保持できることなどが挙げられる。一方、Bi は化学的に比較的不安定な材料であるが、集束イオンビーム(FIB)を用いた独自のナノ加工技術を用いることで、**6)**石英ガラステンプレート中の Bi ナノワイヤー熱電変換素子側面など任意の場所に数~数十 nm 角の局所ナノ加工電極を取り付けることが可能となった。ワイヤー直径 750nm の Bi ナノワイヤーを用い 4 端子測定による抵抗率、ホール係数測定に成功した[3]。今後の

研究の進展によりワイヤー直径が数十 nm まで小さくなった場合、その長さ故に内部インピーダンスが MΩ オーダーに上昇をすることが予想される。この問題を解決するために、図 2 はバルク Bi と同等の物性値が予想されるワイヤー直径 1.90 μm の例となるが、図 1 に示した石英ガラスの熱容量が圧倒的に大きいことに着目して、その長さ方向の電極間で低インピーダンスを実現しつつ熱起電力を測定することで、ゼーベック係数の同定にも成功している。

参考文献

- [1] L. D. Hicks and M. S. Dresselhaus, Phys. Rev. B **47** (1993)12727.
- [2] A. I. Hochbaum et al., Nature **451** (2008) 163.
- [3] M. Murata et al., Nano Letters **17** (2017) 110.
- [4] M. Morita et al., Appl. Phys. Express, Under review.

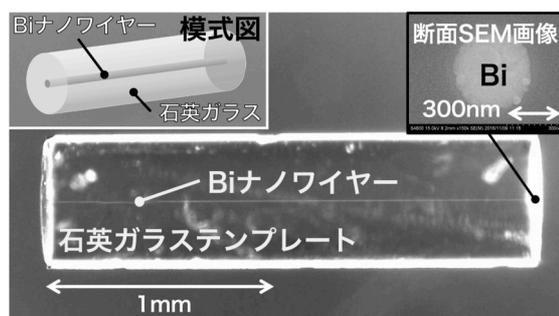


図 1: 石英ガラステンプレートに封入された単結晶 Bi 製ナノワイヤー

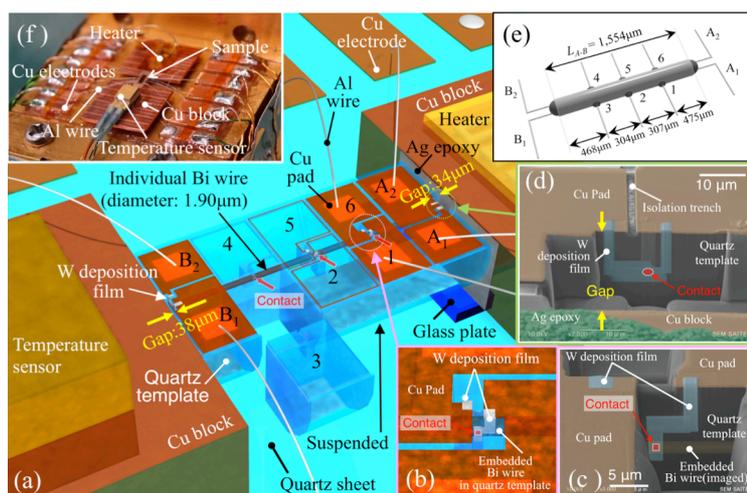


図 2: ナノ加工を用いた Bi ナノワイヤーの測定配位例