

プロジェクト名：収束イオンビームを用いたナノワイヤー構造熱電変換素子の物性測定

プロジェクト代表者：長谷川靖洋（理工学研究科・准教授）

1 背景と研究目的

本研究では量子効果によるエネルギー変換効率の向上に注目した。これは、材料の形状に低次元構造を導入することにより、熱電変換素子の性能が向上するという理論計算に基づいたものであり、実験的な検証が急がれている(図1)。これまでに二次元の超格子薄膜構造において実験的に性能の向上が報告されているが、一次元構造による性能の向上は未だに確認されていない。その大きな理由は数10nmという非常に小さな直径と、正確な測定のためには1mm程度の長さが求められることから、作製が困難なためである。そこで、本研究では一次元化による性能の向上を目指して石英ガラスを利用したビスマス(Bi)ナノワイヤー熱電変換素子の開発を行った。

数百nm径の穴があけられた中空構造の石英ガラス製の鋳型を利用して、その中空内に高温で融解させたBiを高圧により詰め込み、その後冷却し凝固させることで直径が数百nmで、かつ長さが1mm以上あるBiナノワイヤーを作製した(図2)。

2. FIB加工を利用した4端子測定

これまでの抵抗測定では、ナノワイヤーの側面が石英ガラスにより覆われているために電極を取り付けることができず、2端子測定を行ってきた。より正確な抵抗評価のためには4端子測定を行う必要があるが、ナノワイヤーを覆っている石英ガラスを除去する必要があり、ワイヤー表面を露出させると酸化してしまい、電気的接触を得ることが難しくなる。実際に剥き出しのBiナノワイヤーの側面に電極を付ける研究が他者により行われたことがあるが、ワイヤー表面が酸化してしまう事が報告されている。そこで、研磨と収束イオンビーム(FIB)を利用することにより、石英ガラスをナノスケールで加工し、電極付けを試みた。まず図3(a)のように石英ガラスの側面を研磨によりナノワイヤーから数 μm 程度になるように削り落とす。続いて、研磨した石英ガラスの側面に銅薄膜を成膜し(図3(b))、FIBにより分割して電極膜を作製する(図3(c))。そして、ナノワイヤー表面を覆っている石英ガラスをFIBにより局所的に除去し、ナノワイヤーを露出させる。露出させた箇所と銅電極の間をカーボンデポジションにより導通させることで4箇所に電極を作製した(図3(d))。

図4はBiナノワイヤーの側面に対して、4箇所の電極を取

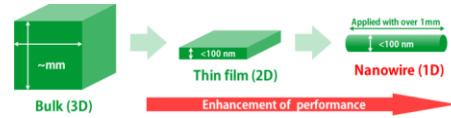


図1：低次元化の効果

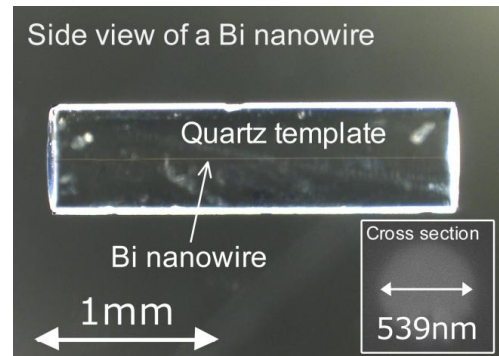


図2：ナノワイヤー熱電変換素子の概要

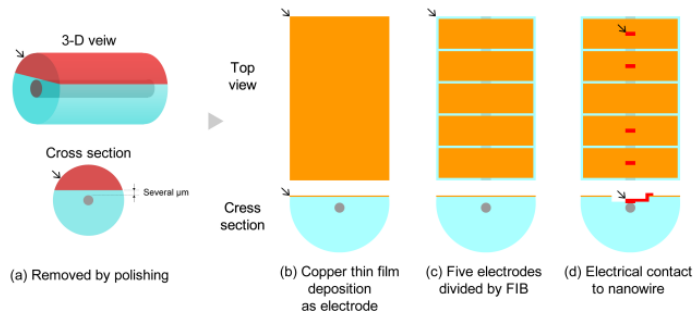


図3：収束イオンビームによる加工手順

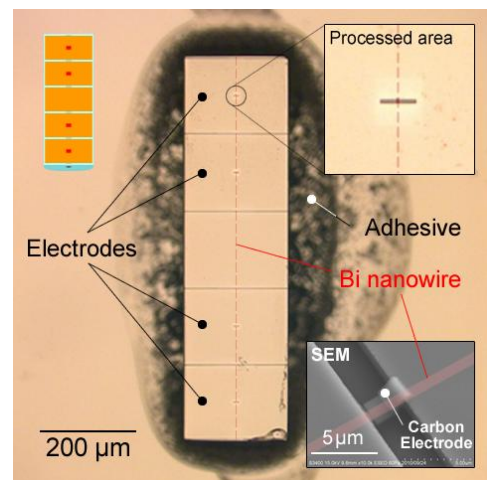


図4：ナノ加工したサンプル例

り付けたサンプルの写真である。電極が5つに分割されていることが確認できる。上の2つと下の2つの電極においてFIBを利用した加工を行い、ナノワイヤーと導通を取っている。挿入図としてSEMによる拡大写真を示した。中心に見える白い箇所がカーボン電極である。このカーボン電極により表面の電極とナノワイヤーをつなげている。この方法により作製した全ての電極がナノワイヤーと導通していることを確認し、室温での4端子抵抗測定に成功した。

論文発表状況・特許出願

- [1] 村田正行, 中村太紀, 山本浩也、長谷川靖洋, 小峰啓史, 2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会, 神奈川工科大, 2011 年 (口頭発表)
- [2] Masayuki Murata, Daiki Nakamura, Hiroya Yamamoto, Yasuhiro Hasegawa, Takashi Komine, Shinichiro Nakamura, Takashi Taguchi and Tomohiro Kobayashi, The 29th International Conference on Thermoelectrics, Shanghai, 2010 (ポスター発表)
- [3] Masayuki Murata, Daiki Nakamura, Hiroya Yamamoto, Yasuhiro Hasegawa, Takashi Komine and Tomohiro Kobayashi, *submitted to Physica E*
- [4] 村田正行, 中村太紀, 山本浩也、長谷川靖洋, 小峰啓史, 2010 年春季 第 57 回 応用物理学関係連合講演会, 東海大, 2010 年 (口頭発表)
- [5] 村田正行, 中村太紀, 長谷川靖洋, 小峰啓史, 2010 年 第 7 回 日本熱電学会学術講演会, 東京大, 2010 年 (口頭発表)

平成 2 2 年度中の外部資金応募先とその採択状況

応募先	採択状況
日本学術振興会「科学研究費補助金基盤研究 C」	採択
日本学術振興会「最先端・次世代研究開発支援プログラム」	不採択
JST 研究成果最適展開支援事業 A-STEP	不採択
岩谷科学技術研究助成	不採択
JST さきがけ研究	不採択
核融合科学研究所共同研究	採択
JST 先端的低炭素化技術開発事業	不採択
日本板硝子材料工学助成会	不採択
熱・電気エネルギー技術財団	不採択
野口遵研究助成金	不採択
東電記念財団	不採択
関東電気保安協会研究助成	不採択
新化学発展協会	応募中
アルミニウム研究助成事業	応募中
その他、共同研究者として	
日本板硝子材料工学助成会	採択 (2 件)