

プロジェクト名：ナノ加工を用いたナノワイヤー熱電変換素子の物性測定

代表者：長谷川靖洋（理工学研究科・准教授）

1 はじめに

熱エネルギーを電気エネルギーに直接変換可能で、量子効果を導入し飛躍的なエネルギー変換効率を向上させることが可能なナノワイヤー熱電変換素子の開発を行っており、現在まで石英ガラスに包まれた、直径 80nm、長さが 1mm 以上の Bi 製ナノワイヤー構造熱電変換素子の開発に成功している。直径がナノスケールになってきているために、その物性測定のためにはナノ加工が必須となる。本研究では、集束イオンビームによるナノ加工を用いて、ナノワイヤー熱電変換素子の物性測定手法の開発とその実施を行った。

2 集束イオンビームによるナノ加工法

開発しているナノワイヤー熱電変換素子は 1mm 以上と長く、その抵抗についても数 kΩ 以上ある。抵抗測定において、ワイヤー両端部に電極を形成する 2 端子法で充分対応可能であるといわれている。しかしながら、4 端子測定による電流-電圧測定の結果を踏まえた上で、初めて完全なオーミック接続が証明される。本研究の結果の信憑性を問われたときに、4 端子測定による結果を示すことが重要となり、どうやってナノワイヤー熱電変換素子の 4 端子測定を実施するかが大きな問題であり、本研究では集束イオンビームによるナノ加工によって、その問題を克服した。

ワイヤー直径 750nm を用いた場合ので、全体プロセスを図 1 に示す。ワイヤー直径が大きければ光学顕微鏡を用

いて石英中の Bi ナノワイヤーの位置は目視できるものの、石英ガラス中にある Bi ナノワイヤーの位置をどうやって確認するかが最大の課題であった。集束イオンビーム中の二次イオンや二次電子を利用したと

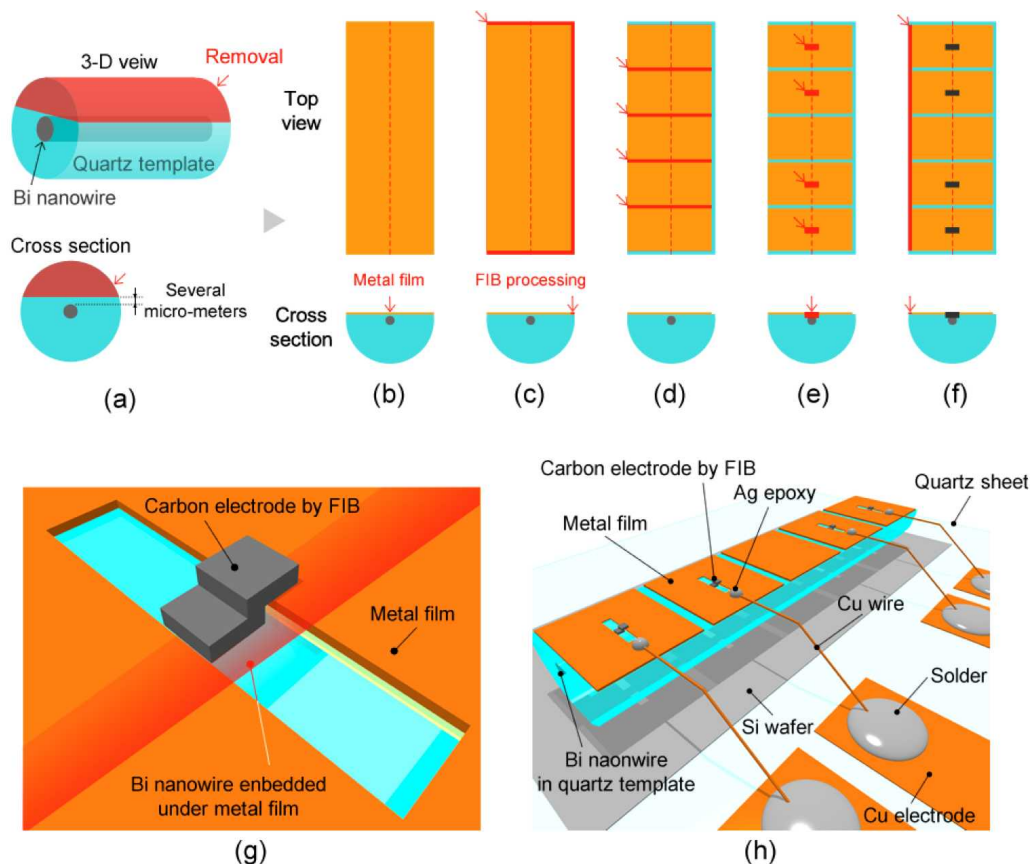


図 1: 石英ガラスに包まれたナノワイヤー熱電変換素子上へのナノ加工を用いた電極形成法の概要

石英ガラス中のワイヤー位置は確認できない。そこで、ガラス表面からナノワイヤー表面までの距離が約200nm 以下になったときに、二次イオン放出量の違いにより、ナノワイヤーを露出させることなくワイヤー位置が確認できることを発見した。

図2がナノ加工を施し電極を取り付けた完成したナノワイヤー熱電変換素子の光学顕微鏡・電子顕微鏡写真である。全体は5つに別れており、上下2つずつの銅電極がナノワイヤー熱電変換素子と接続されている。300Kでの電流-電圧測定の結果を図3に示す。直線的な関係が得られており、2端子法・4端子法それぞれの測定法でオーミック接続が得られたという結果となった。

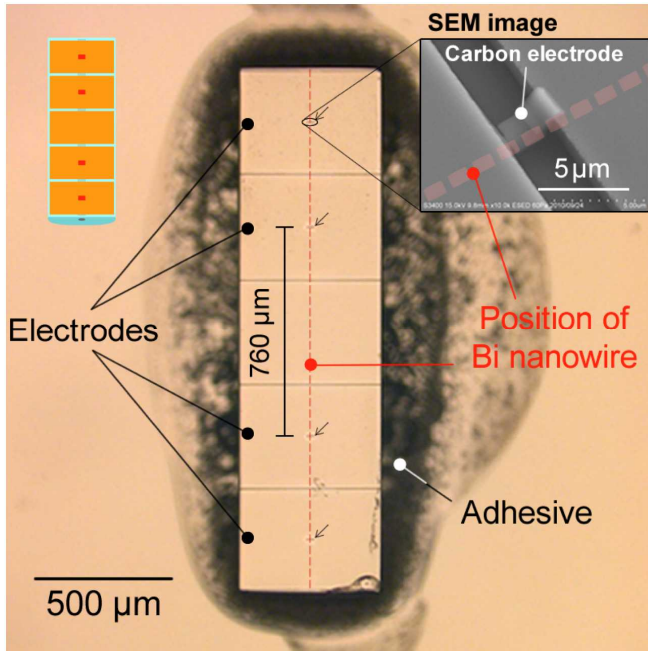


図2: ナノ加工を終え電極形成されたナノワイヤー熱電変換素子

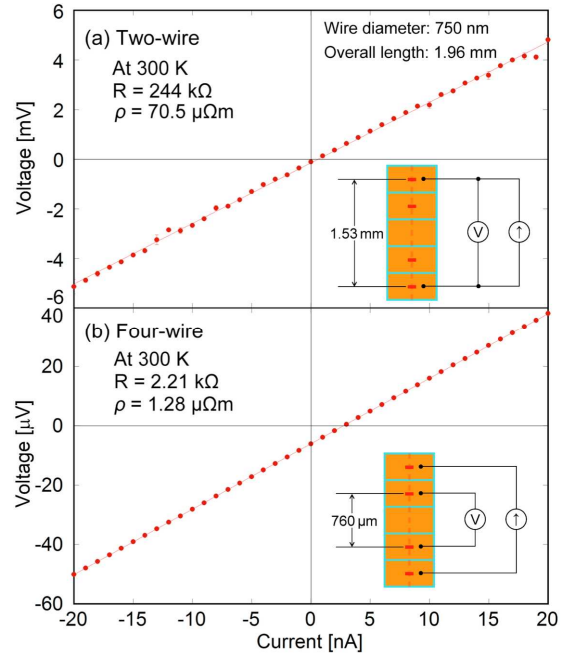


図3: ナノ加工による(a) 2端子法, (b) 4端子法によるI-V特性

また、2端子法、4端子法でそれぞれ得られた抵抗率については $70.5 \mu \Omega \text{m}$ 、 $1.28 \mu \Omega \text{m}$ であった。ここで、2端子法で得られた抵抗率が非常に大きいですが、局所カーボン電極を用いているために、その抵抗自体が大きく、結果として正しい抵抗率が評価できなくなっている。一方、4端子測定では $1.28 \mu \Omega \text{m}$ と、適切な実験結果が得られている。よって、以上の手法により、従来困難であると考えられていたナノワイヤー熱電変換素子への4端子電極形成ならびにその測定に世界で初めて成功した。

本成果については、査読付き論文 *Nanoscale Research Letters* 7:505 (2012)に“Preparation of bismuth nanowire encased in quartz template for Hall Measurements using focused ion beam processing”としてまとめられている。

3 まとめ

石英ガラスに覆われていたナノワイヤー熱電変換素子において、4端子測定は不可能と思われていたが、本研究では研磨と集束イオンビームを利用することによって世界で初めて測定が可能となった。現在、さらにナノ加工技術を高め、ナノワイヤー側面へのナノ電極形成を行っている。