

FIBを用いたナノレベル超微細加工技術の確立

森田寛之*¹ 長谷川靖洋*²

Establishment of nano-level processing technique of micromachining by using FIB

MORITA Hiroyuki*¹, HASEGAWA Yasuhiro*²

抄録

集束イオンビーム装置 (FIB) を用いてナノレベルでの加工を行うため、FIBの調整を行い、加工設定位置と実際の加工場所のずれを修正した。さらに石英ガラステンプレートに覆われた直径 $4 \mu\text{m}$ 、長さ数mmのビスマスワイヤーのガラス表面にイオンプレーティングによりTi/Cu電極膜を成膜した。ワイヤー側面を超微細加工により露出させ、電子ビーム (EB) によりスポット成膜を行い、ナノレベルでの超微細加工技術を確立した。

キーワード：FIB, 加工, EB, スポット成膜, タングステン

1 はじめに

ナノテクノロジーは、原子・分子レベルの微小世界で操作・制御し、ナノレベルで発現する特性を利用した技術である。近年、ナノワイヤーや超格子、量子ドット、ナノカーボン等の開発が進められているが、材料等の超微細化に伴い、既存技術のみでの加工には限界があり、今までとは異なった技術が必要となっている。

我が国では、文部科学省「ナノテクノロジープラットフォーム事業」にて、産業技術総合研究所や物質・材料研究機構、様々な大学、企業が参加しオールジャパンでナノテクノロジーの研究開発が進められている。

ナノテクノロジーに関して、ものづくり経験を持ち、小回りのきく中小企業の役割が注目されており、今後ナノテクノロジーに関する技術相談が増加することが予想される。そこで、マイクロ、ナノ加工が可能な当センター所有の収束イオンビーム装置 (FIB) を用いて、ナノレベルの加工を

行い、かつ FIB の特性である微小箇所へのスポット成膜技術を確立することを目的とし、研究を行った。

2 集束イオンビーム装置の原理

2.1 集束イオンビームによる加工

集束イオンビーム装置 (FIB) は、Ga イオンをレンズ系で極めて細く集束し加速電圧によりビームを試料表面に照射・走査する。表面に Ga イオンビームを照射された試料は、構成原子がはじき飛ばされてスパッタ現象が起きることでエッチング加工される。この工程をうまく操作することで局所的な切削が可能となり微細加工を施すことができる。

2.2 スポット成膜

ガスインジェクションシステムからフェナントレンまたはタングステンカルボニルといった化合物ガスをチャンバー内に導入する。その時に試料表面に化合物ガスが吸着し吸着したガスに FIB ビームまたは電子ビームを照射して化合物を分解し、カーボンまたはタングステンを蒸着する方法

*¹ 技術支援室 電気・電子技術担当

*² 埼玉大学大学院理工学研究科

である。

FIB ビームまたは電子ビームの照射領域を絞ることにより、局所的な蒸着（スポット成膜）が可能となる。

3 加工及びスポット成膜実験結果

3.1 FIB ビーム加工

集束イオンビーム装置は、日本電子製 JIB-4600F（図 1）を使用し、加工条件の最適化を行うにあたり Si ウェハを加工試料とした。

FIB 加工時には、電流および Beam 径の異なった条件である Beam01～13（Beam 径：6.5nm～1,350nm（参考値））までを用いて、加工条件の最適化を行った。

Beam 番号が小さいと電流と Beam 径が大きく、Beam 番号が小さくなるにつれて電流値および Beam 径が小さくなる設定から、Beam 番号の小さい設定で加工を実施した。（Beam12 は観察および基準ビーム）

FIB 加工において、主に加速電圧、Beam 番号、加工形状（矩形、線、スポット）、加工サイズ、ドーズ量（単位面積あたりの電荷量（ $\text{nC}/\mu\text{m}^2$ ））を加工条件にして加工した。

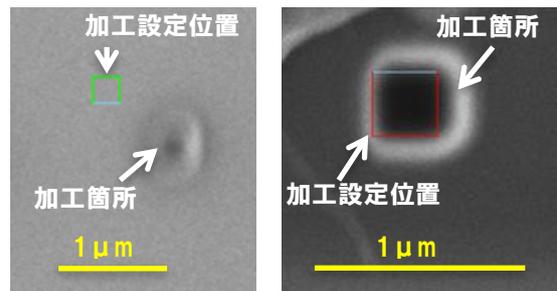
その結果、FIB ビーム加工で最も扱いやすかった Beam 番号は 08（Beam 径：27nm（参考値））であった。Beam08 より粗い Beam では加工エッジにダレが発生し、より番号が大きい Beam、例えば Beam09 では加工時間が Beam08 に比べて 2 倍長くなった。



図 1 収束イオンビーム装置（JIB-4600F）

3.2 FIB ビームのチューニング

集束イオンビーム装置を使用するにあたり、加工設定位置と実際の加工箇所ズレが生じた。図 2（1）に示すように、約 $1\mu\text{m}$ ずれていた。設定位置とナノテクノロジーにおいて、ズレが生じることは重大な問題となるため、イオンビームのチューニングを行った。その結果、図 2（2）のように位置のズレは数十 nm に低減された。加えて、FIB ビームを ON/OFF すると、ズレが発生するため、毎回チューニングを必ず行う必要があることがわかった。



(1) チューニング前 (2) チューニング後

図 2 イオンビームのチューニング

3.3 スポット成膜加工

チャンバーにフェナントレングスを導入し、FIB ビームを用いたスポット成膜を行った（加工条件：Beam09、加速電圧 30kV、サイズ $5\mu\text{m}\times 5\mu\text{m}$ 、ドーズ量 $1.0\text{nC}/\mu\text{m}^2$ ）。図 3 に示すように、設定位置の周囲には成膜することが確認できたが、中心部は凹部ができ、FIB ビームでは成膜より試料表面へのダメージが大きいことがわかった。

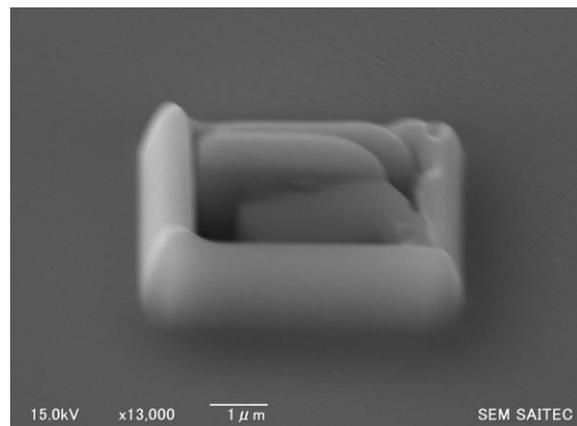


図 3 FIB ビームによるスポット成膜

次に、FIB ビームではなく、電子ビーム (EB) を用いて、成膜を行った。加工条件は、加速電圧 30kV、照射電流番号 16、サイズ $5\mu\text{m}\times 5\mu\text{m}$ 、ドーズ量 $1.0\text{nC}/\mu\text{m}^2$ 、照射時間 1800s である (EB 電流では、照射電流番号、照射時間が加工条件となる)。図 4 のようにシート上に成膜することに成功した。

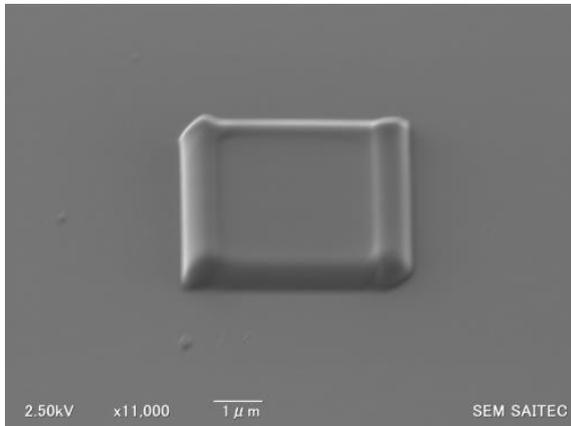


図 4 SEM ビームによるスポット成膜

3.4 FIB ビームおよび EB 加工による電極接合

石英ガラステンプレートに覆われたビスマスワイヤーを用いて、FIB 加工によりビスマスワイヤーの側面を露出させ、次に EB 加工にて露出箇所と Ti/Cu 膜との間をタングステンスポット成膜を行い、ビスマスと Ti/Cu 膜間を配線することで電気的接合を試みた。

図 5 のように、ビスマスワイヤーを覆う石英ガラスをワイヤー軸方向に水平になるよう研磨し、研磨面とビスマスワイヤーの距離を数 μm に整えて、研磨面へ Ti(100nm)/Cu(200nm)をイオンプレーティングにより成膜した。

図 6 のように、成膜した研磨面へ FIB および EB により超微細加工を行った。数十~百 nm のナノレベル単位でワイヤーに近づけながら FIB 加工を行い、ビスマスワイヤー側面を露出させた SEM 画像を図 7 に示す。

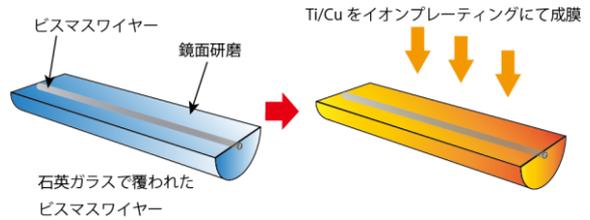


図 5 加工用サンプル作製図

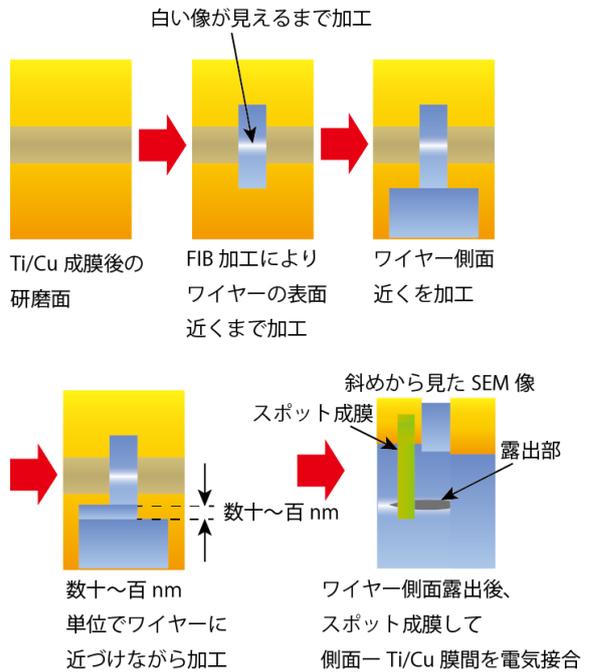


図 6 ワイヤー側面露出のための FIB 加工方法

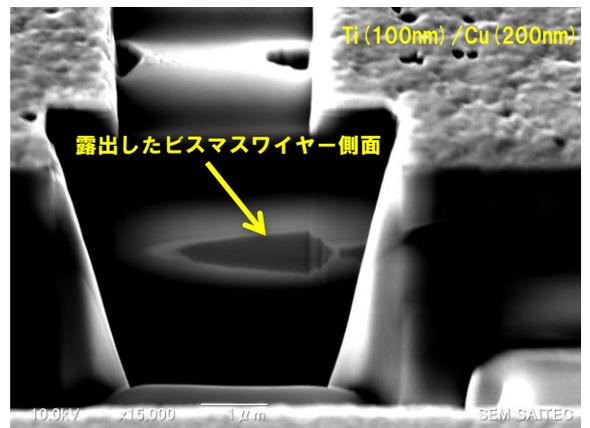


図 7 ビスマスワイヤー側面露出

次に、タングステンカルボニルガスを導入し、露出したビスマスワイヤー側面にタングステンをスポット成膜した時の SEM 画像を図 8 に示す。

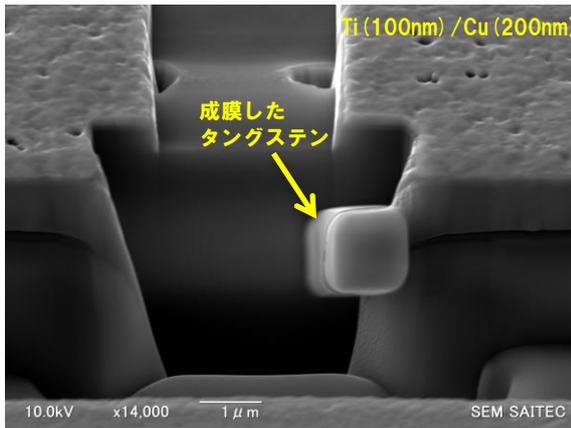


図8 スポット成膜によるワイヤー-Ti/Cu膜間の電気的接合

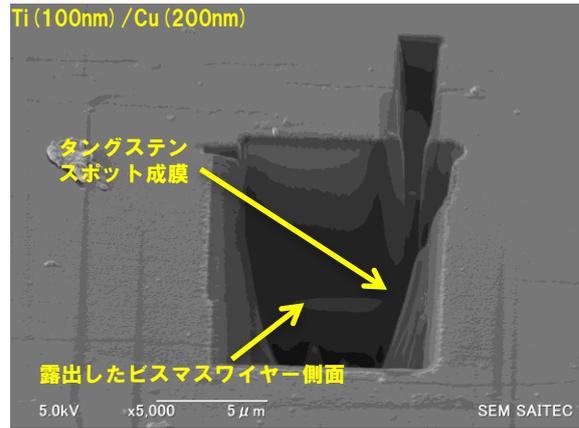


図10 スポット成膜によるワイヤー側面-Ti/Cu膜間の電気接合加工時のSEM像

3.5 導通試験結果

石英ガラスに覆われたナノワイヤーの露出させたビスマスワイヤー側面へのスポット成膜により電気的接合が成功したか否かを確認した。

図7の加工方法を用いて、図8~9のようにFIB加工およびEB加工を行い、Ti/Cuを電極膜として銀ペーストにて銅線を取り付けた。銅線間の抵抗をデジタルマルチメータにより測定した結果、315 Ωと表示され、導通していることがわかった。

以上のことから、スポット成膜により電気的に接合していることが確認できた。

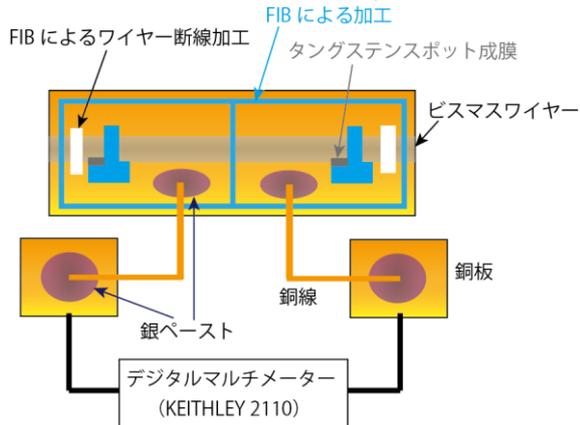


図9 電気抵抗測定用サンプル加工・測定外観図

4 まとめ

集束イオンビーム装置を用いてナノレベル超微細加工を実施した結果、下記のことがわかった。

- (1) イオンビームを利用する前にチューニングを行う必要がある。
- (2) スポット成膜時に FIB ビームを使用すると試料表面にダメージを与える。
- (3) スポット成膜は電子ビームを使用するほうが良い。
- (4) スポット成膜により、ビスマスワイヤー側面との電気的接合が確認できた。

本研究では、直径 $4\mu\text{m}$ のビスマスワイヤーをサンプルとして使用したが、今後、数百 nm、数十 nm の直径のビスマスワイヤーへの側面露出、スポット成膜を行い、より精細な加工技術を習得し、ナノテクノロジーへの技術支援を進める。