
マイクロ・ナノ融合環境での表面機能の発現・創生と体系化に関する研究 —ダイヤモンドアレイ工具の微細加工への応用—

研究代表者 理工学研究部(工学) 森田 昇

1 はじめに

本プロジェクトは、表面に設けた微細構造（表面テクスチャ）から期待される機能発現とその体系化を目的として、新たに開発したシリコンモールドによるダイヤモンドアレイ工具およびナノ加工計測システム等を用いて様々な表面テクスチャを創生するとともに、マイクロ・ナノ融合環境下での新しい光学的、機械的、化学的機能の創生とその応用化を目指す。

本プロジェクトの開発課題のひとつとして、単結晶シリコンの異方性エッチングと CVD ダイアモンド成膜法を併用し、任意の形状と配列を有する精密加工用ダイヤモンド工具（以下、ダイヤモンドアレイ工具とよぶ）の開発を行っている。これまでに、この技術を応用した加工用 AFM カンチレバーおよびマイクロミリング工具を提案・作製し、これらの工具を用いて加工実験を行い、精密加工用工具としての有用性について示した。また、これらの工具を用いたナノ切削をリアルタイムで観察するシステムと、加工と計測を同一機上で実現するナノ加工・計測システムを開発した。さらに、加工時間の短縮や加工範囲の拡大のため、複数の切れ刃を具備した加工用 AFM カンチレバーの開発を行った。

今年度は、集束イオンビームにより加工用 AFM カンチレバーおよびマイクロミリング工具の切れ刃形状を種々変化させ加工実験を行い、より精細な微細加工を実現する工具の試作を行った。

2 加工用 AFM カンチレバー

AFM 機構と加工用 AFM カンチレバーを用いて Ni-P 合金への微細溝加工を行うことを目的としている。これまでの研究から、単結晶シリコン (100) 面の異方性エッチングと多結晶ダイヤモンド CVD を組み合わせて作製したダイヤモンド切れ刃による加工では、切れ刃先端部の形状が規定されるため、より高精細で任意の溝加工を行うことはできなかった。そこで、集束イオンビーム（以下 FIB）により工具先端部を溝加工に適した先鋭な形状に加工することで微細な V 溝形状を得ることができると考える。本報では、切れ刃のすくい角を変化させて溝加工を行い、すくい角が溝形状に及ぼす影響について検討を行った。

切れ刃先端部を FIB 加工装置により加工した。切れ刃の先端角を 35° 、すくい角を $-20 \sim 20^\circ$ の 5 段階に設定し、 4.18nA のビーム電流で荒加工を行ったあと、 0.83nA のビーム電流で仕上げ加工を行う。図 1 は、FIB 加工後の加工用 AFM カンチレバーの SEM 観察像である。図のように、鋭い先端角とエッジを持つ切れ刃を得ることができた。

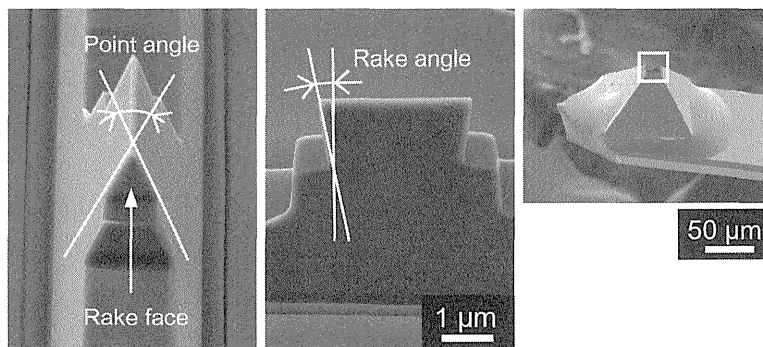


図 1 FIB 加工により先鋭化した加工用 AFM カンチレバー

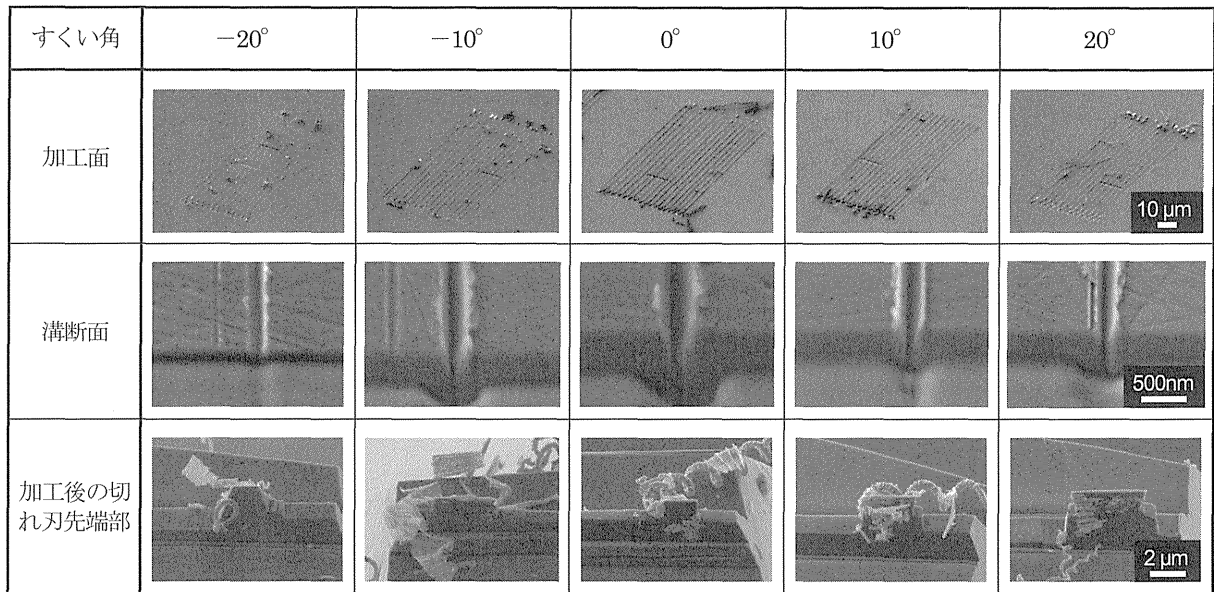


図2 加工面、溝断面および加工後の切れ刃先端部のSEM観察像

図2は、各すくい角での加工面、溝断面および加工後の切れ刃先端部のSEM観察像である。各加工面および切れ刃先端部において、流れ形の切りくずが生成されている。この切りくずは、すくい角-20° および-10° では5~20μmの長さに短く分断されているのに対して、すくい角0~20° では50~100μmの比較的長い切りくずとなった。また、溝周辺部には塑性変形による盛り上がりが発生した。各切れ刃とも摩耗やチップングなどの形状変化はみられなかった。

図3は、各すくい角での最大荷重における溝深さ、溝幅およびアスペクト比(深さ/幅)の関係である。溝深さ、溝幅ともにすくい角が0° のとき最大となり、それぞれ447nm、360nmとなった。また、アスペクト比はすくい角-20° を除いて、1.5程度となった。切れ刃の断面形状のアスペクト比は1.59であることから、切れ刃形状が溝形状に精度よく転写されていることがわかる。

図4は、すくい角0° での垂直荷重と溝深さ、溝幅およびアスペクト比の関係である。垂直荷重の増加にともない溝深さ、溝幅ともに増加した。また、アスペクト比は1.3~1.5とほぼ一定の値となった。このことから切れ刃の先端丸み半径が溝深さ、溝幅に対して十分に小さく、軽荷重でも切れ刃形状が溝形状によく転写されることがわかる。

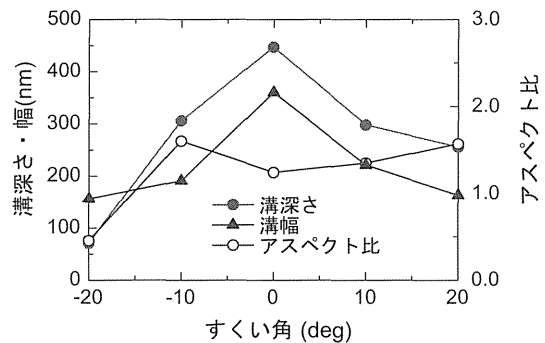


図3 すくい角の溝形状への影響

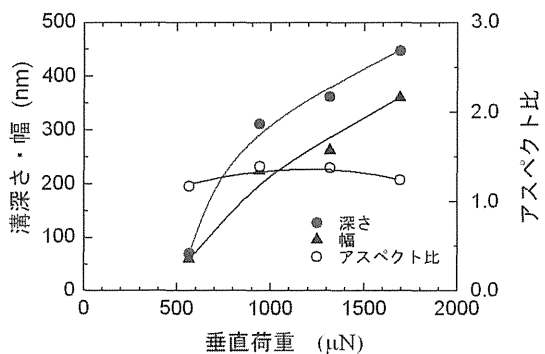


図4 垂直荷重の溝形状への影響

3 マイクロミリング工具

これまでの研究で、四角錐形状の切れ刃を有する多結晶ダイヤモンド工具を作製し、微細加工用工具としての有用性が認められている。本報では、さらに高精度な加工を目的として、切れ刃形状を変化させ、微細ダイヤモンド工具の作製を行い、単結晶シリコンへの溝加工を行う。また FIB を用いて切れ刃に逃げ角を設けた工具で溝加工し、その有用性について検討を行った。

図 5 は FIB 加工前後の切れ刃先端部の SIM 観察像である。5° の逃げ角を精度よく加工できていることがわかる。図 6 は作製した 3 種類のダイヤモンド工具先端部と加工溝の SEM 観察像である。工具 A は逃げ角 0° の四角柱形状の切れ刃、工具 B は逃げ角 5° の四角柱形状の切れ刃、工具 C は逃げ角 5° の三角柱形状の切れ刃を有する。加工面を観察すると、工具 A、工具 B、工具 C の順に滑らかな加工面に仕上がっている。加工溝幅は工具 A で約 226 μm 、工具 B で約 196 μm 、工具 C で約 183 μm である。加工溝幅は切れ刃の位置と偏心量によって変化する。図 7 は各工具の切削抵抗である。切削抵抗は 3 種類の工具ともに Y 方向、X 方向、Z 方向の順に大きくなっている。また逃げ角 5° (工具 B、C) の切削抵抗は逃げ角 0° (工具 A) のそれよりも小さくなっている。これは切れ刃の逃げ面が有効に作用したことによるものと考えられる。

4 おわりに

本プロジェクトでは、集束イオンビームにより加工用 AFM カンチレバーおよびマイクロミリング工具の切れ刃形状を種々変化させ加工実験を行い、より精細な微細加工を実現する工具の試作を行った。前者では、切れ刃のアスペクト比とほぼ同等の 1.5 の微細 V 溝加工が可能であった。後者では、逃げ角を設けた工具は、切

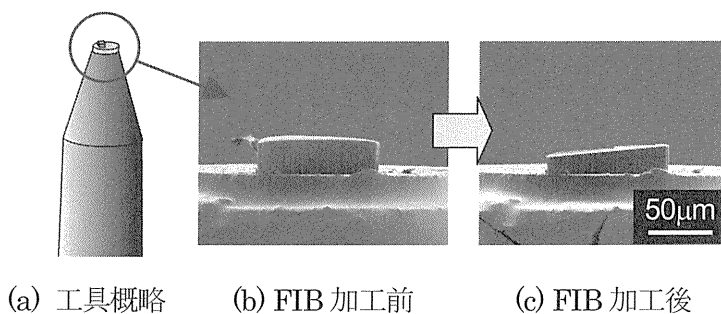


図 5 ダイヤモンド切れ刃の FIB 加工前後

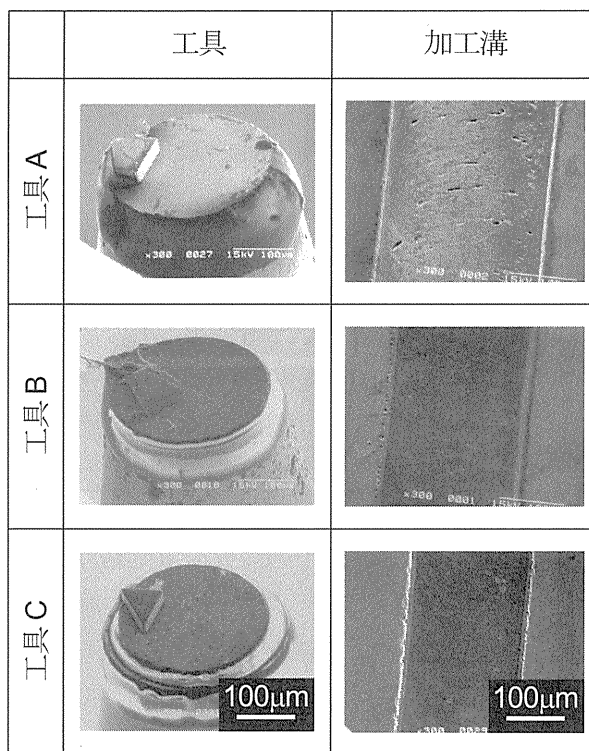


図 6 各種工具と加工溝の SEM 観察像

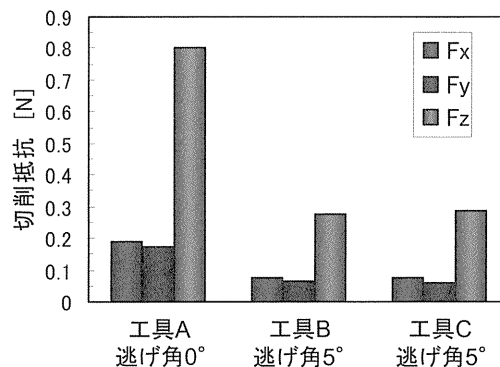


図 7 各種工具の切削抵抗

削抵抗の低減と加工面の品質が向上した。今後、実用化に向けてさらに性能を向上させることにより有用なツールとなりうる。

本研究の一部は、平成 20 年度科学研究費補助金基盤研究 (C) を受けて行われたことを記してお礼申し上げます。

5 プロジェクト成果

5.1 特許

- 1) 特許出願／発明の名称：ダイヤモンド工具及びその製造方法
出願日：平成 15 年 3 月 11 日，出願番号：特願 2003-65656，特開 2004-268236
- 2) 特許出願／発明の名称：微細加工装置
出願日：平成 15 年 3 月 17 日，出願番号：特願 2003-72051，特開 2004-276177
- 3) 特許出願／発明の名称：加工用カンチレバー
出願日：平成 20 年 9 月 3 日，出願番号：特願 2008-226272

6 プロジェクト成果の応用・効果・構想

本プロジェクトで得た成果を、信頼性の高い極微細加工が安定して実現できるよう加工用 AFM カンチレバーとマイクロミリング工具の高精度化を行い、本プロジェクト終了後 2 年以内に安定性、信頼性を高め製品化に移る。また 3 年程度後には、さらに多種機能を拡充、新市場を開拓していく計画である。

7 利用施設

走査型プローブ顕微鏡を、加工用カンチレバーの評価試験（加工用カンチレバーによる加工実験および測定用カンチレバーによる加工痕測定）のため、週 1 回 8 時間程度利用している。