

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 ーダイヤモンドアレイ工具の微細加工への応用ー

研究代表者 工学部 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 ダイヤ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。今年度はこの技術を応用して、加工用 AFM カンチレバーおよびマイクロリング工具への応用化について検討した。さらに本工具を用いて加工実験を行い、その加工特性について検討した。

2 加工用カンチレバーへの適用

2.1 加工用カンチレバーの作製

ダイヤモンドアレイ工具の加工用カンチレバーへの応用化について検討した。加工用カンチレバーのレバー部は、単結晶シリコンの異方性エッチング技術を用いて作製した。また、切れ刃となるダイヤモンドチップは、ダイヤモンドアレイ工具から 1 刃をダイヤモンド砥石により研磨して取出した。ダイヤモンドチップの装着には、エポキシ系接着剤を用い、独自開発のマイクロマニピレータで行った。図 1 は、シリコンレバー先端に、ダイヤモンドチップを接着して作製したナノシェーパー工具の SEM 観察像である。この工具のレバーのたわみ剛性は 236.4N/m であった。

2.2 ナノスケール機械加工への応用

加工用カンチレバーを AFM に装着し、単結晶シリコン (100) に対してナノスケール機械加工を行った。加工用カンチレバーは、ダイヤモンドチップの 1 辺がシリコンレバーの方向と平行に装着したものを使用した。また加工痕の測定には、市販の測定用カンチレバーを用いた。

図 2(a)は、垂直荷重 80 μ N, 加工速度 30 μ m/s で単線加工を行った試料の AFM 観察像である。加工部には、深さ 20nm の加工痕が形成された。同図(b)は、垂直荷重 397 μ N, 加工速度 30 μ m/s, 走査線送り量 59nm で面加工を行った試料の AFM 観察像である。加工部には、深さ最大 294nm

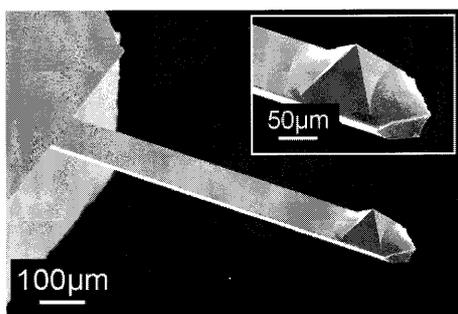


図 1 加工用カンチレバー

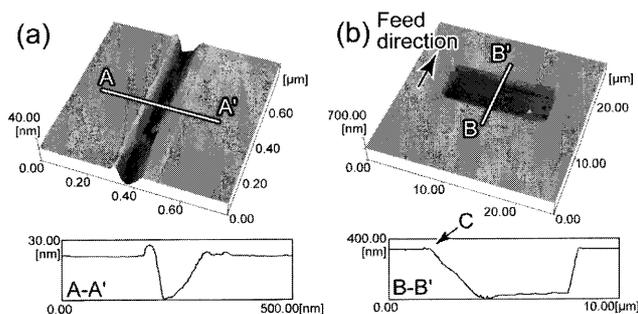


図 2 加工痕の AFM 観察像

の加工痕が形成された。また、加工痕は加工開始部（図中 C 部）で浅く、加工の進行のともない深くなり一定値に収束することがわかる。

図 3 は、単線加工および面加工を行った時の垂直荷重に対する加工深さの変化である。加工方法がいずれの場合でも、垂直荷重の増加にともない加工深さは線形的に増加した。本実験条件下では、加工深さの最大値は単線加工、面加工時にそれぞれ 97, 382nm であった。この値は、従来までの加工用カンチレバーと比較すると非常に大きな値である。すなわち、開発した加工用カンチレバーは鋭い切れ刃を有していると考える。

図 4 は、垂直荷重 637 μ N、走査線送り量 117nm で面加工を行った試料の SEM 観察像である。加工部周辺には細長くカールした流れ型の切りくずが観察され、延性モードで切削が行われていることがわかる。また、連続して 1500mm 以上の距離を切削しても十分な加工能力を示しており、切れ刃の耐磨耗性も高いことが確認できた。以上の結果より、開発した加工用カンチレバーは、単結晶シリコンのナノスケール機械加工に対して優れた加工特性を持つことがわかった。

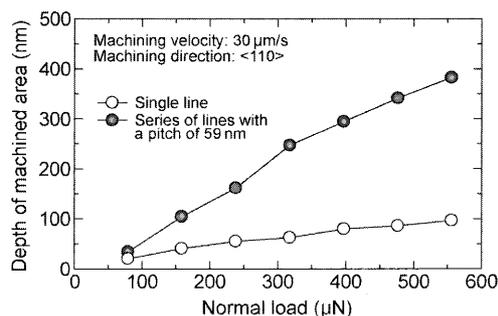


図 3 垂直荷重と加工深さの関係

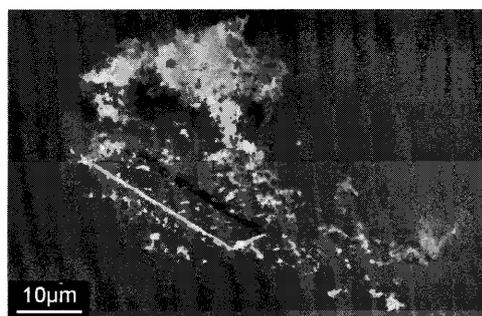


図 4 面加工痕の SEM 観察像

3 マイクロミリング工具への適用

3.1 マイクロミリング工具の作製

マイクロミリング工具は、回転軸端に切れ刃となるダイヤモンド切れ刃群あるいは 1 刃を装着して作製した。ダイヤモンド切れ刃の抽出には、前者は YAG レーザを用いて、後者はダイヤモンド砥石による研磨により行った。これらを先端径 ϕ 0.3mm、シャンク径 ϕ 3.0mm、全長 42mm の超硬性テーパピンの先端に、エポキシ系接着剤を用いてそれぞれ装着した。図 5(a)は、作製したマイクロミリング工具全体の観察像である。同図(b)は、底辺 50 μ m の 5 つの四角錐形状のダイヤモンド切れ刃群が規則正しく配列している複刃工具である。また同図(c)は、底辺 100 μ m の四角錐形状のダイヤモンドチップ 1 刃を装着した単刃工具である。

3.2 マイクロ加工への応用

作製したマイクロミリング工具を用いて、単結晶シリコン、アクリル樹脂、金属ガラスに対してマイクロ加工を行った。加工装置には、ジグ研削盤 (HAUSER) を用いた。この装置のスピンドルにマイクロミリング工具を装着し、切込みと送りを与えて乾式で加工を行った。

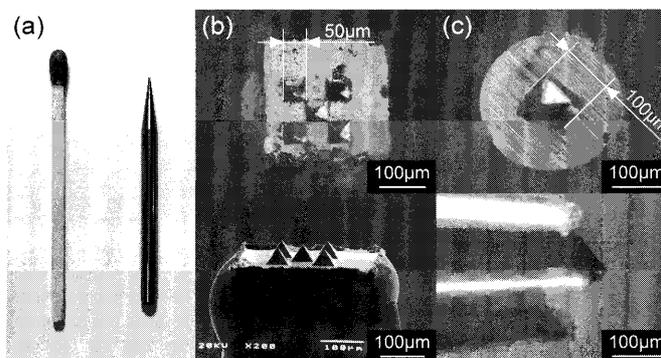


図 5 マイクロミリング工具

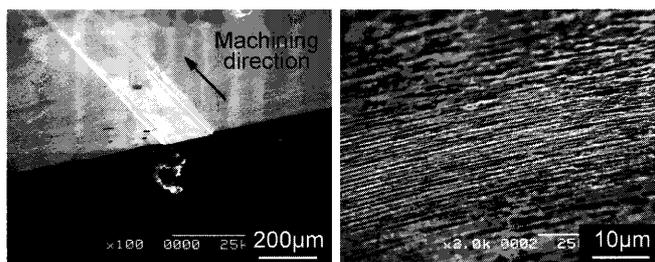
図6は、複刃工具を用いて単結晶シリコンに対して送り速度 0.200mm/s , 切込み量 $10\mu\text{m}$ の条件でフライス加工を行った後の加工痕の SEM 観察像である。同図(a)より、加工によるマクロなクラックの発生も見られず、良好な加工が行われていることがわかる。また同図(b)より、加工痕底面には、切れ刃の規則正しい送りマークが観察される。これより本工具は、シリコンのような硬脆材料のマイクロ加工に対して有効であると考えられる。つぎに、加工痕の断面形状測定を行ったところ、その幅は底部で約 $200\mu\text{m}$, 開口部で $242\mu\text{m}$, 深さは約 $20\mu\text{m}$ であった。また、工具切れ刃稜線のなす角が加工面に対して 45° であるため、加工痕底部の深さを $20\mu\text{m}$ とすると、切れ刃稜線で切り取られる量も、底部よりも開口部で約 $20\mu\text{m}$ 大きくなる。このことから、工具形状をほぼ正確に転写していると考えられる。

図7(a)は、複刃工具を用いてアクリル樹脂に対して、送り速度 0.067mm/s , 切込み量 $5\mu\text{m}$ でフライス加工を行った場合の加工痕の SEM 観察像である。加工痕底面には、むしろ状の痕が観察されるものの、樹脂のような軟質材料に対して本工具は有効であると考えられる。同図(b)は、単刃工具を用いて金属ガラスに対して、送り速度 0.067mm/s , 切込み量 $5\mu\text{m}$ でフライス加工を行った場合の加工痕の SEM 観察像である。バリは観察されるものの、金属ガラスのような高硬度、高じん性な材料に対しても、本工具を用いたマイクロ加工が可能であった。

図8(a)および(b)は、それぞれ単結晶シリコンやアクリル樹脂をフライス加工した後の複刃および単刃工具の切りくず除去後の工具先端である。図より、工具に破損は観察されなかった。

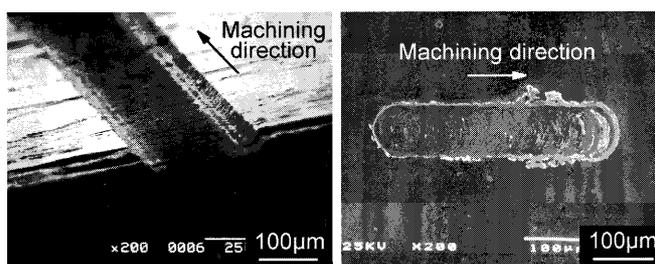
4 おわりに

- 本プロジェクトでは、ダイヤモンドアレイ工具の加工用 AFM カンチレバーおよびマイクロミリング工具への応用化について検討した。その結果、開発した加工用カンチレバーは単結晶シリコンのナノスケール機械加工に対して優れた加工特性を示すことがわかった。またマイクロミリング加工実験より、単結晶シリコン、アクリル樹脂、金属ガラスのいずれに対しても、本工具は切れ刃形状を転写する加工が可能であった。今後は工具および加工機のさらなる高精度化を行い、ダイヤモ



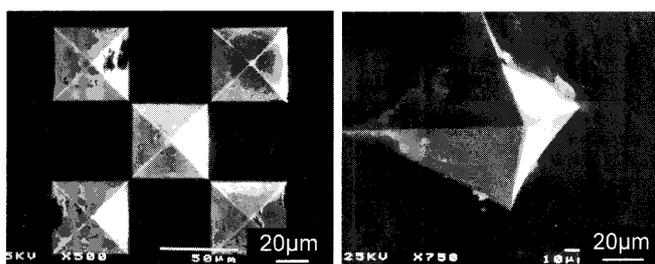
(a) 広域観察像 (b) 加工面拡大観察像

図6 加工痕の SEM 観察像 (単結晶シリコン)



(a) アクリル樹脂 (b) 金属ガラス

図7 加工痕の SEM 観察像



(a) 複刃工具 (b) 単刃工具

図8 加工後の工具先端の SEM 観察像

ンドアレイ工具の実用化や表面機能の創生について検討していく。また、本研究で得た成果を、平成 16 年度採択の経済産業省地域コンソーシアム研究開発事業「ナノファクトリーのための自立型ナノ加工・計測システムの開発」に活用し、さらに実用性と汎用性の高いシステムの開発と事業化を推進していきたいと考えている。

最後に、本研究を進めるにあたり、(株)不二越の神田一隆氏、高野茂人氏、富山県工業技術センターの小幡勤氏に多大なご支援をいただきましたことを記して御礼申し上げます。

また本研究の一部は、経済産業省平成 16 年度地域新生コンソーシアム研究開発事業、(財)北陸産業活性化センター平成 15、16 年度 R&D 推進・研究助成金および科学研究費補助金基盤研究 B (課題番号 16360064) 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：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：15 年 3 月 17 日，出願番号：特願 2003-72051，特開 2004-276177

5.2 学術誌掲載論文および国際会議発表論文

- 1) 高野 登, 森田 昇, 林 弘樹, 川堰宣隆, 山田 茂, 大山達雄, 神田一隆, 高野茂人, 小幡 勤：ダイヤモンドアレイ工具を用いたマイクロ加工に関する研究（第 1 報：精密加工用工具としての性能評価），砥粒加工学会誌，48，9 (2004) 510-514.
- 2) 高野 登, 森田 昇, 林 弘樹, 川堰宣隆, 山田 茂, 大山達雄, 神田一隆, 高野茂人, 小幡 勤：シリコンモールドを用いたダイヤモンドアレイ工具の開発と応用（第 1 報）（シリコンモールドによるダイヤモンドアレイ工具の作製），精密工学会誌，70，11 (2004) 1402-1406.
- 3) 高野 登, 杉原英之, 岡 大輔, 森田 昇, 山田 茂, 大山達雄, 芦田 極：ダイヤモンドアレイ工具を用いたマイクロ加工に関する研究（第 2 報：1 立方インチサイズ超小型フライス盤の開発），砥粒加工学会誌，48，12 (2004) 700-703.
- 4) N. Kawasegi, N. Takano, N. Morita, S. Yamada, K. Kanda, S. Takano and T. Obata: scheduled to present at 2nd JSME/ASME International Conference on Materials and Processing 2005.

6 プロジェクト成果の応用・効果・構想

信頼性の高い 3 次元ナノ加工・計測が安定して実現できるようダイヤモンドアレイ工具の高精度化と加工装置のシステム化技術を中心に開発し、本プロジェクト終了後 3 年以内に実用・汎用型「ナノ加工計測システム」として安定性、信頼性、操作性を高めた後、製品化に移る。また 5 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）およびマイクロリング実験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。