

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） 山田 茂

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。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うとともに、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。昨年度は、表面にテクスチャを設けて被削性向上を図った切削工具と、AFM 加工における加工の高効率化を図った高精度マルチカンチレバーを試作し、引き切り加工実験を行い、その有用性を確認した。

今年度は、テクスチャ工具の加工特性をより詳細に検討するとともに、マルチカンチレバーによる凹加工実験を行った。

2 微細テクスチャを有する切削工具の開発

固体表面に微細なテクスチャを作製することで表面の摩擦係数が減少することが知られている。これを利用して、切削工具表面に微細なテクスチャを作製し、工具の加工性能を改善する研究が注目されている。しかし、微細なテクスチャでの摩擦現象については明らかにされていない点が多い。本報では、工具と被削材の摩擦摩耗問題を二次元化し、固体表面に微細なテクスチャを有する超硬試料を用いて、摩擦摩耗実験を行い、微細なテクスチャによる影響について検討することを目的とする。具体的には、摩擦摩耗試験機を用いて、微小領域における摩擦摩耗実験を行い、摩擦条件や雰囲気変化が微細テクスチャの摩擦特性に及ぼす影響について検討した。実験は、ボールオンディスク摩擦摩耗試験機を用い、超硬工具表面の $20 \times 3\text{mm}$ の領域にピッチ $20\mu\text{m}$ で作製したテクスチャを回転台ステージ上に固定し、板バ

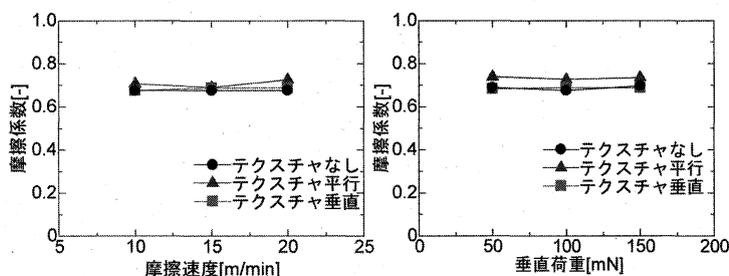


図1 摩擦速度依存性

図2 垂直荷重依存性

ネを介した接触子 (A1050) を接触させ、垂直荷重と摩擦力から摩擦係数を算出した。雰囲気変化は、雰囲気調整チャンバを用いた。さらに、潤滑油による摩擦係数に及ぼす影響についても検討を行った。

図1は、摩擦速度と摩擦係数の関係である。摩擦速度の増加による摩擦係数の変化は見られない。

図2は、垂直荷重と摩擦係数の関係である。垂直荷重の増加による摩擦係数の変化は見られない。

図3は、湿度と摩擦係数の関係である。両社を比較すると、湿度が高くなることによって摩擦係数は減少した。これは、摩擦を行った際に表面に発生する凝着力が原因であると考えられる。

図4は、粘度と摩擦係数の関係である。両者を比較すると、潤滑油の粘度が小さくなると摩擦係数も減少した。また、潤滑油を使用した場合、テクスチャ垂直で摩擦係数の影響が見られた。これは、摩擦方向に対して垂直方向のテクスチャによる潤滑油の保持機能によるものだと考える。

図5は、雰囲気と摩擦係数の関係である。同図(a)より、酸素中では大気中よりも摩擦係数はわずかに高くなった。また、テクスチャの有無による摩擦係数の変化はほとんど見られなかった。これは、摩擦時にテクスチャの溝部分に凝着した酸化アルミが影響しているのではないかと考える。同図(b)より、窒素中では大気中による摩擦係数との相違はほとんど見られなかった。これは、大気中と窒素では気体成分が似ているためと考える。

以上のことから、テクスチャの効果は、湿度、粘度および雰囲気に強く影響を受けていることがわかった。

今後は、テクスチャによる効果が発現するメカニズムについて詳細に明らかにするとともに、工具の応用化について検討していく。

3 高能率加工用マルチカンチレバーの開発

加工用 AFM カンチレバーによる加工能率の向上を目的として、昨年度はたわみ剛性の異なる3本のレバーを有するマルチカンチレバーを試作し、引き切り加工実験から個々のレバーの加工特性

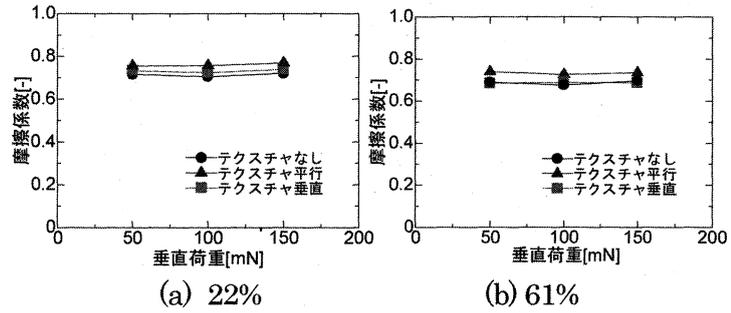


図3 湿度依存性

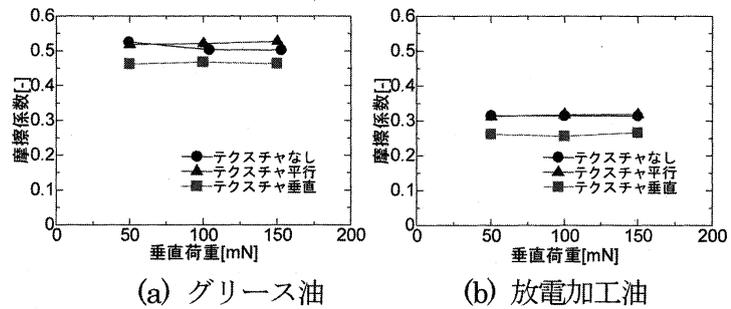


図4 粘度依存性

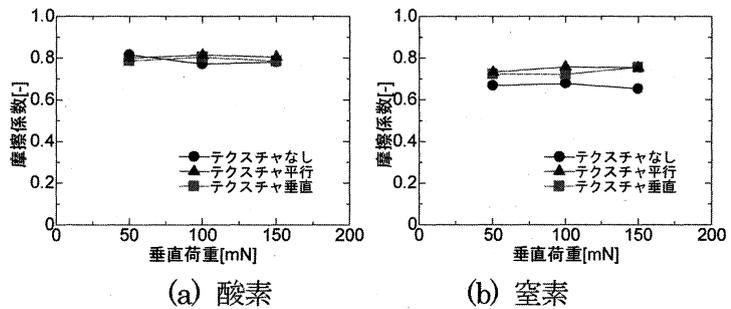


図5 雰囲気依存性

を評価し、さらに重畳加工実験により高精度な微細溝加工が可能であった。本年度は、凹加工実験を行い、作製したマルチカンチレバーの評価を行った。

実験に用いたマルチカンチレバーは、各レバーによって剛性が異なり、剛性の低いレバーから順に、レバーA、レバーB、レバーCとし、バネ定数は、それぞれ 422.04N/m, 510.03N/m, 601.48N/m である。凹加工実験は、単結晶シリコンに対して垂直荷重 122, 403, 682 μ N, 加工範囲 30 \times 15 μ m, 加工速度 60 μ m/s の条件で行った。

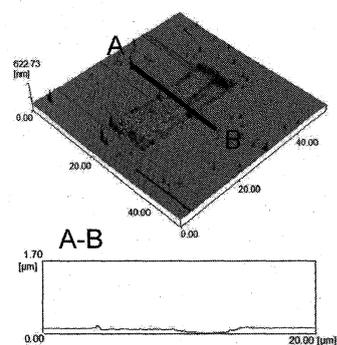
図 6(a), (b), (c)は、垂直荷重 403 μ N で面加工を行った際の凹加工面の AFM 観察像である。同図(a)はあまり良好な面加工が行われていないのに対し、同図(b)および(c)では加工面がほぼ均一である良好な面加工を行うことができた。その他の垂直荷重でも、同様に良好な加工面を得ることができた。面加工には、レバー垂直方向の加工が適しているということがいえる。

図 7は、面加工における垂直荷重と加工深さの関係である。垂直荷重 122 μ N で加工した際のレバーAの加工面は、本実験装置に備え付けられている光学顕微鏡により位置を特定するのが困難であったため、測定することができなかった。同図より、すべてのレバーにおいて、垂直荷重の増加に伴い加工深さも増加していることがわかる。レバーAにおいて、レバーBおよびレバーCと比較すると、加工深さはとても小さな値となった。

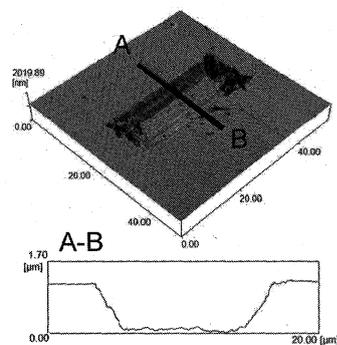
今後は、他のレバー形状や切れ刃先端形状を変化させたマルチカンチレバーの開発と、より高能率な微細加工用工具への応用化について検討を行っていく。

4 おわりに

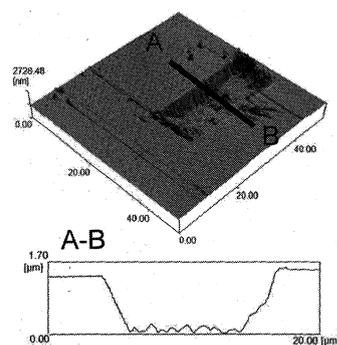
本プロジェクトでは、微細テクスチャを有する切削工具を作製し、摩擦摩耗実験を行ったところ、テクスチャの効果は、湿度、粘度および雰囲気の影響を強く受けることが分かった。一



(a) レバーA



(b) レバーB



(c) レバーC

図 6 凹加工痕の AFM 観察像

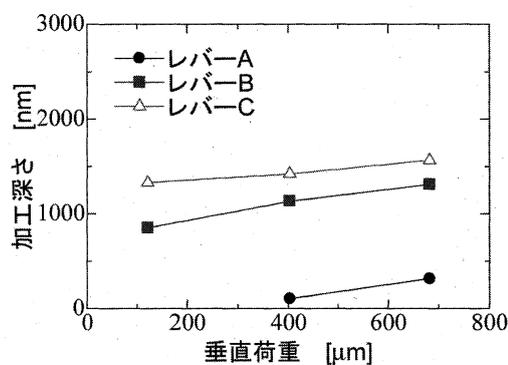


図 7 垂直荷重と加工深さの関係

方、加工能率の向上を図る目的として、たわみ剛性の異なるレバーを3数本有する加工用マルチカンチレバーを作製し凹加工実験を行ったところ、個々のレバーの特性を生かした加工が可能であり、良好な加工痕を得ることができた。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22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なテクスチャを有する切削工具や加工用カンチレバーを開発する。また、本カンチレバー工具の特徴を活かし、曲面を広範囲で加工可能なSPMヘッドを今後開発し、本プロジェクト終了後2年以内に実用型、汎用型「極微細加工システム」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4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。

起業予定年月：プロジェクト終了後、3年以内の事業化を目指す。

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。