

# 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。

今年度は、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の開発と、AFM 加工における加工の高能率化を図ったマルチカンチレバーの開発を行った。

## 2 微細テクスチャを有する切削工具の開発

個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。この原理を切削工具に適用し、工具のすくい面に微細なテクスチャを作製することで、工具と被削材の摩擦特性が変化し、加工性を改善することができる。本報では、表面に種々のパターンの微細テクスチャを設けた切削工具の開発とその被削性について検討した。

図 1 は、表面に微細テクスチャを作製した切削工具である。切りくず流出方向に対して、垂直方向と平行方向にフェムト秒レーザ加工により、ピッチ  $20\mu\text{m}$ 、深さ  $0.7\mu\text{m}$  の溝を導入した。工具材種は超硬合金（K10）である。この工具を用いて、アルミニウム合金 A5052 に対して、切削速度  $600\text{m/min}$ 、切込み  $0.2\text{mm}$ 、送り量  $0.1\text{mm/rev}$  の条件で旋削加工実験を行った。

図 2 は、テクスチャの有無、およびテクスチャの方向と切削抵抗の関係である。テクスチャなしの工具と比較すると、平行方向にテクスチャを導入した工具の切削抵抗は増えて

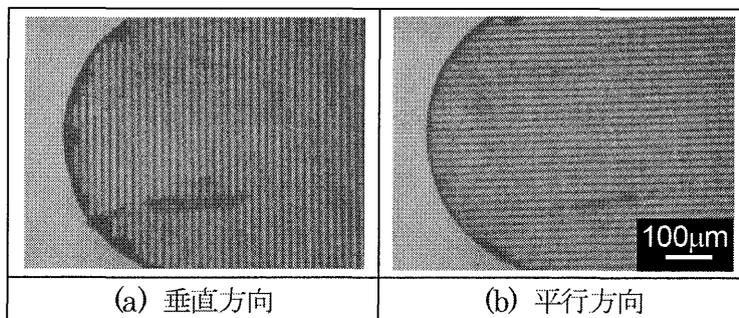


図 1 微細テクスチャを有する切削工具

いるが、垂直方向の工具は低減していることがわかり、テクスチャ導入の効果があることがわかる。

図3は、加工前後での工具表面を観察したものである。テクスチャが垂直方向の工具にチップングが観察されるものの、いずれの工具においても著しい工具摩耗は観察されなかった。また、導入したテクスチャの損耗もほとんど認められなかった。

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。

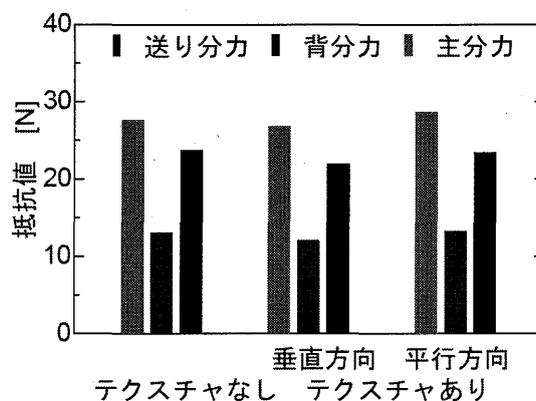


図2 切削抵抗のテクスチャ方向依存性

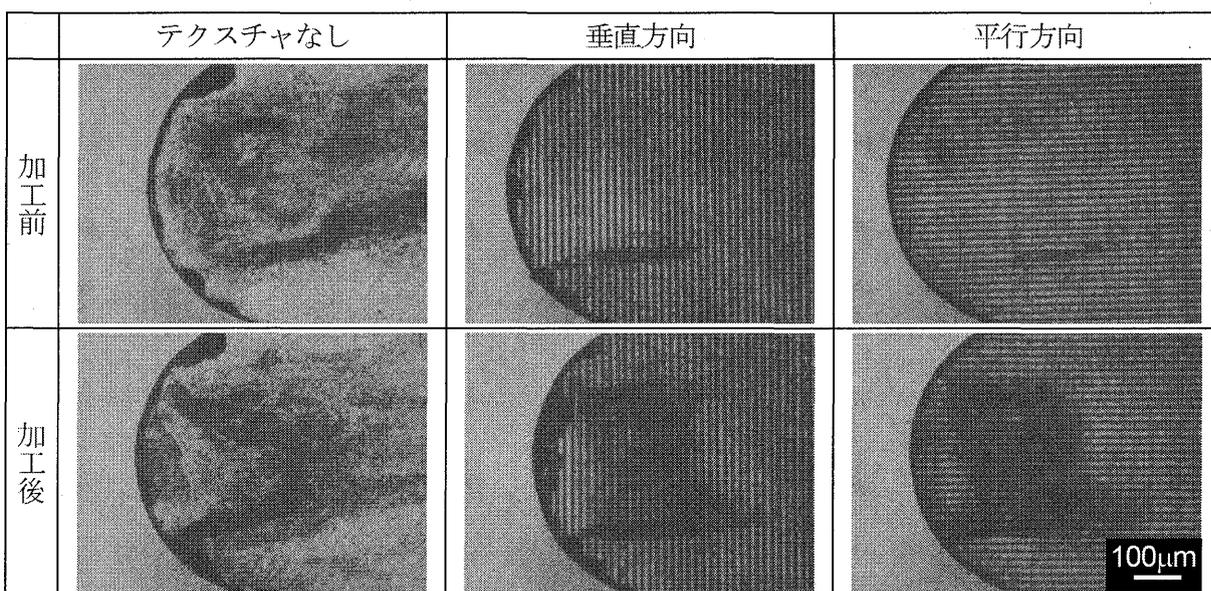


図3 加工前後での工具表面の比較

### 3 高能率加工用マルチカンチレバーの開発

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、加工能率の向上を目的として、複数本のレバーを有するマルチカンチレバーの開発をその加工性能について検討を行った。

図4は、作製したマルチカンチレバーである。このカンチレバーは、たわみ剛性の異なるレバーを3本具備しており、剛性の高いレバーから低いレバーへと順に加工することにより、粗加工から仕上げ加工を一度に実現するものである。マルチカンチレバーを作製するにあたり、予め有限要素解析ソフト ANSYS を用いて解析を行いレバーの寸法を決定した。レバーの幅は、90 $\mu\text{m}$ 、70 $\mu\text{m}$ 、50 $\mu\text{m}$ で長さはすべて800 $\mu\text{m}$ である。今回は、3本のレバーによる同時加工と個々のレバーの加工様式を把握するため、面加工実験を行った。

実験は単結晶シリコンに対して、ピッチ 98nm, 加工範囲  $50 \times 25 \mu\text{m}^2$ , 加工速度  $100 \mu\text{m}/\text{s}$  の条件で、レバー長手方向に面加工を行った。加工時の垂直荷重は、レバー幅の太い順に  $1044 \mu\text{N}$ ,  $864 \mu\text{N}$ ,  $681 \mu\text{N}$  である。

図5は、加工痕のAFM観察像と、A-B断面形状である。加工痕の形状を見てみると、いずれのレバーによる加工でも、同じ矩形状で加工が行われており、3本のレバーによる同時加工が可能であることがわかった。加工痕の深さを見てみると、レバー幅  $70 \mu\text{m}$  のものが最も深く、次いで  $90 \mu\text{m}$ ,  $50 \mu\text{m}$  と浅くなっている。これは、

レバー先端に装着したダイヤモンド切れ刃の高さが異なり、 $70 \mu\text{m}$  のレバーが最初に加工を開始したためと考える。加工面のあらかさについては、レバー剛性の低いものほど良好な加工面が得られている。加工後のダイヤモンド切れ刃を観察したところ、摩耗やチッピングは観察されなかった。

今後は、ダイヤモンド切れ刃の高さを揃え、切れ刃先端が一直線上に配置されたマルチカンチレバーの作製方法と、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。

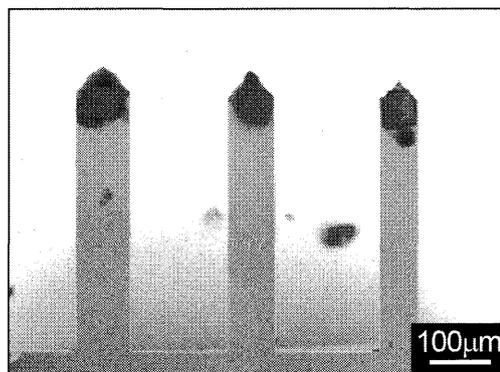


図4 作製したマルチカンチレバー  
(レバー幅：左から  $90 \mu\text{m}$ ,  $70 \mu\text{m}$ ,  $50 \mu\text{m}$ )

	レバー幅： $90 \mu\text{m}$	レバー幅： $70 \mu\text{m}$	レバー幅： $50 \mu\text{m}$
観察像			
断面形状			
	加工面あらかさ： $116 \text{nm}$	加工面あらかさ： $80 \text{nm}$	加工面あらかさ： $28 \text{nm}$

図5 加工痕の観察

#### 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、旋削加工実験を行ったところ、切削抵抗の軽減の効果が認められた。また、加工能率の向上を図る目的として、レバーを複数本有する加工用マルチカンチレバーを作製し面加工実験を行ったところ、同時加工が可能であり、レバー剛性の違いにより、異なる加工面性状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21年度科学研究費補助金基盤研究(B)および(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。