

平成21年 5月29日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19560110  
 研究課題名（和文） マイクロダイヤモンド工具の高精度化と実用化に関する研究  
 研究課題名（英文） Study on Micro Diamond Tool with High Accuracy  
 研究代表者  
 高野 登（TAKANO NOBORU）  
 富山大学・大学院理工学研究部（工学）・助手  
 研究者番号：60251881

## 研究成果の概要：

本研究は、各種の極微細加工用の高精度ダイヤモンド工具の開発とマイクロ・ナノスケール加工への実用化を目的としている。まず、シリコンモールド作製技術と、ダイヤモンド CVD 技術を駆使して、高精細のダイヤモンド切れ刃を作製し、それを工具シャンクに高強度で精度よく装着するマイクロ工具作製装置を構築した。また、作製したダイヤモンド工具の切れ刃形状を集束イオンビームにより変化させ、適切な工具形状について検討した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 生産工学・加工学

キーワード：極微細加工、マイクロダイヤモンド工具、高精度化

## 1. 研究開始当初の背景

超精密加工技術の発展にともない、ナノメートルオーダーの機械加工技術が求められている。これを達成するためには、工作機械の高精度化とともに、切削工具の高精度化が必須である。工作機械については運動精度をナノメートルオーダーで実現する実用技術が存在するが、切削工具の形状精度についてはマイクロメートルオーダーが限界とされている。これは切削工具、とくに高精度な単結晶ダイヤモンド工具の製造工程が、高度の熟練を要する研磨加工技術に依存している

からである。

一方、研削工具に関しては、切れ刃となる砥粒の形状や分布が不規則であるため、加工精度・誤差要因の理論的分析を困難なものにしている。また、研削メカニズムの実験的かつ基礎的解明には、砥粒形状と配列を制御した工具が有効であると考えられる。現在、切れ刃の形状と配列を制御した工具の提案は国内外でいくつか行われており、超精密加工機を用いて成形した超硬部材に DLC コーティング処理した工具、集束イオンビーム加工により作製したダイヤモンド工具、レーザ加工に

より作製したダイヤモンド工具、結晶異方性エッチングにより作製したシリコン多刃工具などが提案されているが、いずれも実用に至っていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、極微細加工に有用なダイヤモンド工具の高精度化と生産性の向上を図るため、専用の工具作製装置の開発とマイクロ・ナノスケール加工への応用化を目的とする。具体的には、ダイヤモンドアレイ工具から形状精度よく切れ刃を抽出し、それをシャンクあるいはレバーに高強度で装着する手法を確立するとともに、切れ刃とシャンクあるいはレバーとを高精度で位置決め可能なステージやセンサを具備した工具作製装置を構築することを第一の目標とする。また、試作したシステムで工具を作製し加工実験を通じて工具の性能評価を行い、工具精度を向上させること第二の目標とする。さらに、精度を高めた工具を用いてマイクロ・ナノスケールの機械加工を行い、極微細加工の可能性について検討するとともに、工具の実用化を図ることを第三の研究目標とする。

## 3. 研究の方法

(1) ダイヤモンドアレイ工具から任意に切れ刃を抽出し、それをシャンクに高強度で装着する手法を確立する。図1は、マイクロミリング工具の作製工程の概略である。これらの工程において、工具の高精度と量産化に大きな影響を及ぼすのは、ダイヤモンド切れ刃の抽出と切れ刃のシャンクへの装着である。そこで、精度よく高強度で切れ刃をシャンクに接合させるため、その作製装置を開発する。

(2) 従来のダイヤモンド切れ刃は、単結晶シリコンの結晶異方性エッチングによるモールドを用いて作製していたため、切れ刃形状に制限があった。そこで、より汎用的な加工

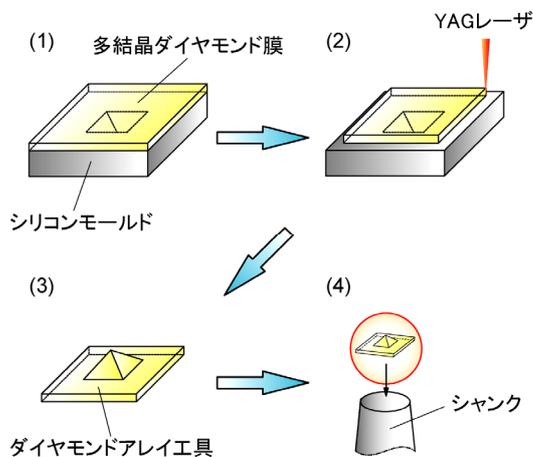


図1 マイクロミリング工具作製工程

を実現するため、反応性イオンエッチング (RIE) 加工装置や集束イオンビーム (FIB) 加工装置を用いてダイヤモンド切れ刃の作製を行う。

(3) 試作した装置で作製したマイクロミリング工具で加工実験を行い、開発したマイクロダイヤモンド工具の形状や加工条件が被削性に及ぼす基礎データを収集する。得られたデータを基に、より最適な形状の工具を作製し、マイクロ・ナノスケールの形状加工を行い、工具の高性能化を図る。

## 4. 研究成果

### (1) マイクロ工具作製装置の開発

マイクロミリング工具は、ダイヤモンド切れ刃を超硬シャンク端面に装着して作製する。このとき、精度よく高強度で切れ刃をシャンクに接合させるため、その作製装置を開発した。

図2は、試作したマイクロ工具作製装置の概略で、工具位置を観察するための CCD カメラ、高精度な位置決めを行うための X ステージ、超硬シャンクを保持するためのシャンクホルダ等から構成されている。

CCD カメラ (ソニック社製デジタルマイクロスコープ BS-D8000Ⅲ) は、パソコンモニター上でライン描画・計測が可能である。ズームレンズは 50~320 倍の倍率領域で、主軸光線が物体側、像側ともにレンズ光軸に平行で画角が限りなく  $0^\circ$  に近いため、対象物が上下しても寸法変動や位置変位がなく、高精度なモニタリングが可能である。描画、計測の分解能はともに  $1\mu\text{m}$  である。

高精度 X ステージ (日本トムソン社製ナノリニア NT) は、最大ストローク  $65\text{mm}$ 、分解能  $0.1\mu\text{m}$ 、繰り返し位置決め精度は  $0.5\mu\text{m}$  であり、工具取付け装置の位置決めステージ

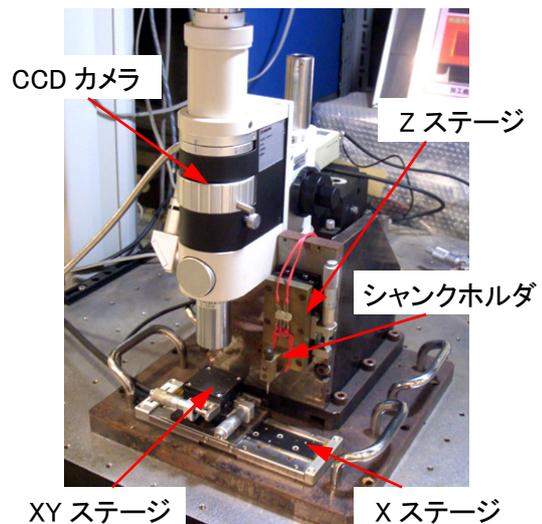


図2 マイクロ工具作製装置

として最適である。ステージは、ドライバを介し、パソコンにより制御する。ステージの位置は、エンコーダを介し、ステージ位置をリアルタイムで読み取り、フィードバック制御を行う。そのため、外力、振動による位置のずれを常に補償する。

シャンクホルダは、平行バネと一体型とした。ダイヤモンド切れ刃は非常に微小であるため、シャンクと工具の接触を、平行バネに取り付けたひずみゲージで検出する。平行バネを用いることにより、定圧の荷重を加えながらの接着が可能となる。ひずみゲージは平行バネの各両面に貼り付け 4 ゲージ法とし、最小 0.5mN の接触を検知可能である。

作製したマイクロミリング工具の精度を評価するため、工具取付け装置に搭載されている CCD カメラで工具正面から観察し、描画・計測機能により、シャンクの中心を点 A、切れ刃先端を点 B とし、偏心量（距離 AB）を測定した。

図 3 は、偏心量と工具本数とのヒストグラムである。偏心量が 3 $\mu$ m 以下は 14 本、6 $\mu$ m 以下は 23 本、9 $\mu$ m 以下では 29 本と全 37 本中 80% も占めた。したがって、本装置を用いることにより、非常に高精度なダイヤモンドツールの作製が可能であった。また、目標位置を任意に軸心から偏心させることや、切れ刃の取付け角を任意に変化させることも可能となり、種々の形状のマイクロダイヤモンド工具が作製できる。

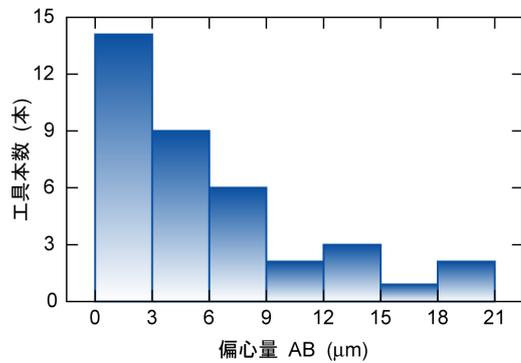
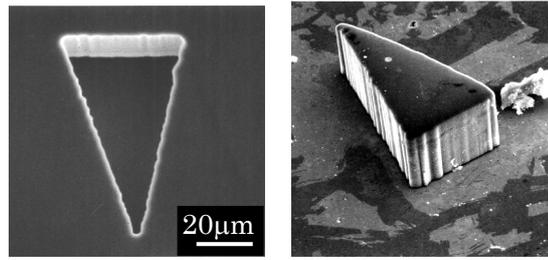


図 3 工具偏心量の分布

(2) FIB によるダイヤモンド工具の作製

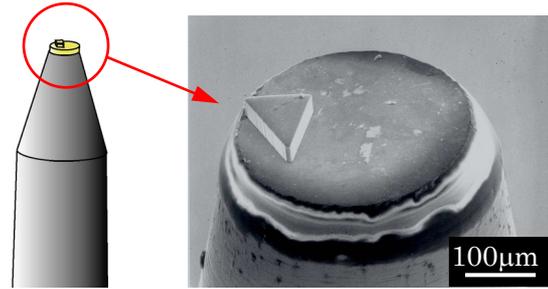
従来のダイヤモンド切れ刃は、単結晶シリコンの結晶異方性エッチングによるモールドを用いて作製していたため、切れ刃形状に制限があった。そこで、より汎用的な加工を実現するため、反応性イオンエッチング (RIE) 加工装置や集束イオンビーム (FIB) 加工装置を用いてダイヤモンド切れ刃の作製を行った。

図 4 は、RIE により作製した三角柱状のシリコンモールドと、そのモールドから作製したダイヤモンド切れ刃の SEM 写真である。



(a) モールド (b) 切れ刃

図 4 シリコンモールドと切れ刃



(a) 模式図 (b) 切れ刃部

図 5 ダイヤモンド工具

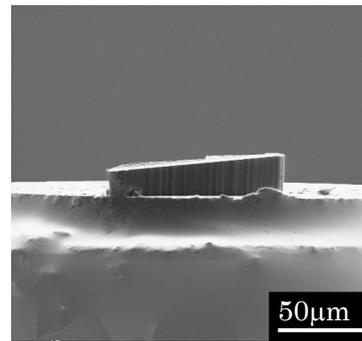


図 6 FIB 加工後の切れ刃

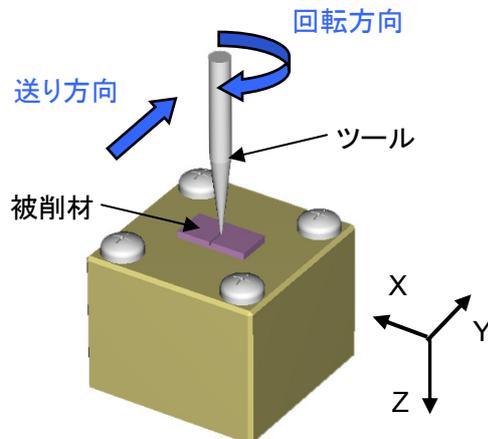


図 7 加工実験の概略

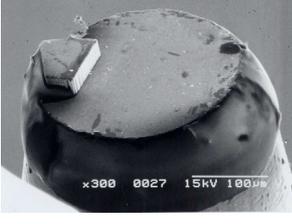
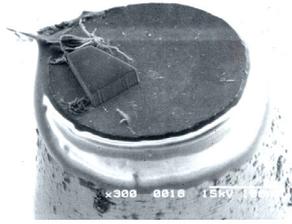
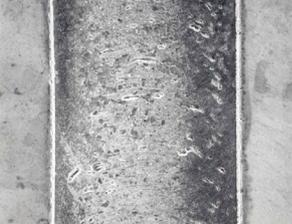
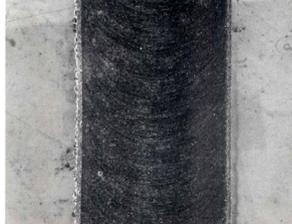
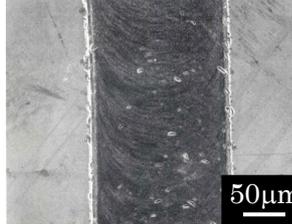
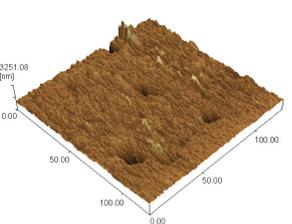
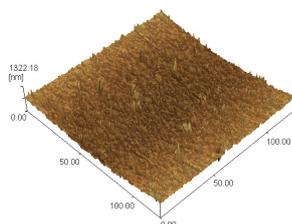
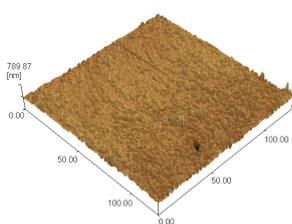
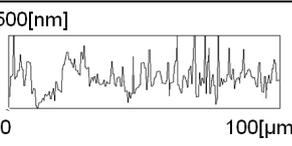
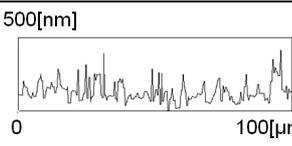
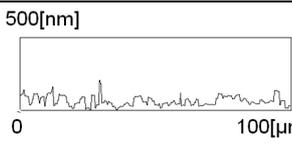
	工具 A (逃げ角 0°)	工具 B (逃げ角 5°)	工具 C (逃げ角 5°)
工具			
加工溝			
AFM 観察像			
あらかさ	 Rz = 544nm	 Rz = 314nm	 Rz = 143nm

図 8 各種ダイヤモンド工具と加工溝

この切れ刃の高さは  $30\mu\text{m}$  で、モールドの深さと一致しており、また形状も正確に転写していた。

レーザ加工機により、この切れ刃を中心として直径  $300\mu\text{m}$  の大きさに切り出し、これを前述のツール作製装置により、超硬シャンク端面に装着した。

図 5 は、作製したダイヤモンド工具の模式図と切れ刃部の SEM 写真である。シャンク端面に精度よくダイヤモンド切れ刃が装着されていることがわかる。

この工具でミリング加工を行うとき、切れ刃底面の面積が大きいため、非常に大きな負荷がかかると予想される。そこで、FIB を用いて、シャンク先端に装着したダイヤモンド切れ刃の加工を行うことにより逃げ角を設け、加工時の抵抗の低減を図った。

図 6 は、FIB により、 $5^\circ$  の逃げ角を設けたダイヤモンド切れ刃の SEM 写真で、精度よく加工できていることがわかる。

作製したダイヤモンド工具を回転工具として、溝加工実験を行う。図 7 は、加工実験の概略である。実験は、立型マシニングセン

タ (松浦機械製作所社製 FX-5) に、高速スピンドル (ナカニシ社製 HES800) を取付け、主軸回転数  $20000\text{rpm}$ 、送り  $1\text{mm}/\text{min}$ 、切込み  $5\mu\text{m}$  で行った。被削材は、単結晶シリコンを試料台にろう付けして固定した。工具と被削材の接触点の観察および加工時の観察は、CCD カメラで行った。また、装置に取付けられた 3 成分フォースセンサ (キスラー社製 9317B) を用いて切削抵抗を測定した。加工実験後、工具と被削材の加工面の SEM 観察を行った。

図 8 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 観察像と、加工面の AFM 観察像およびあらかさ Rz である。工具 A は逃げ角  $0^\circ$  の四角柱形状の切れ刃、工具 B は逃げ角  $5^\circ$  の四角柱形状の切れ刃、工具 C は逃げ角  $5^\circ$  の三角柱形状の切れ刃を有している。加工面観察像およびあらかさをみると、工具 A、工具 B、工具 C の順に滑らかな加工面になっている。加工溝幅は工具 A で約  $226\mu\text{m}$ 、工具 B で約  $196\mu\text{m}$ 、工具 C で約  $183\mu\text{m}$  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9は、各種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する。

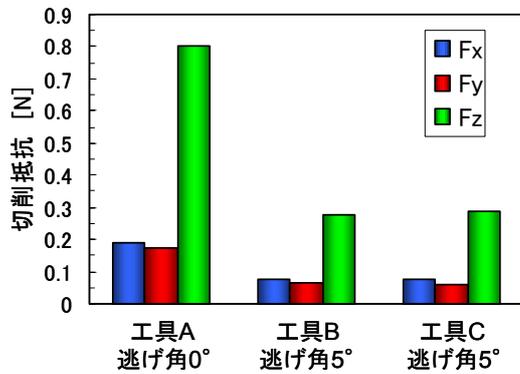


図9 各種工具の切削抵抗

## 5. 主な発表論文等

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

高野 登 (TAKANO NOBORU)

富山大学・大学院理工学研究部 (工学)・  
助手

研究者番号：60251881

#### (2) 研究分担者

森田 昇 (MORITA NOBORU)

富山大学・大学院理工学研究部 (工学)・  
教授

研究者番号：30239660

山田 茂 (YAMADA SHIGERU)

富山大学・大学院理工学研究部 (工学)・  
准教授

研究者番号：00174714

#### (3) 連携研究者