
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・作製した。また、作製した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。さらに、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。今年度は、工具製作時間の短縮と工具精度の向上を図るため高緻密ダイヤモンド CVD 成膜装置の開発を行った。また、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。

2 ダイアモンド CVD 成膜装置

本プロジェクトの基幹技術である多結晶ダイヤモンド CVD は、共同研究企業である株式会社不二越で行っており、これまでの研究を通してマイクロ・ナノスケール加工のダイヤモンド工具として十分な強度や耐摩耗性が認められた。しかしながら、常時成膜可能でないため、ダイヤモンド工具の作製には数ヶ月を要することもある。そこで、ダイヤモンドの成膜を随時可能にするため、ダ

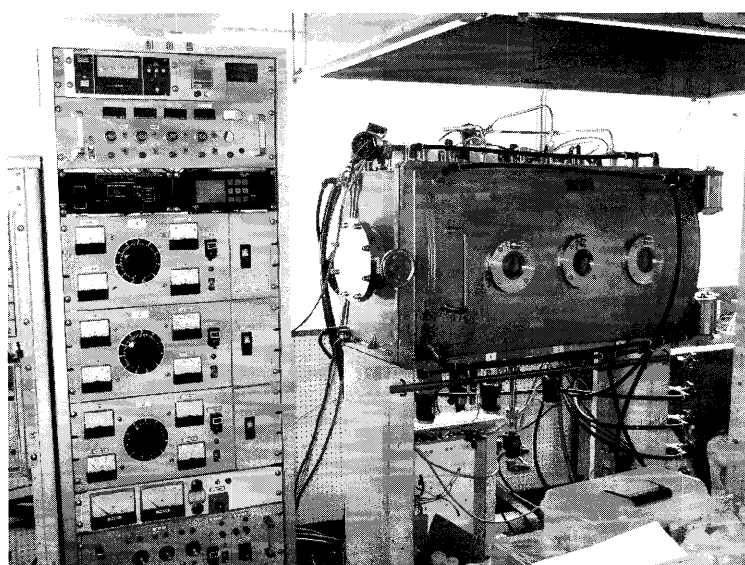


図1 ダイアモンド CVD 成膜装置

ダイヤモンド CVD 成膜装置の開発を行った。

図 1 は、開発したダイヤモンド CVD 成膜装置の概観である。本装置は、成膜を行うチャンバー、フィラメント電流を調節する制御盤、安定した電力を供給する電源、水素およびメタンガス供給ボンベから構成されている。ダイヤモンドの成膜は、超硬丸棒（直径 ϕ 3mm、長さ 40mm）に対して、試料温度 820~900 $^{\circ}$ C、フィラメント電流 30~50A、成膜時間 10h、メタン濃度 0.5~1%の条件で熱フィラメント法により行った。

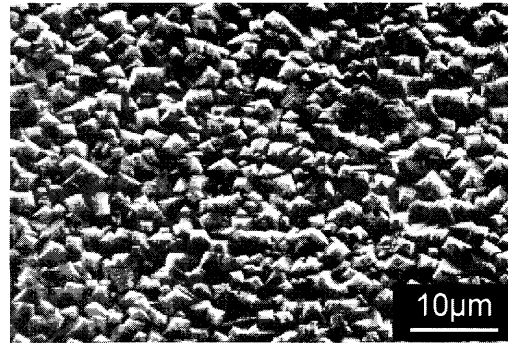
図 2 は、各試料温度におけるダイヤモンド CVD 膜の表面 SEM 観察像である。試料温度が高くなるにともない、ダイヤモンド粒径が大きくなっていることがわかる。また、試料温度が 900 $^{\circ}$ Cのものは粒径が大きだけでなく、成膜後すぐにはがれてしまった。これまで行ってきたシリコンモールドを使ったマイクロダイヤモンドチップの作製において、半径が数十~数百ナノメートルオーダーのシリコンモールド先端に緻密な膜を形成するためには、ダイヤモンドの粒径は小さいことが望ましい。したがって、成膜時の試料温度は 820 $^{\circ}$ Cが適当であると考えられる。成膜速度は、現状では 1 μ m/h であり、不二越社製のものと同程度であった。今後は、より高速度で成膜可能な条件について検討を行っていく。

3 加工用 AFM 多刃カンチレバー

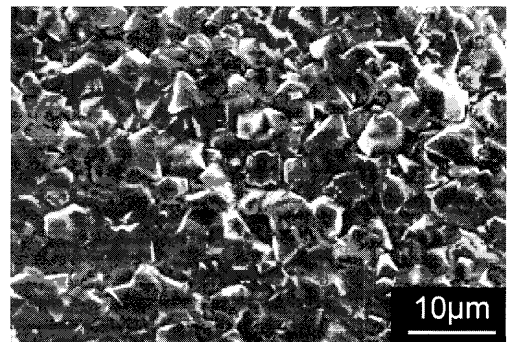
本研究で提案する加工用 AFM 多刃カンチレバーは、任意の位置に切れ刃を配置することによる加工範囲の拡大、一度の加工で各切れ刃をオーバーラップさせることによる加工溝深さの増加といった効果が期待できる。

図 3 は、加工用 AFM 多刃カンチレバーである。レバー先端に 5 つの四角錐形状のダイヤモンド切れ刃が規則正しく並んでいることが観察される。

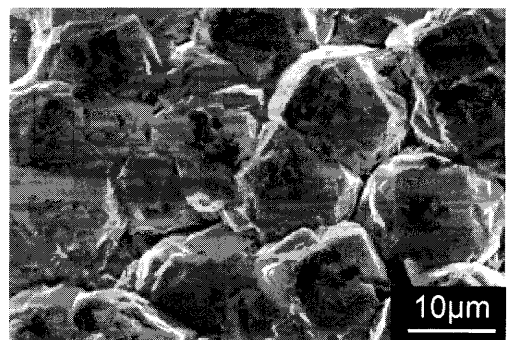
作製した加工用 AFM 多刃カンチレバーを AFM に装着し、加工性を評価した。被削材は Ni-P めっきである。荷重は 1720 μ N 一定とし、加工方向をレバー長手方向とした。また、切れ刃の先端間の距離が 22 μ m であることから、各切れ刃によるオーバーラップ加工時には、加工ピッチを 2 μ m とした。面



(a) 試料温度 : 820 $^{\circ}$ C



(b) 試料温度 : 850 $^{\circ}$ C



(c) 試料温度 : 900 $^{\circ}$ C

図 2 ダイヤモンド CVD 膜の表面観察像

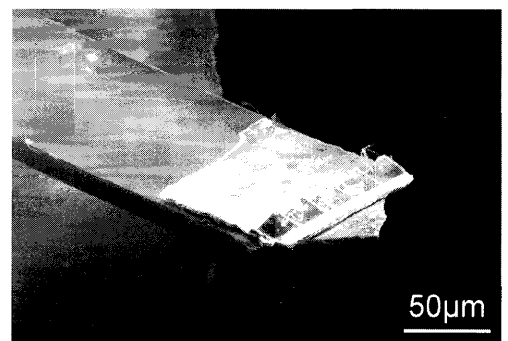


図 3 加工用 AFM 複刃カンチレバー

加工時には、加工ピッチを 125nm とした。

まず、一度に複数の切れ刃で加工を行うことにより、加工範囲の拡大を試みた。図 4 は、作製した多刃カンチレバーを用いて加工を行った加工溝の SEM 観察像である。図より、レバーに 5 つの切れ刃があるにもかかわらず、3 つの切れ刃しか加工に寄与していないことがわかる。これは、5 つの切れ刃中、両端の切れ刃の高さが中央のものよりも低いためと考える。各加工溝の深さを AFM により測定したところ、その差異は数十 nm と非常に小さかった。これより、作製した加工用 AFM 多刃カンチレバーは、一度に広い範囲を加工することができる。

つぎに、各切れ刃によるオーバーラップ加工を行うことによる加工溝深さの増加を試みた。図 5 はオーバーラップさせて加工を行った加工溝の SEM 観察像である。図中、①と⑤は 1 回のみ、②と④は 2 回、③は 3 回オーバーラップさせた部分である。各部分の断面形状を AFM により測定したところ、③の溝断面形状は、①のそれと同様の形状が観察された。また、オーバーラップの回数が増えると、加工溝深さが増加していた。以上のこと結果から、正確なオーバーラップ加工により、加工深さの増加を図ることができる。

図 6 は、加工ピッチのみを小さくして図 5 と同様の加工条件で面加工を行ったときの SEM 観察像である。図中の○数字は図 5 のオーバーラップ回数に一致する。図より、オーバーラップ回数の増加とともに加工面があらくなっていき、断面の観察でも深さの増加はみられなかった。これに関しては、今後詳細な検討が必要である。

4 おわりに

本プロジェクトでは、高緻密なダイヤモンド CVD 成膜装置と加工用 AFM 多刃カンチレバーの開発を行った。前者では、成膜時間の高速化について今後検討する必要があるものの、緻密な多結晶ダイヤモンド膜を成膜することができ、ダイヤモンド工具の精度向上に貢献する。後者では、切れ刃の多刃化により加工範囲の拡大や、加工箇所をオーバーラップさせることにより、均一な深さの加工が可能であった。今後、実用化に向けて性能を向上させることにより非常に有用なツールとなりうる。

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。

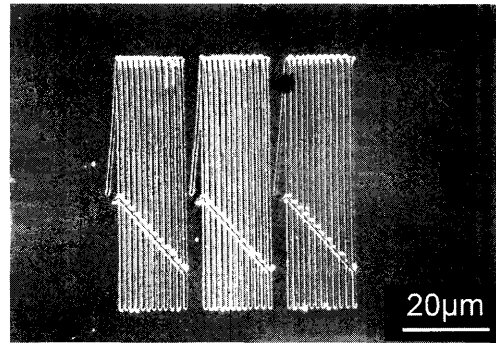


図 4 多刃カンチレバーによる加工

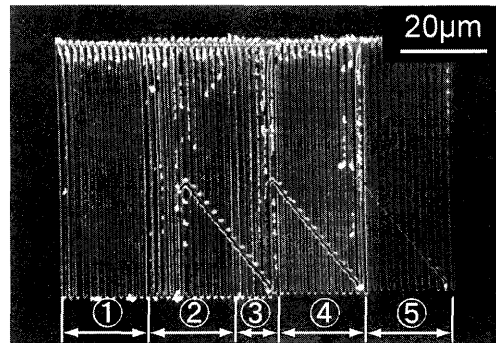


図 5 オーバーラップ加工

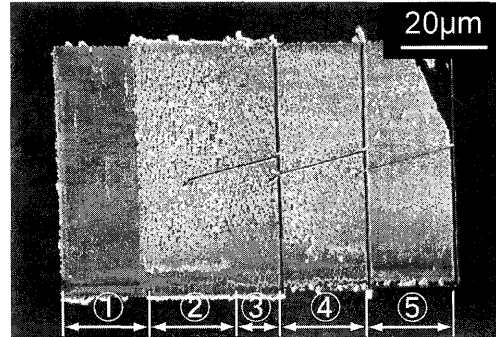


図 6 面加工

また本研究の一部は、平成 19 年度科学研究費補助金萌芽研究ならびに基盤研究 (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：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
- 3) 特許出願／発明の名称：加工用カンチレバー
出願手続中

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多機能型ダイヤモンドツールとマルチ切れ刃カンチレバーの高精度化を行い，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。