

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 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。前年度は、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。今年度は、精度の高い微細加工を実現するため、工具の高精度化について検討を行った。

2 加工用カンチレバーへの適用

2.1 ダイヤモンド一体型カンチレバーの提案

前年度作製した加工用 AFM カンチレバーは、単結晶シリコンに対して優れた加工特性を有することを示した。今年度は、より高精度な微細加工を実現するため、レバーと切れ刃を同一プロセスで作製することにより、切れ刃先端位置と形状の安定化を図ったダイヤモンド一体型カンチレバーの開発を行った。

本研究で提案するダイヤモンド一体型カンチレバーは、単結晶シリコンの異方性エッチング技術とダイヤモンド CVD 技術、そしてダイヤモンドの反応性イオンエッチング (RIE) 技術を駆使して作製される。図 1 は、その作製工程の概略である。

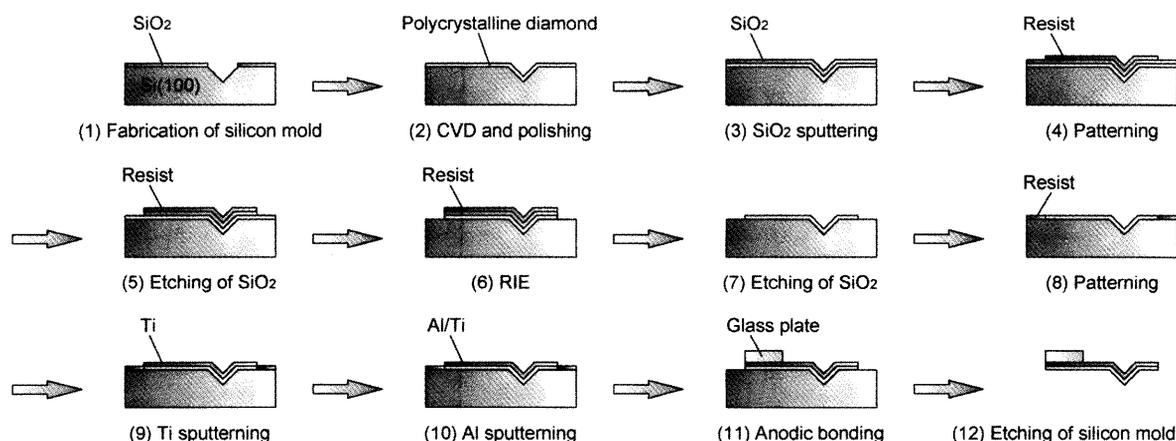


図 1 ダイヤモンド一体型カンチレバーの作製方法

2.2 ダイヤモンド一体型カンチレバーの作製

加工用 AFM カンチレバーを用いてシリコンウェハに対して微細加工を行う場合、必要な垂直荷重は $1\sim 1000\mu\text{N}$ 程度である。このときレバーに要求されるバネ定数は数百 N/m である。このバネ定数は、レバー部のマスクパターンによって決定される。そこで、マスクパターンについて検討を行った。

レバー部の長さを l 、幅を a 、厚さを t とすると、たわみ剛性 k_b は、 $k_b = E a t^3 / 4l^3$ で与えられる。ここで、 E は多結晶ダイヤモンドのヤング率で、 $E = 1050 \text{ GPa}$ とした。図 2 は、 l および a を変化させたときの膜厚 t に対するたわみ剛性の変化である。図から、たわみ剛性は数十 N/m から 1 万数千 N/m の値をとることがわかる。本研究では、シリコン以外の種々の材料に対しても本工具の利用を可能にするため、 $18\text{mm} \times 18\text{mm}$ のシリコンウェハ 1 枚から、図中 A から F の全ての形状のレバーを一度に作製できるようなマスクパターンとした。

図 3 は、試作したダイヤモンド一体型カンチレバーである。切れ刃とレバーは一体となっており、また、切れ刃先端もレバー中心軸上に位置している。

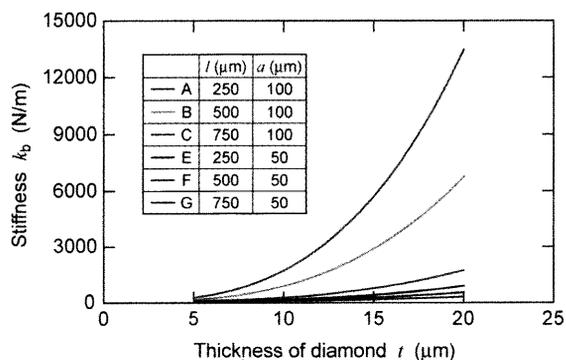


図 2 膜厚とたわみ剛性

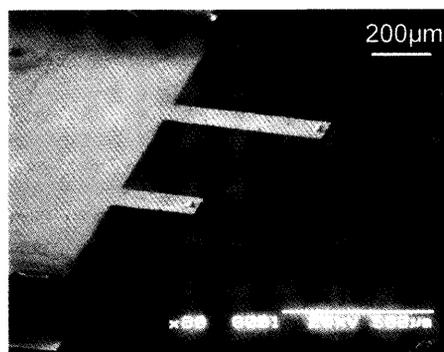


図 3 試作したダイヤモンド一体型カンチレバー

3 マイクロミリング工具への適用

3.1 高精度マイクロミリング工具の作製

工具精度を高めるため専用の工具取り付け装置を作製し、ダイヤモンド切れ刃とシャンクをマイクロメーターオーダーの精度で位置決めしたマイクロミリング工具を作製した。図 4 は、工具取り付け装置を用いて作製したマイクロミリング工具である。

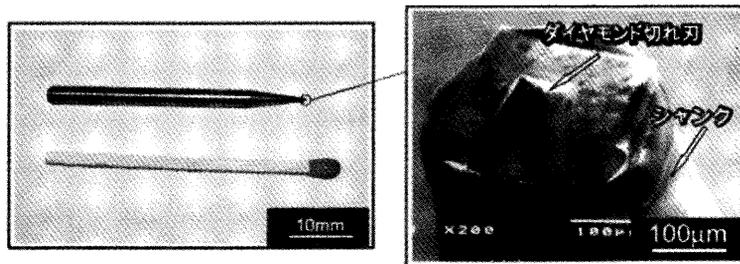


図 4 マイクロミリング工具

3.2 マイクロ加工への応用

開発した高精度マイクロミリング工具の加工評価を行うため、金属ガラスの細溝加工を行った。用いた工具は偏心量 $3\mu\text{m}$ で、加工条件は、主軸回転数 40000rpm 、送り速度 5mm/min である。加工機は、高精度マシニングセンタ (CITIZEN 製 cincomNF4) を使用した。

図 5 は、細溝加工痕の SEM 観察像である。同図左のように、一定量切り込んで直線溝を加工し、その終端で 1 辺が $40\mu\text{m}$ の正形状の加工を行った。バリも少なく、一定幅の細溝加工が可能であ

った。また同図右より、加工底面には工具の送りマークが正確に転写されていることも確認された。

図6は、共晶点顕微鏡による正方形状の加工痕とその断面を観察像である。断面プロファイルを見ると、溝深さ1.4 μm 、溝幅18 μm であった。工具偏心量3 μm と小さいにもかかわらず溝幅が18 μm となったのは、工具のスピンドルへの装着時の偏心や、スピンドル自身の振れのためと考える。これらの問題を改善することにより、ナノフライス工具を用いて、より細かい溝加工が可能になると考える。

次に、3次元形状加工を目的として、金属ガラスの階段形状の加工を行った。用いた工具は偏心量69 μm で、加工条件は、主軸回転数40000rpm、送り速度20mm/min、加工機は前述の高精度マシニングセンタを用いた。

図7は、階段形状のSEM観察像である。3段の微細な階段形状の加工が可能であった。

図8は、共焦点顕微鏡観察像である。断面プロファイル測定から、階段形状は、ステップ幅はほぼ10 μm であるのに対し、深さは約6.5 μm となり、設定切り込み量より30%大きかった。

いずれの加工実験においても工具の破損や加工中の切れ刃の脱落はなく、微細加工用工具として十分な切れ刃強度と接合力があると考えられる。

4 おわりに

本プロジェクトでは、加工用AFMカンチレバーおよびマイクロリング工具の高精度化について検討した。加工用ダイヤモンド一体型カンチレバーに関しては、切れ刃とレバーを同一プロセスで作製することにより、切れ刃位置の精度の高い工具の作製が可能であった。また、マイクロリング工具に関しては、専用の工具取り付け装置を用いることにより、非常に精度の高い工具が作製できた。さらに、作製したマイクロリング工具を用いて細溝加工や階段形状加工を行い、精度の高い加工を実現するとともに、工具強度についても十分であることを示した。今後は、工具の信頼性を高めるとともに、ダイヤモ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。

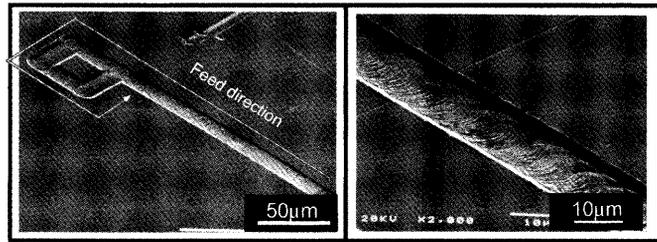


図5 細溝加工痕のSEM観察像

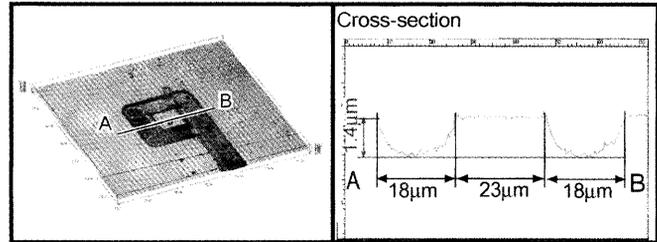


図6 細溝加工痕の共晶点顕微鏡観察像



図7 階段形状加工痕のSEM観察像

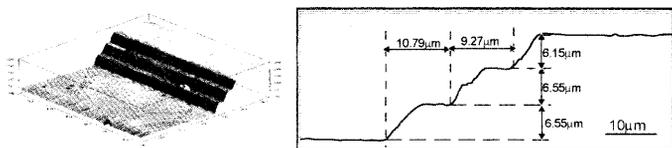


図8 階段形状加工痕の共晶点顕微鏡観察像

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」の補完コンソーシアムに活用し、さらに実用性と汎用性の高い工具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 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)、平成 17 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：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) N. Kawasegi, N. Takano, N. Morita, S. Yamada, K. Kanda, S. Takano and T. Obata: Nanomachining by cantilever with Diamond Tip Using Atomic Force Microscopy, Processings of 2nd JSME/ASME International Conference on Materials and Processing 2005.
- 2) N. Kawasegi, N. Takano, D. Oka, N. Morita, S. Yamada, K. Kanda, S. Takano, T. Obata and K. Ashida: Nanomachining of Silicon Surface Using Atomic Force Microscope with Diamond Tip, ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering, 採録決定.
- 3) 川堰宣隆, 深瀬達也, 高野 登, 森田 昇, 山田 茂, 大山達雄, 神田一隆, 高野茂人, 小幡 勤, 芦田 極: 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 2 報) - 任意切れ刃を持った加工用カンチレバーの作製 -, 精密工学会誌, 投稿中.

5.3 新聞報道

- 1) 芦田 極, 森田 昇, 高野 登, 日刊工業新聞, 2006.3.14 刊.
- 2) 芦田 極, 森田 昇, 高野 登, 日経産業新聞, 2006.3.14 刊.

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。