

氏 名	南 和 幸
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学位授与年月日	平成 6 年 7 月 13 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 60 年 3 月 東北大学大学院工学研究科機械工学 専攻前期課程 修了
学 位 論 文 題 目	マイクロシステムのための三次元微細加工に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 江刺 正喜 東北大学教授 羽根 一博 東北大学教授 加藤 康司

論 文 内 容 要 旨

本研究は、マイクロセンサ、マイクロアクチュエータ、それらを結合させたマイクロシステムの実用化、高機能化を図るため、従来の立体的微細加工技術では製作不可能であった構造体を作製するための、新しい三次元微細加工技術を開発することを目的に行われたものである。

第 1 章 緒 論

本章では、本研究の社会的な位置付けと本論文の概要を述べている。

第 2 章 マイクロシステム製作における従来の微細加工技術の限界

本章では従来の微細加工技術、ならびに従来の微細加工技術により作製されてきた立体的なマイクロセンサ、マイクロアクチュエータについて概観した。そして、マイクロセンサ、マイクロアクチュエータの持つ限界、あるいは将来マイクロセンサとマイクロアクチュエータを有機的に結合させたマイクロシステムを作製する場合に必要なとされる微細加工技術を提示し、従来の加工技術では作製できる加工形状に制限があり、マイクロシステムを作製するためには新たに三次元的な微細加工技術を開発することが必要であることを示した。

具体的には、マイクロシステムの作製に必要なとされる三次元微細加工技術を、集束ビームにより逐次加工を行う 1) 三次元描画加工と、パターン転写により一括で加工する 2) 三次元転写加工に分類し、本研究でのアプローチの仕方を以下のように示した。

1. 三次元描画加工

(1) 三次元構造体の局所高速エッチング

すでに立体的な構造を持つ微小構造体の高速局所切断技術であり、微小構造体の分離や立体的微小構造体にさらに微小構造を作製するのに用いることが出来る。本研究では、レーザーアシストエッチングの適用を試みた。

(2) 三次元構造体上の配線パターンニング

立体的構造体上、たとえば微小構造体上の斜面や局面に金属配線を施す技術であり、立体的に集積したセンサやアクチュエータの電氣的接続に使用できる。本研究では、エキシマレーザーによるポリマーのアブレーションを利用した技術と、レーザー CVD を用いた技術の二つの技術の開発を試みた。

2. 三次元転写加工

(1) シリコン結晶軸異方性エッチング中のインプロセスダイアフラム厚モニタリング

シリコン結晶軸異方性エッチング中において、インプロセスでシリコンダイアグラム厚を計測する技術で、薄いシリコンダイアフラムを正確に形成することが出来る。本研究では、光の繰り返し反射干渉を用いた計測技術の適用を試みた。

(2) シリコンの高アスペクト比一括エッチング

シリコンに任意形状の垂直で非常に深い、高アスペクト比を持つ溝を形成する技術で、加速度センサ、マイクロアクチュエータの構造体など、適用できる構造体は多い。本研究では、低温で RIE (反応性イオンエッチング) を行うことにより、シリコンウェハの貫通エッチングを試みた。

(3) パターン投影による選択的デポジション

本技術は、フォトリソグラフィ技術を用いずに、多層積層構造体を作製する技術で、積層型静電アクチュエータなどの新しいアクチュエータの実現に果たす役割は大きい。本研究では、パターン投影によるレーザー CVD を適用し、特に高速化を図るため、低温凝縮層を用いた手法によりシリコン酸化膜の高速形成を試みた。

第3章 三次元描画加工

1. 三次元構造体の局所高速エッチング

医療分野で用いられているカテーテルに、触覚センサやマイクロアクチュエータを集積化した高機能カテーテルを加工モデルとして取り上げ、エキシマレーザーアブレーションを用いて、直径 1.8mm のカテーテルの先端に触覚センサ構造体を作製することを目指して、基本的な加工特性などの検討を行い、作製を行った。

また、シリコンの局所加工として、Nd : YAG レーザーと HCl, NF₃ ガスを用いた大気圧下のレーザーアシストエッチング技術を開発し、加速度センサ、角速度センサ、赤外線センサなど実際のデバイス作製に適用し、デバイス作製に適用する場合の注意点と、その有用性を確認し

た。

2. 三次元構造体上の配線パターンニング

第一の方法として、パリレンと呼ばれる気相堆積の可能なポリマーとエキシマレーザーアブレーションを用いたプロセスを種々考案し、加工検討を行った。結果として、直径 $250\mu\text{m}$ の酸化シリコンをコーティングした針金上に幅 $15\mu\text{m}$ のNi配線パターンを作製することが出来た。

第二の方法として、カテーテル上にエキシマレーザーと $\text{Cr}(\text{CO})_6$ を用いたCrのレーザーCVDにより、金属配線を形成することを試みた。形成したCrは膜質が悪く導電体として使用することが出来ないため、Cr堆積膜をマスクとして下地金属をパターンニングするプロセスを考案した。図1に直径 1.8mm の高機能カテーテルの側壁に、幅 $17\mu\text{m}$ のNi配線パターンを作製した例を示す。

以上のように、円筒面上に金属配線パターンを作製できる技術を開発した。この技術は、原理的に球面などの曲面上にも配線パターンが作製することが出来る。

第4章 三次元転写加工

1. シリコン結晶軸異方性エッチング中のインプロセスダイアフラム厚モニタリング

測定原理は、シリコンダイアフラムでの光の繰り返し反射干渉を利用している。エッチング反応による泡の発生のため、これまでインプロセスでの計測は難しいと考えられていたが、エッチャントとシステムの工夫を行うことによりモニタリング可能であることを示した。モニタリングシステムとして透過型と反応型を製作し、比較検討を行った。図2にシリコンウェハを両側からエッチングして作製したダイアフラムの写真を示す。ダイアフラムの大きさは $6\text{mm}\times 6\text{mm}$ で厚さは $1.7\pm 0.3\mu\text{m}$ である。

2. シリコンの高アスペクト比一括エッチング

エッチングガスとして SF_6 を用いて、基板を冷却して行うRIEの検討を行った。マイクロローディング効果など種々の加工特性を検討した結果、加工できる形状に若干の制約があるものの、ウェハを貫通エッチングすることにより、高アスペクト比の構造体が作製できることを示した。図3に厚さ $200\mu\text{m}$ のシリコンウェハを貫通エッチングした例の断面SEM写真を示す。

3. パターン投影による選択的デポジション

エキシマレーザーと有機シラン原料を用い、基板を冷却して凝縮層を形成することにより高速化を図った。その結果、原料としてヘキサメチルジシラザンを用いることにより、デポジションレート $0.2\mu\text{m}/\text{min}$ という高速で、 $10\mu\text{m}$ ラインアンドスペースパターンを作製することが出来た。

第5章 結 論

本章は、本研究の結論である。

- (1) ポリマーおよびシリコンの立体的構造体の局所エッチング技術を開発し、加速度センサやマイクロアクチュエータの作製などに適用して、その有用性と適用における問題点を明らかにした。
- (2) 立体的構造体表面での金属配線パターンニング技術を開発し、ポリマーおよび針金の円筒面上に幅 $17\mu\text{m}$ のNi配線を作製し、その実用性を示した。
- (3) ウェットエッチング中のシリコンダイアフラム厚モニタリング技術を開発し、厚さ $1.7\mu\text{m}$ のシリコンダイアフラムを形成できた。
- (4) 低温RIE技術により、シリコンウェハを貫通エッチングして、アスペクト比10のシリコン構造体を作製できた。
- (5) 低温凝縮プロジェクションCVDを開発し、シリコン酸化膜のパターンを、 $0.2\mu\text{m}/\text{min}$ の高速で直接形成することが出来た。

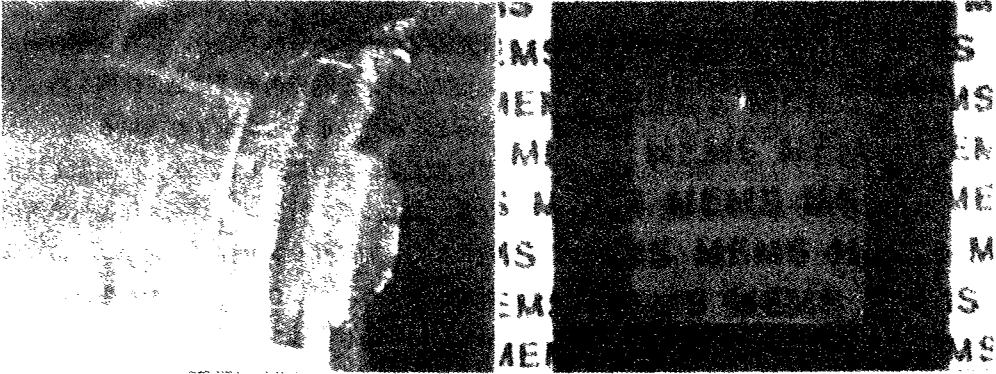


図1

図2

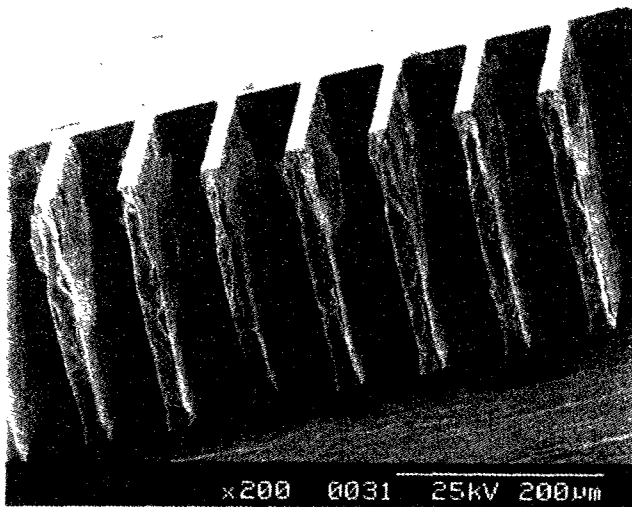


図3

審 査 結 果 の 要 旨

近年、半導体微細加工技術などを基礎とするマイクロマシニング技術により、立体的な構造を持つ圧力センサや加速度センサなどのマイクロセンサが開発されている。また、静電気力を駆動原理とした新しいマイクロアクチュエータの開発も盛んである。しかし、半導体集積回路を作製する本来平面的な技術を立体的加工に適用しているため、従来の技術では作製できる形状に限界があり、この加工上の制約が、高機能で、実用的なマイクロセンサ・マイクロアクチュエータやこれらを集積化したマイクロシステムの実現を阻む壁となっている。

著者は、従来技術では不可能であった立体的加工を行える新たな三次元微細加工技術の研究を進め、描画加工や転写加工の有用な技術を開発すると共に、これらを実際のマイクロシステムの製作に適用した。

本論文はこれらの成果をとりまとめたもので全文5章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、マイクロシステムに関する従来の研究成果がまとめられており、これらをもとに従来の立体的微細加工技術が持つ限界と、新たな三次元加工技術の開発の重要性が具体例を持って示されている。さらに、開発すべき三次元微細加工技術と本研究の進め方が示されている。

第3章では、すでに立体的構造体を持っている物に加工を施すのに適した三次元描画加工技術として、レーザー支援プロセスを用いた加工技術の提案、加工の基本特性とデバイス作製への適用の実験的検討結果が述べられている。具体的な応用例として、加速度センサなどのシリコンの立体的構造物、ポリウレタン製血管カテーテル先端の局所エッチング、およびカテーテルと生体用多重電極用金属プローブ表面上への金属配線の作製に適用し、目的通りの加工を施すことに成功している。また、シリコンの局所エッチング技術を各種デバイスの作製に適用しており、デバイス作製に適用する場合の実際的な問題とその解決策が示されている。

第4章では、高アスペクト比構造体を一括で作製する三次元転写加工技術として、3つの加工技術について提案・検討している。第1は光学的測定技術を利用したウェットエッチング中のインプロセスでのシリコンダイアフラム厚モニタリングであり、ウェットエッチング中でのシリコンダイアフラム厚モニタリングが可能であることを初めて実験的に示している。第2は反応性イオンエッチング (RIE) 技術を応用したシリコンの高アスペクト比一括エッチング技術である。これまで明らかにされていなかった RIE での高アスペクト比シリコンウェハ貫通エッチングが、低温下の加工で可能であることを、詳細な実験結果で示している。第3は積層高アスペクト比構造体の作製に必要なレーザー CVD を応用したパターン投影による選択堆積技術であり、酸化シリコン膜を有機シラン原料と基板冷却により通常のレーザー CVD より 1 オーダー速い速度で選択堆積できることが示されている。

第5章は結言である。

以上要するに、本論文は従来不可能であった加工が行える三次元微細加工技術を研究し有用な地見を得ると共に、これにより新しいマイクロデバイスの作製を可能ならしめたものであり、精密工

学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。