

Title	光放射圧を利用した微粒子操作によるマイクロ加工に関する研究
Author(s)	清水, 浩貴
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/42080
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	清 水 浩 貴
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 1 5 4 3 1 号
学位授与年月日	平成12年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科機械システム工学専攻
学位論文名	光放射圧を利用した微粒子操作によるマイクロ加工に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 三好 隆志 (副査) 教授 花崎 伸作 教授 澁谷 陽二 助教授 高谷 裕浩

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、集束レーザー光の持つ光放射圧により発生する pN から nN オーダの微小な力で数マイクロメートルサイズのダイヤモンド砥粒等の誘電体微粒子を捕捉、制御し、それを加工工具と見立てて加工対象に押し付けながら繰り返し表面を走査する事で微細表面除去加工を行う新たな加工法を提案し、その加工法によるマイクロ加工実現の可能性を検証することを目的としたもので、以下の8章から構成されている。

第1章では、本研究の背景についてまとめ、本論文の目的および本論文の概要について述べている。

第2章では従来のマイクロ加工法の長所と短所についてまとめ、それと対比する形で本研究で提案する加工法の特徴について述べている。

第3章では本加工法の基本原理であるレーザートラップ技術の原理についての定性的な説明を行い、この技術を加工に応用する場合の考え方について述べている。

第4章では光放射圧の理論解析と計算機シミュレーションにより粒子に働く力を計算することによって、集束レーザー光のビームウエスト位置、粒子屈折率、対物レンズの開口数等の実験に関わる各種パラメータの変化に対してトラップ力がどのように変化するかを調べ、加工実験に適した実験条件を示している。

第5章では、本加工法を実験的に検証する為に作製した実験装置を用い、レーザートラップされた不定形ダイヤモンド砥粒の運動の基本特性が加工に要求される基本的な特性、すなわち押し付け状態での位置安定性と移動追従性を有している事を示している。続いて、シリコンウエハ表面に対する加工実験を行い、本手法によりナノメートルオーダでの除去加工が可能であることを示し、また、粒子の回転現象が加工現象を促進することを示している。

第6章では球形のシリカ粒子を用いた加工実験を行いダイヤモンドに比べて硬度の低いシリカを用いても加工が可能であることを示している。また、加工液の種類、基板表面の状態、レーザー光の波長等、各種実験条件の変化にともない加工結果がどのように変化するかを調べ、本手法による加工にレーザー光が大きな役割を持つことを示している。

第7章では加工液にコロイダルシリカを使用した加工実験において生じたマイクロ付着加工現象の観察を行い、集束ビームによりコロイダルシリカを凝集させることでマイクロ付加工を行うこと示している。

第8章は本論文の結論であり、本研究で得られた結果を総括して述べている。

論文審査の結果の要旨

機械要素の製作の基本となる微細加工技術として、現在までに、半導体製造技術を加工に応用する方法、従来の機械加工法を高精度化する方法、走査プローブ顕微鏡（STM、AFM等）を用いた原子レベルの加工等が開発されている。これらの手法にはそれぞれに適した分野があるが、現時点ではマイクロ加工の一部、狭い領域がカバー出来ているだけであり、任意の材料を任意の大きさを任意の形状に加工できると言った状況にはない。そこで、従来からの手法の適用可能分野、適用可能範囲を広げる努力を続けるとともに、新たな手法に微細加工法の開発が求められている。

本論文は、集束レーザー光の持つ光放射圧により発生する pN から nN オーダの微小な力で数マイクロメートルサイズのダイヤモンド砥粒等の誘電体微粒子を捕捉、制御し、ナノメートルからマイクロメートルオーダでの微細な表面除去加工を行う新たな加工法を提案し、以下の研究成果を得ている。

- (1) 光線追跡法を用いた理論解析と計算機シミュレーションにより、集束レーザー光の光放射圧により微小球形粒子に発生するトラップ力を計算し、レーザー光のビームウエスト位置、粒子屈折率、対物レンズの開口数等の実験に関わる各種パラメータの変化に対してトラップ力がどのように変化するかを示し、実験に適した条件を求めている。また、ダイヤモンド砥粒を加工粒子に用いた場合、発生する押し付け力が大きくなり、本手法による加工に有効であることを明らかにしている。
- (2) 提案した手法による加工実験装置を製作し、不定形ダイヤモンド砥粒をレーザーでトラップした場合の基本的な運動特性について調べ、トラップされたダイヤモンド砥粒が加工に要求される基本的な特性、すなわち押し付け状態での位置安定性と移動追従性を有している事を確認している。
- (3) 不定形ダイヤモンド砥粒を用いてシリコンウエハ表面に対する加工実験を行い、試料表面に深さ数 nm 幅数 μm 程度の加工痕が発生する事を確認し、本手法によりナノメートルオーダでの除去加工が可能であることを示している。また、不定形の粒子をレーザーでトラップするときに見られる粒子の回転現象が加工現象を促進することを示している。
- (4) 本手法による加工現象のメカニズムを推定するために、不定形の粒子に比べ実験条件をより単純化できる球形のシリカ粒子を用いた実験を行い、ダイヤモンドに比べて硬度の低いシリカを用いても加工が可能であることを示し、加工現象のメカニズムの推定を行っている。
- (5) 加工液の種類、基板表面の状態、レーザー光の波長等、各種実験条件の変化にともない加工結果がどのように変化するかを調べている。その結果、本手法による加工にレーザー光が大きな役割を持つことを示している。
- (6) 加工液にコロイダルシリカを使用した加工実験において生じたマイクロ付着加工現象の観察を行い、本手法により、集束ビームによりコロイダルシリカを凝集させることで幅数 μm 、高さ 50～数百 μm のマイクロ付加工が可能であることを示している。

以上のように、本論文は集束レーザー光により捕捉された数 μm 程度の誘電体粒子を加工工具として用いる新たなマイクロ加工法を提案し、その加工メカニズムを計算機シミュレーション及び検証実験により明らかにし、本手法がマイクロ部品の製造技術に応用できる可能性を示したことは、生産システム工学ならびに機械工学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。