

氏 名 王 榮軍

授与した学位 博 士

専攻分野の名称 工 学

学位授与番号 博甲第3889号

学位授与の日付 平成21年 3月25日

学位授与の要件 自然科学研究科 産業創成工学専攻

(学位規則第5条第1項該当)

学位論文の題目 吸引キャピテーション流を利用した砥粒加工法に関する研究

論文審査委員 准教授 大橋 一仁 教授 塚本 眞也 教授 宇野 義幸

教授 藤井 正浩

### 学位論文内容の要旨

本論文では、噴流に比べてより流動の安定し、なおかつ流動する媒体中の微細砥粒が加工能力を発揮することができる加工法として、スラリーの吸引流にキャピテーションを発生させ、それによって加工を行う吸引キャピテーション援用砥粒加工を提案し、その加工特性を検討することによって、精密加工への利用の可能性を検証している。

本研究では、砥粒加工法に利用するキャピテーション流の発生に二つの方式を提案している。

まず、吸引によりスラリーを工作物表面に沿って流動させ、絞りによって局部的にその流動を制限することによって、絞りより流れの下流域においてキャピテーションを発生させる水平流型キャピテーション発生方式を用いて、ガラス等の基板にマスクを用いるパターンニングによってマイクロ形状を形成する加工技術を開発し、その加工特性を検討するとともに、エッチング法の代替加工技術として実用化することの可能性について検討している。その結果、マスクを設置した基板に対して加工を行うことで、矩形断面あるいは円弧断面形状の微細溝をパターンニングできることを明らかにしている。ガラス基板の表面にパターンニングされた溝の表面粗さはスラリーの砥粒が WA4000 の場合でも数  $\text{nmR}_z$  で他の粒度のスラリーによる加工結果を考慮してもポリッシングと同等の表面精度の得られることを確認している。また、溝深さは加工時間に対して比例関係にあることを検証しており、パターンニングする溝深さの制御が容易であることの裏付けを得ている。さらに、パターンニングプロセスを組み合わせることによって、既存のパターンニング法では得られない段付マイクロ溝や二段マイクロディンプルの特殊な微細形状を基板表面に形成できることを実証しており、これらの加工形状が得られたことから、本加工法は既存の砥粒加工法には見られない加工前の工作物表面に存在する形状を維持したまま表面を一様に後退させる非常に興味深い特性を有していることを解明している。

第6章では、第4章で述べたもう一方のキャピテーション発生方式である反転流型による吸引キャピテーション流を用いて、ガラス基板を広範囲に砥粒加工しようとする場合の基本加工現象を解明し、加工条件による加工特性への影響を実験的に検討している。試作した反転流型吸引キャピテーション援用砥粒加工装置を用いて加工実験を行った結果、スラリーの流入する絞りノズル位置に対して対称に基板表面に加工効果が及ぼされ、微細な窪みが形成されることを明らかにしている。なお、材料除去量の評価においては、基板表面に材料除去量よりも大きい規模で不規則なうねりが存在し、加工された基板表面の形状測定だけでは材料除去量の評価が不可能な場合にも正確な材料除去量を得ることができる手法を開発した。また、材料除去量は、スラリーの流入する絞りノズルの径およびノズルと基板間のクリアランスに影響され、加工領域の中心において最大になるものと中心よりもその周囲において最大になる2つの形態になることを明らかにしている。これら2つの材料除去形態は、基板表面におけるキャピテーション衝撃力の分布と定性的に一致しており、絞りノズルからのスラリー流が基板表面までに到達するまでのキャピテーションの発生形態に支配されることを明らかにしている。すなわち本加工法は、噴射加工の加工領域にみられるスラリーのよどみ点が存在しない状態で加工することが可能であることを示している。

以上のように、本論文では、吸引キャピテーション流を利用した砥粒加工法の有する既存の加工法にはない特徴を実験的に検証し、パターンニングへの適用によって精密なマイクロ形状を形成する新たなマイクロ加工法の一つになりうる可能性を有することを明らかにしている。

## 論文審査結果の要旨

キャビテーションは、その現象の発見からこれまでの1世紀余りにわたって、流体機械の性能低下、エーロジョンあるいは振動や騒音を発生させる原因との認識がなされてきたが、近年ではキャビティがつぶれるときに生じる強い衝撃エネルギーを有効利用する試みがいくつかの分野でなされている。

本論文では、このキャビテーションを精密加工に利用する可能性を実験的に検討している。すなわち、吸引によるスラリーの流動を局部的に制限することによりキャビテーションを発生させ、その衝撃力と流動作用によりスラリー中で遊離状態にあるマイクロ砥粒を基板表面に干渉させる新たな加工法を提案し、この加工法を用いてマスクを設置したガラス等の基板に対して加工を行うことで、矩形断面あるいは円弧断面形状の微細溝をパターンニングできることを明らかにしている。ガラス基板の表面にパターンニングされた溝の表面粗さは、スラリーの砥粒がWA4000の場合でも数nmRzで、他の粒度のスラリーによる加工結果を考慮してもポリシングと同等の表面精度の得られることを確認している。さらに、パターンニングプロセスを組み合わせることによって、既存のパターンニング法では得られない段付マイクロ溝や二段マイクロディンプルの特殊な微細形状を基板表面に形成できることを実証しており、これらの加工形状が得られたことから、本加工法は既存の砥粒加工法には見られない加工前の工作物表面に存在する形状を維持したまま表面を一様に後退させる非常に興味深い特性を有していることを解明している。

以上のように本論文では、吸引キャビテーション流を利用した砥粒加工法にはない特徴を実験的に検証し、パターンニングへの適用によって精密なマイクロ形状を形成したり表面仕上のための新たな砥粒加工法の一つになりうる可能性を有することを明らかにしたものであり、学術上および工業上貢献するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。