

Title	プラズマCVM(Cheical Vaporization Machining)による超精密加工に関する研究
Author(s)	山村, 和也
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3184384
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	山 村 和 也 やま むら かず や
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 1 5 8 5 4 号
学位授与年月日	平成13年1月29日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	プラズマ CVM (Chemical Vaporization Machining) による超精密加工に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 森 勇藏 (副査) 教授 片岡 俊彦 助教授 山内 和人 助教授 遠藤 勝義 助教授 桑原 裕司

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、大気圧プラズマを用いた新しい化学的加工法であるプラズマ CVM により、超高精度光学素子を高能率に作製する技術の体系化を図ることを目的とし、数値制御プラズマ CVM 加工システムの開発、ならびにそれを用いて X 線用平面ミラーを作製した結果についてまとめたもので、以下の 2 編より構成されている。

第 1 編では放射光施設のビームラインで用いられる X 線ミラーの加工を目的とした数値制御プラズマ CVM 加工システムの開発について述べており、

第 1 章では、本研究の背景とその目的について述べている。

第 2 章では、大気圧プラズマを用いたプラズマ CVM の加工原理を示し、その特長について述べている。また、プラズマ発生用電極に回転電極を用いることを提案し、加工能率を大幅に向上させることを可能にしている。

第 3 章では、X 線ミラー等の超高精度光学素子を作製するための、4 軸 (X, Y, Z, θ) 制御の数値制御プラズマ CVM 加工装置を開発した結果について述べている。プラズマ発生用の回転電極、ならびにワークテーブルの軸受には、チャンパー内のプロセスガスを作動ガスとする気体軸受を適用し、パーティクルの発生や、潤滑油等の有機物汚染のない清浄な加工雰囲気を実現している。

第 4 章では、開発した数値制御プラズマ CVM 加工システムの、加工特性を評価した結果について述べ、加工量がプラズマの滞在時間に対してナノメートルオーダーの加工量に至るまで完全な線形比例関係にあり、良好な制御性を有することを示している。

第 2 編では開発した加工システムを用いた実証研究の一例として、シンクロトロン放射光用平面ミラーの加工を行った結果について述べており、

第 1 章では、現状の放射光用ミラーの作製技術、ならびにその精度限界について述べ、本研究の必要性について述べている。

第 2 章では、本研究で加工対象としている X 線ミラーの用途とその大きさ、ならびに要求される精度について述べている。

第 3 章では、シンクロトロン放射光用長尺平面ミラーを計測するために用いた、形状計測システムについて述べ、10nm p-v の再現性で加工面形状を評価できることを示している。

第 4 章では、X 線用シリコン製平面ミラーの加工を行った結果について述べ、機械研磨によって作製されたミラー

における158nm p-vの形状誤差を、数値制御プラズマCVM加工により22.5nm p-vに高精度化することを実現している。

第5章では本研究で得られた結果を総括している。

論文審査の結果の要旨

半導体やファインセラミックス等の機能材料を、その表面層に結晶学的な乱れを導入することなく、所望する形状を高能率かつ高精度に得るための加工法を開発することは、工業的にも、また学術的にも非常に重要な課題である。本論文は、大気圧プラズマを利用した新しい化学的な超精密加工法であるプラズマCVM (Chemical Vaporization Machining) の開発、ならびに本加工原理を適用した数値制御加工装置の開発、および開発した装置を用いてシンクロトロン放射光用のX線ミラーを作製した結果についてまとめたものであり、主な成果を要約すると以下の通りである。

- (1) 大気圧雰囲気下においてプラズマを発生させることにより、高密度の反応性ラジカルを局所的に生成し、これを材料と反応させて除去を行う新しい加工法であるプラズマCVMを提案している。本加工法においては、プラズマ発生用の電極として回転電極を適用することにより、高効率な反応ガスの供給および反応生成物の排出を実現しており、シリコン、石英ガラス、シリコンカーバイド、タングステン、モリブデン、単結晶ダイヤモンド等の機能材料を、機械加工におけるラッピングに匹敵する能率で加工することに成功している。また、プラズマCVMによって加工した表面の欠陥密度を表面光起電力法 (Surface Photo-voltage Spectroscopy) により評価した結果、欠陥密度は機械研磨やアルゴンイオンスパッタリングによって加工した表面より2桁以上小さく、ケミカルエッチング面と同等の低欠陥密度であることを明らかにしている。
- (2) プラズマCVMの加工原理を適用したX線ミラー加工用の数値制御加工装置の開発を行っている。本装置の回転電極ならびにXYテーブルの軸受にはプロセスガスを作動ガスとする気体軸受が適用されており、通常の転がり軸受に見られる摩耗によるパーティクルの発生や潤滑油による有機物汚染が全く無いクリーンな加工雰囲気を実現している。また、ガス循環精製装置および高周波電力供給システムも同時に開発されており、これらの装置の付加により加工特性の安定化ならびに再現性の向上が図られている。
- (3) 滞在時間制御による数値制御加工理論を示している。本理論は加工量がプラズマの滞在時間に比例するという特性を基にしたものであり、実際の加工においてはワークテーブルの送り速度制御により滞在時間が制御される。開発した数値制御加工装置においては、加工量がプラズマの滞在時間に対してナノメートルオーダーの加工量に至るまで完全な線形比例関係にあり、良好な制御性を有することが示されている。
- (4) 開発した数値制御加工装置の性能を実証するため、シンクロトロン放射光用のシリコン製長尺平面ミラー (長さ400mm×幅50mm) の加工を行っている。機械研磨によって作製された前加工面の形状誤差は158nm p-vであったが、数値制御プラズマCVM加工を行った結果、22.5nm p-vの平面度を達成することに成功している。

以上のように本論文は、加工現象は化学的でありながら機械加工に匹敵する加工能率と空間制御性を有する新しい加工法の開発に成功するとともに、本加工法を光学素子の加工に適用することで従来の機械加工を適用した場合と比較して形状精度を1桁以上向上できることを示しており、超精密加工技術の発展に寄与するとともに精密科学に貢献するところ大である。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。