

Title	大気圧プラズマを用いた多電極全面一括型ナノ精度数値制御加工法の開発
Author(s)	武居, 弘泰
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/61767
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (武居 弘泰)

論文題名 大気圧プラズマを用いた多電極全面一括型ナノ精度数値制御加工法の開発

論文内容の要旨

本論文は、高精度かつ高能率な決定論的加工法の実現を目指し、全く新しい全面一括型決定論的加工法を提案し、それを実現するための多電極大気圧プラズマ発生装置の開発と多電極全面一括型の数値制御加工を行った一連の研究成果をまとめたものであり、以下の6章より構成されている。

第1章では、最先端計測機器や電子デバイス分野には極めて高い形状精度を実現する加工技術が必要とされており、その要求を満たすためこれまでに多くの決定論的加工法が開発されてきたことを述べ、そして、大量生産が求められる用途へ決定論的加工法を応用する際に抱えていた課題を指摘し、本研究の目的と意義について述べた。

第2章では、局所的に精密加工が可能な加工ヘッドと送り速度制御が可能な精密XYテーブルから成る従来のラスターキャン型「決定論的加工法」について、これまでに開発されてきた種々の加工法の加工原理と実績に関して述べた。そして、本研究で提案する多電極全面一括型「決定論的加工法」のコンセプトを述べ、それを実現するための電極試料間ギャップ制御型と電極電圧制御型という二つの方式について述べた。

第3章では、市販の半導体基板の形状誤差を元に、必要とされる加工分解能を算出することで個々の電極サイズを決定し、個々の電極の電極試料間ギャップを制御する方式の多電極大気圧プラズマ発生装置の概要について述べた。また、製作した装置の基本特性を把握するため、Siウエハを加工対象物として大気圧プラズマ酸化実験を行い、プラズマの発生・消滅の制御性、および酸化特性の調査結果について述べた。そして、SOIウエハを用いたSi薄膜層の厚さ均一化実験を行い、多電極全面一括型加工の原理を実証した。

第4章では、個々の電極の印加電圧を制御する方式の多電極プラズマ発生装置に関して基礎検討を行った。電極試料間距離制御方式と異なり各電極は互いに絶縁されている必要があることから、電極間距離が可変の2個の電極を有する大気圧プラズマ発生装置を試作し、個別にプラズマの発生・消滅を制御可能な電極間距離について検討した結果について述べた。また、印加電圧のON/OFF制御を行うためのスイッチング機構について検討し、パワーMOSFETを用いた新たなプラズマスイッチング手法を実現した。そして、7個の電極を有する基礎実験装置を試作し、加工中のプラズマ発生電極数に応じた投入電力制御法について述べ、試作装置の加工特性を評価した。

第5章では、個々の電極の印加電圧を制御する方式の多電極大気圧プラズマ発生装置において、ミクロンオーダーで電極面が平坦であること、将来的な電極数の増加と個々の電極の小型化に対応可能であることの必要性を述べ、個別に作成したバルクのアルミニウム製電極を組み立てる方式から、薄膜形成とパターニングを用いて多数の電極を精度よく形成する方式を検討した。そして、19個の薄膜電極を有する装置を試作して、SOIウエハの数値制御加工実証実験を行った。また、原子間力顕微鏡を用いて加工後表面を評価した結果について述べた。

第6章では、本論文で得られた結果をまとめ、本論文の結論ならびに将来展望に関して述べた。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (武 居 弘 泰)			
	(職)	氏	名
論文審査担当者	主 査	教授	山内 和人
	副 査	教授	安武 潔
	副 査	准教授	佐野 泰久
	副 査	教授	森田 瑞穂
	副 査	教授	桑原 裕司
	副 査	教授	森川 良忠
	副 査	教授	遠藤 勝義

論文審査の結果の要旨

近年、計測機器の高精度化や電子デバイスの高性能化に向け、ナノメートルレベルの形状精度を有する光学素子や半導体基板が必要とされている。そこで、高精度に計測した形状誤差分布を元に、誤差分のみを精密に加工する決定論的加工と呼ばれる加工法がこれまでに数多く開発され、極めて形状精度の高い光学素子や半導体基板が作製可能であることが報告されている。しかし、決定論的加工法は局所的な加工が可能な加工ヘッドを用いて加工対象物全面を走査加工することで行われるが、加工対象物が大面積である場合等においては加工に非常に長時間を要することとなり、大量生産が求められる製造プロセスへの決定論的加工法の適用は困難である。本論文では、多数の加工ヘッドを敷き並べる「全面一括型数値制御加工」と呼ぶ独創的なコンセプトに基づく新たな決定論的加工法を提案し、半導体基板表面に対する高能率な形状修正加工の実現を試みている。

全面一括型数値制御加工実現のために大気圧プラズマを用いた加工が最も適していることを述べ、「電極試料間ギャップ制御型」と「電圧制御型」という二つの方式を提案している。電極試料間ギャップ制御型において、プラズマ発生用電極の大きさと実現加工な加工精度をシミュレーションによって明らかにしている。そして、 $\phi 8$ インチウエハサイズの 1/6 領域を加工可能な装置を試作し、装置の加工特性を詳細に明らかにした上で、高精度半導体基板である Silicon-on-Insulator (SOI) ウエハの表面 Si 層膜厚均一性を P-V 値 : 4.53 nm から 1.14 nm に改善することに成功している。

個々のプラズマ発生用電極の印加電圧を制御する「電圧制御型」手法の実現においては、個々の電極の独立制御が可能な電極間の距離の条件を、モデル実験及び装置の等価回路を基にした計算から明らかにしている。そして、パワー MOSFET を用いた大気圧プラズマの新たなスイッチング手法の開発に成功しており、スイッチング回路の小型化及び可動部の無い数値制御加工を実現している。また、電極表面の凹凸がプラズマの均一性に影響をおよぼすことを明らかにしており、プリント基板作製技術を応用した薄膜型多電極を作製し、より均一なプラズマを発生させることが可能となり、「電圧制御型」手法が将来的な大面積化及び高分解能化に対応可能なものとするに成功している。同様に SOI ウエハを用いて数値制御加工実験を行い、Si 層膜厚均一性を P-V 値 : 2.84 nm から 0.84 nm に改善することに成功している。

以上のように、本論文は電極試料間ギャップ制御型と電圧制御型の二つの方式に基づいて装置の試作及び実証実験を行い、全面一括型数値制御加工法の提案と実証を行ったものである。本論文で提案した加工技術は、決定論的加工の高能率化によって将来的に生産プロセスに大きなインパクトを与える可能性があるものと期待され、精密科学の発展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。