

氏名	やぎゅう ひろまさ 柳 生 裕 聖
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 2796 号
学位授与の日付	平成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	工学研究科 マイクロエンジニアリング専攻
学位論文題目	金属ナノ粒子分散高分子材料のレーザー加工技術の開発と微細加工プロセスへの応用に関する研究
論文調査委員	(主 査) 教授 田 畑 修 教授 小 寺 秀 俊 教授 松 原 厚

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、高分子中に金ナノ粒子を均一に分散させた金属ナノ粒子分散ポリマー材料の創製および低出力可視光レーザーを用いた微細加工とその応用に関する研究結果をまとめたもので、9章からなっている。

第1章は緒言であり、現状の三次元微細加工技術の現状とその課題を整理した後、金属ナノ粒子を分散したポリマーのレーザー加工技術の特徴を論じている。またこれに基づいて、本研究の目的と位置付けについて述べている。

第2章は、金属ナノ粒子の構造、性質について述べ、その性質を維持するための調整方法と分散技術および金属ナノ粒子分散ポリマーについて述べている。

第3章は、金ナノ粒子分散エチルセルロースの金濃度、レーザー強度の加工形状への影響を評価し、低出力可視光レーザーを集光照射することで高アスペクト比微細加工が可能であることを実証している。さらに加工メカニズムを解明し、金濃度と加工深さの関係が特徴的な3段階に分類できることを明らかにすると共に、微細加工時の金ナノ粒子の凝集制御が重要であり、凝集が起らない金濃度で加工深さが最大になることを示している。

第4章は、マトリクスポリマーの異なる各種金ナノ粒子分散ポリマーにおける金ナノ粒子分散性およびレーザー加工性を評価している。マトリクスポリマーを適切に選定することによって金ナノ粒子分散ポリマーを厚膜レジスト、マスク、モールドなどの微細加工分野へ応用可能であることを示している。また5章で提案するマイクロニードルアレイ作製プロセスに用いるエチルセルロースの加工において、ポリマーの熱的物性の考察から、加工部に生じる隆起はポリマーの溶解に起因するものであることを明らかにしている。

第5章は、金ナノ粒子分散エチルセルロースのレーザー加工とエポキシ樹脂のモールドング技術および電鍍技術を組み合わせたポリエチレン製マイクロニードルアレイの作製プロセスを提案している。マイクロニードルを作製するための金ナノ粒子分散エチルセルロースのレーザー加工条件を明らかにし、このレーザー加工技術がマイクロニードルアレイの作製に対し有用であることを示している。

第6章は、金ナノ粒子分散ポリマーをパウダーブラスト加工用マスク材へ応用するためにマスク材に適したマトリクスポリマーを検討し、金ナノ粒子分散ポリエステルポリウレタンが優れた耐摩耗性を有することを明らかにしている。またマスク材の摩耗量はマトリクスポリマーの動的粘弾性と強い相関を示すことを明らかにし、この結果からマスク材温度を制御しながらブラスト加工を実施することでマスク材の耐摩耗性を向上させる新規なパウダーブラスト加工技術を提案している。

第7章は、金ナノ粒子分散ポリエステルポリウレタンをマスク材として用いたパウダーブラスト加工の μ -TAS用ガラスチップのラピッドプロトタイピング技術への適用可能性を検討している。提案したパウダーブラスト加工により製作したガラスチップのDNA分離性能の評価結果から本加工プロセスの有用性を実証している。

第8章は、金ナノ粒子分散ポリマーのレーザー加工とポリマーマスクを用いたパウダーブラスト加工の組み合わせによるガラスチップのラピッドプロトタイピング技術に必要なシミュレーションツールの開発を目的として、マスク材の摩耗を考

慮できるパウダーブラスト加工シミュレーションツールをセルラーオートマトンを用いて構築し、その有用性を示している。このシミュレーションツールにより、マスク材の角部における摩耗とこの摩耗によるガラス基板加工形状への影響を解析できることを示している。

第9章は結論であり、本論文で得られた結果について総括している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、高分子中に金ナノ粒子を均一に分散させた金属ナノ粒子分散ポリマー材料の創製および低出力可視光レーザーを用いた微細加工とその応用を提案している。得られた主な成果は次のとおりである。

まず、金属ナノ粒子の有する特異な光学特性を維持するための調整方法と分散技術を用いた金属ナノ粒子分散ポリマーの創製方法を明らかにしている。さらに創生した金ナノ粒子分散ポリマーに低出力可視光レーザーを集光照射することで高アスペクト比微細加工が可能であることを示している。また、金ナノ粒子を分散させるマトリクスポリマーを適切に選定することによって、金ナノ粒子分散ポリマーが厚膜レジスト、マスク、モールドなど微細加工分野における様々な応用可能性を有していることを示している。さらに提案した金属ナノ粒子分散ポリマーの特異な光吸収特性を低出力可視光レーザーと組み合わせた微細加工技術の応用として2つの手法を考案している。1つ目は、金ナノ粒子分散エチルセルロース材料と射出圧縮成型技術を組み合わせた微細成形加工技術である。プロセスパラメータと加工精度との関係を明らかにし、樹脂製マイクロニードルアレイを製作する微細プロセスとして有用であることを示した。2つ目は、金ナノ粒子分散ポリマーとパウダーブラスト加工を組み合わせたマイクロパウダーブラスト微細加工である。ポリマーマトリクスとブラスト条件が微細加工形状に与える影響を明らかにし、微小化学分析システム (μ -TAS) 用ラピッドプロトタイピング技術へ応用可能であることを示した。金ナノ粒子分散ポリエステルポリウレタンをマスクとして用いたマイクロパウダーブラスト加工により、実用可能な分離性能を有するDNA分離分析用ガラスチップが実現できることを実証している。さらに、マイクロパウダーブラスト加工時の金ナノ粒子分散ポリマーマスクの摩耗を考慮できる、セルラーオートマトンを用いたマイクロパウダーブラスト加工シミュレータを開発し、その有用性を示している。

以上、本論文は低出力可視光レーザーと金属ナノ粒子分散ポリマー材料を組み合わせた微細加工技術の確立という課題に対し、ポリマーマトリクスの光学的・機械的物性と種々の加工パラメータとの関係を明らかにすると共に加工自由度の向上を実現し、幅広い要求に応えることのできる方法論を作り上げたものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年2月2日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。