

博士學位論文

内容の概要及び審査の結果の要旨

第8号

2012年4月

光産業創成大学院大学

はしがき

本編は学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第8条による公表を目的として、2012年3月に本学において博士の学位を授与した者の論文内容の概要及び論文審査の結果の要旨を収録したものである。

学位記番号に付した甲は学位規則第4条第1項(いわゆる課程博士)によるものであり、乙は学位規則第4条第2項(いわゆる論文博士)によるものであることを示す。

目 次

学位番号	学位の種類	氏 名	論 文 題 目	頁
甲第 16 号	博士(光産業創成)	小粥教幸	ポリマー機能性マイクロデバイスによる新産業創成	4

氏名	小粥教幸
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	甲第16号
学位授与年月日	平成24年3月23日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	ポリマー機能性マイクロデバイスによる新産業創成
論文審査委員	主査 教授 井出 徹 教授 瀧口義浩 准教授 内藤康秀 准教授 江田英雄

論文の概要

本論文は、ポリマー微細成形技術を光マイクロ電子機器システム (MEMS) に適用し、従来の半導体素材によるMEMSでは達成できなかった新たな光学構造、医療応用構造を構築するための産業技術の構築を目的としている。具体的には、ポリマー素材内部に波長と同程度の周期的な金属薄膜を埋め込む技術を新規に確立し、ポリマーの微細構造による光の反射率の制御の確立、さらには、射出成型技術の新規アイデアを用いた流路などの高機能構造を作り込んだ微細多重針構造 (マイクロニードル) の確立を行った。

本論文の概要をまとめると、第1章では、MEMS分野における世界的な現状を把握し、光技術への応用可能性を示した。自動車業界において使っている加速度センサーも半導体を用いたMEMSである。また、光通信における光スイッチでも半導体MEMSを用いている。医療やディスプレイや電子産業を含むさまざまな産業領域においてMEMS技術の市場は毎年伸びており、3年後には150億ドルの売り上げ予想が策定されている。これらの市場に生分解性の高いポリマー素材などを用いたMEMSを提供することが新たな産業創成となる。

第2章では、本研究開発におけるシーズ技術となっている微細構造の成形技術の独自開発に関してまとめられている。熱あるいは紫外線を用いたナノインプリント技術の展開を図り、ナノ周期構造、マイクロ全分析システム (μ -TAS) 構造の製造技術を確立した。さらに、従来の射出成型技術を再検討し、ポリマー素材を用いた新たな微細構造成形技術の全体を俯瞰し、ニーズに合わせた技術対応可能な体制構築を進めた。

第3章では、ナノ周期構造を構築し、汎用の光学素子やフォトニック結晶の製造工程に用いるべく、その基本素子開発の過程と結果を示した。最初に、波長程度の直線周期構造を有する回折格子の開発に関して報告し、その後、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の行う3次元フォトニック結晶プロジェクトで用いた金属埋め込み2次元周期構造の開発に関してまとめている。このプロジェクトではシリカなどの微粒子を用いたコロイド結晶による光素子の開発を行っており、その過程においてコロイドの配列を制御するための金属埋め込み2次元周期構造を必要とした。世界的に開発されているものではなく、新規に開発を本研究にて行った。金属斜め蒸着などの

新規技術を導入することで、再現性が高く、1 cm x 1 cmの大面积での金属埋め込み2次元周期構造を量産化し、実際に国際宇宙ステーションにおける実験で応用され、地上ではできない周期構造の製造に成功した。さらに、ポリマー素材を用いた無反射構造の開発も進め、量産性の高いナノホール構造を構築し、680 nmにおける無反射構造（反射率1%以下）を達成した。

第4章では、射出成型におけるマイクロニードルの開発に関してまとめた。従来のマイクロニードルに比較して、安価で生分解性が高く、薬液の導入なども容易な微細構造を有する新規なマイクロニードルの製造技術を構築し、実際に高い機能を有するマイクロニードルの量産を可能とした。その開発過程では、フェムト秒レーザーを用いた微細穴あけ技術の構築、刺さり具合を計測するための装置の開発、薬剤の流れの可視化、皮膚における刺さり具合のリアルタイム計測などを検討し、必要となる産業技術を確立し、量産のための目途を付けた。

第5章では、これまで研究してきたポリマーマイクロデバイス技術のビジネス化を検討している。

ビジネス化検討に先だって、対象となる市場の分析を行った。ナノインプリント、ポリマーマイクロデバイス、ポリマー微小光学デバイス、バイオデバイス、経皮ドラッグデリバリーシステムの市場を資料から正確に読み取り、今後の発展の可能性を推定した内容が5-2に記載され、次いで、研究と製品開発の違いを明確にした上で、ビジネスの組織作りの検討が5-3に記載されている。5-4には筆者が実際に行ったビジネス活動が記載されている。前章までの検討に基づいて、筆者は派遣元企業内プロジェクトとしてコーポレートベンチャーをスタートさせた。そのプロジェクトにおいてイノベーション検討や、ターゲットアプリケーション抽出を行った。5-5には、プロジェクトから新規事業へ発展させるための考察がなされている。まず特許出願による知的財産の優位性を確認してから、医療業界をねらった展開を検討した。検討において課題を明確にし、様々な解析手法に基づいて戦略を構築している。最後にリスクをきちんと分析することによって、以上の検討の正確さを裏付けている。さらに、目に見える成果として、新聞発表や展示会出展の実績を示し、本研究のビジネス化から新産業創成に至る方向性を具体的に呈示することに成功した。

第6章では、本論文の全体をまとめた。ポリマー微細成形技術としてのナノインプリント、ソフトリソグラフィ、精密射出成型やレジストパターンニングなどの基礎技術を産業応用可能なレベルにまで発展させ、具体的な光素子（回折格子、フォトニック結晶成長のための基板、無反射形状など）や医療素子（マイクロニードル）を開発し、量産化まで成し遂げた。そのビジネス展開を派遣元企業内のコーポレートベンチャーとして主導的にまとめ、新規事業開拓を進めるためのメディア戦略の検討を進め、実際にマイクロニードルに関しては、新規市場の立ち上げを開始できる市場の情報収集まで可能とした。

審査結果の要旨

(1) 新知見度

ポリマー微細成形技術において金属斜め蒸着と熱ナノインプリントを用いて、フォトニック結

晶の結晶構造制御のための金属埋め込み大面積2次元ナノ周期構造の開発にはじめて成功した。また、マイクロニードルの開発では、精密射出成型技術の特長を利用して、薬液用の流路を製造時に作り込んだ全く新しい構造のマイクロニードルを、生分解性の高いポリ乳酸などのポリマー素材で量産可能な技術として世界に先駆けて構築した。この結果、ポリマー素材を用いた微細成形技術をMEMS（マイクロ電子機構システム）技術領域に導入し、量産化可能な新たな産業技術として構築に成功した。ポリマー微細構造の医療応用のために市場調査を行い、ポリマー素材の新たな可能性と課題をビジネス展開の観点で明らかとした。

(2) 社会貢献度について

従来の半導体素材をベースにしたMEMS産業から新たなポリマーベースの産業への移行のための基礎技術を社会に提供し、従来のMEMS製造技術では達成できなかったサイズの自由度が高い安価なMEMS素子の提供の可能性を明示した。さらに、ポリマー微細構造のマイクロニードルへの適用を検討し、従来のシリコンに比較し、安全性が高く量産性に富んだディスプレイな生分解性の高い医療素子の提供の可能性を明らかとし、新聞報道を通して社会的な期待を集めた。このように、従来の半導体素材から有機素材のMEMS分野への産業提案を行い、そのために必要となる製造技術を確立したうえで市場動向を明らかとし、MEMS分野に新たな方向性を示したと言える。

(3) 経営実績、ビジネスプランについて

本論文の申請者は、コーポレートベンチャーを派遣元企業内に構築し、自ら派遣元社長と直接議論をしながら数名の社員を率いて新規産業構築のために活動を行った。派遣元企業では、もともと自動車部品を主体とした製造を行っており、ナノ構造あるいは医療素子の開発は初めての試みであり、その新規事業開拓を率先して行った。レーザー加工技術や光応用計測技術を駆使して、これらの素子の特性を評価し、課題を明確にして、その課題を解決するための経営手腕を発揮した。光MEMSの産業化とポリマー機能性微細構造の医療応用のための実績はこれからである。その産業化の活動のための入り口まで本研究によって到達させることに成功した。

(4) 学術・技術業績

本研究では、ポリマー微細成形技術において金属斜め蒸着と熱ナノインプリントを用いて、フォトニック結晶の結晶構造制御のための金属埋め込み大面積2次元ナノ周期構造の開発にはじめて成功し、これを査読付き論文にまとめた。また、マイクロニードルの開発では、精密射出成型技術の特長を利用して、薬液用の流路を製造時に作り込んだ全く新しい構造のマイクロニードルを生分解性の高いポリ乳酸などのポリマー素材で量産可能な技術の世界に先駆けて構築し、本件も新知見として査読付き論文に報告した。さらに、これらの研究開発過程において9つの特許案件を派遣元企業内で提案し、8つの特許申請を達成している。また、マイクロニードルに関しては新聞発表や報道での発表も達成し、すでに引き合いなどを得るなど、事業としても展開を開始できた。

本申請においては、本論文に関わる著書または査読付き学術論文は2編あり、特許出願も8件行っている。以上の4項目を総合評価して、博士（光産業創成）の学位に値すると判定する。