

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	短パルスレーザー時空間プロファイル変調技術の開発とレーザー微細除去・積層加工プロセス高度化への応用
Title(English)	Development of temporal and spatial laser beam shaper for applications of advanced laser subtractive/additive processing
著者(和文)	キム ビョンギ
Author(English)	Byunggi Kim
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10464号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:伏信 一慶,佐藤 勲,花村 克悟,齊藤 卓志,平田 敦
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10464号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Kim Byunggi	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	伏信 一慶	准教授	平田 敦	教授
	審査員	佐藤 勲	教授		
		花村 克悟	教授		
		齊藤 卓志	准教授		

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「短パルスレーザー時空間プロファイル変調技術の開発とレーザー微細除去・積層加工プロセス高度化への応用」と題し、全6章から構成されている。

第1章「緒論」では、まずレーザー微細加工プロセスの将来性とパルス幅と応用分野の関係について概説している。その上で現在幅広い応用で用いられているナノ秒パルスレーザーを選択する利点と課題について述べ、当該課題の解決手法として新規な光学素子検討・開発とそれに基づいたレーザーアブレーション手法を提言した上で、本研究の目的を述べている。

第2章「液体光学素子を用いた時空間ビームシェイパー」では、液体の熱レンズ効果を用いたビームプロファイルの時空間制御に関する検討を行い、まず、CWレーザー励起液体光学素子における自然対流の発生とその解析手法を提示し、CFDとビーム伝搬法をカップリングした数値計算により液体光学素子の挙動をよく表現できることを明らかにした。またこの数値モデルを用いて光学パラメータの影響に関する検討を行い、励起光と検出光の焦点位置と光軸位置との適切な調整により自然対流の影響を最小化しつつ高度なアニユラービームが生成できることなどを示している。さらに、ナノ秒パルスレーザー励起液体光学素子における密度波の発生を用いた非正常焦点制御素子の原理も提示している。

第3章「TCO薄膜のナノ秒パルスレーザースクライビングの高度化」では、ナノ秒パルスレーザーを用いた微細加工プロセスの代表例の一つである太陽電池パネルのスクライビングを模擬し、TCO薄膜の除去プロセスの高度化に係る実験的・理論的な検証を行った。まず、TCOのように光学浸透長さが膜厚より大きな薄膜の除去メカニズムについて実験的な検討を行い、加工特性に及ぼすレーザー照射方向の影響がTCO表面におけるプラズマ遮蔽に起因することなどを明らかにした。この知見に基づき、ベッセルビームを用いた加工システムを提案し、第2章で開発したビームシェイパーによりベッセルビームの優位性を確認の上で、世界初となる加工線幅 $2.3\mu\text{m}$ の非常に精密なスクライビングを実現した。また、ベッセルビームを用いることで光軸方向のサンプル位置決めロバスト性向上や、プラズマ遮蔽の影響を抑制しつつ高いアブレーションレートが実現可能であることを示し、ナノ秒パルスレーザーを用いた透明薄膜加工の新たな微細加工プロセスを提案している。

第4章「単結晶4H-SiCのレーザー除去加工メカニズムの解明」では、単結晶4H-SiC基板への穴あけ加工の諸特性を明らかにしている。波長、ビームプロファイル、加工雰囲気等の影響の基礎的検討により、多パルス照射ではSiC表面が融点に達する前に炭化し、高吸収係数のDLC層が形成され、しきい値よりも小さいフルエンスで加工されることを明らかにし、従来SiCの微細穴あけ加工が困難であった原因を特定している。この結果を踏まえ、波長 $1064\text{nm}$ を用いて溶融しきい値より低いフルエンスでの加工実験を行うことで、DLC層の形成を積極的に利用しながら再凝固Si層を小さくし、アスペクト比15程度の貫通穴が加工できることを示し、より高度な加工を行うための知見を提示した。

第5章「エバネッセントベッセル光発生素子の開発」では、高価な対物レンズが不要で、ロバスト性の高いアキシコンレンズベースをコアとする新たなエバネッセントベッセル光発生素子を設計、検証している。また、その応用例としてサブ $\mu\text{m}$ スケールの3次元積層造形に注目し、厚さ $310\text{nm}$ 、幅 $3\mu\text{m}$ の樹脂硬化物が作成可能であることを示している。

第6章「結論」では、各章の成果を踏まえ、ナノ秒パルスレーザーのプロファイル変調により各種のレーザー微細加工プロセスの革新につながる知見を総括している。

以上を要するに、本論文は液体光学素子による短パルスレーザーのビームプロファイル変調技術とレーザー微細加工の高度化について実験的・理論的にその原理を示した上で、ナノ秒パルスレーザーによる加工技術の革新に係る新たな知見を与えており、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は、博士(工学)の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。