

Title	並列光制御技術の開発とその応用に関する研究
Author(s)	小倉, 裕介
Citation	大阪大学, 2002, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2181
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	小 倉 裕 介
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 1 7 3 4 6 号
学位授与年月日	平成 14 年 11 月 25 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	並列光制御技術の開発とその応用に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 伊東 一良
	(副査) 教授 金谷 茂則 教授 福住 俊一 教授 宮田 幹二 教授 柳田 祥三 教授 横山 正明 教授 高井 義造 教授 増原 宏 教授 谷田 純

論 文 内 容 の 要 旨

光応用システムを構築する上で、効率的な光制御技術の開発は重要である。本論文では、光が有する複数の属性を並列・一括して制御することにより、光の多次元性を有効に活用した機能や効果を効率的に得る並列光制御技術を開発し、実験からその有効性を示した。また、並列光制御技術を実用的な応用へ展開し、その性能を評価した。

第 1 章では、並列光制御技術を定義し、その特徴や応用例をまとめ、本研究の位置づけを明らかにした。

第 2 章では、位相光学素子を利用したレーザービームリソグラフィの高分解能化法について検討した。反復手法に新たな拘束条件を導入し、2種類の位相光学素子を設計した。また、作製素子を用いた光学実験により手法の正当性を示した。

第 3 章では、複数の波長に対する並列制御を実現する波長多重位相光学素子 (WMDPE) を開発した。設計手法を考案し、その正当性を示した。7波長の WMDPE を作製し、各設計波長に対して正しい出力パターンが得られることを確認した。数値計算により、WMDPE の性能に関する多くの知見を示した。

第 4 章では、WMDPE の応用として、シャーシ間波長多重光インターコネクションを考案した。異なる接続パターンを実現する 2種類の WMDPE を設計し、その性能を評価した。また、通信波長による受信ボード切り換えや、複数のボードへのブロードキャストを可能にする接続パターンが得られることを実験的に確認した。

第 5 章では、垂直共振器型面発光レーザー (VCSEL) アレイを用いた光マニピュレーション技術を考案し、その機能を実証した。システムを試作し、複数物体の一括輸送、発光ピクセルの切り換えによる物体輸送、ピクセル間隔以下の精密な物体位置制御、複数ビームの照射による物体輸送速度の向上に関する実験結果を示した。

第 6 章では、VCSEL アレイから生成される複数のビームの同時照射による 3次元物体操作法について検討した。物体に誘起される力を数値計算により求めた。また、2×2ビームを用いて物体を浮揚、輸送できることを実証し、浮揚に必要な力の照射パターン依存性や照射光パワーに対する物体の鉛直位置の測定結果を示した。

第 7 章では、並列光制御技術の情報処理への展望として、分子計算技術との融合による光分子コンピューティングの概念を示し、その特徴を検討した。

論文審査の結果の要旨

光応用システムを構築する上で、効率的な光制御技術の開発は不可欠である。特に光波は、空間三次元、強度、位相、波長など多くの属性を持つことから、それらに対する並列・一括制御の実現により、光応用技術の新たな展開が期待される。光制御技術においては、その結果として得られる機能や効果が重要な意味をもち、目的に合致した実現方法の開発が必要となる。

本論文では、複数の光属性の制御に基づき機能や効果を得る観点から、位相光学素子や垂直共振器型面発光レーザー (VCSEL) アレイなどの光制御デバイスの有効な利用方法を新しく見出し、数値解析や光学実験によりその機能や特徴を示すことにより、並列光制御技術の有用性を実証している。Gerchberg-Saxton 法や Optimal-Rotation-Angle 法などの反復手法を改良して新たな機能をもつ位相光学素子を設計できることを示し、考案した位相光学素子の性能や特徴に関して計算と実験の両面から検討した結果について述べている。また、光マニピュレーションにおいて、並列アレイ光源を利用することにより達成される機能の確認や照射光パターンに対する性能評価など、手法の有効性を証明する幅広い結果を示している。これらの結果は、並列制御された光の協調的な利用により、単なる機能の足し合わせにとどまらない効果が期待できることを示唆している。得られた成果を要約すると以下のとおりである。

(1)集光光学系により生成されるスポットのサイドローブの強度増加をできる限り抑制しつつ、メインローブ径を縮小するための位相光学素子の設計手法を示すとともに、材料の非線形性を利用することにより、レーザービームリソグラフィの描画分解能を向上できることを提示している。

(2)多波長に対して、一様性や光量効率のほぼ等しい独立したスポットアレイパターンを生成する波長多重位相光学素子の設計手法を示し、7波長の波長多重位相光学素子を用いてあらかじめ設定したパターンが得られることを実験的に確認している。また、最大位相変調量の増加が波長多重位相光学素子の性能向上に有効であることや、分離可能な最小の波長間隔が 10 nm 以下であることをはじめとして、波長多重位相光学素子の数多くの特性を見出している。

(3)波長多重位相光学素子による波長多重光の並列制御技術をシャーン間波長多重光インターコネクションに応用し、数値計算による性能評価結果を示している。また、実現する接続パターンの異なる2つの波長多重位相光学素子を用いて手法の原理を確認し、波長多重位相光学素子の実機システムへの応用能力を支持する結果を得ている。

(4)主に通信用のデバイスとして開発されてきた VCSEL アレイを利用した光強度の空間並列制御に基づく光学的物体制御方法を考案している。複数物体の一括操作などさまざまな機能を光学実験により確認し、並列アレイ光源の光マニピュレーション技術における有用性を示している。

(5)複数のビームを物体に同時照射したときに誘起される光圧による力を数値解析し、複数ビームを用いる光マニピュレーション技術の多くの特徴を明らかにしている。また、VCSEL アレイの発光ピクセルの切り換えによる3次元物体操作を実証している。

以上のように、本論文は、光の複数の属性の一括・並列制御により効率的に機能や効果を得る並列光制御技術の開発およびその実用的な応用への展開について述べたものである。これらの成果は、フォトニック情報工学の今後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。