

|              |   |
|--------------|---|
| Title        | 深紫外固体レーザーの開発とその応用に関する研究   |
| Author(s)    | 北野, 博史  |
| Citation     | 大阪大学, 2004, 博士論文  |
| Version Type |   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/44948">https://hdl.handle.net/11094/44948</a>   |
| rights       |   |
| Note         | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。 |

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

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

Osaka University

|            |                                 |          |          |
|------------|---------------------------------|----------|----------|
| 氏名         | 北野 博史                           |          |          |
| 博士の専攻分野の名称 | 博士(工学)                          |          |          |
| 学位記番号      | 第 18711 号                       |          |          |
| 学位授与年月日    | 平成 16 年 3 月 25 日                |          |          |
| 学位授与の要件    | 学位規則第 4 条第 1 項該当<br>工学研究科電気工学専攻 |          |          |
| 学位論文名      | 深紫外固体レーザーの開発とその応用に関する研究         |          |          |
| 論文審査委員     | (主査)<br>教授 佐々木孝友                |          |          |
|            | (副査)                            |          |          |
|            | 教授 伊瀬 敏史                        | 教授 熊谷 貞俊 | 教授 辻 毅一郎 |
|            | 教授 伊藤 利道                        | 教授 杉野 隆  | 教授 中塚 正大 |
|            | 教授 西村 博明                        | 教授 斗内 政吉 |          |

#### 論文内容の要旨

本論文は、学位申請者が大阪大学大学院工学研究科電気工学専攻および株式会社ニコンコアテクノロジーセンターにおいて実施した、193 nm 深紫外固体レーザーの開発と、深紫外固体レーザーの新規応用探索に関する研究成果をまとめたものである。論文は、以下の 6 章により構成されている。

第 1 章は序論であり、本論文に関する研究分野について概観し、本研究の意義と目的を明らかにしている。

第 2 章では、これまでに提案されてきた深紫外固体レーザーの特徴と問題点をまとめた上で、本研究で開発する新しい深紫外固体レーザーの概要を述べている。本研究で開発する固体レーザーの構成と基本的な設計方針を示し、第 3 章と第 4 章で述べる本光源の各要素技術開発項目を明確にしている。

第 3 章では、深紫外固体レーザーの構成要素である基本波光源部 (波長 1547 nm) の中で、特に中核をなすファイバー増幅器の開発について述べている。高ピーク強度のパルス光を効率的に増幅する際の課題を明らかにし、適切な増幅器システムを構築することで、波長変換を行うために十分な特性を有する出力光が得られることを示している。また、ファイバー中の非線形光学効果についての定量的な議論を行っている。

第 4 章では、深紫外固体レーザーの構成要素である波長変換部について、非線形光学結晶を用いた波長変換特性の評価を中心にして研究成果を述べている。紫外光発生用のホウ酸系結晶  $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ 、 $\text{Gd}_x\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ 、 $\text{CsB}_3\text{O}_5$  の実用性と適用範囲を定量的に明らかにし、適切な波長変換光学系を導き出している。その結果、非常に高い効率で 193 nm 深紫外光を発生できることを実証している。

第 5 章では、深紫外固体レーザーの応用について、生体系材料の加工に着目して述べている。その一つとして、角膜屈折矯正手術への適用性を検討している。新しい応用分野として、生体高分子結晶のレーザー加工を提案し、深紫外レーザー光がタンパク質結晶加工に有用であることを明らかにしている。

第 6 章では、研究全体の総括を行い、結論としている。

## 論文審査の結果の要旨

現在、半導体産業や医療応用をはじめとして、波長 200 nm 以下の深紫外レーザー光源が幅広く利用されている。短波長レーザー技術の発展はエキシマレーザーが牽引してきた背景があり、特に深紫外域ではエキシマレーザーの発振波長を基準にして全ての装置が設計され、良否が判断されてきた。しかしながら、エキシマレーザーは有毒ガスを使用する上に、ランニングコストが高く、また、ビーム品質にも問題を抱えていることから、深紫外光源の固体化が強く望まれている。

本論文は、ArF エキシマレーザーと同一波長で動作する波長 193 nm の深紫外固体レーザーの開発とその応用を目標に定め、新しい光源の方式を提案し、基本波光源と波長変換部に大別される要素技術の開発、光源全体の構築、更には生体素材材料の加工応用までを対象に行ってきた研究結果をまとめたものである。その主な成果を要約すると以下の通りである。

- (1) 波長 1547 nm のファイバー光源の第 8 高調波発生による新しい 193 nm 固体レーザーの方式を提案し、本方式が従来の固体光源による 193 nm 光発生方式と比べて様々な利点を有することを明らかにしている。
- (2) 合計 3 段階の最適化されたエルビウム添加ファイバー増幅器システムを構築することにより、シングルモード出力において平均強度 3.2 W、最大ピーク強度 26 kW、スペクトル幅 10 pm 以下という波長変換の基本波として十分な特性を有する高出力ファイバー光源を構築している。ファイバー中で発生する種々の非線形光学効果の影響を定量的に議論し、得られる実験値を計算により予測できることを示している。
- (3) 最終段に CsLiB<sub>6</sub>O<sub>10</sub> 結晶を用いた合計 5 段階の波長変換過程により、基本波から第 8 高調波までの波長変換効率が 7% という非常に高い値を達成しており、平均出力で最大 140 mW の 193 nm 光を得ることに成功している。
- (4) 新しい非線形光学結晶の実用性について、Gd<sub>x</sub>Y<sub>1-x</sub>Ca<sub>4</sub>O(BO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> 結晶による近紫外光の発生特性を評価し、従来結晶 LBO を用いた場合よりも高効率で 193 nm 光を得られることを明らかにしている。CsB<sub>3</sub>O<sub>5</sub> 結晶によるワットクラスの 355 nm 光発生特性を初めて定量的に示しており、本結晶の実用化への見通しを与えている。
- (5) 深紫外レーザーの加工応用の新しい分野として、タンパク質結晶の加工を提案し、本研究で開発した 193 nm 固体レーザー光を用いて、タンパク質結晶に対して本質的な損傷を与えることなく加工する技術を開発している。従来技術では操作が困難であった結晶に対しても、容易に所望の加工が実施できるという実用的な利点も示している。

以上のように、本論文では、深紫外における固体光源構成の通説であった Nd : YAG レーザーの高調波発生とは別の視点に基づいた、斬新な光源方式を取り入れることによって、小型で高効率の固体レーザー光源を開発することに成功しており、その研究の中で多くの重要な知見を得ている。基本波光源の開発において、非線形光学効果の発生を最大限に抑制することにより、高ビーム品質かつ高出力のファイバー光源が構築できることを示している。波長変換においては、洗練された波長変換システムを構築することにより、波長 200 nm 以下の深紫外固体光源としては世界最高値となる高い波長変換効率を実現している。また、深紫外レーザーの新たな応用例として、非常に繊細な生体高分子結晶に対するレーザー加工の可能性を見出している。本研究の成果は、今後のオプトエレクトロニクス発展に対する多くの基礎的な知見と与えるとともに、実用面への波及効果が期待できるものであり、工学および生命科学の進歩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。