



Title	超小型全固体紫外レーザーの開発に関する研究
Author(s)	波多野, 智
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46838
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">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed >大阪大学の博士論文について <a> をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名 は た の 野 さとし 智

博士の専攻分野の名称 博 士 (工 学)

学 位 記 番 号 第 20345 号

学 位 授 与 年 月 日 平成 18 年 3 月 24 日

学 位 授 与 の 要 件 学位規則第 4 条第 1 項該当

工学研究科電気工学専攻

学 位 論 文 名 超小型全固体紫外レーザーの開発に関する研究

論 文 審 査 委 員 (主査)

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 斗内 政吉
教 授 中塚 正大 教 授 西村 博明

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、バイオテクノロジー（ライフサイエンス）や環境科学など、生命との関わりが深い分野で必要となる超小型全固体紫外レーザーの開発に関する研究成果をまとめたものであり、生体分子に対して損傷が少ない $0.355\mu\text{m}$ の波長における 100 mW クラスの超小型全固体紫外レーザーの開発を目的として、基本波となる近赤外レーザーから、第 2 および第 3 高調波発生機能を集積化した紫外光発生用機能素子の開発、評価、そして紫外レーザーの構築に至るまでの研究を実施した。

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確にした。

第 2 章では、超小型紫外レーザーを実現するための手段として、紫外光発生用の新しい機能素子であるモノリシック波長変換素子を提案した。様々な非線形光学結晶の位相整合特性の解析と比較検討を行い、モノリシック波長変換素子として最適な結晶の組み合わせに関する知見を得た。

第 3 章では、小型全固体紫外レーザー開発の一環として、励起効率の向上を主体に半導体レーザー励起による高繰り返し小型 Nd:YVO₄ レーザーの開発を行った。また、位相共役フィードバックによる半導体レーザーの時空間モード制御を行い、高コヒーレンス化による励起効率の向上について考察を加えた。

第 4 章では、第 2 章で得た知見と第 3 章で開発した小型高繰り返し近赤外レーザーを使用して、 $\text{Gd}_x\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ 結晶を用いた全固体紫外レーザーを開発した。また、第 3 高調波発生における基本波と第 2 高調波のパワー配分の最適化に関して考察を加えた。

第 5 章では、新しい紫外光発生方式の試みとして、モノリシック波長変換素子の開発と評価を実施した。素子内の偏光解析により、構成要素と波長変換効率の最適化を行った。さらに、モノリシック波長変換素子を用いて世界最小クラスとなる光ファイバー結合型超小型全固体紫外レーザーを開発した。

第 6 章では、研究全体の総括を行い結論とした。

論文審査の結果の要旨

本研究論文は、バイオテクノロジー（ライフサイエンス）や環境科学など、生命との関わりが深い分野で必要となる超小型全固体紫外レーザーの開発を目的として、生体分子に対して損傷が少ない $0.355\mu\text{m}$ の波長における 100 mW クラスの超小型全固体紫外レーザーの開発を行っている。そして基本波となる近赤外レーザーの開発から、第2および第3高調波発生機能を集積化したモノリシック波長変換素子を用いた光ファイバー結合型全固体紫外レーザーの開発に至るまでの研究を行った結果について述べている。得られた成果を以下に要約する。

- (1)超小型全固体紫外レーザーを実現するための手段として、紫外光発生用の新しい機能素子となる第2および第3高調波発生機能を集積化したモノリシック波長変換素子を提案している。様々な非線形光学結晶の位相整合特性の解析と比較検討を行い、第2高調波発生用結晶として温度許容幅が大きな KTiOPO_4 (KTP)、第3高調波発生用結晶として非臨界位相整合により角度許容幅が大きな $\text{Gd}_x\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ (GdYCOB) が、モノリシック波長変換素子として最適な結晶の組み合わせであることを見出している。KTPとGdYCOBは、互いに位相整合条件の差を補完することによって、モノリシック波長変換素子として広い安定性を確保できるとの結果を得ている。
- (2)超小型全固体紫外レーザーの開発の一環として、側面励起と端面励起の場合において励起効率の向上を主体に半導体レーザー励起による小型高繰り返し Nd:YVO₄ レーザーの開発を行っている。また、位相共役フィードバックによる半導体レーザーの時空間モード制御を行い、フリーランニング時に比べて4.5倍のコヒーレンス向上を達成することで、固体レーザーの高励起効率化において有効な手段であるとの結果を得ている。
- (3)本研究で開発した小型高繰り返し近赤外レーザーとGdYCOBを用いて全固体紫外レーザーを開発し、波長変換特性や位相整合条件の許容幅など、モノリシック波長変換素子を開発するうえで必要となるGdYCOBの第3高調波発生特性に関する基本的な特性を取得している。また、第3高調波発生における基本波と第2高調波のパワー配分の最適化に関しては、量子力学的解析に基づいた光子モデルによる最適値に対して、基本波と第2高調波の空間的な相互作用の効率であるビーム断面積の重なりを考慮に入れた修正が必要であるとの結論を導いている。そして、新しい紫外光発生方式の試みとして、近赤外光を入力するのみで紫外光を出力するモノリシック波長変換素子を開発し、波長変換特性や位相整合条件の許容幅などの基本的な特性に関する評価を実施している。モノリシック波長変換素子の偏波状態を解析することによって、波長変換効率が入力基本波の偏波状態に依存するメカニズムを明らかにするとともに、4分の1波長板の応用による偏光依存性を解消した紫外光の発生方式を提案し、理論的な考察と実験により波長変換効率の向上が得られることを示している。さらに、近赤外光を伝送した光ファイバーとモノリシック波長変換素子を組み合わせることによって、世界最小クラスとなる光ファイバー結合型の超小型全固体紫外レーザーを開発している。

以上のように、本論文は、第2高調波発生にKTP、第3高調波発生にGdYCOBを用いて世界で初めての試みとなる紫外光発生用のモノリシック波長変換素子を開発し、その応用として、近赤外光を伝送した光ファイバーと組み合わせることによって、世界最小クラスの光ファイバー結合型の超小型全固体紫外レーザーを開発した結果について述べたものである。これらの成果は、小型でソフトな紫外レーザーが求められるバイオテクノロジー分野のみならず、紫外レーザーの応用分野をさらに拡大するものと期待され、レーザー産業の発展に大きく貢献する可能性が高い。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。