



Title	ホウ酸系非線形光学結晶を用いた紫外光源開発に関する研究
Author(s)	吉村, 政志
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3155402
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	吉 村 政 志
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 4 6 4 9 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 11 年 3 月 25 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	ホウ酸系非線形光学結晶を用いた紫外光源開発に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 佐々木孝友 (副査) 教 授 松浦 虔士 教 授 熊谷 貞俊 教 授 辻 毅一郎 教 授 平尾 孝 教 授 山中 龍彦 教 授 中塚 正大

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、ホウ酸系非線形光学結晶を用いて産業応用可能な紫外光源を構築することを目的として、材料開発から基礎物性の評価、光源の開発とレーザーによる材料加工までの広範囲にわたって実施した研究結果をまとめており、以下の 6 章より構成されている。

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

第 2 章では、1997 年に大阪大学で開発された新材料、イットリウム・カルシウム・オキシボレート： $\text{YCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ について、今回新たに得られた知見をまとめている。育成条件を最適化することで、結晶の割れの発生、気泡混入の問題を解決し、直径 20mm、長さ 65mm の単結晶育成に成功している。また、初めて近紫外光の Nd:YAG レーザーの第 3 高調波（波長： $0.355\mu\text{m}$ ）発生に関する諸特性（位相整合角、実効非線形光学定数、角度・温度許容幅、ウォークオフ角）を調べている。この結晶は育成・加工が容易で、優れた紫外光発生特性を有しており、紫外光の発生に有望な材料であることが明らかにされている。

第 3 章では、ガドリニウムをイットリウムと部分置換した新材料ガドリニウム・イットリウム・カルシウム・オキシボレート： $\text{Gd}_x\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ の開発を行った結果について述べている。混合時の置換比率を変化させることで、結晶の複屈折率を制御することに成功している。良質な単結晶を育成し、優れた波長変換特性を持つ非臨界位相整合条件下で Nd:YAG レーザーの第 2 高調波（波長： $0.532\mu\text{m}$ ）及び第 3 高調波を発生させている。それぞれの波長における位相整合に対して第 2 章と同様の特性を調べた結果、近紫外光の発生では $\text{YCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ よりさらに優れた波長変換特性を持つことが明らかにされている。

第 4 章では、Nd:YAG レーザー光の第 4 高調波である波長 $0.266\mu\text{m}$ の産業用高繰り返しコヒーレント紫外光源の開発を目的に、セシウム・リチウム・ボレート： $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) 結晶の内部レーザー損傷閾値を調べている。次に、高繰り返し Nd:YAG レーザーから第 4 高調波を発生させ、従来の BBO 結晶と比べて出力が 1.3 倍高い変換特性を示すことを明らかにしている。また、変換効率の理論計算を行い、実験結果との比較を行っている。

第 5 章では、基本波である Nd:YAG レーザーのビーム品質を向上させる位相共役鏡の開発を目的に、初めて有機イオン性結晶 DLAP の誘導ブリリアン散乱特性を調べている。DLAP 結晶からの誘導ブリリアン散乱反射率の測定、レーザーの波面再生を行い、固体材料の位相共役鏡として有望な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

固体レーザーと非線形光学結晶の組み合わせにより得られる全固体紫外光源は、直接可視光や紫外光を発振する従来の気体レーザーに比べて装置の小型化、長寿命化が可能で、取り扱いが容易、維持費が安いといった利点を有している。ホウ酸系（ボレート系）非線形光学材料は、紫外光発生を念頭においた材料探索、特性評価、理論計算等が世界中で進められてきたが、必ずしも満足する変換特性を持つ結晶が得られておらず、また、量産性、加工性や素子の信頼性に課題を残すものが多く、現在もなお新材料の開発が望まれている。

本論文は、ホウ酸系結晶を用いて産業応用可能なコヒーレント紫外光源を構築することを目的として、材料開発から基礎物性の評価、光源の開発とレーザーによる材料加工までの広範囲にわたって検討した結果をまとめている。新しい知見を以下に要約する。

- (1) $\text{YCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ (YCOB) をb軸方位に低速で引き上げることにより、割れの発生、気泡混入の問題を解決して直径20mm、長さ65mmの単結晶を得ることに成功している。またNd:YAGレーザーの第3高調波発生に関する波長変換特性を調べ、紫外光発生材料として有望なことを明らかにしている。
- (2) 組成を変化させて複屈折率の制御が行える新型結晶 $\text{Gd}_x\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ (GdYCOB) を開発し、Nd:YAGレーザー光の第2、第3高調波を最も理想的な波長変換である非臨界位相整合条件で発生させることに成功している。
- (3) GdYCOB結晶の中心部に屈折率が異なる領域（コア）が生じたが、育成時の固液界面形状を変化させることでこれをかなりの程度抑制できる結果を得ている。
- (4) GdYCOBの紫外、可視光の波長変換特性を調べることにより、本結晶が現在産業用として用いられているLBO結晶と置き換わる可能性のある、優れた特性を持つ材料であることを明らかにしている。
- (4) $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) の内部レーザー損傷閾値を測定した結果、Nd:YAGレーザーの第4高調波発生素子として実用可能なことを明らかにしている。また、損傷閾値は強い異方性を示すことがわかり、機械的強度や結晶構造に関連づけた考察を行っている。
- (6) CLBOを用いて加工用レーザーシステムを構築し、アルミ箔やステンレス板、半導体基板などに穴開け加工を行うことにより、その実用性を示している。
- (7) Nd:YAGレーザーの基本波ビーム品質を向上させることを目的に、有機イオン性結晶DLAPの誘導ブリリアン散乱を調べ、78%の高反射率を測定している。結晶構造と誘導散乱の閾値との関連性について検討し、さらなる新材料開発の指針となる考察を与えている。
- (8) DLAP結晶をNd:YAGレーザーの波面再生に用い、磨りガラス導入により乱れさせた波面を70%以上の忠実度で元の光に再現することに成功している。

以上のように、本論文は紫外光発生用結晶YCOBのレーザー特性を調べ、それに基づき複屈折率を自由に制御できる新結晶GdYCOBの開発に成功し、さらに波長 $0.355\mu\text{m}$ の紫外光発生に有望であることを見い出している。また、CLBO結晶を用いた穴開け加工用レーザーの構築、有機非線形光学結晶DLAPを用いた誘導ブリリアン散乱位相共役鏡の実用性を明らかにするなど、レーザー工学、非線形光学と産業の発展に貢献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。