

Title	レーザー吸収に起因する非定常な波長変換の理論的解析と高変換効率化の検討
Author(s)	野村, 和史
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/48532">https://hdl.handle.net/11094/48532</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	野村和史
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 21186 号
学位授与年月日	平成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科生産科学専攻
学位論文名	レーザー吸収に起因する非定常な波長変換の理論的解析と高変換効率化の検討
論文審査委員	(主査) 助教授 大村 悦二  (副査) 教授 平田 好則 教授 片山 聖二 助教授 阿部 信行 助教授 森 勇介

### 論文内容の要旨

レーザー精密微細加工には短波長レーザーが適しており、実用上は Nd:YAG レーザなどの赤外固体レーザーの高調波がよく用いられる。非線形光学結晶による波長変換では、レーザー吸収に起因する熱の問題が大きな課題となっている。波長変換の高効率化や高繰り返し化を図るためには、理論的な検討や予測が強く望まれている。そのための基礎的研究として、本論文では、繰り返し照射下での波長変換における非定常熱問題の解析手法を確立して、波長変換に及ぼすレーザー吸収のさまざまな影響を系統的に明らかにするとともに、解析結果に基づいて高変換効率化を検討した。以下に、各章の概要を示す。

第 1 章では、研究の背景と従来の関連研究について述べ、本研究の目的を記した。

第 2 章では、レーザー吸収を考慮した非線形波動方程式から第二高調波発生の支配方程式を導出し、その近似的な解析解を用いて第二高調波発生の基本特性を示した。

第 3 章では、入射基本波が一樣強度で平行光という最も基本的なパルスレーザー照射について、第 2 章で導出した支配方程式と一次元熱伝導方程式を連成解析する、波長変換の非定常解析モデルを構築した。これによって結晶内の温度分布や強度分布、それらの時間変動などを解析して、本研究の基礎となる諸現象を明らかにした。

第 4 章では、前章の一次元モデルを二次元軸対称非定常モデルに拡張し、入射基本波がガウス形強度で平行光の場合について、出力ビームプロファイルや出力パルス波形などを解析した。その結果、極短時間である 1 パルス内でも出力パルス波形が時々刻々変動すると同時に、空間的なビームプロファイルも複雑に変化することを例示した。

第 5 章では、第 4 章で構築した二次元軸対称非定常モデルにビーム集光の効果を付加して、より実際の解析モデルを構築し、入射基本波が集光ガウシアンビームの場合について、焦点深さ、ビーム広がり角、繰り返し周波数の影響などを解析した。その結果、結晶内の高温部が時間とともに移動する現象を示すと同時に、その現象がビーム広がり角やパルスエネルギーに顕著に依存することを示した。さらに、変換効率を最大にするビーム広がり角が照射時間とともに変化することなども明らかにした。

第 6 章では、前章の解析結果に基づいて最適な位相整合温度を調べ、結晶内部に生じる最大温度に位相整合温度を合わせると高変換効率化が図れることを見出した。本手法を用いると、前章で明らかとなったビーム広がり角や繰り返し周波数の影響をほとんど受けることなく高変換効率を得られることをシミュレーションによって確認した。

第 7 章では、全体を総括した。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、波長変換における非線形光学結晶のレーザ吸収に起因した非定常熱問題の解析と、解析結果に基づいた高変換効率化の検討に関する一連の研究成果を、7章にまとめたものである。著者は、解析モデルの構築と数値計算によって、実験では測定不可能な結晶内部の温度分布、その繰り返し照射中の時間変化、それに伴う変換効率の低下と強度分布の変動などを系統的に明らかにすることを試み、高効率化手法を検討して、以下のような知見を得ている。

まず、レーザ吸収を考慮した非線形波動方程式から第二高調波発生の支配方程式を導出するとともに、入射基本波が平行光で、その強度分布が一様な場合とガウス形の場合について、導出した支配方程式と熱伝導方程式を連成解析する一次元および二次元軸対称の非定常解析モデルを構築している。後者のモデルによる解析では、1パルス内でも出力パルス波形が時々刻々変動すると同時に、空間的なビームプロファイルも複雑に変化する現象を明らかにしている。

二次元軸対称非定常解析モデルにビーム集光の効果を付加した、より実際的な解析モデルも構築している。これを入射基本波が集光ガウシアンビームの場合に適用して、結晶内の高温部が時間とともに移動する現象を示すとともに、その現象がビーム広がり角やパルスエネルギーに顕著に依存することを示している。変換効率を最大にするビーム広がり角が照射時間とともに変化することなども明らかにしている。

さらに、これらの解析結果に基づいて最適な位相整合温度を調べ、結晶内部に生じる最大温度に位相整合温度を合わせると高変換効率化が図れることを見出している。本手法を用いると、ビーム広がり角や繰り返し周波数の影響をほとんど受けることなく高変換効率化が得られることをシミュレーションによって確認している。

このように、本論文は、非線形光学結晶のレーザ吸収とそれに起因して生じる結晶の温度分布、その下での光波の伝播と波長変換を連成解析し、波長変換において生じる非定常な諸現象を明らかにするとともに、高効率で安定な波長変換を図る手法を理論的に検討できることを例示している。レーザ精密微細加工には短波長レーザが適しており、実用上はNd:YAGレーザなどの赤外固体レーザの高調波がよく用いられる。第四あるいは第五高調波発生では、発生する紫外レーザの吸収が非常に大きく、熱の問題は大きな課題となっている。高変換効率化や高繰り返し化を図るため、研究開発が現在は主に実験的に進められているが、理論的な検討や予測が強く望まれている。本研究は、そのための基礎的研究としても有用であり、一連の研究成果は生産加工と生産科学の分野へ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。