

# 博士学位論文要旨等の公表

学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第8条に基づき、当該博士の学位の授与に係る論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

氏名 三上 拓哉

学位の種類 博士（理工学）

報告番号 甲第14号

学位授与の要件 学位規程第4条第2項該当

学位授与年月日 平成23年3月19日

学位論文題目 「Sellmeier and Thermo-optic Dispersion Formulas for RTP and CTA, and Their Practical Applications (RTP 及び CTA のセルマイヤ方程式及び熱光学分散式とその実用的応用)」

論文審査委員 主査 教授 山中 明生

委員 教授 川辺 豊

委員 客員教授 加藤 洵

委員 准教授 梅村 信弘

# 学 位 論 文 要 旨

光科学研究科 光科学専攻

学籍番号：D2070040

氏 名：\_\_\_\_\_ 三 上 拓 哉 \_\_\_\_\_

## RTP 及び CTA のセルマイヤ方程式及び熱光学分散式と その実用的応用

本論文において、著者は  $\text{RbTiOPO}_4$  (RTP) や  $\text{CsTiOAsO}_4$  (CTA) における Nd:YAG レーザまたは Nd:YAG レーザ光励起パラメトリック発振器の出力光の高調波やこれまで報告されている文献のデータを評価するためセルマイヤ方程式と熱光学分散式を組み立てることを試みた。

Kato らによる RTP のセルマイヤ方程式(未投稿)はパラメトリック発振器による  $3.1\ \mu\text{m}$  以上の長い波長での位相整合条件を再現しないため、著者は本実験で得られた炭酸ガスレーザの第三高調波である  $3.1842\ \mu\text{m}$  光のタイプ 2 第二高調波と  $0.4461$  から  $0.6831\ \mu\text{m}$  の範囲でのタイプ 2 第二高調波、和周波の位相整合条件に最も合うようセルマイヤ定数を調整した。

新しく構成されたセルマイヤ方程式は本実験で測定したデータポイントを正確に再現するとともにこれまでに報告されている  $0.496$  から  $4.24\ \mu\text{m}$  の波長範囲でのタイプ 2 第二高調波、和周波、差周波発生 of データポイントを  $\pm 0.3^\circ$  の精度で再現する。さらに、この方程式は  $1.55$  から  $3.38\ \mu\text{m}$  の波長範囲で Nd:YAG レーザ光励起の反転分布型 RTP におけるパラメトリック発振やその同じ結晶でのチューナブル cw チタンサファイアレーザによる高次周期での疑似位相整合された第二高調波発生 of データ、また異なるグレーティング間隔を持った結晶においての一次周期での第二高調波発生 of データもよく再現する。

RTP による温度依存性位相整合条件を正確に予測するために著者は熱光学定数  $dn_x/dT$ ,  $dn_y/dT$ , や  $dn_z/dT$  を測定し、且つ  $0.5321$  から  $1.5921\ \mu\text{m}$  の波長範囲におけるタイプ 2 第二高調波、和周波の温度位相整合許容幅を正確に再現する高精度の分散式を構成した。

一方 CTA に関しては、パラメトリック発振が数人の著者らによって報告されているが、Nd:YAG レーザ光励起における理論値と実験値間に幾分大きい不一致がみられた。そこで著者は結晶長が  $2\ \text{cm}$  で x カットの CTA を使用し、 $20^\circ\text{C}$  において発振波長

1.  $0.642 \mu\text{m}$  の Nd:YAG レーザ光とその第二高調波励起のタイプ 2 パラメトリック発振波長を再測定し、これらの実験値をよく再現する高精度なセルマイヤ方程式を構成した。さらにこの結晶における熱光学定数に関するデータがないので、それらの定数を測定し、また本実験で得られたパラメトリック発振波長と  $0.5321$  から  $1.5915 \mu\text{m}$  の波長範囲におけるタイプ 2 第二高調波・和周波発生 of データを良く再現する分散式を構成した。

この新しく構成されたセルマイヤ方程式と熱光学分散式は  $0.5321$  から  $0.7778 \mu\text{m}$  の波長範囲でのタイプ 2 第二高調波・和周波発生と x 軸、y 軸における  $90^\circ$  位相整合第二高調波・和周波発生における温度依存性位相整合条件をよく再現する。

これらの実験的、理論的作業より著者は RTP はその大きい有効非線形光学定数と角度許容、また x y 面において KTP の 7 倍ある  $\Delta T \cdot l \cong 153^\circ \text{C} \cdot \text{cm}$  と非常に大きい温度位相整合許容幅をもつことから、高強度・高平均出力の Nd:YAG レーザの第二高調波発生に最適な物質であり、CTA においては Nd:YAG レーザ光励起のパラメトリック発振で eye-safe の  $2 \mu\text{m}$  光を  $90^\circ$  位相整合で発生可能であることや、 $1.550 \mu\text{m}$  光の第二高調波発生においてその大きい温度許容幅 ( $\Delta T \cdot l \cong 10^\circ \text{C} \cdot \text{cm}$ ) と非線形光学定数 ( $d_{32}(1.064 \mu\text{m}) = 3.4 \pm 0.7 \text{ pm/V}$ ), また広い角度許容幅 ( $\Delta \theta_{\text{ext}} \cdot l^{1/2} = 4.7 \text{ deg} \cdot \text{cm}^{1/2}$  and  $\Delta \phi_{\text{ext}} \cdot l^{1/2} = 10.1 \text{ deg} \cdot \text{cm}^{1/2}$ ) よりエルビウムドープのファイバーレーザ  $1.550 \mu\text{m}$  の第二高調波発生のに使用する有用な物質であることが結論付けられた。

## 論文審査の結果の要旨

本学位論文は、 $\text{RbTiOPO}_4$  (RTP) と  $\text{CsTiOAsO}_4$  (CTA) の非線形光学特性に関する研究成果をまとめたものである。研究内容としては、(1) RTP 及び CTA の屈折率波長分散について新たなセルマイヤ方程式を提案、(2) RTP 及び CTA の熱光学定数の評価とそれに基づく熱光学分散式の提案、(3) 得られたセルマイヤ方程式と熱光学分散式を用いて第 2 高調波光発生、和周波光発生、光パラメトリック発振条件の導出、(4) 以って RTP 及び CTA の非線形光学結晶としての応用展開の可能性を検討したものである。公聴会では、これらの成果について RTP と CTA に分けて発表を行った。

代表的な非線形光学結晶として  $\text{KTiOPO}_4$  (KTP) が良く知られており、Nd:YAG レーザの第 2 高調波光発生などに広く用いられている。KTP のりん (P) をヒ素 (As) で置き換えたり、カリウム (K) をルビジウム (Rb) やセシウム (Cs) で置換した  $\text{KTiOAsO}_4$  (KTA)、 $\text{RbTiOPO}_4$  (RTP)、 $\text{RbTiOAsO}_4$  (RTA)、 $\text{CsTiOAsO}_4$  (CTA) は KTP と同構造の物質であり、KTP と同程度の非線形光学定数を有することが知られている。しかし KTP を凌駕する材料とは認識されず、実用化の検討も殆ど成されてこなかった。申請者は、これらの物質群のなかで優れたレーザ耐性を有する RTP にまず注目し、広い波長域で各種非線形光学特性を再現可能なセルマイヤ方程式を新たに導出した。また屈折率の温度変化測定から熱光学分散式を新たに導出した。以上に基づき、RTP における非線形光学効果を実験的・理論的に検討した結果、RTP は KTP に比べ優れた角度許容幅と大きな温度位相整合許容幅を持つ非線形光学結晶であり、高強度・高平均出力な Nd:YAG レーザの第 2 高調波光発生に最適な物質であることを明らかにした。また CTA についてもセルマイヤ方程式の再検討と熱光学分散式の導出を行い、各種の非線形光学効果を詳細に検討した。その結果、CTA は Nd:YAG レーザ光励起のパラメトリック発振で eye-safe な  $2\mu\text{m}$  光を  $90^\circ$  位相整合で発生可能であることを見出した。さらに CTA の非線形光学定数、大きな温度許容幅と広い角度許容幅から、CTA はエルビウムドープのファイバーレーザ  $1.550\mu\text{m}$  光の第 2 高調波光発生に有用な物質であることを見出した。

発表後の質疑応答では、新たに導出したセルマイヤ方程式の適応性について、屈折率の温度変化測定と熱光学分散式の導出について、今回検討した RTP と CTA の実用上のメリットとデメリットについて、また発表では触れなかった KTA や RTA などについて質問があったが、いずれの質問にも明快な説明がなされた。

以上の結果から、本論文は千歳科学技術大学大学院学則第 25 条および千歳科学技術大学学位規程の定めるところにより、博士（理工学）の学位を授与するのに十分との結論に達した。