

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	ソーミヤブラッター バナジー Saumyabrata Banerjee
学位の種類	博士（理工学）
報告番号	甲第4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19年9月9日
学位論文題目	「Noncritical Phase-Matched Parametric Frequency Conversion in Mid-IR」 (非臨界位相整合での中赤外パラメトリック周波数変換)
論文審査委員	主査 教授 加藤 洵 委員 教授 山中 明生 委員 教授 川辺 豊

Summary of Thesis

Last name, First name

Banerjee Saumyabrata

(Title)

Noncritical Phase-Matched Parametric Frequency Conversion in Mid-IR

In this thesis, new nonlinear optical materials that are birefringent and periodically engineered for generation of noncritical phase-matched mid-IR coherent radiation at the desired wavelength ranges are investigated. All the noncritical phase-matching techniques namely; quasi-phase-matching, birefringence engineering and temperature tuning are explored. In addition, widely tunable parametric interactions were demonstrated in periodically poled RbTiOAsO₄ (PPRTA) as well as mixed chalcopyrite semiconductor materials of AgGa_{1-x}In_xS₂ and AgGa(S_{1-x}Se_x)₂. Sellmeier and thermo-optic dispersion formulas were constructed for new mixed chalcopyrite semiconductors, which enables accurate device designing for frequency conversion.

A Nd:YAG laser-pumped periodically poled RbTiOAsO₄ (PPRTA) optical parametric oscillator (OPO) near degeneracy was demonstrated. At a pump power of 3.7 W, a net conversion efficiency of 43% was obtained. Infrared radiation continuously tunable over the range of 1.9-2.4μm was generated by changing the crystal temperature from 20° to 54°C. In addition, this crystal was found to be phase-matchable for the higher order quasi-phase-matched second-harmonic generation (SHG) in the visible range. Detailed analyses of the phase-matching properties for these processes were made by using the published Sellmeier and thermo-optic dispersion formulas.

Owing to the limited transmission range of the ferroelectric oxide crystals, mixed chalcopyrite semiconductor of AgGa_{1-x}In_xS₂ and AgGa(S_{1-x}Se_x)₂ were investigated for frequency conversion above 5μm. Sellmeier equations of the mixture crystal of AgGa(S_{1-x}Se_x)₂ for various concentration (x=0.3, 0.55, 0.75) are presented along with thermo-optic dispersion formula at x=0.55, these equations were used to predict the 90° phase-matching wavelength for Nd:YAG pumped OPO near 5.75μm for medical applications.

$\text{AgGa}_{1-x}\text{In}_x\text{S}_2$ with $x = 0.14 \pm 0.01$ was found to be 90° phase-matchable for type-I difference-frequency generation (DFG) by mixing the dual-wavelength pulses emitted from an electronically tuned Ti:Sapphire laser. Infrared radiation continuously tunable over the range of $4.80\text{-}6.98\mu\text{m}$ was generated by independently varying the two wavelengths in the $705\text{-}932\text{nm}$ spectral range, and $4.04\mu\text{m}$ radiation by mixing the Nd:YAG laser with the Ti:Sapphire laser. Finally, temperature-dependent phase-matching properties of $\text{AgGa}_{1-x}\text{In}_x\text{S}_2$ with $x = 0.14 \pm 0.01$ were investigated and was found to be 90° phase-matchable for the second harmonic generation (SHG) of CO_2 laser radiation at $10.591\mu\text{m}$ at 203°C . In addition, temperature-tuned 90° phase-matched difference frequency generation (DFG) at $4.02\mu\text{m}$ was demonstrated by mixing the idler output of a Nd:YAG third harmonic pumped β -BBO optical parametric oscillator and its fundamental source at $1.0642\mu\text{m}$. The Sellmeier and thermo-optic dispersion formulas that reproduce well these experimental data are presented.

学位論文要旨

(光科学専攻)

氏名 Saumyabrata Barjee

ソーミヤブラッター バジー

非臨界位相整合での中赤外パラメトリック周波数変換

本論文は複屈折および周期反転を利用して 90°位相整合させ、任意の波長の中赤外線を生ずる新しい非線形光学結晶に関するものである。本研究では、擬似位相整合、複屈折位相整合、温度チューニングによる 90°位相整合技術を駆使し、周期反転形の RbTiOAsO_4 (PPRTA) とカルコパイライト結晶の混合体である $\text{AgGa}_{1-x}\text{In}_x\text{S}_2$ と $\text{AgGa}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ で広帯域でのチューナブルなパラメトリック作用を解明するとともにこれらの結晶のセルマイヤー方程式と熱光学分散式を導出した。その結果、中赤外領域で波長変換を正確に行うことが可能となった。

Nd:YAG レーザーで励起した PPRTA 光パラメトリック発振(OPO)では縮退点付近で、入力 3.7 W で変換効率 43% を得るとともに、結晶の温度を 20 °C から 54 °C にチューニングすることにより、1.9 ~ 2.4 μm の波長範囲で連続的に波長可変の中赤外パルス光を得た。さらに、この結晶は可視域で高次の第 2 高調波発生に位相整合することが確認されたため、文献にあるセルマイヤー方程式と熱光学定数の分散式を用いて詳細な解析を行った。

ところが、強誘電体酸化物は赤外での透過波長が 5 μm 以下に限られているため、5 μm 以上の領域では 2 種のカルコパイライト結晶の混合体である $\text{AgGa}_{1-x}\text{In}_x\text{S}_2$ と $\text{AgGa}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ の光学特性を調べ、混合比の異なる 3 種の $\text{AgGa}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ (ここで、 $x=0.3, 0.55, 0.75$) のセルマイヤー方程式を導き出し、0.55 の場合、Nd:YAG レーザーで励起すると医学への応用が進んでいる 5.75 μm の赤外線発振に 90°位相整合することを導き出した。

一方、 $\text{AgGa}_{1-x}\text{In}_x\text{S}_2$ ($x=0.14\pm 0.01$) は電氣的にチューニングした 2 波長同時発振形の $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$ レーザーで励起し、入力を 0.705 ~ 0.932 μm の範囲でチューニングすると、4.80 ~ 6.98 μm の差周波発生にタイプ-I、90°位相整合するとともに、Nd:YAG レーザーと $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$ レーザーの差周波発生(4.04 μm)にも 90°位相整合することを発見した。また、この結晶は 203 °C に加熱すると CO_2 レーザーの 10.591 μm の第 2 高調波発生に 90°位相整合するばかりでなく Nd:YAG レーザーとその第 3 高調波で励起した BBO/OPO のアイドラー出力を混合して、温度チューニングすると、4.02 μm の差周波発生も 90°位相整合することが半明したので、これらの実験データを正確に再現するセルマイヤー方程式および熱光学定数の分散式を報告する。

論文審査の結果の要旨

本研究は、(1) Nd:YAG レーザーの基本波で周期反転形の RbTiOAsO₄(PPRTA) 光パラメトリック発振器(OPO)を励起し、2 μm 付近の赤外線を発生させ、その位相整合特性を解析、(2) カルコパイライト結晶の混合体である AgGa(S_{1-x}Se_x)₂ の線形および非線形光学特性と、(3) AgGa_{1-x}In_xS₂ の位相整合特性を解明し研究発表会(公聴会)では、これらの結晶による高効率中赤外線レーザー開発について詳細な発表を行った。

PPRTA/OPO では入力 3.7 W で変換効率 43 %を達成、結晶の温度チューニングにより 1.9 ~ 2.4 μm の波長範囲で連続可変パルス光を発生し、カスケード OPO の基礎データを得た。また、文献にあるセルマイヤー方程式と熱光学定数の分散式を用いて、位相整合特性を詳細に解析した。

一方、遠赤外用の非線形光学結晶である AgGa(S_{1-x}Se_x)₂ は文献にあるセルマイヤー方程式を改良し、90 °位相整合特性を解析。x=0.55 の場合、Nd:YAG レーザーの基本波で励起すると 5.75 μm 光が発生することを見いだした。さらに AgGa_{1-x}In_xS₂ では電氣的にチューニングした 2 波長発振形の Ti:Al₂O₃ で励起し、4.80 ~ 6.98 μm の差周波発生その他、温度チューニングによる CO₂ レーザーの第 2 高調波発生に関する位相整合特性についての報告を行った。

発表会後の質疑応答では、セルマイヤー方程式の温度依存性、差周波発生の効率および周期反転形の結晶の作成があったが、いずれの点に関しても明快な説明を行った。

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 条及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。