

平等拓範(助教授)

A-1) 専門領域：量子エレクトロニクス、光エレクトロニクス、レーザー物理、非線形光学

A-2) 研究課題：広帯域波長可変クロマチップレーザーの研究

a) 高性能マイクロチップ固体レーザーの研究

a-1) 新型固体レーザー材料の研究

a-2) 高輝度Nd:YAGマイクロチップレーザーの研究

a-3) 高性能Yb:YAGマイクロチップレーザーの研究

b) 高性能非線形光学波長変換チップの研究

b-1) 高効率中赤外光発生用非線形波長変換方式の研究

b-2) 高性能非線形波長変換用QPMチップの開発研究

b-3) 新しい非線形光学波長変換方式と応用の研究

A-3) 研究活動の概略と主な成果

中赤外域から紫外域にわたる多機能な応用光計測を可能とする高機能・広帯域波長可変クロマチップレーザー (Chromatic Microchip Laser System; Chroma-Chip Laser) をめざして以下のような研究を進めている。

a-1) 日本に伝統的なセラミックスの持つ材料設計の可能性を利用した新型固体レーザー材料について開発研究を行っている。これまでにYAG単結晶では不可能であった、Nd高濃度添加YAGセラミックスを開発し、さらにマイクロチップレーザーに適用し、従来のNd:YAG単結晶の数倍の出力を得ることに成功した。また、セラミックスのフレキシブルな特性を用いることにより原子レベルでの材料の複合化に成功した。これは、固体レーザーの高出力化の障害となる励起に伴う熱問題を緩和するものであり今後の展開が期待されている。さらに、YAGの倍程度の熱伝導率を有する Y_2O_3 やSelf-doublingの可能なGdYCOBや高効率化の可能なBSOなど半導体レーザー励起マイクロチップ固体レーザーの観点より材料開発に強い他機関と連携しながら新材料の研究、開発を進めている。

a-2) LD励起方式では、放電管励起方式と比べ、小型、長寿命、低電力動作が可能である特性に加え、励起光を空間的、スペクトル的に集中させた高密度励起が可能である特長を有する。すなわち、レーザー媒質の吸収係数が高い波長域で、レーザー発振する空間領域のみを選択的に励起できる。このため、高出力化の際に問題となった発熱も抑制され、冷却機構が簡単になり、小型高効率化、高安定動作が可能となった。我々はLD励起方式を最適設計するための高次横モードを含むレーザービームの取り扱い法を検討し、モード品質を示す量として導入されつつある M^2 因子を用いた設計法を新たに提案してきた。これにより、Nd:YVO₄マイクロチップレーザーにおいて、スロープ効率58.6%を達成し、さらに共振器内部SHG方式において240 mWのグリーン光を得ることができた。次に、パワースケーリングを図り、Nd:YAGにおいて最大出力4.1 Wをスロープ効率57%で得た。これらの値はNdレーザーにおいてはほぼ限界の最大値である。さらに、高輝度化を図るため拡散接合型Nd:YAG結晶にCr:YAGを併用した受動Qスイッチレーザーを試作し、最大平均出力4.2 Wと非常に高い値を得た。現在は、このレーザーを励起源とした赤外光発生を検討中である。

a-3) 90年代に入り、Yb:YAGは、レーザー励起により高性能なレーザーとなり得ることが発見された。以来、我々は先導的な研究を行ってきた。Yb:YAGは高出力、高効率発振が可能と言われながらも準四準位レーザーであるため、励起状態に敏感であり、高密度励起が実現されない場合は、発振効率が大きく損なわれる欠点を有する。全固体レ

ザーの励起光源として注目される半導体レーザーは、ビーム品質が劣悪であるため、その高密度励起光学系の設計が困難であったが、モード品質を示す量として導入されつつあるM²因子を利用することにより半導体レーザー励起固体レーザーの最適化に成功した。現在、長さ400 μmのYb:YAGマイクロチップ結晶から、常温で、スロープ効率60%、CWで3 Wの出力を確認している。また、最近、アップコンバージョン損失が無いことを利用し上記構成で85 nmと蛍光幅の9倍にも及ぶ広帯域波長可変動作を実現した。このことは、高平均出力の超短パルスレーザーとしての可能性を示唆するものと考えている。

b-1)レーザーは発明以来優れた光源として種々の分野で利用されているが、発振波長は限定されていた。非線形光学に基づく波長変換法ではレーザー光のコヒーレンス特性を損なわずに高効率に異なった波長に変換できる特長を持っている。しかしながら、赤外領域および紫外領域でも多くの報告が出ているものの分子科学に限らず種々の応用に足るスペクトル特性、出力特性を実現する非線形光学結晶は得られていない。一方、最近提案された擬似位相整合(Quasi Phase Matching:QPM)波長変換法では、位相整合条件を光リソグラフィによるデジタルパターンで設計できるため変換効率や位相整合波長が設計できるだけでなく空間領域、周波数領域、時間領域で位相整合特性を設計できるため従来結晶にQPM構造を導入することは新規結晶を開発したと同等もしくはそれ以上のインパクトを与える。

本研究では、OPO、DFGを組み合わせることで波長6 μm領域の広帯域赤外光を高効率に発生することを検討している。ここでは、ニオブ酸リチウム(LiNbO₃)にQPM構造を導入したQPM-LiNbO₃を検討している。この場合、最適な周期や領域長が決定されれば、光リソグラフィにより1つの結晶上にOPOとDFGの2つの機能を持たせることも可能になる。これまでにOPOによる3 μm域までの中赤外光発生を確認している。現在、6 μm域発生用DFG光源と性能評価用の分光分析装置を試作開発中である。

b-2)QPMデバイスには材料としてLiNbO₃が広く用いられているが、従来のプロセスでは分極を反転させるための印加高電界を深さ方向に制御することが不可能であり、原理的な検証は可能でも実用的な出力を得ることは困難であった。現在、初期的なQPM-LiNbO₃を用いた赤外光発生実験と高出力化のための大断面積QPM-LiNbO₃作成プロセス開発を併行して進めている。IMSマシンとして開発している新規プロセス用チャンバーでは、均一高電界を実現するための雰囲気制御などが可能になるものであり、これにより実用的な赤外域のQPMチップ作成が期待できる。しかし、既存の非線形光学結晶では透明領域が5~6 μm以下と限られている。一方、高い性能指数を有する化合物半導体は赤外域でも透明度が高く大きな熱伝導率を有するが、複屈折性を持たないため複屈折位相整合(BPM)が不可能であり従来は非線形光学結晶としては検討されてこなかった。ここでは、拡散接合によりQPM構造を導入すること検討しており、そのための新規プロセスを開発中である。これまでに100 μm厚のGaAsプレートを拡散接合により4枚スタックすることに成功した。現在、その光学的な特性などを評価中である。

b-3)一方、紫外域においては、天然に豊富に存在し、堅牢で200 nm以下の短波長領域までの透過特性を有する水晶を用いることを検討している。しかし、水晶ではBPMによる位相整合が不可能であるだけでなく、自発分極を持たないため電界ポーリングも不可能である。そこで、応力による擬似位相整合法を検討し、その可能性を見出した。今後も、従来は発生が不可能または困難とされてきた紫外域や中・遠赤外域光の高効率発生やCW発生法を目指した新しい非線形波長変換方式を検討する予定である。

その他、これまでに開発した共振器内部SHG型Yb:YAGマイクロチップレーザーにおいて、500 mW級の単一周波数青緑色光を得ている。さらに、同調素子を挿入することで、515.25 ~ 537.65 nmと22.4 nm(24.4 THz)にわたる広帯域の波長可変特性も確認した。この応用として、Fe:LiNbO₃結晶のフォトリフラクティブ効果を用いた全固体型光メモリ方式を検討し、波長多重記録に始めて成功した。同一空間への多重記録が可能な波長多重型ホログラフィッ

ク体積メモリは、次世代の超高密度光メモリとして、注目されている。

以上、広帯域波長可変光源をめざして高輝度マイクロチップレーザー、高性能非線形波長変換チップ、さらに新規光源を用いた新しい応用までを含めた研究開発を進めている。

B-1) 学術論文

A. IKESUE, T. TAIRA, Y. SATO and K. YOSHIDA, “High-performance microchip lasers using polycrystalline Nd:YAG ceramics,” *J. Ceram. Soc. Jpn.* **108**, 248 (2000).

I. SHOJI, S. KURIMURA, Y. SATO, T. TAIRA, A. IKESUE and K. YOSHIDA, “Optical properties and laser characteristics of highly Nd³⁺-doped Y₃Al₅O₁₂ ceramics,” *Appl. Phys. Lett.* **77**, 939 (2000).

I. SHOJI, S. KURIMURA, Y. SATO, T. TAIRA, A. IKESUE and K. YOSHIDA, “Optical properties and laser oscillations of highly neodymium-doped YAG ceramics,” *OSA TOPS on Advanced Solid-State Lasers* **34**, 475 (2000).

J. SAIKAWA, S. KURIMURA, N. PAVEL, I. SHOJI and T. TAIRA, “Performance of widely tunable Yb:YAG microchip lasers,” *OSA TOPS on Advanced Solid-State Lasers* **34**, 106 (2000).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

I. SHOJI, S. KURIMURA, Y. SATO, J. SAIKAWA, T. TAIRA, A. IKESUE and K. YOSHIDA, “Optical properties and laser characteristics of highly Nd³⁺-doped YAG ceramics,” *OSA Topical Meeting on Advanced Solid-State Lasers 2000 MF7*, 174-176 (2000).

J. SAIKAWA, S. KURIMURA, I. SHOJI and T. TAIRA, “Yb:YAG based tunable green microchip laser for wavelength-multiplexed volume holography,” *OSA Topical Meeting on Advanced Solid-State Lasers 2000 MB1*, 24-26 (2000).

I. SHOJI, S. KURIMURA, Y. SATO, T. TAIRA, A. IKESUE and K. YOSHIDA, “Optical properties and laser performances of highly neodymium-doped YAG ceramics,” *Conference on Lasers and Electro-Optics CLEO 2000 CThM9*, 456-457 (2000).

J. SAIKAWA, S. KURIMURA, I. SHOJI and T. TAIRA, “Tunable single-frequency Yb:YAG microchip green laser,” *Conference on Lasers and Electro-Optics CLEO 2000, CThJ5*, 439-440 (2000).

S. KURIMURA, M. FEJER, I. SHOJI, T. TAIRA, Y. UESU and H. NAKAJIMA, *The 1st Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (CGCT-1), WC-07*, 106-107 (2000).

I. SHOJI, Y. SATO, S. KURIMURA, T. TAIRA, A. IKESUE and K. YOSHIDA, “Highly Nd³⁺-doped YAG ceramics for high power microchip lasers,” *The 1st Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (CGCT-1), TC-05*, 354-355 (2000).

Y. SATO, I. SHOJI, S. KURIMURA, T. TAIRA and A. IKESUE, “Spectroscopic properties of neodymium-doped Y₂O₃ ceramics,” *The 1st Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (CGCT-1), TP-63*, 472-473 (2000).

J. SAIKAWA, S. KURIMURA, I. SHOJI and T. TAIRA, “Wavelength-multiplexed holographic recording in Fe:LiNbO₃ tunable Yb:YAG green laser,” *The 1st Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (CGCT-1), Sendai, JAPAN, WP-15*, 168-169 (2000).

N. PAVEL, S. KURIMURA, I. SHOJI, J. SAIKAWA and T. TAIRA, “High average power diode-pumped composite Nd:YAG laser passively Q-switched by Cr⁴⁺:YAG saturable absorber,” *Conference on Lasers and Electro-Optics Europe CLEO/EUROPE-EQEC 2000, Nice, FRANCE, 10-15 September 2000, CWB6*, p.177 (2000).

B-3) 総説、著書

平等拓範,「オンチップレーザーによる高コヒーレント化」, *光技術動向調査報告書* **16**, 448 (2000).

平等拓範,「マイクロチップレーザーの新展開」, *Laser Expo 2000 / 特別技術セミナー A6* (2000).

平等拓範,「新材料による固体レーザーの超小型化と多機能化」, *セラミックス* **35**, 279 (2000).

平等拓範他,「CLEO/QELS 2000 報告」, *レーザー研究* **28**, 526 (2000).

栗村直、M. Fejer、平等拓範、上江洲由晃、中島啓幾,「紫外波長変換をめざした擬似位相整合水晶」, *応用物理* **69**, 548 (2000).

B-4) 招待講演

平等拓範,「マイクロチップ固体レーザー」, レーザー学会第264回研究会, 福岡, 2000年1月.

平等拓範,「レーザー光源の新展開 マイクロチップ固体レーザーとセラミックスYAG」, 結晶成長学会研究会, つくば, 2000年2月.

平等、秋山,「ASSL 国際会議報告」, 電気学会調査専門委員会, 東京, 2000年3月.

平等拓範,「マイクロチップレーザーの新展開」, *Laser Expo 2000/特別技術セミナー*, 横浜, 2000年4月.

T. TAIRA, “Tunable Yb:YAG micrichip lasers,” The 2nd International Symposium on Laser, Scintillaor and Nonlinear Optical Materials, Lyon (France), May 2000.

平等拓範,「マイクロチップレーザーの可能性」, 国研セミナー, 岡崎, 2000年6月.

平等拓範,「CLEO 報告」, レーザー学会専門委員会, 岡崎, 2000年6月.

平等拓範,「CLEO 国際会議報告」, 電気学会調査専門委員会, 東京, 2000年7月.

平等拓範,「誘電体材料を用いた光源の多様化」, 結晶成長学会研究会, つくば, 2000年7月.

N. PAVEL, J. SAIKAWA, S. KURIMURA and T. TAIRA, “Diode Side-pumped microchip composite Yb:YAG laser: design and power scaling,” Proc. SPIE of ROMOPTO 2000 Conference, Bucharest (Romania), September 2000.

栗村直,「CLEO 会議報告」, 学術振興会第130委員会, 東京, 2000年9月.

平等拓範,「高性能マイクロチップレーザーの展望」, 分子研一般公開, 岡崎, 2000年10月.

T. TAIRA, J. SAIKAWA and N. PAVEL, “Solid-State diode end-pumped Yb:YAG microchip lasers,” FSRC Frontier Science Research Conferences, La Jolla International School of Science, La Jolla, Los Angeles (U. S. A.), November 2000.

平等拓範,「Nd:YAG セラミックスの熱複屈折特性」, 第2回光量子科学研究シンポジウム, 日本原子力研究所, 奈良, 2000年11月.

平等拓範,「レーザーの原理から研究最先端まで」, 大阪工業大学, 大阪, 2000年11月.

平等拓範,「マイクロチップ固体レーザーの進展」, ファインセラミックス技術者講座 シリーズ No.6, (財)ファインセラミックスセンター, 愛知, 2000年11月.

N. PAVEL, J. SAIKAWA, S. KURIMURA and T. TAIRA, “CW Edge-Diode-Pumped Composite Yb:YAG Laser,” LASERS 2000 Conference, Albuquerque, New Mexico (U. S. A.), December 2000

平等拓範,「広帯域波長可変クロマチップレーザー」, レーザー学会第282回研究会, 広島, 2000年12月.

T. TAIRA, “Chroma-Chip Lasers for Nonlinear Wavelength Conversion and Photorefractive Optical Memory,” International Photonics Conference IPC2000, Hsinchu (Taiwan), December 2000.

S. KURIMURA, “Polarity engineering, periodically poled QPM devices,” International Photonics Conference IPC2000, Hsinchu (Taiwan), December 2000.

B-5) 受賞、表彰

平等拓範, 第23回(社)レーザー学会業績賞(論文賞)(1999).
平等拓範, 第1回(財)みやぎ科学技術振興基金研究奨励賞(1999).
栗村直, レーザー顕微鏡研究会優秀賞(1996).
Nicolai Pavel, The LASERS '99 Award for the most outstanding contributed paper (1999).
齋川次郎, 応用物理学会北陸支部発表奨励賞(1998).

B-6) 学会および社会的活動

学協会役員、委員

平等拓範, レーザー学会、レーザー素子機能性向上に関する専門委員会幹事(1997-99).
平等拓範, レーザー学会、研究会委員(1999-).
平等拓範, 電気学会、高機能全固体レーザーと産業応用調査専門委員会幹事(1998-).
平等拓範, レーザー学会、専門委員会幹事(2000-).
平等拓範, 福井大学、非常勤講師(1999-).
平等拓範, 宮崎大学、非常勤講師(1999-).
平等拓範, 理化学研究所、非常勤研究員(1999-).
平等拓範, 米国スタンフォード大学、客員研究員(1999-).
栗村直, 日本光学会、論文抄録委員会委員(1997-98).
栗村直, 応用科学会、常任評議委員(1997-).
栗村直, 科学技術庁、振興調整費自己組織化作業分科会委員(1997-).
栗村直, 日本光学会中部地区幹事(2001-).

科学研究費の研究代表者、班長等

平等拓範, 基盤B(2)展開研究(No. 10555016)研究代表者(1998-).
平等拓範, 基盤B(2)一般研究(No. 11694186)研究代表者(1999-).
平等拓範, 地域連携推進研究(No. 12792003)研究代表者(2000-).
栗村直, 萌芽的研究(No. 12875013)研究代表者(2000-).

C) 研究活動の課題と展望

結晶長が1 mm以下のマイクロチップ固体レーザーの高出力化、高輝度化、多機能化と高性能な非線形波長変換方式の開発により従来のレーザーでは困難であった、いわゆる特殊な波長領域を開拓する。このため新レーザー材料の開発、新レーザー共振器の開発を行う。さらに、マイクロチップ構造に適した発振周波数の単一化、波長可変性、短パルス化についても検討したい。このような高輝度レーザーは多様な非線形波長変換を可能にする。そこで、従来の波長変換法の限界を検討するとともに、これまでの複屈折性を用いた位相整合法では不可能であった高性能な非線形波長変換を可能とする新技術である擬位相整合法のためのプロセス及び設計法の研究開発を行う。

近い将来、高性能の新型マイクロチップ固体レーザーや新しい非線形波長変換チップの研究開発により、中赤外域から紫外域にわたる多機能な応用光計測を可能とする高機能・広帯域波長可変クロマチップレーザー(Chromatic Microchip Laser System; Chroma-Chip Laser)が実現できると信じている。