

電子波長制御レーザー光源

和田 智之

Short-pulse Electronically Tuned Ti:Sapphire Lasers

Satoshi WADA

We have realized the electronically tuning of short-pulsed Ti:sapphire lasers with the acousto-optic tunable filter (AOTF). Fast and random access of wavelength tuning is realized with keeping mode-lock like pulse generation.

Key words: electronically tuning, Ti:sapphire laser, solid-state laser

(株)メガオプトは、理化学研究所のベンチャー制度により初めて認定されたベンチャー企業である。理研との産学連携により、理研の成果である最先端の固体レーザーを実用化し、社会に貢献することを目的に誕生した。本稿では、(株)メガオプト設立の経緯、沿革と、設立のきっかけとなった電子波長制御チタンサファイアレーザーの紹介を行う。

1. 会社設立の経緯と沿革

理化学研究所フォトダイナミクス研究センターでは、生物研究者が自由に利用できる波長可変固体レーザーの開発が行われており、発振波長を電子的に制御する技術を世界に先駆け開発することに成功した¹⁾。それまでの波長可変レーザーでは波長選択のための光学系を機械的に動かしていたが、筆者らの開発したレーザーは、キーボードからコンピューター入力することにより、波長をデジタルに変えることができる非常に画期的なものとなった。そのため学会発表を聞いた研究者からぜひ使いたいといった声が多く寄せられ、この研究成果が(株)メガオプトの前身であるフォトンチューニング(株)設立のきっかけとなった。

当時、折しも、理研の理事長の有馬朗人先生の提唱で理研ベンチャー制度が議論されており、その第1号認定ベンチャーとして、1996年、フォトンチューニング(株)が設

立され、翌年には電子波長制御チタンサファイアレーザーを製品化した。

その後4年間、第三者割当増資や社債の発行を行いながら会社の運営を継続したものの、2000年には特に資金面から経営に行き詰まり、会社そのものの存続が危ぶまれた。この経営の危機的状態から脱出するために、2000年9月、(株)リコーの取締役を退任され、当時、理化学研究所の実用化コーディネーターをされていた河津元昭氏（現相談役）を社長に迎え、会社の再構築を試みた。再建に向けて幸いだったことは、この年の4月より科学技術振興事業団から2年間の委託開発費事業が得られ、この開発に全力を投球しながら、人材の募集と育成を図ることができたことである。2002年には委託事業の成功認定が得られ、同時に、埼玉県創造的企業投資育成財団の投資育成事業に認定され、さらに経済産業省のプロジェクトへ参画した。

2003年より、それまで技術担当、役員を歴任していた和田が代表取締役社長に就任し、現在に至る。現在は、社員数35人（契約社員を含む）、資本金2億4千万円であり、単年度黒字を達成するとともに数年内に株式上場を目指す状況となっている。

2. 電子波長制御チタンサファイアレーザー

前章で紹介した(株)メガオプトの設立のきっかけになっ

(株)メガオプト；独立行政法人理化学研究所固体光学デバイス研究ユニット（〒351-0198 和光市広沢2-1）
E-mail: swada@postman.riken.jp

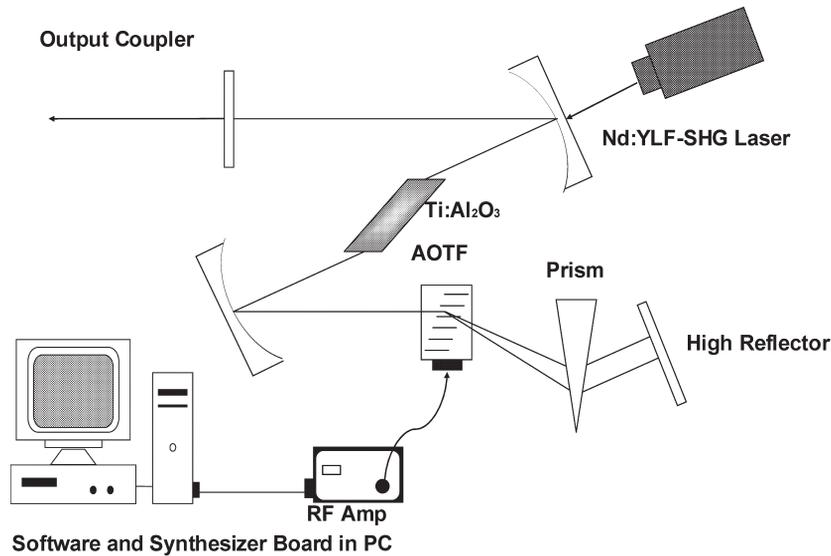


図1 ナノ秒パルス-電子制御波長可変チタンサファイアレーザーの概略。

たのが、電子波長制御チタンサファイアレーザーである。これまで、波長可変固体レーザーの波長を制御するためには、回折格子、プリズム、複屈折板といった光学素子を機械的に回転する方法が用いられてきた。しかしながら、機械的なバックラッシュにより波長の同調速度が遅い、掃引方向が一定である、ランダムなアクセスができない、などその自由度は限られていた。本開発では、これら従来の機械的な波長同調方式の問題点を解決するために、電気的手法による波長の制御方式を確立し、自由度の高い波長制御方式を実現することを目的とした。その結果、音響光学波長可変フィルター (AOTF)^{2,3)}を用いることにより、ランダムかつ高速な波長制御を可能とするなど、自由度の高い波長制御が実現された。本稿では、第1に、パルスレーザー励起のチタンサファイアレーザーにAOTFを適用した電子波長制御チタンサファイアレーザーを紹介する。第2に、モード同期によるその超短パルス化について解説する。

2.1 ナノ秒パルス-電子制御波長可変チタンサファイアレーザー

電子波長制御チタンサファイアレーザーの構成図を図1に示す。チタンサファイアレーザーの励起光源には、Qスイッチ動作のLD励起Nd:YAGレーザーの第二高調波を用いた。波長は532nm、出力は3.2W、繰り返し周波数は5kHz、パルス幅は30nsである。チタンサファイアレーザーはZホルド型の共振器構造を採用し、共振器内にTi:Al₂O₃結晶、プリズム、AOTFを配置した。AOTFは音響光学素子の一種で、コンピューターにより制御された高周波 (radio frequency: RF) を印加することにより1

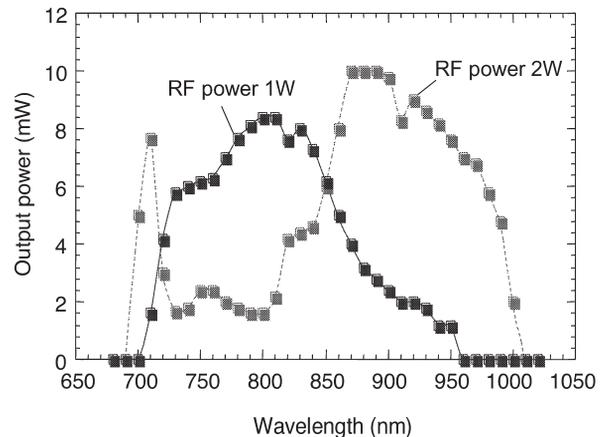


図2 ナノ秒パルス-電子制御波長可変チタンサファイアレーザーの波長可変域と出力特性。

つの波長成分を回折する。回折された波長に対して共振器を構成するため、コンピューターにより選択されたRFに相当するレーザーの発振波長を選択することが可能となる。共振器内のプリズムはAOTFによって回折されたビームの波長による回折角のずれを補正するためのものである。したがって、波長同調はAOTFに印加するRFを変化させることにより行う。

図2に、得られた電子波長制御チタンサファイアレーザーの出力を示す。RFの出力としてそれぞれ1W、2WをAOTFに印加した場合の出力特性を示す。1Wを印加した場合、700~900nmの範囲で出力が得られた。一方、2Wを印加した場合は長波長側、短波長側の両端の波長可変域の拡大と、出力の増強がなされた。この計測により、出力は単にRFを増強することにより増強するのではなく、波

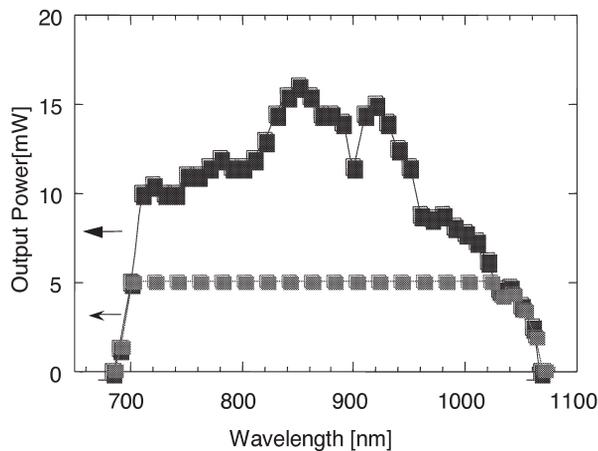


図3 出力の最適化および出力の規格化。

長に依存した最適な条件があることが確かめられた。さらにこの結果は、RFの印加強度によりレーザーの出力を制御できることを示している。この結果を利用して、波長ごとに出力の最適化をした結果を図3に示す。また、新しい試みとして出力の規格化をした結果を同様に図3に示す。波長領域700~1000 nmまで、フラットな出力特性が得られている。本レーザーは、光の検出器の波長感度や、途中の光学系の波長特性をすべて補正して光の検出強度を規格化するなど、分光応用上非常に重要な機能を備えていることがわかる。

2.2 短パルス電子波長制御チタンサファイアレーザー

2章1節では、パルスレーザーでの励起とAOTFの導入により、電子制御によるナノ秒オーダーのパルス光を発生することができるレーザーを紹介した。本節では、励起レーザーを連続発振のレーザーに置き換えることにより、連続発振およびモード同期ライクな短パルスの発生が電子波長制御のもと可能となることを見出した結果について解説する⁴⁾。

ピコ秒パルス-電子制御波長可変チタンサファイアレーザーの励起光源には、CW動作Nd:YVO₄レーザーの第二高調波を用いた。レーザー装置の概略は、図1に示したレーザー装置において、励起レーザーを連続光源に置換したものと同一である。図4に、ピコ秒パルス-電子制御波長可変チタンサファイアレーザーの出力と、その励起レーザー出力の依存性について測定した結果を示す。励起レーザーの出力を0~7 Wまで変化させたときのチタンサファイアレーザーの出力を、パワーメーターを用いて測定した。このときの波長は780 nmであった。励起レーザーの出力が2.8 W付近から、チタンサファイアレーザーの出力が増加していることがわかる。また、励起レーザーの出

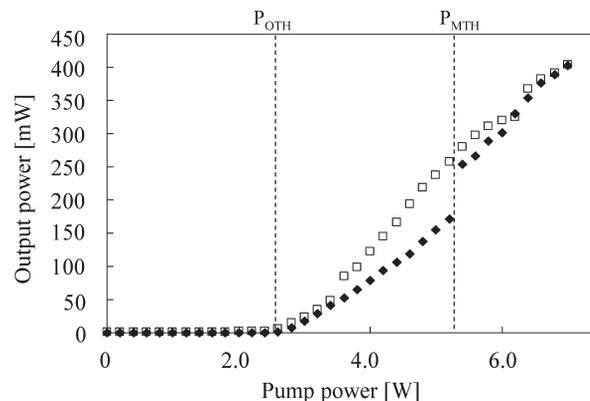


図4 チタンサファイアレーザー出力の励起光パワー依存性。
◆：励起光パワーを0~7 Wに上げた場合、□：励起光パワーを7~0 Wに下げた場合、 P_{OTH} ：レーザー発振閾値、 P_{MTH} ：モード同期動作閾値。

力を7~0 Wへ変化させた場合、3.5 W付近でチタンサファイアレーザーの出力がステップ状に減少しており、ヒステリシス現象が確認できる。短パルス光の発生は励起レーザーの出力が一定の出力を超えると自動的に発生する。そのとき、繰り返し速度が248 MHzであり、自己相関法を用いてパルス幅を測定したところ11.7 psであった。このように、電子波長制御チタンサファイアレーザーの励起光源のパワーを増加させることで、安定してピコ秒のパルス列を発生させることが可能である。ここで、248 MHzは共振器長から得られる、モード同期時の繰り返しと一致する。一度、短パルスが安定に発生すると、一度レーザー発振を停止させた後も、短パルスの発生は自動でスタートする。また電子制御による高速な波長同調にも追従し、短パルスの発生は継続される。AOTFでは通過する光波の周波数が一定方向にシフトし、本レーザーは周波数帰還型レーザーであるため縦モードがないことが確かめられており、短パルスの発生ではモード同期ライクという表現を用いている。

これまでに、チタンサファイアレーザーにAOモジュレーターとエタロンを用いた場合に、図4のように励起光パワーの増加に伴いチタンサファイアレーザーの出力が増加し、ある一定のモード同期閾値を超えると、ステップ関数のように出力が増加し、モード同期動作に移行することが報告されている⁵⁾。またモード同期動作をしている状態から、励起光パワーを減少させていった場合は、モードロック閾値よりも低い励起光パワーまでモード同期動作することも報告されているものの、動作のメカニズムは現在も継続して検討中であり、分散の補正による超短パルスの発生に関して、現在開発中の課題である。

本稿では、理化学研究所の認定ベンチャーとして設立された(株)メガオプトの設立の経緯と、設立のきっかけとなった電子波長制御チタンサファイアレーザーについて、さらにその短パルス化について解説を行った。電子波長制御レーザーの波長制御性は、これまでの波長可変レーザーでは全く得られなかった自由度をもっており、その性質を利用した応用研究が展開されはじめている。特に医療計測の分野で、そのすぐれた波長制御特性が生かされようとしている。

文 献

- 1) S. Wada, K. Akagawa and H. Tashiro: "Electronically tuned Ti:sapphire laser," *Opt. Lett.*, **21** (1996) 731-733.
- 2) I. C. Chang: "Tunable acousto-optic filter utilizing acoustic beam walkoff in crystal quartz," *Appl. Phys. Lett.*, **25** (1974) 323-324.
- 3) I. C. Chang: *Opt. Eng.*, **16** (1977) 455-460.
- 4) J. Geng, S. Wada, Y. Urata and H. Tashiro: "Widely tunable, narrow-linewidth, subnanosecond pulse generation in an electronically tuned Ti:sapphire laser," *Opt. Lett.*, **24** (1999) 676-678.
- 5) G. Bonnet, S. Balle, T. Kraft and K. Bergmann: "Dynamics and self-modelocking of a titanium-sapphire laser with intracavity frequency shifted feedback," *Opt. Commun.*, **123** (1996) 790-800.

(2006年10月31日受理)