

外部共振器半導体レーザーによる フラッシュランプ励起 Ti:サファイアレーザーの波長制御特性

Characteristics of a flashlamp pumped Ti:sapphire laser
seeded by an external cavity laser diode

京光 達哉 長澤 親生 阿保 真

T.Kyomitsu, C.Nagasawa and M.Abo

東京都立大学 工学部

Tokyo Metropolitan University

Abstract : Single mode operation of a flashlamp pumped Ti:sapphire laser controlled by injection-seeding technique is reported. The injection laser consists of an external cavity laser diode (ECLD). The laser diode without anti-reflection coating is commercially available. The linewidth(FWHM) of an ECLD with an output power of 12mW is about 0.3pm, and the linewidth(FWHM) of a flashlamp pumped Ti:sapphire laser injection-seeded by the ECLD is about 1.2pm .

1. はじめに

Ti:sapphire レーザはその発振波長が 700nm から 1000nm までの広範囲にわたる可変波長域を持つ固体レーザーである。従来のパルス Ti:sapphire レーザは主に Nd:YAG レーザの第 2 高調波で励起するものが多く、高出力を得るためにはアンプ段を設ける必要があるため調整が複雑になっている。同じ近赤外領域の高出力可変波長レーザーとして、フラッシュランプ励起アレキサンドライトレーザーがあるが、Ti:sapphire レーザと比べて可変波長域が狭く (720~800 nm)、レーザーロッドを暖める必要がある等の問題点がある。これに対し、蛍光コンバータによるランプ発光スペクトルの conversion、cw-simmer とプリパルス技術を用いたフラッシュランプ励起 Ti:sapphire レーザは、高効率のパルス発振が可能である [1]。

Ti:sapphire レーザの発振波長域には水蒸気の吸収線が多数存在し、水蒸気DIALの高精度測定が可能である。また、中間圏の金属元素の共鳴散乱観測では、基本波によりカリウム (770nm)、第2高調波により Fe (372nm)、Caイオン (397nm) 等の測定が可能である。しかし、これらの測定をする場合、単一の縦モードを選択することが必要となる。単一モードの選択法として、エタロン・複屈折フィルタなどの光学素子を挿入し、必要となる縦モード以外の損失を増やしたり分散させる方法と、外部から単一周波数のレーザーを入射し共振器の特定の縦モードを誘導放出させ、他のモードの発振を抑制するインジェクションシーディングと呼ばれる方法がある。インジェクションシーディングは光学素子を挿入する方法と比べて共振器の内部損失が少ないという利点がある。そこで我々は、外部共振器型LDと呼ばれるLDの外部に共振器を加えたCW狭帯域レーザーを試作し、このレーザーによるフラッシュランプ励起Ti:sapphire レーザへのインジェクションシーディングの実験を行った。

2. 外部共振器型半導体レーザー

外部共振器型LDはLD単体と比べライン幅が狭く [2]、またモードホップを抑制することが出来るというシード光として最適な特性を持つ。今回の実験で用いた外部共振器はFig.1に示すように、透過型回折格子とピエゾ素子により角度調整可能なミラーを用いたものである。LD単体では、Fig.2のように温度・電流制御によりある程度の波長可変が可能である。しかし、Fig.2からもわかるように、波長よってホップする領域が存在する。また、その波長可変領域も数nmと狭い領域にとどまる。これに対して、一般的に外部共振器型LDは連続波長可変であることが知られている [3]。これは、外部共振器型LDに使用されるLDの端面にARコート (非反射膜) を施すことにより可能となる。今回使用したLDは市販のものであり、LDの端面にはARコートが施されていない。Fig.3に市販のLDを使用した外部共振器型LDのチューニング特性を示す。市販のLDを使用する場合、波長の可変領域を広くすることはできるが、連続可変とはならない。これは、LD内部の共振器長で決まる波長でのみ共振状態を保つことができるためである。

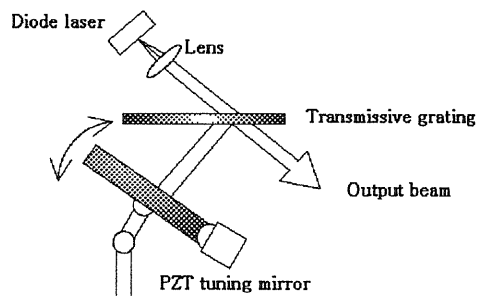


Fig.1 Setup of the external cavity laser diode

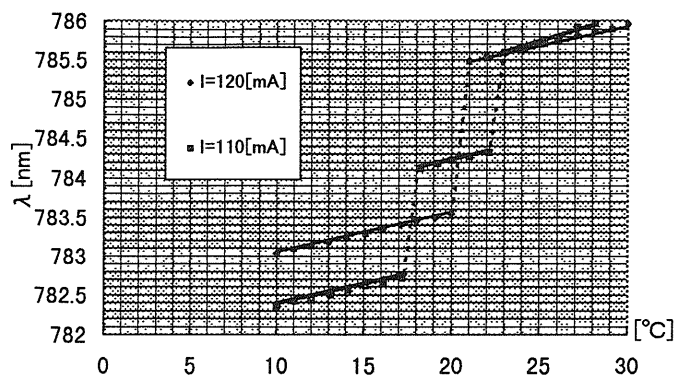


Fig.2 An example of temperature dependence of the laser diode with internal cavity (HITACHI HL7851G)

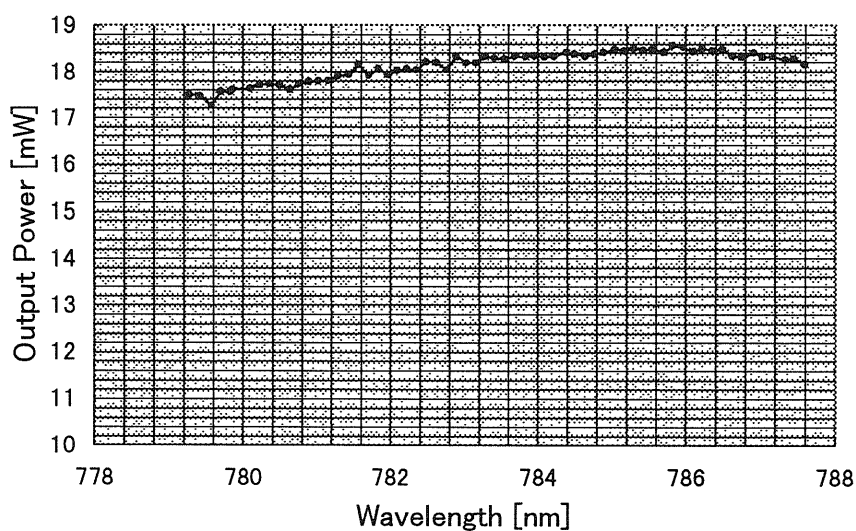


Fig.3 Wavelength-power tuning profile of the ECLD (LD:HITACHI HL7851G)

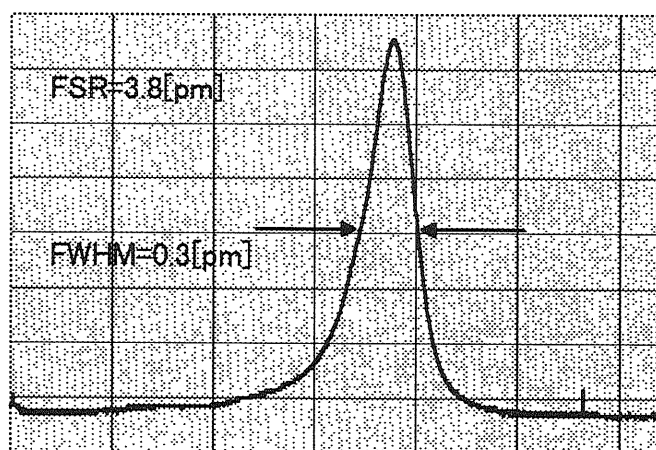


Fig.4 Linewidth of the ECLD (LD:HITACHI HL7851G)

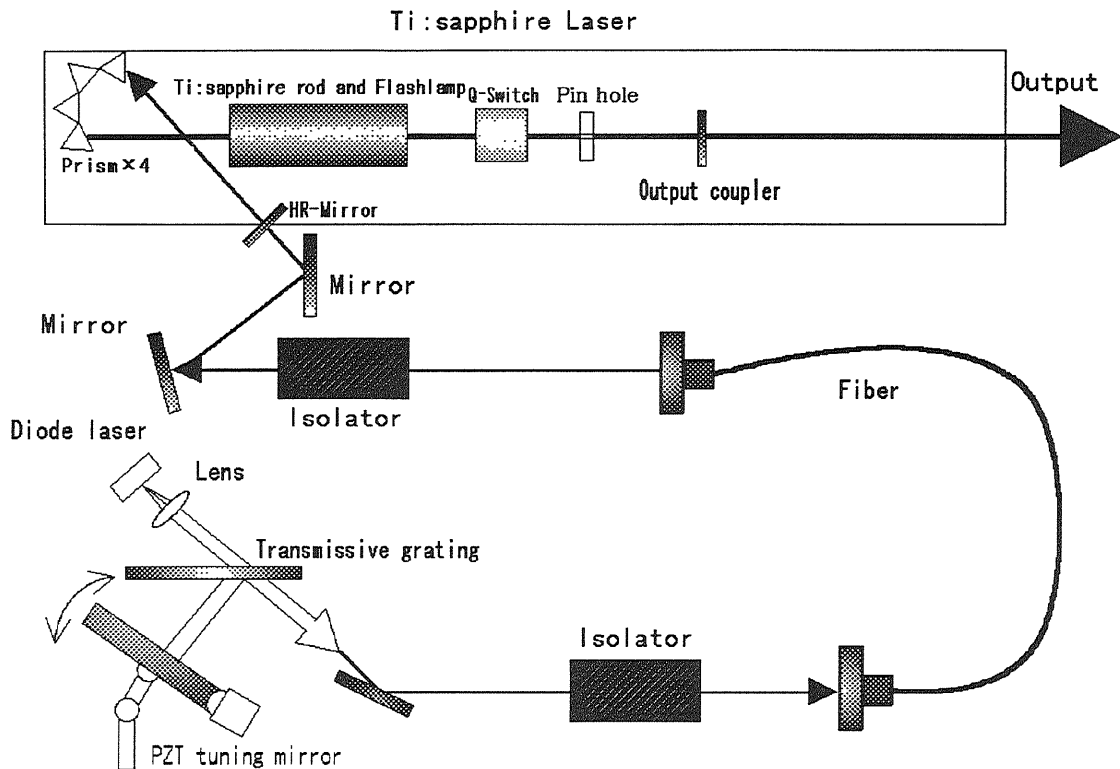


Fig.5 Experimental setup of the injection seeding Ti:sapphire laser by using the ECLD.

しかし、外部共振器のPZTミラーの制御とLDの電流・温度の調節を併用することにより、目的の波長で発振させることが可能となる。LDの温度・電流調節は、LDの活性領域の屈折率を変化させることであり実質的な内部共振器長の変化に相当する。また、そのスペクトルも、LD単体のものと同等の値を得ることが可能である。

今回使用したLDは出力40mWのHITACHI製HL7851Gである。このLDを使用した外部共振器LDにより得られた発振波長域は、Fig.3に示したように温度10℃で約779nm~788nmであり、出力は約18mWであった。またライン幅はどの波長においても半値幅で約0.3pmであった。Fig.4にスキャニングエタロンによるスペクトルの測定例を示す。

3. インジェクションシーディングの実験

Fig.5に外部共振器型LDによるフラッシュランプ励起Ti:sapphireレーザのインジェクションシーディング実験のシステム図を示す。外部共振器型LDから出た光をアイソレータ(アイソレーション30dB)を通して光ファイバに入れる。このアイソレータは、光ファイバの端面反射による半導体レーザへの戻り光をカットするためのものである。そして、光ファイバから出た光をレンズを用いて集光し、アイソレータを介してTi:sapphireレーザに注入する。ここで、Ti:sapphireレーザ側のアイソレータ(アイソレーション 30dB)はTi:sapphireレーザからのパルス光がLDに戻るのを防ぐものである。今回の実験ではTi:sapphireレーザの出力が約30mJと小さいため、この位置のアイソレータは1個で十分である。

Fig.6は、インジェクションシーディングをかけた場合とかけない場合のFSR4.8pmのファブリーペローエタロンによるフリンジパターンである。(発振波長783.88nm)シーディングをかけない場合、Ti:sapphireレーザは多モードで発振するが、シーディングをかけた場合、Ti:sapphireレーザのライン幅(FWHM)が約1.2pmという値で発振が可能であることがわかる。

Fig.7にカリウムのレーザのライン幅に対する共鳴散乱断面積の特性を示す。インジェクションシーディングをかけた場合のTi:sapphireレーザのライン幅(1.2pm)は、共鳴散乱ライダーのシステムとして実際に使用する場合の効率から考えると許容範囲の値であることがわかる。しかし、Ti:sapphireレーザの時間幅(50ns)で決まるライン幅がシード光のライン幅(0.3pm)より十分に小さいことから、原理的にはシード光と同等のライン幅まで狭帯域化が可能である。

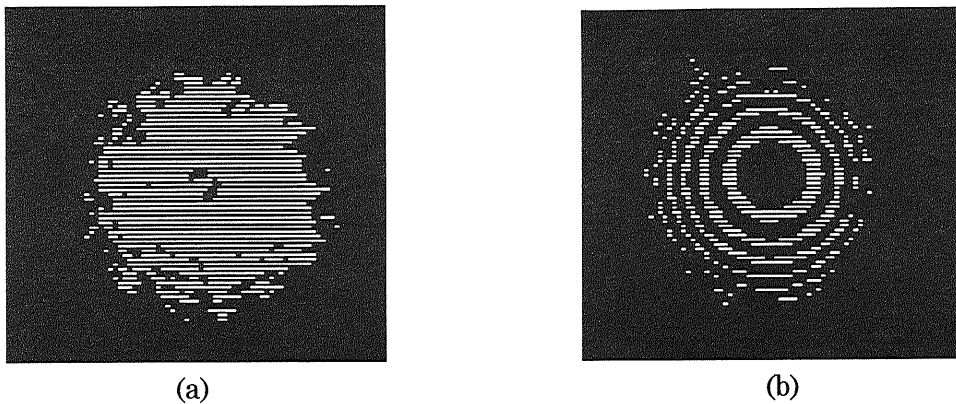


Fig.6 Fabry-Perot interference fringe pattern of a flashlamp pumped Ti:sapphire laser
 (a) without injection seeding,(b) with injection seeding

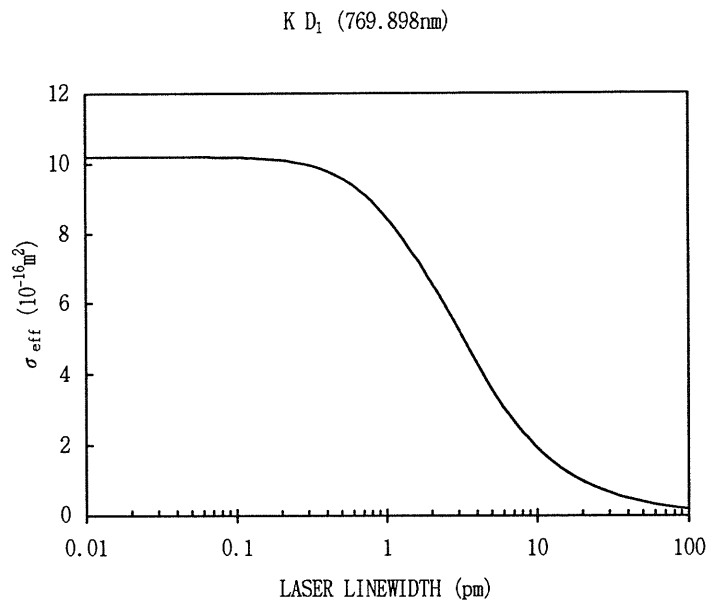


Fig.7 Linewidth-effective resonance scattering cross section property
 (Potassium:Resonance scattering wavelength 769.898nm)

4. 今後の課題

本システムをライダーの発振器として利用する場合には、波長・スペクトルを長時間にわたって安定させる必要がある。しかし今回の実験では、LDの不安定性・Ti:sapphireレーザの不安定性により、長時間波長・スペクトルを安定に保つことができなかった。今後、外部共振器型LDは参照セルとロックインアンプ等を用いた波長ロックシステムを構築する予定である。

参考文献

- [1] 長澤,阿保,"フラッシュランプ励起Ti:サファイアレーザの特性とライダーへの応用",第17回レーザセンシングシンポジウム, No.A1 (1995)
- [2] H.Sato and J.Ohya,"Theory of Spectral Linewidth of External Cavity Semiconductor Lasers", *IEEE J.Quant.Electron.* Vol.QE-22(7),1060-1063 (1986)
- [3] F.J.Duarte,Tunable Lasers Handbook,p.349~442,Academic Press (1995)