

革新的パワーレーザーの開発 — 10 J x 100 Hz アクティブミラーレーザー —

大阪大学 レーザー科学研究所 河仲準二

目指す姿

超小型・堅牢・高安定でありながら高パルスエネルギーで高繰り返しのパワーレーザー。トレーラーに積んで様々なところに持ち運びその場で動作できる、モジュール毎にレーザーの特性を変えながら多様な用途に対応できる、Big Data, AI, IoT技術によってサイバー空間から量子制御された、手足のように使える**革新的パワーレーザーを実現**し、本事業におけるレーザー駆動量子ビーム加速はもとより新物質創生や真空の物理など最先端の科学分野をはじめ、ゼロエミッション水素製造、非破壊検査、宇宙デブリ除去、がん治療などエネルギー・産業・医療分野を開拓しSDGsを目指した持続社会の実現の一助になると期待しています。

本プロジェクトにおける開発目標

本プロジェクトでは、レーザー装置(ハード)の開発に注力しています。駆動光源である繰り返し超高強度レーザーには10 J, 70 fs, 10 Hzのスペックが求められています。現在実現性の高いレーザーシステムはチタンサファイアレーザーであり超小型・堅牢・高安定の高い実用性を実現するためにはこれを数倍上回るスペック、中でも特に繰り返し動作による熱問題を解決する必要があります。技術的なボトルネックは熱発生が厳しいチタンサファイアレーザーの励起光源です。この励起光源として波長1 μ mで、50 J (二倍波で30 J)の高エネルギーパルスを**要求の10倍である100 Hzの高い繰り返しで動かす**ことを目標とし、第一段階として将来の多数モジュールによる量子制御を念頭に、**10 J, 100 Hzの実現**を目指してきました。

方法

現在、高エネルギーパルスレーザーでは平均出力 1 kWが世界最高出力(100J, 10Hz, 英国/チェコ)です。平均出力に限界を与えるのはレーザー増幅器の排熱能力です。したがって、10 Jの小口径・小型装置で実現を目指すには同様の既存技術(低温ガス冷却型ディスク増幅器)では同じ1 kW(10J x 100Hz)出力を得ることは不可能です。このため、1桁以上高い排熱能力と、熱影響の少ない構造を有する**熱伝導冷却型アクティブミラー増幅器**を、これまでにない**数cm級の大口徑で開発**することに初めて挑戦しました。レーザー材料は英国/チェコと同様に低温冷却型Yb:YAGセラミックを使用します。

成果

室温から低温の温度領域でレーザー媒質(Yb:YAGセラミック)内の熱による応力を抑制できる、YAGセラミックと金属ヒートシンクの接合技術/構造を独自開発し(PCT/JP2019/031386)、**口径7cmのアクティブミラー増幅器の開発に世界で初めて成功**しました。これを用いて、現在、**10.2 J**のパルスエネルギーを**100 Hzの高い繰り返し動作で実現**しています。**平均出力 1 kWを達成**し英国/チェコと同等の**世界最高平均出力に成功**しています。我々のアクティブミラー増幅器はレーザー口径を拡大するだけでパワースケーリング(高パルスエネルギー化)が容易にできるため、励起LDを高出力化して現在のレーザー口径(32mm、YAGの口径は60mm)を大きくすればさらに高出力を得ることは簡単にできます。また、普通のミラーのような扱いができるため、現在では**3D配置することで従来の1/4以下の光学サイズで実現**することに成功しています。

結論

レーザー増幅器の排熱能力は要求の10倍で最大の課題をクリアし、アクティブミラー増幅器の高い熱耐力性能を実証しました。必要とされる50Jのパルスエネルギーは本モジュールを5台用いることで実現でき、ビーム径の増大により1ビームでの実現も可能です。

今後の計画

接合技術の改善や大口徑化などによりさらに1桁上の性能も可能であることが計算で示されています。また、チタンサファイア結晶などへも簡単に応用可能です。現在、全く新しいレーザーセラミック材料の開発にも取り組み、格段に小型で安定なLD直接励起高強度レーザーシステムを目指しています。

参考文献

- ・ Ogino他, "10 J operation of a conductive-cooled Yb:YAG active-mirror amplifier and prospects for 100 Hz operation," Optics Letters vol. **46** No. 3, pp.621-624 (1 February 2021). 100Hzについては現在投稿中。