

太陽光励起により広帯域太陽光を効率的なレーザー光に変換

ポルトガルのNOVAリスボン大 (NOVA University Lisbon) の准教授、ダウェイ・リアン氏 (Dawei Liang) をリーダーとする研究チームは、半導体レーザーアレイを避け、直接太陽励起固体レーザーの将来性に着目している。目的は、現在の性能の制約を克服し、長期にわたる宇宙船搭載レーザーの確実な動作を可能にすることである。

広帯域の太陽光を太陽励起によりレーザー光へ変換できる。これは、狭帯域でコリメートされた、急速パルス放射の光源となり、非常に高輝度で強度が得られる可能性がある。

「太陽エネルギーは、最も豊富に利用でき、信頼できるパワーソースである。宇宙では地球上の10倍以上であるので、宇宙ベースのレーザーパワー生成は、エネルギーニーズを満たすことに関しては、大きな前進である」とリ

アン氏は話している。「宇宙の太陽光の強さは、地球上の約2倍であり、太陽光は4～5倍の長時間利用できる。これは、雲がないためであり、特に地球の夜間に利用できる」。

半導体レーザーアレイの2つの大きな短所であるがまず、時間の経過に伴い性能が大きく劣化することである。また、寿命が限られていることもあり、平均出力パワーのレベルにより比例するようである。

半導体レーザーアレイをダイレクトソーラポンプ (直接太陽光励起) 固体レーザーで置き換えることで、「これらの制約を克服できそうである」とリアン氏は話している。「効率的で、コスト効果の優れた再生可能なレーザーがレーザー材料加工に使えるなら、地上のアプリケーションは、疑う余地がないかもしれない」。

3つのCe:Nd:YAGロッドソーラレーザーシステム的设计

チームの太陽エネルギー収集と集光アプローチは、NOVAヘリオスタット放物面鏡システムを利用する (図1)。これは、大きな平面鏡と2軸ヘリオスタットに搭載された2つのフラットセグメントで構成されている。これは、ソーラレーザーラボでインストールされた静止放物面鏡に太陽光を反射し続けるために回転するデバイスである。

そのヘリオスタットミラーは、93.5%の反射率、入射太陽放射を静止放物面鏡へ向ける。静止放物面鏡は、径1.5m、リム角60°、焦点長660mmである。放物面鏡の裏面は、銀でコーティングされており、その反射率はこの主鏡では80%である。

「我々のソーラレーザーヘッドコンポーネントは、大きな溶融シリカ非球面レ

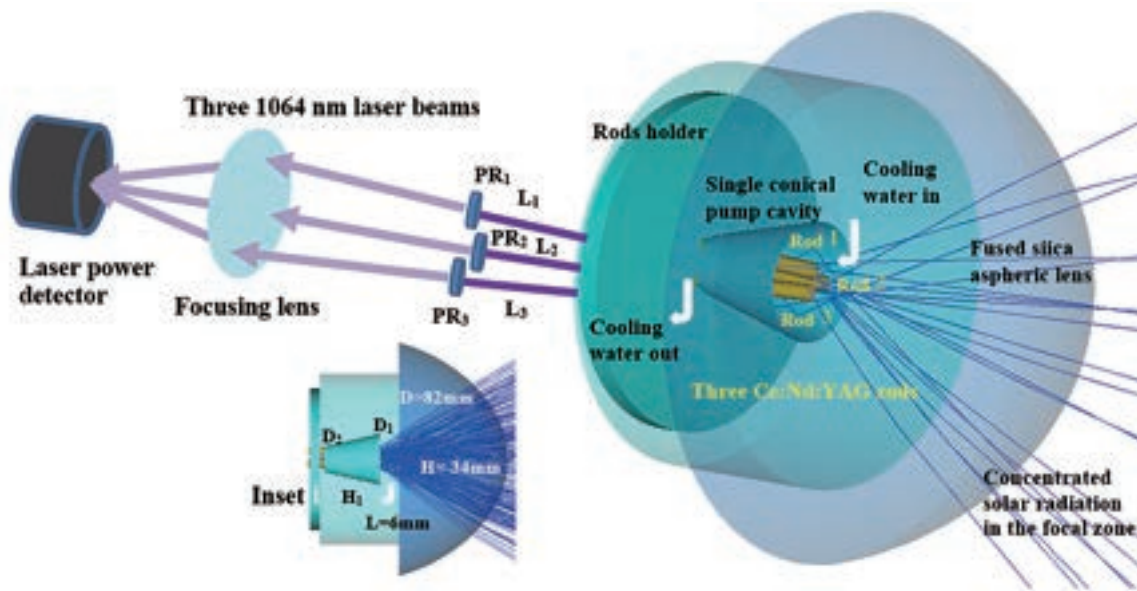


図1 Ce:Nd:YAG設計

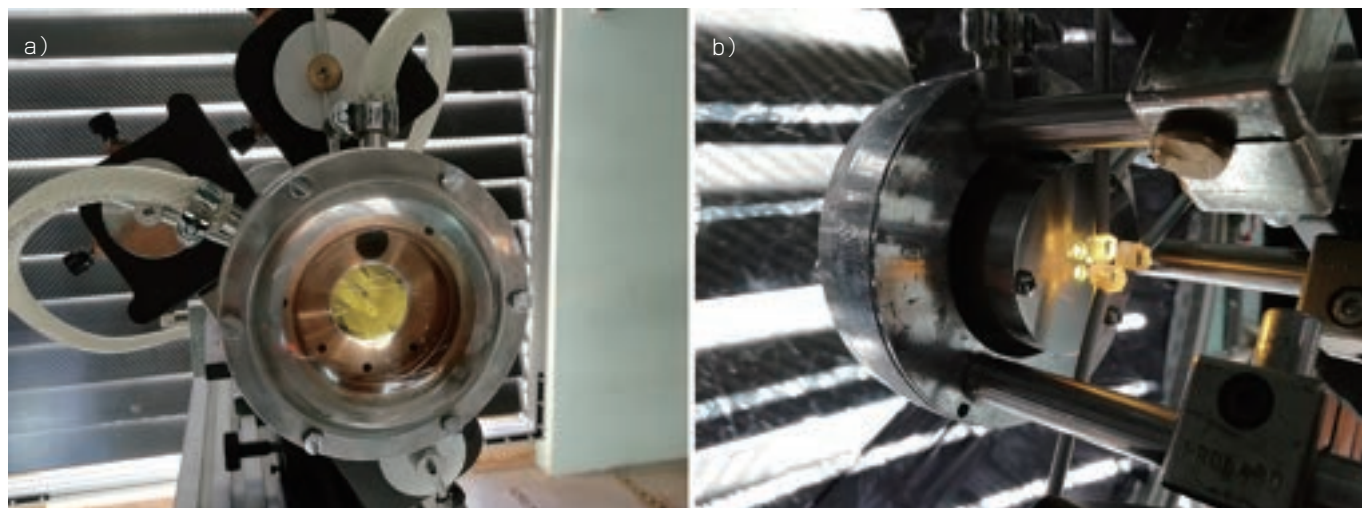


図2 この画像(a)は、水冷ソーラヘッドの前面、一方(b)は、ソーラレーザーヘッドの裏面を示している。こちらは、それぞれのロッドに整列された3つの小型出力カプラを備えている

レンズと3つの2.5mm径、25mm長Ce:Nd:YAGロッドで構成されており、これらは単一の円錐励起キャビティに搭載されている(図2a)」とリアン氏は言う。「また、3つの部分反射1064nm出力ミラーを対応するレーザーロッドと整列させた(図2b)」。

チームは、それぞれのポジションナーで3つの出力カプラを個別に調整することで正確なキャビティアライメントを達成できた。「焦点ゾーン内で正確なアライメントでは、我々は、レーザーヘッドをX-Y-Z軸位置決めシステムに搭載した」とリアン氏は言う。

溶融シリカ非球面レンズは、径84mm、厚さ37mm、前面曲率半径は44mm、また-0.005後方非球面計数 r^2 パラメータである。

「我々の非球面レンズは、焦点ゾーンからの集光ソーラ放射をシングル円錐励起キャビティ内の3つのCe:Nd:YAGロッドに効率よく結合した。エンド励起では、我々は集光放射の一部をロッドの高反射(1064nm)端面から非球面レンズによりCe:Nd:YAGロッドに直接集束する。コーティングが、共振キャビティ内の1064nm発振レ

ザービームを反射し、同時に他の使える太陽光を励起に利用できるようにしている」。

サイドポンプでは、Ce:Nd:YAGロッドの高反射1064nm端面から透過しない太陽光の別の部分を円錐励起キャビティに結合する。「ポンプキャビティ内で太陽光のジグザグ経路は、効率的なロッドマルチパスサイドポンプを確実にしている。また、我々は、励起キャビティ内壁に反射率94%の保護銀被覆アルミ箔を接着している」とリアン氏は説明している。

ソーラレーザーをテスト

リアン氏とチームは、シングルレーザー/3ビームCe:Nd:YAGロッドレーザー励起法をテストした。3つの連続波1064nmビームは効率的な同時放出であり、ソーラパワーからレーザーパワーへの変換効率は4.64%、ソーラレーザー集光効率は41.25W/m²、ソーラレーザースロープ効率は、7.64%になると計算されている。

「我々の方法は、高コンパクト性を達成している。1つのレーザーが複数のレーザースポットを生成し、単一励起キャビティ内の3つの細いCe:Nd:YAGレーザーロッドのおおのに最小入熱で、それぞれが正確に制御可能だからである」とリアン氏は説明している。「これにより、はるかに安定したレーザー出力となり、レーザー材料加工アプリケーション向けの特殊ニーズに適用されたエネルギーを調整できる」。

このチームのソーラレーザーは、地球、大洋、それに大気センシング、レーザー光線、深宇宙通信、宇宙のデブリ除去など広範なアプリケーションを見出す可能性がある。

リアン氏とチームは、現在、円錐励起キャビティ内で4つ、7つの薄型Ce:Nd:YAGロッド励起に取り組んでいる。目的は、ソーラからレーザーへの変換効率を5%以上にし、太陽追尾誤差範囲 $\pm 0.2^\circ$ 以内で、総レーザー出力パワー安定性を0.5%以下にすることである。

(Sally Cole Johnson)

参考文献

(1) D. Liang et al., Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 246 (2022); <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2022.111921>.