

平成 21 年 6 月 23 日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2006 年度～2008 年度
 課題番号：18360463
 研究課題名（和文）太陽光励起レーザーによるコヒーレント光発生とその高温生成に関する研究
 研究課題名（英文）Coherent light generation by solar pumped laser and its application for high temperature production.
 研究代表者
 今崎 一夫（IMASAKI KAZUO）
 財団法人レーザー技術総合研究所・レーザーエネルギー研究チーム・主席研究員
 研究者番号：40115994

研究成果の概要：太陽光励起レーザーの特性を把握し、これを用いた高温生成について研究を行った。太陽光のスペクトル範囲は広い。これに対し Cr と Nd とを組み合わせ広いスペクトルのピーク周辺を吸収する。このような多重添加物利用には結晶構造が必要と考えられていた。新開発のセラミックを用い、有効に作用し大幅に効率が改善される事がわれわれの研究により判明した。ターゲットの温度は熱源モデルが提案され、実験結果とよく一致する実験結果を得ている。この結果、通常の太陽光の集光や化石燃料等に比して遥かに高いエネルギー密度が達成可能であるとの結論を得ている。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
2007 年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
2008 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
総計	13,700,000	4,110,000	17,810,000

研究分野：エネルギー学

科研費の分科・細目：総合工学・エネルギー学

キーワード：太陽、レーザー、高温、量子遷移、励起

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化が徐々に、しかし確実に進行している。近年の異常気象はこれにより説明できると考えている気象科学者は多い。最近の急激な温度上昇は確定的で、特に、20 世紀にはいつから最近、極めて急激に温度が上昇している。これは色々なモデルから推定した値であるが、今後もこの傾向が続くことは確実である。この延長上において 21 世紀もこの気温上昇が進んでいくものと考えられている。

地球の気温と炭酸ガスの量は強い相関を持つ。このためにもクリーン太陽エネルギーの利用が進化する事が重要である。太陽光励起

レーザーとその高温生成がこのような方向性の一助となることを期待し研究を進めてきた。

2. 研究の目的

インコヒーレントな太陽光の収束性は悪い。これに起因して実用的規模における太陽光の熱源としての利用性は低い。われわれは太陽光をレーザーに集約照射し、これによるレーザー光を誘起し、集積し大容量高エネルギー密度状態を作り出す新方式を提案してきた。この実現を目的として研究を進めた。本方式での太陽励起レーザーは予想以上に高効率であることが当該研究により判明して

きた。また一般にレーザーは高収束性を持ちかつ長距離伝搬が可能である。これを延長すれば、大面積（10000 m²以上）の太陽エネルギーをレーザー光に高効率変換し、これを小さな空間に集約すれば容易に 10¹⁰J/Hrcm²以上のエネルギー密度が達成でき、温度も 1000～2000K を上回ることができる。これは化石燃料エネルギー密度の 10～100 倍以上に達し、この熱源を用いた高効率の水素発生等への応用は十分実用化の可能性があると予想される。

この方式の特徴の一つに熱を伝搬する必要がないことがある。光が熱伝搬の役目を担うという点に特色がある。またレーザー自体は結晶が必要でなく、セラミックタイプで比較的安価である。

レーザーは集中性が高いため高温化できることによりエネルギーを水素などの蓄分蓄積媒体に変換することが可能となる。このため将来的には経済性も高く取れると予測でき、この水素は経済的に家庭燃料電池発電や燃料電池自動車などの分散エネルギーへの利用が可能であると期待される。

3. 研究の方法

(1) 太陽励起レーザーの開発

太陽光のスペクトル範囲は広い。これに対し Cr と Nd を組み合わせる事により効率の高いレーザー作用が期待できる。このような2種類の添加物を有効利用するためには結晶構造が必要と考えられていた。しかし新しく開発されたセラミックにより、これが有効に作用し大幅に効率が改善される事がわれわれの研究により判明した。結晶構造を用いた方式では供添加量は制限され、小型—高価である欠点がある。これに比べセラミックは形状が比較的自由に選べ、結晶をより添加量を多くする事ができる。Cr と Nd における太陽光励起の概略を図 1 に示す。

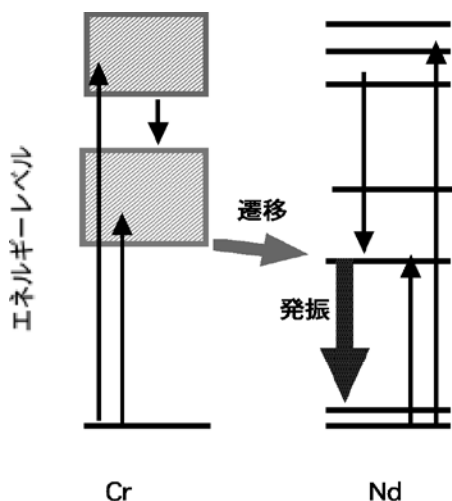


図 1 Cr-Nd 供ドープセラミックレーザー吸収特性とその発振結果

(2) レーザー高温達成

レーザーターゲットの温度は熱源モデルが提案されその結果が得られた。一般に、レーザー加熱温度分布は理想点熱源により与えられる温度分布を重畳して求められる。これによりターゲット全体での熱を計算できる。ここではエネルギー入力わかればそれに合わせた形で、その点熱源エネルギーすなわちレーザー吸収エネルギーを重ねあわせる事により求める事が出来た。また本研究で作成した太陽励起レーザーによる金属加熱実験を行った。

4. 研究成果

Cr と Nd を供ドープできる材料としてガラス、セラミック、結晶がある。しかしガラスにおいては Cr 吸収が大きく、Nd 発振波長域に影響を及ぼし Nd と Cr の供ドープ効果が期待できない。一方結晶では Cr 吸収が Nd 発振波長域に及ぼす影響が小さいので供ドープ効果が期待できるが、太陽光集約光学系に整合した大型で安価なレーザーの作成が困難である。セラミックにおいては結晶と同様の供ドープ効果を有しかつ安価な大型レーザーの作成が可能である。以上の観点より太陽励起レーザーとしてセラミックを選び研究を進めた。

これを用いた場合の実験結果を図 2 に示す。太陽光の広い範囲にある可視光を Cr が吸収し Nd の発振線にエネルギーを集中して発振することがわかる。実太陽光は雲や大気の揺らぎで微妙にその出力が変化する。小型の自然太陽光レーザーを作成し発振等は確認できたが効率などの正確な値は得られなかった。

このため模擬太陽光を用いた室内実験に切り替え研究を行った。室内ではセラミックアクティブミラー型レーザーにおいて模擬太陽光を用い実験した結果、有効波長域で 40% を越える変換効率（レーザーエネルギー/太陽光有効エネルギー）が得られた。これは通常の太陽電池の効率以上である。またこの効率は室外実験での結果ともほぼ一致する。図 2 にこの出力の実験結果を示す。

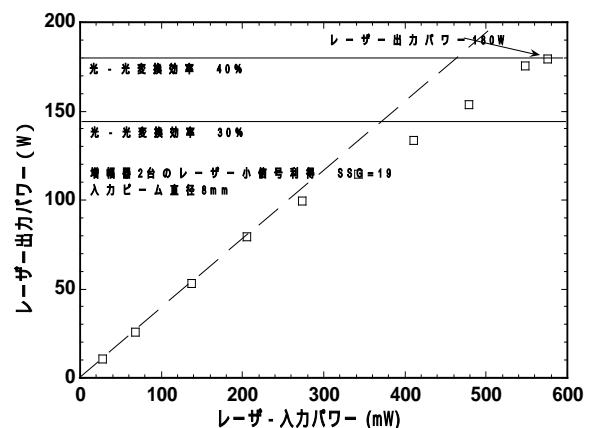


図 2 セラミックアクティブミラー型太陽光励起レーザーの出力特性

本研究において作成され、この実験に用いられた模擬太陽光励起セラミックレーザーの写真と概略図を図3及び図4に示す。

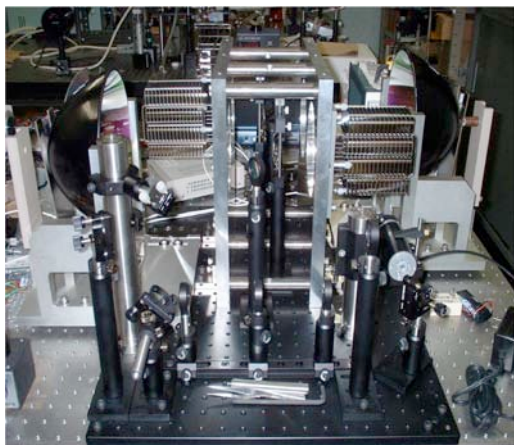


図3 模擬太陽光励起セラミックレーザー装置写真

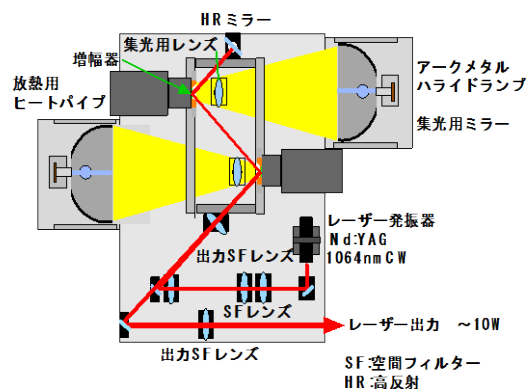


図4 模擬太陽光励起セラミックレーザー装置概略図

世界初のセラミック太陽励起レーザーにより、高効率等の優れた特性を得た。その上このセラミック太陽励起レーザーは高温でも利得が高く、ドープ率も結晶より高くとれる等の特長もわかってきた。ターゲットはレーザーエネルギーにより加熱される。この時賦与されるエネルギー密度に対する温度上昇に対する計算値を図5に示す。賦与されるエネルギー密度は100J/gより2500J/gまで取っている。この時の温度は3500kまで上昇する。この時のターゲットサイズは長さ0.5mで1cmの半径であった。エネルギー変換対象プロセスが未定であり詳細な計算は行えないがこれは今後の研究課題となる。材料によるが温度が2000k以上に上昇しており冷却もしくは熱交換が当然必要となる。変換プロセスを含めて今後実用化のための重

要な要素となる。

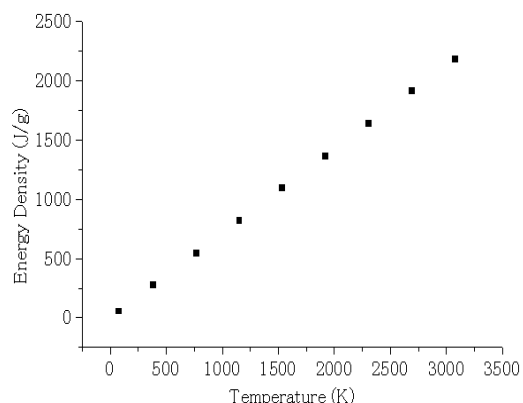


図5 レーザー加熱特性

なおこれではまだ熱変換ターゲットの具体的な材料や形状が決まっていないためターゲットの冷却率は入れていない。高温実験において正確な効率等の必要性がないため自然太陽光励起レーザーで金属ターゲットの照射実験を行った。アルミニウムをターゲットに用いた場合の実験状況を図6に示す。金属がアブレートしている。またカーボンを用いても同様であった。これはカーボンの沸点2000°Cを遥かに超えていることを示す。



図6 実太陽光励起セラミックレーザー加熱アルミターゲット（レンズの陰の白点—熔融部）

この研究をまとめると以下のようなになる。

1. 地球温暖化は徐々に進行している。これに対して低炭素化エネルギー源を確立する事は大切である。その代表例が水素である。
2. 太陽励起レーザーの特性を調べ効率が低い事を明らかにした。
3. セラミックディスク型の太陽光励起レーザーを構築し大出力化を達成した。

4. 将来的にこのようなレーザーを大規模化し大容量の太陽エネルギーを集積できる。
5. この結果大容量の高温が得られる。
6. この高密度/大容量エネルギーを用いて水素などのエネルギー性物質の創成が考えられる。
7. このエネルギー性物質のコストは合理性があり、そのため将来性もあると考えられる。今後この太陽励起レーザーによる水素生成等の具体的な応用が必要となる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計9件)

- ① 佐伯拓、今崎一夫、中塚正大、太陽光直接励起レーザーの現状と将来、レーザー研究 37 (2009) pp.120-126
- ② T. Saiki, S. Motokoshi, K. Imasaki, K. Fujioka, H. Yoshida, H. Fujita, M. Nakatsuka, and C. Yamanaka, "Laser pulses amplified by Nd/Cr:YAG ceramic amplifier using lamp and solar light sources", Opt.comm. 282 (2009) p p.1358-1362
- ③ T. Saiki, K. Funahashi, S. Motokoshi, K. Imasaki, K. Fujioka, H. Fujita, M. Nakatsuka, and C. Yamanaka, "Temperature characteristics of small signal gain for Nd/Cr:YAG ceramic lasers", Opt.comm. 282(2009)pp.614-616
- ④ T. Saiki, S. Motokoshi, k. Imasaki, K. Fujioka, H. Fujita, M. Nakatsuka, and C. Yamanaka, "Two-pass Amplification of CW Laser by Nd/Cr:YAG Ceramic Active mirror under Lamp Light Pumping", Opt Comm.282(2009) pp936-939
- ⑤ T. Saiki, S. Motokoshi, K. Imasaki, K. Fujioka, H. Yoshida, H. Fujita, M. Nakatsuka, and C. Yamanaka, " High-repetition-rate Laser Pulses 6. Amplified by Nd/Cr:YAG Ceramic Amplifier under CW Arc-lamp-light Pumping", Opt. Comm. 282(2009), in press

その他、同様の著者において代表的なものがレーザー学会第375回研究会報告 RTM08-14 pp7 (2008)

Japanese Journal of Applied Physics 47-10 pp7896 (2008)

レーザー学会第349回研究会報告 RTM-06-16 pp31 (2006)

レーザー研究 34 5 pp374 (2006)

[学会発表] (計4件)

- ① 佐伯拓、本越伸二、藤岡加奈、吉田英次、今崎一夫、藤田尚徳、中塚正大、山中千代衛、CW 白色光励起光源を用いた Nd/Cr:YAG セラミックレーザー増幅器のパルス飽和増幅特性、レーザー学会学術講演会第29回年次大会、徳島大学、2009年1月11日
- ② 成田直矢、佐伯拓、本越伸二、今崎一夫、藤岡加奈、吉田英次、藤田尚徳、中塚正大、山中千代衛、大石剛弘、石岡学、大久保友雅、大東和也、内田成明、矢部孝、太陽光直接励起 Nd/Cr:YAG セラミックパルスレーザーの開発、レーザー学会学術講演会第29回年次大会、徳島大学、2009年1月11日
- ③ 佐伯拓、本越伸二、今崎一夫、藤岡加奈、藤田尚徳、中塚正大、山中千代衛、宇宙エネルギー利用を目的とした太陽光励起レーザーの開発、第23回宇宙太陽発電時限研究専門委員会研究会、東北大学院大学、2008年10月7日
- ④ 佐伯拓、本越伸二、今崎一夫、中塚正大、宇宙エネルギー利用のための太陽光直接励起レーザー開発の現状、第28回宇宙エネルギーシンポジウム、JAXA 宇宙科学研究本部、2008年3月9日

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今崎 一夫 (IMASAKI KAZUO)

財団法人レーザー技術総合研究所・レーザーエネルギー研究チーム・主席研究員

研究者番号: 40115994

(2) 研究分担者

(2007年度)

李 大治 (LI DAIJI)

財団法人レーザー技術総合研究所・レーザーエネルギー研究チーム・研究員

研究者番号: 00373209

(2006年度~2007年度)

佐伯 拓 (SAIKI TAKU)

財団法人レーザー技術総合研究所・レーザーエネルギー研究チーム・研究員

研究者番号: 70333292

(2006年度)

橋本 和久 (HASHIMOTO KAZUHISA)
財団法人レーザー技術総合研究所・レーザー
加工計測研究チーム・研究員
研究者番号：20353526

(3) 連携研究者 (2008 年度)

佐伯 拓 (SAIKI TAKU)
財団法人レーザー技術総合研究所・レーザー
エネルギー研究チーム・研究員
研究者番号：70333292
李 大治 (LI DAIJI)
財団法人レーザー技術総合研究所・レーザー
エネルギー研究チーム・研究員
研究所番号：00373209

(4) 研究協力者

中塚 正大 (NAKATSUKA MASAHIRO)
財団法人レーザー技術総合研究所・副所長
研究者番号：20088462