

CONTENTS

- Nd/Cr:YAG材料の蛍光特性
- Photonics West 2011国際会議報告
- 【光と蔭】ポストレーザー核融合点火に備えて
- 国際会議報告「米国原子力学会第19回核融合エネルギー技術分科会」
- The 19th Topical Meeting on the Technology of Fusion Energy (TOFE)
- 主な学会等報告予定



【表紙写真】クライオスタット内に装着されたNd/Cr:YAGセラミックス

Nd/Cr:YAG材料の蛍光特性

Nd:YAGレーザー材料に、 Cr^{3+} を共添加した「Nd/Cr:YAG材料」は、Crイオンの持つ可視域の広い吸収帯から、Ndイオンへ効率よくエネルギーを移乗することから、太陽光やランプ光のような広いスペクトル幅を持つ励起光源に対して、高効率のレーザー動作が期待できる。

レーザー総研では、宇宙航空開発機構(JAXA)と協力して、Nd/Cr:YAGセラミックス材料を用いた太陽光励起レーザーの基礎実験を行ってきた。しかしながら、Nd/Cr:YAG材料は新しい材料であり、様々な開発課題が残っている。特に、CrイオンからNdイオンへのエネルギーの流れについては、未だ十分な理解を得られていない。

現在我々は、Nd/Cr:YAG材料におけるエネルギー移乗の過程を明らかにすることを目的に、種々の条件に対する蛍光特性を評価している。本稿では、その一部を紹介する。

● 蛍光寿命の励起波長依存性

レーザー材料の蛍光寿命は、添加イオン濃度にも依存するが、濃度消光がない場合、Nd:YAG材料の寿命は約230 μs 、Cr:YAG材料の寿命は約1.8msと報告されている。Crイオンが吸収されたエネルギーをNdイオンを介して放出する場合、その蛍光寿命は上記寿命の間であることが予想される。つまり、Crイオンに蓄えられたエネルギーをNdイオンから少しずつ放出する見かけ

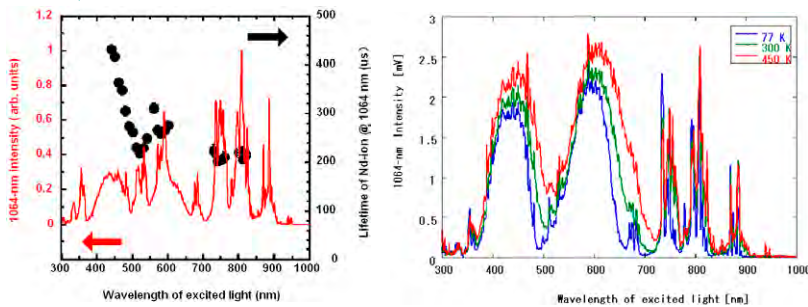
レーザー技術開発室 本越伸二

上の蛍光寿命と考えることができる。それを確認するために、Nd1%、Cr0.1%を添加したYAGセラミックスに対して、励起波長を変えて蛍光寿命を測定した。図1に測定結果(黒丸)を示す。参考のために、励起波長を変えた場合の $1064 \pm 10\text{nm}$ の蛍光強度(励起蛍光スペクトル)を赤線で示した。Ndイオンの吸収帯である750nm付近、800nm付近の励起波長に対しては、約220 μs とこれまでの報告とほぼ同じ蛍光寿命を示した。しかしながら、Crイオンの吸収帯である450nmから600nmの波長で励起した場合、蛍光寿命は220 μs から440 μs まで大きく異なることが判った。これは、励起光がNdイオンとCrイオンのどちらに多くエネルギーを与えているかに依存している。図1の励起蛍光スペクトルと比較をすると、Crイオンの広い吸収帯が存在する波長は、比較的蛍光寿命は長く、Ndイオンの断続的な吸収が存在する波長では蛍光寿命は短くなる。このことから、Nd/Cr:YAG材料の蛍光寿命を決定するためには、個々の波長に対するNdイオン、Crイオンの吸収係数を求め、励起エネルギーを分配した上でエネルギー移乗を考える必要がある。

● 励起蛍光スペクトルの温度依存性

一般的に、レーザー材料からの蛍光スペクトルは、温度増加に伴ってその中心波長が長波長側にシフトし、スペクトル幅が広がることが知られている。また、レーザー動作の場合、温度増加によりレーザー下準位の電

次ページへつづく▶



【図1】Nd/Cr:YAGセラミックス材料の励起蛍光スペクトルと蛍光寿命(Nd:1%、Cr:0.1%)

【図2】Nd/Cr:YAGセラミックス材料の励起蛍光スペクトル (Nd:1%、Cr:2%)

子数密度が増加し、反転分布密度が低下することから、利得の減少として顕われる。そのため、一般にレーザー装置は室温、それ以下で動作するように設計し使用されている。Nd/Cr:YAG材料の場合、Crイオンにより、より多くの励起光を吸収することができるが、その一方で、量子損失に起因する発熱量も増加する。そのため温度特性は重要な要素である。図2にNd1%、Cr2%を添加したYAGセラミックス材料の励起蛍光スペクトルを示す。Nd/Cr:YAG材料は、表紙写真のようにクライオスタット内に装着され、77K~450Kまで温度を変えて評価した。Ndイオンの吸収帯である750nmより長い

励起波長では、温度変化に対して大きな変化はみられない。しかし、Crイオンの吸収帯である400nm帯、600nm付近の励起蛍光スペクトルは、温度増加に伴いそのピークが長波長側にシフトするとともに、強度が増加していることが判る。特に、77Kでは1064nmへのエネルギーの寄与がない500nm付近、700nm付近の蛍光強度が、450Kでは大きく増加していることが判った。この結果は、Nd/CrYAG材料の場合では、温度増加に伴い更に励起効率の向上が期待できることを示唆している。今後、吸収特性や、利得特性などを評価し、エネルギー移乗の機構を明らかにしていく。

● Nd/Cr:YAG材料の実用化に向けて

蛍光特性だけを調べても、Nd/Cr:YAG材料は、Nd:YAGや、Cr:YAGでは見られない現象が確認されている。更に、物性定数等についても研究を進めながら、Nd/Cr:YAG材料の実用化に向けて改良、開発を行っていく。最後に、本研究はJAXAとの共同研究を基礎にしており、現在も大阪大学、近畿大学など多くの方に御協力を頂いている。この紙面を借りて感謝申し上げたい。

REPORT

Photonics West 2011国際会議報告

主席研究員

藤田雅之

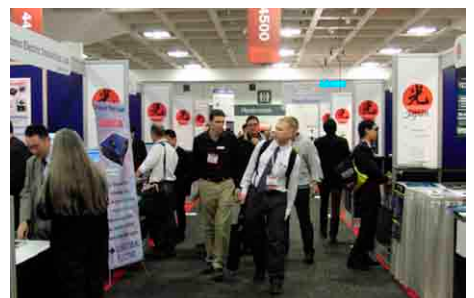
◆Photonics West 2011開催される

去る1月23~27日にかけて米サンフランシスコで、レーザー関連の国際会議であるPhotonics West 2011が開催された。Photonics Westは5つの国際会議(BIOS、LASE、MOEMS-MEMS、OPTO、GREEN PHOTONICS)から構成され、巨大な展示会を併設している。今回から展示会において“日本パビリオン”と呼ばれる一角が登場していた。これまで日本メーカーは会場のあちこちに点在してブースを展開していたが、今回、わずか10社ではあるが、まとまってブースを構えるという動きが見られた。お隣の“独パビリオン”の30社にはかなわないが、日本のプレゼンスが示されていた。

◆VCSEL励起の固体レーザー

通信分野では研究開発が盛んなVCSEL(Vertical Cavity Surface Emitting Laser: 垂直共振器面発光レーザー)であるが、これを高出力化して固体レーザーの励起に適用した結果が報告されていた。Princeton

Optronics社はGaAsのVCSEL(波長808nm)でNd:YAGを励起している。Q-CWの500W



【写真】展示会の日本パビリオンの様子

で2mm厚の板状Nd:YAGを側面から励起して、320μsの励起パルスでノーマル発振させ34mJの1064nmパルスを得ている。スロープ効率は40%である。Qスイッチ動作では、220μsの励起パルスに対して4.7mJ/4nsを得ている。946nmでレーザー発振させて二倍高調波をとれば、473nmのブルーを発生させることが可能となる。(この450nm近辺のブルーの波長は水中を伝搬しやすいため水中通信にとって重要な波長である。)両側面から励起したモジュールを3つ用い、発振波長946nmでQ-CW励起で60mJ超のパルスエネルギーを達成している。同じくQスイッチ動作では21mJ/23ns、BBOで波

長変換して473nmで10mJ/17nsを達成している。

◆ドイツ発のレーザー：DiskとINNOSLAB

ドイツの産業用レーザー開発は依然として活発である。TRUMPF社のディスクレーザーはモジュール化が進められている。4kWのレーザーヘッドの励起LD部分が4分割モジュール化されており当面は2kW必要だが将来的には4kWの可能性がある場合は、励起LDを半分だけ搭載して必要に応じて現場でLDを追加できるような構造となっている。4kWヘッドを4台用いることで16kW出力が可能で、同構造で2011年夏には24kWがリリースされる予定である。売れ筋は2～4kWとのことであった。一方、アーヘンのFraunhofer ILTで開発が進められていたINNOSLABがEdgeWave社から製品化されていた。大学・研究機関での成果が着実に産業界での実用化に結びついているという印象を受けた。

◆ファイバー結合LDの出力がkWクラスへ

DILAS社から、コア径400 μm 、NA0.2のファイバーに結合した出力1.2kWのLDの報告があった。12個のLD barのエミッターからの出力をrotating prismで空間的に並べ替え、さらに偏波合成してトータル24barをファイバーに結合している。さらに、波長の異なるファイ

バー 1kW出力を重ね合わせて2kWを達成している(電気-光変換効率は41%)。将来的に多重化する波長を増やして5kWを目指している。

◆ビーム結合

ポストデッドラインセッションでFraunhofer IAOとRheinmetal Defense社から、回折格子を用いて4波長のレーザー光(出力2.1kW)を結合して8.2kWを達成したとの報告があった。用いられているレーザーの最終増幅器はLMAファイバー(コア/クラッド=42/500 μm)で1010nm～1085nmの間で波長をチューニングできる。誘電体多層膜を施した反射型回折格子の回折効率は98%以上で、1040nm～1064nmの間で8nmおきの4波長を結合している。結合後のビーム品質 M^2 は4.3であった。

今回のPhotonics Westでもファイバーレーザー開発の勢いは収まる気配が見られなかった。ファイバーレーザーのセッションが最も大きく4日間続けてあり、ポストデッドラインペーパーもほとんどがファイバーレーザーを用いたものであった。展示会でもいたるところに大小様々なファイバーレーザーが展示しており、今後ファイバーレーザーの産業界での普及が加速されるといった印象を受けた。

山中千代衛



ポスレーザー核融合点火に備えて

わが国のレーザー核融合研究は当初より民生用新エネルギー開発に目標が絞られ、その研究実績は世界が高く評価する処である。現にIFSA会議

(Inertial Fusion Sciences and Applications)の場において、日、米、欧が三極を形成している。残念ながら、2000年になってわが国は長期低迷に陥り、産学官を上げてかつての勢い「Japan as No. 1」のスピリッツは影をひそめた感がある。

この度2月14日学術会議講堂において「超大型レーザーによる高エネルギー密度科学の展開」と題するシンポジウムが開催され、広く物理関連の方々からも討議を頂く機会に恵まれた。米国からNIFのE. モーゼスやDOEのD. H. クランドルらを迎え高密度科学への展望が議論された。近藤駿介原子力委員長や坂田東一元文科省次官らの顔も見えたが、NIFが点火した後のわが国のとるべき対策は余り取り上げられなかった。言うまでもないことだが、米国とは異なる高速点火方式でわが国は別途に点火を目途している。レーザー核融合の点火こそ中心の研究目標であって、宇宙のエネルギーの根元は核融合であるからその副産物として高密度物理現象も取り扱えることはきわめて自明である。

当日の議論を聞くとレーザー核融合は軍事応用につながる恐れという文言が聞かれた。この手の話は30年前に磁場核融合の研究者とさんざん取り交わしたテーマで、今や国際的にも兵器開発にレーザー核融合を利用しようとする科学者はいない。学術会議として原子力の民主、自主、公開の原則はその昔伏見先生とよくよく議論し合ったテーマで当時がい出され大変懐かしい感じがしたと共に時代の流れによる国際情勢の変化が気になった。かつて大阪大学が手をとって指導した上海光機所につながる中国のレーザー核融合研究は四川省の綿陽で大展開を計っている。

当日の立花 隆氏司会のパネル討論会でもパネルメンバーの中に世界をリードしたかつての気迫は見られず、日本の活力の喪失は如何ともし難いという感におそわれた。わが国はどこでボタンをかけ違ったのだろう。政も産も学も官も無作為に陥り、GDPは停滞し、新エネルギー開発に向けての時代の変動に対応する動きが遅すぎる。老科学者の悩みは尽きない。

【研究名誉所長】

国際会議報告 「米国原子力学会第19回核融合エネルギー技術分科会」

The 19th Topical Meeting on the Technology of Fusion Energy (TOFE)

理論・シミュレーションチーム 砂原 淳

昨年11月7日～11日までラスベガスにおいて開催された米国原子力学会の第19回核融合エネルギー技術分科会、The 19th Topical Meeting on the Technology of Fusion Energy (TOFE)に参加した。本会議は米国を中心に各国から核融合炉工学の研究者が集まり、核融合炉のデザイン、炉工学の実験、理論、シミュレーションが議論される。点火を目前にした国立点火施設：NIFの現状、米国におけるNIF後の発電炉を目指した核融合炉LIFE、欧州次期核融合実験炉HiPERや国際熱核融合炉ITERの研究報告から一般的な炉工学の課題など多岐に渡るテーマが議論された。NIFに関してはレーザーエネルギーを点火実験時の1.8MJに向けて徐々に上げながら、クライオ実験が始まった事がDr. Edward Mosesにより報告された。早ければ2010年の点火か？とも噂されていたが、石橋をたたいて渡り、本来の計画通り1年後の点火に向けて実験とシミュレーションの値を比較し、様々なパラメータを最適値に追い込みつつ、計測器を立ち上げていることが報告された。LIFEについても炉のデザインや中性子散乱計算等が多数報告された。リチウムブランケットをどのように配置

薄ガスの熱的な影響をどのように抑制するかが重要になる。間接照射方式だとキャビティよりクライオターゲットが外界から熱的にシールドされる利点があるため、現状のLIFEのデザインはNIFと同様の間接照射方式をベースに炉設計が進んでいる。

我々は核融合研廣岡教授、阪大田中教授を中心としたレーザープルーム実験のシミュレーション解析結果を発表した。第一壁の問題、即ち、放射線や高温プラズマにさらされる壁の応答は炉工学の重要課題の一つである。レーザーを熱源として壁に照射することで、実験室で壁の応答(損耗、表面の噴き出し)を実験することが可能であり、レーザー実験は第一壁問題に関する有望な研究手段になりうると考えている。

今回の会議に参加して極端紫外(EUV)光源開発の研究者が多いことに気づいた。レーザー核融合が主にレーザーの臨界密度オーダー以上の高密度プラズマに注目するのに対し、EUV光源開発はレーザーにより生成されたプラズマ、即ち、レーザーの臨界密度以下の低密度のプラズマを相手にする。これは炉工学における壁の応答ときわめて状況が似ており、EUV研究者と炉工学の研究者が重なってくるのは必然とも言える。EUVは、量産光源開発に向けたスズドロップレットの挙動解析が重要課題であるが、レーザーによるアブレーションという観点でみれば、EUV研究と炉工学の間で知見を互いに活かすことも十分に可能であると考えられ、レーザーの持つポテンシャルの高さと共に、レーザーと固体の相互作用研究の奥深さを感じさせられた。



【写真】講演中の筆者

するか、第一壁などの損耗部品を交換する際のメンテナンスをどうするか、また、クライオターゲットを炉内に入射したときに炉内に残留する希

主な学会等報告予定

- | | |
|-----------------|---|
| 3月24日(木)～27日(日) | 応用物理学会 第58回応用物理学関係連合講演会(神奈川工科大学)→東日本大震災のため中止
古河 裕之「レーザーアブレーションによるナノ粒子生成のシミュレーション」
柴川 智弘「海水溶存二酸化炭素の遠隔計測に向けたラマンライダーの開発」
李 大治「左手系マテリアルによる表面波」
古瀬 裕章「低温冷却Yb:YAG TRAMレーザーの開発と将来展望」 |
| 3月25日(金)～28日(月) | 日本物理学会 第66回年次大会(新潟大学)→東日本大震災のため中止
古河 裕之「レーザー核融合炉液体壁チャンバー内の蒸発ガスの挙動に関する研究」 |
| 3月26日(土)～29日(火) | 日本化学会 第91春季年会(神奈川大学横浜キャンパス)→東日本大震災のため中止
ハイク・コスロビアン「セリンヒドロキシメチル転移酵素(SHMT)の超高速蛍光ダイナミクス」
谷口 誠治「sub-10fs過渡吸収測定による光活性黄色タンパク質(PYP)の光初期異性化ダイナミクス」 |