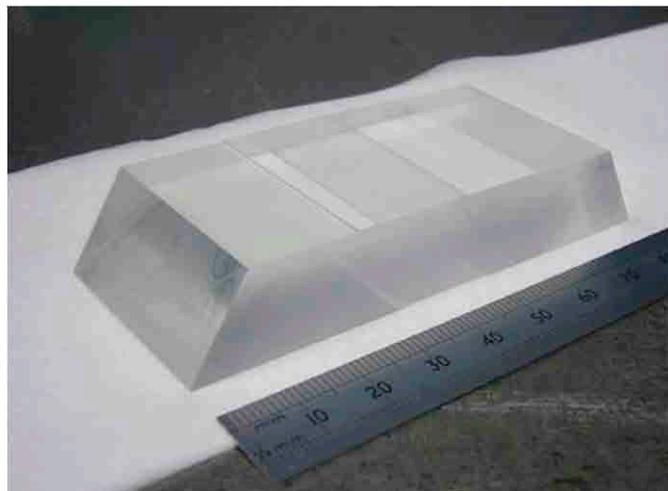


CONTENTS

- ジグザグアクティブミラー型低温冷却Yb:YAGレーザー—10 kW級のレーザーシステムを目指して—
- 光ファイバ内の非線形散乱の抑制
- 【光と蔭】国の将来は人材にあり
- Photonics West 2010、ASSP 2010 国際会議報
- 主な学会等報告予定

【表紙図】コンポジット型Yb:YAGジグザグアクティブミラーセラミックスの実物写真



ジグザグアクティブミラー型低温冷却Yb:YAGレーザー—10 kW級のレーザーシステムを目指して—

レーザーエネルギー研究チーム 古瀬裕章
河仲準二
大阪大学レーザーエネルギー学研究センター

■全反射アクティブミラー型レーザー(TRAM)

我々は加工産業用にキロワット以上の高平均出力固体レーザーの開発を行っている。特に利得媒質中の発熱による悪影響を抑制し、高効率・高品質を同時に満たす理想的な光源を目指している。これを実現するために、我々は全反射とアクティブミラー増幅方式を組み合わせた全反射アクティブミラー型(Total Reflection Active Mirror: TRAM)増幅方式を考案し、世界で初めて発振試験を行った(Laser Cross:No.254)。TRAM方式では媒質を冷媒で直接冷却することができるため従来のAM方式よりも高い廃熱効率を有する。そして熱特性の良い低温冷却Yb:YAGを利得媒質に選び、出力273W、光変換効率65%、スロープ効率72%を達成した。

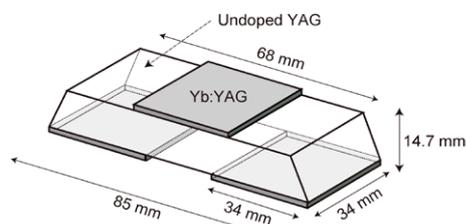
■ジグザグアクティブミラー型レーザーの考案(TRAM多段増幅方式)

今回我々はTRAMの発展型として図1に示すTRAM多段増幅方式を試みた。試料は台形柱のアンドープYAGと3枚のYb:YAGディスクから構成されるコンポジットセラミックスである。媒質の上面および底面はTRAMと同様に液体窒素で直接冷却される。レーザー光および励起光は同軸で、斜面に対して垂直に入射し、Yb:YAGと液体窒素の界面で全反射して媒質内をジグザグに伝搬する。我々はこの新しい増幅方式をジグザグアクティブミラー(ZigZag Active-Mirror: ZiZa-AM)

と名付けた。各Yb:YAGディスクの厚みを各媒質での温度上昇が一定となるように設定した。本方式では励起光のパワーを複数のYb:YAGディスクに分散させることができ、発熱量を抑えることができる。ZiZa-AMは現在特許出願中である。

■低温冷却Yb:YAG-ZiZa-AMLレーザーの実証試験

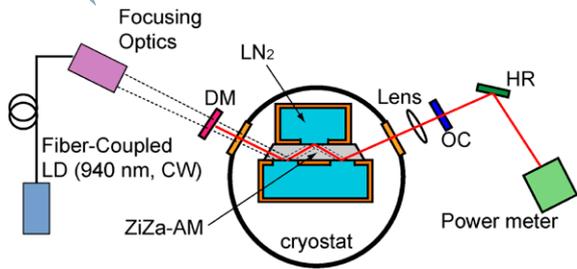
図2にCW発振実験の構成図を示す。ZiZa-AMサンプルをクライオスタット内部のホルダーに設置した。真空シールにはインジウムワイヤを用いた。Yb:YAGの厚みは励起される順にそれぞれ100 μ m, 190 μ m, 290 μ mである。励起光源には波長940nm, 最大出力500Wのファイバー結合半導体レーザーを用いた。励起光を集光光学系を通して中央のYb:YAGディスクに集光した。各Yb:YAGでの励起スポット径はそれぞれ ϕ 9 mm, 8mm, 9mmである。クライオスタットと集光光学系の間には励起光(940nm)を透過し、レーザー光(1030nm)を反射するダイクロミックミラー(flat)を設置した。サンプルを透過した後にレンズと出力ミラー



【図1】ジグザグアクティブミラー方式

次ページへつづく▶

ジグザグアクティブミラー型低温冷却Yb:YAGレーザー

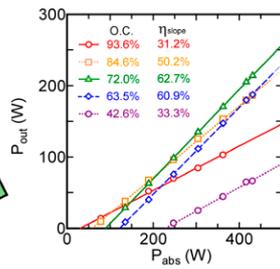


【図2】発振器の構成図

(flat)を設置して長さ35cmのキャビティを構成した。反射率の異なる5種類(42.6%、63.5%、72.0%、84.6%、93.6%)の出力ミラーを用いて測定を行った。

■出力214 W, スローブ効率63%を達成!

図3に発振出力特性を示す。励起光の吸収率は93%であり、光学系等の損失を考慮すると最大吸収パワーは431Wと見積もることができる。測定は5種類の出力ミラー(OC)を用いて行った。反射率72%のOCを用



【図3】発振出力特性

いた際に、出力214W、光変換効率50%、スローブ効率62.7%を達成した。現在の励起密度は非常に弱く、また、励起光とレーザー光のカップリング効率も改善可能である。今後実験構成を改良することでまだまだ出力を上げることが可能である。

■10 kW出力が期待できる!!

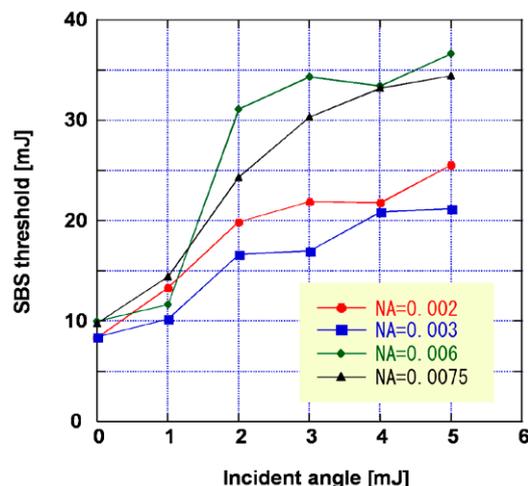
図3で得られた入出力特性において、最大励起時においても出力パワーは入力パワーに対して線形に増加している。これはYb:YAGの分光特性より、媒質の温度が100K以下で動作していることを意味する。本研究で作製したZiZa-AMレーザーでは15kWの励起パワーにおいても4準位系動作を維持できると見積もっている。したがって、10kW級のレーザー出力の可能性を秘めている。今後は励起パワーを上げるだけでなく、熱解析やより良い冷却方法の構築等を進めて行く予定である。

TOPICS

光ファイバ内の非線形散乱の抑制

レーザー技術開発室 本越伸二

ファイバレーザーの高出力化に伴い、産業用途で固体レーザーからファイバレーザーへの置き換えが進んでいる。ファイバレーザーおよびファイバ伝送の課題として、高出力パルス伝送が困難であることが挙げられる。特に、ファイバ端面のレーザー損傷や、ファイバ内部で発生する非線形効果は、伝送効率を低下させるだけでなく、装置寿命を決定する要因になっている。既に、我々は、マルチモード光ファイバ端面のレーザー損傷閾値を評価し、その閾値が一般的な石英ガラス窓表面の閾値に比べて約1/3と低いことを明らかにし、ファイバ端面加工の改善を指摘した(レーザークロス



【図1】入射角、入射NAに対するSBS発生閾値

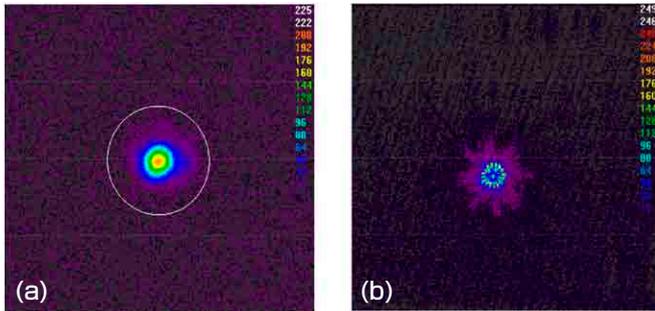
No.252)。その一方で、ファイバ内部で発生する非線形散乱(誘導ブリュアン散乱:SBS)は、端面で損傷が発生するエネルギーよりも低いエネルギー

で起こる事がわかった。すなわち、光ファイバにより高出力パルス伝送を可能にするためには、ファイバ端面の耐力を向上する以上に、内部で発生するSBSを抑制する必要がある。

非線形効果は、レーザー光の強度と相互作用長に依存する。マルチモード光ファイバ内を伝搬する光は、ランダムな位相と考えられるため、相互作用長は短い、マルチモードの干渉により局所的に高強度になることが考えられる。それを抑制するためには、伝送モードを制御することが必要である。我々は、ファイバへの入射NA、角度、中心からのオフセットなどのSBS発生閾値への影響を評価するとともに、入射レーザー光のモードを変えることによりSBS抑制を試みた。

●SBS発生は伝播モードに依存

コア径1,000 μm 、1,200 μm のマルチモード石英ファイバに対して、入射レーザー光の光学特性を変え、SBS発生閾値の変化を評価した。入射レーザー光には、波長1,064nm、パルス幅10nsの単一モードNd:YAGレーザーパルスを使用した。SBS発生閾値は、コア中心からのオフセット量には依存しなかった。入射NAおよび入射角度が大きくなるに従い、SBS発生閾値は上昇した(図1)。これらは、入射端面に近い位置でクラッドとの境界で反射が始まり、伝播モードが多くなりレーザー強度が抑えられたためと考えることができる。このことから、入射レーザー光が単一モードよりもマルチモードの方がSBS発生を抑制できるものといえる。しかしながら、レーザー装置のシード光を外した(マルチモー



【図2】ファイバ入射パターン。(a) 単一モード、(b) 分割位相板によるマルチモード

ド動作)の場合には、SBS発生よりも低いエネルギーでファイバ端面に損傷が発生した。

● 入射モード制御によるSBSの抑制

SBS発生を抑制するためには、単一モードよりもマルチモードの方が有効であるが、マルチモード発振のレーザーを使用すると、損傷閾値が大幅に低下する。そ

のため、入射モードを制御することが必要である。モードを制御するために、空間分割位相板を製作した。これは、入射ビームに対して半分から16分割した空間に位相遅延コートを施したもので、集光レンズ入射前に挿入することにより、ファイバへの入射モードを変えた。図2に単一モードレーザーの入射パターンと、16分割位相板挿入時の入射パターンを示す。それぞれの M^2 値を評価すると、単一モードでは1.1、位相板挿入時では約45であった。その結果、入射NA、入射角と合わせて調整することにより、単一モードでは9mJで発生したSBS光は、約6倍の53mJの入射光に対しても発生せず、高出力パルス伝送の可能性が明らかになった。

● 更なる高出力伝送へ

SBS光を抑制する最適な入射モードは、パルス幅や波長によっても異なる。その一方で、ファイバ端面および内部の損傷に対する課題も解決する必要がある。今後、ファイバの構造等も考慮しつつ、更なる高出力パルス伝送を可能にする技術開発を進めていく。



国の将来は人材にあり

1980年代わが国はJapan as No.1と世界から賞賛的であった。敗戦後たった30年間に戦災の瓦礫の中から不死鳥のように蘇り、世界一級の経済大国にのし上がったのである。領土は狭く、資源に乏しい状況にあったが、この時代きわめて活気に富んだ国民1億人が懸命に働き、いわゆる人口構成は今と違ってピラミッド型であったからまさに発展への条件は見事に整っていた。しかも戦前には世界三大強力国の一つという経験もあったから、教育水準も高く集約的な国家体制の下、先進国に追いつけ追い越せのスローガンを掲げ、GDPの増加は年率10%内外を確保してきたのである。

1990年東西冷戦の解消と共に日米安保条約の下で機能して来たわが国の経済は一挙に不況に突入し、以来20年低迷の淵に喘いでいる。挙げ句の果て2009年になって、戦後長らく政権を担当して退化した自民党は野党に転落し、新しく未熟な民主党が政権につくことになった。

2010年現在わが国は未曾有の危機にある。少子高齢化や国の財政破綻状態もさることながら、より深刻なのはあらゆるレベルでの人材の劣化である。中国、インドをはじめ新興国はかつてのわが国のように年率10%を越える成長を維持し、一方世界の盟主的存在であった米国はブッシュ政権以来イラク、アフガニスタンで不毛の戦争を展開し、その上昨年未金融恐慌に見舞われ昔日の面影はない。

このような環境下でいかに日本回天の計略を立てるべきか。戦後のめざましい復活を想起すればまさに人材の育成こそが鍵となることが分かる。すなわち教育の再建である。まず小中高校の各レベルの充実を進めることが不可欠で、教員能力の充実が第一の着手点となる。ここでも人が中心である。

さらに大切なこととして大学の活性化が求められる。大学の数がやたら多いのも問題であるが国際ランキングでトップ10に入れる大学を育成しなければ回天の事業は空に帰すと思うべきである。高等教育こそ責任ある有能なリーダーを生み出す唯一の手段なのだ。この自覚が国を挙げて欠落している。時代の変化を自覚し新興国の発展を見据えて、新生日本の発展が企図出来る人材を生み出す努力が何をおいても必要である。

世界をリード出来る見識のある人物を生み出し、多様な価値観の中で創造的な力量を貯えることが求められる。大学にそれを産み出す力量を備えさせねばならない。

わが国において98も空港が存在し700を越す大学の乱立は共に国の設計運用に司令塔が欠除している象徴であろう。嗚呼、この野放図なエントロピーの増大こそ無策の結末と言わねばなるまい。この有様では韓国の後塵を拝することにもなりかねない。

【研究名誉所長】

Photonics West 2010、ASSP 2010 国際会議報告

■Photonics West2010

光技術に関する北米最大規模の国際会議であるPhotonics West 2010が1月23日から28日まで、展示会が25日から28日まで米国カリフォルニア州サンフランシスコ市内のMoscone Centerで開催された。主催団体SPIEの公式発表によると、今年の参加者数は昨年の17,903人を上回る18,327人である。Photonics WestはBIOS、LASE、MEMS、OPTで構成されており、発表論文の総数は3,600件(BIOS:1,580件、LASE:596件、MEMS:225件、OPT:1,235件)を超える。会場はNorth、South、Westに分かれており、非常に大規模な会議である。展示数も1,100以上の企業が参加しているとのことであり、大盛況であった。

Laser Source Engineeringのコースの1つであるSolid State Lasers XIXにおいてディスクレーザーのセッションがあった。筆者も本セッションで報告を行ったが、Trumpf社とBoeing社の存在感が強い。どちらもYb:YAGのThin Diskをレーザー材料に用いている。Trumpf社はディスク4枚を用いてCW16 kWを製品化している。今回は新たにLBO結晶を用いて波長515nm、平均出力400W、パルス幅 300ns、繰り返し周波数 5~100 kHz、最大エネルギー 10mJのグリーンレーザーの開発に関して報告があった。一方、Boeing社は防衛目的でCW 27kWのレーザーを開発している。今回は新たにコンポジット型のレーザー材料を用いて6.5kW出力を達成したという報告があった。今後は低温冷却も視野に入れているようである。

Fiber Lasers VIIのコースにおいてファイバーレーザー市場のセッションがあり、IPG社等の報告があった。現在のレーザー産業市場ではファイバーレーザーが世界で最も高く、半導体レーザー、エキシマレーザー、CO₂レーザー、半導体レーザー励起固体レーザーと続く。2010年のファイバーレーザー市場は\$260Mと見積もられており、主な内訳は加工用50%、軍事関係20%、医療応用10%である。IPG社はこれまでにマルチモード(MM)で50kW出力を得ているが、今後は良ビーム品質を目指すためにシングルモード(SM)、狭帯域ファイバーレーザーを用いてビーム結合を行い、高出力化を



【写真】Photonics West 2010の会場入口

レーザーエネルギー研究チーム 古瀬裕章

図る予定である。出力目標は20 kWを掲げており、達成するために偏波保持ファイバー 52本を要するとのことであった。また2kWのMMファイバーレーザーシステムが寸法55cm×55cm×60cmの箱に納められており、ジープに乗せられていた。特にIPGの報告では軍関係の報告が多い印象を受け、かなりの予算がファイバーレーザー開発費に割り当てられているようである。今後ますますファイバーレーザーの勢いが増すと考えられる。

■Advanced Solid State Photonics 2010

アメリカ光学会(Optical Society of America, OSA)のトピカルミーティングであるASSPが1月31日から2月4日まで、サンディエゴで開催された。会場が一か所の単一セッションで進められるのですべての講演を公聴できる。本年の発表件数は全151件(口頭発表:67件、ポスター発表:84件)であり、参加者人数は200名以上である。Photonics Westと比べると規模はそれ程大きくはないが、新規発振器、半導体レーザー、ファイバーレーザー、高エネルギーレーザー、ビームコンバイン技術等、多くの光源開発に関する最新の報告が行われるため非常に内容の濃い会議である。

前回の会議で米国Northrop Grumann社はNd:YAGセラミックスを用いて出力105kWのコヒーレントビーム結合を達成したが、今回の報告では狭帯域(21 GHz)のシングルモードファイバーレーザーを用いたビーム結合を試みていた。IPG社の製品である1.26 kWのファイバー増幅器を一部用いており、今後は複数本を束ねて高出力化を図るようである。

スイスETHZのKeller教授のグループでは新しい高出力用レーザー材料として三二酸化物系材料を提案しており、今回Yb:Lu₂O₃結晶を用いてCW発振で300W、光変換効率72%の高スペックを達成していた。スロープ効率は90%に近く、Yb:YAGに代わる新材料として期待できる可能性がある。

その他、我々と同じ低温冷却Yb:YAGを用いたCPAシステムとしてコロラド州立大学が1.45J、8.5ps、10Hzを達成しており、またマサチューセッツ工科大学が30mJ、10ps、2kHzを達成していた。

主な学会等報告予定

- | | |
|-----------------|--|
| 6月10日(木)~11日(金) | プラズマ・核融合学会 第8回核融合エネルギー連合講演会(高山市民文化会館)
砂原 淳 「高速点火コーンターゲットにおけるプレプラズマ生成と抑制」 |
| 6月22日(火)~25日(金) | 9th International CONFERENCE ON VIBRATION MEASUREMENTS BY LASER AND NONCONTACT TECHNIQUES (Ancona, Italy)
オレグ・コチャエフ「LABORATORY AND FIELD TESTS OF LASER-BASED SYSTEM FOR NON-DESTRUCTIVE INSPECTION OF CONCRETE STRUCTURES」 |
| 8月23日(月)~27日(金) | 32nd International Free Electron Laser Conference (Malmö, Sweden)
李 大治 「Super-radiant Smith-Purcell emission with two-section grating」 |