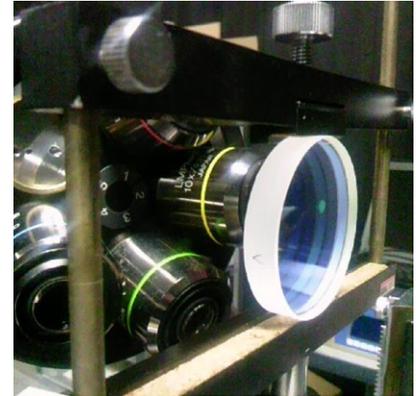


**CONTENTS**

- 波長分離ミラーのレーザー損傷耐性  
ー第9, 10回データベース化試験ー
- 低温冷却Yb:YAG TRAMレーザーの  
励起スポットにおける温度分布評価
- 国際シンポジウム「テラヘルツテクノロジーの最前線」参加報告
- 【光と藤】アベノミクス
- 主な学会等報告予定



【表紙写真】レーザー  
損傷観察時の様子

## 波長分離ミラーのレーザー損傷耐性 ー第9, 10回データベース化試験ー

レーザー技術開発室 本越伸二

**●はじめに**

光学素子メーカーの素子開発の目標を示したい、との思いから始めた各種光学素子のレーザー損傷耐性(損傷閾値: LIDT)のデータベース化試験も、今年で丸5年が経過した。のべ147社、398個の光学素子を評価したことになる。ご協力頂いた各位へ、紙面を借りて感謝を申し上げたい。ここでは、平成24年度に実施した波長分離ミラー(ダイクロイックミラー)に対するLIDTデータベース化試験の結果をまとめる。

**●複数波長に対応する光学素子**

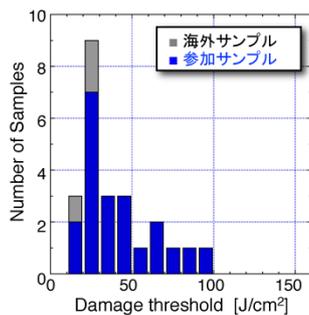
カメラやメガネなど一般の光学素子は可視領域の広い波長範囲に対する光学特性が要求されるのに対し、レーザー光は単色光であるため、レーザー用光学素子の多くは波長に対する設計条件が優しいとされる。過

去第8回までのデータベース化試験もまた、単一波長に対する仕様で試料を提供して頂き、評価を行ってきた。しかし、半導体レーザー(LD)励起用個体レーザー材料は、励起LD光と固体レーザー光の2つの波長に同時に曝される。また、フェムト秒パルスレーザー装置では、50nm以上の波長幅を持つ光が伝播することになるなど、複数の波長に対する光学特性を要求される例も少なくない。特に、固体レーザー光を短波長に変換する非線形光学結晶や、変換後に使用される光学素子は、2つの波長に対する高いLIDTも要求される。

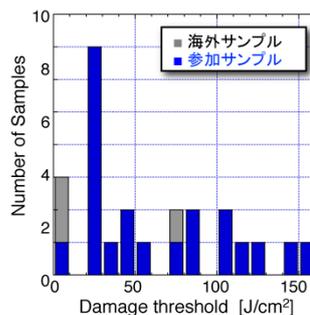
**●ダイクロイックミラーのレーザー損傷耐性**

今回の試料は、Nd:YAGレーザー光を波長変換した後に使用される基本波と第2高調波の分離用ミラー(入射45°)である。基本波1064nmに対しては反射率0.5%以下、第2高調波532nmに対しては反射率99.0%以上として、試料の製作、提供をお願いした。参加企業数10社、24枚の試料に対して、それぞれの波長でのLIDTを求めた。LIDTは、1-on-1方式で、ガウス分布のピークエネルギー密度で表した。

図1、2に1064nm、532nmの各波長で評価したLIDTのサンプル数分布を示す。透過波長1064nmの最大LIDTは96J/cm<sup>2</sup>、反射波長532nmの最大LIDTは153J/cm<sup>2</sup>であった。基板表面の影響が顕われる透過波長に対しては、LIDTは、低い値となることがわかる。非線形結晶を用いた波長変換の効率は一般に30%程度



【図1】ダイクロイックミラーの1064nm光による試験結果



【図2】ダイクロイックミラーの532nm光による試験結果

次ページへつづく▶

である。そのため、残り70%の基本波がダイクロイックミラーに入射され、基本波1064nmのLIDTが装置の出力を制限することが予想される。また、最もサンプル頻度の高かったLIDTはどちらの波長でも20~30J/cm<sup>2</sup>であったが、2つの波長でのLIDTに相関はみられなかった。このことから、複数の波長に対してはそれぞれ独立にLIDT向上の検討を行う必要がある。

### ●今後のデータベース化試験

他にも、2波長に対する高反射膜や反射防止膜、偏光子、結晶材料など、データベース化すべき光学素子は多

数ある。また、CWレーザーや高繰返しレーザー、超短パルスレーザーなど、異なったレーザー条件に対してもデータを蓄積することも望まれている。今後、さまざまなご意見を伺いながら試験項目を検討したい。平成25年度は1064nm用光学素子のデータベース化試験を行う予定である。第1回(高反射膜)、第2回(反射防止膜)と同じ仕様になるが、5年が経過し、各社さまざまな検討、開発を進めているので、その結果をお互いに確認し合いたい。またユーザーの方からの意見も取り入れ、より意味のあるデータベースの構築を進めていく。

## 低温冷却Yb:YAG TRAMレーザーの励起スポットにおける温度分布評価

レーザープロセス研究チーム 櫻井俊光

### ■はじめに

当研究所は大阪大学レーザーエネルギー学研究中心、三菱重工業株式会社と共同で、半導体励起固体レーザーによる高品質な大出力レーザーの開発を行っている。イットリビウム(Yb)系レーザー媒質は、ネオジウム(Nd)系に比べ吸収スペクトルの帯域幅、エネルギー損失、蛍光寿命の点で優れ、また液体窒素温度でのレーザー上準位からの再吸収を無視できる利点がある。大出力レーザー開発では、高効率化を実現するためレーザー媒質を強励起する。しかしその場合は、波面歪、熱複屈折、温度上昇に起因した発振波長における再吸収や、吸収断面積の低下などによる出力の低下が懸念される。このため当研究所は、Yb:YAGにアンドロフトYAGをキャップした全反射アクティブミラー(Total Reflection Active Mirror: TRAM)増幅方式(Laser Cross: No. 297)の熱解析を行っている。励起スポット径内の温度が不均一になると利得の損失や波面歪の原因となるため、更なる大出力化を図るためには、励起スポット径内の温度分布の情報が重要となる。本研究は温度分布評価のための実験と計算を並行して進めており、実験で励起スポットの温度分布が得られたのでここで報告する。

### ■蛍光計測による温度分布評価

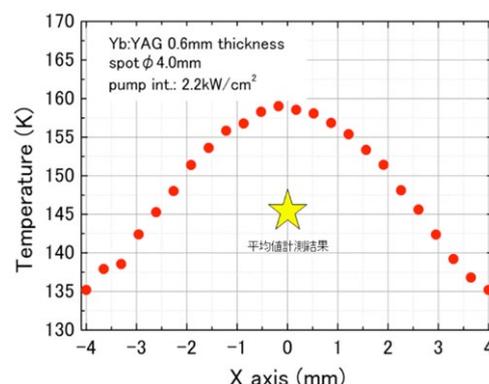
半導体励起レーザー(LD)の光軸はYb:YAG面に60°傾けて入射しているため、励起領域は楕円となる。たとえばφ4.0mmで励起した場合、長軸方向は8.0mmとなる。この長軸方向をx軸とする。励起強度は、2.2kW/

cm<sup>2</sup>とした。実験では、Yb:YAGと液体窒素の境界面を結像し、励起時におけるYb:YAGの蛍光スペクトルを計測した。温度の空間分布計測では、x軸方向に光ファイバーを走査し、各ポイントの蛍光スペクトルを計測した。温度換算には蛍光スペクトルの特定の波長の強度比を利用した。2.2kW/cm<sup>2</sup>の励起条件におけるx軸方向の温度分布計測結果を図1に示す。中心(x軸:0mm)が最も高い159K程度であった。また線対象に両端に向けて徐々に温度が低下していること、励起スポット径内の平均温度と概ね一致することが明らかとなった。

### ■まとめと今後

本研究によって励起スポットにおける温度分布の情報が得られた。これにより、励起強度に依存した温度分布や波面歪を有限要素法により計算し、実験結果と突き合わせる

ことで計算手法を確立することが可能となる。これらをさらに展開し、高品質、高平均出力のレーザー開発を目指すものである。



【図1】励起強度2.2kW/cm<sup>2</sup>における励起スポットの温度分布

# 国際シンポジウム 「テラヘルツテクノロジーの最前線」参加報告

レーザーエネルギー研究チーム 李 大治

## ■FTT2012開催される

2012年11月27日～29日に、奈良で開催された国際シンポジウム「テラヘルツテクノロジーの最前線」

(The International Symposium on Frontiers in THz Technology (FTT2012))に参加した。THz波(波長 $100\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 付近)は、光が持つ直進性と電磁

山中千代衛



## アベノミクス

「レーガノミクス」に対比して安倍晋三内閣の経済政策3本の矢が「アベノミクス」と称して大変評判になっている。前の民主党政権があまりに経済音痴であったので、その反動もあって人々に過大とも言える期待が生まれている。景気は人気と相通ずるところがあり株式市場は最も敏感に反応し、リーマンショック以前の高値を実現した。産業界でも安倍首相のアドバイスに従って賃上げ等を採用するところも現れ、期待感が出ている。内部留保をかたくなに守って内向きだった経済界が景気に刺激され経済活動を活発化してくれると長いデフレ時代の幕を閉じる兆しがあらわれる筈である。

いわゆる安倍首相の3本の矢、積極財政、金融緩和、成長戦略は順調に滑り出したかに見える。新任の黒田東彦日銀総裁は2%物価上昇を数年の内に実現すると意気込んでいる。しかしその一方、識者の抱く危惧にも配慮が必要である。何しろわが国は世界で唯一20年にわたるデフレ不況にさらされてきた。物価の低落は実質金利の上昇につながり、ゆで蛙のように現状に満足し経済活動は一途に縮小の道を歩んできた。

そこで採用したのが従来は考えられなかった非常手段である。需要の不足に対しては財政出動により土建関連予算をバラまく。一時的には建設業中心の需要に沸き返るが、果たして長続きして経済全体への波及効果は出るのだろうか。全く不安である。超40兆円の国債大量発行を市場は消化できるのか。売行き不振、国債価格の下落ともなれば長期金利の上昇が発生し、財務省はお手上げ状態となり行先はデフォルトにつながる。

日銀が無制限に国債を購入するというが、日銀の財務バランスはパンクに近づき、通貨の信頼を毀損してしまう。わが国でも戦後経験したことのある悪性インフレーションになる。その時国の債務はチャラになるが、国民経済は崩壊してしまう。一家の貯金すべてを払ってもストックンガー足しか買えなかったという悲劇をわれわれ年輩者は昭和21年に経験している。

それに安倍政権の三番目の矢 成長戦略が問題である。成長戦略は政治家や官僚が描けるものではない。委員会・審議会・会議は机上の空論を集積するのみにおわるのが落ちである。今必要なのはもろもろの諸規制の大胆な緩和である。規制緩和とは政治、官僚、規制団体が握っている利権や既得権を廃止することである。これは権利保有者が最もいやがるテーマである。その代案として出してくるのが成長戦略という仮説なのだ。TPPをめぐる議論はまさにこの内容を例示している。経済を活性化し持続させるには規制緩和をなしとげ、民間の活力を引き出す成長以外に良策はない。それが財政再建への活路ともなるのである。

両刃の剣「アベノミクス」は時間が鍵となる。インフレが急騰し円安が進み日本国債が売られる動きになれば、「アベノミクス」は失敗に終わる。知恵の限りを尽くして見事に成功させて欲しいものだ。

【名誉所長】

波が持つ物質への透過性を併せ持ち、さまざまな産業への応用が期待されている。発表分野はTHz波の発生、検出といった基礎的なものから通信、イメージング、リモートセンシング、産業や医療応用等多岐に渡り、日本、アメリカ、ドイツ等から200人以上の研究者が参加した。筆者はグレーティングを用いたスミス・パーセル光発生理論解析について報告を行い、多くの研究者から好評を得た。以下に本会議で注目を集めた研究報告について述べる。



【写真】会議参加者の集合写真

### ■THzイメージングシステム

SynView社(独)から、THzイメージングシステムの原理とガラス繊維や自動車部品検査等への応用について報告があった。現在は建造物や食品検査に取り組んでいるとのこと。また彼らの持つ基盤技術を用いれば、スキャン光学系と画像合成技術の改良によりフレームレート3Hz、有効距離10mのより高度な撮影システムが構築可能とのことであった。カイザースラウテルン大学(独)からは、フォトニック結晶を用いたTHz源と、コヒーレント検出による時間領域分光法を用いたTHz分光およびイメージング法の報告があり、この手法が工業製品の非破壊検査や化学分析等に有効であることが観測例と共に示された。時間領域分光法は、検出したTHzシグナルから振幅、位相、時間の情報が取得できるため、検査物の厚さ、形状、密度、濃度等さまざまな特性を識別可能とのことである。

### ■高出力サブTHz源の開発

ノボシビルスク州立大学(露)では、高出力のサブTHz源の開発を進めている。サブTHz放射は、高電流相対論的電子ビームにより生成するプラズマ波が、電磁波放射に変換されることにより発生するといわれる。非線形のプラズモン—プラズモン融合によりプラズマ波周波数の第二高調波付近の光子が生成し、プラ

ズマ密度が $10^{14}$ - $10^{15}/\text{cm}^3$ のとき、生成光の周波数はサブTHz領域(370~750GHz)となる。出力については、実験では約 $1\text{kW}/\text{cm}^3$ (300GHz付近)であったが、理論的には $1\text{MW}/\text{cm}^3$ の出力(プラズマ密度 $3 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ 、乱流レベル5%の条件)が達成可能とのことであった。

### ■THzメタマテリアル

信州大学、京都大学からTHzメタマテリアルの電磁誘導透過(EIT)に関する報告があった。最近、電磁波の波長よりも小さなユニットを並べて作った構造体(メタマテリアル)を用いて光の速度を実効的に減速させる手法が注目されており、この光を“スローライト”と呼ぶ。スローライトは光バッファメモリーや通信機器、情報処理機器などさまざまな応用が可能であり現在ホットな研究課題であるが、EITはこれを実現する鍵となる現象である。EITは原子媒体の光学応答性を変化させる典型的な量子干渉現象で、EITにより媒体は本来の原子吸収線よりも狭い透過スペクトル幅と極端に大きな分散を持つようになる。彼らはメタマテリアルと古典的な共振器を組み合わせ、THz領域でEITと同様の現象を再現した。発表では、透過後のTHz波のスペクトルや位相シフトの観測結果、波束の群遅延を時間領域で直接観測した結果等が報告された。

## 主な学会等報告予定

- 4月23日(火)~25日(木) International Conference on Laser Applications to Nuclear Engineering (パシフィコ横浜)  
李 大治 「Dispose of nuclear waste with Laser-Compton scattering gamma ray」
- 4月23日(火)~25日(木) International Symposium on Laser Processing for CFRP and Composite Materials 2013  
(パシフィコ横浜)  
藤田 雅之 「Micromachining of CFRP with ultra-short laser pulses」
- 4月23日(火)~26日(金) The 2nd Advanced Lasers and Photon Sources Conference (パシフィコ横浜)  
櫻井 俊光 「Temperature distribution characteristics in a cryogenic Yb:YAG TRAM laser medium」
- 4月24日(水)~26日(金) レーザーEXPO レーザー特別セミナー(パシフィコ横浜)  
藤田 雅之 「世界の産業用レーザーとレーザー加工技術の動向」
- 5月13日(月)~16日(木) Lasers in Manufacturing - LiM 2013(ドイツ・ミュンヘン)  
藤田 雅之 「Micromachining of CFRP with ultra-short laser pulses」