

## CONTENTS

- レーザー総研と阪大レーザー研のこのごろ
- 第30回SPIE出張報告
- International Conference on Microlithography
- 『光と蔭』夢か希望か
- 太陽光励起半導体レーザーの研究

## レーザー総研と阪大レーザー研のこのごろ

(財)レーザー技術総合研究所 常務理事(研究担当)  
大阪大学レーザーエネルギー学研究センター 教授

中塚正大

### ■共同研究員は総勢50名、研究チームは5つ

レーザー総研の研究陣は総勢16名、業務支援陣は9名。共同研究員に登録されている大学等の研究者は50名にのぼる。5つの研究チーム(研究者数+学生数)からなり、比較的独立した活動をしている。レーザービーム伝送研究チーム(7+3名)、レーザー加工計測研究チーム(2+4名)、レーザーエネルギー研究チーム(2名)、レーザーバイオ科学研究チーム(3名)、そして理論・シミュレーショングループ(3+4名)である。研究内容から分類すると、各種機関からの委託や資金を受けて推進するプロジェクト研究、過去に委託などを受けた研究を継続する産業応用研究、研究者の独創性から始まった自主研究の3つとなる。昨年度の『レーザークロス』の記事はこの3通りがバランスよく紹介されてきた。その研究内容が時代の動向を写して研究しているかは考え直す必要はある。

### ■科学や技術の芯としてのモデルづくり

研究の速度が年々早くなっている現在、委託研究成果はそのまま自由に発表できないことも多く、活動内容の表現には工夫を要する。研究の詳細項目は発表できなくとも、何を明らかにしようとしているのかは、研究モデルが明確であれば科学の範疇であるから記事にできる。研究対象の一般化、普遍化など科学や技術の芯としてのモデルづくりにもっと力を入れる必要がある。

### ■阪大レーザー研とも深くリンク

レーザー総研チームは、阪大レーザー研の研究とも深くリンクしていて、レーザー研の研究グループのすぐ横で研究セクションを形成したり、レーザー研の研究グループに入り込んでグループ内で独自の研究を並行して進めたりしている。レーザー研との共同研究をさらに活性化し、レーザー研研究者と明確なNDA契約下で、産業展開に必要なデータベースづくりや、普遍的科学研究の推進をレーザー総研内で並立させる努力を待ちたい。

### ■変化をもたらす「筋の良い」研究とその体制

何事も変化するのは世界の基本法則で、同じ変化をするなら自ら進んで変化すればいい。発展する方向が見極め、そっちに変化した方がいいに決まっている。これが「筋の良い」研究とそ

の体制というものであろう。科学や技術の発展方向に向かう研究、それを見いだすことが重要だ。企業の研究財団支援は減少傾向にあり競争的資金獲得が重要である。ここ数年はライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料の4本柱体制で、排他的に重点投資が進んでいる。強い批判の目を科学政策とその遂行の方法に注ぐ必要もある。41兆円の資金は研究環境を変えたか? 産業構造を変えるに寄与したか? 今、見直す時期に来ている。材料や生体のナノ特性が注視され、キーワードに非線形性、複雑性、量子科学が取り入れられてきた。

### ■「光技術」はレーザー総研の出番

今年度からは「光の科学技術」が出現し、各種競争的資金公募に「光技術」というのが、4本柱の後ろにくっついている。やっとレーザー総研の出番が来たと考えられる。健闘を期待したい。また研究分野の発展の順番を見定めることが重要だ。相互に関係した分野は依存しあっているので、あっちが発展したら次にこっちが発展するという関係にある。得意を生かせる分野の発見に注意する必要がある。

### ■核融合研究は多くの能力を集積した総合科学

とりわけニーズ志向は重要である。レーザー研ではレーザー核融合研究は多くの能力を集積した総合科学だから、その発展過程で多数の研究チームが必要とされ、順次その成果を求められる。成果の出方は研究費とも関連するが、予算を効果的に展開し少なからず成果を出してきた。研究のチーム構成は4本柱といわれ、レーザー、ターゲット、プラズマ診断、理論・シミュレーションである。相互作用を起こすエネルギー源とその作用対象、事実を計測する手段、結果を解析し予想する理論と計算手段が組になっている。思うに各柱となるチームは現時点で必要な研究テーマ以外に、数年先に求められる技術課題もそれぞれ先行的に準備してきた。実験的に研究を進める考え方には、こうした現在と近い将来を両睨みする方法を実現した理想的な研究グループ構成と言える。今それらのチームが納期の決まったプロジェクトを押し進めている。

### ■発展性の高いテーマとそれを実現する手法

筋の良い研究テーマとは何かについて考えてみよう。なかなか新しいことを考えるのは難しいが、過去を振り返ることはで

次ページへつづく▶

きる。発展性の高い大筋のテーマの立て方とそれを実現する手法が結びつくことが必要らしい。山中千代衛先生には例の「天地人」論がある。天の時、地の利、人の和と言われる。とてもアジア的だ。一方15、6世紀のヴェネチア共和国が強い時代、その横に弱い共和国フィレンツェがありマキアヴェリが出た。彼にも同じような格言がある。好運、時代の流れ、徳もしくは力。集団ではなくて個人の特性を表している。

■「レーザー核融合研究」はレーザーエネルギー学の展開へと進む

レーザー研の例を見てみると、「レーザー核融合研究」というのは筋の良い研究課題であるらしい。何しろ30年も続き、それがレーザーエネルギー学の展開へと進みつつあるのだから。ではどんな境界条件をもっていたか。限り無く大きな目標が先にある。しかし、ある特定の時期には目標が実現出来そうな道具(レーザー、ターゲット、計測器、計算機)を必要とする者が自ら開発した。現在の光源開発でいうと大型レーザー(10ps、10kJのペタワットレーザー)である。建設に携わっているのはレーザー研究者とプラズマ研究者の連携チームで、また4本柱の研究者は同時に、今を生き残るために核融合と同じ手法でEUV光源開発の高平均出力レーザーの建設とプラズマ実験にあたっている。レーザーやターゲットを開発する研究者はたえず先を見てプラズマ研究者の要求に応えようとした。外れもあつたろうが、そんなには外れてはいなかった。

副産物をも丁寧に拾い上げる努力も行われ、結構当たっている。ますます、人材を必要としており、研究資源の全国利用はこの面で

も望まれている。結論は自己転回できるテーマが良いらしい。

■自主性・独創性と共鳴の精神も必要

研究陣の有効な構成には自ら規模の条件があるようだ。少数が孤立して動くより、一点突破を進めてきた。研究グループ間の自主性・独創性と並行して共鳴の精神の並立も必要である。レーザー研では他グループが必要とする奉仕の開発でも模倣は決してせずに新規性をその中に探索してきた。その点、大学院には多くの学生がおり、彼等を装置建設プロジェクトには参画させず、研究内容で参加させるように注意が払われ、それが次世代の光科学展開につながるように配慮されている。その意味で研究所にとって若い学生の存在がもつ意味は大きい。

■横の連携を強力に「筋の良い」研究への期待

高エネルギーパルス出力レーザーと言えばレーザー研とレーザー総研、レーザープラズマと言えばレーザー研と評価が定まってきた感がある。すでに多くの人材を輩出しているが、まだまだ抜け落ちている研究分野がある。レーザー総研はピークパワーレーザー応用の研究所である。ビーム伝送チームの太陽光励起レーザーの宇宙応用、加工計測チームの短パルスレーザーアブレーション応用、エネルギー研究チームの核物理的応用、バイオ科学研究チームのバイオ研究、シミュレーショングループの光学とプラズマ物理の展開、それぞれに夢もあり実利もある研究テーマを進めている。さらにチーム間の横の連携と阪大レーザー研との連携を強力にして「筋の良い」研究の発展が期待されている。



# 第30回SPIE出張報告

International Conference on Microlithography

理論・シミュレーショングループ

古河裕之  
山浦道照

レーザービーム伝送研究チーム

■米サンノゼで開催

2005年2月27日～3月4日の日程で、米国カリフォルニア州サンノゼのコンベンションセンター&マリオットホテル(上写真)で、第30回SPIE Microlithographyの国際会議が開催された。米国、欧州、日本を中心に、約2,000人程度の企業、大学の研究者が参加した。会議は、6つのセッション別に構成されており、EUVリソグラフィーの研究を中心とした「Emerging Lithographic Technologies IX」は、光源、マスク、レジスト、計測法などに区切られて、順番に口頭報告がなされた。3月3日には、口頭報告に加え、ポスター発表も夕方から開催された。古河のポスター発表タイトルは「Estimations on High Energy Ions and Neutral Particles from LPP EUV Light Sources」、山浦は、デブリ抑制のための錫ターゲットの薄膜効果に加え、ターゲットの新高速供給方式である「パンチアウト方式」の研究成果報告を行った。

以下に主な研究機関の最新の進捗状況を示す。

■Philips社、Xtreme社共にSn-GDPPで中間集光点(IF)の出力は50W  
Xtreme社(独)からは、ガス放電プラズマ(以下、GDPP)方式

とレーザープラズマ(以下、LPP)方式の進捗が報告された。錫をターゲットとしたGDPP方式でのEUV光放射スペクトルは、LPP方式のそれと比較して尖鋭化されており、光学系の寿命は、XeのGDPP(IF出力=25W)と比較すると1桁短く、10ミリオンパルスとの報告であった。IF出力は50Wであった。

一方、Xe-LPP方式では、変換効率は1%、プラズマサイズ500μm×380μm、5kHz、1.2kWのレーザーを用いて、IF出力=1.2W以上とのこと。Sn-LPP方式では、変換効率は3%、IF出力=10Wとの報告であった。

Philips社(独)からも錫のGDPP方式の進捗が報告された。入力パワー15kW、電源の繰り返し周波数5kHzで、プラズマピンチサイズ<1mmで、変換効率が1.8-2%であった。レーザートリガによって、錫をガス化させ、比較的小さなサイズのプラズマピンチを生成させることで、エタングジュ制限を緩和させていた点がユニークな点であった。なお、IFでの出力は、Xtreme社と同じ50Wであった。デブリ除去に関しては、錫をハロゲン化合物と化合させることで、錫が蒸発し、デブリ対策に有効であ

るとの報告もなされた。

### ■Cymer社はLi-LPP方式、UCF大学はSn-LPP方式で高効率+デブリ抑制に自信あり

Cymer社(米)からは、XeF(波長351nm)エキシマレーザを用いたLiターゲットによるEUV光源開発の進捗が報告された。現在、そのエキシマレーザを開発中であり、レーザ出力は800W、ビームの拡がり角は150 μrad、繰り返し周波数4kHz、パルス幅16ns以下との報告であった。リチウムターゲットの変換効率は、短波長のレーザほど、その値が高く約3%であった。また、Liのサンプルを400で12時間加熱させた結果、Liは蒸発しており、デブリ除去の点でも効果があることを示した。EUV光放射角度分布特性も均一分布とのこと。

フロリダ中央大学(UCF)(米)からは、繰り返し周波数1-2Hz、レーザエネルギー1.7J、パルス幅11.5ns、スポット径35 μmのレーザを用いて、錫液滴ターゲットで2.25%、錫固体ターゲットで5.5%の変換効率を得たとの報告であった。なお、最適照射強度は、 $1.4 \times 10^{11} \text{W/cm}^2$ であった。repeller fieldと呼ばれる電場(1kV)を用いてデブリ除去に一定の成果を得た点や、液滴ターゲットからは、高速イオンが発生しないとのこと。両者とも、研究成果に手応えを感じていた。

### ■ここでは紹介しきれないほどの成果報告がまだまだある

EXULITE(仏)からは、mass-limited Xe targetsと題して、Xeガスを回収して再利用(リサイクル)する方式が示された。また、10-20個のレーザビームを、50 μmのスポットサイズに集光して変換効率を向上させるMultiplexing laser方式などのユニークなアイデアも示された。大阪大学からは、低密度酸化錫ターゲットを用いたEUV放射特性やmass-limited-targetsの特性が報告された。EUVA(日本)からは、EUV光源のコストを考慮して、炭酸ガスレーザの開発に着手、そのレーザの開発状況が示され、多くの研究者が関心を寄せていた。

### ■Argonne国立研究所(米国)Dr.Hassaneinのシミュレーション結果

Argonne国立研究所のHassaneinが、放電生成プラズマ方式だけでなくレーザ生成プラズマ方式についても完全3次元でシミュレーションを行い、結果を報告した。しかも発光そのものだけでなく、デブリ低減のシミュレーション、デブリとミラー

の相互作用のシミュレーションを統合したものであった。

レーザ生成プラズマ方式での発光に関しては、錫ターゲットにプリパルスレーザを照射し、一定時間のタイムラグの後にメインパルス照射した場合について、変換効率を最大にするタイムラグを評価したものであった。シミュレーションのシステムとしては、いわゆる3次元の直交座標系を用いており、放射輸送とレーザの吸収はモンテカルロ法で評価した。流体の運動は、TVD LFスキームを用いて評価した。デブリの低減については、ガスカーテン法によるデブリの低減について、完全3次元の流体方程式を解いて評価した。デブリとミラーの相互作用については、高速粒子とミラーの相互作用だけではなく、クラスター等も考慮したシミュレーションを行っていた。

Hassaneinは、口頭発表のみでなくポスター発表も行っていた。そこで古河はHassaneinにいくつか質問を試みた。

古河「時間依存の原子過程は組み込んでいないのですか？」  
Hassanein「この計算では組み込んでいないけど、やろうと思えばいつでも出来るよ。レーザ核融合では、時間依存の原子過程は重要だからねー」

古河「固体から液体、中性気体および部分電離プラズマへの相変化は計算しているのですか？」

Hassanein「この計算では、 $10^{14} \text{W/cm}^2$ という高強度のプリパルスを照射しているから、相変化はあまり重要ではない。でもレーザ核融合では相変化は重要だし、やろうと思えばいつでも出来るよ」

いかにも余裕綽々、といった感じであった。

他の方はどう思われたか不明であるが、古河の研究スタイルなどとの共通点もあり、個人的には多に親近感を覚えたものであった。

### ■Prism社(米国)Dr.MacFarlaneのシミュレーション結果

Cymer社からの委託で、Prism社のMacFarlaneがレーザ生成プラズマ方式のシミュレーションを行っており、その報告があった。主に錫ターゲットを用いた場合の報告であり、シミュレーションコードそのものは、古河の統合シミュレーションコードと良く似たものであった。

放射流体コードは1次元のラグランジアンコードであり、基

山中千代衛



.....104

## 夢か希望か

夢は寝目(イメ)の転化で睡眠中にもつ幻覚を言うが、目覚めた後に意識されても全く何の実体もない存在である。夢占いという効果があるのかどうか知らない。

昔からはかないもの、空しいものの表現である。空想的な願望、心の迷いなどの意だ。「寝ても見ゆ、寝でも見えけりおほかたはうつせみの世ぞ夢にはありける」と古今和歌集にあるように、仏教の浄土信仰につよく結びついて、わが国では世の無情を夢であらわしている。

したがって、「子供の夢」とか「青年の夢」とか「平和を夢みて」などと言われるとちょっと違うのではという風を感じるのは筆者だけだろうか。夢では困るのである。世の中最近「夢」が多すぎる。さめた後どうするのかと心配になる。暗示にかけられたように人びとは「夢の国」日本に安住しているのではなかろうか。

"Dreams come true"と言われると米英のdreamは実現し、わが国の夢は跡形もなく霧散するのはどう考えても不公平である。

我々は我々流に夢ではなく理想を掲げて、その実現に手立てを講じなければならない。まず夢からさめて、自己流の考え方で志を胸に目的に向かって一步一步前進することが大切である。

夢うつつではどう仕様もない。希望こそそのぞむ処である。

【(財)レーザ技術総合研究所 研究所長】

本的には電離平衡を仮定しているが、時間依存の原子過程を取り込んだバージョンも作成している。特筆すべきは、いわゆる「初めにプラズマありき」ではないシミュレーションを行っている(古河のシミュレーションも同様であるが)ことと、初期のレーザーの吸収過程を比較的詳細に検討していることであろう。



全体的な印象としては、レーザーの開発や変換効率の値が目目され、物理的な現象にはあまり興味を示されない、商業的な国際会議であった。  
【左写真】左から、C.S Koay氏(UCF)、S. George氏(UCF)、山浦、古河

## 太陽光励起半導体レーザーの研究

(独) 宇宙航空研究開発機構  
総合技術研究本部 高度ミッション研究センター

藤田和久\*

### 1. 宇宙エネルギーの利用

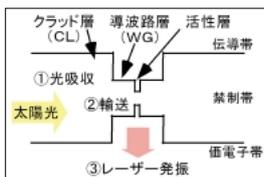
宇宙機構(JAXA = ジャクサ、<http://www.ista.jaxa.jp/res/b05/ssps/index.html>)では、将来の1次エネルギー源として夜や日陰のない地球外宇宙空間で得た太陽光エネルギーを地球上の供給地に向けて無線伝送する宇宙エネルギー利用システム(Space Solar Power System: SSPS)の研究を進めています。従来のマイクロ波利用システムに加え、指向性に優れ高出力化が進むレーザー技術の利用が近年精力的に検討されています。キャッチアップでロケット技術の世界トップレベルにまで引き上げた日本にとっては、打ち上げ市場が頭打ちする中、ユニークで社会貢献度が大きいミッションを牽引することが新たな市場の創出と独創性の堅持にとって重要です。その点でも宇宙開発戦略の各検討において注目されているテーマです。

### 2. 半導体を使って太陽光をレーザー光に

太陽光を1つの材料でレーザー光に変換する太陽光励起レーザーは、太陽電池経由で無線エネルギーを送出するシステムに比べ電源管理などの付帯設備を極力少なくでき有望です。固体材料ではレーザー総研様への委託研究により37%もの高い変換効率を得る技術が既に実現しており有力候補です。JAXAではオルタネイティブとして軽量化を狙った半導体材料による試作研究を今年度から本格的に始めました。宇宙への高い輸送コストから軽くて大きい出力を出せる材料が望まれるからです。固体バルク材料ではおよそW/g程度なのに対し、電流注入の高出力半導体レーザーでの最高値は16kW/g(Opt. Letts. 29, 304 (2004)より概算)と格段に大きく、これが太陽光励起型でどこまで可能かが研究対象となります。鍵となる排熱、上記高出力の世界記録を出した浜松ホトニクス(株)の噴流冷却技術が無重力宇宙における動作は未知であるものの極めて重要であると考えます。人類が持つロケットで静止軌道まで1回に運べる量は現状で5t級、SSPS総重量が1万tレベル、内レーザー材料は千tレベルです。次世代輸送系の開発とともに格段の軽量化を指向することは非常に重要です。

### 3. 原理と研究状況

既存の半導体レーザーの構造(図1)をベースに考えれば、太陽光を

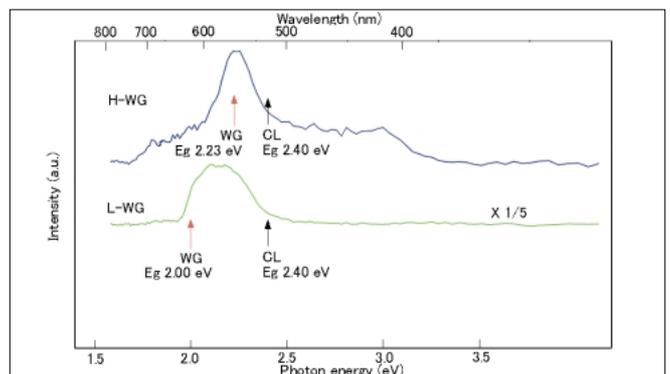


【図1】半導体レーザーの構造

この構造内で吸収させて電子・正孔を注入し中央の谷で再結合してレーザー発振させるものが太陽光励起型です。禁制帯幅より大きい光子エネルギーを持つ光が強い吸収を受け、高出力半導体レーザーでも用いられ禁制帯構造を組成比により制御できるAlGaAs結晶の利用により、近赤外から可視光領域の光をこの構造の厚み以内で吸収できます。太陽光の吸収、キャリア輸送、レーザー発振のそれぞれの過程のメカニズムについてよく理解し、制御することが必要です。

試作研究では、早稲田大学の小林正和教授や浜松ホトニクスの太田浩一研究員のご協力を得て、禁制帯構造に対する蛍光特性の依存性を中心に進めています。図2に導波路(WG)層の禁制帯幅を変えた2例の蛍光励起強度を示します。いずれもクラッド層と導波路層の禁制帯幅の間付近の励起光に対して強い蛍光が見られ、WG層内で吸収された光エネルギーが最も効率よく活性層からの発光に寄与していることが分かります。クラッド層内で吸収を受けたエネルギーの効率輸送のために禁制帯構造に傾斜を導入したり、構造を非対称にしたりと様々なことを試しながら輸送のしくみを探っています。

シミュレーションコードは効率的な研究開発に重要です。レーザー総研の古河裕之副主任研究員に光励起半導体レーザー専用コードを開発して頂きました。数ある半導体レーザーの市販コードの中で光励起はなくユニークといえます。これらを活用しながら自然と対話し、発振を目指しているところです。



【図2】蛍光励起強度スペクトルの一例

\*05年4月より 光産業創成大学院大学(05年2月25日執筆)

<http://www.ilt.or.jp>