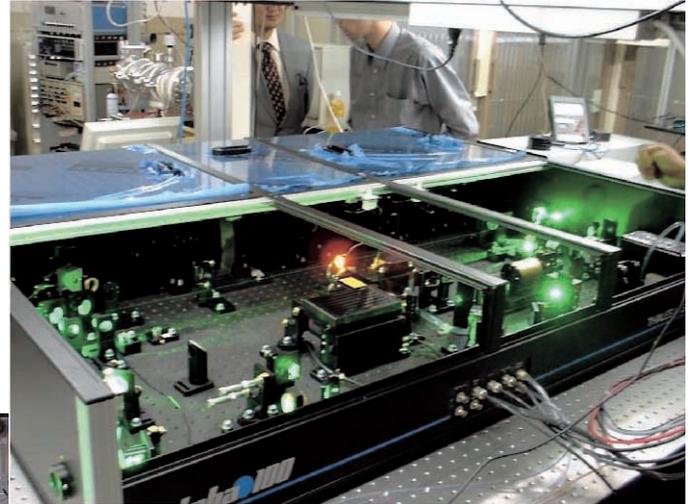


2004, Apr.

No. 193

**CONTENTS**

- フェムト秒レーザーを用いたダイオキシン類検出研究  
～イオン化効率が高く、微量でも計測が可能。リアルタイム測定の実現を目指す～
- SPIE第29回Microlithography国際シンポジウム報告
- 『光と蔭』核融合研究の将来



【写真a】フェムト秒レーザー装置(上)  
【写真b】質量分析装置(左)



## フェムト秒レーザーを用いたダイオキシン類検出研究

～イオン化効率が高く、微量でも計測が可能。リアルタイム測定の実現を目指す～

レーザービーム伝送研究チーム 島田義則

私たち身の回りのダイオキシン類

レーザー総研ではフェムト秒レーザーを用いてダイオキシン類を測定する研究を行っている。ダイオキシン問題は1980年代から国内で少しずつ広まり、テレビ報道などで取り上げられることにより、1997～1999年にかけて注目をあびている。現

在では、多くの研究機関で調査が行われ、日本の土壤に含まれるダイオキシン類の量は世界的に見ても1桁高い数値であることが分かっている。その後政府、自治体も動き出し、個々の小さな焼却炉を大きな焼却施設に集約するに至った。今日では焼却炉から放出されるダイオキシン類は減少傾向にある。しか

次ページへつづく▶



し、今日まで放出されたダイオキシン類が土壌、河川、海水などにまだ多く含まれているのが現状である。

また、ダイオキシンは水にはあまり溶けないが、油にはよく溶ける。このため食物連鎖の頂点にある動物にもっとも多くダイオキシンが蓄積される。近海の魚などからは多くのダイオキシン類を含んでいることが指摘されている。

#### ダイオキシン類測定方法

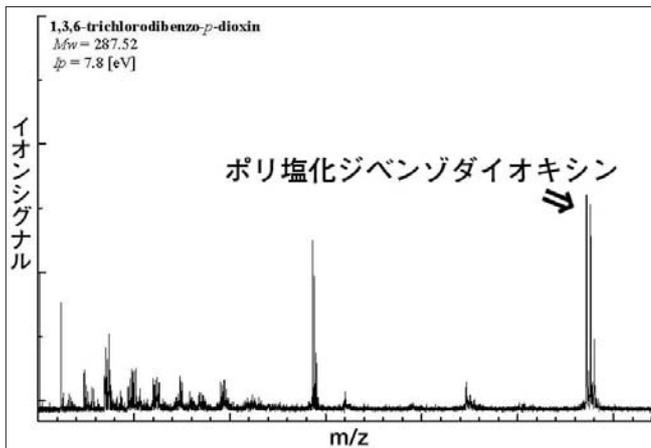
ダイオキシン類の測定は下記の3種類の物質の量を測定しなければならない。ポリ塩化ジベンゾ-p-ダイオキシン、ポリ塩化ジベンゾフラン、ポリ塩化ビフェニル(PCB)、また、置換された塩素の数によって毒性が異なり、4塩化以上の化学物質についての計測が必要で、複雑である。また、土壌などに含まれるダイオキシン類の量は、汚染地域では数pg-ng/g程度と極少量で、これらの測定には公定法と呼ばれる決まった手順で計測を行う。公定法はダイオキシン類の濃縮、抽出、定量と分かれ、濃縮、抽出過程がそれぞれ1週間程度の期間を要するために、測定結果を知るためには土壌の採取から3~4週間後となる。

一方、簡便法も多く使われている。簡便法はダイオキシン類の前駆体量を測定する手法や、生物学的手法を応用したものである。これらの方法により計測時間は短縮したが、それでもなお1週間程度の時間を要するのが現状である。

筆者らは土壌等から抽出したサンプルをそのまま計測することにより、リアルタイムで、かつダイオキシン類そのものを測定することを目標として、フェムト秒レーザーを用いたダイオキシン類の計測方法の研究を行っている。

#### フェムト秒レーザーを用いた試料分子の同定

レーザーを用いて試料同定を行う手法は、試料をレーザーでイオン化させ、TOF型質量分析器を用いて計測するのが一般的である。試料をイオン化させる方法は、試料の励起準位にレーザー波長を合わせた共鳴多光子イオン化法と、フェムト秒レーザーを用いた非共鳴多光子イオン化法に分けられる。共鳴多光



【図】ポリ塩化ダイオキシンが検出されたTOF波形

子イオン化法のイオン化効率も励起準位の寿命に左右されるが、非共鳴多光子イオン化法ではその欠点がない。また、レーザーパルス幅が短く親イオンのフラグメント化が生じにくいために、イオン化効率が高く極微量の試料が計測可能である。

ポリ塩化ダイオキシン、ポリ塩化ジベンゾフラン、ポリ塩化ビフェニルの測定に成功

写真a,bに示すフェムト秒レーザーと質量分析装置を用いて、ダイオキシン類の毒性等量を求めるのに必要なポリ塩化ダイオキシン、ポリ塩化ジベンゾフラン、ポリ塩化ビフェニルの検出実験を行った。これらの試料は蒸気圧が低く、フラグメント化しやすい、毒性が強く実験室では取り扱いが困難など、いくつかの課題はあったものの、その課題をクリアし、上記3種類の物質について計測に成功した(図参照)。

#### 土壌等直接計測に期待

フェムト秒レーザーを用いた計測手法の利点は、先にも述べたようにイオン化効率が高いことである。このため、微量のダイオキシン類でも計測が可能であり、この方法で直接土壌や汚染水、焼却炉の排ガス等のリアルタイム計測が出来る。今後、検出効率向上、土壌から抽出してきたサンプルの不純物除去等の課題をクリアしてリアルタイム測定を実用化させる。



## SPIE第29回Microlithography国際シンポジウム報告

理論・シミュレーショングループ 河村徹

#### 極端紫外光源開発の進捗状況

当研究所では、昨年より大阪大学を中心とした諸大学および諸研究機関と連携して、文部科学省リーディング・プロジェクト

トの極端紫外(Extreme Ultra Violet : EUV)光源の研究開発を行っている。EUV光源の開発は、日本国内はもとより欧州や米国でも盛んにその実用化に向けた研究が行われている。その

中で、当研究所が参画するリーディングプロジェクトでは昨年、大阪大学の激光XII号レーザーシステムを用いて、EUV光源材料の候補の一つであるスズを対象とした実験を行い、3%のEUV光への変換効率を達成した。これは目下のところ世界最高記録であり、このたびの会議でもそれを超える実験結果の報告はなかった。またそれと並行して、EUV光発生の最適化

条件を明らかにするために理論モデルの構築や数値シミュレーションコードの開発を進めており、同コードによってEUV光発生にかかわる物理的背景が明らかになりつつある。そのような中で、本会議は、昨年9月にベルギーで行われた第2回EUVLシンポジウムの後、約半年間のEUV光源開発の世界的な進捗状況を把握するという点で、重要な会議の一つとして位置

山中千代衛



## 核融合研究の将来

巷間によく言われることだが、人類の新エネルギー源は2050年頃までに見出さねばならないという。まさに核融合研究の目標とすべき時点である。

核融合研究の大きな柱であるITERが建設サイトをきめる最終段階に達し日仏間で互いにサイトをめぐって相譲らず拮抗した形になっている。元来日米欧露の四者協議が進められてきたのが、一時米国が脱落し出戻ったところ、中国、韓国が加わり、日米韓と欧露中の対立で動きがとれなくなっている。六ヶ所村かカドラッシュか、建設サイトが確立すれば4,000億円の醸出が求められる。他者は現物出資の形で参加するという段取りである。わが国としても文科省の結城審議官が交渉に出向き、核融合に熱心であった福田元総理の愛弟子 小泉首相もIAEAに電話をかけたたり積極的な支援を展開している。この段階になるとまさにポリティカルサイエンスである。

一方慣性核融合の旗手 阪大レーザー核融合研究センター(ILE)は今年で創立32年目になる。当初の15年間は私が所長をつとめ、核融合研究は追風の下、全国的な支援をうけ激光XII号ガラスレーザーという世界第一級のドライバーを建設し、エド・テラーの唱える核融合燃料千倍圧縮に成功した。第二代センター長は中井貞雄君が4期8年、余勢をかって活躍したが第三代は理論家の三間園興君が2期4年、第四代は山中龍彦君が2期4年とつづき、いささか長丁場づかれという状況になっていた。当センターにはIFEフォーラムと参与会という強力なウオッチャーがついている。

さる3月10日IFEフォーラム委員会がKKR大阪で催され、斉藤紀彦座長(関西電力)以下15名が参加し、レーザー核融合研究の現状と将来に関し熱心な討議が行われた。

またこの3月12日に参与会が開かれ座長 飯吉厚夫(中部大学)、真木浩之(清水建設)、尾形仁士(三菱電機)、加藤義章(原研)、倉内喜孝(住電)、小平桂一(総合研究大学院)、宅間宏(松尾財団)、立花隆(評論家)、鳥井弘之(東工大)、西川恭治(広大名誉教授)、安井潤司(NEC)の方々、および私が参集した。

井澤靖和新センター長が最近の研究内容として昨年来の高速点火FIREXの進歩とEUV開発研究の成果を報告した。新しく点火用10kJ PWレーザーの建設が進行中で参会者は、親しく研究現場を視察し所員の燃えるような熱気に感銘をうけられたようである。立花隆氏の結論的発言では「昨年の参与会の印象ではレーザー核融合はどうなるのかと心配していたが、独立法人化に際しレーザー核融合研究センターと超伝導フォトンクス研究センターの統合によりレーザーエネルギー学研究中心(全国共同利用研究化)を開設し、核融合科学研究所(NIFS)とは相互乗り入れを行い、レーザー核融合を目標としつつ、一方では産業応用に向けたEUV開発を進めると聞いて大いに安心した、優秀な学生も続々参加することだろう」という感想を述べられた。

ところで、かつての私の文部省への申請は「レーザーエネルギー研究所」であったが、手塚晃研究助成課長から「レーザー核融合」を冠さないで大蔵省の同意が得られないという電話を出張先のゴードン会議でうけた記憶がある。今度は30年前の初心に回帰したわけだ。

私の経験からすると研究者は新しい目標が見定まり、計画が軌道にのると、本当に生き返ったように元気になるものである。次のステップはILEとNIFSと関西原研のトライアングルを形成してほしいものだ。これが出来れば世界無敵である。

【(財)レーザー技術総合研究所 研究所長】

付けることができると思われる。

SPIE第29回Microlithography国際シンポジウム

今年で29回目となる同会議は、今年はアメリカ合衆国、カリフォルニア州・サンタクララにて開催された。会議では、EUV光源開発関連のセッションのみならず、パラレルセッションとして、リソグラフィ技術における計測診断技術や同技術の制御方法、またレジスト材料などのセッションがあった。筆者は、その中でEUV光源開発の研究報告が集中する"Emerging Lithographic Technologies"のセッションに参加し、ポスター講演を行った。なお、同セッションは2/24(火)~26(木)の3日間行われた。

同セッションのオーラルおよびポスターセッションでは、日本からは当研究所以外に、阪大レーザー研、EUVA、産業技術総合研究所などの研究機関からの報告があった。日本以外からは、先のベルギーでの国際会議でも出席していたPhilip(独)、XTREME(独)、Cymer(米)などの企業をはじめとして、アルゴン国立研究所(米)、ネバダ大(米)、ゲッティンゲン・レーザーラボ(独)、フロリダ中央大学(米)などからの報告があった。全体的な印象としては、このたびの会議では、EUV光への変換効率を競うというよりは、レーザー生成プラズマ(Laser Produced Plasma: LPP)方式では主にデブリ抑制について、また放電プラズマ(Discharge Produced Plasma: DPP)方式では、放電電極の長寿命化を意識したエロージョン抑制など、実機稼働時に懸案事項となる点についての基礎実験およびシミュレーションによる検討結果の報告があった。またEUV光源材料そのものについては、現在のところ多くの企業および研究所がキセノンを対象に研究開発を行っているが、EUV光への変換効率が低いことから代替案としてスズを候補に考えているところが多かった。その中でPhilip(独)の講演は、光源開発の軸足をスズに移行しつつあるような印象を受ける報告内容であった。3日間の会議期間の中で幾つかの重要と思われる事項を以下にまとめる。

- ・EUV光変換効率は、全体的に、キセノン:1%以下、スズ:1~3%。
- ・LPP方式では、キセノンプラズマ(ガスジェットターゲット)からの高速粒子デブリの計測結果の報告がなされた。(数keVオーダーの高速イオンの発生:EUVA)
- ・DPP方式では、放電電極の冷却によるエロージョン抑制の実験結果の報告(Cymer)や、長寿命電極材料の検討を数値シミュレーションによって行った結果の報告(例えばルテニウムなど:アルゴン国立研究所)があった。
- ・ターゲットについては、キセノンではガスジェット

(Xtreme、Cymer、EUVA)、またはドロップレット(EUVA)による報告があった。スズに関しては、産総研からデブリ抑制と、EUV変換効率向上を狙ったクラスターターゲットの提案があり、潜在的に高変換効率(3~4%)が期待できるとの報告があった。

・理論シミュレーションコードの開発では、当研究所以外では、アルゴン国立研究所によるDPP方式(キセノン)の三次元放電シミュレーションの報告がありXtreme、Cymer、Philipsらの放電実験で生成されたプラズマのサイズ(~1mm)や、EUV光変換効率を良い一致で再現していた。またネバダ大からは、キセノンプラズマの二次元放射電磁流体コードと、その原子過程ポストプロセッサの開発についての現状報告があった。

LPPおよびDPP方式ともに、スズにするのかキセノンにするのかという最終的な決定には至っていないのが現状である。またDPP方式における装置の長寿命化の点で、電極材料の検討を数値シミュレーションが先導して行われている点は、理論シミュレーショングループの一員として特記すべき点の一つであると思われる。

シミュレーションによるEUV光変換効率のレーザー強度依存性の再現

当研究所と阪大レーザー研を中心とする研究開発チームによるこのたびの成果において、理論シミュレーションの成果を中心に発表をした筆者のポスターには、スズに開発の軸を置いていると見られるPhilipsをはじめ、その他にも幾つかの企業や研究所が興味を示しており、今後のわれわれの研究の進展が注目されることと思われる。激光XII号を用いたスズターゲットによるEUV光変換効率のレーザー強度依存性が、われわれが開発した一次元流体コードと原子過程ポストプロセッサによって定性的に再現していることに関心が集まったようである。

EUV光源開発における理論シミュレーションの役割は大きい

この3日間、同会議に出席して印象として残ったことは、実験的研究結果の報告の数に比較して、理論シミュレーションを核とした研究報告の数が少なかったことである。EUV光発生メカニズムのさらなる解明とその最適化を含め、今後はデブリ発生の物理的背景を定性的かつ定量的に把握することが必要不可欠になってくる。筆者のポスター講演に多くの実験研究チームが関心を持ったことから、われわれの役割の重要性を再認識した次第である。われわれの開発したコードについても、今後はさらに、定量的にも高精度なシミュレーションを可能にすることが開発目標の一つになるだろう。