



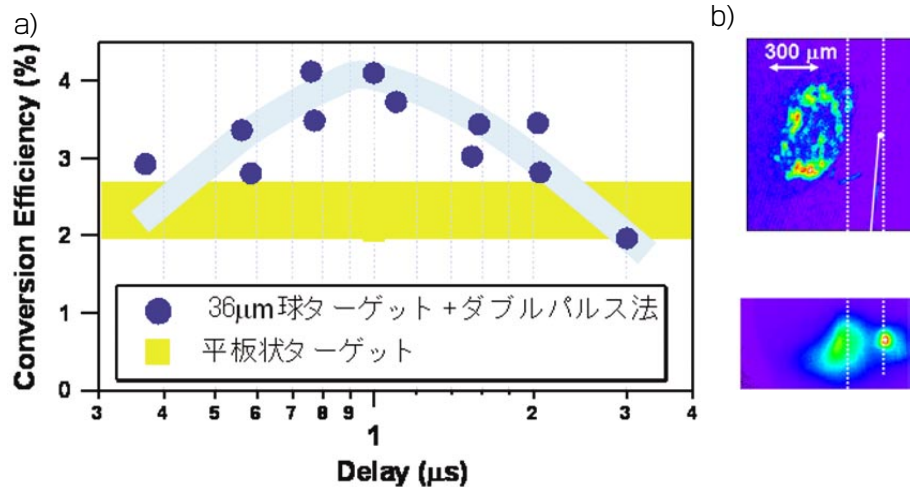
2008, Jul.

No. 244

CONTENTS

- 極端紫外(EUV)光源開発のまとめ—実験結果—
- インタビュー「産業界への大きな窓口 技術相談とは」
- 【光と蔭】六公四民
- レーザー EXPO2008出展、予想以上の見学者
- 主な学会報告予定

【表紙図】ダブルパルス照射による高変換効率(4%)の達成
a) プレパルスとメインパルスの時間差を変化させた場合の変換効率
b) 上図: プレパルス照射から1 μ s後の36 μ m球ターゲットの膨脹像 下図: EUV発光画像



極端紫外(EUV)光源開発のまとめ —実験結果—

レーザー加工計測研究チーム 島田義則

当研究所は文部科学省リーディング・プロジェクトに参加し、5年間、大阪大学レーザーエネルギー学研究センター、及び12の研究機関と連携して「極端紫外(EUV)光源開発等の先進半導体製造技術の実用化」の研究を行ってきた。ここでは5年間の主な実験に関する成果について述べる。

■ 激光GXII号レーザーによるスズターゲットからのEUV光放射

大阪大学レーザーエネルギー学研究センターと共同で激光GXII号レーザーを用いてスズ球ターゲットを均一照射する実験を行った¹⁾ (「レーザークロス」No.199)。スズ板照射に比べて熱の横方向拡散ロスが少なく、1次元シミュレーションとの比較が容易であることが特徴である。それまで、1-2%前後だった変換効率は、この実験で3%を達成し世界を驚かせた。この結果より、ターゲットはスズが主流となった。

■ 変換効率のレーザー波長・パルス幅依存性

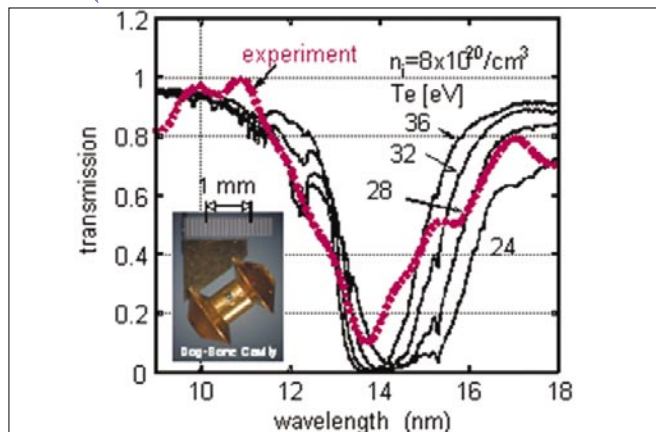
3%を達成したときのレーザー波長は1 μ mでパルス幅は1.2 nsであった。さらに、パルス幅やレーザー波長を変化させることで変換効率を増加させることが期待できたので、レーザー波長0.5, 0.25 μ mと変化させ

て実験を行った。しかし、レーザー波長が短波長になるとEUVスペクトルの13.5 nm付近に凹みが現れ、変換効率は逆に低下した²⁾ (「レーザークロス」No.203)。また、パルス幅が長くなると凹みが現れ、同じく変換効率は低下した。レーザー波長を短波長にすると高密度のプラズマ領域でレーザーが吸収されるために、EUV光がプラズマから抜け出てくる時の面密度が高くなり13.5 nm付近の不透明度(オパシティー)が増加することにより凹みが現れることが判明した³⁾。パルス幅依存性も同じく、プラズマ長を長くするとオパシティーが増し、凹みが現れ変換効率が低下した。この結果より、オパシティーの計測が重要となり、次のオパシティー計測へと繋がる。

■ スズプラズマのオパシティー計測

上述のように、プラズマのオパシティーが変換効率

次ページへつづく▶



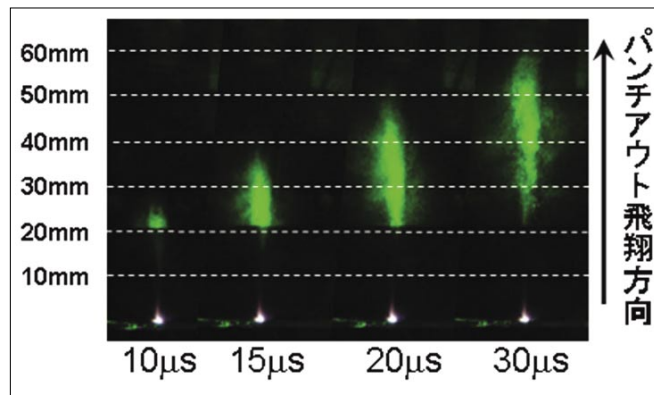
【図1】スズプラズマの不透明度(オパシティー)計測

を左右するため、激光GXII号レーザーを用いたオパシティー計測実験を行った⁴⁾。スズ温度は30 eV程度、面密度は0.01 g/cm³であった。実験結果を図1に示す。黒線は日本原子力研究所関西研究所の佐々木氏によるシミュレーション結果である。縦軸は透過率で、13.5 nm付近の透過率は他の波長に比べて小さい。スズプラズマの13.5 nm付近のオパシティーは大きく、変換効率を増加させるためには13.5 nmのEUV光が通過する面密度を小さくすることが重要である。CO₂レーザーは密度の低いプラズマにより吸収されるため、変換効率を増加させることが出来る可能性がある。この結果により、多くの研究機関がNd:YAGレーザーからCO₂レーザーに移行した。

■パンチアウトターゲット供給システム

スズターゲットを用いる場合のもう一つの課題は発生するデブリをどう押さえるかである⁵⁾(「レーザークロス」No. 205、241)。当研究所と阪大レーザー研は低デブリターゲット(最小質量ターゲット)と高変換効率が両立できるパンチアウトターゲット方式を提案した(「レーザークロス」No. 227)。パンチアウトターゲット方式は基板と蒸着された薄膜スズの2層構造で、基板側から蒸着スズに向けてレーザーを照射し、基板と薄膜スズの界面で発生したプラズマの圧力によってスズを噴出させる方法である。パンチアウトされたターゲットは直線状に飛翔するため、スズ原子が集光ミラーに堆積する問題が軽減できる。図2はパンチアウトされたターゲットの飛翔状態を示す。50 mmの地点まで直線的に飛翔することがわかる。この時の拡がり角は5.5度(全角)であった。

CO₂レーザーを照射する位置ではスズターゲットの初期密度を10¹⁷-10¹⁸ cm⁻³の低密度化が可能であるため、スズ板を照射する場合と比べて変換効率を3 %まで増加させることが出来た。また、スズ板を照射した場合、



【図2】パンチアウトターゲットの飛翔状態

レーザープラズマから放射されるスズイオンの最大エネルギーは20 keV程度と高く、磁場によるイオンの制御を行うにはエネルギーが高かったが、パンチアウトから放出される最大エネルギーは、ターゲット初期密度が低いために1 keV程度であり、制御が容易である利点も生まれた。

■ドロップレットターゲットのダブルレーザー照射による変換効率向上

低デブリ発生と高変換効率を両立させる方法としてNd:YAGレーザーとCO₂レーザーのダブルパルス照射が有力な候補である。口絵b)上図は36 μmのスズ球をプレパルス(Nd:YAGレーザー)で照射した1 μs後のターゲット膨張の像を示す。これに右側からCO₂レーザーを照射しEUV光を発生させた時の画像を口絵b)下図に示す。右側の発光点はプレパルスが36 μmのターゲットに照射され発生したEUV光で、左側の発光はメインレーザー(CO₂レーザー)照射によるものである。プレパルスとメインパルスの時間差を変化させた場合の変換効率を口絵a)に示す。遅延時間を1 μsとした場合、変換効率は4 %以上の世界最高値を記録した。この値はEUVリソグラフィー実用機に必要な変換効率値であり、実験ではその高効率達成の指針を与えることが出来た。

本研究は、文科省リーディングプロジェクト「極端紫外(EUV)光源開発等の先進半導体製造技術の実用化」のもと、大阪大学レーザーエネルギー学研究中心、西村博明教授、藤岡慎介助教他と共同で実施した成果である。また、EUV研究における理論・シミュレーションの5年間のまとめは次号に掲載予定である。

- 1) Y. Shimada, et al., Appl. Phys. Lett., 86, 051501 (2005).
- 2) M. Yamaura, et al., Appl. Phys. Lett., 86, 181107 (2005).
- 3) T. Ando, et al., Appl. Phys. Lett., 89, 151501 (2006).
- 4) S. Fujioka, et al., Phys. Rev. Lett., 95, 235004 (2005).
- 5) S. Fujioka, et al., Appl. Phys. Lett., 87, 241503 (2005).



インタビュー「産業界への大きな窓口 技術相談とは」

技術相談窓口 本越伸二

聞き手：片岡紀子

(片岡) レーザークロス編集部の片岡です。よろしくお願いします。今日は技術相談窓口についてお訊きしたいのですが、技術相談とはどういったものなのでしょうか？

(本越) 「レーザーを利用してみたいが、どんなレーザー装置を使えばいいのか判らない」、「レーザーは良いと言うがどう良いのか」など、企業の方のご相談にお答えするものです。レーザー装置を購入したけどダメだったでは困りますので、技術相談がレーザーをご利用す

る上での判断材料になればと思っています。また、ILTが進めています応用研究や、損傷評価などに対するお問い合わせにも対応しています。

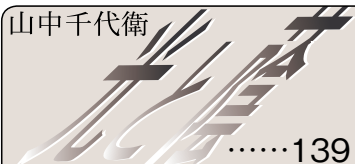
(片岡) 誰が対応してくれるのですか。

(本越) 全てのご相談は私が確認させていただきます。その上で、ご相談内容に応じて、関係している、または最も精通している研究者を指名し、直接対応してもらいます。遅くとも2週間以内にはご回答させていただきます。

(片岡) それはどの程度の費用がかかるのでしょうか。

(本越) 最初のご相談は無料です。引き続き同じ内容の

山中千代衛



……139

六公四民

昔々租庸調という唐の税制では民の取分は40%に達しなかった。今や高福祉高負担の国々では公への負担分は60%を越え80%にも及ぶそうである。

実はこの六公四民は、かつて全国共同利用研究機関であった名古屋大学プラズマ研究所において所長の伏見先生が所員に向けて発した心得の一つである。

すなわち共同利用研究所の所員たるもの全国から参加する研究者とプロジェクト研究を遂行するに際し心掛けるべき奉仕の精神を説かれたものである。

ここで言いたいのは近代の科学研究では個人個人バラバラの活動よりは、グループとして総合的に大テーマに挑戦する方式が奨励されていることである。核物理の研究において加速器を駆使する実験では何十人が心を一にしなければ所期の活動が遂行出来ない。バイオ科学でも i P S 細胞を対象に京大の山中教授はそのような局面に立たされている。

レーザー核融合の研究もその範疇に属している。レーザーの技術開発から光ビームの制御、ターゲットの研究開発と準備、爆縮実験、計測法の開発、機器の管理保全と膨大な人員の協力が欠かせない。このような状況下において一人だけ別の方向を向いて孤高に説を唱えることは許されない。身勝手もいい処である。

そこで思い出されるのが伏見先生の六公四民の原則である。大グループでプロジェクト研究を遂行し、諸外国と成果を競うのが喫緊の命題だとするなら、構成員は大半の力をそれに注入すべきである。

それでも40%の余力でもって自己研鑽をし、能力を向上させ、独自色を打出すことは大いに奨励されるべきものだ。しかしグループ活動は昔から日本の得意とするところその特性こそ国際競争で勝利する鍵と思うのだが、いかがなものであろう。

少なくとも大阪大学のILEやILTにおいては協力と協調の精神をセンターのコアにしなければ、ただ単なる烏合の衆に成り下がる恐れがある。講座単位、部門単位の活動の場は大学学部や大学院に属するものと思ひ定め、本来の使命からして六公四民を旨とする覚悟を固めるべきである。

【(財)レーザー技術総合研究所 研究所長】

ご相談は、技術指導も含んでできますので、コンサルタント料を頂戴します。

(片岡)技術相談を行っていただいた後はどのようになるのでしょうか。

(本越)ご相談に対しては、電子メール、電話でご回答し、必要に応じてお打合せを兼ねてご回答とさせて頂いております。しかしながら、明確にご回答できないようなご相談もあります。例えば、特殊な材料に対してレーザー加工ができるかなどです。このような場合は、「お試し照射」として、無料で簡単な照射試験をお勧めしております。可能性が確認できた場合は、有料にて詳細な照射試験を行うことができます。

(片岡)今までに行った技術相談の件数はどの程度ですか。

(本越)ホームページや展示会などで「技術相談窓口」を紹介するようになり、年間40件近くのご相談を頂いております。以前は、相談だけで終ることも多かったのですが(笑)、現在は半数近くのご相談が有料の照射試

験へ移行するようになりました。

(片岡)今後の展望をお聞かせください。

(本越)ようやく産業界に根付いてきた観があります。レーザーで問題があれば「レーザー総研に相談しよう」と言われるように、有用な技術を育てるとともに、応用分野の裾野を拡げていく必要があります。また、ILTには、レーザー加工や損傷評価以外にも、多くのシーズがあります。それを皆さんに判るようにアピールしていきたいと思えます。

(片岡)大変よくわかりました。さらに技術相談に訪れる企業が増えるといいですね。どうもありがとうございました。



INFORMATION

レーザー EXPO2008出展、予想以上の見学者

去る4月23日(水)から25日(金)までの3日間、パシフィコ横浜で開催された「レーザー EXPO2008」(主催:レーザー学会)に、レーザー技術総合研究所のブースを出展した。本展示会はレーザー関連製品取扱企業とユーザーとのコミュニケーションの場として、また産学連携推進の場として開催される技術展示会である。昨年引続き「レンズ設計・製造展2008」、「光ファイバー総合技術展2008」と同時開催された。

当研究所のブースでは、「研究活動の推移」、「フェムト秒レーザーが切り拓く革新的加工技術」、「レーザーリモートセンシングを用いたコンクリート内部欠陥探傷」、「レーザー損傷評価試験」のパネル展示と、「研究内容紹介」、「レーザー損傷評価試験」、「高耐力光学素子研究会-光学素子レーザー損傷閾値データベース化-」、「レーザークロス」等の資料配布を行なった。来場者か

らはレーザー応用に関する質問が寄せられ、配布資料も多くの方々にお持ちいただいた。中でも、新たに立ち上げた「高耐力光学素子研究会-光学素子レーザー損傷閾値データベース化-」と既に活発に事業展開している「レーザー損傷評価試験」に高い関心が集まり、展示会終了後には研究会への申込、問合せが多数寄せられた。

事務局発表によると、3日間で8676名もの来場者があり、当ブースも予想以上の見学者を迎え、多くの方に研究内容をPRすることができた。

次回は2009年4月22日(水)から24日(金)に、同じくパシフィコ横浜で開催される。



主な学会報告予定

- 7月16日(水)~18日(金) 1st International Symposium on Laser Ultrasonics: Science, Technology and Applications(カナダ) コチャエフ・オレグ 「Development of Laser-Based Remote Sensing System for Non-Destructive Inspection of Concrete Structures」
- 8月20日(水)~22日(金) 電気学会 平成20年度電子・情報・システム(C)部門大会 島田義則 「レーザー超音波リモートセンシングを用いたコンクリート内部欠陥探傷」
- 8月24日(日)~28日(木) 第30回 国際自由電子レーザー学会(FEL2008)(韓国) 李 大治 「Experiment on positron generation through laser Compton scattering gamma-ray」