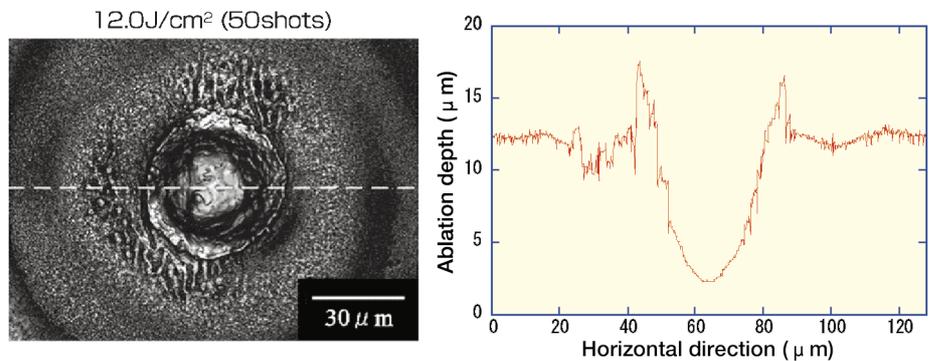
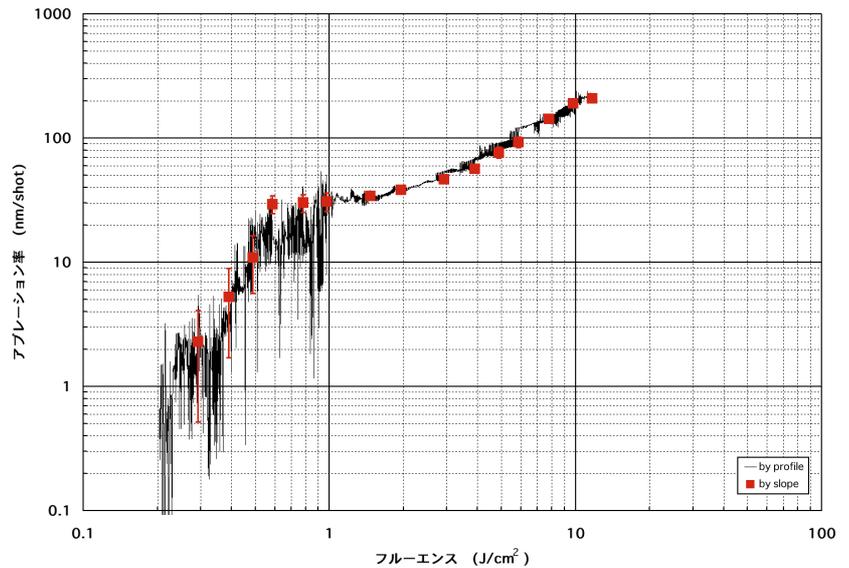


2004, Dec.

No. 201

CONTENTS

- 思い通りの微細加工を可能にするフェムト秒パルス
～金属・半導体のコントローラブルアブレーション～
- 『光と蔭』100回を迎えて
- 第3回EUVL国際シンポジウムに参加
Extreme Ultra Violet Lithography、
極端紫外光源リソグラフィ



【表紙図】半導体(Si)をターゲットとしたときのフェムト秒加工特性(上)と典型的な加工形状(下)

思い通りの微細加工を可能にするフェムト秒パルス ～金属・半導体のコントローラブルアブレーション～

レーザー加工計測研究チーム チームリーダー 藤田雅之

- ◆フェムト秒加工ならではのコントローラブルアブレーション
フェムト秒レーザー加工の特徴の一つとして、加工部周辺の熱影響層が極めて小さいということが注目されてきた。ナノ秒レーザー加工にはない新しい微細加工現象として産業応用への

次ページへつづく▶



期待が高まっている要因の一つである。

当研究所では、これまでに金属(主に銅)、セラミックス、半導体の加工データを蓄積してきたが、詳細な検討の結果、加工部周辺だけではなく加工痕内部においても横方向の熱的影響の少ない加工が可能であることを見いだした。即ち、加工痕においてレーザー光強度分布が忠実に加工形状に反映されるという現象である。われわれは、この現象を「コントロール・アブレーション」と名付けてその有用性に着目した研究を進めている。

◆熱影響が少ないということは

通常のレーザーアブレーション(パルス幅がナノ秒以上)では、照射部に発生したプラズマとレーザー光が相互作用するため、主に生成プラズマが加工形状に大きな影響を及ぼす。一方、フェムト秒レーザー加工の場合は、プラズマとレーザーの相互作用が存在しないため、レーザー照射条件が直接的に加工形状を決定する。

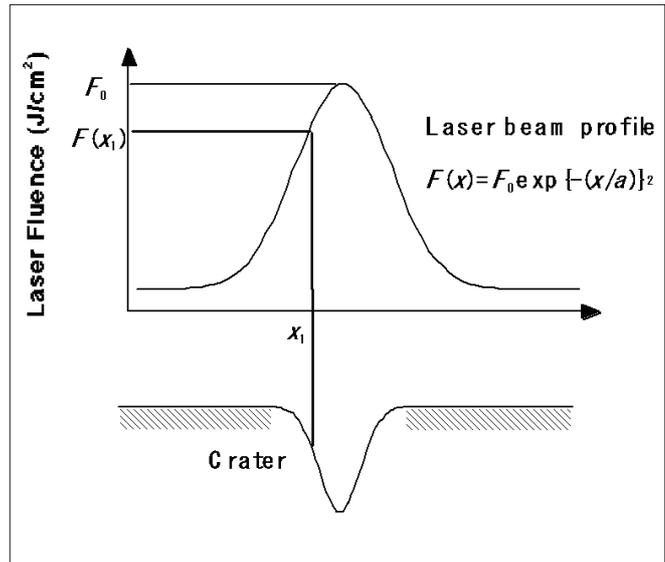
空間的なレーザー光強度分布がガウス形状であるならば、1回の照射で様々なフルーエンス(あるいは強度)の光が照射スポット内に存在するため、加工痕は各点での照射フルーエンスのアブレーションレートを反映した形状を呈する。これは当たり前のように聞こえるが、フェムト秒加工の場合は横方向の熱影響が極めて少ないため顕著な現象として観測される。照射スポット内の任意の点近傍で数μm以下の精度で照射フルーエンスに対応したアブレーションが起こることが分かった。

◆金属(銅)でまず確認

このような現象はまず銅ターゲットで観測された。橋田(現京都大学化学研究所助手)らが仏サクレー研究所で得た6桁にも及ぶアブレーションデータを詳細に解析することで見いだされたのである。

従来、アブレーションレートを求めるためには、ある特定のレーザーフルーエンスでターゲットを(計測可能な加工形状になるまで)複数回照射し、加工痕の深さから平均的なアブレーションレートを求めていた。通常、照射スポットにおけるレーザー光強度分布は一定ではないので、レーザー光強度分布が最も強い照射スポットの中心部と加工痕の中心部の深さを対応させていた。ところが、図1に示すようにレーザー光強度分布(通常はガウス形状)と加工痕形状を対応させて連続的にアブレーションレートのデータを求めたところ、2桁以上にわたって従来法で求めた値と一致することが見いだされた。

当初は信じがたい結果であったが、その後、ターゲットを金属・セラミックス・半導体と変えて同様の実験を行ったところ、いずれも再現性の高い実験結果が得られたのである。



【図1】照射レーザー強度と加工形状の対応

◆セラミックスでも確認

銅と同様のことがセラミックターゲットでも観測された。実験ではターゲットとしてAl₂O₃セラミックス(日本セラテック)を用いた。セラミックス表面上のレーザーの空間プロファイルはCCDカメラによりモニターし、ガウス形状であることを確かめた。レーザーアブレーションによりできたセラミックス表面の加工形状はレーザー顕微鏡で観察した。図2に加工深さのレーザーフルーエンス依存性を示す。は従来法で得たアブレーションレート、折れ線はレーザー強度分布を加工痕形状に対応させて得られたデータ、なめらかな実線はフィッティング関数である。折れ線には照射フルーエンスが異なる3個の加工痕データを用いている。これらの結果から、セラミックスにおいても銅と同様に、コントロール・アブレーションが成立することが確認された。

◆半導体(Si)でも確認

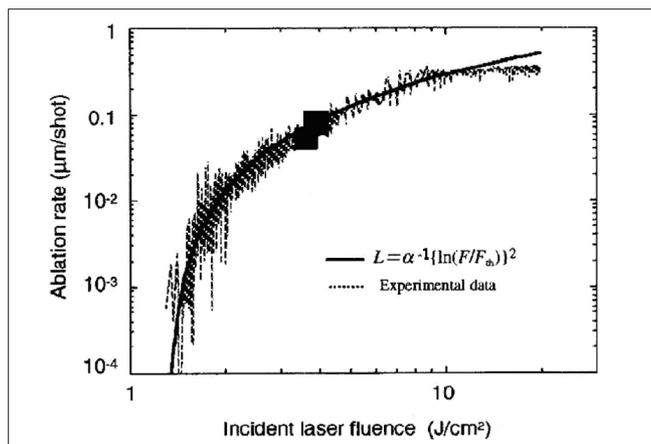
さらに、同様のことが半導体(Si)ターゲットでも観測された。実験ではターゲットとしてSi(P型、面方位<100>)を用いた。その他の条件はセラミックスの場合と同様である。表紙図に半導体(Si)のフェムト秒レーザーアブレーション特性を示す。図中、大きな (by slope)は加工痕中心でのアブレーション深さとショット数の比例関係から求めたアブレーション率(nm/shot)である。折れ線は照射フルーエンスを変化させたときの加工痕プロファイルを照射レーザー強度プロファイルに対してプロットした点である。銅のデータと同様に2ヵ所の閾値が確認されたが、第3番目の最も低い閾値は実験データ精度が不十分であるため確認には至っていない。ショット数に対する比例関係から求めたデータとプロファイルから得たデータがよく

一致していることから半導体(Si)に対しても制御性の良いコントロール・アブレーションが成立すると考えられる。

◆コントロール・アブレーションの利用法

コントロール・アブレーションの最も有効的な使い方は、加工閾値の同定であろう。加工閾値の同定には、加工閾値付近でレーザーフルエンスを細かく調整し、ターゲットを照射してアブレーションレートの確認を行わなければならないが、ここで提案するコントロール・アブレーションの成立が確認されれば、加工痕一つからでも加工閾値の同定が可能となる。また、フェムト秒加工では複数の閾値の存在が確認されているが、複数の閾値の同定は照射フルエンスを変えた数個の加工痕形状の解析で得られる。

コントロール・アブレーションで閾値・加工形状を予測する際に重要なことは、レーザー照射強度分布の正確な測定である。また、低フルエンス時の多重ショットの際のパルスエネルギーの安定性には細心の注意を払わなければならない。閾値付近では数%のフルエンスの変化が一桁のアブレーションレートの変化に対応するからである。

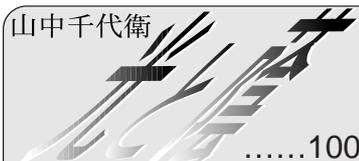


【図2】セラミックスをターゲットとしたときのフェムト秒加工特性

◆初期過程はどうなっているのか？

ここで新たな疑問がわいてくる。上記の結果は加工形状が観測できるまで複数回ターゲットを照射して得られた平均的なアブレーションレートである。はたして、各ショットごとにはどのようなアブレーションが起きているのであろうか？ 特に、最初の1,2ショットでのターゲット表面の変化はどうなっているのであろうか？ この疑問を解明すべく現在実験を行っている。

山中千代衛



光と蔭100回を迎えて

(財)レーザー技術総合研究所は1987年産業界、学界の期待と支援の下に発足した。総研の月刊誌「レーザークロス」はレーザー界の十字星を目指して、1988年4月1日に創刊号が刊行された。その巻頭には「産官学のきずな」をテーマとする筆者の一文が載っている。次に、旧ソ連のノーベル物理学賞受賞者ニコライ・バゾフのレーザー特別記念講演会でのスピーチが出ている。その昔、モスクワの彼の家でウイトコフスキーやアルコックやクローヒンらと夕食後楽観論者と悲観論者の比較を議論した覚えがある。その時の結論は「ベシミストとはあるゆる事態を十分吟味し承知の上、将来の絵が描けない人であり、オプティミストとはかならずしも諸条件を完全には把握していないかもしれないが、未来に希望を持ちつづける人」ということであった。そのとき一同全員自分は後者だと主張したようだ。バゾフ自身も大いなる楽観主義者でこの講演会でも「レーザー核融合について私は非常に楽観的だ。物理上の困難は何もない。技術的な問題を一つ一つ解決していけばいいだけだ」と述べている。一昨年核融合の解決を見ずに亡くなったのはまことに残念の極みである。レーザー核融合の大プロモーターエドワード・テラーも昨年他界した。残るのはベシミストばかりなのだろうか。

さてコラム「光と蔭」は1996年2月『レーザークロス』95号に「阪神淡路大地震一周年を迎えて」と題した筆者一文からスタートして、本号2004年12月201号まで執筆100回に達した。区切の節には反省もこめて来し方を反省し、往く末を慮ることが大切であろう。まさに『レーザークロス』も200号を迎え、レーザー総研の歴史を記す重要なメモリーとなっている。

当研究所創設以来17年を閲して、将来計画を真摯に策定する秋である。国立大学も独立法人化し、新時代を迎えようとしている。当研究所が開設に努力した自由電子レーザー研究所も大阪大学に移管され、いよいよエネルギー学研究センターの一部として活用が期待されている。まさに大阪大学レーザーエネルギー学研究センターの全国共同利用研究への位置付けとともに関西原研量子科学研究センターとの連携も視野に入れ、大同団結の努力を積み重ねなければならぬ。この機に臨んでオプティミストでありたいものだ。

【(財)レーザー技術総合研究所 研究所長】

第3回EUVL国際シンポジウムに参加

Extreme Ultra Violet Lithography、極端紫外光源リソグラフィ

レーザービーム伝送チーム 島田義則

■宮崎シーガイアで開催

11月1日から4日まで宮崎シーガイアで開催されたEUVLシンポジウムに参加した。この国際会議は米国ダラス、欧州オランダと続き、今回は日本、宮崎での開催で各研究機関や企業の研究成果を披露し、その問題点、今後の研究の方向などを議論することを目的に開催された。参加者は日本228名、米国87名、欧州67名、日本を除くアジア35名、計417名の参加者であった。昨年の参加人数320～350名に比べて増加しており、この会議の重要度がうかがえる。当研究所からは実験、理論グループ合わせて4名が参加した。

■シーガイアでゴルフはいかが

宮崎シーガイアはゴルフをはじめ、室内海水浴場（オーシャンドーム）、テニスといった施設が整ったリゾート地である。そこにはゴルフコースがある。11月3日の祝日でもあまり混んでいる様子は見受けられなかった。ゴルフに興味がある人ならプレーしたいのであろうが、ゴルフをしない筆者にとってはオーシャンドームなどの方に興味を引かれた。

■当研究所からは5件の発表

当研究所からは5件の発表を行った。(1)Influence of Drive Pulse Duration on EUV Emission Properties in Laser Produced Tin Plasma、(2)EUV Emission from Tin Plasmas Generated with



【写真】説明を行う筆者

1.06, 0.53, and 0.26 μm Laser、(3) A novel Thin-foil Mass Limited Target for Laser-produced EUV Source Generation、(4) Numerical Analysis of Extreme Ultra-Violet Emission from Laser-produced Tin Plasmas、(5) Estimations on Generation of High Energy

Particles from LPP EUV Light Sources。EUV放射に関するレーザーパルス幅・波長依存性の実験とシミュレーション結果。ターゲットを照射した際に発生するデブリのエネルギー分布、およびデブリを抑制するための質量制限ターゲットの開発など、の報告で必要なEUV光源開発研究課題のほとんどを含み、それぞれの発表が大きなインパクトを与えたと思われる。

■リチウムターゲットが話題に

今回の会議で印象深かったのは、(1)当研究所・大阪大学の交換効率3%に刺激され、各メーカーから交換効率2～3%の報告が相次いだ。(2)XTREMEが放電方式(DPP)で50W(中間集光点)を達成した(4.5kHz、400W入力)、講演の最後に「EUV光源出力は一番の問題ではない」との発言があった。(3)CymerはLiターゲットで交換効率、～3%を報告した(800W、XeFエキシマレーザーを使用)。(4)当研究所のシミュレーション結果に基づき、炭酸ガスレーザーを用いることが可能であることが認知され、XTREME、EUVA等が実験を始めた。(5)University of Central Floridaがスズ平板ターゲット照射で交換効率5.5%を報告した。レーザーの入射角度とEUV放射の角度分布計測が必要とのコメントがあった。(6)会議の雰囲気を通して、「ミラー寿命が最も深刻な問題である」との認識であった。その他、熱処理対策、装置価格、光源パワーと続く。並べると切りがないが、大きなトピックスは上述のとおりである。

■会議報告を受けて

各メーカーの開発速度は非常に速いことを実感した。今後は、現在実験を進めている質量制限ターゲット方法を推進し、上述の重要問題の解決につなげたい。同時に、レーザー条件の最適化、デブリ計測等も引き続き実験を行う。上記の研究は、文部科学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と共同で研究を行った。