

LASER

ISSN 0914-9805



レーザー・クロス

CROSS

2006, Jan.

No. 214

CONTENTS

- レーザー技術総合研究所職員一同
- 【謹賀新年】年頭所感「求めよ さらば与えられん」
- フェムト秒加工研究の将来展望
～フェムト秒で何が・・・～



【写真】レーザー技術総合研究所職員一同

謹賀新年

年頭所感「求めよ さらば与えられん」

(財)レーザー技術総合研究所 所長 山中千代衛

2006年、平成18年丙戌(ひのえいぬ)の新年を迎え、わが国の経済も自らの努力と世界の情勢の変化によりようやく長い不況のトンネルを抜け、前途に光明が見える時節が到来して来た。「光蔭矢の如し」と言うが時代は滔々として変化し、社会を担う責任人口の世帯交代が進んでいる。戦後日本の復活を営々として築いてきたいわゆる団塊の人達が第一線から退き始め、繁栄と平和の下、潤沢な空気の中で育った次の世代に責任が移ろうとしている。しかも今年あたりが人口のピークで以後人口は減少に移る。

わが国の歴史と伝統に基づく努力、勤勉、進取、協和の醇風が次世代に継承されるや否やに21世紀の日本の将来がかかっているといっても過言ではない。「艱難汝を玉にす」の格言の通り、新興の中国、ロシア、インド、ブラジルの人達は、困難を乗り越え、苦境を物ともせず躍進をつづけている。

この有様は20世紀のかつての日本が瓦礫の中から不死鳥のように蘇り、西欧先進諸国に追い付け、追い越せとばかり、努力精進した姿を彷彿とさせる。元々資源に乏しく、国土も狭く万般のハンディキャップの下でひたすら有為の人材を養成し、科学技術立国のスローガンの下、大をなしてきた物づくり日本は今こそ新しい戦略とかつての堅忍不拔の精神を持ってこの競争に対処しなければ未来はないのではなからうか。

わがレーザー技術総合研究所は来年創立20周年を迎える。一口に20年と言うが、この間、レーザー科学技術の興隆を図り、産業の振興と学術の発展のため懸命の努力をしてきた。大阪大学レーザー核融合研究センターのレーザー応用部門から独立して最初の5年は、レーザーによるウラン濃縮の事業に協力し幾多の成果を上げ、次の5年はレーザー誘雷の技術発展に集中し、若狭の嶽山レーザー基地で冬季雷のレーザー誘雷に成功した。その後レーザーによる核廃棄物処理、レーザー超音波探傷、レーザー推進テスト、太陽光励起レーザーによるエネルギー伝送、レーザーバイオ蛍光分析、レーザーレジスト剥離、EUV光源開発などに従事し業績を重ねている。一方ではレーザー技術開発室を開設し、レーザーの技術相談に応じてきた。この一連の働きの規模は小さいながら善戦健闘と言えるのではなからうか。しかし今後を展望するとさらなる展開が強く期待されるのである。

今年度からレーザー研究組織も一新し、チーム研究とプロジェクト研究の調和を図り、全員参加の研究推進を期している。大にしてわが国、小にしてわが総研も心して「求めよ さらば与えられん」の心意気で新年に備えたいものだ。相変わらぬ御教示、御鞭撻をお願い申し上げ年頭のご挨拶とする次第である。



フェムト秒加工研究の将来展望 ～フェムト秒で何が・・・～

レーザー加工計測研究チーム 藤田雅之

◆フェムト秒加工研究の将来

年頭に当たりフェムト秒加工の将来を展望してみたいと思う。フェムト秒レーザーは研究者のおモチャにすぎないのか、新産業を創成する切り札になるのか。われわれとしては後者であってほしいし、そうなるように日夜努力を続けている。「レーザークロス」No.207(2005年6月)でフェムト秒加工の新領域を紹介した。最近のフェムト秒加工では、従来から言われている非熱的なアブレーション加工のみならず表面修飾・改質など、広範囲にわたる照射条件の下で様々な現象が見いだされてきている。フェムト秒レーザーは深く付き合えば付き合うほどに将来の可能性を秘めたネタを提供してくれる魅力的なツールである。

◆フェムト秒加工発展のキーワード

今更ながら当たり前のことを冒頭に述べるが、フェムト秒加工が産業界に普及するためには、“フォトンコストの低下”と“キラーアプリケーションの出現”が鍵となる。フォトンコストはレーザー装置の普及に伴い低下が期待されるが、キラーアプリケーションはどうであろう？ だれかが成功すればわれもわれもと市場が賑やかになるのであろうが、それなりに大きな市場が期待されるアプリケーションでなくてはならない。

◆本命はやはり非熱的微細加工か

市場の大きさから考えれば、フェムト秒加工の本命は微細加工と言わざるを得ない。これは従来技術の改良技術として、付加価値やフォトンコストが見合えば産業界でも受け入れやすいということからも言えるであろう。(産業界とお付き合いしていると痛感するが、意外なまでに“現場”は保守的である。)付加価値という観点では、生産の歩留まりを向上させるリペアなどの応用にはフェムト秒が使われ出しているという話を耳にする。しからば、フォトンコストを下げるために装置台数の普及を図る対策はどのように考えたら良いのであろうか。

穴馬的な応用を数多く育てていってはどうか、というのが一つの提案である。より多くの穴馬が競争に参

加すれば人気も高まろうし、穴馬が本命に成長することも期待できるであろう。

◆しきい値以下のフェムト秒加工が穴馬

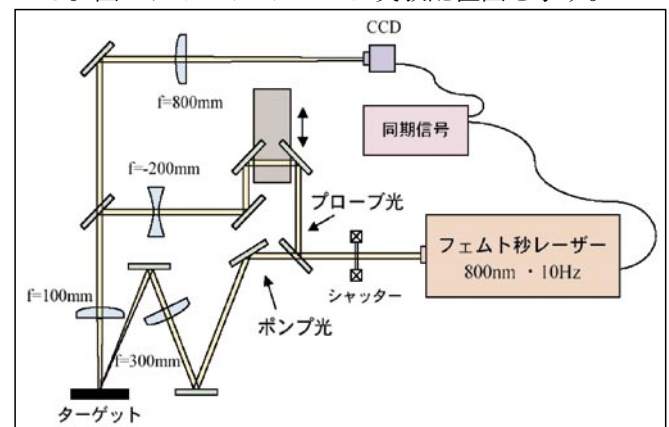
従来のアブレーション加工しきい値以下の加工領域には穴馬応用が目白押しであると予測される。未開拓の領域でもあり、またフェムト秒パルス of 超高速性や高電界性が活用できる領域である。言い方を変えれば、ナノ秒パルス照射ではかき消されていた光と物質の相互作用の“足跡”がレーザー照射後も残っている領域である。

フェムト秒パルスは(アブレーションが起きない)小さなエネルギーでも材料表面にナノ周期構造を自己形成させることができる。フェムト秒パルスは小さなエネルギーで半導体Siのアモルファス化を引き起こすことができる。フェムト秒パルスは小さなエネルギーでも大きな衝撃波を発生させることができる。

これらの現象をどう活用するかは、当研究所のような研究機関や大学と産業界の積極的なコラボレーションにかかっている。

◆フェムト秒で何が起きている？

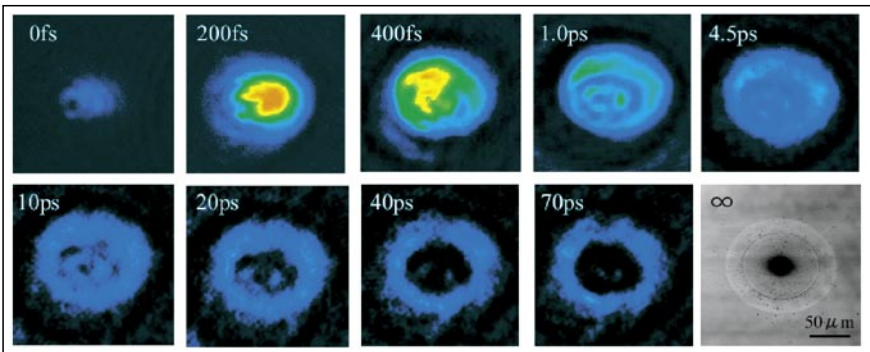
穴馬応用を見つけだすためには、穴馬が隠れているしきい値以下のフェムト秒パルス照射で何がどのくらいの時間スケールで起きているのかを知ることが重要となる。そこで、われわれはフェムト秒パルス照射面の変化をポンプ-プローブ法で観測することを試みている。図1にポンプ-プローブ実験配置図を示す。フェ



【図1】ポンプ-プローブ実験配置図

ムト秒パルスを2ビームに分割し、ポンプ光を斜めから照射し、時間差を設けてプローブ光を垂直入射し、表面反射を像転送して観測した。

図2にSiをターゲットとしたときの実験結果を示す。波長800nmの光に対する反射率の変化を2次元的に時間分解能100fsで観測したものである。下段右端の写真はレーザー照射後の表面である(レーザー顕微鏡で観察)。



【図2】フェムト秒レーザー照射により励起されたSi表面反射率(波長800nm)の時間分解計測

ポンプレーザー照射後1ps以内の時間スケールでSiの反射率上昇を確認することができた。いわゆる non-thermal meltingが発生していると考えられる。また、レーザー照射後20ps程度で照射エネルギーの高い中心部では反射率の低下が観測された。最終的に得られた加工形状と比較すると、反射率低下が起こった箇所とシングルショットアブレーションが発生した箇所が一致することから、レーザー照射後20psでアブレーションが発生すると考えられる。

ほんの数100fsの間で光に対する応答が顕著に変化している。ここに穴馬が隠れていそうである。

◆フェムト秒パルスでこんなことが

新たな研究の動向として、近接場による電場増強効果を利用した微細加工の可能性が見いだされている。慶應義塾大学・津田研究室ではフェムト秒パルスの波長(800nm)と同程度かそれ以下の幅の金属スリット(Ta)を基板(Si)上に設けてレーザー照射を行い、スリット端での近接場効果による加工レートの増大を観測している[1,2]。興味深いことは、金属で覆われている(スリットとスリットの間)基板上に光が直接照射されていないにもかかわらずスリットと垂直方向に溝構造(幅100nm、深さ600nm)が形成されることが実験的に確認された。これは言葉では説明しにくいのでぜひ参考文献をご覧ください。これまでは近接場による直接ナノ加工が目目されてきたが、近接場による電場増強効果を利用した間接加工技術の展開が期待される。

◆フェムト秒パルスでこんなことも

近年最も注目すべきフェムト秒応用として、大阪大学佐々木研究室と増原研究室で行われている“蛋白質の結晶化”が挙げられる。低可飽和状態の蛋白質溶液中にフェムト秒パルスを集光し、結晶核生成を促進することに成功している[3]。これまで高品質結晶を得ることが困難であった蛋白質の結晶生成がフェムト秒パ

ルス照射で実現し、創薬への応用が試みられている。さらに、増原研究室ではフェムト秒パルスを微小領域に集光して発生する衝撃波を利用し生体材料の操作を行っている[2]。

これらの応用では、微少な熱を発生しない程度のエネルギーでもフェムト秒パルスは効率的な衝撃波の発生が可能である、ということを利用しているものと言えよう。

◆今後のフェムト秒加工の方向性

今後のフェムト秒加工研究は、エネルギー集中型からエネルギー共鳴型へ移行していくことが予測される。エネルギー集中型は、これまで積極的に研究が進められてきたいわゆる非熱的アブレーション加工や多光子吸収を利用した透明材料の加工を意味する。ちょっと力づくのイメージが伴うタイプの加工である。エネルギー共鳴型(適切な表現ではないかもしれない)は、原子レベルのエネルギー準位への共鳴という意味ではなく、より少ないエネルギーで材料の特性を制御する、あるいは、近接場効果を最大限発揮するような構造を介して加工を最適化する、あるいは、材料がもつ特徴的な時間・空間スケールに合わせてフェムト秒パルスを最適化(波長、パルス幅・波形等)して照射する加工を意味する。フェムト秒パルスでかゆいところを刺激するというイメージである。

お寺の巨大な釣鐘でも、共鳴周波数で繰り返して押せば小さな子供にも揺らすことが可能なのである。より少ないエネルギーでより効率的な加工をする、あるいは材料に有益な変化をもたらす、それがこれからのフェムト秒パルスの上手な使い方ではなからうか。

参考文献/[1]A. Moroki et al., "Femtosecond Laser Processing Using Subwavelength Thin Metal Slit Arrays", JJAP, vol.42, 8753 (2005). [2]レーザー学会第343回研究会報告(2005年12月12日). [3]H. Adachi et al., "Membrane Protein Crystallization Using Laser Irradiation", JJAP, vol.43, L1376 (2004).