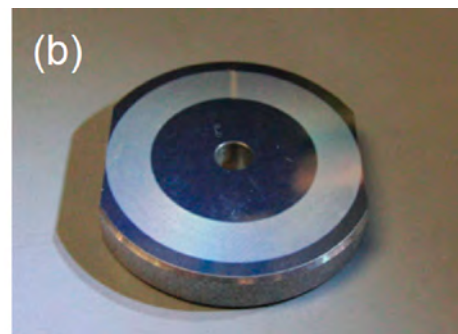
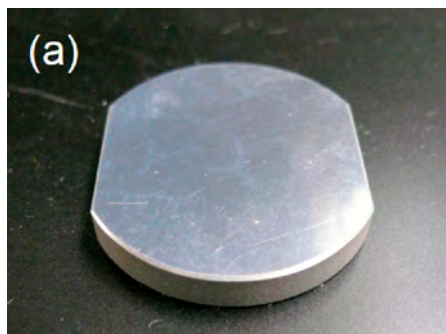


2011, Oct.
No. 283

レーザー・クロス CROSS

CONTENTS

- アルミ合金の低摩擦加工
- Sub-10fsレーザーパルスを用いたタンパク質の超高速光反応の計測
- 【光と蔭】研究組織の必要条件
- 第33回自由電子レーザー国際会議参加報告
- 主な学会等報告予定



【表紙図】摩擦係数評価用試料：(a)加工前、(b)加工後

アルミ合金の低摩擦加工

レーザープロセス研究チーム 主席研究員 藤田雅之

◆ 1年間のNEDO省エネ事前研究

NEDO省エネルギー技術開発部からの委託事業として「レーザーを用いた低摩擦表面処理技術開発の事前研究」を、平成21年度の単年度プロジェクトとして行った。本研究はNEDOの「省エネルギー革新技术開発事業」で採択された課題の一つである。これまでに、フェムト秒レーザーを用いたナノ周期構造が表面摩擦を低減させる効果があるといわれてきたが、本プロジェクトではアルミ合金特有のレーザー表面処理技術を開発するための事前研究として進めた。輸送機器等の省エネ化には部材の軽量化も有効であるが、同時に摩擦の低減も重要な要素である。

◆ 対象としたのはアルミ-シリコン合金

アルミニウムは軽いという特徴がある半面、柔らかく粘り気のある素材でもある。産業用部材としては、銅(Cu)、マンガン(Mn)、ケイ素(Si)、マグネシウム(Mg)等と混ぜ合わせて強度などの特性を向上させた合金が用いられている。本プロジェクトでは耐摩耗性が良好なアルミ-シリコン合金を対象としてレーザー照射を行った。アルミ(Al)-シリコン(Si)合金中ではAlとSiが均一に混ざっているのではなく、母材であるAl中に硬いSiの結晶粒(大きさ数 μm から10 μm 程度)が点在している。Siの含有率は10~15%のものをを用いた。

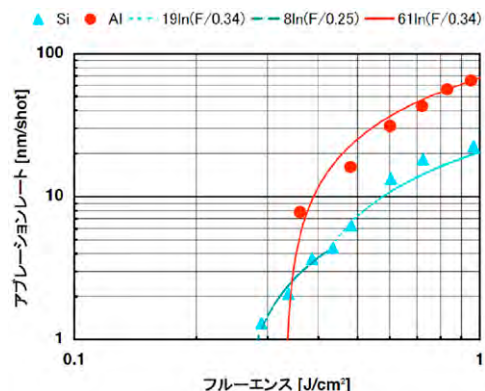
◆ 表面処理の狙い目

これまで、アルミ単体、シリコン単体に対して加工しきい値近傍でフェムト秒レーザーを照射すると微細周期構造が形成されることが分かっていた。それでは、アルミ母材中にシリコン結晶粒が点在している合金の場合はどうなることが予想されるであろうか？ シリコンが先に加工されれば母材中に凹みができ、ミクロンサイズの油だまりとして機能することが期待できる。一方、アルミが先に加工されれば硬いシリコンが表面に突きだして残ると考えられ、ミクロンサイズの微小ベアリングとして機能することが期待される。また、

アルミもシリコンも同様に加工されれば単なる微細周期構造が形成され、従来確認されてきた摩擦低減効果が得られるであろうと予測される。

◆ アルミとシリコンのレーザー加工特性

合金のレーザー加工となる母材単体のレーザー加工とは特性が異なると予測されるが、とりあえず、レーザー照射条件の目安を得るために、アルミ及び単結晶シリコンそれぞれに



【図1】AlとSiのアブレーションレート

パルス幅100fs、波長800nm)を照射し、アブレーション特性を実験的に取得した(図1)。すると、興味深いことにアブレーションレートの曲線が交差することが分かった。シリコンはアルミに比べて加工しきい値が低く、アブレーションレートが小さい。アルミの加工しきい値以下ではシリコンが選択的にアブレーションされ、アルミの加工しきい値以上ではシリコンに比べてアルミの加工深さが大きくなることが期待できるのである。

◆ 照射フルーエンスを調整することで BINGO!

試しにアルミの加工しきい値前後のフルーエンスでフェムト秒レーザーをAl-Si合金試料(表紙図)に照射し走査型電子顕微鏡(SEM)で表面観察を行った。図2にアルミの加工しきい値以下でレーザー照射したAl-Si合金試料表面の(a)SEM像と(b)EDS分析結果を示す。Si結晶粒に相当する部分にナノ周期構造が形成され凹んで

次ページへつづく▶

いることが確認された。一方、図3にアルミの加工しきい値以上でレーザー照射したAl-Si合金試料表面のSEM像を示す。(a) Siの含有率が約10%の共晶Al-Si合金と(b) Siの含有率が約15%の過共晶Al-Si合金、共にSi結晶粒が突出していることが確認できる。

◆微細周期構造プラス α の摩擦低減効果

アルミの加工しきい値以上でレーザー照射した場合は、母材のアルミ表面にはナノ周期構造が形成され、且つ数ミクロンサイズの硬いSiの結晶粒が表面に突きだしている。従来確認されていたナノ周期構造の摩擦低減効果に加えて、実効的な接触面積を低下させるマイクロベアリング効果が期待できる。協力会社に表面摩擦係数を測定してもらったところ、摺動速度0.56m/sにおいて未処理の試料と比較して共晶Al-Si合金(図3(a)に相当)で17%、過共晶Al-Si合金(図3(b)に相当)で27%の摩擦低減効果が確認できた。

◆合金のレーザー加工

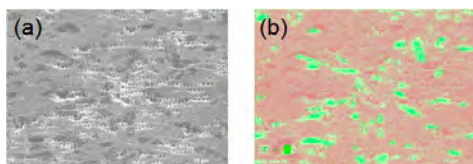
これまで物理的な描像を明確にするために純金属を中心にフェムト秒レーザー加工の基礎データを積み重ねてきたが、今回初めて合金の定量的なレーザー加工にトライしてみた。意外とこれまでに培ってきた知見が役に立ったと感じている。世の中で実際に使われている素材で純粋なのは少なく、何らかの混ぜモノになっていることが多いが、基礎的なところを押さえれば世の役に立つ成果が得られると実

感した次第である。

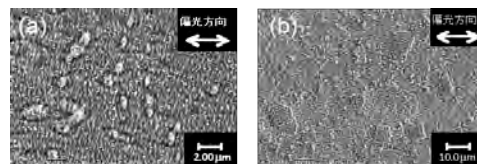
◆料理にも似たレーザー加工

全く性質が異なる材料からなる合金や複合材をいかにレーザー加工していくかは、塩と砂糖をいかに混ぜ合わせて味を出していくかという料理に通じるところがあるのではないかと考えるようになってきた。レーザークロスNo.267で紹介したCFRP(炭素繊維強化プラスチック)のように異なる素材に異なるパルス幅や波長のレーザーを使うことは、肉や魚を切るのに異なる包丁を用いるようなものである。今回の合金のように柔らかい母材に硬い粒が埋め込まれた材料にレーザーを照射し表面性状を制御することは、食材に含まれる甘みや苦みをバランス良く引き出すことに通じる。レーザー加工の名シェフを目指し魅力あるレーザー加工のレシピを紹介していきたいものである。

本研究はNEDO「省エネルギー革新技術開発事業」の一環として実施したものであり、関係者各位に感謝致します。



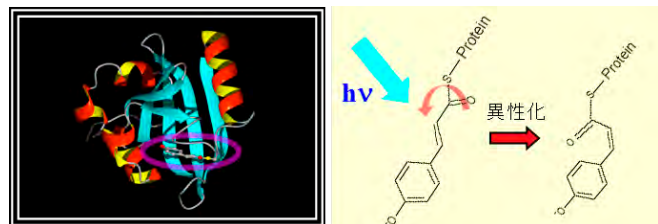
【図2】Alの加工しきい値以下で照射された共晶Al-Si合金表面のSEM像 (a)とEDS分析結果 (b)。Si結晶粒に相当する部分が凹んでいる。



【図3】Alの加工しきい値以上で照射された共晶Al-Si合金(a)と過共晶Al-Si合金(b)表面のSEM像。Si結晶粒が突出している。

Sub-10fs レーザーパルスを用いたタンパク質の超高速光反応の計測

光活性蛋白質は一般にその初期において高速、高効率の反応が起こることが知られる。我々はこれまで、青色光から逃げる性質を持つ光合成細菌(*Halorhodospira halophila*)の光レセプターとして機能するPhotoactive Yellow Protein (PYP)の発色団(*p*-クマル酸)の光初期異性化(図1)ダイナミクスについて、パルス幅約70フェムト秒(fs)のレーザーを光源とする時間分解蛍光計測による研究を行ってきた¹⁾。今回、更に高い時間分解能での計測を可能とするsub-10fsパルスレーザーを用いたポンプ-プローブ計測を行い、PYPの光初期反応過程



【図1】光活性タンパク質PYP(左)と発色団(*p*-クマル酸)の光初期異性化反応(右)

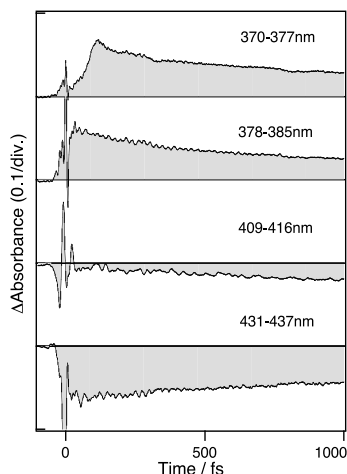
レーザーバイオ化学研究チーム 谷口誠治

について検討した結果を報告する。

光源にはTi: sapphireレーザーの第二高調波を中空ファイバーに通して波長域を広げ、その後プリズムペアとデフォーミブルミラーを組み合わせた分散補償システムにより時間幅を圧縮したものを用いた²⁾。これにより中心波長約400nm、時間幅7.5fs(FWHM)のパルスが得られ、ポンプおよびプローブ光として用いた。光検知部には高精度での多波長同時検出が可能な128chマルチチャンネルロックイン-アンプシステムを用いた。

図2に各波長でのPYPの吸光度の経時変化を示す。吸光度は発色団の異性化反応に伴う減衰またはブリーチの回復を示しているが、一方、これらには発色団の分子振動を示唆する振動成分が付随していることが分かる。このような挙動は時間分解能がきわめて高い計測法によってのみ見られるものであり、今回のような高振動数の成分が観測されたのはPYPでは初めてのことである。

新たに観測された振動成分と異性化反応との関連性について検討するため、Fourier変換による振動



【図2】PYPの吸光度の経時変化(各波長域での平均値)

のC=C二重結合の振動に寄与を持つことから、PYPの励起直後にはC=C(二重結合)の振動が特に誘起されて結合が不安定化し、これが異性化反応を促進する一因と

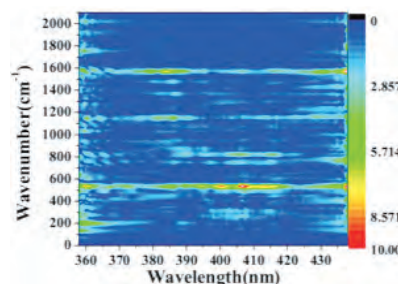
ピーク解析を行った(図3)。その結果、 537cm^{-1} 、 1159cm^{-1} 、 1570cm^{-1} に顕著な振動ピークが見られた。Raman散乱測定結果との比較からこれらのピークはそれぞれ発色団の面内(in-plane)振動モード ν_{13} 、 ν_{25} 、 ν_{36} と同定されるが、その中でも ν_{13} モードのピーク値はRaman測定値に対して高振動数側へ大きくシフト(13cm^{-1})しており、PYPの電子励起状態ではこのモードが誘起されることを示している。 ν_{13} モードは異性化反応の軸となるC7-C8位

なっている可能性が高いと考えられる。今後 200cm^{-1} 以下の低振動数モードの解析等を行い、PYPの高効率光反応のメカニズムについて更に詳細に検討する予定である。

本研究は、電気通信大学大学院電気通信学研究科先端超高速レーザー研究センター・CREST(小林孝嘉特任教授、Liu Jun特任助教)、京都大学大学院理学研究科(今元泰准教授)らと共同で行なっているものである。ご協力に感謝致します。

参考文献：

- 1) H. Chosrowjan, S. Taniguchi, N. Mataga, M. Unno *et al.*, *J. Phys. Chem. B*, 108 (2004) 2686.
- 2) J. Liu, K. Okamura, Y. Kida, T. Teramoto, and T. Kobayashi, *Opt. Express*, 18 (20) (2010) 20645



【図3】Fourier変換による振動解析結果(振動強度(amplitude)は色の变化で示す)

山中千代衛



研究組織の必要条件

大阪大学レーザー核融合研究センターは平成16年(2004)、超伝導フォトリクス研究センターと合併し、レーザーエネルギー学研究センターに改組、

その構成はレーザー核融合研究、高エネルギー密度科学研究、パワーフォトリクス研究、レーザーテラヘルツ研究、光・量子放射学研究の5大部門からなり、全国共同研究と国際研究を実施するため連携研究推進室を設けている。

昭和47年(1972)発足以来、レーザー核融合研究で世界第一級の成果を上げ、IFSA国際会議では日欧米の三極の雄として存在感を示している。まさに当初の目的であったLaboratory of the Worldを見事に達成した。来年(2012)には創立40周年を迎える。

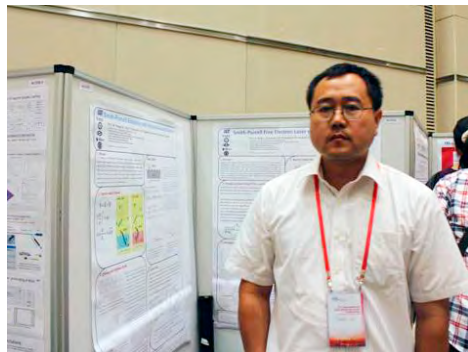
米国の経営学者チェスター・バーナードは組織存立のため必須の3条件を挙げている。(1)組織目標、(2)協同意識、(3)相互コミュニケーションの三つである。

大阪大学レーザー核融合研究センターでは創立当初から自らの理念・ビジョンとして人類の未来エネルギー研究開発を目標に高く掲げ、慣性核融合研究を中心課題に焦点を合わせた。研究メンバーの協同意識を高めるため、全員の立ち位置を明白にする毎月曜日午前8時の全体会議、研究プロセスを円滑にする週1回の研究推進会議、ならびに研究テーマ別のプロジェクト研究計画会議を運営し、全構成者が参加するマトリクス構成を組織し、メンバー間のコミュニケーションを充実させてきた。その結果わが研究集団の実力は世界トップにまで成長した。1980~90年代にその精進は如実に報われ、エドワード・テラーはテラーメダル授与に際し、「山中教授の努力のお蔭でレーザー核融合は第三コーナーをまわった」と述べた。

上記の三要素は研究組織のさらなる発展、成功のためにも不可欠の条件である。創立40周年を迎えるに当たって再び初心に立ち帰り、改めてこの三条件を反芻することが求められる。実際パナソニック、ソニー、ホンダなどわが国の優良企業では創業者が経営ビジョンなど組織目標を掲げ、社員の協同意識を高め、相互のコミュニケーションを充実させて成功に導いてきた。この反面教師が現政権の民主党かもしれない。新聞が報じる如く民主党は組織目標たる綱領を持たない。そのためメンバーのベクトルはそろわず、コミュニケーションも不足で、各人がてんでばらばらに放言し行動している。これでは政権獲得後漂流したのも当然である。野田新首相が体制を立て直せるか、国民は固唾をのんで見守っている。大阪大学レーザーエネルギー学研究センターもまた開設25周年の(財)レーザー技術総合研究所も、これを他山の石として2012年を迎えねばならない。須く、第一に組織目標、第二に協同意識、第三に相互コミュニケーションの確立に肝胆を砕く努力が望まれる。

【研究名誉所長】

第33回自由電子レーザー国際会議 参加報告



【図1】ポスター展示室

今回は中国科学院上海応用物理研究所が主催し、「上海の母なる河」と呼ばれる黄浦江の近くの上海国際会議センターで行われた。

本国際会議は「自由電子レーザー理論」、「自由電子レーザー技術」、「X線自由電子レーザー」、「長波長自由電子レーザー」、「自由電子レーザー応用」、「新アイデア」などのセッションで構成され、口頭発表とポスター発表が全部で約280件あり、欧州諸国、アメリカ、日本、中国、韓国などから200人程度の出席者が自由電子レーザーに関する研究結果を披露した。

2. 初レーザー発振報告

イギリスDaresbury研究所におけるエネルギー回収加速器による発振器型自由電子レーザーの実験結果が報告された。去年10月にヨーロッパで初めて波長 $8\mu\text{m}$ のレーザー発振に成功し、続いて $5.7\sim 8\mu\text{m}$ の変調が実現された。

アメリカFERMI研究所のseeded FELでは、波長 43nm のレーザー発振に去年12月に初めて成功した。その後 $32\sim 52\text{nm}$ の放射光も確認され、出力の安定性も改善された。

日本のX線自由電子レーザー SACLAでは、今年6月に $1.2\text{\AA}$ のレーザー発振に初めて成功した。

レーザーエネルギー研究チーム 李大治

1. はじめに

8月21(日)から26日(金)まで中国上海で開催された第33回自由電子レーザー国際会議に参加した。この国際会議は毎年一回開催され、

3. TW級X-FEL提案と応用研究

分子や蛋白質などの研究には、約 10^{13} photons/pulse、時間 10fs 以内の強いX線を要求される。アメリカSLAC国立加速器研究所では、LCLS (Linac Coherent Light Source)より、 8keV -X線においてTW級のパルスを生成することを調べた。

アメリカではLCLS X線自由電子レーザーを利用した応用研究が多くなった。X線自由電子レーザーからの超短パルスは非常に高い強度を持ち、測定試料が重大な損傷を生じる前に個々のタンパク質からの反射回折パターンを得ることができる。

4. テラヘルツ自由電子レーザー

上海交通大学と日本KEK(高エネルギー研究機構)との共同研究グループは、数 10MW ピークパワーテラヘルツ放射線の発生を提唱した。短パルス電子バンチがアンジュレーターを通過すると、コヒーレントシンクロトロン放射に基づいたMW級ピークパワーのテラヘルツ放射線を発生させることができ、全体の設備の小型化が可能である。

韓国のKAERI(Korea Atomic Energy Research Institute)では、マイクロトロン加速器、ヘリカルアンジュレーターと円形導波管発振器を用いたテラヘルツ自由電子レーザーを開発している。 5MeV の電子ビームを使うと、波長 $200\sim 500\mu\text{m}$ の自由電子レーザーを発生させることができる。

5. レーザー総研の貢献

筆者らは小型化高効率テラヘルツSmith-Purcell自由電子レーザーや、Smith-Purcell放射と負の屈折率グレーティングを結合した新型自由電子レーザーを提案した。この提案では放射効率を大幅に改善する可能性があるので大変注目された。

主な学会等報告予定

- 11月14日(月)~18日(金) Division of Plasma Physics Annual Meeting(アメリカ・ユタ州)
城崎 知至「Cone Material Dependence of Fast Ignition Core Heating」
- 11月22日(火)~25日(金) Plasma Conference 2011(石川県立音楽堂)
古河 裕之「レーザー核融合炉液体壁チャンバー内の蒸発ガスの挙動に関する研究Ⅱ」
城崎 知至「高効率加熱のための高速電子ビームガイディング」
- 11月28日(月)~30日(水) 日本光学会 年次学術講演会(大阪大学吹田キャンパス)
藤田 雅之「レーザープロセッシングの現状とこれから」
- 11月30日(水) 日本テクノセンターセミナー(東京・日本テクノセンター)
藤田 雅之「パルスレーザー・フェムト秒レーザーの基礎と加工への応用・例」
- 12月5日(月)~6日(火) 第76回レーザー加工学会講演会(東京大学生産技術研究所)
藤田 雅之「フェムト秒レーザーによるCFRPのレーザー切断」(仮題)
- 12月11日(日)~16日(金) GLOBAL2011(千葉・幕張メッセ)
今崎 一夫「New Laser Fusion Method by Intense Laser」
李 大治「Gamma ray generation for nuclear transmutation」