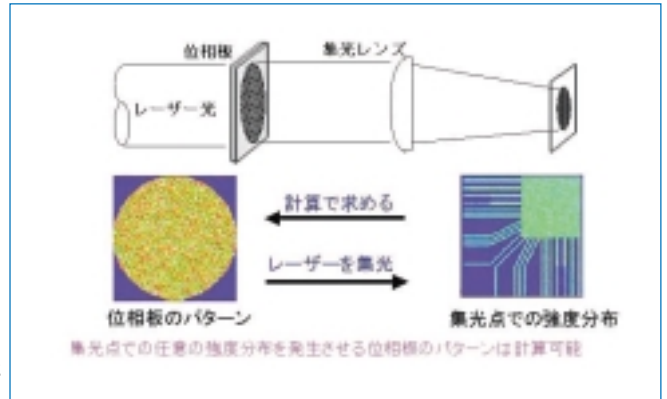


## CONTENTS

- レーザーを用いたドライプロセス化技術 その  
～ 21世紀社会の環境負荷低減技術～
- 海外出張報告
- ヨーロッパのフェムト秒加工事情 - その2 -
- 『光と陰』文部省変じて文科省
- ILT2002 平成13年度研究成果報告会  
～ 大阪・東京の2会場で開催～



【表紙図】位相マスクを用いた  
パターン一括加工技術

## レーザーを用いたドライプロセス化技術 その ～ 21世紀社会の環境負荷低減技術～

レーザー環境応用計測チーム チームリーダー 藤田雅之

### NEDO即効型地域新生コンソーシアムを実施

NEDOからの委託業務として即効型地域新生コンソーシアム研究開発、「IT用微細部品加工におけるドライプロセス化技術開発」を実施した。(概要は4月号に掲載)

本研究開発の目的は、従来、化学薬品を用いたエッチング工程により処理されてきた金属・透明導電膜 (ITO膜) 等の微細加工をレーザーを用いてドライプロセス化し、省エネ・生産性向上・環境負荷低減を同時に実現することである。この目的を達成するために、2つのテーマについて研究開発を進めた。一つはレジスト剥離技術開発、もう一つはパターン一括加工技術開発である。レジスト剥離技術開発に関しては、4月号で紹介した。今回はパターン一括加工について紹介する。本研究開発は、「位相マスクによるパターン生成技術」と「フェムト秒レーザーによる多光子吸収技術」という二つの技術シーズを組み合わせ進められた。

### 位相マスクを用いたパターン生成

レーザー核融合に於いては、燃料ペレットを爆縮する際に如何に均一にレーザーを照射し効率よく圧縮するかが大きな研究課題となっている。そのため、様々なレーザー制御技術(位相制御、強度分布制御、パルス波形制御等)が開発されてきた。その中でもレーザー強度分布制御は、核融合にとっては如何に均一な強度分布を達成するかが目的であるが、見方を変えると如何に不均一な(あるいは、任意の)強度分布を実現するかという技術に転用できる。即ち、レーザー加工に於いて要求されるパターンをレーザーの強度分布として再現することが可能となる。これは正にホログラムの原理である。(巻ではハート型や

星形のパターンを発生させるレーザーポインタが売られている。)本研究開発では、大阪大学レーザー核融合研究センターで開発された技術を産業用に転化すべく、最小線幅100 $\mu$ mの回路パターンを模擬したレーザー光強度分布をサンプルとして、レーザー光で再現する位相マスクの設計・評価等を行った。

### 位相マスクとは?



【図1】位相マスクの原理

レーザー光は波(位相)が揃った電磁波である。波がずれた光の束を集光すると、集光点では干渉により強度分布が発生する。

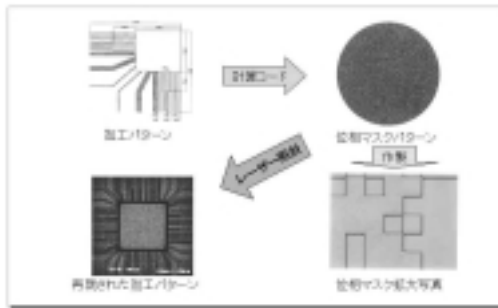
位相マスクは図1に示すような表面に凸凹を設けた板である。光は物質中では伝搬速度が変わるため、厚みの異なる板を通過した光は電磁波としての波のタイミングがずれる。ずれた波を集光レンズ等を用いて重ね合わせれば干渉が起きて強度分布が変化。この過程は全て計算で求めることができ、所望の強度分布に対する位相マスクの凸凹パターンを決定することが出来る。計算自体は大学院の演習問題レベルであり、人材豊富な大企業は社内で設計を行っているようであるが、光制御技術を産業界に浸透させるためには産業の基盤を支える中小企業でも使える簡便な設計コードが必要となる。

次ページへつづく▶



## レーザーを用いたドライプロセス化技術 その

### 産学連携により産業用位相マスク設計コードを開発



【図2】位相マスクによるレーザーパターン制御

位相マスクの設計においては、T社と大阪大学が協力し計算コードの開発を行った。T社はフォトリソグラフィにより微細加工を行っているが、顧客から

CAD (Computer Aided Design) 形式で送られてきたデータを基にマスクパターンを作製している。このノウハウと大阪大学の計算コードを組み合わせ、CAD入出力の位相マスク設計コードを完成させた。これにより、顧客から加工したいパターンをCADデータで受け取ると(図2左上)、CADデータでマスクパターンが出力され(図2右上)、即座にマスク製作工程へ進む(図2右下)ことが出来るようになった。また、プログラムもパソコン上で対話形式によりパラメーターの設定が行えるため、コンピュータの知識が無くとも使えるようになっている。

### 安価な位相マスクを

ホログラムを用いたパターン加工は国内M社などで既にエキシマレーザーを用いて行われていたが、普及には至っていないようである。本技術の実用上の最大の欠点は、位相マスクの製造コストである。よりコントラストの高い位相マスクを製造しようとする、位相差の段数を増やし且つ凸凹の段差精度への要求が±1%となり、イオンビームエッチングなどの製造技術を用いざるを得ず製造コストが高額となる。大量生産体制に於いては、高価な位相マスクでも製品一個当たりのコストが分散されるため問題は低減されるが、少量多品種時代にはそぐわない。そこで、本研究開発ではスパッタリング法を用いて短時間に位相マスクを製造する手法を試みた。成膜速度が速くコストが安いという反面、膜厚の制御が難しくなる。コンソーシアムメンバーであるP社との協力でSi基板をターゲット材として酸素雰囲気中で石英基板状にSiO<sub>2</sub>の成膜を行った。試行錯誤の末、成膜精度±5%を達成し実験へ導入した。また、マスクの製造コストは従来の1/5以下に低減できた。(ただし、今回のマスクは2段マスクとした。)

### フェムト秒レーザーを用いた透明導電膜加工

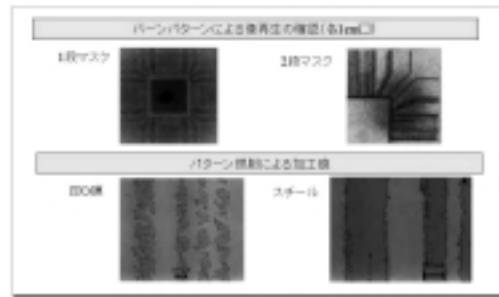
ITO膜に代表される透明導電膜は液晶パネルや銀行ATMのタッチパネルに用いられており、今後益々需要が伸びる加工対象物である。基板にはガラス又はPET(ペットボトルの材料)が用いられており可視光に対しては透明である。現状ではエッチングで加工されているが、レーザー加工によりドライプロセス化するための研究開発を進めた。これまで紫外のエキシマレーザーを用いて加工されている例はあるが、見た目が透明であるため、可視のレーザー光は透過してしまい加工できない。ところが、フェムト秒レーザーを照射すると、基板に損傷を与えることなく表面のITO膜が除去できることが分かった。フェムト秒レーザーはパルス強度が高いため多光子吸収によりアブレーション(蒸散剥離)が起きたと考えられる。当然、ガラス基板でも多光子吸収は起こりうるが、ITO膜と基板の物性の差を利用することで加工が可能となる。

### レーザー照射の裏ワザ

重なり合った透明材料の片方だけが加工できるとなると、

レーザーを表からでも裏からでも照射することができる。裏から照射できるメリットは、加工により発生した蒸散物がレンズ等の光学系へ付着することを防ぐことが出来る点である。特に、フェムト秒多光子吸収でのアブレーションは蒸散物のスピードが速く指向性も強いいため重要となる。条件によっては基板中で自己収束などの現象が誘起され、よりコントラストの高い加工ができる可能性がある。

### 二つの技術を組み合わせると



【図3】位相マスクを用いたフェムト秒パターン一括加工例

上記の二つの技術を組み合わせることで、フェムト秒レーザーを位相マスクに通しITO膜の裏面照射加工試験を行った。図3の上段に再生したビーム強度分布

布(パターンパターン)を示す。パターン全体の大きさは1cm×1cmである。1段マスクよりも2段マスクの方がより高いコントラストのパターンを得ることが出来た。このパターンを照射した結果を下段に示す。ITO膜をターゲットとした場合はパルスエネルギーの不足により線状の加工には至らなかったが、スチールをターゲットとした場合は、線幅100μmの加工が達成された。

### パターン一括加工の評価

予備実験に於いてはITO膜の加工閾値フルーエンスが約1J/cm<sup>2</sup>であることが確認されている(パルス幅は100フェムト秒)。多光子吸収を利用するため、スチールの加工よりも閾値が高くなる。パルスエネルギー70mJの照射に対しては、加工面積として7mm<sup>2</sup>が上限となる。従って、1cm×1cmの基板に対してITO膜の除去面積が7mm<sup>2</sup>以下であれば一括加工が可能であると見積もられる。今回のパターンの場合、除去面積が10mm<sup>2</sup>以上であるため、一部不完全な加工となった。除去面積が全体の25%のパターンへ本手法を適用した場合は、1ショット毎に5mm四方の加工が可能であると見積もられる。

同一形状のパターンが続く液晶ディスプレイなどの加工には、ビームを掃引する従来の加工法よりもパターン一括加工の方が有利であると考えられる。

### 今後の発展性

産業の空洞化が進む我が国においては、大量生産から少量多品種生産への移行が課題となっている。様々な加工パターンを安価で迅速に制御できる製造技術の開発が不可欠である。光にはその可能性が秘められている。位相制御も今回のような固定式ではなく、液晶を用いた位相マスクが開発されつつある。反復使用が可能な光書き込み型や電圧制御型などレーザー核融合開発の過程で得られた知見を基に産業用位相マスクの開発を進めている。今後も我が国の産業を支える中小の製造業を支援するために産学連携を積極的に進めていきたい。

最後に、本研究の助成をいただいたNEDO、及び本プロジェクト研究のメンバーとしてご協力いただいた各社に感謝の意を表し、特に大阪大学レーザー核融合研究センターの宮永教授、椿本助手に感謝する。



海外出張報告

# ヨーロッパのフェムト秒加工事情 - その2 -

レーザー環境応用計測チーム チームリーダー 藤田雅之

2月3日～14日にかけて欧州に出張しフェムト秒加工の現状に関して調査を行った。主にドイツ・オーストリア・イギリスを中心に研究所・大学を訪問した。今回は第二弾としてオーストリア・イギリスの様子を報告する。  
ウィーン工科大学(オーストリア)

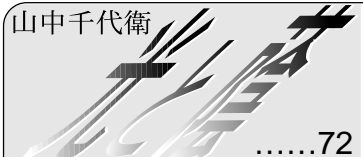
若手で元気はつらつのSpielmann助教授が案内してくれた。ここにはフォトンクス研究所と呼ばれる組織があり、教授2名・助教授4名・PD10名、PhD学生16名の陣容で、固体レーザー開発、レーザー点火、フェムト秒表面解析、等の研究を進めている。ここで開発されたサブ20fsのレーザーはベンチャー企業であるFemtoLasers社から販売されている。両者は密接な関係を有しており、大学内でFemtoLasers社はレーザーを組み立て・調整している。このフェムト秒レーザーの特徴は、(1)ストレッチャー・コンプレッサーに回折格子を用いず、全てプリズムで構成している、(2)レーザー増幅媒質は密閉された容器内で-27℃まで冷却されている、(3)安定にサブ20fsパルスを発生している、点である。また、このような技術を発展させて位相安定化レーザー開発も行っており、こちらも商品化は近いと見受けられた。応用研究としては、やはりここでも13nm X線発生を研究している。説明ではマスク検査用のX線顕微鏡用光源と言っていたが、EUVの基礎研究と見られる。その他、アト秒発生や微細加工、THz発生の研究も行っている。THz発生ではウィーン大学と工科大学内の5つの研究所が協力して12の研究プロジェクトを走らせている。全体のプロジェクト名は、ADLIS、3年間で数Mユーロのサポートを得てお

り、成果次第では最長10年まで延長する予定とのことである。訪問時には新しいラボの整備に着手していた。地下のスペースにクリーンルームを設け、大型・長尺の光学定盤を設置し、レーザー開発と応用研究を同時並行で行えるように設計してある。今後の展開が期待される。

ちなみに、ウィーン工科大学は地元ではTU(テュー)と呼ばれている。

フェムトレザー社(オーストリア)

フェムトレザー社は1994年に設立された大学発のベンチャー企業である。社長のStingl氏はもともと工科大学で10fsのチタンサファイアレーザーを開発した。装置販売に対する要望が多々ありベンチャー設立に踏み切ったとのことである。当初は工科大学に籍をおきながらレーザー開発を行い1995年に最初の製品を出荷した。コンセプトは「シンプルなデザイン」であり、発振器内には分散補償のプリズムに代表される光学素子が全くなく、移動ステージも用いていない。(分散補償はチャープミラーの組み合わせで行っている。)光学素子は東欧のメーカーに発注し、製品検査の後、装置に組み込んでいる。チャープミラーの特性は結構バラつくようであるが、コンピューターで組み合わせを最適化することで全品利用を可能としている。Optical Coherent Tomographyを当面の応用分野とみている。右肩上がりの成長らしく、新社屋への移転を進めている。そこでは、9つの発振器を同時に組み立てられるようにクリーンブースを設置するとのことであった。社員のほとんどは工科大学の卒業生である。日本は最高の顧客



山中千代衛

## 文部省変じて文科省

.....72

明治以来教育と文化と科学行政を担当してきたどちらかと言えば古色蒼然とした文部省が橋本行革の一環として総理府の科学技術庁と合併し、新しく文部科学省として発足した。振り返ってみれば、昭和から平成にかけて日本の文部行政は迷走したと言っても過言でない。戦前は軍国教育に専念し、戦後はその揺り返しとしてアメリカの言うままに脱国教育に走ってしまった。そこには時代を超えた教育の基本原則としての厳しさが無い。現在日本人の精神的荒廃はまさにこの時期における心の教育の欠如に帰せられよう。勝海舟は時代が親だと喝破しているがこれはあげて時代に迎合した政府と国民の責任である。

さてまたまた、文科省は合点の行かぬゆとり教育と言う迷案を実施し始めた。初等教育の基準をさげて、益々国民の知的能力の低下を導入しようとしている。これからは国民の英知と文化と科学力と精神力が国の将来を決定すると言うのに何たる施策であろう。

子供を甘やかしたり、放任したりしていると、50年後の日本は無いと思わねばならない。かつての文部省は文系出身の事務官のみで形成され、世評によれば奥御殿女中の集団と言われたこともあった。今は理工系出身の技官が40%を占めたのだから、この際、気分を一新して大学の大改革とともに文科省の解体的出直しを計ったら如何なものだろう。国の将来はすべて未来のおとな、即ち今の子供の仕上がりにかかっている。

【(財)レーザー技術総合研究所 研究所長】

のようである。

エキシテック社(英)

エキシテック社は1984年に設立されたレーザー加工機メーカーである。スタッフは67名で年間予算は14M\$である。そのうち20%をR&Dに投資している。90%の収入が機器の販売によるものであり、その他はプロジェクト参画や受託研究からの収入でまかなっている。2001年には20台の加工機を販売、2005年には90台の販売を期待している。社名から分かるように、もともとはエキシマレーザー加工機のメーカーである。従って、フォトリソ用のマイクロステッパー(リソ部分がICの価格の40%を占める)が主要な製品である。すでに、1998年には193nmリソ装置の開発は終了済みで、157nm装置は2003年を目標に開発中、1999年には157nm一号機を完成させている。2005年を目標に13nmリソ用光源を開発する予定とのことである(13nm開発は2001年に開始している)。光源としては、放電プラズマ-フォーカスを採用し1kHzで20Wの出力を目指している。XeのXIラインを利用する。システムとして50nmの分解能、180nmのDOFを目標としている。

様々な実用例が紹介された。微細な穴加工では、冷却用、ファイバー位置決め用、インジェクションノズル、ICテストプローブなど、現状では100 $\mu$ m径の穴を1分間に500個、1000穴当たりのコストは\$24である。インジェクションプリンターノズルに至っては35 $\mu$ mの穴を開け、1ヘッド当たり0.5秒で加工を済ませている。薄膜の加工ではディスプレイのITO膜加工が例として紹介され、42インチのPDPを1枚当たり1分で加工、そのコストは150円が目標とのことであった。

フェムト秒加工機はヨーロッパのプロジェクトに参加し、LZH(ハノーバー)、TAHLES(レーザーメーカー)と協力して開発を進めている。医療用ステントの加工を目指している。



【写真】ロンドンブリッジを背景に

エキシテック社も設立当初はベンチャー企業であったと言える。研究開発スタッフの主なメンバーはラザフォード国立研究所からのスピンアウトである。従って、今でも技術開発に関しては密接な関係を保っており、双方のレーザーの専門家・レーザープラズマの専門家が協力して加工機を開発しているように見受けられた。

レーザー利用の体制作りと大学・研究所ベンチャーの動き

今回の海外調査で強く感じたことは、ドイツにおけるレーザー利用技術普及の体制作りと大学・研究所ベンチャーの着実な動きである。今回は訪問しなかったが、ドイツでは大小様々なレーザーメーカー・光学部品メーカーが活躍している。それを可能とするのは政府により後押しされたレーザー利用技術の普及であり、実際に中小企業にレーザー利用が浸透している。その需要がまた新たなレーザーベンチャーメーカーの発展を促進しているのである。まさに、「塵が積もって山となった」市場がレーザー技術開発を支えている。我が国の中小企業にとって「レーザー」は敷居が高いのか。(値段が高いということは良く耳にするが。)普及すれば値段が安くなり、安くなればさらに普及し、レーザー開発ベンチャーも立ち上がりやすくなる。このようなサイクルのキッカケを作るにはどうすればよいか、レーザーに係わる関係者全員の課題とも言える。国プロがそのようなキッカケになった試しがないのは残念である。ナノテクにしる、ITにしる、レーザー技術は、高付加価値製品をもって世界市場で生き残るためには不可欠なのである。

微力ながら当財団はホームページでの技術相談(<http://www.ilt.or.jp/soudan.html>)等を通じて、きっかけ作りに日夜努力していることを申し添えて報告を終わりたい。

## ILT2002 平成13年度研究成果報告会

～大阪・東京の2会場で開催～

### 【東京会場】

とき 7月5日(金)13:30~  
ところ 航空会館701会議室(東京都港区新橋1丁目18番1号)  
プログラム  
13:30~ 所長挨拶 山中千代衛  
13:40~ 最近の固体レーザー開発とその周辺の話 中塚正大  
14:10~ 高輝度線発生と核変換への応用 今崎一夫  
14:40~ 宇宙開発に向けたレーザー推進技術 内田成明  
15:10~ 休憩  
15:25~ フェムト秒レーザーが拓く微細加工技術 藤田雅之  
15:55~ 非平衡プラズマによるディーゼルエンジン排気処理技術 島田義則  
16:25~ レーザーによるバイオメカニズムの解明 谷口誠治

### 【大阪会場】

とき 7月9日(火)10:00~  
ところ 大阪大学コンベンションセンター  
プログラム  
10:00~ 所長挨拶 山中千代衛  
10:10~ 特別講演「最先端レーザーが拓く微細プロセス技術」 藤田雅之

11:20~ レーザーを用いた最近の産業応用と当研究所の成果概要 井澤靖和  
11:50~ 昼食休憩  
13:00~ レーザーピーニングによる表面改質 今崎一夫  
13:30~ 非平衡プラズマによるディーゼルエンジン排気処理技術 島田義則  
14:00~ フェムト秒レーザーアブレーションによるナノ構造形成 橋田昌樹  
14:30~ レーザーによるダイオキシン類の微量検出 中島信昭  
15:00~ ポスター発表  
15:30~ 見学会&技術相談  
見学Aコース レーザー微細プロセス実験、レーザー放電誘導実験  
見学Bコース レーザー核融合研究施設(大阪大学レーザー核融合研究センター)  
定員 東京会場70名、大阪会場80名(定員締め切り)  
参加費 無料  
参加申し込み 所属・氏名・連絡先を下記までお知らせください。

### 問い合わせ、申し込み先

(財)レーザー技術総合研究所 総務部(担当:高村)  
E-mail: jimukyoku@ilt.or.jp FAX: (06)6443-6313