

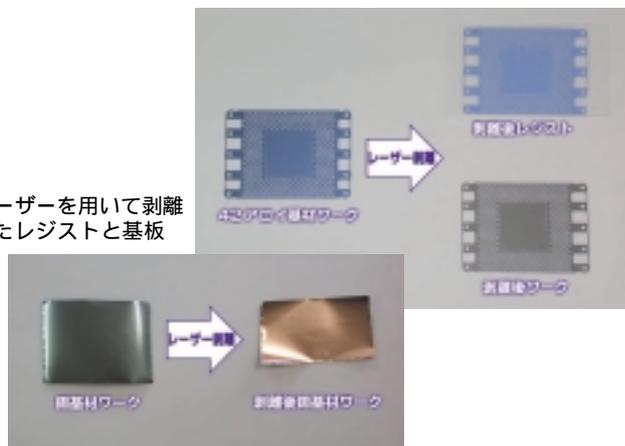
2002, Apr.

No. 169

## 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 -
- 『光と陰』レーザー核融合研究に期待する  
第29回先端技術講演会
- 「有機半導体は21世紀を拓く」

【写真】レーザーを用いて剥離  
したレジストと基板



## 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。コンソーシアムメンバーは、レーザー技術総合研究所、大阪大学レーザー核融合研究センター、東洋精密工業(株)、(株)ピースパッタ、オーケーディー(株)の5者からなり、総括研究代表者として当財団の藤田雅之、副総括研究代表者として東洋精密工業(株)の吉門章氏がその任にあたった。当財団は管理法人、且つ研究実施機関としてプロジェクト研究全体の統括・技術開発を行った。単なる事務的な管理法人ではなく、実際に研究に携わり研究内容が分かる管理法人として、その役割が期待された。

### 環境コストの増大をレーザーで抑える

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。これまで、薄板金属等の微細加工はコストの面から化学エッチングにより処理されてきたが、環境問題が社会的に重要となるにつれ排出規制や廃液処理コストの増大が企業の生産性・収益性を悪化させ

てきた。また、一部のハイテク製品では耐久性の高い特殊合金が使用されているが、このような素材のエッチングには浸食性の高いフッ酸が用いられており、労働環境の整備もコスト要因として無視できないものであった。レーザーは非接触でエネルギーを微小空間に集中でき、基本的に加工する素材を選ばず、排出物が皆無に等しいため、これらの問題を解決する有望なツールとなりえるのである。

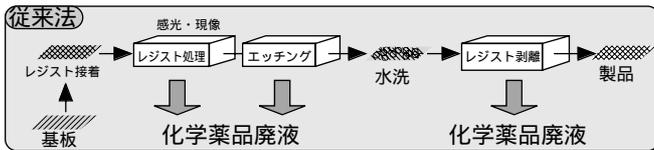
### エッチング工程へレーザー技術を導入

上記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。図1に従来のエッチング工程の概要を示す。各工程で化学薬品が使われ、処理後は廃棄物として処分される。このような工程のゼロエミッション化は社会的な要請でもある。

当面の目標は最終工程であるレジスト剥離のドライプロセス化である。将来的にはパターン一括加工技術を実用化することにより全工程をドライプロセス化できる。本号では、今回の研究開発により実用段階まで至ったレジスト剥離技術について紹介する。パターン一括加工については次号で紹介する予定である。

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



【図1】従来のエッチングによる金属微細加工プロセス

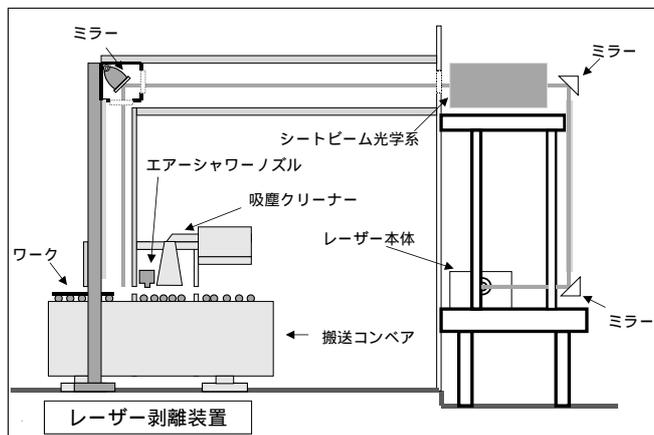
レーザーを当てるとレジストが浮いた！

(吹き飛ばすつもりだったのに・・・)

これまで当研究所は東洋精密工業から研修生2名を受け入れ共同研究を進めていた。レーザー照射によってレジストが剥離する現象は、その共同実験中に偶然に見つかったのである。ハイパワーレーザーを扱う我々としては、当初はレーザーを絞り込みレジストを蒸発させて除去する実験を行っていた。ところが、フォーカス点から離れたところに偶然ターゲットを置いたところ、レジストが基板から浮かび上がったのである。おそらく、レーザー研究者が実験をしている限りに於いては見逃していた現象であるが、現場のニーズを念頭に実験をする者にとってはピンッと閃くものがあったのである。ターゲットを走査して基板全体にレーザーをあてると、おもしろいようにレジストが基板から浮いてきた。残った基板を検査すると何ら損傷が起きていない。点集光から線集光に変えて照射すると、これまたもの見事にレジストが剥離できたのである。この時点で我々の脳裏には一年後の実用化の青写真が浮かび上がっていた。

### レーザーを用いたレジスト剥離システム

従来は、エッチングの最終工程に於いて化学薬品の中に基板を通しレジストを融解していた。そこでは、10m近い槽の中を時間をかけて処理していき、最後に水洗が行われる(この洗浄後の水も廃棄物である)。工場内の設置面積も大きく、全工程の生産速度がこのレジスト除去により制限されてきた。レーザーを用いたレジスト剥離技術はその様を一変させる。図2に今回開発したレジスト剥離装置の概要を示す(吸塵クリーナー



【図2】レジスト剥離システム

は未設置) 幅2mm×長さ30cmのシート状のビームをつくり、搬送されてくる基板に照射する。実験では、剥離速度として10mm/秒を達成した。特筆すべきは、この装置はこぎれいな実験室に置かれているのではないことである。東洋精密工業の工場内に設置され、現場で試験を行った結果である。

3つのEのトリレンマを打破！

3つのEとは、Economy(経済性)、Energy(省エネ)、Environment(環境)を表す。ジレンマは「あちらを立てれば、こちらが立たず」といった二律背反を意味するが、トリレンマは相反する条件が3つもあるのである。表1にレジスト剥離の従来技術とレーザー法との比較を示す。前述のように、工場内での設置面積は1/6になる(土地代の高い我が国では重要ファクター)。装置価格はほぼ同等と考えて良い。電力は1/7に低減。これは、化学処理の場合は薬品を循環させるポンプやヒーターの電力が思いの外かかるからである。レーザーの電気-光変換効率は低いと言われているが、使い方によっては十分ペイすることが分かる。ランニングコストの使用水量も循環型のチラーを使えばレーザーの場合はゼロにすることができる。処理費用を見込んだ使用薬品代はレーザーのランプ交換代の5倍にもものぼる。経済性の向上、環境負荷低減、省エネを同時に達成した。正に3つのEのトリレンマを打破する技術である！

フォトンコストの高いレーザー加工は高付加価値製品にしか適用できないというのが従来の常識であったが、レジスト剥離技術は加工の(物質を蒸発させる)エネルギーを必要としないため、今回の成果に結びついたのである。

### 環境負荷低減技術の重要性

エッチング全工程のドライプロセス化には長い道のりを必要とするが、環境問題には積極的に取り組むべきである。地球温暖化ばかりが環境問題ではない。生産現場のゼロエミッション化が今後益々進んでいくことは自明である。グローバルな競争の下では、3つのEのトリレンマの解決は困難な課題であるが、環境への負荷を低減する生産技術開発は社会的にも重要度が増している。

### 環境に優しいレーザー

当面は、レーザー剥離技術等による部分的なドライプロセス化を進めていく予定である。次のステップとしては、レーザーアシスト法による化学薬品使用量の低減化、工程の簡素化等、徐々に環境負荷低減技術の実用化を進めることになる。レーザー技術への理解と普及が相まってゼロエミッション化が進展していくことが期待される。意外とレーザーは環境に優しいのである。

### 技術者のプレイグラウンド

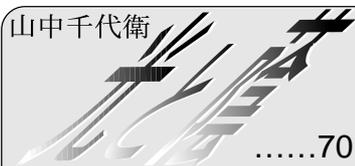
製造業の空洞化が進む我が国においては、絶え間ない生産技術開発は不可欠である。新しい生産技術は、やはり現場のニーズと最先端のシーズが一致したときにブレークスルーが生まれる。今回のプロジェクトでは、そのことを痛感した。即ち、現場のニーズを熟知した人が既成観念にとらわれずにレーザー

で「遊ぶ」ことの重要性を改めて認識した次第である。幼い頃、我々は無邪気に広場で遊び、日々何かを学び、発見していたことを思い出す。産学連携の橋渡しを使命とする当財団としては、現場技術者のプレイグラウンドとしての役割を担っていききたいものである。この文章を読まれている間にも東洋精密工業では、吉門部長がレーザーで遊んでいるはずである。また新たな生産技術が芽生えようとしている。

	使用床面積	装置価格 (一式)	ランニングコスト			
			電力	使用水量	使用薬品代	ランプ交換代
従来型剥離装置	48m <sup>2</sup>	4500万円	35kW	1.5t/hr	50万円/月	—
レーザー剥離装置	8m <sup>2</sup>	3500万円	5kW	0.23t/hr	—	10万円/月
比較	1/6	7/9	1/7	1/7		

【表1】レーザーを用いたレジスト剥離技術と既存技術の比較

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、また、東洋精密工業の若手技術者である弓場、吉田両氏の努力に感謝する次第である。



## レーザー核融合研究に期待する

去る3月18日阪大レーザー核融合研究センター恒例の参与会が催され、レーザー核融合の最近の進歩について、センターの評価が行われた。当日の参加者は飯吉厚夫、須清修造、小平桂一、近藤駿介、宅間宏、立花隆、中井貞雄、井元拓、西川恭治、増本健、森詳介と筆者である。浅井 清、尾形仁士、末松安晴、鳥井弘之、昼馬輝夫、藤原正巳の方々には欠席であった。出席された皆さんには本務多忙にもかかわらず前後5時間にわたりきわめて熱心に討議頂いた。

エドワード テラーが認めたように大阪大学のレーザー爆縮による1000倍の重水素圧縮は国際的に日本の評価を確立することになりUnparalleled Reputationと賞賛されている。他方、これは欧米諸国をしてレーザー核融合の将来に確信を持たせることになり、2010年にむけて米国はNational Ignition Facilityという国家プロジェクトをスタートさせた。フランスも同様にMJシステムの建設をはじめ、お隣の中国も成都のちかくの綿陽に<神光>という大計画をもっている。ひるがえってわが国では昨今、科学技術はもっぱらベンチャー志向で21世紀にふさわしいエネルギー問題など基幹的重要課題に目をつぶる傾向があり、世界をリードしているレーザー核融合などにはなかなか研究資金がまわらないという国際的にも不可思議な現象がおきている。

阪大レーザー研ではなげなしの予算で、よりコンパクトなベタワットレーザーを建設して高速点火核融合に取り組み、これでも世界に先駆けて新加熱方式に成功し、その成果はNatureに掲載され、国際的に高い評価を得ている。このような状況を参与の皆さんは十二分に理解され、文科省でなぜ取り上げないのかとの議論になった。参与会の結論は世界でトップにいる阪大レーザー研をNational Centerにすることが第一だとされた。独立行政法人の構想の進むなか是非レーザー核融合の中核研の成立を望みたいものだ。レーザーパワーの応用はそれこそ尾身大臣の好きな重点4分野に(IT、環境、バイオ、ナノテク)もおおきな力を発揮できるのである。

参与会の第二の指摘は、レーザー核融合は自己主張が不足しており、もっと強力で研究推進のためネットワークを構築し、世間を味方にする作戦が望まれるとのことであった。このためには魅力、実力、迫力が必要であろう。最後に付け加えられた助言はOBが現役と相協力することの重要性であった。そういえば筆者の時代伏見先生をはじめ先輩方は本当に強力であられた。

蛇足だが米国が忌避したITERは不良債権ではないかという声もあった。

【(財)レーザー技術総合研究所 研究所長】

第29回先端技術講演会

# 「有機半導体は21世紀を拓く」

レーザーバイオ科学研究チーム 谷口誠治

## 【はじめに】

平成14年1月29日、大阪千里ライフサイエンスセンターにて、大阪大学大学院工学研究科の横山正明教授を講師として招き「有機半導体は21世紀を拓く」と題して第29回先端技術講演会を開催した。有機材料を用いたデバイスは製造工程が簡便であり低価格化が可能なこと、大容量通信化やディスプレイ、有機固体レーザーなどへ様々な応用が可能であるなどの特徴を持つことから、この分野の研究・開発はここ数年急激な進展を見ている。当日の講演では、前半部において有機半導体の研究・応用の経緯とその最先端、最近の話題について総括していただき、後半部では、横山教授らが中心となって進められている、有機半導体の光電流増倍現象の研究とその応用について詳しく御講義いただいた。

## 【有機半導体研究の最先端】

### ・プラスチックトランジスタ

有機半導体による電解効果型トランジスタ(FET)は1986年に電界重合ポリチオフェンを用いた報告が初めてなされているが、1990年代中頃から、柔軟性、簡単な作成プロセスといった特性から有機FETの開発とその集積化の研究が行われている。これまでに銅フタロシアニンとチオフェンオリゴマーの2種の低有機分子を用いたトランジスタの846個の集積化が報告されている。

### ・有機結晶における超電導状態の実現

C60やアントラセン、ペンタセンなどのアセン類の有機分子単結晶を半導体とするFETを用い、ゲート電圧により高濃度に電子を注入すると低温状態において抵抗が消え、超電導状態が発生する。その表面キャリアの濃度は $10^{14}\text{cm}^{-2}$ に達し、超電導状態においては表面一層の分子が全てイオン化しているものと考

えられる。

### ・有機固体レーザー

高純度のテトラセン単結晶薄膜を用いるとレーザー発振が可能となる。レーザー発振のためのキーポイントはFET型の構造を持たせることにあり、これにより非常に高濃度の電子・ホールを注入を達成している。現在は8Kでの発振であるが、共振器の導入等により常温での発振が可能になるものと考えられている。

## 【光電流増倍現象の発見とオプトエレクトロデバイスへの展開】

### ・光電流増倍現象の発見とその機構

横山教授の研究グループでは、有機光導電性材料として赤色のペリレン顔料(Me-PTC)薄膜を用いた光電流増倍素子を作成し、その電流量子効率が20Vの印加電圧で約10万に達する(1光子で10万個の電子が素子を流れる)という非常に高い効率の光電流増倍現象を発見した。一連の研究から、この現象の機構はマイナスにバイアスされた金属/有機界面上で起こる光誘起トンネル注入(光によって生成したホールの一部がトラップされて界面近くに蓄積され、金属/有機界面に大きな電界が集中して最終的に電極から電子が大量にトンネル注入されて増倍現象が起こる)によるものであることが明らかとなってきた。

### ・オプトエレクトロデバイスへの展開

光電流増倍現象により観測される増倍光電流は有機ELを駆動させるのに十分なものであることから、これら二つの有機材料を積層一体化(光電子変換素子と電子光変換素子の組み合わせ)することにより光-光変換、光増幅、スイッチング素子など新しい形の応用展開が可能となる。また、光電流増倍現象は有機/金属界面だけでなく、異なった種類の有機材料の界面(有機/有機ヘテロ接合界面)においても起こる。Me?PTCとフタロシアニン顔料(CuPc)の二つの有機材料を組み合わせる事により、赤色光によるフタロシアニン励起のEL発光部にMe-PTCを選択励起する青色光を照射すると、照射部分のみで光増倍電流が抑制され、その結果EL出力が抑制される。この現象を2つの光による演算と捉えれば、光による演算デバイスとしての応用が可能となる。

掲載記事の内容に関するお問い合わせは、編集者代表 藤田雅之 (TEL&FAX:(06)6879-8732, E-mail:mfujita@ile.osaka-u.ac.jp) までお願いいたします。

当研究所のWebページ <http://www.ilt.or.jp> もぜひご覧下さい。



Laser Cross No.169 2002 Apr.