

## CONTENTS

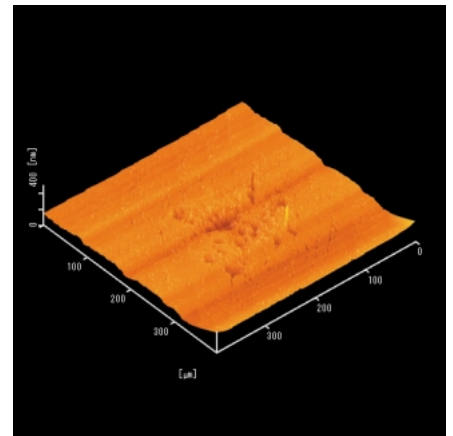
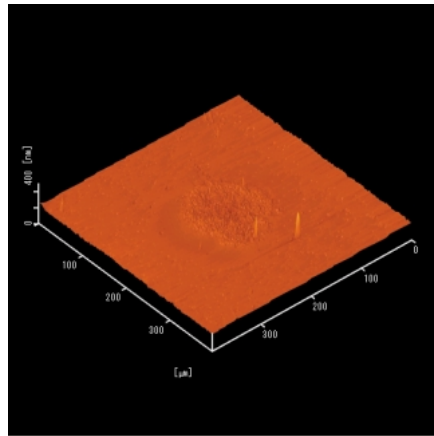
## ■高耐力光学薄膜の開発

～イオンアシスト法による高密度・高耐力化へ～  
ベルギーで開かれた新型核エネルギーシステムの国際会議  
ICENES出張報告

## ■『光と蔭』光産業創成大学院大学開学を祝う

## ■デジタル機器生産に活躍するレーザー加工

【表紙図】五酸化タンタル単層膜にレーザー光を照射したときの損傷の様子を原子間力顕微鏡で測定した像  
(左：図a、右：図b)



## 高耐力光学薄膜の開発

### ～イオンアシスト法による高密度・高耐力化へ～

レーザービーム伝送研究チーム 本越伸二

## ■光学部品の耐光性向上要求

レーザーの発明以来、光学技術は目覚ましく進歩し、特に、レーザー光の出力の増加に伴い、高耐力化(耐光性)へのさまざまな技術開発が進められている。しかしながら、光による光学部品の損傷メカニズムについては、いまだ十分に理解されていないのが現状である。レーザー光への期待が、さらに広がっている現在においては、使用する光学部品についても、さらなる理解と性能向上が要求されている。

現在、国内において、EUV(極短紫外)光源の開発研究が進められている。レーザープラズマを用いた高効率のEUV光を発生させるためには、高ピーク、高繰り返しレーザーの開発が要求されている。そこに使用する光学部品は、高いピーク強度に曝されるとともに、高繰り返し照射による熱負荷を与えられる。

## ■損傷耐力を兼ね備えた薄膜の開発

レーザー用誘電体多層膜における熱の影響は、(1)屈折率変化による光学特性の変化、(2)線膨張による応力、が考えられる。多層膜材料は、微少吸収材料を選択して用いるため、発熱

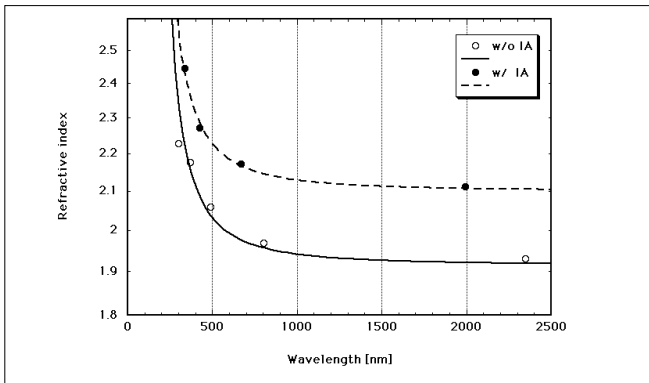
量そのものは無視できたが、薄膜の熱伝導率は固体材料の2～4桁低い。これは、薄膜材料の構造と密度、そして多数の境界面に起因している。そのため、高繰り返しレーザーにおいては蓄積され影響を及ぼすものと考えられる。その熱特性を改善するために、イオンアシスト(IA)法による高密度化と、高いレーザー損傷耐力を兼ね備えた薄膜開発を進めている。

## ■レーザー光照射で損傷の要因を研究

表紙の図は、五酸化タンタル( $Ta_2O_5$ )単層膜にレーザー光(波長1064nm、パルス幅10ns)を照射したときの損傷の様子を原子間力顕微鏡で測定した像である。図aは通常の真空蒸着、図bはイオンビームアシストしたものである。レーザー照射密度はどちらも約 $16J/cm^2$ である。図aでは、照射ビームプロファイルの尖頭値の部分全体が荒れていることが分かる。一方、図bでは、局所的な損傷が存在している。この結果より、イオンアシストにより膜構造そのものが変化したこと、局所的な損傷の原因が含まれることが示唆された。この膜の損傷閾値は、イオンアシストなしで $13J/cm^2$ 、イオンアシストありで $9.5J/cm^2$

次ページへつづく▶

## 高耐力光学薄膜の開発 ～イオンアシスト法による高密度・高耐力化へ～



【図2】波長に対するTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>膜の屈折率

となり、約73%下がった。この局所的な損傷の要因が低下の原因と予測できる。

### ■分光透過特性より屈折率を測定し比較検討

高密度化について、分光透過特性より屈折率を測定し、違いを比較した。図2に、波長に対するTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>膜の屈折率を示す。

白丸は通常の真空蒸着、黒丸はイオンビームアシストによるものである。また各々の線は、Sellmeier方程式により描いた近似曲線である。可視から近赤外域にわたり、約10%屈折率が高くなった。また、分光特性より、膜全体の吸収には大きな差はないことが確認されているので、屈折率の向上はそのまま密度の向上と置き換えて理解することができる。

### ■今後とも高耐力光学薄膜の開発に注力

2005年9月に第37回レーザーダメージ会議が米国ボルダーで開催された。米国やフランス等大型レーザーを建設しているグループの報告は、光学部品内の不純物をいかに抑えるか、であったが、中国やウクライナなどからは、イオンビームを用いたコーティングにおける高耐力化への報告がされた。これまで、イオンビームを用いると耐力が低くなると、高出力レーザー用では敬遠されていたが、その理解も大きく変わりつつある。今後、熱伝導率の評価や、高繰り返しレーザーによる照射試験を行い、高耐力光学薄膜の開発を進めていく。

## REPORT

## ベルギーで開かれた新型核エネルギーシステムの国際会議 ICENES出張報告

レーザーエネルギー研究チーム 今崎一夫

### ■各国研究者による原子炉に関する発表

さてこの参加会議の正式名称は12th International Conference on Emerging Nuclear Energy Systemsであり、ベルギーの原研にあたるSCK・CENという組織が主催している。主な発表は次のとおり。

#### ・ Opening and Key Note Address

Rubbiaが、Opening and Key Note Addressとして話した。彼は欧州における陽子ビーム加速器駆動原子炉システム研究推進の中心的存在である。彼の話は、人類・文明はエネルギー問題の解決なしでは崩壊する、人口爆発/気候変動はシリアスな問題である。このためには太陽エネルギーの利用と核エネルギーの開発が必須であるという観点で話を展開した。太陽エネルギーで水素ができれば理想的だが太陽エネルギーは密度が低いのでこれを集約する技術開発が必要でそれが十分でない。一方核エネルギーは、分裂エネルギーについてはTh252を使ったサイクルを確立すべき。MA(マイナーアクチノイド)の生成が低く抑えられる。それとITERに関する発表があった。ITER-DEMO-Commercial-power-reactorで100年計画、ICFにも少しだけ言及された。

#### ・ J.M.Noterdaemeが招待講演

続いて、J. M. Noterdaeme、Controlled Fusion, From Basic Plasma Physics to Nuclear Engineeringが招待講演であった。



### ■Solvay Physics Councilが開催されたホテル

標記会議に出席した。出張先はベルギー・ブラッセルで、出張期間は8/20～29であった。参加者は120名程度でヨーロッパ各国、アメリカ、日本、中国、インド、トルコなど14カ国から参加があった。

ベルギーは小国でのどかな国だと思っていたが活気にあふれた工業国であった。確かに個人のGNPは世界最高クラスであり、ヨーロッパの中心に位置している条件をよく活かしていると思った。会場のMetropoleホテルは極めて古いホテル、Solvay Physics Council (1911)はこのホテルで開催されたそうである。そのときの出席者はアインシュタイン、ドブロイ、ランジバン、プランク、ローレンツ、ポアンカレ、ゾンマーフェルト、ラザフォード、キューリー、プリリアンなどで当時の量子力学の成りに携わった人たちがほとんど集まっている(写真参照)。この会議は量子力学の成りに重要な役割を果たし、テキストにはしばしば出てくるので有名。ホテルも案内に載せており、とても誇りにしている。

ITERの話が中心であった。プラズマ物理の話から始まり、プラズマの特性や閉じ込め、ミラー系とトロイダル系の説明、トロイダルにただけでは駄目で回転をかけていく。ステラレータートカマクの違いなど、手短になかなか上手に説明できていた。しかし最後にCommercial-power-reactorはトカマクとは限らないといったのが面白かった。

・新型原子炉の発表10件

原子炉の新型に関する発表が10件程度あった。溶融塩炉、高温ガス炉などが主であった。特にThを使うことで溶融塩炉の発表が4件あった。また高温ガス炉の安全性に関わった発表も多かった。Th燃料に関しては毒性や水素化合物の使用による水素生成など、かなりの問題もありそうである。

・CANDOL新原子炉3件

CANDOLという新しい原子炉に関する発表が3件あった。細長い口ウソクの形状をした燃料棒(1m径で10m長さ程度)を年間数cmの燃焼速度で燃やす。端に中性子源を置き点火する。これは高温ガス炉の燃え方とよく似ている。燃焼はソリトン波になる。この発案者はテラー、ナッコルスらである

(1996、オプニンスク)。U238を40%も燃やせるそうである。

・ハイブリッド炉5件

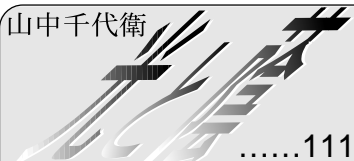
ハイブリッド炉に関する発表が5件程度あった。トカマクを用いて14MeVの中性子でU238やMAを燃やす。トカマクはITERより小型装置で可能。大変面白い研究であり、DOEが予算をつけている。実際にプリンストンがやろうと思えばできるのではないか？

14MeVの中性子は大変重要だ。核分裂は1反応で200MeV出るがこのとき中性子のエネルギーはただか1MeV程度、これを生かすため高速炉では鉛-ピスマスなどを使ってこれを循環させる大変な工夫をしている。一方この14MeVの核融合中性子をうまく核分裂に利用すればいろいろなことができる。ハイブリッド炉に関して意見は分かれるが、MA燃焼の観点から見ると大変重要である。

・ADS5件

ADSに関しては5件程度の発表があった。欧州全体で共同して研究開発を進めようとしている。例えばMAターゲットは昨年訪問したITUが制作を担当し、未臨界炉部分はSCKも参加して

山中千代衛



## 光産業創成大学院大学開学を祝う

「できないと言わずにやってみる！」というのが浜松ホトニクス社長・晝馬輝夫氏のモットーである。レーザー核融合もその言にピッタリ合ったテーマだと思う。光

産業創成大学院大学のロビーの正面にレーザー核融合のパネルが掲げられている。これは中井貞雄学長の仕業でなく、晝馬理事長の提言だという。

この10月27日浜松において本学の開学式が盛大に挙行された。式典は晝馬理事長の「こんなに早く文科省から認可が出るとは思わなかった」という例のくだけた調子の挨拶から始まった。中井学長の式辞につづき、塩谷 立文科省副大臣の祝辞、有馬朗人日本科学技術振興財団理事長の「夢と希望」という祝辞、さらに井村裕夫先端医療振興財団理事長は「大学院の時代」との祝辞を呈した。そのあと長倉三郎日本学士院長の「若い力に期待する」という講演があった。

ついで本学のユニークさを象徴する光産業創成研究科学生のプレゼンテーションが行われた。最年長の吉門章(ゼータフォトン株式会社)と最年少の岩井万裕子(株式会社ホト・アグリ)という二人の起業会社社長から研究業務の内容が紹介された。前者はILTとも関係の深いフォトレジストレーザー剥離の事業化計画であり、後者は光照射植物育成の事業化案である。中井学長の指導の下、晝馬方式による光産業創成の金字塔を建立するのが使命である。

引きつづき祝賀会にうつり、理事長の挨拶のあと文科省・泉紳一郎審議官がスピーチした。石田、結城、坂田、森口各氏とつづく元科技厅核燃料課長でわがレーザー総研の原課の課長だった。先日ILEを初めて見たそうだ。次に筆者がお祝いを申し上げた「ILEは激光・烈光・励電を開発し、米三大国立研究所LLNL、LASL、Sandia研に一歩も引けをとらず、爆縮密度1,000倍、太陽内部密度の4倍を実現した。『山中教授は核融合レースの第3コーナーを回った』とエドワード・テラーが述べたが、このデータの計測には浜松ホトニクスのストリークカメラ他の電子装置が小柴さんのノーベル賞同様に決定的に役立った。せめてものお返しに大阪大学の最高の製品である中井学長他を出荷させて頂いた」と申し上げ、聴衆の拍手喝采を頂戴した。誠に産学協同の証として感謝に耐えないところである。次に浜松医大寺尾俊彦学長の乾杯で宴は酣(たけなわ)となった。

翌日は大学キャンパスを訪れ、理事長以下全員出席の下で月2回開催される「全体会議」に参加し、北川米喜教授の小型レーザー粒子加速器の開発計画を聞いた。晝馬理事長の指導を如実に見聞きできたのは誠に幸いであった。起業のインセンティブを如何に作るかが鍵だ。

光産業創成大学院大学の成功を心より期待したい。

【(財)レーザー技術総合研究所 研究所長】

EURATOM傘下の研究所が分担して共同で研究を進めている。またスウェーデンの研究者がEURATOM傘下でベラルーシの施設を使っている例もある。これは30～50年かかるプロジェクトであり社会情勢にも強く依存するものであるので賢明な方式である。ECは機能的に働いており、今後組織として非常に強くなると考えられる。やはり国の成熟度が高いと感じた。

#### ・ILTの 線核変換

われわれの発表した 線核変換に関してはRubbiaなどが陽子核破碎の別方式としてかなり意識しているようであった。詳細な質問があり、発表時間をかなり超過してしまった。まだまだ核変換研究の先は長い。粘り強く研究を進めていくべきだと認識した。

TOPICS

## デジタル機器生産に活躍するレーザー加工

レーザーフロントテクノロジーズ(株) 取締役技師長 窪田恵一

### ■広がるレーザー加工の活躍分野

今年はいんシュタイン理論100年の年にあたり、このエポックメイキングな観点からレーザーがマスコミで取り上げられる機会が多かったと覚えている。筆者もレーザー学会誌；「レーザー研究」2005年33巻第3号で「レーザー産業のフォーメーション」と題して、いんシュタインを引き合いに出させてもらい、レーザー加工が直面している課題について述べさせていただいた。レーザー加工機器としての市場規模はまだ1,000億円を超えないが、レーザー加工の恩恵を受けている事業分野は多岐にわたり、結果として数兆円以上の現代ビジネスを支えていると考えて良いと思われる。特に現代の生活には必需品となったデジタル機器、例えばパソコン、携帯電話、デジタルカメラ、薄型ディスプレイ、HDDレコーダー等で使用される電子部品の生産にレーザー加工が活躍している。

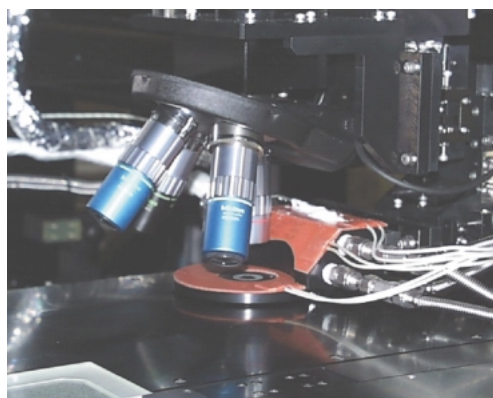
### ■レーザー加工の十分な付加価値

例えば、携帯用小型電子機器の電子回路に使用される米粒以下の回路素子はレーザートリミングでチューニングされ、バッテリーに使われる二次電池の封止にはレーザー溶接が、キートップや製造番号の印字にはレーザーマーカが、HDDのヘッド生産にはレーザーフォーミングが、CPUやメモリの生産用露光マスクの修正にはレーザーリペアが使われている。その中で注目すべき革新的技術は、1インチ1万円を切って身近になった大型液晶TVでは生産行程で発生するパネルの欠陥をレーザーで修正してゼロ欠陥にし、次のプロセス行程に流すことで画期的な歩留まり改善ができ、必須生産装置としてレーザー加工装置が使用されていることである。2m サイズのガラス基板上のTFT配線の短絡部分を $\mu\text{m}$ 精度でレーザーを用いて除去するZapping処理、配線の欠落部分をレーザーで接続するCVD処理、配向膜異常のセル修正、カラーフィルターの修正などでレーザーリペア装置(図)が活躍している。さらに最近、レーザーの高出力化、高ビーム品質化、短パルス化が進み、従来は研究内容であったレーザー加工が付加価値の高い実用レベルのレーザー加工装置として誕生し、生産を開始している。ポリシリコン用アニール装置、レーザーダイシング装置、表面改質装置などが挙げられる。これらはレーザー加工の高い

フォトンコストを払ってもレーザー加工ならではの十分な付加価値が得られる分野であり、今後の進展が期待される。

### ■レーザー加工事業のフロンティアとして

弊社レーザーフロントテクノロジーズ(株)は、1970年前後のレーザー黎明期から世界に先駆けてレーザー加工をビジネス展開したNECのレーザー資産を受け継ぎ、2004年4月1日にカーブアウトして誕生した。NEC時代には、ILE様の激光号、FIREXプロジェクトに参加させて頂いた。レーザー加工事業のフロンティアであることを自負して、今後とも先端技術の開発、実用化を進めていきたいので、今後とも厚いご支援ご鞭撻をよろしく願いたします。



【上図】液晶レーザーCVDリペア装置  
【下図】ガスカーテン方式レーザーCVD