

特集

FOCUS

次期 IT 革命のキーマテリアル、ガラスに無限の可能性

ナノガラスが拓く光の時代

4000年の歴史を持つと言われるガラスは、人類最古の人工材料としてすでに我々の生活の隅々に浸透している。しかし、構造材料としてのガラス特性は、ガラスが持つ魅力のほんの一部でしかない。ガラス材料の機能性に対し新たな注目が集まりつつある。その動きは、機能性ガラスを謳った80年代のニューガラスブームがその端緒であったとするならば、今、ナノテクノロジーとの融合によるナノガラスの登場で新しい段階に突入したと言えよう。人々の暮らしを支えるエネルギーは、太古の火から、熱に、電気へと変遷し、そして21世紀は光の時代が到来するといわれている。その光の時代を拓く鍵を、ナノガラスが握っている。

(堀井達也)

半導体が今より1000倍に高速化し1000分の1の大きさ・価格が実現するとしたら、光ディスクが今より1000倍の大容量化ができるとしたら、ガラスが思いのままの色で発光したら、プラズマディスプレイが50%薄型化できるとしたら…。これらは全て夢ではない。これらはガラスとナノテクノロジーの融合＝ナノガラスにより、近い将来実現が見込まれている技術群である。

ナノガラスとは、ガラス中にイオンや超微粒子を分散させる、超短波レーザーを照射する、超微細加工を施す、といったナノテクノロジーとの融合を通じて、原子・分子レベルの構造・機能を発現・制御を可能とした新材料である。加工しやすい、他材料との相性が良いというガラスの材料特性が十分に発揮された成果である。ナノガラスが有する数ある新機能の中でも、特に大きな期待が集まるのが光通信機能である。電気の応答速度はナノ(10^{-9})秒、光はフェムト(10^{-15})

秒の速度、そのスピードは100万倍違う。加えて、光は波長多重技術が可能で、同時に幾つもの波長帯域で情報を送信することができる。これまでの光通信においては、半導体での信号処理は、光信号を電気信号に変換して行われていたが(図1)、光半導体、光回路が開発され、全光型光情報システムが確立されると、大容量・高速化に数千～数万倍の飛躍が望まれる。21世紀の基幹産業となるであろう光通信産業の成長を支えるキーマテリアル、それがガラスなのである。

ナノガラス技術プロジェクトの概要

日本におけるナノガラス研究の中心は、NEDOが13年度から17年度までの5カ年プロジェクトとして発足させた「ナノガラス技術プロジェクト」である。

機能性ガラスを総称した「ニューガラス」分野で強みを発揮する日本のガラス産業は、光学ガラスは50%、ディスプレイ用ガラスで70%、マイクロレンズ、石英ガラスは各80%、特に磁気ディスク用ガラスに至ってはほぼ100%と、軒並み高シェアを有する。今後、来るべき光通信時代には、主戦場となるガラス材料開発の場に、各国のガラス産業が攻勢をかけてくることが予想される。そのような背景の下、「強い材料をもっと強く」というコンセプトで日本の総力を結集したのがこのプロジェクトである。

開発予算は、00年度補正で3億400万円、01年度は5億3800万円、02年度は5億7400万円が配分され、今後も03年度4億2300万円、04年度7億9900万円、05年

図1. 現状の光デバイス技術

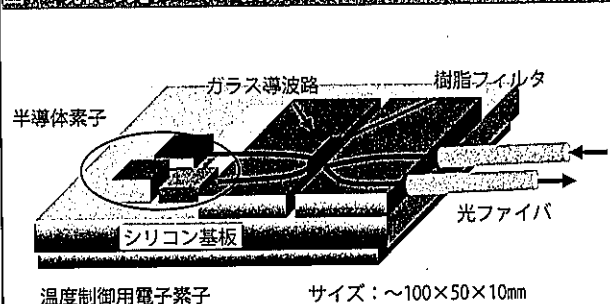
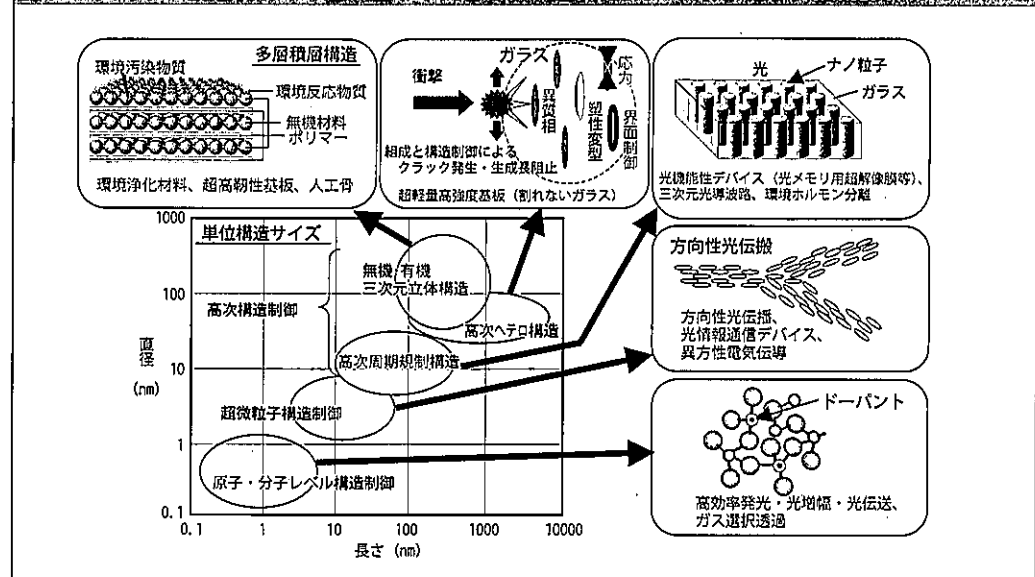


図2. ナノガラス構造制御の単位構造サイズと目標構造例 (NEDO-PJ「ナノガラス技術」資料)



度5億9600万円が計画されている大型プロジェクトである。

(独)ニューガラスフォーラム (NGF) と、独立行政法人産業技術総合研究センター (以下、産総研) 関西センターが NEDO より委託を受けた。NGF はつくばと大阪にそれぞれ集中研究室を設け、NGF 加盟社のうち、プロジェクト参加企業11社から出向者を集めて研究を進めている。11社とは、旭硝子、旭テクノグラス、岡本硝子、日立製作所、湖北工業、セントラル硝子、日本板硝子、日本電気硝子、日本山村硝子、日立電線、HOYA である。NGF は、独立行政法人 物質・材料研究機構、6 大学 (京都大学、北陸先端科学技術大学院大学、三重大学、名古屋工業大学、東京大学、東北大学) と

も共同研究体制を構築している。

プロジェクトリーダーには京都大学平尾一之教授が就任、つくば研究室の田中修二博士 (NGF 研究開発部長)、大阪研究室は産総研関西センターの西井準治博士、をそれぞれ研究リーダーに据えている。つくば研究室では、フェムト秒レーザーを駆使した加工技術を得意とし、一方の大阪研究室では半導体製造技術をベースとしたガラス研究を行っている。

平尾教授は、科学技術振興事業団 (JST) の「平尾誘起構造プロジェクト (94～99 年)」において、外部場を与えることによって、ガラスの電子構造や原子配列構造に変化を誘起し、発光、光制御などの高度な機能を発現させ、ガラス材

表1 ナノガラス技術プロジェクトの研究課題と用途

大項目	中項目	小項目	研究場所	想定される主な用途
①超微粒子分散等構造制御技術	(1) 異質相微細析出技術		大阪	アサーマルガラス、レーザー発振波長安定器など
	(2) 超微粒子分散技術		大阪	ディスプレイ、蛍光材料、DDS など
②高次構造制御技術	(1) 周期構造形成技術	a) 高次構造化材料	大阪	光回折格子など
		b) 高強度化ガラス材料	つくば	PDP 用ガラスなど
	(2) 有機-無機ハイブリッド技術	a) 導電性膜	大阪	燃料電池電解膜など
		b) 気孔配向膜	大阪	ガス分離フィルターなど
	(3) 外部場操作技術			マイクロレンズアレイなど
	③三次元光回路用材料技術	(1) 低損失光導波路用材料技術	a) 低損失光導波路用材料	つくば
b) 三次元光回路用材料			つくば	三次元光回路など
(2) 大容量光メモリ用材料技術		a) 大容量光メモリディスク用集光機能材料	つくば	DVD 大容量化
		b) 大容量光メモリヘッド用ガラス材料	大阪	光メモリヘッド
④技術の体系化				

料の可能性を広げたことで世界的にも著名な研究者である。特にフェムト秒レーザーを駆使したガラス加工技術の研究成果は、ナノガラス技術プロジェクトの礎となっており、中国との国際共同プロジェクトである「フォトンクラフト(光子合成)プロジェクト」(別頁参照)にも引き継がれ、中国のナノガラス研究を促進している。フォトンクラフトプロジェクトは、中国と日本の間で国家同士の正式な共同プロジェクトとしては第1号の案件となっている。

さて、ナノガラス技術プロジェクトは、先ごろ行われた中間評価の結果を見ても、NEDOのナノテクノロジー関連プ

ログラムの中で研究成果は最も高い評価を受けている。研究項目は、技術別に4つの大項目、細分化した8つの中項目、さらに細分化した12の小項目が設定されており、それぞれが独自のアプリケーションを想定している(図2、表1)。03年度からは、実用化が期待される4つのテーマが2つのプロジェクトとして、ナノガラス技術プロジェクトから枝分かれし、FOCUS21という実用化研究で3カ年プロジェクトとして一本立ちした。ナノガラス技術プロジェクトとFOCUS21は、今後共同で研究開発を進めていく体制をとる。

以下では、主にナノガラス技術プロジェクトの研究開発項

□ (社) ニューガラスフォーラム (NGF) □

ニューガラスとは、新たな組成・成型・加工・表面処理技術を駆使することで、新たな機能性を獲得したガラスの総称だ。オプティクス、エレクトロニクス、バイオなどを中心とした用途で成長著しい市場である。ガラスが単なる容器や窓などの材料から機能材料へと進化を遂げた80年代は、それまで寡占市場を形成していたガラス産業に大きな転機が訪れた時期であった。

そのような1985年7月にNGFが設立された。ガラス産業における業界団体のうち、研究開発機能を備えた唯一の団体であることが大きな特色であり、現在正会員は44社、賛助会員36社の計80社が名を連ねる。素材産業によく見られるように、ガラス業界は技術トレンドへのアンテナが低いと言われる。その中であって、関連産業との橋渡し役や行政との折衝を一手に引き受けており、専務理事の上杉勝之氏、ナノガラス研究本部の田中修平研究室長、柳澤修部長のほか、産総研関西センターの西井準治ガラス材料技術グループリーダーを中心に、今回の「ナノガラス技術プロジェクト」発足にも主導的な役割を果たした。プロジェクト開始後は、集中研方式を採用し、参加企業11社からニューガラスフォーラムへ出向した研究者をNGFのつくばと大阪の2研究室で常駐研究させるとともに、大学や産総研等との間の共同研究の取りまとめ役を演じている。

板ガラス、ブラウン管用ガラスといった従来のガラスは、すでにコスト競争のある中国・台湾への流出が進んでおり、一方の先進分野では、米コーニング、独ショットといった先進欧米メーカーの開発力に直面するという、厳しい競争環境にさらされている。ナノテクノロジーとガラス技術との融合による新機能発現に活路を見出そうという業界の危機感が、今回のプロジェクトを成立させた原動力となって

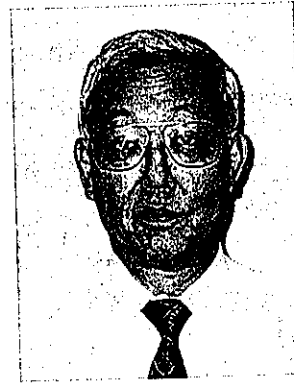
いる。

「ナノガラス技術プロジェクト」が採択された2000年度以前に、NGFでは3度にわたって国家プロジェクトの提案を行ってきた。最初のテーマは、「アモスタル材料研究プロジェクト」(アモルファスの中にクリスタルを形成)。続く2年間は「コンジュゲートマテリアルプロジェクト」(原子・分子レベルの材料複合技術で新機能発現)を提案した。実に3度目ならぬ4度目の正直で念願の国家プロジェクト採択となったわけだ。

ガラスの発想に固執するとブレークスルーが難しい。かつて昭和40代に、ガラス業界は光ファイバーの研究開発で先行していた。しかし、ガラス業界は、導体となるガラス繊維の製法を溶解法に固執した。このため、不純物が入ると光が減衰するという致命的な弱点を克服できず製品化のチャンスを逃すという苦渋を経験した。21世紀が光の時代と見なされるようになって、ガラス素材が持つポテンシャルが、再びガラス産業に脚光をもたらしている。かつての二の舞は避けたいガラス産業では、今、プロジェクトへの期待度は高い。



専務理事 上杉勝之氏



ナノガラス研究本部
柳澤修部長

目を通して、ナノガラスが持つ可能性の大きさ、広い用途を見ていくことにしよう。

光通信デバイス～三次元光回路

図3に示された三次元光回路は、ナノガラス研究の成果のうち、最も大きなインパクトが期待される研究内容であろう。新材料開発、光導波路、分波器、フォトニッククリスタル、レーザー加工技術、分散技術など様々な技術群が集積されて初めて実現するものだ。1000倍の超高速化、1000分の1の超小型化、1000分の1の低価格化が想定される、まさにナノガラスが生み出す夢のデバイスである。このデバイスを構成する主要技術群の開発成果を以下に見ていく。

【光導波路】

高集積化、マルチチャンネル化に加え、FTTH (Fiber to the Home) により、全家庭に光通信網が広がった場合、光デバイスはますます小型化が要求される。光導波路の小型化にとって最大の障害となるのは、光路の制御技術である。

光導波路の場合、コア(光導通部)とクラッド(周辺部=SiO₂)の屈折率差が大きいほど光を効率的に閉じ込めることができる。現状はこの屈折率差が小さいため、急角度の曲げに対しては、光はコアから透過して逃げてしまう。よって、光はゆっくりとしか曲げることができず、デバイスは必然的に大きくなってしまふのである。また、コアとクラッドの屈折率差を上げると光の伝搬損失は大きくなるという相反する関係もある。プロジェクトでは、コアの低損失化とともに屈折率差の拡大が中心的な研究テーマとなる。

プロジェクトでは、コア材料としてSiO₂にGeなどをドーピングした様々なガラス組成を研究している。現状でコアとクラッドの屈折率差 $\Delta n = 0.75\%$ だが、これを $\Delta n 3\%$ に、つまり4倍に広げることが目標だ。この結果、部品の大きさを面積比で20分の1とすることができる。これは大きさ20分の1、価格20分の1を意味し、大量生産化でさらなる低コスト化の展望が開ける。

伝搬損失を抑える点では、光導波路の製造プロセスに400℃のプラズマCVD法により成膜方法を採用する。ゴミや未反応物などのパーティクルが膜内に混入すると、光透過時

□フォトンクラフトプロジェクトとは～□

今回の日中共同プロジェクトは、1994年から5年間行われた「平尾誘起構造プロジェクト」の研究成果と、上海光学研究所のこれまでの研究成果をベースにしている。「平尾誘起構造プロジェクト」では、非晶質材料の内部にフェムト秒レーザーを集光照射して新しい誘起構造を発現させ、その機構解明を行い、屈折率増大現象を利用してガラス内部に三次元光導波路を初めて形成する成果をあげた。

今回の日中国際共同プロジェクトでは、レーザーの集光

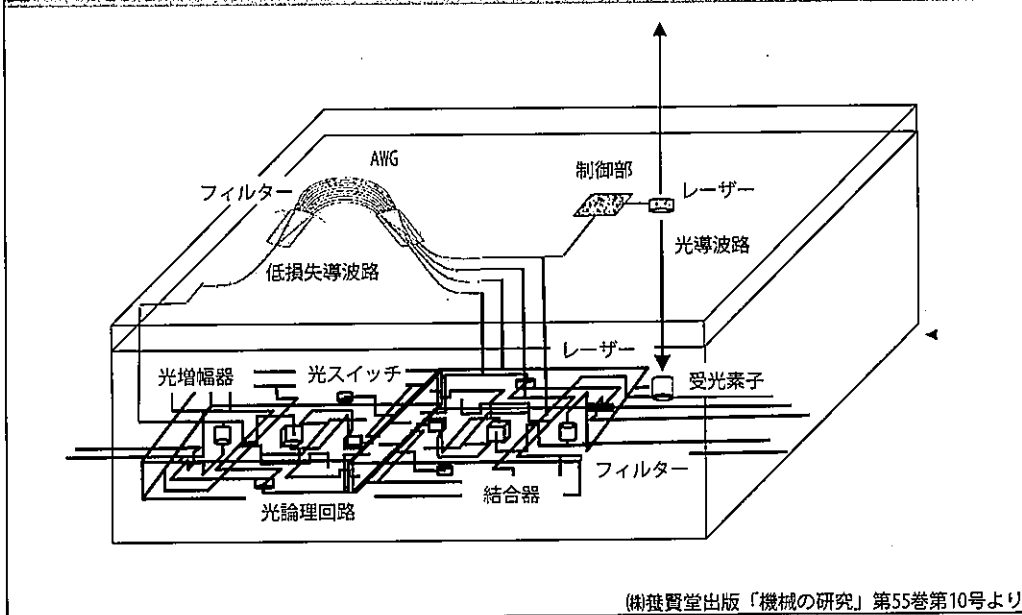
性、短波パルス性、コヒーレンス性を最大限に活かし、物質中の光と光の相互作用により、新しい機能性材料を効率的に創製すること(フォトンクラフト)を目指している。フォトンクラフトにより創製される新材料は、光子コンピュータなどの光情報処理システムに利用される高機能な発光素子、光スイッチ、光変調素子、光論理演算素子といった光デバイス材料として、注目が集まっている。

(黒政典善)

研究成果の現状と今後の見込み

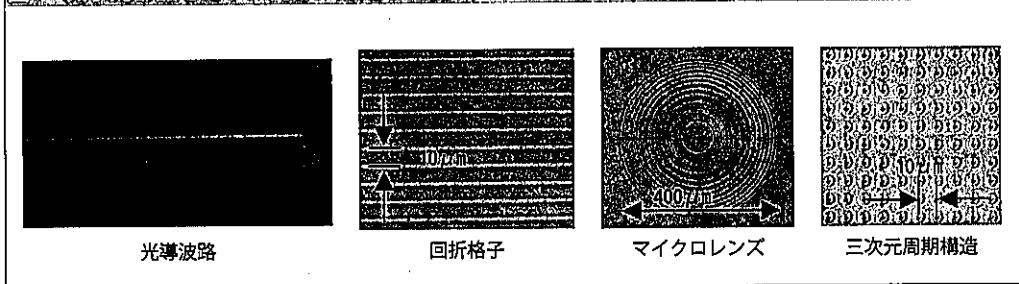
研究テーマ	研究成果と見込み
「フェムト秒レーザーによる空間選択的な超微細構造制御」	熱処理したAu含有ガラスにフェムト秒レーザーを照射してAuのナノ粒子を析出。黒く着色した照射部は紫外線によって発光。また、ガラス中の希土類イオン(Eu ³⁺)、銀イオン(Ag ⁺)、遷移金属イオン(Mn ²⁺)等にフェムト秒レーザーを照射すると価数が変化し着色することを発見。三次元超高輝度光メモリ、集積型超高速光スイッチ、フォトニック結晶等の応用に期待。
「フェムト秒レーザーによる微小光学素子の形成」	フェムト秒レーザー照射によるガラスの屈折率増大現象を利用してDammann型回折格子、バイナリーレンズ、集積型光分岐回路等の試作を行い、優れた特性が得られることを解明。各種の光学素子が光誘起屈折率変化を利用してガラス内部に集積して形成できることの実証は、フォトンクラフトを用いて実用性を備えたデバイスが開発できることを示す重要な成果である。
「フェムト秒レーザー多光子干渉による超微細構造の形成」	レーザービームの干渉性を利用してガラス内部に格子パターンを形成。二光束干渉では一次元回折格子、三光束干渉では二次元の微細周期構造を形成。時間効率性が桁外れに高く、再現性と加工性にも優れている。
「フェムト秒レーザーの非線形干渉場による光機能性付与」	基本波と第二高調波のレーザービームを同時にポリマーに照射して非共鳴光ポーリングを行い、ポリマーから第二高調波を発生。また、非共鳴光ポーリングによってポリマー分子の光対称性を光で制御することに成功。これはポリマーに光機能性を付与する新方法。
「一次元フォトニック結晶における光電場増強と蛍光強度の増強」	SiO ₂ とTiO ₂ を積層した二つの一次元フォトニック結晶層の間にCdSe微粒子を分散させたSiO ₂ ガラス層(欠陥層)を挟み込み、光を欠陥層に閉じ込め電光場を増強。欠陥層に蛍光化合物を添加して光を斜め入射し、反射光の強度が最小になる角度で蛍光強度が最大に。フォトニック結晶に新しい光機能を発現させた具体的な成果。
「フェムト秒レーザーの照射によるマイクロレンズの形成」	ポリカーボネート樹脂へのレーザービームの集光照射により、樹脂の内部にマイクロレンズを形成。マイクロレンズアレイと回折格子の形成にも成功。時間効率、精度、再現性、パターン多様性などに特徴があり、広範囲の応用に実用化できる。

図3 三次元光回路のイメージ



(株) 荏賀堂出版「機械の研究」第55巻第10号より

図4 微小光部品をガラス内部に形成した例



に散乱の原因となるため、高純度ガスを反応させ、膜厚が薄く均一な膜を膜厚分布が少なく、さらに光を吸収する不純物を徹底的に除去して成膜する。プラズマCVDでは、基板表面に原料となるガスを流し、通常は基板の温度に依存してガス原料からガラス薄膜が合成されるわけだが、ガスを電気的にプラズマ状態にすることによりその反応を促進することが可能。このため組成比が均一になり、成膜速度が向上するこ

となどが期待される。導波路の作成にはリソグラフィーやエッチングといった半導体製造技術を用い、これらの高精度化により伝搬損失の原因となる側壁荒れや屈折率揺らぎを防ぎ、高精度な加工技術を確立する。

ガラス内部にレンズ、ミラー、光スイッチ、ディテクターやフォトダイオードなどを作り込む技術と組み合わせれば、完全光信号用超LSIをガラスに作りこむことができる。従来

図5 電子線リソによる磁性半導体量子ドット

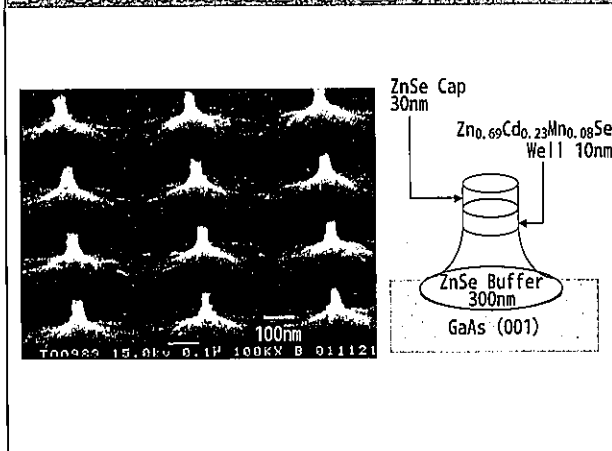
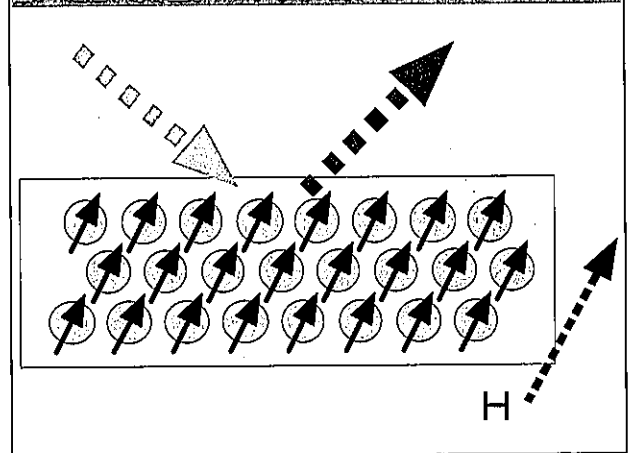


図6 磁性半導体量子ドットを用いたフォトニッククリスタル効果



のLSIと違い、ガラスは3次元的にデバイスを作りこむことができるため、平面上で10分の1の縮小ができれば、3次元的には1000分の1の小型化も原理的に可能だ。

なお、FOCUS21では、日立電線がプラズマCVDプロセスを採用した低損失ガラス薄膜を開発し、さらに光回路形成技術を確認して、都市の近距離ネットワークを想定した光通信向けの光導波路の高集積化と小型化を目指す。

【フォトニッククリスタル】

NGFつくば研究室では、プラズマCVDのほか、レーザー照射によって導波路を形成するアプローチや、フォトニッククリスタルによる三次元回路形成の研究開発を行っている。

フォトニッククリスタルとは何か。それは、ガラスの中に屈折率の異なる材料を光の波長(数百nm)オーダーの周期構造で配列させると、反射・屈折・干渉が複雑に絡み合い、ある部分は光絶縁体となる領域が生じ、光の閉じ込めや急激な光の曲げなど、これまで困難とされてきた数百nmオーダーで光路を制御する技術である。従来の光回路では屈折率差による全反射で光閉じ込めを行っていたが、この方法では閉じ込めサイズは波長に比べてはるかに大きくなってしまい、これが光回路の小型集積化の限界をもたらしていた。

NGFつくばでは、化合物半導体イオンや金属イオンを含有したガラス内部にレーザーを照射し、化合物半導体や金属の微粒子を析出させ、量子ドットを形成する。II・VI系化合物半導体のCdSSeのほか、III・V系や金属材料でも研究を進めている。これらの物質の光屈折率は、II・VI系で2.5～3、III・V系では3.5～4であり、1.5のガラスとの屈折率差が大きく、フォトニッククリスタルとして用いることができる。レーザーの照射軌跡を制御することで、ドットやラインを選択的に作り込むことができ、ラインを導波路として用いることも可能(図4)。ナノガラス技術プロジェクトでは、三次元的に高スループットでドットを作り込む技術も独自に開発し、このほど応用物理学会で発表している。

これとは別に、さらに先進的に外部場から光の進路を直接制御する、つまり光を能動的に制御するフォトニッククリスタル技術も研究が進められている。FOCUS21の「デバイス用高性能化ナノガラスプロジェクト」でプロジェクトリーダーを務める東北大学の村山明宏助教授は、「磁性半導体量子ドットによるフォトニッククリスタル効果」を研究テーマに据えている。フォトニッククリスタルは、受けた光に対して受動的な作用で光路を制御するわけだが、この原理を能動的、可逆的に再現性良く外部から制御しようという研究である。

フォトニッククリスタルのドットには、可視光を良く吸収し発光するZnSe(化合物半導体)をベースに、その中間に磁性を持ったMn(マンガン)を添加した磁性半導体層を形成した柱状の量子ドットを作る(図5)。柱状ドットは、電子線リソグラフィとエッチング技術で形成する。光を吸収したZnSeの電子は、量子構造により柱状ドットに閉じ込められ、磁性Mnと相互作用を起こして電子が磁気を帯びる。この磁性を帯びた電子を外部磁場によって制御することで発光、吸収、偏光を自在に操ることができる(図6)。磁場により光学特性を可逆的に制御することが可能になり、光通信における新しい能動型デバイスが期待できる。

【回折格子】

FTTH計画の進展に伴い、多重波長通信に対応した家庭用の超小型分波器の開発が急がれるが、この分波機能を司る超小型の回折格子の開発が進んでいる(図7、8)。コア技術はガラス表面・内部への高精度な周期構造形成技術である。

通常の回折格子は、半導体製造技術をベースとした深溝回折格子で、ドライエッチングによりアスペクト比(溝の深さと幅の比)を高めることで回折効率を高めていた。しかし、アスペクト比が高くなるほど深部のエッチングは困難となり、先端は先細りのV型形状を呈してしまう。深溝回折格子では、高い回折効率、分波特性を発揮させるために溝を深くすると同時に、このV型のエッチング形状を解消しなけ

図7 多重波長の分離概念図

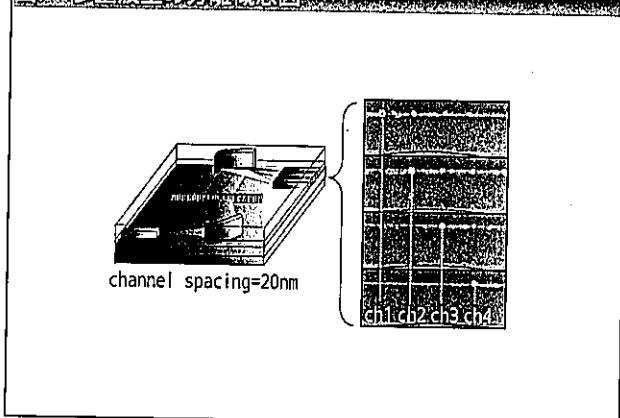


図8 可視用超小型分波器

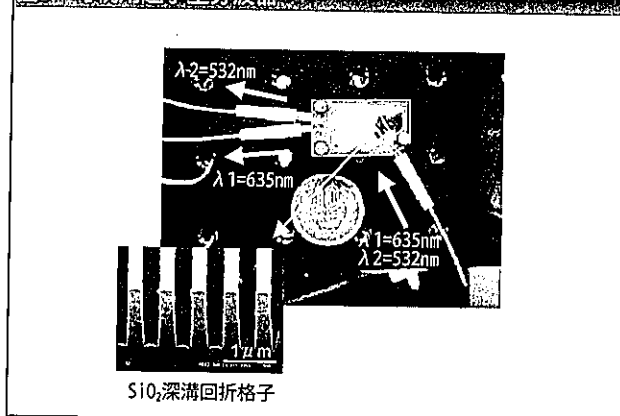
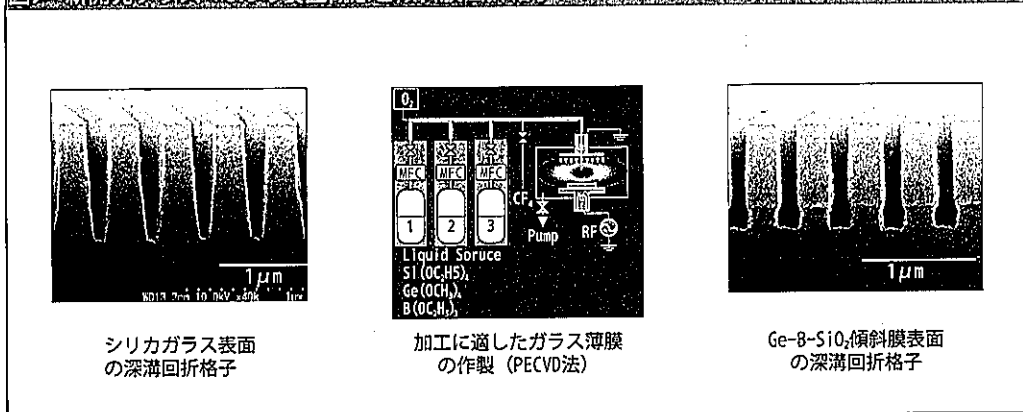


図9. 新開発プラズマCVDの装置概念と傾斜膜回折格子



ればならない。そのため、プロジェクトでは、(株)サムコインターナショナル研究所(京都市伏見区竹田薬屋町)と共同で独自のプラズマCVD装置を開発し、エッチング耐性の異なる3種(GeO_2 、 B_2O_3 、 SiO_2)の液体ソースを混合した成膜手法を確立した。

各液体ソースのバルブを調整してこの混合比を変えることで、膜のエッチング耐性を調整できるため、最初はエッチン

グされやすい膜質を積層し、表面に近づくほど混合比を調整し、徐々にエッチングされにくい膜質へと変えて積層していく(傾斜膜)。この結果、図9に見るようにV字構造は見事に解消され、未処理のV型形状に比べて傾斜膜では約10%の回折特性の向上が確認されている。

しかし、さらなる回折効率を求める場合、アスペクト比の追求には当然限界が生じる。半導体業界のシリコン加工技術に比べ、ガラスの微細加工技術はやや遅れていることに加え、シリコンと比較してガラスは材質的にエッチング側壁の加工精度が劣ることも原因である。そこでプロジェクトでは、微細加工、深溝の追求とは違うアプローチとして、多層膜回折格子の開発を進めている(図10)。

単一材料の深溝回折格子と比較して、屈折率の異なる特性を有する光学薄膜を2次的に積層した多層膜回折格子は、各層からの反射と干渉の相互作用により、さらに高い回折効率を得られることが分かっている。 SiO_2 (屈折率=1.46)をベースに、 TiO_2 (同2.2)、 Si_3N_4 (同2.2)などを積層した多層膜回折格子を試作し、加工精度は SiO_2 と Si_3N_4 の多層膜で溝ピッチ $1.5\mu\text{m}$ 、深さ $3.2\mu\text{m}$ アスペクト比6を形成、一方 SiO_2 と TiO_2 の多層膜では、ピッチ $0.5\mu\text{m}$ 、深さ $2\mu\text{m}$ のアスペクト比8を実現している。

この技術を分波器に応用した波長分離デバイスを試作した。衝撃や汚れから回折格子を保護するため、回折格子形成後、その上にプラズマCVDによりガラスを成膜して蓋をする形でガラス中に埋め込み、 $10\text{mm} \times 6\text{mm}$ 、厚さ 1mm にまで超小型化した分波器デバイスを実現した(図11)。光学多層膜における高アスペクト比加工技術を用いた回折格子の今後の実用化研究は、FOCUS21において日本板硝子がテーマを採択し、開発を進めている。

なお、この多重波長を効率的に分波する特性を持った回折格子を、次世代光ディスク用メモリヘッドに応用する研究も同時に進めている。詳細は、メモリヘッドの項で述べる。

図10. 多層膜回折格子の断面模式図

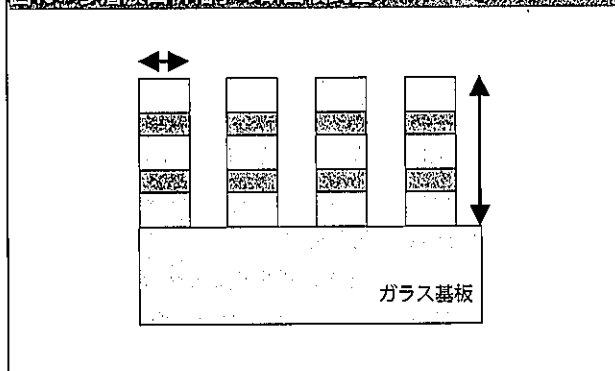


図11. 赤外通信用超小型分波器

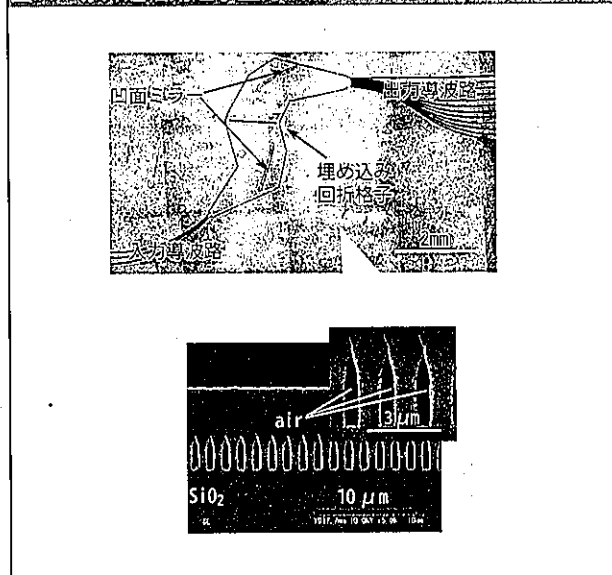
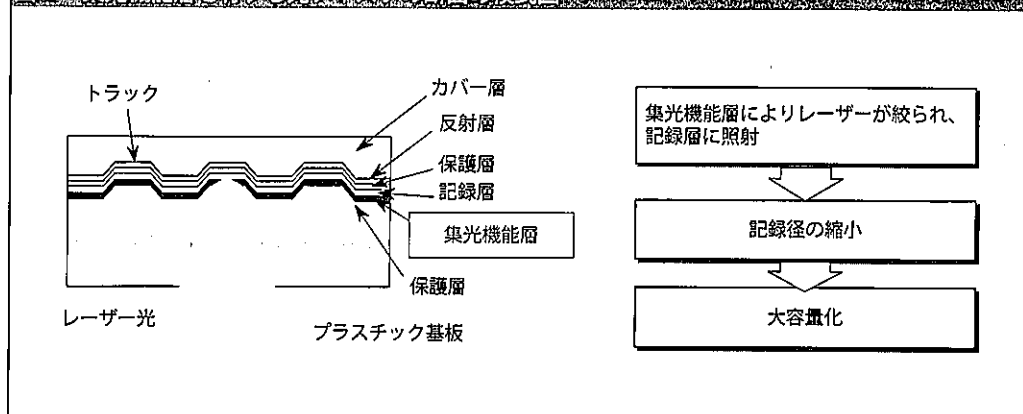


図12 集光機能層を有する光ディスクの断面の模式図



光通信記録技術～光メモリディスク・ヘッド

【光メモリディスク】

光メモリディスク(DVD)を大容量化する手法は、各方面で研究が重ねられているが、ナノガラス技術プロジェクトでは、ガラスを含有した Co_3O_4 薄膜によるレーザー集光機能現象を利用した大容量化を研究している。

Co_3O_4 材は、レーザー光が照射された部分のみ屈折率が上昇し、レーザー照射をはずせば元の屈折率に戻るといった独特な可逆的屈折率変化特性を有する。この照射部分と非照射部分との屈折率の差によって、照射部分のレーザー光が集光される仕組みだ。この特性を利用し、レーザーの受け手となるディスク側に集光機能層を設け、レーザー光を絞って記録サイズを縮小化し、記録密度を増大させる。レーザービーム径で2分の1、記録サイズでは4分の1に縮小できる。つまり、単純に言えば4倍の大容量化が可能ということになる。

Co_3O_4 材は、スパッタ技術によりDVDの記録層表面に70nm厚の薄膜として形成。形成された膜表面は、数nm大のハニカム(蜂の巣)形状に Co_3O_4 ナノ柱状結晶粒子が析出され、その隙間に約1nm幅のガラスが入り込む(写真1)。ガラスの海の中に、 Co_3O_4 の島がハニカム状に配列したような形になる。この場合、ガラスはコバルト結晶の粒径を揃える役割を果たす。 Co_3O_4 100%で成膜した場合、 Co_3O_4

粒径は10nmを超え(平均粒径は11.48nm)、標準偏差も3.51nmと大きい。ガラスを混入すると平均粒径6.6nmで、標準偏差も1.38と小さくなる。

もともとこの現象は日立製作所が発見したものである。 Co_3O_4 に赤色レーザーを照射すると、照射時間10nsecで5.5%上昇することが確認された。同社では、NEDO「ナノガラス技術プロジェクト」発足を機に、今後の光ディスク読み取りの本命となる青色レーザー(波長405nm)で同様の効果を得られるのかをテーマに、プロジェクトに参画した。

研究の結果、青色レーザー照射の場合、応答速度10nsecで屈折率は実に42%に跳ね上がることが確認された。記録サイズは実に25nmにまで縮小できた。これは、当初ナノガラス技術プロジェクトが掲げていた目標値をクリアするものであり、早速FOCUS21で実用化研究テーマに採択され、日立製作所が実用化に乗り出す(図13)。ナノガラス技術プロジェクトとは相互交流を保ちながらも、研究の場は日立社内へと移した。実用化には応答速度で5nsecが必要となるため、目標は5nsecで20%の変化率を目指す。その結果、最終目標は2007年時点で350GBのDVD開発である。

【光メモリヘッド】

前述した超小型回折格子を持つ多重波長の効率的分波機能は、次世代光ディスク用メモリヘッドに転用する研究も同時

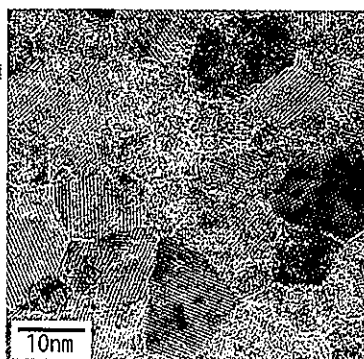
写真1
集光機能層となる
 Co_3O_4 ナノガラス薄膜

図13 集光機能層概念とDVD試作品

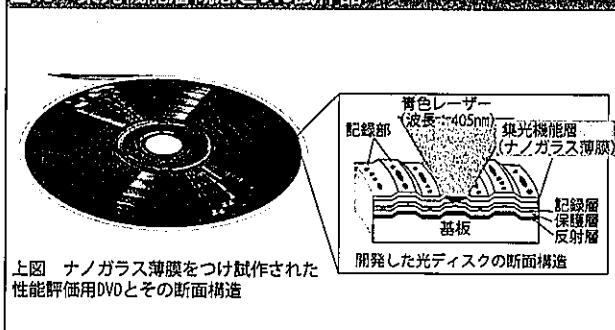
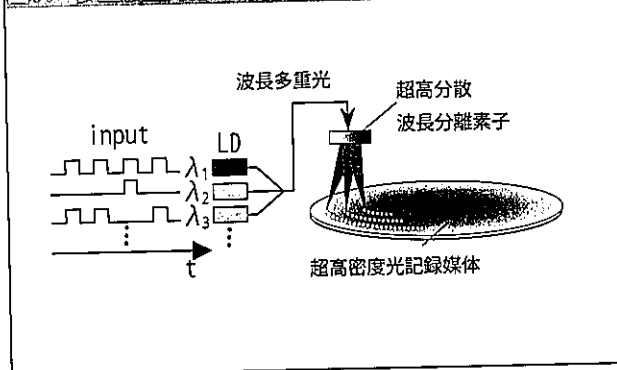


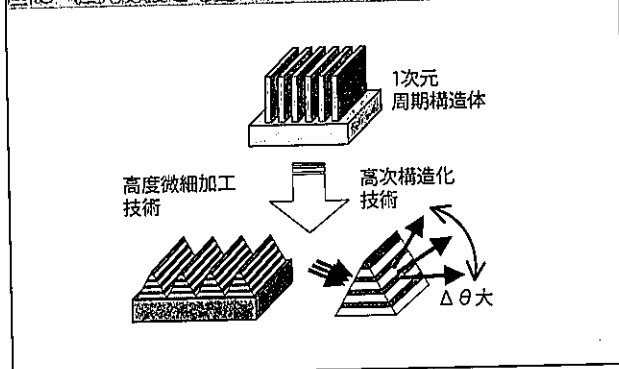
図14 多重波重対応の光メモリヘッド



に進めている。プロジェクトでは、光ディスクの大容量化に、集光層薄膜を形成した記録ビットの高密度化以外に、多重波長による光信号の高速書き込み・読み出し技術というアプローチも検討しており、これに同技術が応用できるというわけだ(図14、16)。

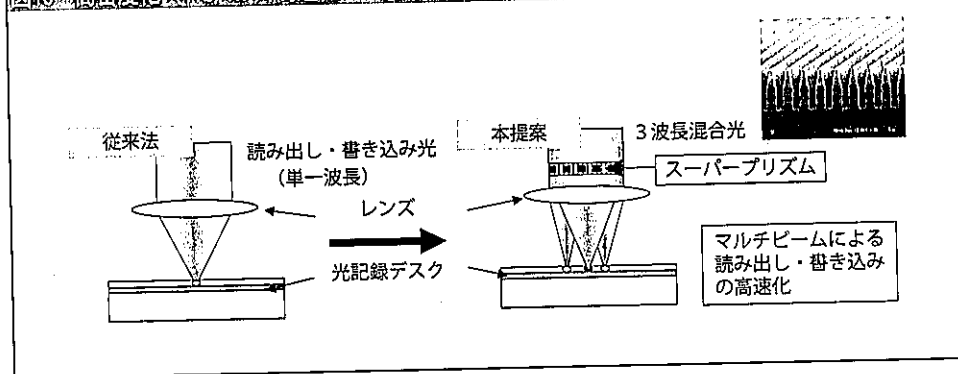
分波器に応用した場合、回折格子から分波を受けるミラー、ミラーから出力導波路の間隔はせいぜい3mm程度で十分であった。しかし、この回折格子を光メモリヘッドに応用しようとした場合、光ヘッドは1~2mm角の大きさに小型化しなければならない、光ヘッドと光ディスクの間隔も1mm以下にまで接近させなければならない。つまり、より広角に、高効率に多重波長を分波させる必要が生じる。そのためには、これまでの深溝構造には限界があるため、プロジェクトでは、理論的に広角分波が可能な多層膜構造の三角形プリズムを研究している(図15)。三角形プリズムは、深溝構造と比較して10倍の広角分波が可能になる、つまり回折距離は10分の1に縮まることを意味する。現在のところ、三角形の微細プリズムの加工技術は確立されておらず、今後の研究開発の進展が待たれるところである。

図15 広角分波を可能にする三角プリズム



表示技術~ディスプレイ

図16 高密度化(1Tb/in²)、高速化への対応→マルチビーム記録(多色記録)

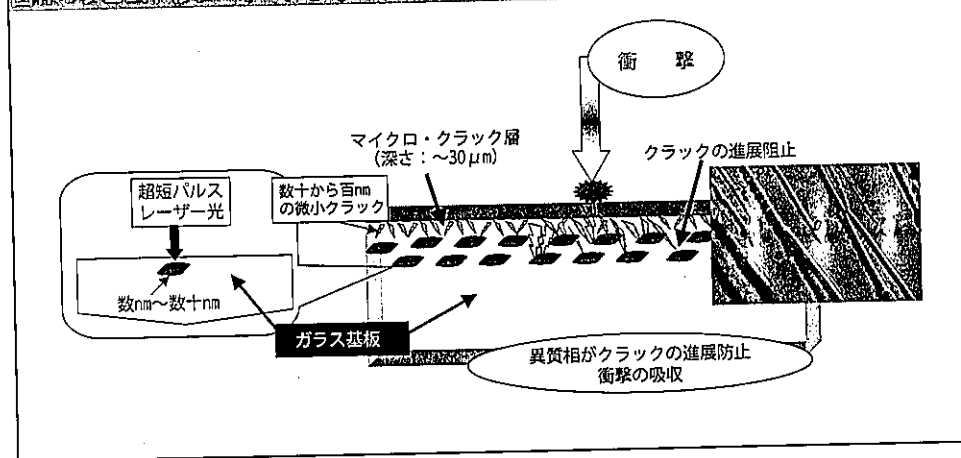


【PDP 高強度ガラス】

本来ガラスとは、通常の100~200倍の強度を持つ物質であり、メタル並の強さを有するという。しかし、ガラス表面(<30μm)に数nm~100nm程度の微小な傷(マイクロクラック)があるため、この本来強度を発揮できていない。このマイクロクラックは、ガラス製造においては避けられないものであるため、ガラスの強度を上げるには、このクラックを伝播させないことが重要となる。

従来の強化ガラスの場合、予め圧縮力を加えることでクラック伝播を防ぐ。具体的には700~800℃で製造後に急冷し圧縮するほか、ガラス表面に含まれるイオンをさらに原子半径が大きいイオンへ置換し圧縮する、などの手法がとられている。これには多大な資源エネル

図17 フェムト秒レーザーによるガラスの高強度化



ギーと時間を要するという課題がある。

これに対しプロジェクトが進めるのは、フェムト秒レーザー照射で形成した異質相を利用した高強度化である。ガラスの任意の部分へ集光し、多光子吸収反応によってガラスの組成を変えることで、大きさ数 nm ～数十 nm の異質相を形成し、その異質相を障害物としてクラック伝播を止め、ガラス強度を向上させようというものだ(図 17)。相対強度は 1.5 倍に向上させることが確認されている。ガラスを透明のまま、室温で、部分的・選択的に構造設計が可能になる。強度向上は、軽薄短小化を可能にし、省エネ、省資源化にも貢献する。

実用化が有望と判断されたこの技術は、FOCUS21 のテーマに採択され、セントラル硝子が PDP に適用する。大型化の一途をたどるディスプレイ市場では、将来 80 インチ化が達成された場合、全重量 60kg のうち 50kg がガラスで占められるという。この技術を用いると、半分の 25kg へと軽量化が期待されるという。

【ガラス蛍光体】

ナノ微粒子をガラス中に分散させることで、自在の色を発光するガラス蛍光体を開発している。ナノ微粒子は粒径が小

□中国事情① 上海光学精密機械研究所□

フォトンクラフト国際共同プロジェクトの中国側の研究主体となる「中国科学院上海光学精密機械研究所」(以下、上海光学研究所)は、幅広い波長域のレーザー装置を有し、オプトエレクトロニクス分野でのレーザー技術と光学材料の開発で強みを持つ中国最先端のレーザー工学研究所である。

同研究所はレーザー工学研究所として中国で最も古い歴史を誇り、中国科学院所属の研究所として 1964 年に上海市の嘉定区に設立された。現在もお中国で最大規模のレーザー工学総合研究所として、極強光工学、量子工学、光学、情報工学、光機能材料などレーザー科学の基礎理論から、レーザー技術の開発と応用などの研究を行っている。

研究所は東西に分かれ、西区には基礎研究実験室、ハイパワーレーザー物理実験室、それと図書館と管理部門のオフィスがある。東区には材料研究、技術開発、工場などの施設がある。98 年から 2001 年の間に大規模な組織改革があり、98 年には独立採算制へ移行、それに伴い 1400 名いたスタッフ数は現在 750 名になっている。国際共同研究が盛んで、米国、英国、フランス、ドイツ、日本、韓国などの国と学術共同研究を行っている。

これまで、結晶レーザー、ガラスレーザー、オプトエレクトロニクス基板材料、光学薄膜、非線形光学材料、ハロゲン化物発光と赤外伝送用光ファイバー、光メモリー材料などを開発。その多くを製品化し中国の国内市場で販売している。その一部は欧米諸国や日本にも輸出しているという。

最も代表的な研究成果としては、ハイパワーレーザー物理実験室で開発した「神光 II レーザー装置」がある。これは国家ハイテク 863 プロジェクトの一環として中国科学院と中国工程物理研究院

が共同で開発した。レーザー光線の出力口径が 200mm、動作波長が 1.053 μm 、出力パワーが 1012W の中国最大規模のレーザーシステムである。他には、強度光学実験室で開発した「小型超強度・超短レーザーシステム」は、23TW (1012W) / 33.9fs (1015s) で、中国で最もハイパワーのレーザー装置である。幅広い波長域のレーザーシステム(波長が 250nm ～ 10.6 μm までの CW、及びパルス幅が ms、 μs 、ns、ps、fs、エネルギーが mW ～ 1 万 W の CW レーザーと mW から TW までのパルスレーザー)を有している。

(黒政典善)

上海光学精密機械研究所

〒201800 中国上海市嘉定区清河路 390 号

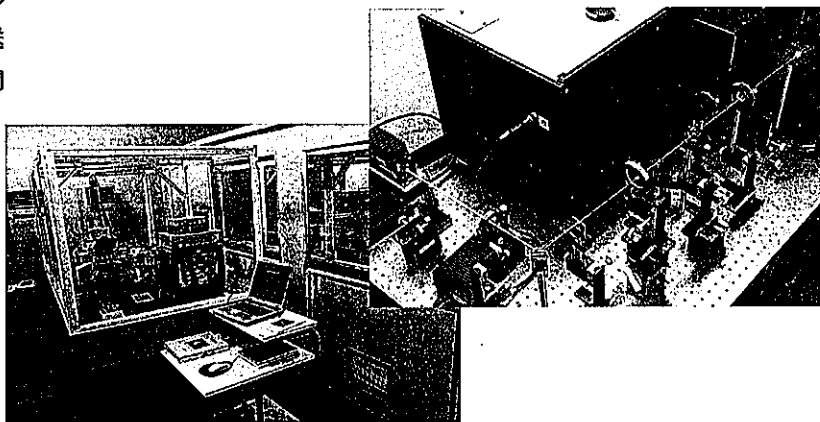
Tel: +(86-21)6991-8508, Fax: +(86-21)6991-8800

「フォトンクラフト国際共同プロジェクト」中国実験室

〒201800 中国上海市嘉定区塔城路 295 号

Tel: +(86-21)5991-1980, Fax: +(86-21)5992-9373

URL: <http://photoncraft.vip.sina.com/>



さいため、体積当たりの表面積が大きく、従来の蛍光材料に比べて30倍の発光強度を誇る。ディスプレイの蛍光体や照明のほか、ドラッグデリバリーシステムの蛍光試薬に代表される医療分野への応用も期待される。

産総研関西センターでは、粒径を変えるだけで同じ微粒子でも異なる色の蛍光を示す物質=CdTe(カドミウムテルライド)を探索した。CdTeの粒径を3~7nmの間で制御すると、3nmで緑色を呈し、粒径を大きくしていくと徐々に赤色に近づいていく。微粒子溶液は2週間ほど時間が経過すると沈殿してしまうが、ガラス中に分散させガラス蛍光体とすることで安定した蛍光反応を引き出すことができる。

CdTeは緑、赤で発光反応が確認されているが、色の三原色である緑、青、赤のうち青だけは得ることができない。青色が持つ波長は470~480nmであるが、CdTeは物性上500nm以下の波長を出すことは不可能であるためだ。青色に関しては新たな物質の探索が必要となっていたが、産総研関西センターでは、このほど物質探索に成功している。溶液状態で青色発光は確認しているが、現在ガラス中に安定化する技術を開発している。これが成功すれば、三原色全てが

揃うことになり、粒径の混成比を調整することで自在の色を発光するガラス蛍光体を実現する。

燃料電池にもナノガラスを応用

ナノガラスの可能性は、光に関する機能だけではない。「有機-無機ハイブリッド技術」(図19)を用いたプロトン導電膜の開発は、ナノガラスの化学機能を利用した代表的な応用例で、燃料電池への実用化が期待されている。

【プロトン導電膜】

プロトン導電膜とは、水素イオン(プロトン)だけを透過させる膜のこと。水素をエネルギーとした燃料電池の場合、水素から電子のみを利用して電気エネルギーを発生させるが、残ったプロトンは酸素と反応させ水として回収する。その反応が起こるもう一方の電極へ、プロトンをいかに効率良く伝導させるかが、発電効率を左右する。

従来のプロトン導電膜は、有機材料を骨格としていたため、耐熱温度は80℃を限界としていたが、産総研関西センター

中国事情②「フォトンクラフト国際共同プロジェクト」中国側のプロジェクトリーダー朱从善教授に聞く

——日中が共同でナノガラスの研究をするきっかけは？

朱 「フォトンクラフト国際共同プロジェクト」は、京都大学工学研究科の平尾一之教授との交流から生まれました。1990年にロシア(当時ソ連)のウラジオストックで開催された「国際ガラスカンファレンス」に参加したのが、平尾教授との最初の出会いです。その後、1996年に視察目的で日本を訪問した際に平尾教授と再会。レーザーの集光性やコヒーレンス性を利用して新材料を効率的に創製するフォトンクラフト研究を、日中両国でやってはどうかと話し合いました。私は中国に帰国後その準備を進め、3年後の1999年に上海光学研究所と日本の科学技術振興事業団がプロジェクト契約し、日中共同の「フォトンクラフト国際共同プロジェクト」が発足しました。

——中国側の研究内容は。

朱 中国側は希土類などの活性イオンをドープしたメゾノコピック粒子の合成と単結晶の育成、及び新しい合成プロセスの開発を研究しています。日本側はフェムト秒レーザーのコヒーレンス性と光場を利用したフォトニック素子の創製、希土類などの活性イオンをドープした材料における光場の相互作用による新しい量子干渉現象の発見、その機構解明と量子計算、光機能デバイスへの応用の研究を行っています。

——進捗状況はいかがですか。

朱 当初の予定以上に研究が進展していることから、メゾノコピック粒子の合成と単結晶の育成ばかりでなく、新たにフェムト秒レーザー装置を購入してフォトニック素子の創製研究も開始しました。9月にはガラス線引き装置と過熱押し出し装置を日本から導入します。日本側の実験室がある「けいはんなプラザスーパーラボ棟」に中国側の研究者が常駐し、日本側の研究者が中国側に出張ベースで来るなどして、双方の研究交流も盛んです。本共同研究により光合成された人工格子材料が発光素子や光スイッチ、光ディスプレイ、光変調材料、光論理演算素子などの開発を大きく進展させるよう、日中お互いに得意分野を活かし、今後も研究を進めていきたいと考えています。

(聞き手・黒政典善)

研究発表の一例

研究論文の名称	発表時期
Photoinduced stable second-harmonic generation in chalcogenide glasses	2001年1月25日
Use of ethylene oxide in the sol-gel synthesis of α -Fe ₂ O ₃ nanoparticles from Fe(III) salts	2002年1月21日
Space-selective precipitation of metal nanoparticles inside glasses	2002年7月30日
Preparation of Colloidal Au by a Femtosecond Laser	2003年5月1日

ではガラス (SiO_2) と導電性有機ポリマーを分子レベルでハイブリッド化したプロトン導電膜を開発した。ガラスを骨格としたこの導電膜の場合、耐熱温度は 120°C にまで高められる。

具体的には、直径 4nm の細孔を持つ多孔質ガラス表面の OH 基にメルカプトプロピルトリメトキシシランのシランカップリング剤を反応させ、その後にメルカプト基の $-\text{SH}$ を酸化することにより細孔表面にプロトン導電性を持ったスルホン酸基を導入する表面改質を用いて作製した膜である。多孔質ガラスの製法は、 B_2O_3 含有ガラスを SiO_2 主体の相と、 B_2O_3 主体の相に分離し、酸の中に入れて B_2O_3 を溶解させることでガラス中に多孔質を形成する。熱処理温度や時間により、最小 1nm まで孔径はある程度制御できるが、現在のところ孔 (導電パス) の配向性を制御する技術開発が求められる。導電パスを配向させる技術としては、物理的に加圧して押し出すことで、押し出し方向に分子揃う。配向率は現在 10% だが、将来的には 50% の配向性を目標としている。

産総研関西センターでは、このプロトン導電膜を使って、最終製品となる燃料電池までの組み立てを現在行っている。

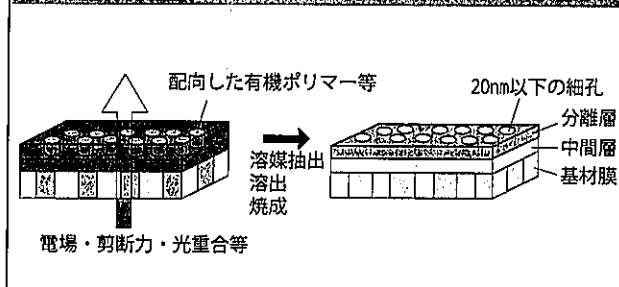
【気体分離膜】

有機ポリマーとガラスのハイブリッド材料は、プロトン導電膜のほかに、気孔配向ガラスとして「分子ふるい」に利用する研究が進められている (図 18)。

ガラスのゾルゲル溶液中に液晶分子を分散させ、固化する途中で外部から電場をかけて液晶分子を配向処理した上で、 $600 \sim 800^\circ\text{C}$ で焼成して液晶分子を除去すると、膜厚方向に配向した気孔を持つ配向膜が作成できる。現在の技術では機構の配向率は 20% 程度まで確保できる。

プロジェクトでは気孔径 20nm 以下で、配向率を 50% にまで高めることが目標だ。これにより、現在確認されている透過率の 2 倍にまで透過比を高めることができると予想している。

図18. 気体分離膜



孔径を制御することで、目的のガスを選択的に透過させることができる。次世代エネルギー源として期待される水素ガスのみを分離・供給する水素スタンド用途のほか、空気中から炭酸ガスのみを除去するなどの「分子ふるい」として利用が研究されている。これには、長期信頼性と大面積化によるスループットの向上が実用化への鍵となる。また、気孔配向率と相反する関係にある分離精度の整合させる必要もあるという。

各企業の取り組み

「ナノガラス技術プロジェクト」の研究成果が FOCUS21 を通じて各企業に移譲されているように、一部の先進的なメーカーでは、ナノガラス研究に着手している。

薄膜・バルクでナノガラス開発～日立製作所

【ナノガラス薄膜】

前述の大容量 DVD 用集光機能薄膜材料で、青色レーザーを対象とした DVD の製品化に乗り出している。すでに青色レーザー DVD は一部製品化されているが、レーザー自体の価格などで低価格化の障害があり、普及に時間を要すると見る声も大きい。市場では、まずは同技術を現在普及している赤色レーザー用 DVD システムで応用すべきとの声も強く、

図19. 有機-無機ハイブリッド材料による導電性膜 概念

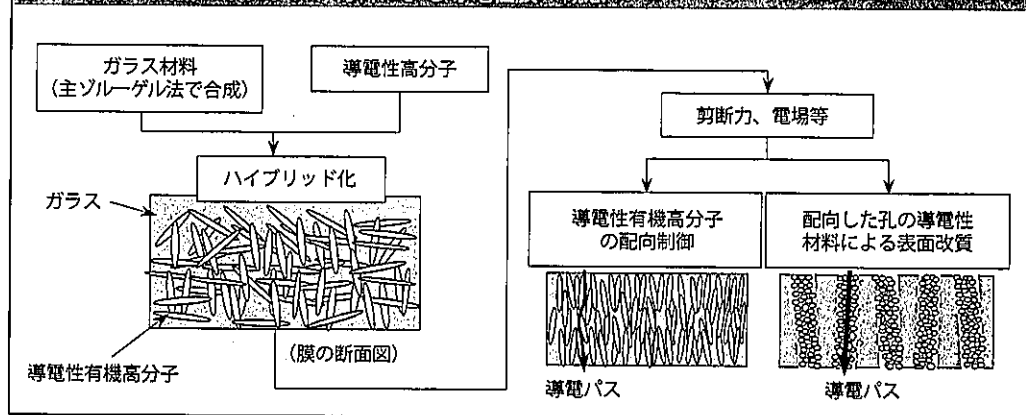


図20 ナノガラス薄膜材料の平面TEM写真

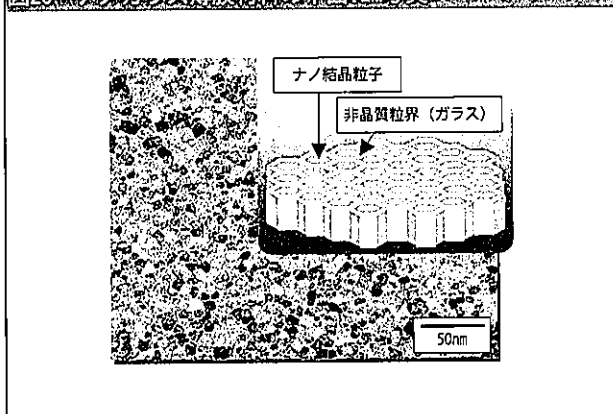
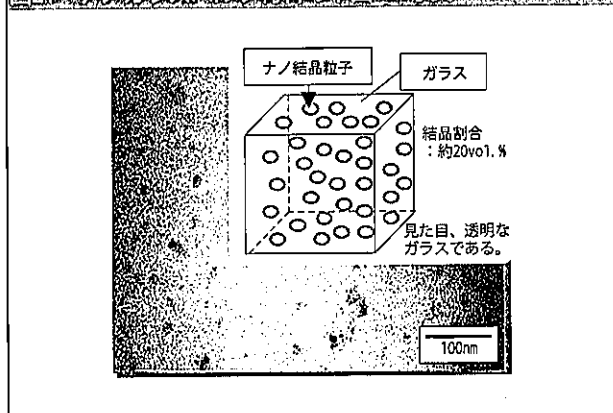


図21 ナノガラスバルク材料の平面TEM写真



同社にも引き合いは強い。同社では、当初から青色レーザーDVDでの適用を第一方針としているが、赤色レーザーDVDへの応用は日立製作所が特許を有することから、赤色レーザーDVDでの製品化の選択肢も可能性を残している。その場合には、現在の4.7GBの2倍となる約10GBへと大容量化を目指す。

DVDの大容量化には、市場でも様々なアプローチがある。また、DVDは規格標準化の課題が残されており、技術的優位性だけでは製品化は難しい。まずは普及、標準化、製品化というステップを踏むことになる。

同社では、このナノガラス薄膜技術でさらに2つの用途を生み出した。集光機能層が持つ可逆的屈折率変化という特性で1つ。ハニカム構造で1つ。

可逆的屈折率変化特性の派生技術としては、高速光スイッチへの応用を目指している。光の屈折率が変わる特性は、すわなち光路を制御できることを意味する。これを高速光スイ

ッチ技術に応用しようという研究だ。昨年10月から04年度末までの2年半の期間で発足した文科省のプロジェクトにおいて、同社が東京大学、日立電線とともに開発に着手している。この場合、通信波長1.55 μ mの光をスイッチングすることが求められるが、 Co_3O_4 では光の損失が大きいため、同様の特性を持つ全く別の材料を採用して、モデル試作を進めているという。

一方、ハニカム構造(図20)を利用する例としては、磁気ディスク(HDD)の垂直型磁性記録媒体用シード層に採用する開発が進められている。HDDは、記録媒体の粒子がディスク水平方向に磁化して記録する方式(面内記録方式)が採用されている。大容量化に伴い、粒子の結晶粒を微細化・薄型化し、高密度化するアプローチが進められてきたが、この先さらに微細化が進むと、信号体積の減少を生み、そこに熱がかかるとデータが消失するという問題が懸念されている。これに対する解として、粒子がディスクに対して垂直方

図22 磁気ディスク用ガラス基板の強化メカニズム比較

開発基板	従来の高強度基板	
ナノガラス(日立)	化学強化ガラス	結晶化ガラス
希土類酸化物の含有と母ガラス組織の調整によって実現した高強度ナノガラス構造 [TEM像]	アルカリイオン交換: $\text{Li}^+, \text{Na}^+ \rightarrow \text{Na}^+, \text{K}^+$ 圧縮強化層 20~100μm 圧縮強化層 [基板断面] 基板表面に圧縮強化層を形成することによってクラックの発生を抑制 [2.5" 基板断面偏光写真]	結晶粒子(約100nm) 非晶質部 [基板断面] クラックの進展を結晶粒子により抑制 基板表面SEM像

向に磁化して記録する垂直記録方式の開発が進んでいる。この垂直方式では、面内方式に比べディスクに対し水平方向の微細化・高密度化が追求でき、隣接する記録ビット同士に吸引力が働くことで、高密度で安定な磁化が得られる。

垂直記録媒体層となる磁性膜が垂直方向にうまく積層されるためには、シード層(種付け層)の結晶方向が垂直方向にきれいに揃っていないと行かない。そこで登場するのが前述のナノガラス薄膜である。スパッタの成膜条件を変え、酸素を入れて300℃に加熱すると、ハニカム状のコバルト結晶粒子の結晶方位を(111)方向に揃えることができる。この結晶配向性をシード層として用いるわけだ。年率100%で高密度化が進んでいるHDD市場で平方インチ当たり100Gビットを超える世代で垂直方式に移行せざるを得ないと見られている。同社では、140GBのDVDとして製品化を狙う。

【バルク型ナノガラス】

このほか日立では、バルク材料としてのガラスにナノテクノロジーを応用した研究成果もある。磁気ディスク用ガラス基板に採用したガラスの高強度化技術がそれである。

ガラス素材は平滑性に優れるため、磁気ディスクの大容量化の前提となる、磁気ヘッドの低浮遊化を実現できる。このため市場では、HDD基板の80%がアルミ製ではあるが、一部モバイル製品用途では徐々にガラス基板が普及している。

従来のガラス基板における高強度化の手法としては、主流

となる化学強化法(約80%で採用)と、結晶化法の2つの手法があった。化学強化法は、基板表面において、ガラスに含有したアルカリイオンを、粒径の大きな別のアルカリイオンに置換することで、ガラスを圧縮させ、クラックが伝播しにくくなる＝強度を上げる手法。一方の結晶化法は、ガラスを再度加熱することで100nm程度の結晶粒子を析出させ、クラックの伝播を粒子で防ぎ、強度を上げる手法だ。いずれの方法も1ステップの強化処理が必要で、かつガラス表面に大きなイオンや結晶が存在するため表面の平滑性は損なわれてしまう。

これに対し開発技術は、ガラス(SiO_2)中に、酸素原子を引き寄せる特性をもつ希土類イオンを混入させることで、酸素骨格を緻密にし、強度を上げる手法だ(図21)。数十nm間隔で希土類イオンを分布させ、結晶析出の一手手前まで酸素骨格を緻密化する(図22)。平滑性に優れ、低浮遊化＝高密度化を実現する。また、開発基板は特別な強化処理が不要なため基板加工が簡略化できる。HDD基板価格の60～70%を占めると言われる加工費を抑えることで、低価格化のポテンシャルを持った技術ということになる。従来のガラス基板はアルミ基板に対して30%から最大で100%程度価格が高くなってしまっているのが課題であった。

昨年8月からHDDのガラス基板へ採用されている技術だが、実際に応用範囲は広い技術であり、同社ではさらなる用途開発を進めている。

□フェムト秒レーザー□

フェムト秒レーザーとは、超短パルスレーザーの一種で、パルス幅がフェムト(10のマイナス15乗)秒台のものを指す。光りのエネルギーが超短時間に凝縮されているため、パルス先端で高いピークパワーを稼ぐことができ、ピークパワーは時に100億W以上となる。

平尾教授は、「フェムト秒レーザーの登場は、化学の世界を全く変えてしまった」と指摘する。「パルス幅が単にピコ(10のマイナス12乗)がフェムトに変わったのではない。分子を作る化学結合の振動の1周期よりも短いパルス時間幅を持つことで、分子の化学結合を自在に切断できるようになった。また、レーザー照射部位周辺で熱的・化学的損傷を殆ど受けないため、切断面が実にきれいで、極めて精密な加工精度を発揮する」と語る。平尾教授は、科学技術振興事業団で99年までの5年間で行われた「平尾誘起構造プロジェクト」でも、フェムト秒レーザーの持つ可能性は十分に実証されており、現在中国との間で進めている「フォトンクラフトプロジェクト」や「ナノガラス

技術プロジェクト」でも、フェムト秒レーザーは重要な役割を演じている。

フェムト秒レーザーによる加工技術は、ガラスのみならず多方面で大きな可能性が指摘されている。フェムト秒レーザーは、これまでアメリカ勢(スペクトラフィジックス社、コヒーレント社など)による寡占状態になっていた同市場に、このほど日本の有望ベンチャーが名乗りを挙げた。NEC出身者によって2000年2月に設立されたサイバーレーザー社である。

かつて1台1億円という時代から、現在でも4000万円はするといわれるフェムト秒レーザーだが、サイバーレーザー社は1台約2000万円という低価格化を実現し、高い安定性を保ちながら1万時間の連続運転を実施した高品質・高信頼性を誇る。サイバーレーザー社の登場は、国内にフェムト秒レーザー加工技術を一気に普及させ、日本の加工産業に新たな可能性をもたらすものと期待される。

PDP ガラスへ応用～セントラル硝子

「ナノガラス技術プロジェクト」の高強度化ガラス材料技術を引き継ぎ、FOCUS21の「ディスプレイ用高強度ナノガラスプロジェクト」を単独で採択し、10月から研究活動をスタートさせる。同社は、昨年からのPDP用ガラス市場へ参入を果たし、サンプル出荷を開始し、まもなく本格出荷を迎

える。今後、大型ディスプレイの本命と目されるPDP市場を強化したい同社では、プロジェクト参画に名乗りをあげ、単独での採択となった。

PDP製造工程は、室温から最高600℃までの範囲を何度も繰り返すことから、高い寸法安定性と強度が要求される。このためPDP用ガラスは、高歪点ガラスという特殊ガラスが用いられている(表2)。これまでの国家プロジェクトで

□「ナノガラスが不変因子を可変にする」プロジェクト評価委員 北川清一郎氏に聞く□

「日本は必ず世界に勝ちますよ。発想だけがモノをいう世界じゃないですから」と笑顔で語るのは、NEDOのナノガラス技術プロジェクトに技術評価委員として参画するナルックス(株)(大阪府三島郡本町山崎2-1-7, Tel.075-963-3456)の北川清一郎社長だ。プロジェクトには技術評価委員が7名いるが、産業界から参画しているのは、(株)ニコンから1名と北川氏の2名だけ。北川氏は、専門である光学系を中心に担当し、プロジェクトの進捗状況や問題・課題の軌道修正、テクノロジーとマーケットのマッチングなど、幅広い視野から評価・提言を行っている。

北川氏が率いるナルックスは、プラスチックやガラスの光学部品・光学設計メーカーとして著名だ。ナノメートル精度機械加工、リソグラフィー技術や転写加工を用いてDVDやDSC、プリンターなどの各種光学素子・ユニットを生産しており、国内外のエレクトロニクスメーカーから受注を得ている。民生分野はもちろん、国立機関向けの光学素子を受託生産した経験も保有。正社員165名(パートなどを含めた全社員は360名)のうち光学設計分野に10名、ナノ加工分野に20名が関わるなど、総勢70名の研究体制を整えている。製造装置や解析装置などの社内設備をすべて自社開発するエンジニアリング技術も持ち合わせている。

ナルックスはプロジェクトに参画していないが、(財)大阪科学技術センターが主催する関西ナノテクノロジー推進会議のナノマテリアル研究グループに参加している。光学設計では、光線のレートレースだけではなく、電場磁場の影響による回折現象を考慮した波の性質を追求しており、これをソフトウェア化する研究に注力している。こうした同社の研究課題が、プロジェクトに寄与する影響は決して小さくない。

プロジェクトにおける北川氏の活動は、今春から本格スタートした。すでに各評価委員と開発現場の視察1回、技術ディスカッション2回を実施している。北川氏が担当するテーマは、AWGモジュールや低損失スラブ導波路

などの低損失光導波路材料、3次元光回路形成材料、大容量光メモリーディスク用集光機能材料、高輝度ガラス蛍光体など多岐にわたる。「いずれのテーマもラボレベルではない、量産直前までのものづくりが進んでいるものも多い」と太鼓判を押す。

「プロジェクトの光学分野で重視しているのは、産業の促進に直結するための、マーケットと商品の関係。いかに小さく高機能にできるかはもちろん、量産性と信頼性、斬新性を問うているため、プロジェクトには要素技術と量産技術をバランスよく配置している。光学分野にナノテクノロジーを導入する意味は、『従来可変でなかった因子を可変すること』だ。これまでの光学技術は、ガラスをレンズにするか、プリズムにするか、3次元的な要素を議論するだけであり、光の屈折率などの因子は決まっていた。しかし、ナノガラスになれば、表面形状だけではなく、ガラス中にナノ素材を分散するなどして材料内部を設計し、これに屈折率や色、光の旋回性など材料特性を加味した4～5次元の設計が可能になる。こういう時代が間近に来る」と北川氏は説く。

日本の研究開発に対し、海外勢も黙っていない。米コーニングや独ショットらが進める産学連携、韓国・光州の光産業国家プロジェクトなど、ライバルも次世代をリードするため虎視眈々だ。「世界中の研究動向を勉強しながらプロジェクトを評価するのは大変」と苦笑しながら、北川氏は「ガラスは素材と加工のバランスが求められる分野。総合力が問われるだけに、産業基盤の豊富な日本に一日の長がある。とはいえ、光学ソフトウェアのレベルアップなど日本がやるべきことはまだまだ山積している」と気を引き締める。プロジェクトが終結する2005年、日本がナノガラス大国として歩む姿を期待してもよさそうだ。

(津村明宏)



北川清一郎氏

は、フェムト秒レーザーを高歪点ガラスへ照射した実績はない。同社では、本プロジェクトでフェムト秒レーザーを導入し、組成の違うガラスへの適用可能性、最適な照射間隔と照射位置などを追求する。開発目標は、現在2.8mmのガラス厚みを2mm以下にまで薄型化させて同様の強度を保ち、高スループットを確保する。パネル面積は最大で80インチまでを視野に入れ、05年度末までに試作品を出荷させる。

得意のガラス組成技術とナノテクを融合～岡本硝子

独自のガラス組成技術、フェムト秒レーザーを用いたガラス加工技術、ナノ薄膜形成技術などの保有技術を融合し、三次元光導波路形成への応用研究に着手する(図23)。

コア技術となるフェムト秒レーザー加工に関しては、2000年当時、当時東京理大渡辺教授と開発。銀イオン含有ガラスにフェムト秒レーザーを照射し、ガラス内部に結晶化等の構造変化を誘起し、さらに紫外線照射によって蛍光を発する現象を確認している。この構造変化を点状に形成すれば三次元メモリーに、線状に移動させれば導波路として利用できる。同技術は2002年に公開になっている。

銀イオン含有ガラスは、すでに放射能測定用の線量計ガラスとして実用化されているが、ガラスのベース組成を変え、生体親和性を持たせることで、研究機関とともに開発に乗り出しており、材料技術はすでに確立していた。銀イオン含有ガラスは製造に還元雰囲気という特殊な環境を必要としないため、安定した安価な材料として供給可能なのが特徴だ。

同様の研究は、同社も研究員を派遣するNEDOの「ナノガラス技術プロジェクト」では、三次元光回路の研究開発をテーマの1つに据えているが、同社では三次元光回路の前段階として、薄膜技術を利用しガラス表面に機能層を形成し、そこにレーザー加工によりデバイス・回路機能を持たせることを狙っている。機能層形成には、世界市場の約60%を握る同社の主力製品である液晶プロジェクター用反射鏡で培った薄膜技術を融合。反射鏡では、PVDにより膜厚50～

100nm、誤差Å単位(1Å=0.1nm)の膜厚制御技術を有する。

ナノガラスが将来にもたらすインパクト

(社)ニューガラスフォーラムによると、2010年のニューガラス市場は、2000年に8600億円(全市場1兆9000億円)に対し、1兆9000億円(2兆9000億円)が想定されているという。このニューガラスからの置き換えが、当初のナノガラス成長の基盤となる。これをもとに2010年のナノガラス市場規模を試算すると、約2300億円という規模になるという。雇用創出効果では9600人という数字が予想されている。この大半がニューガラスからの置き換え需要であり、新規創出市場はほとんどカウントされていないという。潜在的な市場規模は、まだまだ大きいということだ。

「ナノガラス技術プロジェクト」で取り上げた研究テーマは、いずれも日本発祥の独自技術である。このナノガラス技術の確立により、我々の想像をはるかに越えるインパクトが多産業の様々な場面に波及することになる。光通信網の普及が原動力となって、2007～08年に再び到来と言われる次期IT革命のキーマテリアルがガラスであることは、これまで見てきたとおりだ。その材料革命のイニシアチブを日本が握ることの意味は、単なる材料市場規模からは計り知れない。低迷する国内産業の起爆として大きな可能性を秘めていると言っても過言ではないだろう。21世紀が光の時代とするならば、ガラスはまさに戦略的最重要材料の地位を獲得しようとしていると言えないだろうか。ナノテクノロジーがもたらす夢の素材の本命は、もはやカーボンではなくガラスなのかもしれない。ナノガラス=光の時代はもうそこまで来ている。

表2 高歪点ガラス(CP600V)の材料特性

	CP600V	ソーダライム ガラス	
密度(g/cm ³)	2.74	2.49	
熱膨張係数(10 ⁻⁷ /°C)	85	86	
歪点(°C)	583	512	
徐冷点(°C)	631	553	
軟化点(°C)	829	733	
体積抵抗率	25°C	18.2	15.3
log ρ(Ω・cm)	250°C	10.3	7.3
	500°C	6.8	3.8

セントラル硝子のHPより

図23 レーザー照射による光導波路作成

