

ナノガラス、微細構造制御で新機能

微粒子で物性向上、光部品の形成も

ディスプレイや大容量記録媒体に実用化

家庭用品や工業用に広く使われているガラスの微細構造をナノレベルで制御し、これまでになかった新機能のガラスを誕生させようという「ナノガラス」の研究開発が進んでいる。微粒子の導入による物理的性質の飛躍的な向上や、新しい光学的構造の形成などの成果が上がっている。薄型・軽量ながら強度を高めたディスプレイや大幅に記憶容量を増やせるDVD（デジタル多用途ディスク）などの実用化を目指す動きも出てきた。

（主席研究員 江口正人）

■世界でも珍しいプロジェクト

ガラスは古くから光学材料として使われてきたが、最近では光ファイバーなどの光通信やプラズマ、液晶用平面表示装置、記録材料などの先端分野での利用が進んでいる。これはガラスに高い光透過性や熱・化学安定性、さらに加工容易性、量産性という優れた特徴があるためだ。

ナノガラスの研究開発では、ガラスの構造中にナノ

メートルレベルで制御した超微細構造を作る。ガラスが本来持っている機能を伸ばし、新しい特性を持たせて情報通信、エネルギー、環境など多方面での応用を目指そうという狙いだ（Fig 1）。

わが国では経済産業省の「ナノテクノロジープログラム」で新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が社団法人ニューガラスフォーラムと産業技術総合研究所に委託して平成13年度からナノガラス技術プロジェクト（プロジェクトリーダー・平尾一之 京都大学教授）で研究を進めている。京大や東北大学など6大学、また旭硝子や日本板硝子、HOYAなどガラス関係の企業11社も参加し、産学官連携体制で研究開発を進めている。このような取り組みの国家プロジェクトは世界でも珍しい。

■フェムト秒レーザーで周期的異質相

ナノガラス研究開発のアプローチは、ガラス中の異質相（周囲のガラスとは屈折率や機械的特性などの物性が異なった領域）や気孔などの形状と配列を制御して構造化する高次構造制御技術、超微粒子を分散させるなどの構造制御技術、原子、分子レベルでの構造制御技術といった方法がある。

高次構造制御技術のアプローチでは、ニューガラスフォーラムが室温でフェムト秒レーザーを照射し、ガ

- 〈各種光デバイス用〉
- ・光導波路、光分波器、光合成器
 - ・光路変換スイッチ
 - ・高効率光信号変調器
 - ・大容量光メモリーディスク
 - ・マイクロレンズ
 - ・3次元光回路
- 〈高強度・軽量ガラス用〉
- ・大型、薄型ディスプレイ用基板
 - ・航空機用窓ガラス
 - ・磁気ディスク基板
 - ・太陽電池基板
- 〈照明、ディスプレイ用〉
- ・高効率発光素子
- 〈エネルギー分野〉
- ・燃料電池用プロトン導電膜
- 〈環境分野〉
- ・ガス選択透過性気体分離膜
- 〈バイオ分野〉
- ・DNAチップ基板
 - ・バイオ分子センサー基板

Fig 1 ナノガラス技術成果の利用分野（NEDOの資料などから作成）

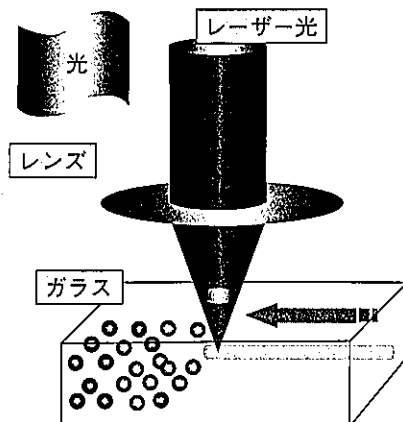


Fig 2 フェムト秒レーザーでガラス中に異質相を形成

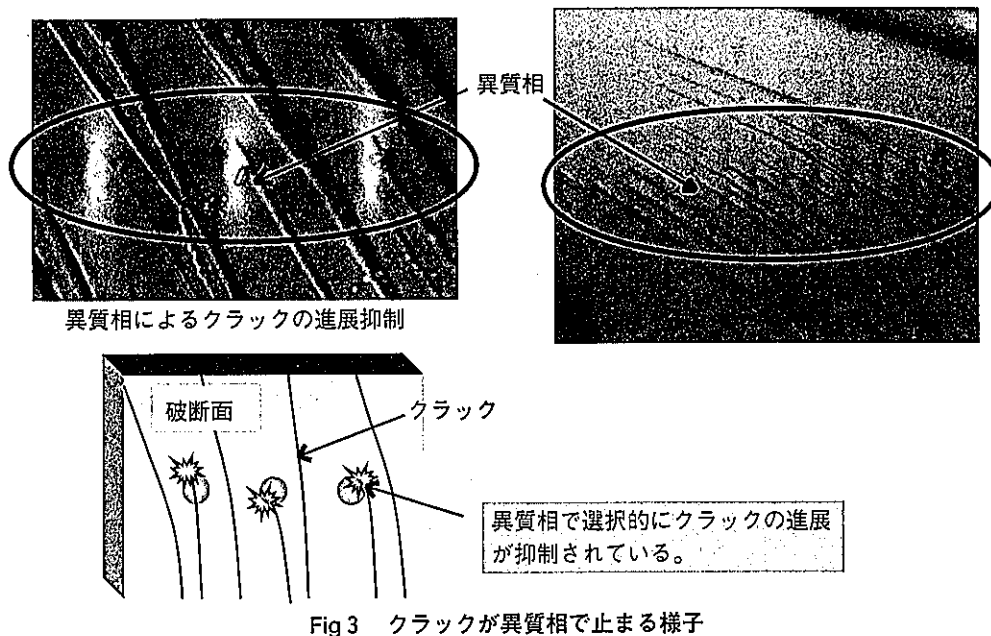


Fig 3 クラックが異質相で止まる様子

ラス表面近くの内部に応力緩和しやすい異質相を周期的に形成するのに成功した（前ページFig 2）。この構造にすると外部から加えられた衝撃によりガラスに発生したクラックが異質相で阻止され、ガラスの強度を1.5倍向上できること確認した（Fig 3）。

従来、ガラスを強化するのは加熱処理する必要があった。しかし、ニューガラスフォーラムの田中修平・ナノガラスつくば研究室長は「この方法では室温で済むほか、表層での加工なので製造に必要なエネルギーも少なく、ガラスの薄板化も可能になる」と新技術の特徴を説明する。

■「実用化に直結できる技術レベル」

小さなガラスの中に微小光部品を3次元的に形成する研究も進んでいる。この研究プロジェクトでは、フェムト秒レーザーを集中照射してガラス中に3次元的に異質相を析出させて屈折率差を生じさせ、光が導波されることを確認した。回折格子、回折マイクロレンズや3次元の周期構造など基礎的な光部品も形成した。

わが国のフェムト秒レーザーによる光導波路加工技術は現在、これらの成果で世界のトップレベルにあると見られ、2003年6月に実施したプロジェクトの中間評価でも、「実用化に直結できる技術レベル」と評価されている。実際の素子にするには、3次元にはできない部分をガラスの表面薄膜に2次元回路を形成し、これと組み合わせる方法を検討している（Fig 4）。

ナノガラス薄膜の集光機能を使った大容量光メモリ

用材料技術も成果を上げている。厚みが50～70nmの酸化コバルト（ Co_3O_4 ）系ガラス薄膜を作製し（次ページFig 5）、これに波長405nmの青色半導体レーザーを照射すると、薄膜の屈折率が40%以上変化して凸レンズのようになり、ビームの直径が半分に絞られ光の記録サイズを小さくできることを確認した。また応答速度も20ナノ秒と高速であり、これを組み合わせると従来の4倍の記憶容量が期待できる。

■半導体ナノ粒子を分散した蛍光体

超微粒子分散技術のアプローチでは、発光するテルル化カドミウム（ CdTe ）半導体ナノ粒子をガラス中に高濃度に分散する技術を産業技術総合研究所が開発した（次ページFig 6）。まず微粒子析出法で半導体ナノ粒子を合成する。それをゾルゲル法でガラス中に固定する。ガラスの組成や粒子との界面保護層を検討することでナノ粒子を高濃度に分散できる。「このように発光するナノ粒子を透明なガラス固体中に安定に保持できるようにしたのは世界で初めて」（西井準治・産総研光技術研究部門ガラス材料技術グループリーダー）という。

従来の蛍光体は希土類イオンを添加した酸化物か硫化物がほとんどで、励起光を強くしても蛍光に効率よ

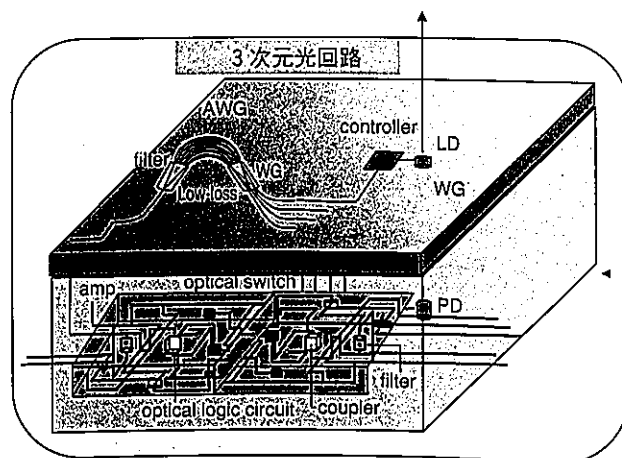


Fig 4 2次元と3次元の光回路を組み合わせる



Fig 5 電子顕微鏡で撮影したナノガラス薄膜の構造

く変換されない。その点、半導体ナノ粒子による発光は希土類より発光サイクルを素早く繰り返せるので非常に高い輝度が実現できる。また粒径により様々な色の発光ができ、有機色素より劣化が少ないなどの特徴があることから注目された。ただ半導体微粒子の溶液のままでは不安定で応用も難しかった。

今回の成果では従来の蛍光塗料に比べて励起光強度が強い場合は3倍以上、輝度が高くなる。研究成果は、ガラスやポリマーなどの基板に塗布して、高精細ディスプレイや照明用蛍光体、医療やバイオテクノロジー分野での細胞内化学反応の検知などへの利用が期待できる。

■ディスプレイなどで1000億円以上の市場を予想

このようなナノガラスの研究成果を実用化につなげようと経済産業省は平成15年度からフォーカス21（経済活性化のための研究開発）プロジェクトの中で「ディスプレイ用高強度ナノガラスプロジェクト」と「デバイス用高機能化ナノガラスプロジェクト」の2つを開始した。「委託先企業は3年間で製造技術の開発や市場への投入も考えて取り組むことになっている」とNEDOナノテクノロジー・材料技術開発室の山出善章主査は狙いを語る。

関係者によるとディスプレイ用高強度ナノガラスの市場は、プラズマ・ディスプレイ・パネル（PDP）と液晶ディスプレイの合計で780億円、雇用創出は約3300人と予想される。またデバイス用高機能化ナノガラスの市場はDVD-RAMメディアと光分波・合波器用

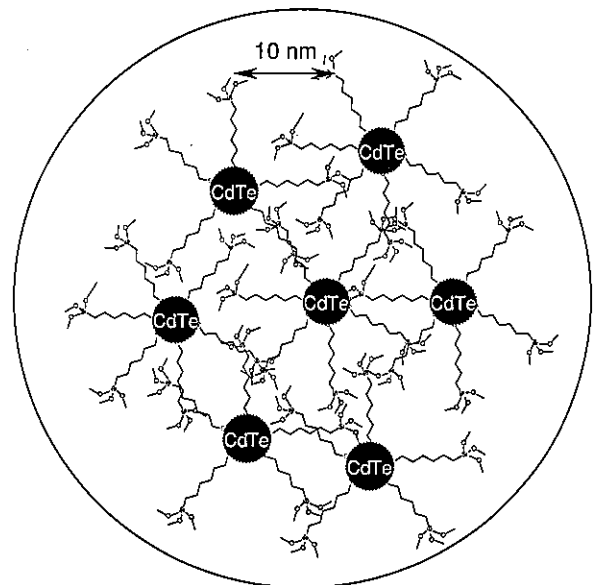


Fig 6 ガラス中の超微粒子の様子

を合わせて350億円、雇用創出は約1500人が見込まれるという。

ディスプレイ用高強度ナノガラスプロジェクト（プロジェクトリーダー、堤憲太郎セントラル硝子研究所長）は、大型壁掛けテレビなどで必要になる大面積薄型ガラスの実用化を目指すもので、セントラル硝子が委託実施者になり3カ年計画で進める。研究開発ではフェムト秒レーザーでガラス基板中に光の波長の10分の1以下になる1 nmから数十nmレベルの異質相を適切に配列して析出させてガラス基板を強化する。合わせて大面積のガラス基板を短時間で強化、処理する技術に開発に取り組む。最終的には32インチガラス基板を高強度加工して強化前ガラスに比べて強度が4倍以上であることを実証する。

デバイス用高機能化ナノガラスプロジェクト（プロジェクトリーダー、村山明宏東北大学助教授）では、①高密度DVD用集光機能ナノガラス薄膜の開発（担当：日立製作所）②光導波ナノガラスデバイス用ガラスの開発（日立電線）③高波長分散ナノガラスデバイス用ガラスの開発（日本板硝子）——の3テーマに取り組む。

高密度DVD用集光機能ナノガラス薄膜では、外径120mmのDVDの全記録面で応答速度が5ナノ秒、屈折率変化率が20%以上のナノガラスを開発し、この成果を元に2007年ごろに350GBのDVDの製品化を目指す。光導波ナノガラスデバイスでは、光導波路のコアとクラッドの屈折率差を2～4%に高め、導波ガラス膜損

失を0.01デシベル/cm以下、光回路形成時の損失を0.02デシベル/cm以下を目標とする。高波長分散ナノガラスデバイスは、温度や湿度などの環境変化に対しても安定な波長多重用光回路に使う回折格子素子を開

発する。そのために膜厚精度15nm以下の光学多層膜作製技術やアスペクト比5以上の微細加工技術の確立を目指す。