

日本セラミックス協会 “The 15th Meeting on Glasses for Photonics” 参加報告

日本板硝子㈱ 技術研究所

橋高 重雄

Report on “The 15th Meeting on Glasses for Photonics”

Shigeo Kittaka

Technical Research Laboratory, Nippon Sheet Glass Co., Ltd.

日本セラミックス協会ガラス部会フォトンクス分科会の主催による“*The 15th Meeting on Glasses for Photonics*”は、1月31日に新宿区百人町の日本セラミックス協会会議室で開催され、15件の発表があった。あまり広いとはいえない場所にもかかわらず約50人が参加し、熱気さえ感じさせられた。講演内容のうちいくつかを、以下に紹介する。

ナノインプリント

SCIVAX社の後藤博史氏により、熱式ナノインプリント技術の現状についての解説がなされた。ナノインプリンティングを応用した光素子としては回折格子、フォトンニック結晶、マイクロレンズ、反射防止膜が期待されており、バイオ用流体素子、次世代磁気/光ディスクの微細構造形成、バックライトパネルの反射防止などへの用途も考えられている。パターン間隔が100~200 nm オーダーの構造をつくるには、

ナノインプリントが最も有効な加工方法と考えられる。現時点での課題としては、プロセス時間（現状は数十分~1時間）の短縮、金型（高いものは数百万円）の寿命延長、材料特性（転移点など）のバリエーション拡大があげられる。SCIVAXでは超音波の印可により離型性を良くしている。ナノインプリンティングは初期投資がかかるので、SCIVAXは産総研と協力してナノインプリントコンソーシアムによる普及をめざしている。

光増幅器

EDFA (Erbium doped fiber amplifier) に代表されるファイバーアンプは、もはや光通信に欠くことのできないデバイスである。本講演会でも、ファイバーアンプの帯域を広げたり、光路長を短くするために、その原料であるガラスについてのさまざまな研究が報告された。ファイバーアンプの帯域や増幅率の拡大は通信システムへのインパクトが大きいこともあってさまざまな材料が試されており、「ガラス屋」の腕の見せどころである。

セントラル硝子㈱オプティカルデバイス開発

室の久保田能徳氏からは、フッ化物ファイバー光増幅器の技術的進展と展開についての紹介がなされた。フッ化物ガラスとしては ZBLAN が有名であるが、 SiO_2 と比べると熱安定性が低い（転移温度、結晶化温度が低い）、熱膨張率が大きい、機械的強度が弱い、水に弱いといった問題点がある。しかし、希土類の濃度を高くできるので増幅のためのファイバー長が短くてすむ。融着条件の最適化により石英ファイバーとの融着が可能となり、接続損失は平均 0.3 dB であった。CeF₃ を共添加することで 980 nm 励起での増幅効率が大幅に改善し、小信号利得で 30 dB 以上を得た。応用展開として利得スペクトルの広帯域化があり、ファイバー組成と増幅器構成の最適化により、100 nm 以上の増幅帯域幅を持つカスケード型 EDFA が得られている。

豊田工大の鈴木健伸氏からは、Ni²⁺ イオン添加透明結晶化ガラスの近赤外蛍光特性についての解説がなされた。Ni²⁺ は 1200–1700 nm の波長領域で発光するため、広帯域一括増幅イオンとして有望である。亜鉛アルミノ珪酸塩ガラス中に Ni イオンを含有するナノ結晶を析出させることで、室温において発光を観測した。ガラス（シリケート系）状態では褐色をしているが、適切な条件でのアニールで緑色（6 配位）に変化する。TEM 観察、SAD（制限視野回折）で、ガラスマトリックス中に 10–15 nm の結晶（ZnAl₂O₄）の析出を観察した。この結晶化ガラスに 976 nm のレーザー光を照射したとき、約 1400 nm を中心として半値幅 300 nm 以上のブロードな発光が観測できた。蛍光寿命は約 240 μs（300 K）であり、光増幅の可能性が期待できる。ファイバー引きは、まだ実施していない。

旭硝子株式会社中央研の笹井淳氏からは、EDFA の性能を上げるためのポイントとして、広帯域化と Er 高濃度化についての発表があった。ベースガラスを $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-La}_2\text{O}_3$ 系とすることにより、Er 量が 2 倍となり、La の作用

により帯域が広がる。これらはガラス中の Er イオン周辺の酸素配位子構造に依存しており、局所構造を知ることは材料設計の観点からも興味深いものとなっている。Er イオンの局所構造と光学特性の関係を MD 計算、XAFS 測定を用いて調べ、La₂O₃ 高含有シリケートガラスの場合の La イオンの影響を調べた。

京都大院人間環境学研究所の山崎祐史氏は、Er ドープガーネット単結晶によりファイバーよりもさらに小型化した平板導波路による増幅素子をめざしている。U-band（1625–1675 nm）帯に注目し、YAG（Y₃Al₅O₁₂）および YGG（Y₃Ga₅O₁₂）の Al, Ga を Sc で置換固溶したホスト組成に Er を添加し、固相反応によりガーネット焼結体を作成した。また、イメージ炉を用いた FZ 法によりガーネット単結晶を作成した。吸収スペクトルから、本材料は 1.6–1.7 μm 帯増幅媒体としての可能性を期待できると考えられる。現状では円柱単結晶サンプル（φ5 mm）の吸収に基づく実験段階であるが、将来的には平板導波路による増幅素子をめざしている。

結晶化ガラス蛍光体

京都大院人環の田部勢津久氏により、白色 LED 用 YAG 結晶化ガラスの発表がなされた。青色 LED により Ce³⁺: YAG を励起するタイプの白色 LED は Ce: YAG 粉末蛍光体を樹脂で固定する構造であるが、アセンブリ工程の煩雑さや樹脂の劣化などの問題があった。これを改善するため、Ce: YAG 結晶含有結晶化ガラス蛍光体の創製を試みた。組成は Ce イオンをドープした $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3$ 擬 3 成分系で、Ce ドープ量は 0.5 mol% が最適である。結晶粒径は 10–20 μm でガラス中にほぼ一様に分散しており、結晶化温度が高いほど発光強度が高かった。組成系から化学的耐久性に優れることが予想され、硬度が高いなど機械的特性にも優れている。厚み 0.6–0.9 mm の結晶化ガラス板に青色 LED（中心波長 460 nm）を照射すると

540 nm 付近の黄色発光が認められ、励起光との混合により白色光が得られることが分かった。複合 LED としての発光効率は約 15 lm/W で、市販白色 LED と同程度であった。均質ガラスから YAG を結晶として析出させたのは世界初である。

フォトニック結晶

最近注目を集めている「フォトニック結晶」の概念に基づいたユニークな構造や素子の発表も多数あった。

橘高からは、最も単純な 1 次元フォトニック結晶である誘電体多層膜を用い、伝播光を高次モードとすることにより新しい機能を持たせる試みが発表された。スラブ導波路実験による分散の大きい高次モード伝播光が確認されている。

ニューガラスフォーラムの大家和晃氏からは、フォトニックバンド構造をたくみに利用したスーパープリズム効果による平板状の高分散回折素子が発表された。石英にアスペクト比 3 以上の大きい溝をエッチングにより形成してから、空気溝を埋めることなく SiO₂ のオーバーラッピングが可能であることが示された。

また、非線型性の大きいテルライトガラスの十字型プリフォームをパイプに入れて延伸した、空洞をクラッドとするファイバーが NTT フォトニクス研の森淳氏からなされた。1.5 μm 帯に零分散波長を有するので、パラメトリック過程が高効率になる。計算上、モードはシングルではないが、シングルモード光をコアに入射させるとシングルモードで伝播する。

ナノ結晶

長岡技術科学大学の藤原巧氏により、「ガラスにおけるレーザー局所構造制御と機能性発現」の発表があった。非線型材料としてガラスと結晶を比べると、

ガラス：安価、作りやすい、(原理的に)
2 次非線形がない

結晶：効果、作りにくい、非線型効果大きい

という特徴があるので、ナノ結晶化ガラスによる「いいとこ取り」を目指している。たとえば、ニオブ酸リチウムではガラスファイバーとの融着ができないが、ガラス材料ならば可能となる。また、ナノ粒子を規則的に配列した近接場光伝播による光回路の試みが説明された。現状では、伝播損失などは未評価である。

ガラス超半球

東工大院の岸哲生氏により、ガラス超半球の微小光学素子への応用が発表された。カーボン基板(平均粗さ 2 nm 以下)上に微小なガラス片を載せて加熱すると、表面張力により超半球形状の微小レンズ(μm オーダー)を作ることができる。超半球の形状は基板との接触角 θ によって決まる。応用としては、結像光学系の開口数をアップさせる SIL (Solid Immersion Lens) として、ボロシリケートガラス(20Na₂O-10CaO-xB₂O₃-(70-x)SiO₂)を使うことができる。また、(20Na₂O-10CaO-70SiO₂)ガラスに Er₂O₃ を 0.5 添加したガラス超半球共振器の発光特性を評価して、Q 値(発光波長/発光波長の半値全幅)が 1000 以上であることが確認された。

光ヒューズ

物材機構物質研の轟真一氏からは、「光ヒューズ」の発表があった。純 TeO₂ ガラスをシングルモードファイバーの途中にはさむと過大なエネルギーにより溶けて断線させることができるが、反応時間は数百 ms であり、米国ベンチャー企業による「金属膜を挟む」方式よりも遅い。そこで、反応のスピードアップのために、結晶化による損失増大と切断に至るプロセスを詳しく調べた。

招待公演：自動車まわりの光技術

最後に、豊田中央研究所の伊藤博氏より「自

「自動車まわりの光技術」の招待講演があった。自動車の世界で光技術はマイナーな存在であるが、将来性のある分野として自動車内のネットワーク（車載用 LAN）とレーザー加工（溶接など）が紹介された。

車載用 LAN は欧州で盛んであるが、日本、米国ではコストと信頼性の点からほとんど採用されていない。しかし、ビデオカメラが監視用に使われるようになると高速光 LAN が必要となる。豊田中研ではコストと整備性を重視して POF（プラスチック光ファイバー）と可視 LED を用いた車載 LAN を開発している。モジュールのターゲット価格は ¥200 である。送受信モジュールを低コストで実現するために、樹脂を

導波光にそって重合させる自己形成光導波路技術を開発した。導波路部の損失は、0.2 dB/cm で、これにフィルタを挟み込み WDM モジュールを作り込む。POF との接続は光ハンダで行う。ガラス材料はフレキシビリティがなく、高く、大きく、重たいというイメージが定着しており、できるだけポリマーにしたいというのが本音である。

レーザー加工も欧州が先行していて日米はまだ消極的である。問題はイニシャルコストとランニングコストであるが、LD 励起 YAG の次世代と考えられる LD ダイレクト方式のビーム品質が良くなれば、生産工程で使用されるようになる可能性がある。