

ガラスと光に魅せられて

豊田工業大学先端フォトンテクノロジー研究センター

荒井 雄介

Enchanted by glass and light

Yusuke Arai

Research Center for Advanced Photon Technology, Toyota Technological Institute

ガラスや光に初めて興味を持ったのは、天体観測を始めた小学4年生くらいだったと記憶している。肉眼では光のしみにしか見えないプレヤデス星団が何故こんなにはっきりと美しく見えるのか、日食の日の木漏れ日はどうして全て欠けた形になるのか、考えてもわからない不思議な世界がそこには溢れていた。

しかし、この世界に飛び込むことになった直接のきっかけは、大学3年時の研究室見学の際に見た微小球レーザーの顕微鏡写真だろう。真っ暗な背景の中に赤く輝くリングが、数マイクロメートルサイズのレーザー共振器だと説明を受けた時に、ファブリ=ペロー型共振器しか習ったことの無い筆者はすっかり魅了されてしまった。魅了されるままに、学部修士、博士論文研究とその光共振用微小球を通してガラスと光に関する研究に携り、PD研究員となった今も研究を続けさせて頂いている。

学生時代のキーワードは「ハイブリッド材料」「高屈折率」「光共振用微小球」

先述の通り、筆者は学部生として研究室に所属してから博士号を取得するまで一貫して光共振用微小球に関連する研究に取り組ませて頂いた。通常ファブリ=ペロー型共振器が2枚の反射鏡を利用して共振器構造を作るのに対して、球の形状自身を共振器として利用する光共振用微小球は、光閉じ込め効率の指標であるQ値が極めて高いことが知られており、各種微小光学素子への応用が期待されている（光共振用微小球の詳細については、参考文献1）等を参照されたい）。球内壁を利用した全反射による光閉じ込め機構であることから、微小球のQ値は、球の形状および表面状態はもちろんのこと、粒径 d 、相対屈折率（球の屈折率/周囲の媒質の屈折率）等によって左右される。ここで、シングルモードの導波路と組み合わせて使用するには、 $d \approx 5 \mu\text{m}$ 程度でなくてはならない。この条件下で光閉じ込めを実現するには相対屈折率が1.5以上必要となるが、クラッド層で被覆することを考えると球自体の屈折率は2.0以上

〒468-8511 名古屋市天白区久方 2-12-1

TEL 052-809-1862 (ダイヤルイン)

FAX 052-809-1869

E-mail: yusukea@toyota-ti.ac.jp

が要求される。

当時、研究室では既に「振動オリフィス法」という独自の微小球作製法が軌道に乗り始めた段階であった。これは、有機・無機ハイブリッド材料の出発溶液から単分散液滴を生成、固化することで、液滴の自由表面による優れた真球形状を持ち、 $\pm 0.1 \mu\text{m}$ で粒径制御された微小球を作製可能である特長を持つ手法である。しかし、ハイブリッド材料の高屈折率化自体が困難であることから屈折率 2.0 以上を有する微小球は得られていなかった。

そこで筆者は、新規高屈折率有機・無機ハイブリッド材料を作製することで、従来得ることができなかった高屈折率光共振用微小球の実現を目指した。Ti アルコキシドと Si アルコキシドを出発原料として、ゾルゲル法により高屈折率ハイブリッド材料 (屈折率 ≈ 1.7) を作製し、これを熱処理し無機非晶質化することで屈折率 2.0 を越える高屈折率材料が得られることを明らかにした²⁾。この材料を用いて振動オリフィス法により作製した、ローダミン 6 G 添加ハイブリッド微小球 (屈折率 1.72) においてレーザ発振を実現した³⁾。また、Eu イオン添加ハイブリッド微小球を同様に作製し、これを 400°C 以上で熱処理することで、屈折率 2.0 を越える高屈折率光共振用微小球を実現した。熱処理に伴い有機成分が分解・脱離することで体積が大幅に減少してもなお真球形状を維持し、共振器として動作することを確認した⁴⁾。さらにこの微小球をガラスレジン (屈折率 ≈ 1.5) で被覆した状態においても共振スペクトルを測定することに成功した。

現在のキーワードは「超広帯域光増幅媒体」

昨年より、豊田工業大学先端フォトンテクノロジー研究センターにおいて PD 研究員として新規超広帯域光増幅媒体に関する研究に従事している。これは来たるユビキタスネット社会の基盤となる超高速大容量光通信に不可欠である、全伝送帯域 (波長 1.0~1.7 μm) を利用し

た次世代高密度波長多重伝送技術の鍵となるものである。現在の光通信網では Er イオン添加光ファイバ増幅器が主に利用されているが、増幅帯域が 1.52~1.57 μm と狭く、他の希土類金属イオン (Pr^{3+} , Tm^{3+}) を併用しての広帯域化も離散的帯域に過ぎない。また、原理的にも静電遮蔽された 4 f-4 f 遷移由来の発光であり周囲の影響を受けにくい広帯域化が難しい。そこで、希土類金属イオンに依らない新規な超広帯域光増幅媒体の実現を目指して研究に取り組み、これまでに以下のような成果を得た。

遷移金属添加ナノ結晶分散有機・無機ハイブリッド材料による新規透明光増幅媒体の作製

近赤外域において広帯域発光を示す Ni: MgO および Cr: Mg_2SiO_4 ナノ結晶微粒子を噴霧火炎法により作製し、これらを有機・無機ハイブリッド材料中に凝集させることなく均一分散させ固定化した。ホストであるハイブリッド材料の屈折率を制御してナノ結晶微粒子とマッチングさせることで散乱を低減させ、透明な光増幅媒体が実現可能であることを示した⁵⁾。

Bi 添加シリケートガラスおよび新規 Te 添加透明結晶化ガラスの作製と近赤外発光特性の評価

Bi 添加リチウムアルミノシリケートガラスにおいて、ホストガラスの種類や励起波長、Bi 添加濃度による発光特性の変化を調査した。添加濃度および励起波長による発光スペクトルの変化を解析し、その結果、各組成の試料において適切な励起波長を選択することで、半値全幅 500 nm 以上の広帯域発光を実現した⁶⁾。また、Bi 添加ソーダアルミノシリケートガラスが、半値全幅 600 nm 以上の広帯域発光を示すことを初めて見出した⁷⁾。発光波長域がリチウムアルミノシリケートガラスよりも短波長側へシフトしたことから、ホストガラスを選択することによる発光波長域の制御可能性を示した。

さらに、従来発光が知られていなかった Te

添加ガラスにおいて、新規に作製した Te 添加透明結晶化ガラスから、近赤外域における半値全幅 400 nm に達する広帯域発光を本研究において初めて見出した⁸⁾。

これらのガラスについて発光スペクトルおよび発光寿命の測定結果を基に誘導放出断面積および性能指数を算出した。その結果、既存のレーザ媒体 (Ti:Sapphire 等) と比較して遜色の無い値であることがわかった。以上の結果から、これらの材料が超広帯域光増幅媒体として有望な候補であることを明らかにした。

以上、これまで筆者が取り組んできた研究について駆け足で紹介させて頂いた。これらの研究を遂行するにあたって諸先生、先輩方の薫陶を受けたお陰で、一步一步ガラスと光を極める(?)階段を上って行くことができたわけだが、そろそろ手をひかれながら進むだけでなく自分の力で少しずつはばたき始めなくてはならない(次世代を担えるかどうかはさておき)。まだ、喫緊の課題に振り回されるばかりで遠くのことを見る余裕の無い筆者であるが、これからも「ハイブリッド材料」「高屈折率」「光共振用微小球」

「超広帯域光増幅媒体」といったキーワードを軸足にして研究の幅を広げていければ、と思っている。そして何よりも、この世界に魅せられるきっかけとなったあの「ドキドキ感」「ワクワク感」を忘れずに精一杯はばたいていきたい。

参考文献

- 1) 柴田修一, NEW GLASS, 18 No.3 (2003) 47-52.
- 2) Y. Arai, T. Yano and S. Shibata, *J. of the Ceram. Soc. of Japan*, 112 S 248-S 251 (2004).
- 3) Y. Arai, T. Yano and S. Shibata, *Appl. Phys. Lett.*, 823173-3175 (2003).
- 4) Y. Arai, T. Yano and S. Shibata, *J. of Sol-Gel Sci. and Tech.*, 32189-194 (2004).
- 5) Y. Arai, T. Suzuki, Y. Ohishi, T. Tani and S. Saeki, *Proc. of XXIst International Congress on Glasses* (Strasbourg, France 2007) J 36.
- 6) Y. Arai, T. Suzuki and Y. Ohishi, *Proc. of XXIst International Congress on Glasses* (Strasbourg, France 2007) M 21.
- 7) Y. Arai, T. Suzuki, Y. Ohishi, S. Morimoto and S. Khonthon, *Appl. Phys. Lett.*, 90261110-1-261110-3 (2007).
- 8) Y. Arai, T. Suzuki, Y. Ohishi and S. Morimoto, *Proc. of XXIst International Congress on Glasses* (Strasbourg, France 2007) M 6.