

京都大学	博士 (工 学)	氏名	岡 本 英 之
論文題目	Studies on Visible Fluoride Fiber Lasers and White Light Emitting Fluoride Glasses (可視光フッ化物ファイバーレーザーおよび白色発光フッ化物ガラスに関する研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、フッ化物ガラスを用いた可視光波長可変レーザーや白色発光ガラスに関する研究成果をまとめたものであり、紫外～青色波長の半導体光源で励起することにより、広帯域かつ高効率な固体光源が創出できることを述べたものであって、全四章からなっている。</p> <p>第一章は、後章で使用されるフッ化物ファイバー (ZBLAN) の作製方法およびその特性を述べている。まず、高純度フッ化物原料を熔融し、キャスト法および押し出し成型法を用いてプリフォームを作製した後、線引きすることによってコア径 3.5-4.0 μm のファイバーを得ている。得られたフッ化物ファイバーの透過損失は波長 635 nm において 0.35 dB/m であり、検討の結果、白金粒子、気泡や結晶などの異物が損失の要因であることを確認している。これらの欠陥を抑制すれば、高効率なファイバーレーザーが構成できる事が示唆されている。後章において、これらの欠陥を取り除いた高品質なファイバーを作製し、そのレーザー発振の検討を詳細に行っている。</p> <p>第二章は、プラセオジウム (Pr<sup>3+</sup>) 添加フッ化物ファイバーを用いた、広帯域な可視～近赤外波長可変レーザーの特性について述べている。波長 448 nm の GaN 半導体レーザーで Pr<sup>3+</sup> 添加フッ化物ファイバー (コア径 : 3.8-3.9 μm、Pr<sup>3+</sup> 添加量 : 3000 ppm、長さ 9 cm) を励起し、共振器中にプリズムを挿入して波長選択することによって、広帯域な発振特性が得られることを示している。レーザー発振が連続的に確認された波長帯は、479-497, 515-548, 597-737, 849-960 nm であり、波数領域でみた合計波長可変範囲は 6469 cm<sup>-1</sup> に及んでいる。これは、一般的な Ti:Sapphire レーザーの波長可変範囲 (650-1100 nm : 6294 cm<sup>-1</sup>) よりも広範囲である上、単一の空冷青色 GaN レーザーダイオードにより励起されているため、コンパクトな波長可変固体レーザー光源が実現できることを見出している。単一の希土類イオンで得られた波長はシアン～緑～赤色の波長範囲に広がっており、ディスプレイ用光源としても有望であることを示している。</p> <p>第三章は、新規の全ファイバー型レーザー共振器により構成された高効率可視光レーザーについて述べている。従来のフッ化物ファイバーレーザーの共振器では、フッ化物ファイバー端面にミラーが押し付けられ、励起光はそのミラーを介して外部からファイバーに集光されており、耐候性の低いフッ化物ファイバーの端面が大気に曝露されるという問題があった。本章では、放電型ファイバー融着機を用い、石英ファイバーとフッ化物ファイバーを直接融着する方法を示している。この手法により、光エネルギーが集中するフッ化物ファイバーの端面を大気曝露から避けることができ、信頼性の高いフッ化物ファイバーレーザーを実現している。さらには、フッ化物ファイバーと石英ファイバーの軟化温度の差に注目し、端面に誘電体多層膜が成膜された石英ファイバーとフッ化物ファイバーを直接融着することにより、その融着構造がレーザー共振器として機能することを実証している。波長 442 nm、および 448 nm の青色励起光を偏光結合し、3.5 μm の石英ファイバーのコアに 652 mW の励起光を導入することで、融着接続された Pr<sup>3+</sup> 添加フッ化物ファイバー (コア径 : 3.6 μm、Pr<sup>3+</sup> 添加量 : 3000 ppm、長さ : 13 cm) が励起されている。その結果、半導体レーザーにおいて高出力化</p>			

京都大学	博士 (工 学)	氏名	岡 本 英 之
<p>が困難な緑色（波長 521 nm）において、出力 322 mW、スロープ効率 53%が得られ、そのスロープ効率は緑色ファイバーレーザーとして最も高い値が得られている。前記の誘電体多層膜を含む融着構造は、ファイバースラッググレーティング (FBG) と代替可能であり、かつ任意の低融点ファイバーと石英ファイバーの融着にも応用できることを示唆している。</p> <p>第四章は、2 価のイッテルビウムイオン (<math>\text{Yb}^{2+}</math>) を用いた白色発光フッ化物ガラスに関するものであり、白色固体照明への応用について述べている。近年、高効率な固体照明光源として注目されている白色発光ダイオード (白色 LED) は、一般的に青色 GaN チップと YAG-Ce 黄色蛍光体により構成されているが、①青色チップから発せられた比較的狭帯域な青色光の一部をそのまま照明光として使うこと、②青緑色や赤色のスペクトル成分が少ないなどの問題点が指摘されている。本論文は、近紫外光で励起可能な白色発光材料を <math>\text{Yb}^{2+}</math> を含むフッ化物ガラスによって実現するものである。これまで、<math>\text{SrF}_2\text{-YF}_3\text{-AlF}_3\text{-MgF}_2</math> 系フッ化物ガラスで <math>\text{Yb}^{2+}</math> による白色発光が得られているが、励起ピーク波長が 250 nm 以下であるため、ストークスシフトによる熱的損失が避けられなかった。Zr や Hf を含まない <math>\text{AlF}_3</math> 系フッ化物ガラス (<math>\text{AlF}_3\text{-BaF}_2\text{-MgF}_2\text{-CaF}_2\text{-SrF}_2\text{-YF}_3</math>) に <math>\text{YbF}_3</math> を添加し、3%水素雰囲気下で熔融することで、<math>\text{Yb}^{2+}</math> による白色発光が高効率に得られることを示している。Al 系、Al-Zr 系や Al-Hf 系フッ化物ガラスにおける Yb イオンの還元率 (<math>\text{Yb}^{2+}/\text{Yb}^{2+}+\text{Yb}^{3+}</math>) はいずれの系においても約 10%であるにもかかわらず、<math>\text{AlF}_3</math> 系のみ高効率な発光が得られることから、<math>\text{Zr}^{3+}</math> (または <math>\text{Hf}^{3+}</math>) と <math>\text{Yb}^{2+}</math> が共存することで、白色発光が抑制されることを論じている。さらに、組成の一部を塩化物に置換することにより (<math>\text{BaF}_2 \rightarrow \text{BaCl}_2, \text{SrCl}_2</math>)、GaN のバンドギャップ (3.4 eV) 付近で励起スペクトルが増大することを見出している。その結果、発光効率は大幅に改善され、内部および外部量子効率はそれぞれ 42%、34%を達成している。塩化物の導入により発光色は青白色にシフトしたが、<math>\text{MnF}_2</math> を微量に添加することによって、発光色の色調を制御できることを明らかにしている。得られたスペクトルの半値幅は 300 nm 以上に及び、可視域で広帯域な光源が得られることを示している。</p>			

氏名	岡本英之
----	------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、フッ化物ガラスをベースとした可視域固体光源に関するものであり、直接上準位励起による広帯域・高効率な可視光ファイバーレーザー、および近紫外励起による白色発光ガラスについて詳細に調べたものである。青色光で励起された  $\text{Pr}^{3+}$  添加フッ化物ファイバーは従来よりも広帯域な特性を示すことを見出しており、また、耐候性の低いファイバー端面を大気曝露から抑制する新規の全ファイバー共振器を提案・動作実証している。また、2 価の Yb イオンによる白色発光を高効率化するため、発光を阻害する成分や発光特性を詳細に調べている。本研究で得られた成果は次のとおりである。

(1) 原料から一貫生産した  $\text{Pr}^{3+}$  添加フッ化物ファイバーを青色 GaN 半導体レーザーで励起することにより、可視～近赤外域において広帯域な波長可変レーザーが得られることを示している。波数領域での合計波長可変範囲は  $6469 \text{ cm}^{-1}$  に及び、Ti:Sapphire レーザーに匹敵する波長可変特性が得られることを明らかにしている。

(2) フッ化物ファイバーと石英ファイバーの軟化温度の差に注目し、端面に誘電体多層膜が成膜された石英ファイバーとフッ化物ファイバーを直接融着接続することにより、その融着構造がレーザー共振器として機能することを実証している。さらに、波長 521 nm 帯で最も高いスロープ効率を有する全ファイバー型レーザーを実現し、スロープ効率は緑ファイバーレーザーの中で最も高い値を達成している。

(3)  $\text{YbF}_3$  を添加した  $\text{AlF}_3$  系フッ化物原料を還元雰囲気下で熔融することで、 $\text{Yb}^{2+}$  による白色発光が高効率に得られるガラスの作製に成功している。また、塩化物を導入することにより、GaN のバンドギャップ (3.4 eV) 近傍で励起スペクトルが増大することを見だしており、近紫外光で効率的に励起できることを明らかにしている。さらに、微量の  $\text{MnF}_2$  添加により発光色の色調を制御できることを明らかにしており、半値幅が 300 nm 以上にわたる広帯域な可視光源が得られる可能性を見出している。

以上のように、本論文は、フッ化物ガラスをベースとした可視域固体光源に関するものであり、 $\text{Pr}^{3+}$  添加ファイバーを用いた広帯域波長可変レーザーの発振特性、融着技術を応用した高効率全ファイバー型レーザーの構成方法、さらに Yb<sup>2+</sup> 含有フッ化物ガラスの白色固体照明への応用に関する知見をまとめたものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 26 年 1 月 24 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。