

氏名(国籍)	李 常 青 (中 国)		
学位の種類	博 士 (工 学)		
学位記番号	博 甲 第 3167 号		
学位授与年月日	平成 15 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	工学研究科		
学位論文題目	レーザーアブレーションによるシリコンナノ結晶：Er 系の作製と近赤外発光特性の研究		
主 査	筑波大学教授	工学博士	村 上 浩 一
副 査	筑波大学教授	理学博士	秋 本 克 洋
副 査	筑波大学教授	理学博士	名 取 研 二
副 査	筑波大学教授	工学博士	山 部 紀 久 夫
副 査	物質・材料研究機構研究グループリーダー	理学博士	北 島 正 弘

論 文 の 内 容 の 要 旨

希土類元素のエルビウム (Er) は 4f 殻内遷移 ($^4I_{13/2} - ^4I_{15/2}$) により近赤外の $1.5 \mu\text{m}$ で発光する。これが、光通信に使用されている石英系光ファイバーの最小光吸収波長領域にあるため、光源、光増幅器、導波路としての、Er をドーブした Si 系材料の開発・応用が注目されている。従って、1983 年に Ennen らが MBE 法による Er 添加バルク Si が $1.5 \mu\text{m}$ で発光していることを初めて報告して以来、Er を添加した Si や GaAs などに関する基礎的研究が活発に行われてきた。しかし、これまでの研究でバルク Si 中に添加した Er の発光は、(1) 温度が上昇すると発光強度が減少し、室温で発光しなくなるという温度消光の問題、(2) バルク Si 中の Er 固溶度が低いため、Er 高濃度に添加することができず、高強度の Er 発光を得られないという問題、(3) Er 原子の吸収断面積が小さいため、直接励起効率が低いため、別の励起プロセスを研究する必要があること、など課題があった。

本研究は、これらの課題を解決するために、バルク Si より大きなバンドギャップを持つ Si ナノ構造を利用し、それが含まれた系に Er を添加し、室温でも効率的に $1.5 \mu\text{m}$ で発光する新しい系の作製を行うことを試み、またその発光機構を調べることを目的としている。具体的な研究としては、原理上不純物を含まず、Er を容易に原子状にでき、高濃度に添加できる可能性のあるレーザーアブレーション法を初めて用いて、Si ナノ構造を含む系に Er を添加することを試みた。そこでは実験的に異なる作製プロセスで二種類の試料を作製している。一つは、表面に Er 薄膜を堆積させた Si ターゲットを酸素ガス中でアブレーションし、Er を含む SiO_x 膜を堆積させ、それを高温 (1,000°C) で熱処理することによって、Si ナノ微結晶を SiO₂ 膜中に析出させたものであり、もう一つは、同じ Si ターゲットを 5 Torr の Ar ガス中でアブレーションし、Si ナノ微粒子が気相成長する過程で Er 添加することを試みている。その試料をフォトルミネッセンス (PL) 測定により、詳細に評価を行い、Er 発光強度に対する最適な作製条件を明らかにしている。さらに、Er 発光と Si ナノ微結晶発光 PL 強度の温度依存性と励起レーザーパワー密度依存性などを調べ、多くの知見を得ているだけでなく、温度消失の無い系を作製することに成功している。

更に、上記の実験結果に基づき、SiO₂ 中の Si ナノ微結晶から Er の 4f 電子への励起エネルギー伝播は、Si ナノ微結晶中に形成される一重項束縛励起子を介して起きるというナノ構造 Si 中における Er 原子の発光機構のモデルを、PL 強度の励起レーザーパワー依存性、及び温度依存性の結果から、新たに提唱している。

審査の結果の要旨

レーザーアブレーション法を用いて初めて系統的にSiO₂中のSiナノ結晶作製とErドーピングを行い、且つ、PLに関する詳細な実験的研究を行い、以下のような価値ある新しい研究結果を得た。1) 最大のEr-PL発光強度が得られる最適条件が、Er濃度 $2 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 、40～50 mTorrの酸素ガス中でのレーザー堆積、その後の900～1,000℃での熱処理であること、2) Siナノ微結晶の発光強度とEr発光強度の間に反相関係があり、Siナノ微結晶の光吸収を介してErが励起されること、3) Er発光強度はSiナノ微結晶発光強度と類似の温度特性、励起パワー密度依存性を示すこと、などである。これらはこの研究分野では価値の高い知見であり、さらにこれらの実験結果から新しい励起エネルギーの伝播モデルを提唱した点が高く評価される。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。