

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 1 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560003

研究課題名（和文）ErYSiOシリケート結晶の発光過程におけるErイオン間エネルギー移動の評価

研究課題名（英文）Evaluation of energy migration between Er ions in the fluorescence process of ErYSiO silicate crystals.

研究代表者

木村 忠正 (KIMURA TADAMASA)

電気通信大学・名誉教授

研究者番号：50017365

研究成果の概要（和文）：高密度 Er ($1.6 \times 10^{22}/\text{cm}^3$) を含むエルビウムシリケート (Er_2SiO_5) は、シリコンフォトニクスにおける光源、光増幅器の材料として有望であるが、Er 間のエネルギー移動が非発光遷移の要因となり、Er の $1.53 \mu\text{m}$ 発光遷移の効率を制限している。本研究では $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 結晶を用いて Er 間距離 (Er 密度 x) を変え、エネルギー移動による非発光遷移の要因、大きさを評価した。 $x \sim 0.1$ (Er 密度 $\sim 1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$) でエネルギー移動による非発光がほぼ無くなった。長さ $500 \mu\text{m}$ の光導波路を作製し、 $30\text{dB}/\text{cm}$ の光利得を得た。

研究成果の概要（英文）：Erbium silicate (Er_2SiO_5) having $1.6 \times 10^{22}/\text{cm}^3$ Er density is expected as a material for optical sources and optical amplifiers operated at $1.53 \mu\text{m}$ in silicon photonics. Due to short Er-Er distances, however, the energy migration limits the luminescence efficiency. We changed the Er-Er distance by using $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ crystals and evaluated the mechanisms and magnitudes of nonradiative transitions caused by energy migration. We found that nonradiative transitions due to energy migration were almost reduced at $x \sim 0.1$ (Er $\sim 1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$). We formed an optical waveguide of $500 \mu\text{m}$ length and obtained an optical gain of $30\text{dB}/\text{cm}$.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物性・結晶工学

キーワード：(1) シリコンフォトニクス (2) Er シリケート (3) 4f 内殻遷移 (4) エネルギーマイグレーション (5) 協同アップコンバージョン (6) 光学利得 (7) シリコン光増幅器 (8) シリコン発光素子

1. 研究開始当初の背景

希土類元素は、シリコン、酸素、および、その他の元素と化合して、絶縁体、導電体、磁性

体、半導体を形成し、それぞれに、高伝導率、高誘電率、磁性、発光などの特異な特性を示すため、種々のデバイス材料としての応用が可能

である。我々は、Si 基板上に 0.86nm の周期の層構造を示す高配向のエルビウムシリケート結晶膜（粒径が数十 nm の多結晶）の作製と非常に鋭いスペクトルの発光の観測に世界で初めて成功した。このエルビウムシリケート結晶膜は以下の特徴を示すことで、シリコンフォトニクスにおける光増幅、発光源として期待できるとの観点から研究を進めてきた。

エルビウムシリケート結晶は Si, O, Er からなる結晶で、Er が構成元素として $1.6 \times 10^{22}/\text{cm}^3$ の高密度 (Er_2SiO_5 で 25at%) 含まれ、Si 基板上に作製できる。高配向性の周期 0.86nm の層構造を持ち、Er 原子が結晶内に一様配列し、高密度であるにもかかわらず、Er 原子の凝縮、析出、結晶欠陥がほとんど見られない。Er の 4f 準位間の遷移に基づく $1.53 \mu\text{m}$ の高強度の発光が得られ、その発光スペクトルは鋭い（線幅 8nm）微細構造を示し、単一発光中心が形成されている。これより、エルビウムシリケート結晶を用いて、 $1.53 \mu\text{m}$ 帯における発光素子、光増幅素子を 1mm 以下のサイズで Si 基板上に実現できる可能性がある。一方、これ迄の Er をドーパントとするシリコン系材料では、 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 程度の Er 密度が限界で、それ以上の高密度 Er ドープでは、Er のクラスタリング、析出、結晶欠陥形成により、いわゆる濃度消光（発光強度の減少）が生じる。この Er 濃度の限界のため、Er ドーピング方法では小型の増幅、発光デバイスの作製が困難である。

以上の特徴を持つ Er_2SiO_5 であるが、高密度 Er のため、非発光遷移の要因となる Er イオン間のエネルギー移動（エネルギーマイグレーション EM: energy migration）、および、協同アップコンバージョン CU: cooperative upconversion）が避けられない。実際に、フォトルミネセンスで観測される $10\text{-}20 \mu\text{s}$ の蛍光寿命は、低濃度 Er ドープシリコン系材料 (SiO_2 , Si-rich SiO_2 など) における数 ms 以上の蛍光寿命に比べて非常に短く、Er 間のエネルギー移動に起因する非発光中心での遷移の存在が推測された。また、高光密度励起フォトルミネセンスで、高い 4f 電子準位からの遷移である緑、赤、その他の波長での発光が観測されており、協同アップコンバージョンの存在が確認されている。

このような研究背景から、 Er_2SiO_5 における Er イオン間のエネルギー移動を定量的に評価し非発光遷移を抑制することが、 Er_2SiO_5 シリケートを用いた超小型 $1.53 \mu\text{m}$ 高効率発光素子、高利得光増幅器の実現に必要なこととの判断が、本研究の動機である。

2. 研究の目的

Er_2SiO_5 結晶は、Er が構成要素元素であり、

結晶中で規則的、均一配列をしている。Er 密度は $1.6 \times 10^{22}/\text{cm}^3$ 、密度から求めた Er-Er 間の平均距離は 0.37nm である。この距離は、電気双極子遷移による Er-Er 間の相互作用が生じる臨界距離（1~2nm）より短い。このため、第 1 励起準位 (${}^4\text{I}_{13/2}$) に励起された Er が基底準位 (${}^4\text{I}_{15/2}$) に遷移する際に放出するエネルギー（波長~ $1.53 \mu\text{m}$ ）がすべて光子の放出とはならず、一部が近隣の基底準位 (${}^4\text{I}_{15/2}$) にある Er、あるいは、励起準位 (${}^4\text{I}_{13/2}$ 及びその上の準位) にある Er を励起する。前者をエネルギーマイグレーション (EM) といい、励起された Er のエネルギーがある確率で Er イオン間をマイグレーションし、最終的に欠陥や不純物の非発光中心でエネルギーを失う非発光遷移が生じる。一方、後者は高励起で多くの Er が励起状態にある場合に観測されるもので、励起された Er のエネルギーが近隣の励起状態にある Er (第 1 励起準位 ${}^4\text{I}_{13/2}$ や更に高いエネルギー準位) をさらに高い準位に励起する。結果として $1.53 \mu\text{m}$ より短波長での発光遷移あるいは非発光遷移となる。これを協同アップコンバージョン (CU) という。EM, CU 共に目的とする $1.53 \mu\text{m}$ の発光を下げる要因となる。

一方、発光強度を上げるためには Er 密度は高いほうがよく、そのトレードオフとしての $1.53 \mu\text{m}$ 発光、光増幅を最大にする最適 Er 密度を求める。Er 密度 (Er-Er 間距離) を変化させる方法として、原子番号 39 の希土類 Y (yttrium) で Er を一部置き換えた $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 結晶膜を作製する。Y (yttrium) は、原子番号 39 の 4f 電子を含まない希土類元素で、Er と同様に 3 価にイオン化し、イオン半径は Er の 103pm とほぼ同じ 105pm であり、 $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 結晶膜は Er_2SiO_5 結晶と同一結晶構造を維持し、自己組織化による高配向したナノ周期層構造をとることが X 線回折 (XRD) で確かめられている。また、第 1 励起準位 Er から Y へのエネルギー移動は無い。

例えば、Er 密度を $10^{21}/\text{cm}^3$ に下げると Er-Er 間平均距離は 1nm となり、距離の 6 乗に反比例する電気双極子相互作用は Er_2SiO_5 のおよそ $1/250$ となると予想される。Er ドープ光ファイバー増幅器の Er 濃度~ $10^{18}/\text{cm}^3$ 、長さ~数 m 程度との単純比較で考えると、mm オーダー以下の長さの光導波路増幅器で利得を得るには Er 密度~ $10^{21}/\text{cm}^3$ が必要となる。

3. 研究の方法

(1) Er 間のエネルギー移動と非発光遷移評価

本研究では、 $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 結晶膜の Er 密度、すなわち、Er-Er 間距離を変化させ、Er 4f 内殻遷移による $1.5 \mu\text{m}$ の発光、蛍光寿命の変化を調べ、Er イオン間のエネルギー移動によ

る非発光を定量的に評価し、EM, CU がどの程度 Er の 1.53 μm 発光効率を下げる要因となっているかを調べる。Er 密度減少による EM, CU の抑制効果と Er 発光中心の減少とのトレードオフとなる最適 Er 密度を評価する。この最適 Er 密度が、Er ドープ Si 系材料 (例えば, SRSO: Si-rich silicon oxide) で急激な濃度消光を生じる $\sim 10^{19}/\text{cm}^3$ より 2 桁高い $\sim 10^{21}/\text{cm}^3$ であれば、1mm 以下の活性領域の長さで 1.53 μm の光利得が得られると期待できる。

(2) 複数の希土類元素によるエネルギー授受の制御と多波長発光評価

多波長発光, 増幅を念頭に, 複数の希土類イオン (RE) を含む RE_2SiO_5 自己組織化シリケート結晶の作製を試み, 広い波長範囲での RE の 4f 内殻遷移による発光を調べることを目指した。我々が開発したゾルゲル法, あるいは, レーザーアブレーション法等による高配向した層状構造の自己組織化 Er_2SiO_5 結晶作製技術を Er 以外の希土類イオン (RE) に適用し, 高密度の希土類イオンを含む RE_2SiO_5 結晶作製の可能性, 複数の RE イオン間のエネルギー授受, 個々の RE イオンに特有の波長を含む複数波長での発光の実現を目的とした。

(3) 光導波路の作製と光利得の測定

次のステップとして, 最適化した Er 密度の $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 結晶をコアとする光導波路を設計, 作製し, 光導波特性, 光利得, 損失の評価を行う。

4. 研究成果

(1) $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ の Er 間エネルギー移動の定量的評価

$\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 結晶を作製し, Er 密度 (Er-Er 間距離) に対する 1.53 μm の発光強度, 蛍光寿命の評価からエネルギーマイグレーション EM, アップコンバージョン CU を定量的に評価した。シリケート薄膜結晶の作製には, ゾルゲル法, 原子レベルで堆積制御可能なレーザーアブレーション法, 大面積高速堆積可能な酸素ラジカル支援スパッタ法 (RAS: radical-assisted sputtering) を用いた。EM に起因する非発光遷移は, 単に, Er-Er 間距離だけでなく, 非発光中心となる欠陥密度に依存する。 $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 結晶では, Er ドープ材料と比べて非発光中心となる欠陥密度が非常に小さく, 粒界が主たる非発光中心である可能性が高い。結晶作製方法, 作製条件の違いによる $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 結晶の結晶性, 配向性, 粒径の大きさと発光特性との関連を調べ, 結晶粒界がエネルギーマイグレーションに起因する非発光中心であるかどうかを調べた。

① ゾルゲル法による $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 結晶膜の特性

ゾルゲル法により作製した $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ シリケート結晶膜の Er 組成 (x の値) を変化させ, Er^{3+} の 4f-内殻遷移の 1.53 μm フォトルミネセンス (PL) 発光強度, その蛍光寿命 (τ_f) の変化を調べた。励起光は 0.98 μm で, 低励起条件 (基底状態の $\text{Er}^{3+} \gg$ 励起状態の Er^{3+}) 下で行った。Er 密度が $x=2$ ($1.6 \times 10^{22}/\text{cm}^3$) から 0.1 ($8 \times 10^{20}/\text{cm}^3$) の範囲では, Er 密度の減少とともに PL 強度 I_{Er} , 蛍光寿命 τ_f 共に増加し, $x \sim 0.1$ で蛍光寿命 $\tau_f \sim 2\text{ms}$ が得られた (図1)。 $\tau_f \sim 2\text{ms}$ の値は, $10^{18}/\text{cm}^3$ 程度の Er ドープシリカ, SRSO (Si-rich silicon oxide) における蛍光寿命と同程度である。この結果から, Er_2SiO_5 結晶ではエネルギーマイグレーションが大きな非発光遷移誘起要因として働いており, Er-Er 間距離を $\sim 1\text{nm}$ 程度 (Er 密度 $\sim 1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$, $x \sim 0.1$) に広げた $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 結晶では, EM がほぼ抑制され, 非発光遷移が無視できるほど小さくなることが明らかとなった。 Er_2SiO_5 の 1.53 μm PL 強度と比較した $x=0.1$ での PL 強度は, 試料の厚さや作製プロセスに依存するが, 10倍 \sim 30倍の結果を得ている。以上のように, $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 結晶 ($x \sim 0.1$) では, Er ドープ試料における $\sim 1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ という限界濃度の 2桁高い $\sim 1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ という Er 密度でありながら濃度消光を示さず, 強い 1.53 μm の発光が得られた。

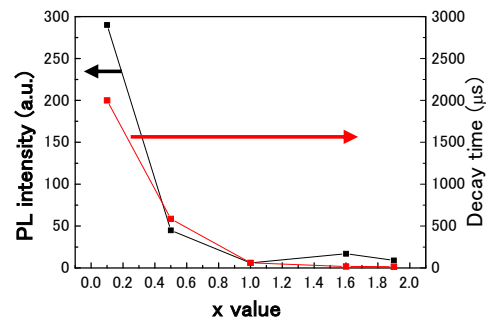


図1 $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 結晶のフォトルミネセンス強度と蛍光寿命の Er 密度 x 依存性。

② レーザーアブレーション法による $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 結晶膜の特性

自己組織化温度低減, 良質の結晶を得る目的で, コンピュータ制御により原子層のオーダーで堆積可能なレーザーアブレーション法 (別名, PLD: Pulsed Laser Deposition) で, 良質なシリケート膜の作製を試みた。その結果, 図2に示すように, PLD法で作製した $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 結晶では, ゾルゲル試料の同一 Er 密度と比較すると, 発光強度も蛍光寿命もおよそ1桁高く, PLD試料では $N_{\text{Er}} = 3 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ で 1.53 μm 発光の蛍光寿命 τ_f が $\sim 1\text{ms}$ を示し,

この高いEr密度でもエネルギーマイグレーションEMは生じているものの、EMによる非発光が少ないことが明らかとなった。(ゾルゲル試料では $N_{Er} \sim 3 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ で $\tau_f \sim 1\text{ms}$ に到達)。ゾルゲル膜とPLD膜とでのこの違いの要因は、結晶粒径がゾルゲル膜の約30~40nmに対し、PLD膜では70~100nmと大きいことによる。すなわち、EMそれ自身は非発光遷移の直接の要因ではなく、EMの結果、非発光中心にエネルギーがマイグレートし消失する、その非発光中心が結晶粒界であると理解できる。この考えの下に理論的解析モデルを構築し、図2におけるゾルゲル試料とPLD試料との違いを粒径の違いで定量的に説明した。以上の結果は、粒径の大きな、あるいは、粒界の少ない $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 結晶を作製すれば、 $\sim 10^{22}/\text{cm}^3$ の高密度Erでも、EMに起因する非発光遷移を十分に小さくできると予想される。

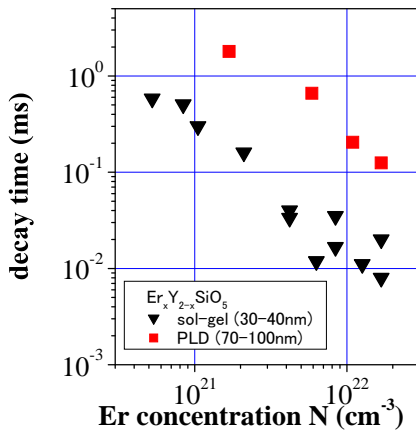


図2 PLD法とゾルゲル法で作製した $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 試料の $1.53 \mu\text{m}$ 蛍光寿命のEr密度依存性の比較。

③ RAS法による $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 結晶膜作製と散乱の抑制

RAS法は、Er、Siの原子層スパッタ堆積と表層酸化を繰り返すことで、 $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 結晶の積層周期0.86nmに合わせた逐次堆積法で、大面積にスムーズな酸化物の作製を可能とする。このRAS法を用いて $\text{Er}_{0.45}\text{Y}_{1.55}\text{SiO}_5$ 光導波路を作製した。 SiO_2/Si 基板の上に幅 $4 \mu\text{m}$ 、厚さ30nmのSiによる光ガイド層を作製し、500nm厚さの $\text{Er}_{0.45}\text{Y}_{1.55}\text{SiO}_5$ 結晶膜をスパッタ堆積し、堆積後、 1200°C 、10分間のアニールを施した。最後にプラズマCVDにより SiO_2 クラッド層を堆積させた。この光導波路の光閉じ込め係数 Γ は0.71である。導波路端からレンズ付ファイバーで集光した $1.48 \mu\text{m}$ 光、20mWを入射し、光導波路上面からのCCD像を観測した。協同アップコンバージョンCUによる Er^{3+} イオンからの

赤 ($^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$)、緑 ($^2\text{H}_{11/2}, ^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$)、青 ($^2\text{H}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$) の発光が観測される。CUによる緑の発光は入力端から指数関数的に減衰し、およそ $140 \mu\text{m}$ に達した。この減衰特性は、 $1.48 \mu\text{m}$ 入射光の散乱、吸収、CU、EM等による減衰に関連している。図3にCUによる緑色の発光を示す。比較のためのゾルゲル試料では、緑色発光の伸びは $90 \mu\text{m}$ ($\text{Er}_{0.5}\text{Y}_{1.5}\text{SiO}_5$, $\Gamma=0.54$, 厚さ=250nm) で、この結果の差は、RAS試料における $1.48 \mu\text{m}$ 入射光の散乱損失が小さいことを示している。ゾルゲル膜の散乱損失係数 150cm^{-1} に対しRAS膜では 77cm^{-1} であった。なお、RAS膜の全損失係数は 149cm^{-1} であった。RAS試料の散乱減衰係数の 77cm^{-1} は、依然として大きく、スパッタ条件等の改善の余地がある。

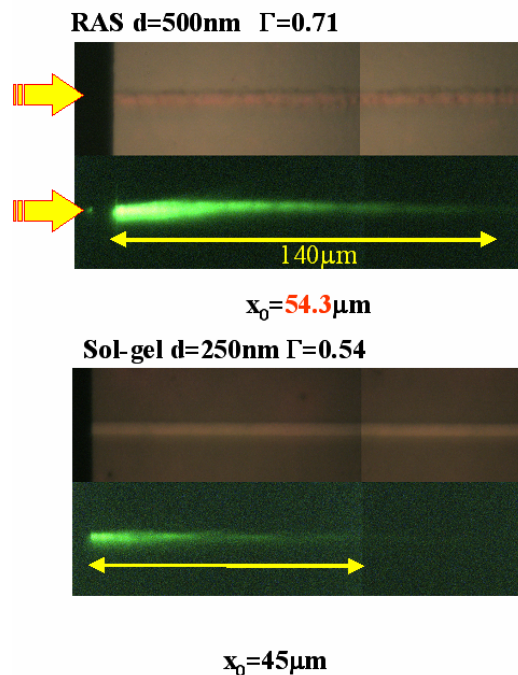


図3 協同アップコンバージョンCUによる光導波路に沿った緑色発光の比較(ゾルゲル試料, RAS試料)。入力光波長は $1.48 \mu\text{m}$ 。

(2) 協同アップコンバージョン係数の評価

先に述べたように、高密度のErを含むErシリケートにおいて、Er密度を下げることでよりCUが大きく抑制されることを確認した。この協同アップコンバージョン係数 C_{up} の評価は、光増幅、発光に最適なEr密度を決める上で重要なファクターである。 Er^{3+} の4f準位間の遷移に対する速度方程式に基づくシミュレーション結果と、緑のCU光強度の $1.48 \mu\text{m}$ 励起光強度依存から求めたコンバージョン因子 $n \sim 1.87$ の実験結果を用いて、 $N_{Er} = 3.6 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ の場合に、 $C_{up} \sim 3.5 \times 10^{-17} \text{cm}^3/\text{s}$ 程度の値が得られた。この値は、 Er_2O_3 や Al_2O_3 中の高Erドープ試料における報告値

の $C_{up} \sim 5 \times 10^{-16} \text{ cm}^3/\text{s}$ より一桁小さい。また、最近、レーザーアブレーション法で作製した Er シリケートのエネルギーマイグレーション、光学利得の評価結果からは、更に小さな $C_{up} \sim 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$ が期待される結果を得ている。 $C_{up} \sim 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$ は Er 密度 $\sim 10^{21}/\text{cm}^3$ 台でも CU による損失が抑えられ、光学利得が得られるに十分小さい値である。

(3) 光機能性の出現—複数の希土類イオンを含むシリケート結晶膜の作製と発光の観測

Er に替えて他の希土類 (RE) イオンを含む RE_2SiO_5 シリケート結晶膜をゾルゲル法で作製し、 Er_2SiO_5 に見られる高配向した層構造結晶を得、希土類特有の発光が得られると予想される。本研究では、Yb を含む Er シリケートについて検討した。高密度 Er, Yb を構成元素として含むシリケート結晶において、この Yb のセンサイザー (sensitizer) 効果としての Yb^{3+} から Er^{3+} へのエネルギー移動による Er^{3+} 1.53 μm 発光の増強効果とともに、Yb の 0.98 μm 発光の挙動を見た。図 4 に示すように、0.98 μm 光励起フォトルミネセンスは、Er, Yb を含むシリケート $\text{Er}_{2-x}\text{Yb}_x\text{SiO}_5$ ($x=1.9$) で、 Er_2SiO_5 と比較して $\times 200$ の 1.53 μm の発光強度の増加が得られ、Er-Er 間の EM 抑制とともに、Yb \Rightarrow Er のエネルギー転スファーによる高い増感効果があることを明らかにした。

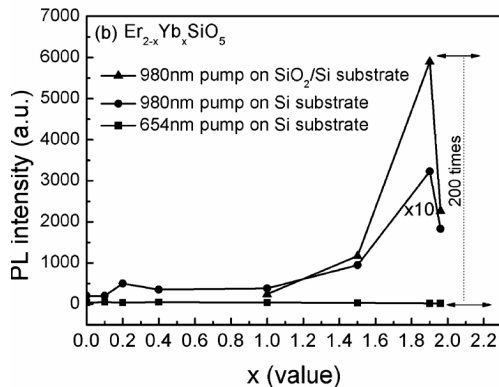


図 4. $\text{Er}_{2-x}\text{Yb}_x\text{SiO}_5$ 結晶における 1.53 μm 発光強度の x 依存性。980nm 励起で Er_2SiO_5 結晶の $\times 200$ の発光強度が得られた。

(4) $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 光導波路作製と光利得測定

シリコンフォトニクス結晶中にシリコンスロットを組み込んだスロット型光導波路を設計、作製し、スロット内にゾルゲル法により $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ をコアとして埋め込んだ。スロットに埋め込まれた Er シリケートの幅は 4 μm 、高さは 370nm、上下に SiO_2 のクラッド層を形成した。波長 980nm の励起光の照射幅をスリットにより導波路長に沿って 0 ~

450 μm と変化させる VSL (Variable Stripe Length) 法により光利得を測定した。その結果、図 5 に示すように励起光パワー 6.2kW/cm² 以上で光利得が生じ、8.7kW/cm² で 30dB/cm の光利得を得た。以上のように、Er 密度を最適化した $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 結晶薄膜が、Er 1.53 μm の光増幅、レーザ素子材料としての可能性があることを実験的に示した。

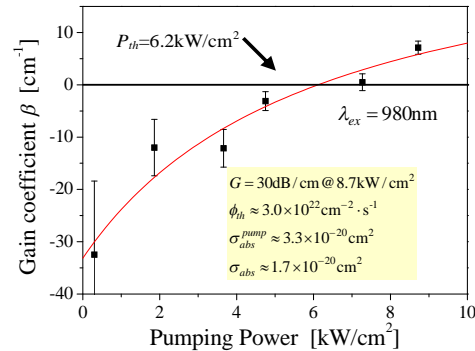


図 5. VSL 法により測定した $\text{Er}_{0.5}\text{Y}_{1.5}\text{SiO}_5$ 埋め込み Si スロット光導波路における光利得。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

① Isshiki, Hideo; Zulkefli, Zul Izwan Bin; Nakajima, Takayuki; Sato, Takuya; Kimura, Tadamas, Emission and optical properties of Si slot $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ waveguides, Nanophotonics and Micro/Nano Optics, Proceedings of the SPIE, Vol. 8564, article id. 856404, 2013, 6 pages, 2013) 査読有 doi: 10.1117/12.2001322

② X. J. Wang, B. Wang, L. Wang, R. M. Guo, H. Isshiki, T. Kimura, and Z. Zhou, Extraordinary infrared photo-luminescence efficiency of $\text{Er}_{0.1}\text{Yb}_{1.9}\text{SiO}_5$ films on SiO_2/Si substrates, A.P.L., Vol. 98, 2011, pp. 071903-1-071903-3 査読有, doi:10.1063/1.3554750

③ Wang, X. J. ; Yuan, G. ; Isshiki, H. ; Kimura, T. ; Zhou, Z., Photoluminescence enhancement and high gain amplification of $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ waveguide, J.A.P. Vol. 108, Issue: 1, 2010, pp. 013506-1 - 013506-4 査読有, doi:10.1063/1.3446822

[学会発表] (計 47 件)

国際学会 (24 件, 主要なもの 14 件記載)

- ① Isshiki, Hideo et al., Emission and optical properties of Si slot $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ waveguides, Nanophotonics and Micro/Nano Optics, 5-7 November 2012 Beijing, China.
- ② T. Nakajima et al., Fabrication of Er silicate crystalline waveguide by directed self-assembly approach using radical assisted sputtering, SSDM 2012, A-2-6 (2012. 9. 25)), Sept. 25-27, 2012, Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan
- ③ Takayuki Nakajima et al., Suppression of scattering loss in Erbium-Yttrium Silicate crystalline waveguide fabricated by radical-assisted sputtering, GFP 2012, ThP2, San Diego, CA, (2012. 8. 30), pp. 243-245, USA
- ④ Tadamasa Kimura et al., High Optical Gain in $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ Slot Waveguides and Possibility for Compact Light Amplifiers and Optical Sources, ICOOPMA 2012 (Fifth International Conference on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications), June 3-7, 2012, Nara Prefectural New Public Hall, Nara, Japan (2012. 6. 7) (invited) JAPAN.
- ⑤ T. Sato et al., Observation of 30dB/cm gain in Si photonic crystal slot $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ waveguide”, Conference: 8th IEEE International Conference on Group IV Photonics - GFP, pp.1-2, 14-16, Sept. 2011. The Royal Society London, United Kingdom.
- ⑥ H. Isshiki et al., $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ compact waveguide slotted into Si photonic crystal, E-MRS 2011 Fall Meeting, Symposium :J Rare earth doped semiconductors and nanostructures for photonics”, 19. September 2011, Warsaw, Poland.
- ⑦ Tadamasa Kimura et al., Enhanced Er^{3+} luminescence by control of energy-migration in $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ crystalline systems, E-MRS 2011 Fall Meeting, Symposium: J “Rare earth doped semiconductors and nanostructures for photonics”, 18. Sept. 2011, Warsaw, Poland (invited).
- ⑧ Fangli Jing et al., Energy Transfer in Highly Oriented $\text{Er}_x\text{Y}_y\text{Y}_{2-x-y}\text{SiO}_5$ Thin Films Fabricated by Pulsed Laser Deposition, MRS 2011 Spring Meeting V1.10, Boston, April 28-29 (2011), USA
- ⑨ Hideo Isshiki et al., Characterization and Photonic Application of $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ Crystals Prepared by

Layer-by-layer Deposition, MRS 2011 Spring Meeting V1.6, April 28-29, (2011), Boston, USA.

- ⑩ Hideo Isshiki et al., Formation and Carrier Mediated Excitation of $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ Nanocrystallites in Si-rich Silicon Oxide (SRSO), MRS 2010 Fall Meeting, Group IV Semiconductor Nanostructures and Applications, November 30, 2010, Boston, USA.
- ⑪ H. Isshiki et al., Highly oriented $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ crystalline thin films fabricated by pulsed laser deposition, IEEE International Conference on Group IV Photonics - GFP, 1-3, Proceedings, pp.311-313, Sept. 2010 at the Friendship Hotel, Beijing, China.
- ⑫ T. Kimura et al., Evaluation of energy migration of $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ and optical gain at $1.54\mu\text{m}$, EMRS 2010 Spring Meeting, Session K: Rare earth doped materials for optical based technologies, 07 June 2010, Strasbourg, France.
- ⑬ Yasuhito Tanaka et al., $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ crystals prepared by the layer-by-layer deposition, EMRS 2010 Spring Meeting, Session K: Rare earth doped materials for optical based technologies, 07 June 2010, Strasbourg, France.
- ⑭ Hideo Isshiki et al., Role of energy transfer for the decay dynamics in $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ crystals, EMRS 2010 Spring Meeting, Session K: Rare earth doped materials for optical based technologies, 11 June 2010, Strasbourg, France.

国内学会 (計 23 件)
(略)

[その他]
ホームページ等
<http://flex.ee.uec.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村 忠正 (KIMURA TADAMASA)
電気通信大学・名誉教授
研究者番号 : 50017365

(2) 研究分担者

一色 秀夫 (ISSHIKI HIDEO)
電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授
研究者番号 : 60260212