

シリコン中におけるエルビウム-酸素複合体の室温での光学的活性の理解 Understanding Room Temperature Optical Activity of Erbium-Oxygen Complex in Silicon

東北大金研¹, 早大理工², 東北大 CIES³, IFN-CNR⁴, Politecnico di Milano⁵

○清水 康雄¹, 涂 远¹, アブデルガファ 愛満², 鈴木 雄大², 魏 啓楠², 谷井 孝至², 品田 高宏³,

Enrico Prati⁴, Michele Celebrano⁵, Marco Finazzi⁵, Lavinia Ghirardini⁵, 井上 耕治¹, 永井 康介¹

IMR Tohoku Univ.¹, Waseda Univ.², CIES Tohoku Univ.³, IFN-CNR⁴, Politecnico di Milano⁵

°Y. Shimizu¹, Y. Tu¹, A. Abdelghafar², Y. Suzuki², K. Gi², T. Tani², T. Shinada³,

E. Prati⁴, M. Celebrano⁵, M. Finazzi⁵, L. Ghirardini⁵, K. Inoue¹, and Y. Nagai¹

E-mail: yshimizu@imr.tohoku.ac.jp

背景: シリコン (Si) に添加されたエルビウム (Er) は通信波長帯 1.5 μm に相当する不純物準位を形成するため, その発光特性に関する研究が盛んに行われてきた. 我々は Er と共添加した酸素との ErO_x 複合体に着目し, Er 注入量 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 以下における発光特性を調べてきた[1]. また, これら添加元素の分布と発光特性の関連を明らかにするべく, 原子レベルで元素の実空間分布を得る 3次元アトムプローブ (3DAP) 法を Er ($4 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$) と酸素を共注入した試料に適用し, これら添加元素の分布の酸素注入量依存性 (1×10^{14} , $4 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$) を調べてきた[2,3]. 今回は同一条件で注入・熱処理を施した試料の室温フォトルミネッセンス (PL) による発光特性評価と照らし合わせて, Er・酸素注入量と発光強度の関係性を報告する.

実験: Si(100)基板の上に 100 μm 角の格子パターンを形成した後, 熱酸化膜 55 nm 越しに Si 基板全面に酸素を注入 (25 keV) した. その後, 熱酸化膜を 5 nm までエッチバックし, 格子パターン領域に Er^{2+} を注入 (20 keV) した後, 窒素雰囲気中で 900 $^{\circ}\text{C}$ で 30 分間の熱処理を施した. 3DAP 測定に適用するべく, 集束イオンビームを用いて Fig. 1(a) に示す深さ位置に針状試料を作製した. Er および酸素との複合体 (ErO) の 3次元分布を得るとともに, 同一条件で用意した試料の注入領域において室温 PL による発光強度を測定した.

結果: Fig. 1(b) に酸素注入量 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$, Er 注入量 $4 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ を施した試料の Er および ErO の 3次元マップを示す. 熱処理によって Er および ErO の両者ともに不均一に分布している様子が明瞭で, Er と ErO の分布に相関が見られる. Fig. 1(c) に同一条件試料の注入領域における PL 強度 (面内およびラインプロファイル) を示す. 我々の先行研究では, 酸素注入量を $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ に固定したとき, Er 注入量 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 以下では Er の増加に伴い PL 強度が増大することを示したが[1], 本条件 (Er 注入量 $4 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$) では PL 強度の低下が見られた. 3DAP の結果では Er 注入量を増加させると発光に寄与しやすい ErO 複合体の分布が見られているが, Er の凝集化が起こることで光学的活性の低下を招くことが示唆された.

謝辞: 本研究の一部は, 科学研究費補助金 (No. 15H05413, 18H03766) の支援を得て実施した.

参考文献:

- [1] M. Celebrano *et al.*, Opt. Lett. 42, pp. 3311-3314 (2017).
- [2] Y. Shimizu *et al.*, 2017 Silicon Nanoelectronics Workshop, pp. 99-100.
- [3] Y. Shimizu *et al.*, JSAP Autumn Meeting 2017, 8a-A414-5.

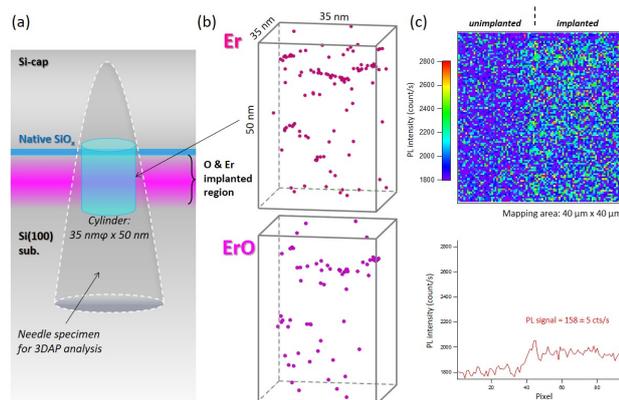


Fig. 1: (a) Schematic illustration of the sample structure and the needle-shaped specimen position for 3DAP analysis. (b) 3D maps of Er and ErO in the cylindrical volume ($35 \text{ nm}\phi \times 50 \text{ nm}$) of the annealed sample implanted with O: $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ and Er: $4 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$. (c) Room temperature PL mapping in the area of $40 \mu\text{m} \times 40 \mu\text{m}$ and corresponding line profile of the PL intensity.