

照射誘起欠陥を含む Si 結晶の発光再結合機構

Luminescence Recombination Mechanism in Si Involving Radiation-Induced Defects

明治大理工¹, 明治大学再生可能エネルギー研究インスティテュート²○朝原 将太¹, 田島 道夫², 佐竹 雄太¹, 小椋 厚志^{1,2}Meiji Univ.¹, Meiji Renewable Energy Laboratory²○Shota Asahara¹, Michio Tajima², Yuta Satake¹, Atsushi Ogura^{1,2}E-mail: ce191001@meiji.ac.jp

【序】高効率 Si 結晶太陽電池や IGBT などの先端 Si デバイスの高性能化に向けてフォトルミネッセンス(PL)法による微量炭素不純物の定量は欠かせない技術である¹⁾。この手法では照射欠陥の発光再結合過程に着目しているが、照射欠陥の再結合は IGBT においてはライフタイム制御に活用されている。これまで PL 過程において、バンド端発光強度 I と励起光強度 L は $I \propto L^n$ という関係があり、べき指数 n の値は、試料温度、ドーパント濃度により $n \approx 1 \sim 2$ となることが知られている²⁾。今回我々は $n > 2$ となる特異な現象を発見し、それが照射欠陥を含む発光再結合機構で説明できることを報告する。

【測定方法】測定試料として 4 種の n 型 Si ウェハ ($\rho \approx 1.4 \sim 870 \Omega \cdot \text{cm}$) を使用した。各ウェハより試料を 2 枚ずつ用意し、片方に電子線 (加速電圧: 2 MeV, 線量: $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$) を照射して発光活性化させた。これらの試料を 4.2~300 K において DPSS レーザー照射下 (波長: 532 nm, ビーム径: 約 2.3 mm) で励起光強度を 2~200 mW の範囲で変化させて PL スペクトルを測定し、バンド端発光強度の励起光強度依存性を調査した。

【測定結果】 $\rho \approx 25 \Omega \cdot \text{cm}$ の電子線照射試料における励起光強度依存性の温度変化を Fig. 1 に示す。60 K~150 K においてこれまでの報告例にない $n > 2$ となっていることがわかる。この結果の一般性を示すため、抵抗率の違いや電子線照射の有無による励起光強度依存性の変化を調査した (Fig. 2 (a) 4.2 K, (b) 77 K, (c) RT)。未照射試料では、これまでの報告の通り、ドーパント濃度、試料温度によって $n \approx 1 \sim 2$ と変化する。照射後の試料では、77 K、室温において n の値が上昇することを見出し、 $n > 2$ となることの一般性を確認できた。

この現象を説明するため、照射欠陥を含む結晶における発光再結合機構のシミュレーションを行った (Fig. 3)。照射欠陥には一定の割合で光励起キャリアがトラップされ、その分 PL 強度は減少する。しかし、キャリアの捕獲割合とトラップ濃度によってトラップできるキャリアの上限がある。そのため励起光強度を上げていくと、トラップが飽和し (飽和点を ■ で示す)、バンド端発光に使われるキャリアが過渡的に増大する。これに対応して見かけ上 n の値が上昇する。これが照射欠陥を含む場合に $n > 2$ となる発光再結合機構と推定される。4.2 K において、ドーパント濃度、電子線照射の有無に関わらず、 $n \approx 1$ となっているのは、自由励起子による発光再結合であることから、上記の過程が起きないためと推察される。

以上より、照射欠陥を含む Si 結晶の発光再結合機構の特殊性を解明できた。今回の結果は、励起光強度依存性の詳細検討が、キャリア再結合機構を解明する有力な手掛かりとなることを示している。

【謝辞】本研究の一部は経済産業省のもと、NEDO から委託され、実施したもので関係各位に感謝致します。

1) M. Tajima et al., Jpn. J. Appl. Phys. in press, <https://doi.org/10.7567/1347-4065/ab5b61>

2) Y. Ishikawa et al., Jpn. J. Appl. Phys. **58**, 076502 (2019)

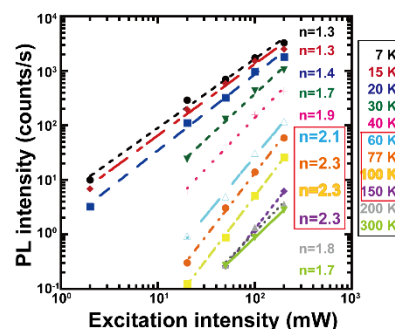


Fig. 1. Excitation laser power dependence of band-to-band emission as function of temperature from 7 to 300 K in e^- -irradiated n -type Si.

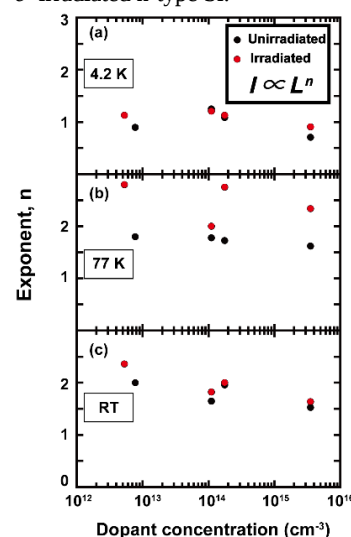


Fig. 2. Dopant-concentration dependence of exponent n in $I \propto L^n$ in e^- -irradiated and unirradiated n -type Si. (a) 4.2 K, (b) 77 K, (c) RT.

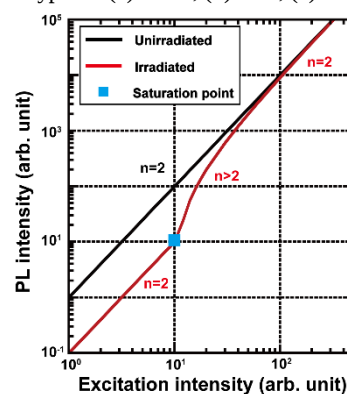


Fig. 3. Simulation of influence of e^- -irradiation on excitation-intensity dependence of PL.