

電子線照射 Si 結晶の室温フォトルミネッセンスで観測される

C-line 近傍発光を利用した炭素評価

Carbon Analysis using Room-Temperature Photoluminescence
around C-line in Electron-Irradiated Si明治大理工¹ ○石川 陽一郎¹, 田島 道夫¹, 木内 広達¹, 三好 一智¹, 小椋 厚志¹Meiji Univ.¹, ○Yoichiro Ishikawa¹, Michio Tajima¹, Hirotatsu Kiuchi¹,Kazuchi Miyoshi¹, Atsushi Ogura¹

E-mail: ce171006@meiji.ac.jp

【序】高効率太陽電池・パワーデバイスの高品位化に向け、Si 基板中の炭素不純物の低減が求められている。しかし対象とする炭素濃度は極めて微量のため、最近では低炭素不純物の定量技術として電子線照射発光活性化フォトルミネッセンス (PL) 法が着目されている¹⁾。本報告では、電子線照射後の室温 PL 測定で観測される C-line 近傍発光帯 (C08-band)²⁾が、炭素起因である可能性が極めて高いことを踏まえ、同発光帯を用いた Si 結晶中の炭素濃度評価について検討する。

【測定方法】測定試料は4機関から提供された炭素濃度 2×10^{14} – $8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 範囲の約 50 枚の CZ, MCZ, FZ-Si 結晶である。炭素濃度は赤外吸収法、発光活性化 PL 法 (4.2 K) により推定した。これらの試料に対し、電子線照射後 (加速電圧: 2 MeV, 線量: 1.0×10^{15} , $1.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$) に、大気中・室温において DPSS レーザー照射下 (波長: 532 nm, ビーム径: 約 2.3 mm, 試料面上強度: 約 190 mW (300 K), 50 mW (4.2 K)) で、PL を測定した。

【測定結果】同一 CZ インゴットの固化率の異なる部位から切り出した 4 枚の試料 (17 Top→20 bottom, $[C_s] \approx 2.0 \times 10^{14} \rightarrow 2.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $[O_i] \approx 8.5 \times 10^{17} \rightarrow 1.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) の室温における PL スペクトルをバンド端発光強度で規格化して Fig. 1 に示す。これら 4 試料では C08-band のバンド端発光に対する強度比が炭素濃度とともに増大していることが分かる。

電子線照射条件 (2 MeV, $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$) によって照射された約 45 枚の試料の C08-band の強度比と炭素濃度の関係を Fig. 2 に示す。結晶成長条件によりマーカーで区別してプロットしている。図中の外挿線は成長条件が同一の試料について引かれており、おおむね正相関を示していることが分かる。

炭素定量を行う際の指標となる照射欠陥の G-line (0.97 eV) や C-line (0.79 eV) は、それぞれ 250°C, 500°C 熱処理で消滅することが知られている²⁾。大気中・室温で PL 測定を行う場合、レーザー長時間照射により試料表面の温度上昇を来し、照射欠陥が消滅しないかを検証するため、室温で PL 測定時と同条件のレーザーを 1 時間照射し続けた前後の PL スペクトルを比較した。Fig. 3 に示すように 4.2 K においてスペクトル変化は認められず、室温の場合も測定誤差範囲内で同一であった。この結果より、室温 PL 測定時のレーザー照射の試料への影響は無いと考える。

以上より、一定の成長条件下の試料比較においては、室温 PL 測定により観測される C08-band の強度比は Si 結晶中の炭素濃度と正相関があることが分かり、濃度評価に利用できることが示唆される。今後の本手法の実用化に向け、電子線照射条件、PL 測定条件、試料表面状態等の最適化を検討している。

【謝辞】本研究で使用了試料をご提供頂いた 4 機関の方々に厚くお礼申し上げます。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) 中川聡子: 応用物理, **84**, 976 (2015).

2) 田島道夫他: 本講演会 前講演 (2018).

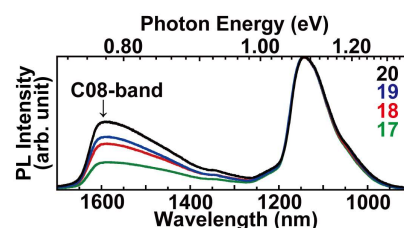


Fig. 1. Normalized PL spectra at 300 K of Si samples sliced from CZ ingot after 2 MeV e^- irradiation. (Spectral response was not calibrated.)

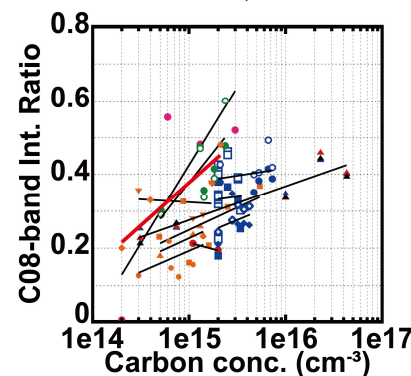


Fig. 2. Relationship between C concentration and intensity ratio of C08-band to band-edge emission at 300 K.

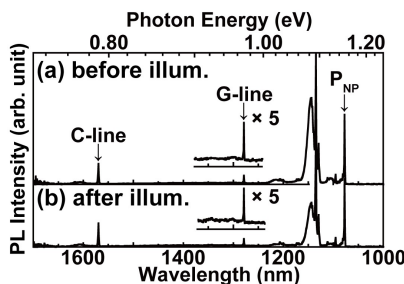


Fig. 3. PL spectra at 4.2 K of MCZ-Si crystals after 2 MeV e^- irradiation (a) before and (b) after 1 h laser illumination. (Spectral response was not calibrated.)