

電子線照射発光活性化液体窒素温度 PL 法による P 添加 n 型 CZ-Si 結晶の炭素定量

Determination of Carbon Concentration in Phosphorus doped n-type CZ-Si Crystals by Liquid-Nitrogen-Temperature Photoluminescence after Electron Irradiation

明治大理工¹, 九州大工² ○石川 陽一郎¹, 田島 道夫¹, 木内 広達¹, 小椋 厚志¹,
宮村 佳児², 原田 博文², 柿本 浩一²

Meiji Univ.¹, Kyushu Univ.² °Yoichiro Ishikawa¹, Michio Tajima¹, Hirotsu Kiuchi¹,
Atsushi Ogura¹, Keiji Miyamura², Hirofumi Harada², Koichi Kakimoto²

E-mail: ce171006@meiji.ac.jp

【序】 Si 結晶中の微量炭素定量法として、電子線照射によって誘起された欠陥に起因する C-line (C_i-O_i), G-line (C_i-C_s) のフォトルミネッセンス (PL) を利用する手法が注目されている¹⁾。本研究では液体ヘリウム温度 (4.2 K) 測定に比べて、様々な利点を持つ液体窒素温度 (77 K) 測定²⁾ を行い、4.2 K 測定および FT-IR 測定結果と比較することから、77 K PL 測定法による定量値の妥当性、信頼性を検証した。

【実験方法】 測定試料は 3 本の P 添加 n 型 CZ-Si 結晶インゴット (L, M, N) の固化率 g の異なる部位から切り出した。インゴット L, M, N とも炭素濃度は $<2 \times 10^{15} - 8.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ (FT-IR 測定) の範囲にあり、酸素濃度は $9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 前後 (FT-IR 測定, IOC-88) である。インゴットトップ側の抵抗率は L, M が $50 \Omega \cdot \text{cm}$ 程度, N が $1 \Omega \cdot \text{cm}$ 程度である。これらの試料に対し、電子線照射後 (加速電圧: 2 MeV, 照射線量: $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$) に、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 50 mW (4.2 K), 190 mW (77 K)) で、PL を測定した。

【結果と考察】 炭素濃度が同程度 ($\approx 2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$) で、抵抗率が異なる試料 M6, N1 の 77 K における PL スペクトルを Fig. 1 に示す。4.2 K 測定では 2 試料でバンド端近傍発光が大きく異なっていたが、77 K ではほぼ同様のスペクトル形状である。

各試料の G-line の強度比の炭素濃度依存性を Fig. 2 に示す。ここで、(a) 4.2 K においては P 不純物束縛励起子線 P_{TO} , (b) 77 K においてはバンド端発光 I_{TO} に対する G-line の相対強度をプロットしている。4.2 K では、L, M と N で抵抗率 (P 濃度) が異なることに対応して 2 つの正相関関係 (検量線) に分かれたが、77 K では抵抗率の相違によらず 1 つの正相関関係で表すことができた。その理由として 77 K では、4.2 K で観測された不純物束縛励起子系ならびに電子正孔液滴発光が消滅し、バンド端発光 I_{TO} のみとなる発光過程の単純化²⁾ が挙げられる。なお C-line と G-line を比較すると、今回の試料の酸素濃度領域では、G-line が十分な強度で観測されたこと、および C-line の強度比はばらつきが多くなることから、定量には G-line の強度比を利用した。

Fig. 3 に 4.2 K および 77 K における G-line の強度比から推定した炭素濃度および FT-IR による炭素濃度の固化率依存性を示す。実線は偏析曲線 (Scheil's law) による外挿であり、3 濃度値は比較的良い一致を見せている。なお、77 K 推定値は他と比較してややずれが大きく、今後の課題である。

以上より電子線照射発光活性化液体窒素温度 PL 法は、4.2 K 測定と比較し、ほぼ同様の精度で定量が行え、抵抗率の影響を受けにくいという大きな特長があることが実証された。

【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) 中川聡子: 応用物理, **84**, 976 (2015).

2) M. Tajima et al.: Appl. Phys. Express, **10**, 046602 (2017).

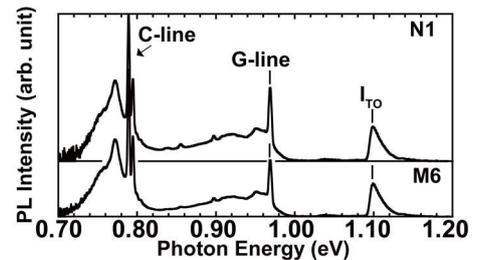


Fig. 1. PL spectra at 77 K of Si with the same C concentration of $\approx 2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ and with different ρ of (N1) 1.4 and (M6) 39 $\Omega \cdot \text{cm}$.

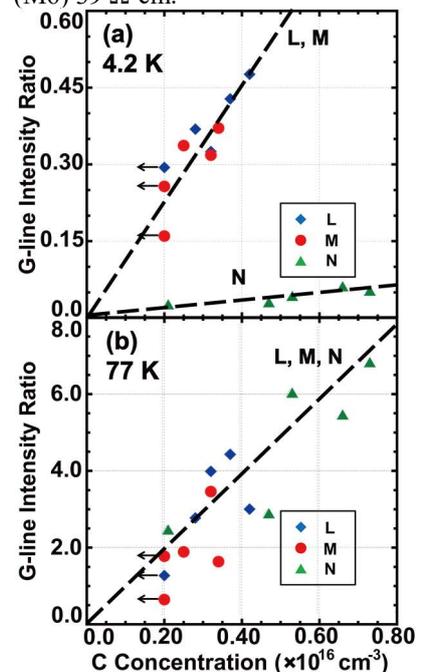


Fig. 2. Relationship between C concentration and G-line intensity ratio at (a) 4.2 K and (b) 77 K.

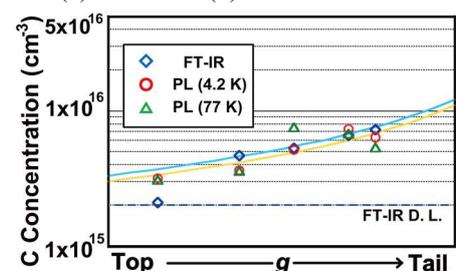


Fig. 3. Variation of C concentration along g determined by FT-IR and by PL at 4.2 and 77 K.