

電子線照射 Si 結晶で観測される G 線, C 線の異常な励起光強度依存性

Anomalous Excitation-Power Dependences of G- and C-lines in Electron-Irradiated Si

明治大理工¹, 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¹, 佐竹 雄太¹, 小椋 厚志^{1,2}Meiji Univ.¹, Meiji Renewable Energy Laboratory²○Shota Asahara¹, Michio Tajima¹, Yuta Satake¹, Atsushi Ogura^{1,2}

E-mail: ce191001@meiji.ac.jp

【序】先端 Si パワーデバイスの IGBT では、電子線照射によって欠陥を導入することで正確なライフタイム制御が行われている。フォトルミネッセンス (PL) 法は、バンド端発光の特性からライフタイムに影響を与える欠陥の振る舞いを捉えることができる。前回我々は、PL 強度 I と励起光強度 L の関係式 $I \propto L^n$ において、バンド端発光のべき指数 n が、通常値の $n \approx 1 \sim 2$ ¹⁾ を越え $n > 2$ となる特異な現象を観察し、照射誘起欠陥再結合の飽和効果で説明できることを報告した²⁾。今回は、その照射欠陥を特定することを目的とし、照射結晶に特徴的な G-line, C-line に着目し、それらの励起光強度依存性を調査した。

【測定方法】測定試料として 5 種の n 型 Si ウェハを使用した ($\rho \approx 25 \sim 870 \Omega \cdot \text{cm}$)。試料には電子線 (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。これら試料を 14~300 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た。

【測定結果】電子線照射試料 ($\rho \approx 25 \Omega \cdot \text{cm}$) の 77 K における PL スペクトルの励起光強度変化を Fig. 1 に示す。バンド端発光 (I_{TO}) では、励起光強度依存性が $n = 2.3$ となる特異な現象を確認したが、スペクトル形状はいずれも照射前と同様であった。また G-line, C-line でもスペクトル形状の変化は認められなかった。ここで、G-line, C-line 欠陥が飽和効果の原因であるなら、 n は 1 よりもかなり小さい値として観測されるはずである。その検証のため、両発光線の励起光強度依存性を調査した。Fig. 2 に G-line の励起光強度依存性の温度変化を示す。バンド端発光において異常が顕著にみられる温度領域 ($T > 77 \text{ K}$)²⁾ では、 $n > 1$ となっており、飽和が観測されないだけでなく、「不純物・欠陥準位を経由する発光では $n \leq 1$ となる¹⁾」という科学的通説からも外れる結果となった。

こうした事態の一般性を調べるため、抵抗率が異なる 5 種類の試料で 77 K における各発光線の励起光強度依存性を調査した (Table 1)。全ての試料で G-line が $n > 1$ となっており、C-line についても同様の現象を確認できた。これは、バンド端発光で確認された欠陥再結合飽和によるキャリアの過渡的な増大が G-line, C-line でも起きていることを意味している。つまり、キャリアの増大を引き起こす主な照射欠陥は、G-line, C-line 欠陥ではないと推察できる。

以上より、電子線照射結晶では G-line, C-line 欠陥以外の照射欠陥がライフタイムに大きな影響を与えていることが示唆される。

【謝辞】本研究の遂行にあたり実験にご協力いただいた明治大理工卒業生の石川陽一郎氏に深く感謝致します。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) T. Schmidt, K. Lischka, and W. Zulehner, Phys. Rev. B **45**, 8989 (1992).

2) 朝原将太, 田島道夫, 佐竹雄太, 小椋厚志, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会 15a-D411-9 (2020).

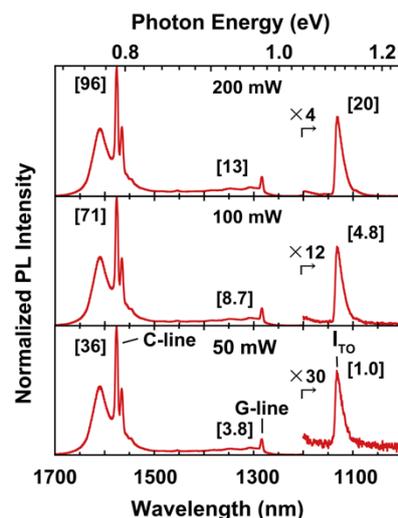


Fig. 1. Excitation-power dependence of PL spectra at 77 K in e^- -irradiated n-type Si (sample B03). Numbers in square brackets denote relative intensities.

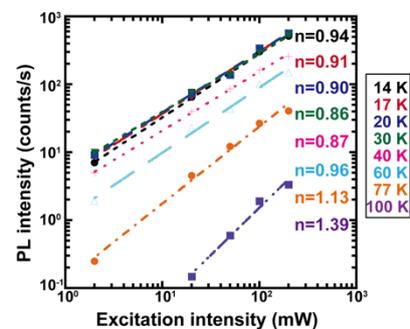


Fig. 2. Excitation-power dependence of G-line as function of temperature from 14 to 100 K in e^- -irradiated n-type Si.

Table 1. Exponent n in excitation-power dependence $I \propto L^n$ for I_{TO} , G- and C-lines at 77 K.

Sample	Exponent n		
	I_{TO}	G-line	C-line
N1	2.34	1.31	1.51
#1	2.54	1.22	1.22
B03	2.30	1.13	0.90
M6	1.98	1.09	0.90
T1	2.82	1.28	1.01