

高濃度・高補償比 Si 結晶中のドナー・アクセプタ不純物の振舞

Behavior of donor and acceptor impurities in highly doped and highly compensated Si

JAXA 宇宙研¹, 明大院², APOLLON SOLAR³ °田中 香次^{1,2}, 田島 道夫^{1,2}, Maxime Forster³,豊田 裕之¹, 小椋 厚志²ISAS/JAXA¹, Meiji Univ.² APOLLON SOLAR³ °Koji Tanaka^{1,2}, Michio Tajima^{1,2},Maxime Forster³, Hiroyuki Toyota¹, Atsushi Ogura²

E-mail: tanaka@sce.isas.jaxa.jp

【序】Si 結晶中のドナー・アクセプタ(DA)不純物のイオン化エネルギー(E_I)は最も詳細に研究されてきた物性値の 1 つである。近年、太陽電池用 Si 結晶のような DA 不純物が多く残留している結晶中では不純物が高濃度になるに連れて不純物ペア及び不純物クラスターが形成されることにより、徐々に E_I が減少することが報告されている^[1]。前回、我々は高濃度・高補償比 Si 結晶で観測される DA 対発光の微細構造を解析することにより、P ドナー・Ga アクセプタ対発光(P-Ga)を同定し、Ga の E_I が高濃度領域 (5.21 - $23.1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$) で一定であり、極めて変化が少ないことを実証した^[2]。しかしながら、理論値とのフィッティングにより得られた E_I の値は、低濃度で最も確からしい報告値^[3]に近い値(74.5 meV)または高濃度領域での E_I の減少分を含む値(67.0 meV)のいずれであるか判断しかねる結果となった。本稿では、前回と同一の一方凝固法で成長させた固化率(g)の異なる高濃度・高補償比試料を用いて、JIS 法^[4]に準じた 4.2K の低温フォトルミネッセンス(PL)スペクトル測定条件よりも高分解能で測定した結果、及びホール効果測定の結果から得られた E_I との比較から、高濃度・高補償比 Si における Ga の振舞を考察した。

【結果及び考察】Ga 濃度が異なる試料において高分解能測定を行ったが、微細構造の主要ピーク位置に変化がない($\pm 0.034 \text{ meV}$)ため、今回の濃度範囲で Ga の E_I の減少が起きていないことがより明確となった(Fig. 1)。この結果は[1]の報告の漸減現象とは合致しないため、 E_I は低濃度の報告値に近い値(74.5 meV)から変化していないことが示唆される。しかしながら、上記試料のホール効果測定の結果から得られた E_I は濃度の上昇とともに 70 から 64 meV に減少する結果が得られた。この食い違いの原因としては、(1)不純物分布が均一ではなく、 E_I の減少が起こらない孤立した不純物同士が DA 対発光を誘起した可能性、(2)高濃度・高補償比試料のホール効果測定の結果における問題点等が考えられる。また、本発表では As ドナー・B アクセプタ対発光においても同様の結果が得られていることを報告する。

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する。

[1] P. P. Altermatt, G. Heiser, and A. Schenk: *J. Appl. Phys.* **100**, 113714 (2006).

[2] 田中他: 第 60 回春季応物予稿 30p-A4-1, 16-116 (2013).

[3] B. Pajot: *Optical Absorption of Impurities and Defects in Semiconducting Crystals: Hydrogen like Centres* (Springer, Heidelberg, 2010) Chap. 7, p. 281. [4] 日本工業規格 JIS H0615 (1996).

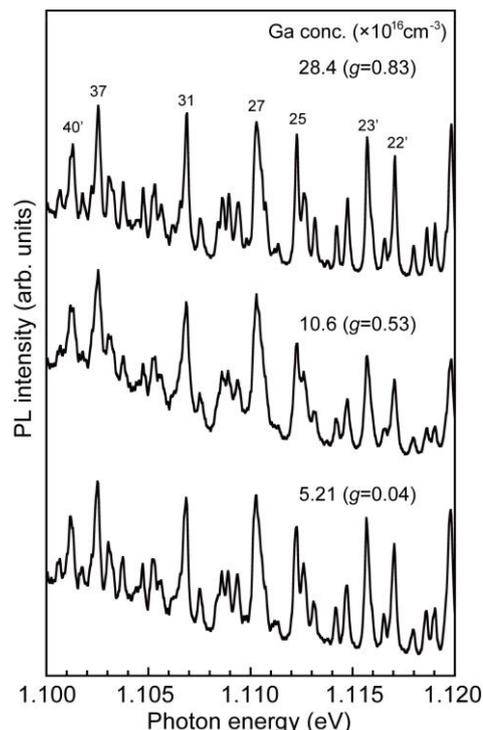


Fig. 1 Comparison of fine structure in high-energy tail of P-Ga band in Si co-doped with B, P and Ga at 4.2 K . Individual lines are labeled with shell number of DA pair luminescence.