

フォトルミネッセンスによる太陽電池用 Si 結晶評価

Photoluminescence Characterization of Photovoltaic Si Crystals

○田島道夫^{1,2}, 加藤言^{1,2}, 中川啓^{1,2}, 豊田裕之¹, 小椋厚志² (1. JAXA 宇宙研, 2. 明治大)

○Michio Tajima^{1,2}, Gen Kato^{1,2}, Kei Nakagawa^{1,2}, Hiroyuki Toyota², Atsushi Ogura¹

(1. ISAS/JAXA, 2. Meiji Univ.) E-mail: tajima@isas.jaxa.jp

【序】 太陽電池の総発電量において圧倒的な優位性を占める Si 結晶太陽電池には、より一層の高効率化と低コスト化が強く求められている。それに応えるには、LSI 用と比べ多くの残留不純物と欠陥を含む低品質の材料を、高効率化に向けて使いこなす技術が必要であり、不純物と欠陥の精密評価が不可欠となる。我々は、LSI 用 Si 結晶評価で培われたフォトルミネッセンス(PL)技術を背景に、太陽電池用 Si の評価を行ってきた。本稿では、PL によるドナー・アクセプタ不純物および転位・酸素析出物の評価について概観する^{1,2)}。

【不純物評価】 Si 結晶中のドナー・アクセプタ不純物は、それらの濃度に依存して、4.2 K においてバンド端近傍に Fig. 1 に示すような発光を呈する。不純物濃度 N が $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下では、自由励起子(FE)と不純物束縛励起子(BE)が現れ(a), その強度比から定量分析を行う手法が標準化されている。 $1 \times 10^{15} < N < 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の領域では、(b)のように FE が観測されなくなるが、試料温度を上昇させて FE を発生させ、(a)の手法を拡張できる。さらに濃度が高い $1 \times 10^{17} < N < 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の領域では、不純物クラスター束縛励起子(ICBE)発光が支配的となり(c), そのピークシフトから濃度を見積もることが出来る。ドナー、アクセプタ濃度がともに $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上で補償が起きている場合には、(d)に示すようなドナー・アクセプタ(DA)ペア発光が現れ、不純物種の正確な同定が可能で、補償比を見積もることも試みられている。さらに高濃度領域では縮退バンドからの発光が捉えられるようになり、解析を進めている。

【欠陥評価】 太陽電池の高効率化を妨げる欠陥として、転位と酸素析出物に注目が集まっている。これらの欠陥は LSI 用 Si においても重要な検討課題で、数多くの PL による精密評価が報告されている。Fig. 2 は多結晶 Si の小角粒界を含む領域の PL スペクトルで、4.2 K においては、前節で調べたバンド端発光の他に、深い準位発光として転位起因の D-line が現れる。室温では、Maxwell 形状のバンド間(BB)発光と、0.8 eV 付近に広い発光帯が現れる。ここで、BB 発光強度は少数キャリアライフタイムの尺度となることを利用し、近赤外カメラによるウェハー全面の発光像より、ライフタイムキラー欠陥を高速・高空間分解で捉える手法が急速に普及した。一方、小角粒界上に現れる 0.8 eV 発光帯は、熱処理によって酸素を析出させた CZ 結晶で観測される発光形状と類似しているが、半値幅がより広く、転位起因の二つの発光帯と酸素析出起因の発光帯からなることを明らかにした。酸素析出起因の成分が含まれていることは、FIB-TOF-SIMS を用いた同点観測、および酸素分布の電子線照射発光活性化により、また転位起因であることは、発光の偏光特性より確認されており、結晶育成中に酸素が転位へ優先析出したことが示唆される。

【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する。

- 1) 田島道夫:「太陽電池技術ハンドブック」小長井誠・植田譲編, オーム社, p. 437 (2013).
- 2) M. Tajima: IEEE J. Photovoltaics, **4**, 1452 (2014).

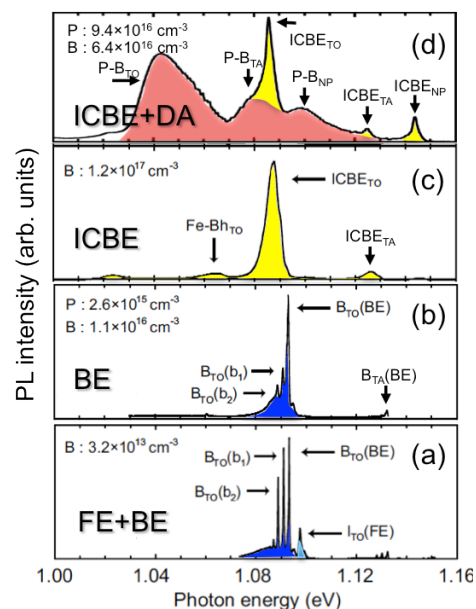


Fig. 1. Variation of PL spectra with dopant concentration in Si at 4.2 K.

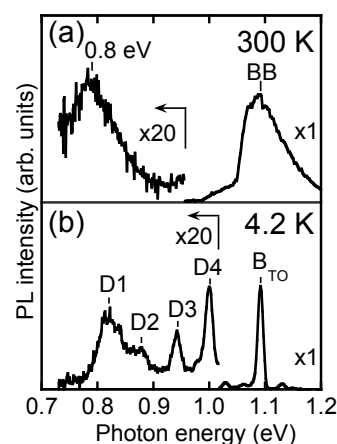


Fig. 2. PL spectra at (a) 300 K and (b) 4.2 K from defect region in mc-Si.