

高効率マルチ接合型太陽電池の実現に向けたキャリア密度および移動度の制御によるシリコン添加アモルファスカーボン薄膜の半導体特性の向上

Improvement of Semiconductor Properties of Si-added Amorphous Carbon Thin Films by Controlling Carrier Density and Mobility for High-efficiency Multi-junction Solar Cells

山口大学院創成科学 ○(M1)近藤 文太, 檜木野 宏, 本多 謙介

Grad. Sch. Sci. Technol. Innov., Yamaguchi Univ., °Bunta Kondo, Hiroshi Naragino, and Kensuke Honda

1. 緒言 PV 2030+で定められた 2050 年時点の太陽光発電による国内エネルギー供給量を 10%に引き上げるために, 効率 40%以上の高効率太陽電池の開発が必須であり, これには, 異なる光学ギャップ(E_g)のセル積層による多接合化が有効である. Si 添加アモルファスカーボン($a\text{-Si}_x\text{C}_{1-x}$)半導体薄膜は, E_g を 1.25-2.76 eV の範囲で制御可能であり, 多接合化による高効率化ができる. これまでに, n 型 $a\text{-Si}_x\text{C}_{1-x}/\text{p-Si}$ ヘテロ接合太陽電池単セルの高効率化のため, N 原子を n 型不純物として用い薄膜の移動度の向上を目的として, Mg 熱還元による $a\text{-Si}_x\text{C}_{1-x}$ 薄膜の微結晶化を試みている. しかし, 熱処理により炭素部位で

sp^2 化を誘発する N 原子では単セルの光電変換効率の低下を招くという問題がある. そこで, 本研究では炭素と sp^2 結合を形成しない P 原子を不純物として用いることで活性化率の上昇によるキャリア密度の向上を図る. さらに, sp^2 化を誘発しない P 原子で, 熱処理することによる移動度の向上を組み合わせることで太陽電池単セルの光電変換効率の向上を図り, 変換効率 $8.89 \times 10^{-1}\%$ の達成を目標とした.

2. 実験・結果及び考察 $a\text{-Si}_x\text{C}_{1-x}$ 薄膜は, テトラメチルシランを原料としたプラズマ化学気相成長法により p-Si 基板上に成膜した. 成膜後, トリフェニルフォスフィンを用いた熱拡散により P ドーピングを行った. 移動度の増加のため, Mg を蒸着し, Mg 熱還元を行うことで薄膜の微結晶化を行った.

Fig. 1 に作製した $a\text{-Si}_x\text{C}_{1-x}/\text{p-Si}$ ヘテロ接合セルの I-V 特性を示す. P ドーピング後, セルの J_{sc} は N ドーピング時よりも約 1.7 倍に増加し V_{oc} は約 0.8 倍に減少した. この時, 約 3.9 倍の薄膜のキャリア密度増加は熱拡散により薄膜中に P 原子が導入されドナーとして機能したことを示唆し, J_{sc} の増加要因の 1 つと考えられる. また, 移動度が約 0.23 倍に低下することでキャリアの再結合により V_{oc} が減少したと考えられる. 微結晶化後, N 及び P ドーピングした薄膜の移動度はいずれも微結晶化前から向上し, セルの V_{oc} が増加した. しかし, N ドーピングしたセルでは J_{sc} が約 0.4 倍に減少した. これは熱処理により sp^2 炭素が増加しキャリア再結合の頻度が上昇したためと考えられる. 一方, P ドーピングした薄膜では熱処理によりキャリア密度が約 0.6 倍に低下したが, セルの J_{sc} は微結晶化前と同程度であった. これは P 原子が熱処理により sp^2 炭素の生成を起こさないためと考えられる. 本研究では, P 原子の熱処理によりキャリア密度と移動度を同時に向上させることで変換効率 $1.31 \times 10^{-3} \%$ を達成した. 今後は薄膜のさらなる結晶化度の上昇により移動度を向上させることで, セルの高効率化を図る.

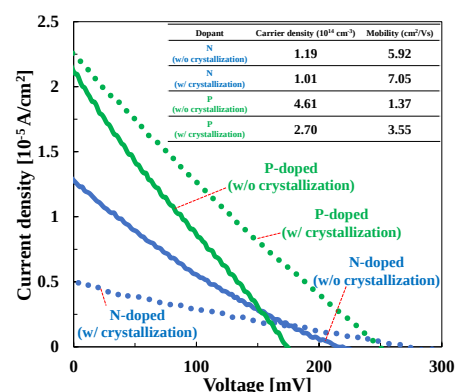


Fig. 1 I-V curves of P-, and N-doped $a\text{-Si}_x\text{C}_{1-x}/\text{p-Si}$ heterojunction solar cells with and without crystallization under simulated sunlight. Inset shows the carrier density and mobility of the thin films.