

c-Ge基板を用いたヘテロ接合太陽電池に関する研究

中野, 慎也

<https://doi.org/10.15017/4060181>

出版情報 : 九州大学, 2019, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 中野 慎也

論 文 名 : c-Ge 基板を用いたヘテロ接合太陽電池に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

日本はかつて世界の太陽電池の製造を牽引してきたが、新興国の台頭により世界シェアが急落している。従来のような技術的優位性による国際競争力を取り戻すための手段として、多接合化による変換効率向上がその一端を担っており、狭バンドギャップ材料を用いた太陽電池による長波長光の有効活用が必要不可欠である。そこで、本研究では狭バンドギャップ材料である c-Ge を用いたヘテロ接合太陽電池の研究開発に取り組んだ。

c-Ge はバンドギャップが 0.66eV であり、ボトムセル材料として長波長光を十分吸収する能力があり、化合物系の多接合太陽電池との格子定数が比較的近いこと、化合物多接合太陽電池のボトムセルとして使用されることがある。また、同じ 14 族の Si や Sn との合金は組成比でバンドギャップを調整できるため、新たな太陽電池材料として研究が行われている。一方で、狭バンドギャップ材料を用いた太陽電池は、Voc が低く、高温時の性能低下幅が大きいという欠点があるため、c-Si ヘテロ接合太陽電池で高 Voc および良好な温度特性を示す a-Si:H をヘテロ接合層の材料として用いた。

シミュレーション及び実験を通して、ヘテロ接合界面の構造及びバンドダイアグラムの制御方法を検討し、最終的には c-Ge を用いたヘテロ接合太陽電池として世界最高効率の 7.61% を達成した。主な成果は以下の通りである。

(1) c-Ge ヘテロ接合太陽電池のシミュレーションによる検討

c-Ge ヘテロ接合太陽電池の基礎特性をシミュレーションソフト AFORS-HET を用いて検討した。c-Ge 基板の伝導型とエミッタ材料検討の結果、c-Ge 基板中に発生する拡散電位が大きいと、高変換効率、かつ界面欠陥密度 D_{it} による変換効率の低下が抑制されることを明らかにした。

(2) 基板伝導型の選定と界面処理の影響

界面処理の検討では、ヘテロ接合界面に対して PH_3 暴露処理を適用すると良好な特性が得られることを見出した。シミュレーションで確認を行った結果、界面にドナーとして機能する P を供給することで、界面近傍の拡散電位が増加し、変換効率が改善していると推定された。

(3) a-Si:H/c-Ge(p)ヘテロ接合界面の評価

PH_3 暴露処理を適用した a-Si:H/c-Ge(p)ヘテロ接合界面について TEM、SIMS、SCM を用いた評価を行った。c-Ge(p)基板上に製膜した a-Si:H(i)層は界面でヘテロエピタキシャル成長を起していることを確認した。また、SIMS 及び SCM での分析の結果、 PH_3 暴露処理を適用した場合、界面近傍に P が存在し、c-Ge(p)基板内の拡散電位が増加しており、界面に P 導入を模擬したシミュレーション結果とも整合性していることを確認した。

(4) ヘテロエピタキシャル成長層の太陽電池特性への影響評価

a-Si:H/c-Ge(p)ヘテロ接合界面に存在するヘテロエピタキシャル成長層の太陽電池特性への影響をシミュレーションで確認した。a-Si:H/c-Ge(p)ヘテロ接合太陽電池の場合、エピタキシャル成長層とc-Ge(p)基板の界面に0.51eVの伝導帯バンドオフセットが存在し、エピタキシャル成長層中の正孔密度が低く抑制されるため、エピタキシャル成長層の欠陥密度が増加しても、太陽電池特性はほとんど影響を受けないことが示唆された。

(5) ヘテロ接合形成条件最適化による高効率化

太陽電池特性向上のため、a-Si:H(i)層の製膜条件及び界面処理条件の検討を行い、 D_{it} 低減と、c-Ge(p)内の界面近傍の拡散電位の調整を試みた。PH₃ 暴露処理を適用した場合、c-Ge(p)内の拡散電位は、a-Si:H(i)層製膜時のヒータ温度の影響を受けること、O₂ 暴露処理を適用することで、ヘテロエピタキシャル成長層がなくなることを確認した。

本研究で見出したO₂ 暴露処理とPH₃ 暴露処理および、最適なa-Si:H(i)層製膜条件を適用することで、c-Geヘテロ接合太陽電池としては世界最高の変換効率である7.61%を達成した。本研究で見出したO₂ 暴露処理とPH₃ 暴露処理によるc-Ge(p)ヘテロ接合太陽電池の特性改善手法は、O₂ 暴露処理による低欠陥界面の実現と、PH₃ 暴露処理とその後のa-Si:H(i)層製膜、ポスアニールによる界面特性改善が両立可能であり、c-Ge(p)ヘテロ接合太陽電池の変換効率向上に有効な手法であると考えられる。