

未来社会創造事業 探索加速型
「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域
終了報告書(探索研究期間)

令和3年度
研究開発終了報告書

平成29年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名：小長井 誠]

[学校法人五島育英会 東京都市大学 総合研究所・特別教授（特任教授）]

[研究開発課題名：超薄型 Si 系トリプル接合太陽電池]

実施期間：平成29年11月1日～令和4年3月31日

§ 1. 研究実施体制

(1) 「超薄型 Si 系トリプル接合太陽電池」グループ (学校法人五島育英会東京都市大学)

① 研究開発代表者：小長井 誠 (東京都市大学総合研究所、特別教授)

② 研究項目

- ・ 超薄型 Si-Rib 太陽電池
- ・ 超薄型 Ge-Rib 太陽電池
- ・ Si ナノウォール太陽電池

(2) 「高品質・高均一性パッシベーション膜開発」グループ (国立大学法人福島大学)

① 主たる共同研究者：齊藤公彦 (福島大学共生システム理工学類、特任教授)

② 研究項目

- ・ Rib 型太陽電池の高品質、高均一性パッシベーション膜開発

§ 2. 研究実施の概要

本研究開発では、Si系多接合太陽電池として、量子効果ワイドギャップSi/Si/Geのトリプル接合を提案している。Si系トリプル接合太陽電池を実現するため3項目の要素技術開発を実施した。

(1) 超薄型 Si-Rib 太陽電池

研究開発代表者らのグループでは、超高効率・超薄型 Si 太陽電池の実現に向けてオリジナル技術である”Rib 太陽電池”の提案・試作を行ってきた。Rib 太陽電池では、超薄型化することによってバルク内再結合を抑制し、大幅な開放電圧の向上を期待できる。本研究では、5cm 角程度のウェハを対象に Rib ウェハプロセスを開発し、トリプル接合セルのミドルセルとしての厚さが 10 μ m~100 μ m の超薄型ヘテロ接合型 Si-Rib 太陽電池を実現することを目的とした。

ヘテロ接合型太陽電池の高効率化には、表面洗浄技術とアモルファス Si(a-Si:H)によるパッシベーション性能の向上が極めて重要である。本研究では、まず a-SiO_x:H/a-Si:H 2 層構造パッシベーションの最適化とテクスチャー構造の基板表面洗浄方法を確立した。また a-SiO_x:H バッファ層が、パッシベーション性能の低下原因となるパッシベーション層の結晶化を防いでいることを明らかにした。

次いで Rib 太陽電池の性能改善を目指した。Rib 加工は、SiN 膜を耐性膜に用いた KOH による異方性エッチングにより行った。その結果、厚さが 120 μ m では最高変換効率 21.3%、厚さが 50~100 μ m では、20.4~20.9%が得られた。また、これまでは、Si₃N₄を保護膜に用いたレーザ加工と異方性エッチングを利用して Rib ウェハを作製してきたが、より単純なプロセスで Rib ウェハを作製するため、フォトリソグラフィとアルカリ耐性の強いレジスト膜の併用による Rib 加工法を開発した。その結果、厚さ 50 μ m の Rib 太陽電池で 20.6%の変換効率を得られた。

(2) 超薄型 Ge-Rib 太陽電池

トリプル接合太陽電池のボトムセルとしてのヘテロ接合型 Ge 太陽電池の研究を行った。ヘテロ接合型 Ge 太陽電池の高効率化には、基板の前処理のほか、ウェハのキャリア濃度、ウェハの厚さ、さらには a-Si:H を用いたパッシベーション構造の最適化など解決すべき課題が多い。まず、基板の前処理に関しては、製膜前の HCl 処理が高効率化に極めて有効であった。次に、ヘテロ接合型 Si 太陽電池と異なり、Ge 系ではウェハのキャリア濃度が太陽電池特性に大きな影響を与えていることが明確となった。本研究では、1 \times 10¹⁶/cm³から 3 \times 10¹⁸/cm³までの3種類の Ge ウェハを用いてセル試作を行った。その結果、キャリア濃度が 2.5 \times 10¹⁷/cm³のウェハで変換効率 8.6%が得られた (V_{oc} =0.291, J_{sc} =45.0 mA/cm², FF =0.656, 面積 1cm²)。この値は、現時点までに報告されているヘテロ接合型 Ge 太陽電池の中では世界最高の変換効率である。

(3) Si ナノウォール太陽電池

本研究では、Si 系トリプル接合太陽電池のトップセルとして、量子効果を用いたワイドギャップ Si ナノウォール太陽電池の要素技術開発を行った。

まず、ナノウォール加工技術に関しては、厚さが 20-30nm で高さ 1 μ m から 5 μ m のナノウォールの形成に成功した。ついでナノウォールを量子効果が現れる厚さ 2nm 程度まで極薄膜化するため酸化技術(スリミング)を開発した。またナノウォール間を埋める絶縁膜の材料として ALD-Al₂O₃膜を用いた。これにより厚さ 20nm 程度のウォール間を Al₂O₃膜で埋め込むことに成功した。次にウォール部の頭出し法としてドライ法とウェット法を試みた。以上のプロセス技術開発をもとに、ナノウォールへの接合形成を行った。接合形成には、n-a-Si:H を用いた。断面 TEM 像観察から、ナノウォールへの接合形成が確認できた。また、初期的な段階ながら開放電圧 352mV を得ることができた。

論文発表等

Makoto Konagai, Tsukasa Takamura, Ryuto Iwata, Rei Kondo, Yukimi Ichikawa, and Kimihiko Saito
Characterization of High Efficiency Heterojunction Thin Rib-Si Solar Cells
Proc.IEEE-PVSC, IEEE Explore, (2020) pps. 0088-0092
DOI: [10.1109/PVSC45281.2020.9300432](https://doi.org/10.1109/PVSC45281.2020.9300432)

Kimihiko Saito, Tsukasa Takamura, Yukimi Ichikawa and Makoto Konagai
Impact of Hydrogen Plasma Treatment on a-Si:H/a-SiO_x:H Passivation Film
37th EU PVSEC 2020, 07-11 Sep., Virtual Meeting

Yukimi Ichikawa, Masakazu Hirai, Ryousuke Ishikawa and Makoto Konagai
Fabrication of nano-wall Si hetero-junction cells
PVSEC-30 & GPVC 2020, Jeju, Nov.3-13 (2020) Virtual Meeting