

## 論文内容の要旨

博士論文題目 集光型太陽電池の薄型・軽量化に関する研究

氏名 林 伸彦

(論文内容の要旨)

集光型太陽電池(CPV)は単結晶Si太陽電池の2倍近い変換効率を出せる一方、大型、厚型であり、平面タイプの太陽電池と比べて輸送・設置が困難である。そこで、より多様な場所に容易に設置できるCPV実現のため、レンズ、発電素子の寸法を従来の約1/10に小型化した単モジュールを多数並べた薄型・軽量CPVモジュールの研究を行った。

本論文は、第1章「序論」から第6章「総括」までの全6章で構成されている。

第2章では、薄型CPVモジュールに必要な $1\text{mm}^2$ 以下の微小太陽電池素子(トップセル InGaP、ミドルセル GaAs、ボトムセル GaInNAsSb)を開発した。通常、太陽電池を小型化すると、素子周辺部のキャリア再結合による特性低下が懸念されるが、本素子は高集光倍率化により特性低下を抑制できることが判明し、受光面 $550\mu\text{m}$ 角の素子で通常素子と遜色のない41.3%のセル効率(500SUN)を得た。

第3章では、薄型CPVモジュールで高い発電性能を得るため、特性が未解明である微小太陽電池素子の特性解析を行った。小型凸レンズ(10mm角)の底面に受光面 $550\mu\text{m}$ 角の微小太陽電池素子を取り付けた、厚み20mmのモジュールを試作し、トップ、ミドル、ボトム、各セルの集光サイズ、光強度分布を変えて特性解析を行った。その結果、従来サイズのCPVで報告される、各セルの集光サイズや光強度分布が、レンズの色収差・コマ収差により不均一化することで発生する曲線因子(FF)の低下は見られず、トップセルn層とグリッド電極間の電流密度がFFに最も影響することが判明し、トップセルの集光サイズ拡大により発電性能が向上することを明らかにした。

第4章では、第3章で得られた知見をもとに、受光面を0.85mm角に拡大した

太陽電池素子を開発した。この素子を用いてトップセルの集光サイズを広げた単モジュールを試作・評価し、集光倍率 150 倍で 37.1%と非常に高い変換効率が得られることを実証した。

第 5 章では、薄型 C P V モジュールの実用化を検討した。軽量化のため、1 次レンズと 2 次レンズの間に空洞を設け、低コスト化のため、レンズを 22mm 角に拡大し、集光倍率を 720 倍に高めたモジュールを試作した。薄型 C P V モジュールでは、多数の微小素子を精度良く、低コストで実装する必要がある。そこで、配線形状を工夫した回路基板上で、熔融半田の表面張力により微小素子を自己整合的に実装する方法を開発した。通常の実装法で実装精度が  $\pm 30 \mu\text{m}$  の実装機を用い、 $\pm 10 \mu\text{m}$  の精度で実装できることを確認した。上記実装法により素子 25 個を実装した 110mm 角薄型・軽量 C P V モジュールにおいて、全素子に位置ずれなく、モジュール効率 30.4%が得られることを確認できた。

本研究では、微小太陽電池素子の特性を解明し、薄型 C P V モジュールで高い性能が得られることを実証した。さらに、多数の微小素子を低コストで高精度に実装する技術を開発した。今後、本研究の知見を活かすことで、高効率な薄型・軽量 C P V モジュールを普及させ、応用できる分野や用途を広げることにより貢献できると考える。

氏名	林 伸彦
----	------

(論文審査結果の要旨)

本論文は、多接合太陽電池を用いた集光型太陽電池(CPV)の薄型・軽量化について研究されたものであり、薄型CPVモジュールに必要な微小太陽電池素子の作製、微小素子特有の太陽電池特性の解明、薄型CPVモジュールの性能実証、および微小太陽電池素子の低コスト・高精度実装について検討を行い、以下に示す成果を得ている。

(1) 1mm<sup>2</sup>以下の微小太陽電池素子(トップセル InGaP、ミドルセル GaAs、ボトムセル GaInNAsSb)を開発した。異なるサイズの素子を用いて、太陽電池の小型化で懸念される素子周辺部のキャリア再結合の影響を調べ、高集光倍率化により特性低下を抑制できること、受光面 550 μm 角の素子で 41.3%のセル効率(500SUN)が得られることを示した。

(2) 10mm 角の凸レンズ底面に受光面 550 μm 角の微小太陽電池素子を取り付けた、厚み 20mm の薄型CPVモジュールを作製し、微小太陽電池素子のトップ、ミドル、ボトム、各セルの集光サイズ、光強度分布を変えて特性解析を行った。その結果、通常サイズのCPVで報告される、レンズの色収差・コマ収差により各セルの集光サイズや光強度分布が不均一化することで発生する曲線因子(FF)の低下は見られず、トップセル n 層とグリッド電極間の電流密度が FF に最も大きく影響していることを明らかにした。

(3) 上記の結果を踏まえ、受光面を 0.85mm 角に拡大した太陽電池素子を用い、トップセルの集光サイズを拡大することでトップセル n 層の電流密度を低減した薄型CPVモジュール(素子 1 個分)を評価した。その結果、37.1%と高い変換効率(集光倍率 150 倍)を確認し、微小太陽電池素子を用いた薄型CPVモジュールの基本性能を実証した。

(4) 薄型CPVモジュールの軽量化、低コスト化のため、集光光学系に空洞を設け、集光倍率を 720 倍に高めたモジュールを作製した。薄型CPVモジュールでは、通常サイズのCPVより、多数の微小素子を精度良く、低コストで実装する必要がある。そこで、配線形状を工夫した回路基板上で、熔融半田の表面張力により微小素子を自己整合的に実装する実装法を開発、±10 μm の精度で微小素子を実装できることを示した。上記実装法により素子 25 個を実装した 110mm 角薄型・軽量CPVモジュールにおいて、全素子に位置ずれがないことを確認し、モジュール効率 30%以上を確保できることを示した。

このように、本論文は、薄型モジュール内での微小太陽電池素子の特性の解明と微小素子の独自実装法により、薄型・軽量CPVモジュールの可能性を示した点で工学的に高い価値を有し、太陽電池分野の科学技術の発展に大きく寄与するものと考えられる。よって審査員一同は本論文が博士(工学)の学位論文として価値あるものと認めた。