

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 6日現在

機関番号：12601
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2012～2013
 課題番号：23760843
 研究課題名（和文） 薄型高効率集光太陽電池の研究開発

研究課題名（英文） Development of the high efficiency thin-concentrator photovoltaic systems

研究代表者

渡辺 健太郎 (WATANABE KENTAROH)
 東京大学・先端科学技術研究センター・特任助教
 研究者番号：30523815

研究成果の概要(和文):集光型太陽電池モジュールの高効率化・低コスト化を実現するために、軽量小型化を目指した新規光学素子の設計を行った。また、太陽光の集光環境下での応用に適した低電流大電圧化を目的とし、モノリシック直列接続太陽電池セルを開発した。さらに、より実用化に適した構造を検討するために、集光太陽電池ミニモジュールを試作し、フィールド試験設備を用いた評価試験を実施した。

研究成果の概要（英文）: Aiming for reducing the production cost and increasing conversion efficiency from sunlight to electric power, novel concept of primary and secondary optical element was designed for thin- and light-weight concentrator photovoltaic system module. The monolithic series connected photovoltaic cell had also been developed for reduced current and increased operation voltage. Such a series connected cell is the suitable energy conversion device for highly sunlight concentrated systems. Furthermore, we developed the trial mini-module of concentrator photovoltaic system and evaluated under field testing equipment.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・エネルギー学

キーワード：自然エネルギーの利用

1. 研究開始当初の背景

集光型太陽電池（CPV）は、高効率かつ低コストな太陽光発電システムとして注目されている。この CPV は安価な 1 次集光素子と光を平滑化する 2 次光学素子、太陽電池セルから発電モジュールが構成されている。この CPV モジュールは太陽光追尾装置を必要とするため、さらなる大規模化およびコスト低減のためには光学効率の改善と軽量化が必要とされている。また、従来の CPV では、モジュールを構成する要素のうち、1/3 を太陽電池セルのコストが占める。コスト低減のためには、より高い集光度を実現し、モジュー

ール面積に対して太陽電池セルの使用する割合を低減させる必要がある。

2. 研究の目的

より高い光学効率の実現と、モジュールの薄膜軽量化が可能となる光学設計を実施し、CPV システムの発展に寄与する。また、より高集光に適した太陽電池セルを開発する。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するため（1）低電流大電圧化セルの開発（2）薄型モジュール用集光素子の設計（3）モジュールの試作とフィー

ルド試験の実施、の3テーマについて開発を実施した。

4. 研究成果

(1) について、より高い集光度を実現し、ジュール熱の発生による損失を低減するため、太陽電池セルの低電流・大電圧化を目指したモノリシック集積化直列接合 GaAs 太陽電池セルの開発を行った (図1)。10個のサブセルの直列構造からなる GaAs 太陽電池セルによって電流密度を維持しつつ電圧が10倍となることが実証され、非直列時のセルよりも高集光環境下での太陽電池特性が向上することが示された (図2)。さらに、バイパスダイオードを同一のプロセス工程を用いて集積することにより、入射光の分布変動からサブセルの一部が遮蔽されることによって、逆バイアス電圧が印加されることに起因するサブセルの故障を防止する構造を開発した。

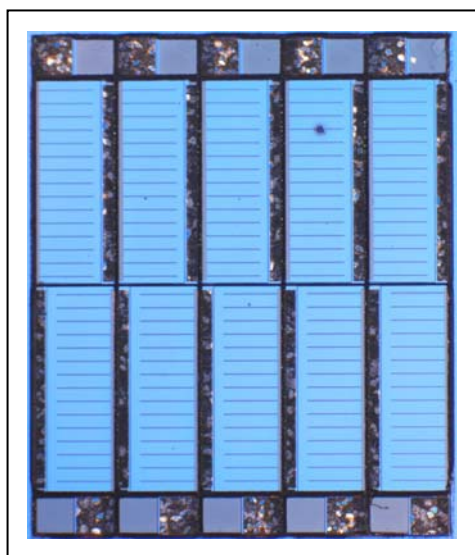


図1. 低電流・大電圧化を行った10直列構造 GaAs 太陽電池セル

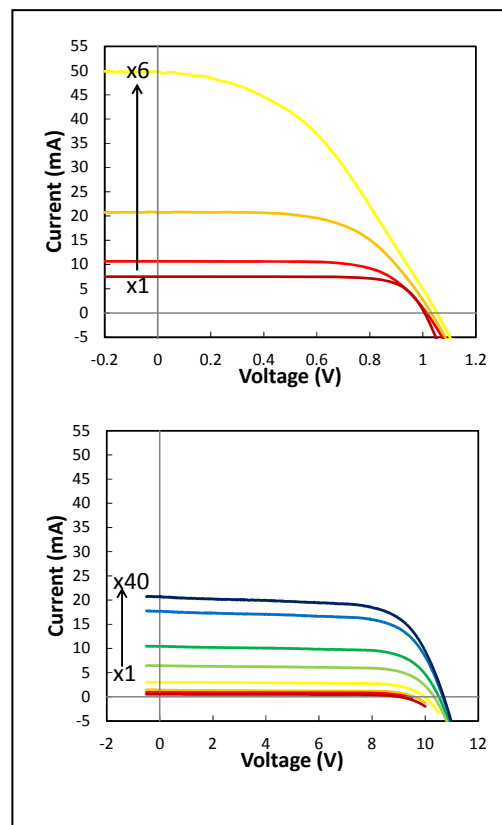


図2. 従来の非直列化太陽電池の集光特性 (上) と10直列構造 GaAs 太陽電池の集光特性 (下)

(2) に関しては、より薄型軽量のモジュール開発を目指した集光素子の光学設計を実施した。従来の屈折光学方式であるフレネルレンズを拡張し、フレネル面と反射面を複合させることで焦点距離を縮小する方式を検討し、直径100mmのレンズに対して焦点距離が50mmとなる1次集光素子について、光学スループットが80%となる条件を満たす設計が得られた (図3)。

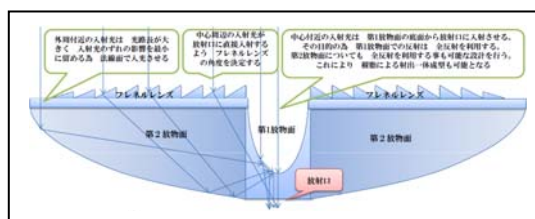


図3. 短焦点1次集光素子の概念設計

さらに、2次光学素子として1次集光素子からの光入射角度の分布に対して高いスループットを示す反射型光学素子を検討した。反射型の光学素子であるウインストンコーンは素子の許容入射角以内で入射した光を幾何光学的にはすべて射出口に集光する (図4)。ウインストンコーンの射出口に光キャ

ビティを組み合わせた形状の2次光学素子は屈折型素子にくらべて反射光による損失を低減させることができる(図4)。

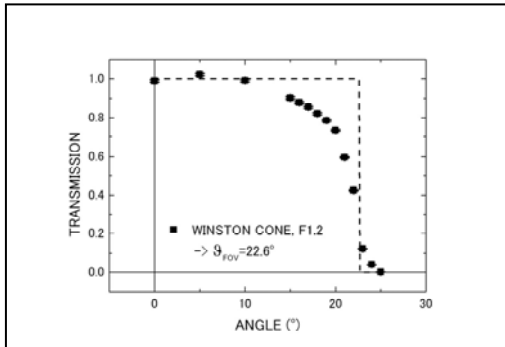


図4. F=1.2のウインストンコーンに対する光スルーブットの入射角度依存性

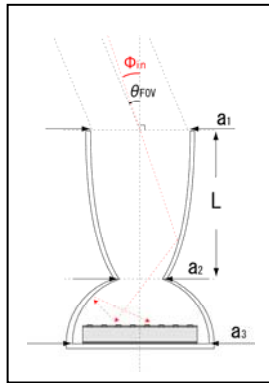


図5. ウインストンコーン/光キャビティ複合形状2次光学素子

(3) に関して、CPV ミニモジュールの試作とフィールド試験設備の実施を行った。電流整合型3接合タンデム太陽電池と100mmサイズのフレネルレンズ(焦点距離150mm)およびロッドレンズ型2次光学素子からなる幾何集光度400倍のCPV ミニモジュールを試作し、太陽光追尾架台に搭載した(図6)。集光光学素子をもつCPV システムにおいて利用できる光は通常、太陽からの直達光のみ利用可能であるため、直達日射計を用いて光照射環境モニターし、モジュールから得られる電流-電圧特性を測定することで、短絡電流・開放電圧・フィルファクター・最大電力出力を評価した(図7、表1)。直達日射計から見積もられる入力光のエネルギー密度と比較することで、フィールド試験の結果、24.7%の変換効率が得られ、光学効率は73%と推定された。

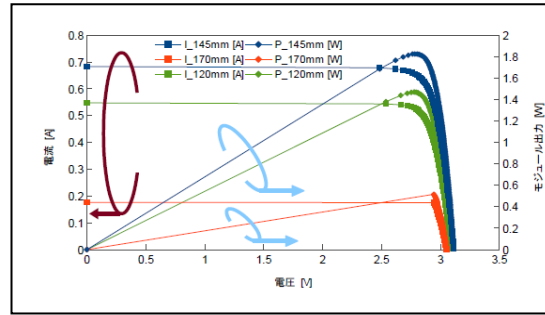
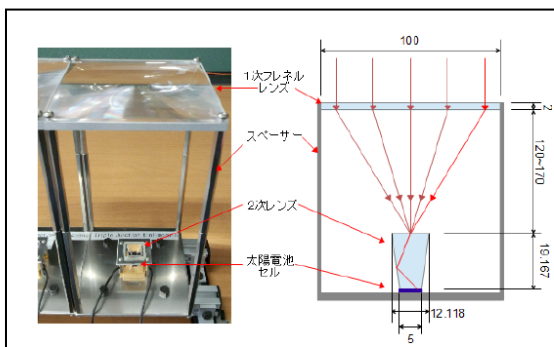


図7. フィールド試験結果から得られた、各焦点距離における電流-電圧特性および出力-電圧特性

表1. 試作したCPV ミニモジュールのフィールド試験結果から得られた性能指標

性能指標	測定結果 (焦点距離 L=170mm)
短絡電流	0.683 A
開放電圧	3.114 V
フィルファクター	0.857
最大出力	1.82 W
変換効率	24.7%
光学効率	73.0%

さらに、CPV モジュールにおいて重要な指標である、入射角度依存性の評価を実施した。一般に、CPV モジュールが直達光から角度誤差を生じた際に、出力が90%以上を維持する角度範囲を許容指向誤差とする。このモジュールが持つ許容指向誤差が追尾機構に許容される指向誤差を決定する。本研究では、試作したCPV ミニモジュールを用いて、太陽光追尾装置に対して意図的に指向誤差を与え、直達光から $\delta\theta$ の角度誤差を持った条件に対して電流-電圧特性を測定し、 $\delta\theta$ に対する出力の変化を評価した。評価結果からアジマス方向とエレベーション方向に対してほぼ均等な出力の指向誤差依存性がみられ、モジュールの許容指向誤差は $\pm 1.3^\circ$ であることが見積もられた(図8)。この値は、一般的なCPV モジュールでの値 $\pm 0.5^\circ$ 程度と比較して大きい値であることが明らかとなった。

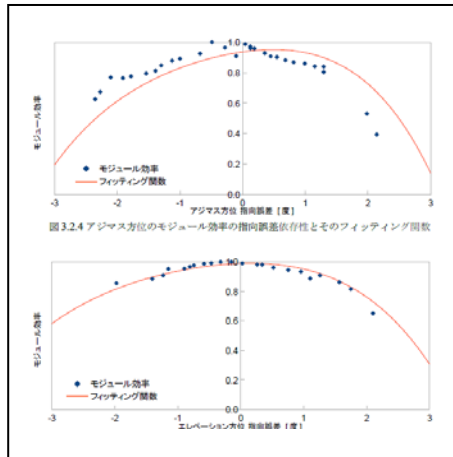


図 8. 試作 CPV ミニモジュール出力の指向角度誤差依存性

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

(1) Kentaroh Watanabe, Minato Seno, Yugo Yamada, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano, "Fabrication of Monolithic Integrated Series-Connected GaAs Photovoltaic Cells for Concentrator Applications", Jpn. J. Appl. Phys., vol. 51, 2012, pp. 10ND18-1-10ND18-4
DOI:10.1143/JJAP.51.10ND18

[学会発表] (計 7 件)

(1) 渡邊冬馬、渡辺健太郎、杉山正和、中野義昭、集光型太陽電池モジュールの試作と許容入射角の測定、第 60 回応用物理学会春季学術講演会、神奈川県、2013 年

(2) 瀬能未奈都、渡辺健太郎、杉山正和、中野義昭、モノリシック集積直列接続 GaAs 太陽電池の集光特性評価、第 60 回応用物理学会春季学術講演会、神奈川県、2013 年

(3) 瀬能未奈都、渡辺健太郎、杉山正和、中野義昭、高集光発電用マイクロ集積直列接続 GaAs 太陽電池の試作、化学工学会第 44 回秋季大会、宮城県、2012 年

(4) Minato Seno, Kentaroh Watanabe, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano, "Monolithic Integrated Series Connected GaAs Solar Cells with Bypass Diodes for Reduced Joule Energy Loss under Concentration", 27th European PCSEC, Frankfurt, Germany, 2012.

(5) 瀬能未奈都、渡辺健太郎、杉山正和、中野義昭、マイクロ集積直列太陽電池の試作、第 59 回応用物理学会関係連合講演会、東京

都、2012 年

(6) Kentaroh Watanabe, Minato Seno, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano, "Fabrication of Monolithic Integrated Series-Connected GaAs PV Cells for Concentrator Application", PVSEC21, Fukuoka, Japan, 2011.

(7) 渡辺健太郎、渡邊良祐、杉山正和、宮野健次郎、中野義昭、集光錐と光キャビティによる集光型太陽電池 2 次光学素子の検討、第 72 回応用物理学会学術講演会、山形県、2011 年

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 太陽電池用集光装置及びこれを用いた発電装置

発明者: 渡辺健太郎、杉山正和、中野義昭

権利者: 同上

種類: 特許

番号: PCT/JP2012/071021

出願年月日: 2012 年 8 月 21 日

国内外の別: 国内及び外国

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡辺 健太郎 (WATANABE KENTAROH)

東京大学・先端科学技術研究センター・特任助教

研究者番号: 30523815