

令和 2 年 6 月 23 日現在

機関番号：54301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12939

研究課題名（和文）シリコン太陽電池教材を用いた教育プログラムの開発

研究課題名（英文）Development of educational program using silicon solar cell teaching materials

研究代表者

内海 淳志 (Utsumi, Atsushi)

舞鶴工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：30402663

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：再生可能エネルギー教育の一環として、太陽電池の仕組みの学習や太陽電池づくり体験の機会が求められている。しかし、現状では一般的に普及しているシリコン太陽電池に関して、体験型の公開講座はほとんど実施されていない。体験が長時間に渡り、かつ高額な教材費用を要するためである。本研究では、これまでに開発した短時間で作製可能なシリコン太陽電池教材の改良を進めるとともに、この教材を使用した教育プログラムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

シリコン太陽電池は、再生可能エネルギーにおいて中心的な存在である。しかし、太陽電池の仕組みの学習や太陽電池づくり体験は、主に色素増感太陽電池教材を用いて行われているのみで、シリコン太陽電池を用いた例はほとんど実施されていない。作製体験が長時間になり、かつ高額な教材費用を要するためである。本研究では、これまでに開発した短時間で作製可能なシリコン太陽電池教材の改良を進めるとともに、この教材を使用した教育プログラムを開発した。

研究成果の概要（英文）：As part of renewable energy education, we need the opportunity to learn about solar cells and to experience making them. However, there are few public lectures on the fabrication of the widely used silicon solar cells today. This is due to long fabrication times and high material costs. In this research, we improved teaching materials of silicon solar cells that can be fabricated in a short time, and developed the educational program using them.

研究分野：光半導体工学

キーワード：シリコン太陽電池 教材開発 再生可能エネルギー 科学教育 環境教育 太陽電池 工学教育

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

舞鶴工業高等専門学校（以下、舞鶴高専）のある京都府舞鶴市は、原発銀座と呼ばれるほど多くの原子力発電所がある福井県に隣接する市町村の一つである。原子力発電所から 30 km 圏内に市のほぼ全域が入るため、原子力への関心が高い地域である。このような背景から、代替エネルギーである再生可能エネルギーに強い関心をもっている地域でもある。我々は再生可能エネルギーの代表的な存在であるシリコン太陽電池を学ぶ公開講座を、再生可能エネルギーへの関心が高まっているこのタイミングで提供したいと考え、公開講座に適したシリコン太陽電池教材の新規開発を進めてきた。これまでに我々が開発した太陽電池と従来の太陽電池との大きな違いはその構造と作製時間である。太陽電池の発電性能を高めるのではなく、作りやすくわかりやすい太陽電池を目指して、太陽電池の構造と作製工程を工夫した結果、従来は丸一日近くかかっていたシリコン太陽電池の作製時間を 3 時間にまで短縮することに成功したのである。この太陽電池は 3 時間以内で作製できるため、例えば高専での学生実験 1 回の時間（180 分）で完成させることができる。

これまでの開発によって、発電が可能な太陽電池教材とその作製工程については一定の目途がたっている。しかしながら、実際に公開講座で使用することを想定すると、安定した発電実験を行うための改良、および測定を容易に行うための改良が必要である。具体的には、太陽電池の表面電極（フィンガー電極およびバスバー電極）および保護のための外装の検討などである。また、この太陽電池教材を有効に利用した教育プログラムを開発する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、これまでに開発した太陽電池教材の改良を行うことを目的とする。具体的な改良箇所としては、太陽電池の表面電極と外装があり、どちらも太陽電池の発電効率に影響を与えるものである。併せて、一般市民を対象とした再生可能エネルギーを学ぶための太陽電池に関する公開講座で本教育プログラムを導入し、その効果を測ることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) シリコン太陽電池教材の改良

シリコン太陽電池教材の改良内容は、大きく二つに分かれる。一つは表面電極の検討であり、もう一つは太陽電池を汚れや破損から保護するための外装の検討である。

まず、表面電極の検討方法についてである。太陽電池表面に形成する表面電極であるフィンガー電極およびバスバー電極（以降ではこれらをまとめてフィンガー電極と呼ぶ）は、通常、太陽電池内部で発生した電流を取り出しやすくするために使用する。太陽電池表面の電極面積を減らしつつ、電極の抵抗値を下げるのが重要であり、太陽電池の発電効率を大きく左右する部材である。このように、フィンガー電極はシリコン太陽電池の構成を説明する上で欠かせない要素である。本研究では、フィンガー電極の材料、形状および形成方法について検討を行った。

次に作製した太陽電池教材の外装についての検討である。これまでに開発した太陽電池教材は外装をもたなかったため、太陽電池の取り扱い方によっては汚れてしまったり、破損してしまったりといったことがあった。太陽電池の基板がシリコンであるため、汚れやすく、また割れやすいのである。具体的には、指についている脂が太陽電池の表面に付着してしまうとシリコンに届く光が弱くなるため発電量が減少する。太陽電池がわれると、導線の役割を果たしていた表面電極も同時に割れるため、断線の状態となり、発電実験で使用できなくなる。これらを防ぐためには簡便な方法で形成できる外装の開発が必要である。また、外装を検討する際には、光の透過性に注意をすることが必要である。太陽電池に外装を取り付けたために太陽光が照射できなくなるのでは意味をなさない。十分な透過性を確保できるように、光の透過率についても評価する必要がある。本研究では、外装の材料および形成方法について検討を行った。

(2) シリコン太陽電池教材の実践

シリコン太陽電池教材の実践の内容は大きく二つに分かれる。太陽電池の作製体験と太陽電池を使用した発電体験である。中学生向けには太陽電池の学習と作製体験を中心とした公開講座を、小学生向けには太陽電池の学習と発電体験を中心とした公開講座を開催することを目的として計画を進めた。対象は舞鶴市の小学校高学年および中学校の生徒であり、開催時期は大賞の生徒が参加しやすい夏休み期間に実施することにした。場所は、舞鶴高専地域共同テクノセンターの講義室および電子デバイス実習室（試作室）を利用することにした。

4. 研究成果

(1) シリコン太陽電池教材の改良

まず、フィンガー電極の検討についてである。通常、完成した太陽電池を用いて発電量を測定する場合、フィンガー電極を取り付けたり、取り外したりを自在に行うことはできない。このためフィンガー電極の有無による発電量の比較を行うことは意外に難しい。我々が開発した太陽電池の場合、受光面にアルミテープを後付けすることで、簡単にフィンガー電極を形成することが可能であった。そこでまずはアルミテープをフィンガー電極として使用して、フィンガー電極の効果を評価した。結果として、はさみやカッターナイフで加工できる程度の大きさであっても、適切な形状にすることで短絡電流を約 10 倍に増加させることができた。電流値が一桁変わると

いうわかりやすい差が得られるため、このフィンガー電極の形成実験を教育プログラムで行う実験テーマに加えることにした。

さらに発電量を増加させるため、スズメッキ線と銀ペーストについてもフィンガー電極の材料として検討をおこなった。結果として、アルミテープをフィンガー電極として利用したのものに比べて、短絡電流を2倍に増加させることができた。本研究で開発している太陽電池教材は、短時間で作製できる太陽電池を目的としていることから、発電量に対する期待は大きくなかったが、さらなる改良を進めることである程度の発電量を得ることができる見通しが得られた。

2019年度は、フィンガー電極の材料として新たに液体金属の可能性を検討した。液体金属の抵抗率測定など基本的な検討を通して、フィンガー電極として十分に利用可能な材料を準備することができた。実際に太陽電池の表面に塗布することでフィンガー電極として機能することまでを確認することができた。液体金属と半導体の接触についてであるが、半導体の不純物濃度によってショットキー接触およびオーミック接触を制御できることがわかった。この新しく得られた知見から、従来の太陽電池の作製方法に比べて飛躍的に簡易な方法で太陽電池が作製できるようになることが期待されるため、重要な知見が得られたと言える。

次に太陽電池の外装についてである。汚れや破損を防ぐための外装であるが、ビニール素材を用いた真空封止、透明硬化樹脂を用いた樹脂封止およびラミネートフィルムによる封止などを試行した。具体的には、これらの防汚性能、機械強度、光透過性および太陽電池の発電量を比較検討した。これらの結果として、ラミネートフィルムが光透過性と機械強度に優れていることがわかった。また、ラミネートフィルムを用いた封止であれば、真空封止装置などの特別な装置が不要であり、太陽電池作製実験に容易に取り入れることができることから、これを外装として使用することにした。

(2) シリコン太陽電池教材の実践

シリコン太陽電池の改良の成果を受けて、基本的な教育プログラムの確立を目的とした公開講座を実施した。

2018年に教育プログラムを試行するための公開講座を中学生向けに1件、小学生向けに太陽電池の仕組みの学習を中心とした公開講座を2件実施した。小学生向けの公開講座では、モータの回転実験および発光ダイオードの点灯実験などの準備および試行を行った。本教育プログラムにおいて、太陽電池の発電を確認するための実験として行う内容である。この年度の研究成果としては、次年度に予定している教育プログラムの各種実験実施に一定の目途をつけることができたことである。

2019年に教育プログラムを基に公開講座の実施を行った。その内訳は、開発した教育プログラムを試行するための中学生向けの公開講座を1件、太陽電池に興味をもつ小学生向けに太陽電池の学習と発電体験を中心とした公開講座を2件である。

中学生向けの公開講座では、舞鶴高専で作製した太陽電池にフィンガー電極をつける実験を行った(図1を参照)。フィンガー電極の有無で発電量が大きく変化するため、その効果が非常にわかりやすい実験となった。この実験は、参加した中学生の反応も良く、今後も取り入れていく予定である。

小学生向けの公開講座の様子を図2に示す。この公開講座では複数の太陽電池を直列で接続して行うモータの回転実験など、各種実験実施の内容を含めて、基本的な教育プログラムが確立できたと言える。

参加者へのアンケートおよび聞き取り調査の結果、太陽電池の仕組みや利用方法に興味をもち、より深く学習したいと考えるようになった小学生・中学生が多いことがわかった。このことから、本研究で開発した教育プログラムが有効に機能していることが確認できた。



図1 中学生向け公開講座の様子



図2 小学生向け公開講座の様子

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 萩原隆仁, 内海淳志
2. 発表標題 ショットキーバリアダイオード作製実験の改良
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笠岡奎治, 内海淳志
2. 発表標題 学生実験用シリコン太陽電池のフィンガー電極の検討
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 江湖俊仁, 萩原隆仁, 内海淳志
2. 発表標題 表面プラズモンフィルタを付加したショットキーフォトダイオードにおける光電流の電極膜厚依存性
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 江湖俊仁, 内海淳志
2. 発表標題 ショットキーダイオード教材における並列抵抗の検討
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水口公陽, 江湖俊仁, 内海淳志
2. 発表標題 学生実験用シリコン太陽電池教材の改良
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 江湖俊仁, 池山拓斗, 内海淳志
2. 発表標題 表面プラズモンフィルタを付加したショットキー型フォトダイオードの評価
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松平 颯, 江湖俊仁, 池山拓斗, 内海淳志
2. 発表標題 ショットキー型フォトダイオードの金属電極膜厚の検討
3. 学会等名 第23回高専シンポジウムin神戸
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水口公陽, 江湖俊仁, 内海淳志
2. 発表標題 シリコン太陽電池教材の改良
3. 学会等名 第23回高専シンポジウムin神戸
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----