

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：54301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K16251

研究課題名(和文)再生可能エネルギー教育のためのシリコン太陽電池教材の開発と実践

研究課題名(英文)Teaching materials development of silicon solar cells for renewable energy education

研究代表者

内海 淳志 (Utsumi, Atsushi)

舞鶴工業高等専門学校・電気情報工学科・准教授

研究者番号：30402663

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：シリコン太陽電池は、再生可能エネルギーの最も代表的なものの一つであり、その教育が重要視されている。本研究の目的は、再生可能エネルギー教育のためのシリコン太陽電池教材を開発することであり、我々は太陽電池作製工程の時間を短縮するために、ショットキー太陽電池の構造を選択し、作製工程の簡素化を行った。開発したシリコン太陽電池は、半日で作製することができるため、大学・高専の学生実験や公開講義において利用することができる。

研究成果の概要(英文)：Silicon solar cells are one of the most representative sources of renewable energy, and it is important to teach students at the National Institute of Technology how to fabricate and use them. The purpose of this study was to develop the silicon solar cell teaching materials for renewable energy education. In order to shorten the time of the solar cell fabrication process, we selected the structure of the Schottky solar cell and simplified the fabrication process. The developed silicon solar cell can be fabricated in half a day. Therefore, it can be used for a student experiment and a public lecture at the National Institute of Technology.

研究分野：光半導体工学

キーワード：教材開発 太陽電池 シリコン 再生可能エネルギー

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、複数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 圏内に市のほぼ全てが入るため、放射線および原子力発電への関心が高い地域である。舞鶴高専では、地域貢献の一環として公開講座「防災について学ぼう」を開催しており、原子力防災と津波や地震等の自然災害に関する防災の学習を行っている。本研究者もその講師としてこの公開講座に関わっており、一般市民と直接意見交換を行ってきた。その中で、「原子力発電はよくわかったが、太陽電池や風力発電(再生可能エネルギー)についても学ぶ機会を設けてほしい。」との要望があった。原子力発電への関心が高いという背景から、代替エネルギーとしての再生可能エネルギーにも強い関心が向いているのだと考えられる。そこで、本研究者は再生可能エネルギーの代表的な存在である太陽電池を学ぶ公開講座を計画することにした。具体的には、実際に手に取って理解する体験形式の公開講座として、一般に認知度の高いシリコン太陽電池の作製とその発電実験を行う学習プログラムの構築である。

前述のシリコン太陽電池はシリコンを基板材料に用いた太陽電池であるが、それを教材に選んだ理由について述べる。これまでに開発されている太陽電池教材は、色素増感太陽電池が有名であり、既に小中学生対象の理科実験や再生可能エネルギー教育の教材として活用されている。舞鶴高専でも以前取り組んだことがあるが、日常我々が目にするシリコン太陽電池と様子が異なること、および電解液の封止が難しく発電が不安定なことから体験学習のための太陽電池である感が否めなかった。そこで、本研究では身近な太陽電池として存在するシリコン太陽電池を教材に選んだ。

事前調査でシリコン太陽電池を教材とした公開講座の実施状況を調べたところ、太陽電池を作製できる設備をもっている大学や高専でもほとんど行われていないことがわかった。近年実施された 2 件の講座からこの理由を探ってみると太陽電池の作製時間と費用に問題があった。まず公開講座の時間であるが、開始が朝 9 時で、終了が 17 時 30 分もしくは 18 時と丸一日かかっていた。シリコン太陽電池の作製には、不純物拡散、エッチング、電極形成および熱処理等、複数の工程を要するためである。しかし、一般市民向けの講座としては長い。次に費用であるが、教材費に 2,000 円から 3,000 円程度かかっており、一般的な公開講座が数百円、場合によっては無料であることを考えると開講しにくいことがわかる。結果として、積極的にシリコン太陽電池を公開講座で扱うことが少なくなっていると考えられる。本研究では、課題の一つである作製時間に着目し、半日の

公開講座で作製できるシリコン太陽電池教材を開発することにした。

2. 研究の目的

本研究では、半日の公開講座で作製できるシリコン太陽電池教材を開発することを目的とした。具体的には、シリコン太陽電池教材の作製プロセスの検討と改良を行った。

3. 研究の方法

まず、シリコン太陽電池の作製時間であるが、その目標値を決めるため、公開講座の学習の流れを定めた。本研究で想定している公開講座の流れを図 1 に示す。半日の公開講座として全体を 4 時間と設定し、太陽電池の説明、作製、発電実験の順で実施する場合を考えると、太陽電池の作製に割り当てられる時間は 2.5 時間程度である。

この作製時間を実現するために、本研究ではシリコン太陽電池の一種であるショットキー型太陽電池を採用した。ショットキー型太陽電池は通常使用されている pn 接合型太陽電池と比べると発電効率は低いものの、不純物拡散およびエッチング等、複数の作製工程を省くことができるため、作製時間の大幅な短縮が見込める。

一方で、ショットキー型太陽電池は表面と裏面に形成する二種類の電極が重要であり、その出来不出来が発電特性を左右する。本研究では、蒸着装置を用いてこれらの電極を形成するため、作製時間短縮の一つの方法として、蒸着時間の短縮、すなわち真空引きの時間短縮を検討した。真空引きの時間短縮は、蒸着によって形成した金属薄膜の質の低下を引き起こし、太陽電池の発電特性に影響をおよぼす可能性がある。そのため、電流-電圧特性を確認しながら開発を進めた。

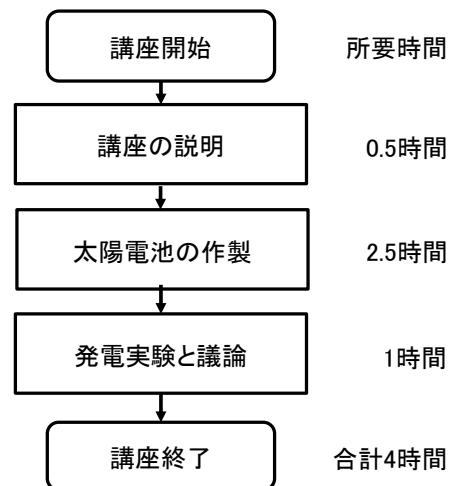


図 1 公開講座の流れ

#### 4. 研究成果

##### (1) シリコン太陽電池教材の開発

まず、開発したシリコン太陽電池教材の作製プロセスについて述べる。本研究ではシリコン基板として、太陽電池用のn型シリコンウェハを用いた。電極を形成する前に行う基板洗浄では、有機洗浄、酸化膜除去を行った。電極は表面のショットキー電極、裏面のオーミック電極共にアルミニウムを電極材料として選択し、それぞれの電極は真空蒸着によって形成した。電極を形成したシリコン基板は、銅板上に導電性接着材を用いて固定した。図2に作製したシリコン太陽電池の写真を示す。

図3に示すようにマニュアルプローバーを用いた測定環境の下、電流電圧特性および発

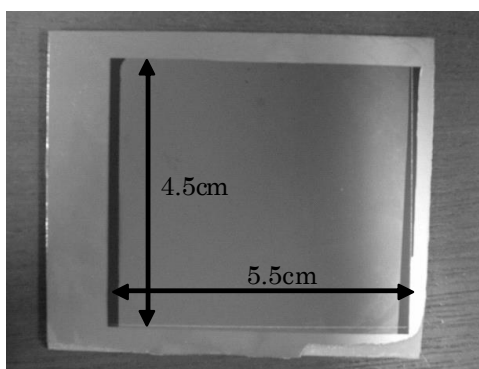


図2 作製した太陽電池

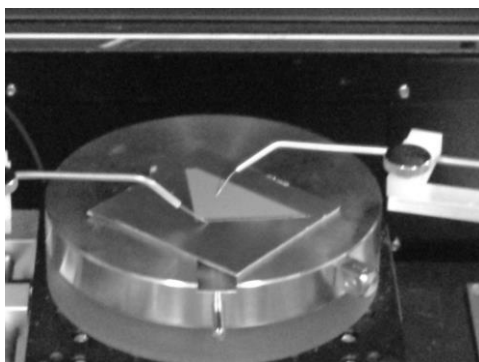


図3 プローバーを用いた測定の様子

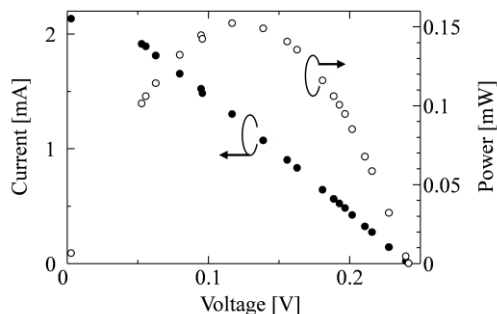


図4 電流電圧特性および電力電圧特性

電特性を測定した。発電特性を測定する際は、光源としてタングステンランプを用いた。作製した太陽電池に、光を照射したところ、図4に示す電力電圧特性が確認できた。しかしながら、太陽電池の電流電圧特性に大きなバラつきが見られたことから、太陽電池の電流電圧特性の安定化に関して研究を進めた。試行錯誤の結果、作製プロセスに450°C、1分の熱処理を加えることで、電流電圧特性の安定化が図れることがわかった。さらに、この熱処理プロセスを加えることで発電量を向上させることにも成功した。結果として、開発した太陽電池の短絡電流および開放電圧は、小型のテスターで十分に測定できる大きさになった。

開発した太陽電池の作製時間は2.5時間であり、短時間で作製可能な太陽電池教材を開発するという本研究の目的が達成できたとと言える。

##### (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開発に目途がついたことから、当初の研究計画に沿って、舞鶴高専での実験実習においてこの教材の活用を試みた。対象は専攻科1年生であり、実験実習テーマは「半導体デバイスの作製実験」であった。この実験実習は、1回あたり4名あるいは5名で計3回行った。教育効果を評価するため、実験実習前後に半導体工学に関するアンケート調査を行った。この実験実習における教育効果の評価については、現在も継続して行っているところである。

次に公開講座であるが、図5に示す小学生高学年向けの公開講座で、開発したシリコン太陽電池教材の紹介と太陽光発電実験を行った。この公開講座で太陽電池の作製はしていないが、舞鶴高専で作った太陽電池が発電の様子を見て、参加者は驚き、強い興味を持ったようである。

今後の課題としては、一般向けの体験型公開講座の実施、およびその教育効果の評価がある。また、シリコン太陽電池の教材費の問題が未解決であるため、引き続き教材開発を進める予定である。



図5 公開講座で説明している様子

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕（計8件）

- ① 江湖俊仁, 森 涼太, 内海淳志, “ショットキーバリアダイオード教材の改良”, 第64回応用物理学会春季学術講演会, 2017年3月14日~3月17日, パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市)
- ② 江湖俊仁, 内海淳志, “チタン-アルミニウム電極を使用したショットキーバリアダイオードの作製”, 平成28年度電気学会関西支部高専卒業研究発表会, 2017年3月4日, 中央電気倶楽部(大阪府・大阪市)
- ③ 江湖俊仁, 森 涼太, 内海淳志, “チタン-アルミニウム電極を使用したショットキーバリアダイオードの検討”, 第22回高専シンポジウム in 三重, 2017年1月28日, 鳥羽商船高専(三重県・鳥羽市)
- ④ 森 涼太, 江湖俊仁, 内海淳志, “学生実験のためのショットキー型太陽電池の基礎的検討”, 第22回高専シンポジウム in 三重, 2017年1月28日, 鳥羽商船高専(三重県・鳥羽市)
- ⑤ 江湖俊仁, 森 涼太, 内海淳志, “n型シリコン基板を用いた学生実験用ショットキーバリアダイオードの検討”, 日本高専学会第22回年会講演会, 2016年8月27日~8月28日, 沼津工業高等専門学校(静岡県・沼津市)
- ⑥ 藤田智常, 多田彬史, 内海淳志, “シリコン太陽電池教材の開発”, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 2016年3月19日~3月22日, 東京工業大学大岡山キャンパス(東京都・目黒区)
- ⑦ 多田彬史, 藤田智常, 内海淳志, “学生実験用ショットキーバリアダイオードの試作”, 第21回高専シンポジウム in 香川, 2016年1月23日, 丸亀市民会館・丸亀市生涯学習センター(香川県・丸亀市)
- ⑧ 藤田智常, 多田彬史, 内海淳志, “再生可能エネルギー教育のための太陽電池教材の検討”, 日本高専学会第21回年会講演会, 2015年8月29日~8月30日, 徳山工業高等専門学校(山口県・周南市)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

内海 淳志 (UTSUMI, Atsushi)  
舞鶴工業高等専門学校・電気情報工学科・  
准教授  
研究者番号：30402663