

3D プリンタを用いた光トラップ検出器の製作と それによる光子束測定

齋藤研究室 1516230 藤原拓也

1. 研究動機・目的

光計測の分野において、結晶 Si 太陽電池と基本的に同じ Si フォトダイオードは、その完全性の高さから内部量子効率ほぼ 1 が達成されており、それは表面の反射率測定さえ行えば、可視域で±0.1%レベルの絶対測定が可能となる。これをより簡便化し、反射率測定すら不要にして手軽に絶対測定を可能としたのが、光トラップ検出器である [1, 2]。

本研究では、3D プリンタを用いて、光の絶対測定において重要な役割を果たす光トラップ検出器を自作し、それによって波長依存性のない光子束測定を可能とし、太陽光発電分野の評価に活用することを目的とした。

2. トラップ検出器の設計

光トラップ検出器は前記したように、既に提案がなされた物であるが、複数のフォトダイオードを組み合わせるため、光軸合わせを正確にする必要がある。さらに光軸は反射の都度 3 次元空間内で変化するため、フォトダイオードを取り付けるフォルダの製作は容易ではない。この困難さを解消するため、本研究では 3D プリンタを活用することとした。

トラップ検出器には様々なタイプがあるが、本研究では、図 1 に示したように、3 個の Si フォトダイオード（浜松ホトニクス S1337-1010BQ）を用いて、入射光が 3 個目で、もと来た光路を逆にたどるように計 5 回反射させる方式とした。

具体的には次の通りである。入射光が Z 軸方向とすると、入射角 45° に設定してある 1 個目のフォトダイオードで光の進路を XZ 平面内で 90° 曲げる。前記反射光に対し入射角 45° に設定してある 2 個目のフォトダイオードで、光の進路を今度は YZ 平面内で 90° 曲げる。2 個目のフォトダイオードからの反射光に対し 3 個目のフォトダイオードのみ入射角 0° に設定してあり、反射光は、もと来た光路を逆にたどり、はじめの入射光と反対向きとなって出てゆく。このトラップ検出器は、総合的な反射率をほぼ 0 にするとともに、偏光依存性がないのが大きな特徴となっている。

このような反射を実現するため、3 個のフォトダイオードを 3 次元空間中で適切に配置する必要がある。本研究では、3D CAD ソフト (DesignSpark

Mechanical) で各部品の配置を適切に検討して設計した。図 1 の CAD データを 3D プリンタ用に STL ファイルに変換し、図 2 に示したフォトダイオードを固定するケース兼フォルダを、3D プリンタ (The Micro Plus) により製作した。

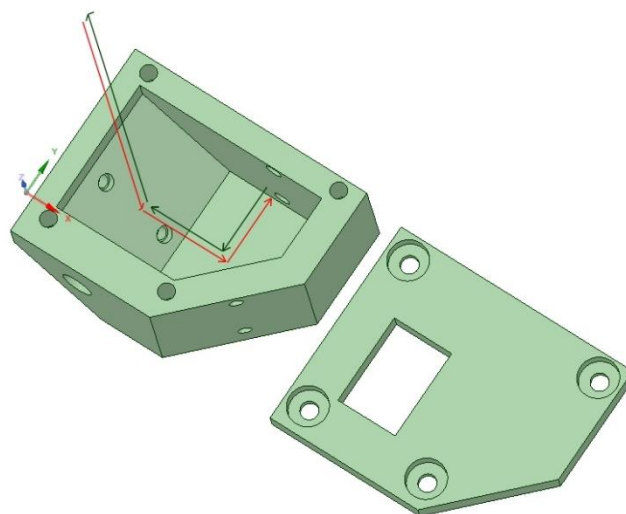


図 1 3D-CAD で製作した光トラップ検出器



図 2 光トラップ検出器のフォトダイオードを固定するケース兼フォルダ (左) とそのふた (右)

3. トラップ検出器に関わる基本原理

- 理想的な量子型の光検出器の内部分光量子効率 (= 光電子数 / 吸収光子数) は波長によらず 1 となる。
- 現実の特性の優れた Si フォトダイオードの再結合損失は通常無視し得る程度であり、反射が最大の損失要因である。
- Si フォトダイオードを複数相互に反射するよ

うにして構成したトラップ検出器の総合反射率は、可視域全域で約 0.1%以下となる。

- したがって、Si フォトダイオード・トラップ検出器の外部分量子効率 (= 光電子数/入射光子数) も波長によらず 1 となる。
- トラップ検出器の光電流を I とすると、入射光子束 Φ [1/s] は、 $\Phi = I/e$ となる (e は素電荷)。

4. トラップ検出器による分光測定例

本トラップ検出器を用いて、分光測定の評価実験を行った。図 3 のように分光器システム (ハロゲン・ランプを光源とした島津製分光器 SPG-120S に自動波長走査機能を付加) の出射スリット部に本検出器を取り付け、波長を 700 nm から 400 nm まで 10 nm 間隔で自動波長走査を行い、光電流を測定した。

実験を行う際は、正確な測定を行うために黒いシートを被せてから、データロガー (midi LOGGER GL900) に光電流スペクトルを記録した。光電流測定用に使用した電流電圧変換回路の回路図を図 4 に示す。



図3 製作したトラップ検出器を用いて、光電流スペクトルの測定

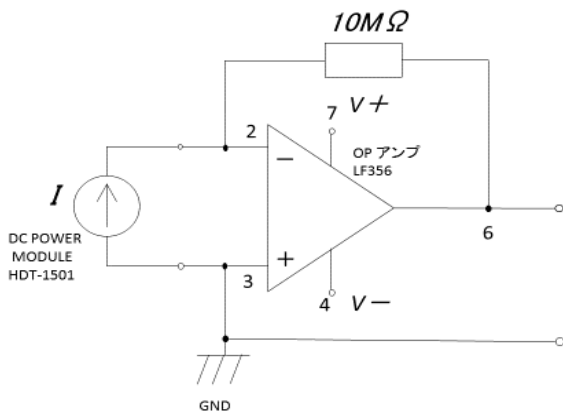


図4 光電流測定用の電流電圧変換回路図

5. 結果

製作した光トラップ検出器を用いてデータロガー (midi LOGGER GL900) で測定した分光光電流スペクトル、分光光子スペクトルを図 5 に示す。

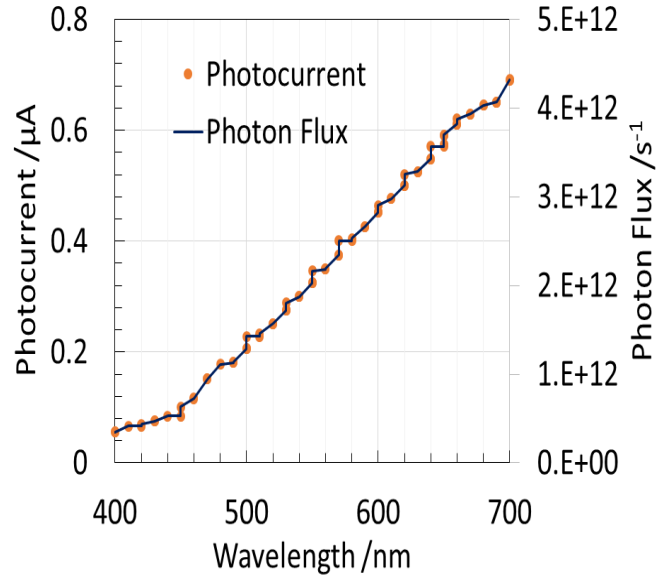


図5 光トラップ検出器を用いて、測定した光電流スペクトルとスペクトル光子束

6. 考察・まとめ

本研究で得られた要点は以下の通りである。

- 3個の Si フォトダイオードを用いて、計5回反射させる方式の光トラップ検出器を、3次元プリンターを使用して設計・製作した。
- 製作したトラップ検出器により、偏光依存性なく不確かさは約0.1%レベルの光子束の絶対測定が可能となった。
- 製作したトラップ検出器で光電流スペクトルを測定し、有意な結果を得ることができた。
- 光トラップ検出器は、複数のフォトダイオードを組み合わせるため、光軸合わせを正確に行う必要があるが、3D CAD ソフトを用いてフォルダの調整を細かく行うことができるので、3D プリンタを活用した光トラップ検出器の製作は、きわめて有用であることを確認した。

7. 参考文献

1. N P Fox, "Trap Detectors and their Properties", Metrologia, 28(3), 1991.
2. Y. Ichino, T. Saito and I. Saito, "Optical Trap Detector with Large Acceptance Angle", J. of light and visual environment 32(3), 2008, pp. 295-301