

CMOS プロセスに適合した太陽電池の基本特性の測定

Measurement of Basic Characteristics of PV Cell Adapted to CMOS Processes

○ 大隈井輔¹, 関山晃生¹, LYU SHUXIN², 森下克幸², 齊藤健³
 *Isuke Okuma¹, Kosei Sekiyama¹, Shuxin Lyu², Katsuyuki Morishita², Ken Saito³

Abstract: The authors have been studying the application of analog electronic circuit models to control circuits for microrobot by mimicking biological neural networks. Previously, the authors have successfully developed an analog electronic circuit that mimics the central pattern generator of an organism and mounted it on a microrobot to enable it to walk in a straight line. In this paper, the authors report on the development of a PV cell using a CMOS process for the integration of an optical sensor into our previously developed microrobot. As a result of the measurements, the current-voltage characteristics of the fabricated PV cell were clarified.

1. はじめに

ボディの体積が小さい小型ロボットは、狭い空間での作業が可能であり、人体内部での非侵襲手術や災害現場での捜索活動などでの活躍に期待が寄せられている。近年、生物の身体的な機能や生態を模倣した小型ロボットの開発が進められている^[1]。我々は、生物のニューラルネットワークをアナログ電子回路モデルで模倣し、ロボットの制御回路に応用する研究をおこなっている^[2]。ロボットの制御に生物のニューラルネットワークを模倣したアナログ電子回路モデルを用いることで、生物に見られる柔軟性の高い行動を生成できる可能性がある。

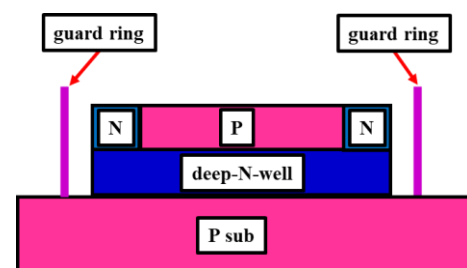
先に我々は、ミリメートルサイズのマイクロロボットへ生物の中枢パターン生成器の電気的な機能を模倣した集積回路を搭載し、歩行行動を生成させることに成功した。しかし、マイクロロボットに搭載した駆動回路には、直進歩行を生成する以外の機能が含まれていなかった。マイクロロボットが環境に合わせた自律的な行動を生成するには、周辺環境を取得するセンサの搭載が必要となる。我々は、マイクロロボットへセンサを搭載するため、CMOS プロセスを用いて、太陽電池を作製することを考えた。太陽電池を光センサとしてマイクロロボットへ搭載することで周辺環境を取得し、光に応じた自律的な動作を生成できる可能性がある。

マイクロロボットの駆動回路の作製に使用した Onsemi08 と呼ばれる CMOS プロセスを利用し、太陽電池を作製した。駆動回路と同様の CMOS プロセスを太陽電池の作製に用いることで、マイクロロボットの駆動回路とセンサの機能を一枚の集積回路上に統合することが可能となる。マイクロロボットのボディの大きさを抑えつつ、センサの機能を付与できる。

本稿では、CMOS プロセスを用いて太陽電池の作製が可能であるかを確認するため、太陽電池のみをレイアウトした集積回路を作製した。また、性能評価のため電流-電圧特性の測定をおこなったので測定結果を報告する。

2. 太陽電池

Figure1.に太陽電池の1セルあたりの断面図を示す。太陽電池はp型半導体とn型半導体を積層することで構成した。今後、駆動回路と機能を統合することを検討しており、太陽電池から駆動回路への意図しない電荷の流入が課題となる。従って、太陽電池のセルを集積回路上の他の回路と絶縁するため、p型半導体を囲うようにn型半導体を積層し、MOSFETのノイズ対策に用いられる guard ring で外周を囲った。



N, deep-N-well: N type semiconductor
 P, P sub: P type semiconductor

Figure 1. Cross section of a PV cell

3. 測定方法

開発した太陽電池に対して電流-電圧特性の測定を

実施した。Figure2に太陽電池の写真を示す。測定にあたり1セル分の特性を得るため、左上のセル以外にマスキングを施した。Figure3に測定回路を示す。測定回路は太陽電池へ順バイス電圧を印加する直流電源 V_{in} と電流値測定のためのデジタルマルチメーターを直列に接続する構成とした。電流-電圧特性は、太陽電池に対して光を照射した状態で直流電源 V_{in} より電圧を印加し、印加した電圧の値ごとに電流値を記録し測定した。光源にはHOZAN株式会社のLEDライト L-703を使用した。また、光量を変えし光量ごとの電流-電圧特性を測定した。

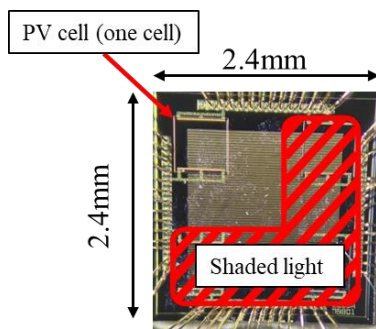


Figure 2. Fabricated integrated circuit with PV cell

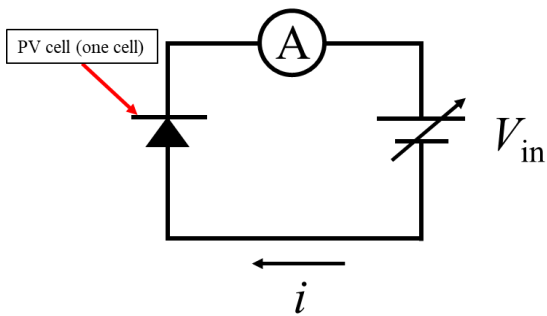


Figure 3. Circuit for measurement

4. 測定結果

Figure4.に測定で得られた電流-電圧特性のグラフを示す。測定結果より短絡電流 I_{sc} 、最大出力動作点、開放電圧 V_{oc} は太陽電池へ照射される光量に応じて変化することが確認できた。短絡電流 I_{sc} は最大で 50klx のとき 49nA、最小で 10klx のとき 9.5nA であった。最大出力動作点は 50klx のとき $1.6 \times 10^{-8}W$ 、最小で 10klx のとき $2.7 \times 10^{-9}W$ であった。開放電圧 V_{oc} は最大で 50klx のとき 0.42V、最小で 10klx のとき 0.38V であった。

5. まとめ

本稿では、CMOS プロセスを用いて太陽電池の作製が可能であるかを確認するため、太陽電池のみをレイアウトした集積回路を作製した。また、作製した太陽電池の電流-電圧特性を測定した。測定結果より、作製した太陽電池は光源に LED ライトを用いた場合、0.42V の開放電圧 V_{oc} を出力可能であることを明らかにした。また、太陽電池へ照射される光の光量ごとに短絡電流 I_{sc} や最大出力動作点、開放電圧 V_{oc} を確認した。今後は、太陽電池をマイクロロボットの駆動回路とともに集積回路化し、光センサとして利用することを検討する。

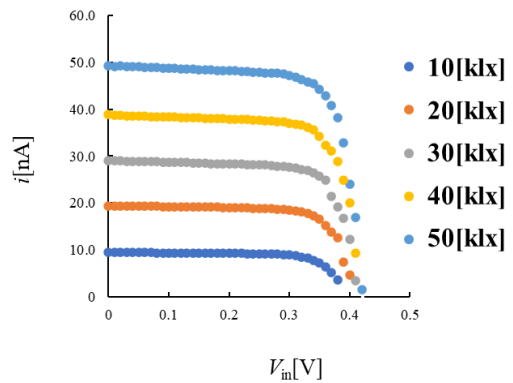


Figure 4. Characteristics Current-voltage (varying V_{in} , Actual measurement result)

6. 謝辞

本研究は、令和2年度日本大学学術研究助成金 総合研究の助成を受けたものです。また、本研究の一部は令和4年度日本大学特別研究の助成を受けたものです。研究は、東京大学 d.Lab(旧 VDEC)活動を通して、日本シノプシス合同会社、日本ケイデンス・デザイン・システム社、メンター・グラフィック・ジャパン株式会社の協力で行われ、本チップ試作はオンセミコンダクター新潟(株)、凸版印刷(株)の協力で行われたものである。

7. 参考文献

- [1] Zhenishbek Zhakypov, Kazuaki Mori, Koh Hosoda and Jamie Paik, Designing Minimal and Scalable Insect-Inspired Multi-Locomotion Millirobots, Nature, 10 July 2019.
- [2] Kawamura S, Tanaka D, Tanaka T et al Neural networks IC controlled multi-legged walking MEMS robot with independent leg mechanism. Artif Life Robot 23(3):380-386, 2018.