



また、 $V_{PG}$ を太陽電池から供給できるように、集積回路内部で接続を行った。受容細胞モデル IC へ  $V_A$ を印加した状態で、光源を近づけつつ  $V_{PG}$ を測定し、 $V_{PG}$ の値ごとに  $v_{out}$ からの出力周波数を記録した。Figure 2 に作製した測定回路の回路図を示す。実験に用いた受容細胞モデル IC の写真を Figure 3 に示す。作製した受容細胞モデル IC のサイズは  $2.4 \times 2.4\text{mm}$  である。Figure 2 の各回路定数はそれぞれ、MOSFET:  $M_{RC1}=W/L=3\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ ,  $M_{RC2}=1.2/10$ ,  $M_{RC3}=10/1.2$ ,  $M_{RC4}=27/1.0$ , キャパシタ:  $C_G=3.3\text{nF}$ ,  $C_M=1.8\text{nF}$ , 電源:  $V_A=2.95\text{V}$  とし、 $V_{PG}$ の測定にはデジタルマルチメータ、波形の測定にはオシロスコープを用いた。

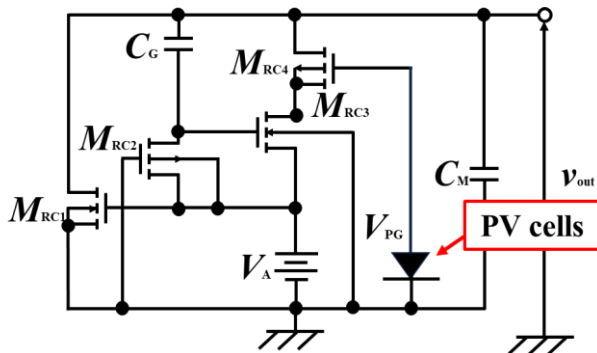


Figure 2. Circuit diagram of integrated circuit chip with PV cells and receptor cell model

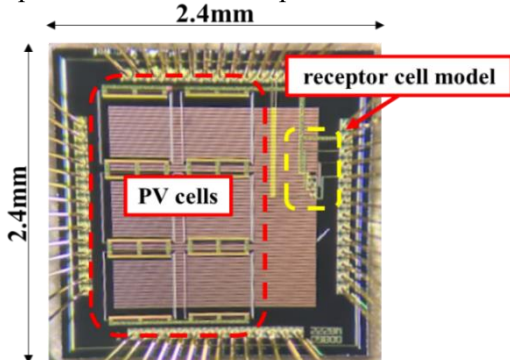


Figure 3. Fabricated integrated circuit chip with PV cells and receptor cell model

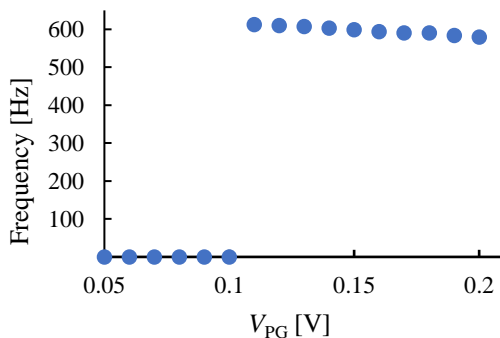


Figure 4. Characteristics of oscillation frequency (varving  $V_{PG}$ . Actual measurement result)

#### 4. 実験結果

受容細胞モデル IC 内部の  $V_{PG}$ を測定し、 $V_{PG}$ の値ごとに  $v_{out}$ からの出力周波数を記録した。Figure 4 に測定した  $V_{PG}$  に対する周波数特性を示す。測定結果より本モデルは  $V_{PG}$ が  $0.11\text{V}$  のとき  $613\text{Hz}$  を示し、 $V_{PG}$ が大きくなるにつれて周波数は低くなった。また、 $V_{PG}$ が  $0.20\text{V}$  のとき  $580\text{Hz}$  を示した。測定結果より、受容細胞モデル IC は、照射する光量の増加により出力周波数が減少する特性を有することを確認した。

#### 5. まとめ

本論文では、受容細胞モデルと太陽電池を1つの IC 上に実装し、光の強度による出力周波数の変化を測定した。測定の結果、受容細胞モデル IC は照射する光量が  $0.11\text{V}$  から  $0.20\text{V}$  へ増加することにより出力周波数が  $613\text{Hz}$  から  $580\text{Hz}$  へ減少し、出力周波数が光量の増加により減少する特性を有することを確認した。今後は、マイクロロボットへ搭載するため、受容細胞モデル IC と駆動回路の機能を統合し集積回路化することを検討する。

#### 6. 謝辞

本論文の研究は、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。また、本研究は、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] T. Baisch and Robert J. Wood : “Pop-up Assembly of a Quadrupedal Ambulatory MicroRobot”, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) November 3-7, 2013

[2] 森下克幸ほか, 「センサへの入力強度に応じて出力周波数が変化する受容細胞モデルの開発」, 電子学会論文誌 C, Vol.142 巻, No.1 号, pp.33-39, 2022.

[3] Isuke Okuma, Katsuyuki Morishita, Hiroki Takayanagi, Ken Saito “A Study on Frequency Response Characteristics to Light Intensity of Receptor Cell Model with Integrated Circuit”, The Twenty-Eighth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2023 (AROB 28th 2023)