

高 pH 分解能を実現する累積機能を持つ拡張ゲート型 pH イメージセンサ

High pH Resolution Extended Gate Type pH Image Sensors with the Charge Accumulation Circuit

豊橋技術科学大¹, エレクトロニクス先端融合研究所², 浜松ホトニクス株式会社³

○有見芳敬¹, 木村安行¹, 若森俊樹³, 山本洋夫³, 岩田達哉^{1,2}, 高橋 一浩^{1,2}, 水野誠一郎³, 澤田和明^{1,2}

Toyohashi Univ. of Tech¹, EIIRIS², Hamamatsu Photonics³

○Y. Arimi¹, Y. Kimura¹, T. Wakamori³, H. Yamamoto³, T. Iwata^{1,2}, K. Takahashi^{1,2}, S. Mizuno³, K. Sawada^{1,2}

E-mail: info-bio@int.ee.tut.ac.jp

1. はじめに

ATP や GABA といった神経伝達物質の高空間分解能および高 pH 分解能のリアルタイムイメージングは、脳疾患の解明と創薬において重要である[1]。我々は pH イメージセンサを基幹として神経伝達物質をイメージングする方法を提案し、これまでの研究では pH 値を信号電荷に変換するセンサゲート(SG)と電荷を出力に転送するゲート(TG)の2つのトランジスタで構成された2トランジスタ(2-Tr)画素構造を採用し、空間分解能 1.15 μm を実現した [2]。しかし、pH 分解能は 0.1 程度に留まることから、累積機能を持つ 2-Tr 型画素構造を提案し、単画素において pH 分解能 0.021 を達成した [3]。本研究では、累積機能を持つ 32 $\times$ 32 画素の 2-Tr 型イメージセンサを作製し、雑音特性を評価した。

2. 累積機能原理

累積機能は、Fig. 1 に示すように信号電荷を容量に繰り返し転送して増幅を行う。式(1)に示すように、信号対雑音比(SNR)は、累積回数の平方根に比例して改善する。S はセンサの pH 感度(mV/pH)、N はセンサノイズとする。式(2)に示すように、pH 分解能は pH 感度に対する出力センサノイズの比率として定義され、SNR が高いほど改善される。

$$SNR = \frac{n \times S}{\sqrt{n} \times N} = \sqrt{n} \frac{S}{N} \quad (1)$$

$$pH \text{ resolution (pH)} = \frac{\text{Output noise } \sigma \text{ (mV)}}{pH \text{ sensitivity (mV/pH)}} \quad (2)$$

3. 設計

Fig. 2 に製造した 32 $\times$ 32 画素のイメージセンサを示す。また、このセンサの断面構造を Fig. 3 に示す。このセンサは拡張ゲート構造を採用し、プラズマ SiNx 層を pH 感応膜としている。画素出力電圧 V_{out} は、式

(3) で表される。 V_{org} はセンサのリセットレベル、n は累積回数、 C_{FD1} は FD1 の拡散容量、 C_{FD2} は PIP 容量、 V_{AG} は AG 印加電圧、そして V_{MEM} は感応膜の表面電位としている。式(3)において、センサゲインは累積回数と容量比の積としている。このセンサは、 C_{FD2} の容量値が、画素列ごとに 143.26 fF を中心に 1/8 から 8 倍まで異なるように設計した。

$$V_{out} = V_{org} - n \frac{C_{FD1}}{C_{FD2}} (V_{AG} - V_{MEM}) \quad (3)$$

4. 評価結果

製造したセンサチップの各 C_{FD2} 容量に対する出力ノイズと入力換算ノイズを測定した。累積 10 回の結果を Fig. 4 に示す。出力ノイズは、 V_{out} の時間応答における標準偏差である。入力換算ノイズは、出力ノイズをセンサゲインで除した値である。従来の 2-Tr 画素構造センサの入力換算ノイズを測定した結果、1.83 mVrms であったのに対し、 C_{FD2} 容量 17.8fF で累積 10 回の場合、入力換算ノイズは 0.33 mVrms となった。

したがって、容量比と累積数を調整することで入力換算ノイズは、約 82%減少する。従来の 2-Tr 画素構造の pH 分解能は 0.1pH であるため、pH 分解能は 0.02pH 未満まで改善される。さらに、センサゲインと電荷蓄積数を最適化することで、0.01 pH 未満に改善されると予想される。

【謝辞】本研究は JST A-STEP の支援を受けています。

【参考文献】

- [1] P.G. Haydon et al., Physiol Rev, 1009-1031, 2006.
- [2] S. Watanabe et al., APCOT2016, 135-136, 2016.
- [3] Y. Arimi et al., JSAP2018, 17p-F306-3, 2018.

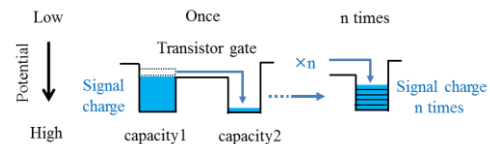


Fig. 1. Principle of charge accumulation

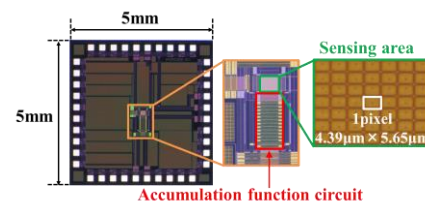


Fig. 2. The fabricated sensor chip image

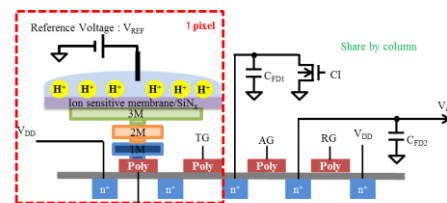


Fig. 3. Structure of 2-Tr pixel sensor with the charge accumulation circuit.

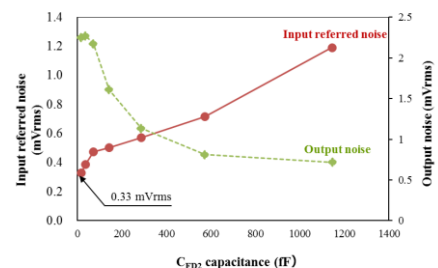


Fig. 4. Input referred noise and output noise for each C_{FD2} at 10 accumulations