

平成 19 年 1 月 15 日

電子・情報工学専攻	学籍番号	003243
申請者氏名	飛沢 健	

指導教員氏名	澤田 和明 助教授 石田 誠 教授
--------	----------------------

論文要旨(博士)

論文題目	電荷転送型pHイメージセンサに関する研究
------	----------------------

現在、生化学の分野では、細胞、微生物の活動、挙動の観察や計測に視覚情報として捉えるバイオイメージングが用いられている。また、溶液中の性質を知る上で pH の計測は重要である。pH を定量的に計測するために欠かせないのが pH センサであり、代表的な pH センサとしては、イオン電極、ion-sensitive field-effect transistor (ISFET)が挙げられる。これまでの pH の計測は、一定濃度の溶液中の平均的な値を検出するだけのものであった。しかしながら、水溶液中の pH の分布がわかれば、化学計測およびバイオイメージングに応用でき、新たな知見が広がると考えられる。本研究では、化学現象のリアルタイムイメージングを目指し、半導体集積回路技術、および complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS)イメージセンサの技術に応用した pH イメージセンサの実現を目的とした。本研究で用いた電荷転送型 pH センサは、これまでの pH センサとは異なり、charge-coupled-device (CCD)の技術に応用したものである。

まず、電荷転送型 pH センサの製作プロセスの開発を行った。電荷転送型 pH センサは、標準 CMOS プロセスにイオン感応膜を堆積するプロセスと pH センシング部の加工を行うプロセスを追加することによって、ほぼ標準 CMOS プロセスに準じて製作可能とした。製作した電荷転送型 pH センサの基本原理解説としては、3 種類の pH 標準バッファ液 (pH 4.0, pH 6.9, pH 9.2) を用いて、pH 応答感度を求めた。結果として 230 mV/pH の pH 応答感度が得られた。

次に、累積電荷転送技術を用いることで、電荷転送型 pH センサの高感度化の検証を行った。累積電荷転送技術とは、静電容量に pH の情報と等価な電荷を繰り返し転送して累積していくものである。5 回の累積によって、1130 mV/pH の pH 応答感度を確認した。累積電荷転送技術は、外部アンプを用いずに電荷転送の駆動パルスのみで実現できる高感度化の手法であるため、計測システムの単純化、イメージセンサへの応用が期待できる。

ここまで得られた電荷転送型 pH センサの実績を踏まえアレイ化することによって、pH イメージセンサを実現した。最初に 10 × 10 画素構成の pH イメージセンサを試作した。チップサイズは 5.1 mm 角、1 画素のサイズは読み出し回路を含めて 200 μm 角とした。画素の切り替えは、簡単な MOSFET のスイッチを用いて外部パルスによって行う方法とした。実験として、中性バッファ液に測定途中でみかんの果汁を滴下した際の pH 変化を撮像した。2 次元アレイ pH センサとしては初めて、pH 変化をリアルタイム 2 次元イメージとして撮像することに成功した。pH イメージングシステムの開発も行い、各画素の信号出力から、pH 応答感度の算出とオフセットおよび感度ばらつきを演算処理することによって補正する機能を搭載した。

最後に CMOS 走査回路を一体化した 32 × 32 画素電荷転送型 pH イメージセンサの試作を行った。チップサイズは縦 8.0 mm × 横 7.4 mm、1 画素のサイズは 130 μm 角として設計した。センサチップは、pH イメージングシステムに組み込み水溶液中の pH 分布像の撮像実験を行った。pH 9.2 の pH 標準バッファ液に、米飯を浸し、pH の違いによる形状を撮像した。CMOS 構成の pH イメージセンサとしては初めて 2 次元 pH の分布の撮像に成功した。

本研究で得られた知見から、電荷転送型 pH イメージセンサは新しいバイオセンシングツールとしての応用が期待できる。またセンシング部の構造を変えることによって、pH に限らずあらゆる物理量または化学量の検出が可能であるため、電荷転送型技術を様々なセンサへ応用することができると考えられる。