

鳥取県環境学術研究等振興事業費補助金研究実績報告書

研究期間（1年目/3年間）

研究者 又は 研究代表者	氏名	(ふりがな) り さんそく 李 相錫
	所属研究機関 部局・職	鳥取大学大学院工学研究科情報エレクトロニクス専攻・教授 電話番号；0857-31-5961 電子メール；sslee@eecs.tottori-u.ac.jp
研究課題名	リアルタイム地下水モニタリングシステムの開発	
研究結果	<ul style="list-style-type: none"> 地下水モニタリング用井戸の形状と形態を把握するため県庁の水・大気環境課と衛生環境研の水対策チームの皆様のご協力の下で3ヶ所（大山放牧場（伯耆町小林）、せせらぎ公園（江府町江尾）、古布庄小学校（琴浦町））を見学し、井戸の形状と形態が把握でき、実験用井戸の選定をし、設計方針が決まった。 地下水をモニタリングするため必要なセンサを検討した結果、温度、圧力、流向、濁度、pH、電気伝導度センサを順次備えていくことにし、市販品を使用するセンサと開発するセンサの選別を行った。 流向と流速センサは初めての研究テーマであり、液体に関する流向センサはあまり例がなく、センシング原理の工夫から必要であることがわかった。 地下水モニタリング用システムの通信方式をモバイル通信システム方式に選定し、システムの設計を行った。 	
研究成果	<ul style="list-style-type: none"> 地下水モニタリング用システムのフィールドテストはせせらぎ公園（江府町江尾）に設置されている井戸が適切であることがわかった。またその井戸に適合な地下水モニタリング用システムの筐体を設計した。 地下水をモニタリングするため流向と流速センサは市販の圧力センサを応用することにし、センシング原理を決め、回路設計までできた。 温度、濁度、pH、電気伝導度センサは自作することにし、デバイスの設計を完了した。また産総研のミニマルファブ施設でpHセンサにおいて1次試作をし、評価を行い、動作確認ができた。その成果の一部は2018年春季応用物理学会で発表した（研究実績サマリー参照） 地下水モニタリング用システムの通信方式をモバイル通信システム方式に選定し、システムの設計を行い、試作品を作製した。試作品の評価を行った結果、動作確認ができた。その結果を国際会議で発表する予定である。 	
次年度研究計画	<ul style="list-style-type: none"> 流向と流速センサの作製を行い、学内の実験設備で検証実験を行う。 温度、濁度、pH、電気伝導度センサにおいて2次試作を行い、性能向上を図る。 作製した筐体と通信システムを用いて検証実験を地下水のリアルタイムセンシングを検証する 	
報告責任者	所属・職 氏名	鳥取大学 研究推進部 研究推進課 研究助成係 高田 志保 電話番号 0857-31-5494 電子メール ken-jyosei@ml.adm.tottori-u.ac.jp

注1) 表題には、環境創造部門、地域振興部門、北東アジア学術交流部門のいずれかを記載すること。

2) 「研究期間（ 年目/ 年間）」及び「次年度研究計画」は、環境創造部門及び地域振興部門において記載すること。

3) 研究者の知的財産権などに関する内容等で、非公開としたい部分は、罫線で囲うなど明確にし、その理由を記すこと。

4) 研究実績のサマリー及び図表資料を併せて提出すること。

ミニマルファブを用いた SiO₂ イオン感応膜 pH-ISFET の作製

Fabrication of pH-ISFETs with SiO₂ Sensing Layer by Minimal Fab

影山 智明^{1,3}, 古賀 和博², クンプアン ソマワン^{2,3}, 原 史朗^{2,3}, 李 相錫¹
鳥取大学¹, ミニマルファブ推進機構², 産総研³

Tottori Univ.¹, MINIMAL², AIST³

T. Kageyama, K. Koga, S. Khumpuang, S. Hara, and S.S. Lee

E-mail: sslee@eccs.tottori-u.ac.jp

【背景】 イオン感応型電界効果トランジスタ(ISFET)は CMOS プロセスとの親和性の高さ[1]から, CMOS 混載 IoT センサとして重要である. IoT センサ市場は個別用途向け, 所謂ロングテールの占める割合が大きく, この研究開発と生産には個別生産向けのミニマルファブ[2]が適している. 我々はミニマルファブによって環境水質センサの製造を試みている. pH は重要な水質指標となるため, 実用化されたミニマルファブ装置群を用いて pH-ISFET を作製し, その評価を行った.

【作製プロセス】 ISFET はゲート自体をイオン感応面とし, イオン種で変わる電位そのもので, チャンネル電位を制御する素子である. そのため, MOSFET の製造プロセスをほぼそのまま応用できる. ハーフインチ *p*-Si ウエハを用い, リンを拡散して *n* 型領域を作製した(Fig. 1). チャンネルは櫛形形状を有しており, 設計上ではチャンネル長は 10 μ m, チャンネル幅は 1mm である. 絶縁膜には 20nm 厚の熱酸化膜を用いており, この熱酸化膜自体が ISFET のイオン感応膜として機能する. 配線はスパッタ Al(300nm)であり, 素子表面はレジスト(5 μ m)によって保護した.

【評価実験】 作製した ISFET(Fig. 2)を測定するにあたって, ISFET と外部回路は導電性エポキシ接着剤で接続した. 外部回路は参照電極と ISFET のソース間にバイアス電圧(V_{bias}), ソース-ドレイン間に一定電圧(V_{ds})を印加し, ISFET のドレイン電流(I_d)を測定するものである. 参照電極には Ag/AgCl 参照電極を用いた. 3 種類の pH 測定器校正用標準液 (pH = 4: フタル酸水素カリウム水溶液, 7: リン酸緩衝液, 9: 四ほう酸ナトリウム水溶液)について測定を行った結果, Fig. 3 に示す通り, pH と I_d が相関性(33 μ A/pH)を示したため, 作製した ISFET は pH を検知できることが確認された. ただし, SiO₂ は水中でゲル化や加水分解をする上, Na⁺イオンや K⁺イオンにも応答してしまう欠点を持つ[3]. 今回用いた緩衝液にはナトリウム及びカリウムが含まれているため, 純粋に pH を測定出来ているとは言い難い. 実用するにあたっては Si₃N₄ や Ta₂O₅ 等をイオン感応膜として用いる必要がある.

【参考文献】

- [1] T.C.W. Yeow, *et. al*, Sensors and Actuators B, **44**, 434-440 (1997).
- [2] S. Khumpuang, *et. al*, IEEE Trans. Semi. Manufacturing, **28**, 551 (2015).
- [3] Tadayuki Matsuo, Masayoshi Esashi, Sensors and Actuators, Vol. 1, 77-96 (1981).

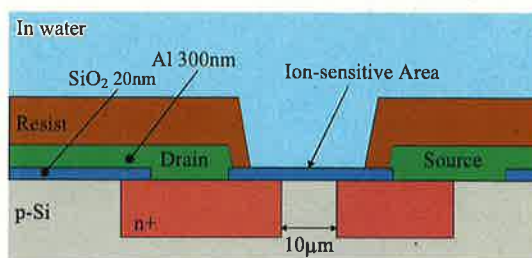


Fig. 1: A cross-section drawing of an fabricated ISFET.

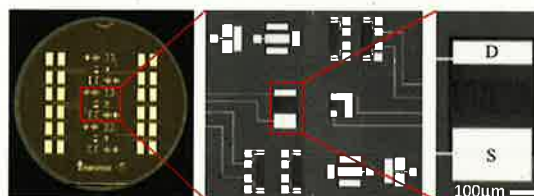


Fig. 2: Fabricated ISFETs on a half inches wafer.

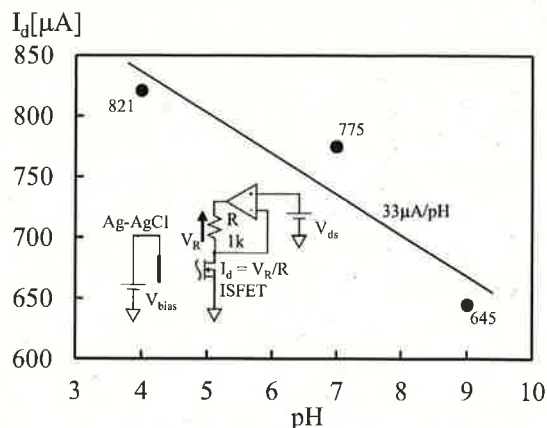


Fig. 3: Measuring circuit and pH- I_d characteristic of an ISFET.