

「素材・デバイス・システム融合による革新的ナノエレクトロニクスの創成」  
平成 25 年度採択研究代表者

H29 年度  
実績報告書

内田 建

慶應義塾大学工学部  
教授

極細電荷チャネルとナノ熱管理工学による  
極小エネルギー・多機能センサプラットフォームの創製

## § 1. 研究実施体制

### (1) 「半導体」グループ

- ① 研究代表者: 内田 建 (慶應義塾大学工学部 教授)
- ② 研究項目
  - ・原子層薄膜チャネル・センサ素子の作製
  - ・上記素子の各種標的ガスに対する電流変化量の計測

### (2) 「酸化物」グループ

- ① 主たる共同研究者: 柳田 剛 (九州大学先導物質化学研究所 教授)
- ② 研究項目
  - ・酸化物ナノチャネルの創製実験
  - ・酸化物ナノチャネルにおけるセンサ特性検証実験
  - ・酸化物ナノチャネルと超分子との融合センサによる分子認識機能の検証実験

### (3) 「超分子」グループ

- ① 主たる共同研究者: 寺尾 潤 (東京大学大学院総合文化研究科 教授)
- ② 研究項目
  - ・分子認識機能に向けた新しい単結晶酸化物ナノワイヤの創製
  - ・上記素子の各種標的ガスに対する電流変化量の計測
  - ・各種ガスのセンシング機能を評価する装置システム構築

### (4) 「回路」グループ

① 主たる共同研究者:石黒 仁揮 (慶應義塾大学工学部 准教授)

② 研究項目

- ・ナノセンサからの信号を高精度にピックアップする回路の検討
- ・ナノセンサを駆動するドライバ回路の検討

(5)「システム」グループ

① 主たる共同研究者:黒田 忠広 (慶應義塾大学工学部 教授)

② 研究項目

- ・Deep Learning(DL)を用いたセンサ信号処理の研究
- ・極低エネルギー・プラットフォーム回路の研究
- ・マイクロ・プラットフォームシステムの研究

## § 2. 研究実施の概要

半導体グループでは、湿度が高い空気中の微量水素を検知するセンサ技術を開発し[1]、実際の呼気から、呼気中の水素を検知することに成功した。また、センサの低エネルギー化に寄与する自己加熱に関する理解に大きな進展があった。自己加熱は温度上昇によりセンサの応答性と安定性を向上する。その一方で、センサ内部に発生する高電界によりセンサ感度が劣化する傾向があることを示した。また、自己加熱を応用することで、単一のセンサがバイアス条件に応じて、複数種の分子種を選択することが可能であることを実証した。

酸化物グループでは、高不純物濃度の酸化物層を酸化物ナノチャンネルセンサ素子のコンタクト電極に用いる、センサ性能の信頼性向上技術を開発した[2]。従来広く用いられてきた金属電極センサ素子と比べて長期動作後のセンサ応答が遙かに高い、センサ性能の長期安定化を実証した。また、酸化物ナノチャンネル成長時に生じる意図しないキャリアドーピングの起源を解明し、これを抑制する手法を示した[3]。

超分子グループでは、規定の長さを有する単一の導電性高分子鎖を環状分子で被覆した高分子ワイヤ中の合成法を確立すると共に、金属イオン、酸及び CO ガスと反応するセンサ部位を導入し、発光・吸収スペクトル及び GPC 分析によりそのセンシング能を確認した。合成した分子ワイヤは固体薄膜状態において、標的化合物との反応により視覚変化によりセンシング能を発現することを明らかとした。

回路グループでは、前年度に立ち上げたナノセンサーデバイス・アナログフロントエンド搭載デモシステムのプロトタイプを用いて電力一定制御システムを実装し、評価結果をもとに検出感度改善にむけたシステムのリファインを行った。ボタン電池駆動の小型(2cm 角)センサーノードに、内田グループで開発した水素センサおよび石黒グループで開発したアナログフロントエンド回路を実装し、センシングした水素ノードの測定結果を無線でタブレット端末に転送し可視化するデモシステムを開発した。また、2次元アレイセンサーの読み取り用アナログフロントエンドシステムのプロトタイプを開発した。

システムグループでは、マイクロ・プラットフォーム( $\mu$  PF)の研究を進め、小型化と低電力化、高機能化に向けた試作を実施した。ナノセンサチップを搭載する複数の小型モジュールを柔軟に組み合わせ動作させられる  $\mu$  PF システムを試作した。またこのシステム向けに非接触の電力・信号インタフェースの制御方式を検討した。更にセンサ信号処理の Deep Neural Network を検討評価した。

○代表的な論文

[1] T. Tanaka *et al.*, “Nanoscale Pt thin film sensor for accurate detection of ppm level hydrogen in air at high humidity,” *Sensors and Actuators B*, **258**, 913, 2018.

[2] Hao Zeng *et al.*, “Long-term stability of oxide nanowire sensors via heavily-doped oxide contact,” *ACS Sensors*, **2**, 1854-1859, 2017.

[3] Hiroshi Anzai *et al.*, “True vapor–liquid–solid process suppresses unintentional carrier doping of single crystalline metal oxide nanowires,” *Nano Letters*, 17, 4698-4705, 2017.