

内田 建

慶應義塾大学 理工学部
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 理工学部, 教授)
- ② 研究項目
 - 1) 原子層薄膜チャネル・センサ素子の作製
 - 2) 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 先端物質化学研究所, 教授)
- ② 研究項目
 - 1) 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
 - 2) 上記素子の各種標的ガスに対する電流変化量の計測
 - 3) 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

(3) 超分子グループ

- ① 主たる共同研究者:寺尾 潤 (京都大学大学院工学研究科, 准教授)
- ② 研究項目
 - 1) 表面固定用多脚アンカー部位を導入したセンサ用超分子の合成
 - 2) 酸化物表面へのセンサ用超分子の単層導入検討
 - 3) センサ用超分子の低分子有機化合物の取り込み能を IR および NMR 測定により確認

(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 理工学部, 教授)
- ② 研究項目
 - 1) 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
 - 2) 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 理工学部, 教授)
- ② 研究項目
 - 1) センサ向け深層学習の基礎検討
 - 2) センサ用ワイヤレス給電の基礎理論の構築とテストチップの開発

§ 2. 研究実施の概要

半導体グループでは、1)シリコンチャネルの表面絶縁膜上に分子修飾を施すことで、肺癌マーカー分子の検出に成功した。また、このセンサは酸素や水素などには応答せず、これらの気体分子と高い選択性をもって肺癌マーカーを認識可能であることを示した。2)グラフェンチャネルに金属ナノ触媒を修飾したセンサで、自己加熱を利用することで低電力で低濃度(10ppm)の水素を検出可能であることを実証した。

酸化物グループでは、1)表面分子修飾された単結晶酸化物ナノワイヤを合成し、2)合成された酸化物ナノワイヤをバックゲート型センサデバイス化し、3)作製された単結晶酸化物ナノワイヤセンサを用いて肺がんマーカー分子を高感度で電流検出することを実証した。

超分子グループでは、アンカー部位としてリン酸、チオール、カルボキシル基を有するシクロデキストリンおよびポルフィリン錯体の合成を行い、超平坦ITOおよび金基板との接合界面をXPS, AFM, CV等の表面解析により最適な吸着条件を検討した。また、センサ部位を導電性 π 共役分子内に含む遷移金属分子ワイヤの合成に成功し、pH及びCOガスなどによるセンシング能を蛍光及びGPC分析により確認した。さらに、マイクロ波伝導度測定により、金属およびプロトンの有無、低分子の配位による伝導度の変化を測定した。

回路グループでは、センシング回路の帯域向上のためにリングアンプを導入したデータコンバータを試作して測定を行い、100MHz以上のクロック周波数で信号帯域1MHz、ダイナミックレンジ60dB以上を達成した。また、素子バラツキによる性能劣化を抑制する手段として多チャンネル間で容量素子を交互に時分割利用する手法を考案し、テストチップにてイメージ成分を大幅に抑制できることを実証した。さらに、ナノセンサデバイスとセンシング回路を組み合わせた評価およびデモシステムの開発に着手し、プロトタイプシステムの設計、試作を行った。

システムグループでは、センサ信号処理の研究ではDeep Learningで学習させた高正答率のDeep Neural Network (DNN)の解析方法を検討し、DNN自体からマーカーとなる因子を選択する方法を策定した。更に、ガスクロマトグラフィーから従来手法で抽出した因子と比較することで、この方法が従来方法と一致性が高い因子抽出方法であることを検証した。また低エネルギーで小型のセンサ・プラットフォームシステムの研究では、センサを含む複数モジュール組み合わせのインタフェースの試作チップを評価して基本動作を確認した。

○ 代表的な論文

1. Klamchuen, M. Suzuki, K. Nagashima, H. Yoshida, M. Kanai, F. W. Zhuge, Y. He, G. Meng, S. Kai, S. Takeda, T. Kawai and T. Yanagida, "Rational Concept for Designing Vapor-Liquid-Solid Growth of Single Crystalline Metal Oxide Nanowires", Nano Lett., 15, 6406-6412, 2015.
2. K. Sano, T. Takahashi, and K. Uchida, "Large variability of contact resistance in Au/Cr/MoS₂ system and its suppression by Cr thinning," Jpn. J. Appl. Phys., 55, 036501, 2016.
3. J. Terao, M. Ohsawa, H. Masai, Y. Kurashige, T. Fujihara, Y. Tsuji, "Synthesis of

Molecular Wires Strapped by π -Conjugated Side Chains: Integration of Dehydrobenzo[20]annulene Units," J. Org. Chem., 80, 8874-8880 (2015)