

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 (九州大学先導物質化学研究所, 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, 准教授)
- 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、原子層材料であるグラフェンを 100nm 以下のサイズに加工し、金属触媒と組み合わせることで水素に対して極めて高い感度を示すことを実証した。また、MOS キャパシタの SiO₂ 表面および堆積絶縁膜上に超分子修飾を施し、イオンの選択的認識へ向けた実験に着手した。絶縁膜への超分子修飾は、走査型プローブ顕微鏡や撥水性を調べることで確認した。さらにシリコン薄膜をチャンネルとするセンサ素子構造を作製することに成功した。

酸化物グループでは、酸化物ナノチャンネルを作製し、その低消費電力センサ特性を検証した。すなわち、(1) 酸化物ナノチャンネルが揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds: VOC) を低消費エネルギーで電流検出することが可能であることを実証した。(2) 酸化物ナノチャンネルの小さな熱伝導率・熱容量を活用することによって、パルス加熱法を酸化物ナノチャンネルに適用することが可能となり、従来技術よりも 5 桁ほど低消費エネルギーで NO_x を電流検出することが可能であることを実証した。

超分子グループでは、多脚アンカー部位としてリン酸、シリルエーテル、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 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、シクロデキストリン誘導体と 2-ペンタノンとの超分子結合定数を温度可変 NMR により算出し、加熱下におけるセンシング分子の脱離条件を決定した。さらに、センサ部位を導電性 π 共役分子内に含む分子ワイヤの合成に成功し、マイクロ波伝導度測定により、金属の有無、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、前年度に検討および設計着手したセンシング回路の詳細設計を進めて回路の試作を行った。回路の詳細設計においては、微小電流の過渡応答波形やガス分子の吸着による電流変化波形を高精度にセンシングすることを想定して、高速・高分解能で動作するアナログフロントエンドの回路手法を考案した。バラツキを補正する手法を試作チップに導入してその効果を実測で確認した。

システムグループでは、深層学習 (Deep Learning, DL) をガス分子の分析データに適用するためのアルゴリズムを開発し、入手した実際の分析データに適用することにより、正答率が高い 4 層神経回路網 (Neural Network, NN) の作成に成功した。