

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔令和4（2022）年度 中間評価用〕

令和4年3月31日現在

研究期間：2020年度～2024年度
課題番号：20H05651
研究課題名：医工学利用に向けた超高感度電子鼻

研究代表者氏名（ローマ字）：田畑 仁（TABATA Hitoshi）
所属研究機関・部局・職：東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号：00263319

研究の概要：

本研究では“健康状態/病態と体ガス相関における学術基盤の構築”を目指して、そのための鍵となる超高感度電子鼻の基盤技術を確立し、常時体調のモニタリングを実現するウェアラブルデバイスとして、皮膚ガスを繰り返し計測可能な小型・超高感度皮膚ガスセンサを実現する。

研究分野：キーワード：ガスセンサ、酸化物半導体、多孔質材料、ナノ粒子、嗅診

1. 研究開始当初の背景

現在医療機関等では、血液や尿、リンパ液、髄液等の生体サンプルを採取して検体検査により、健康状態の確認や病気の診断を実施している。しかしこれらの生体サンプルは、採取に人体への侵襲や精神的な負担が伴い、また感染リスク等のため簡単・手軽な計測には適さない。これに対し生体ガス（呼気、皮膚ガス）は採取が容易で計測毎の洗浄が不要、繰り返し計測が可能であるだけでなく、各人の生化学情報が含まれ、個人のリアルタイムなヘルスコンディション、病態情報が反映されている。このような体ガスと健康状態との関係は嗅診と呼ばれてきたが、医師の感覚や経験に依存し、数値化・客観性が困難なため本格的な医工学応用が未成熟な分野であった。

2. 研究の目的

機能性多孔質材料（ゼオライト）を用いて皮膚ガスを選択的に濃縮すること。濃縮した皮膚ガスをナノ構造制御した半導体式ガスセンサで計測すること。この2つの機能を複合した複合機能（タンデム型）ガスセンサにより、1ppb（10億分の1）レベルの超高感度化を目指す。

3. 研究の方法

- 機能性多孔質材料（ゼオライト）は、検出対象ガス分子サイズ、分極特性、官能基等に対応して、ゼオライト組成（Si/Al 混合比による疎水性/親水性、分子吸着能等）を設計する。
- 酸化物半導体候補は、検出対象ガスに対する酸化還元特性（エリಂಗム図より）、バンドギャップ、デバイス長の大小、等により選択する。さらに確率共鳴現象を発現させるため、ガラス相材料を設計・作製する。
- データ科学：複数のガスセンサによるデータを機械学習等で処理して分析精度を向上する。

4. これまでの成果

- 機能性多孔質材料（ゼオライト）と酸化物半導体ナノ構造のタンデム型ガスセンサ研究【高感度化】
- 酸化物半導体ナノ構造ガスセンサアレイと電子鼻デバイス研究【複数ガス検出と携帯型遠隔モニタ実証】
- 卓上設置の計測機器を併用したデバイスによる高感度ガス検出のみならず、ワイヤレス計測によるリアルタイムモニタリングが可能な携帯型高感度デバイスを作製。
- 大学病院の協力を得て体ガスと特定疾患との相関を評価する新たな臨床研究が進展。

5. 今後の計画

サブ ppb (ppt)レベルのガス検出感度達成に向けて、ナノ構造の極限制御を実施。

現行の酸化物半導体ナノ粒子（例 WO_3 ）をベースとしたガスセンサは、ボトムアップ技術により作製されているため、 $\sim 100\text{nm}\Phi$ のナノワイヤのランダム交叉あるいは $\sim 10\text{nm}\Phi$ サイズのナノ粒子のランダム配列により構成されている。この問題点を克服するため、センサ感度向上の鍵となる電流パスおよびガスとの固気反応サイトの厳密制御を実現するため、EB リソ技術を用いることでナノ構造を制御形成した半導体ガスセンサを作製する。

6. これまでの発表論文等（受賞等も含む）

(論文)

1. 「Broadband Dielectric Spectroscopic Analysis toward Characterization of Hydration State and Bioprotective Superiority of Trehalose」, J. Hu, H. Yamahara, Z. Liao, Y. Yano, H. Tabata, J. Phys. Chem. B, 126(3), pp.708-715 (2022) (査読有)
2. 「Low-power-consumption physical reservoir computing model based on overdamped bistable stochastic resonance system」, Z. Liao, Z. Wang, H. Yamahara, H. Tabata, Neurocomputing, Vol.468, pp.137-147 (2022) (査読有)
3. 「Characterization of hydrogen bond network of waters around polyethylene glycol by broadband dielectric spectroscopy」, J. Hu, H. Yamahara, Z. Liao, Y. Yano, and H. Tabata, Appl. Phys. Lett., 120(2), pp.023702(1-6) (2022) (査読有)
4. 「Quantum Analog Annealing of Gain-dissipative Ising Machine Driven by Colored Gaussian Noise」, Z. Liao, K. Ma, M.S. Sarker, S. Tang, H. Yamahara, M. Seki, H. Tabata, Adv. Theory Simul., pp.2100497(1-11) (2022) (査読有)
5. 「Echo state network activation function based on bistable stochastic resonance」, Z. Liao, Z. Wang, H. Yamahara, H. Tabata, Chaos, Solitons and Fractals, 153(2), pp.111503(1-14) (2021) (査読有)
6. 「Epitaxial growth technique for single-crystalline PbTiO₃ thin film on Si substrate using an HfO₂ buffer layer」, H. Park, T. Kijima and H. Tabata, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.60, No.5F, pp.SFFB14(1-6) (2021) (査読有)
7. 「Gas Sensor Array Using a Hybrid Structure Based on Zeolite and Oxide Semiconductors for Multiple Bio-Gas Detection」, J. Park and H. Tabata, ACS Omega, 6(33), pp.21284-21293 (2021) (査読有)
8. 「Nonlabeled detection of specific intermolecular bondings by terahertz surface plasmon resonance of topological insulator」, H. Sugimoto and H. Tabata, Optics Letters, 46(16), pp.3897-3900 (2021) (査読有)
9. 「Coherent detection stochastic resonance assisted biomagnetometer for measuring magnetocardiography at room temperature」, Z. Liao, S. Jin, A. Kuwahata, M. Sekino and H. Tabata, Appl. Phys. Express, 14, pp.097001 (2021) (査読有)

(総説・解説)

1. 「ヘルスコンディション常時計測用超高感度皮膚ガスセンサ」, 田畑 仁, 月刊「細胞」, Vol.54, No.3, pp.33(151)-38(156) (2022) (査読無)
2. 「極限ナノテクノロジーと量子計測が拓く非侵襲・無拘束超高感度ガスセンサが嗅診を可能に!」, 田畑 仁, 糖尿病・内分泌代謝科, 第54巻, 1号, pp.10-18 (2022) (査読無)

(招待講演等)

1. (Keynote) 「Nano Structural Controlled Functional Oxide Thin Films Learning from Bio-systems」, Hitoshi Tabata, ISPlasma2022/ IC-PLANTS2022 (Online) (2022/03/07)
2. (Invited) 「Magnetic and Dielectric Properties of Strain-gradient Rare-earth Iron Garnet Thin Films」, H. Yamahara, M. Seki, M. Kobayashi and H. Tabata, The 26th Symposium on Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors(PASPS-26) (Online) (2021/12/21)
3. (Invited) 「先進薄膜界面機能創成に関する研究」, 田畑 仁, 日本学術振興会 ナノプローブテクノロジー第167委員会 第99回研究会 (オンライン) (2021/10/29)
4. (Invited) 「薄膜・表面物理の来し方、行く末 -分科会設立50周年を機に-」, 田畑 仁, 2021年第82回応用物理学会秋季学術講演会 (オンライン&名城大学 天白キャンパス) (2021/09/11)
5. (基調講演) 「ニューロモルフィックデバイスに向けたスピンゆらぎ素子」, 田畑 仁, 日本金属学会 2021年春季第168回講演大会 (オンライン) (2021/03/18)
6. (Invited) 「ナノテクノロジーが拓く非侵襲・超高感度体ガスセンシングー Electric Nose ー」, 田畑 仁, ヘルスケア・医療機器専門技術研究会 第3回研究会 (オンライン&近畿大学生物理工学部) (2021/01/21)
7. (Invited) 「レーザー分子線エピタキシー法によるナノバイオデバイス創製」, 田畑 仁, 一般社団法人レーザー学会学術講演会第41回年次大会 (オンライン) (2021/01/18)
8. (Plenary) 「Ultimate control of the crystal structure of functional metal oxide thin films and nano-particles for non-invading and ultra-high sensitive sensors」, H. Tabata, The 6th Conference of BCA(Bangladesh Crystallographic Association) (online) (2021/01/14)
9. (Invited) 「極限ナノ技術と量子計測が拓く非侵襲・超高感度バイオセンシング-Electric Nose-」, 田畑 仁, 東京大学国際オープンイノベーションシンポジウム マテリアルイノベーション (オンライン、新丸ビル コンファレンススクエア) (2020/11/27)

(著書)

1. 田畑 仁, 書籍名「おいのセンシング、分析とその可視化、数値化 ーセンサの開発、機器分析、官能評価と応用事例ー」(分担執筆)、発刊日 2020/10/30、総ページ数 543 ページ、ISBN : 978-4-86104-837-1、出版社 : 技術情報協会

7. ホームページ等

<http://www.bioxide.t.u-tokyo.ac.jp/>