

A study on SERS sensor for the identification and spatial distribution visualization of the VOC gas

陳, 林

<https://hdl.handle.net/2324/7182552>

出版情報 : Kyushu University, 2023, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名	陳 林		
論 文 名	A study on SERS sensor for the identification and spatial distribution visualization of the VOC gas (表面増強ラマン散乱センサを用いた VOC ガスの識別と空間分布の可視化に関する研究)		
論文調査委員	主 査	九州大学	教授 興 雄司
	副 査	九州大学	教授 鍛冶 静雄
	副 査	九州大学	准教授 佐々 文洋
	副 査	九州大学	教授 林 健司

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

IoT 社会の継続的な発展とデータサイエンスによる社会変革を考慮すると、センサはキーデバイスとして非常に重要で、高い発展の見通しがある。臨床検査や疾病診断、食品工学、環境モニタリングなどの分野では、膨大な化学物質種の組み合わせで豊富な化学情報を超高感度にガスセンシングする技術が必要とされている。表面増強ラマン散乱 (SERS: Surface-enhanced Raman Scattering) は貴金属ナノ構造の表面プラズモン共鳴現象によって形成される近接場でラマン散乱が増強される現象で、SERS を用いたセンサデバイスは単分子レベルで化学物質の分子指紋であるラマンスペクトルを超高感度検出できる簡便、かつ迅速なガス分析技術として期待されている。本学位論文は SERS 技術に基づいたガスセンサを活用することにより、揮発性有機化合物 (VOC: Volatile Organic Compounds) を検知・識別し、さらにガスの空間分布状態を可視化する研究開発結果をまとめたものである。その内容は検知ガスへの吸着性と識別能力を向上させる SERS センサへの分子認識材料修飾技術の開発と、SERS センサアレイ設計によるガスの空間分布と識別、可視化形状の推定技術の開発、およびセンサ情報処理技術の構築に関するもので、以下の点で評価できる。

(1) まず、化学物質プローブである銀ナノ粒子を 2 次元状に密に基板上に展開することで SERS センサデバイスを製作した。また、親水基を持つチオール化合物を使用して疎水性のセンサ表面特性を変調し、検知対象ガスミストへの親和性を上げた。この SERS センサを用い、カビ臭の持つ検知対象ガスであるジェオスミンをセンサ表面に濃縮し、ガス源水溶液濃度 5.4ppt のジェオスミン溶液の超高感度検知に成功した。

(2) 次に、センサ表面を複数種のポリマ材料でコーティングし、類似した分子構造と SERS スペクトルを持つ複数の検知ガスに対して異なる表面親和性とガス透過性能を与え、ガス分子識別能を持つ SERS センサを開発した。ガス応答である SERS スペクトルの特徴ピークの強度値を抽出し、ポリマ材料ごとの応答行列データを算出し、フィルタごとのセンサ応答性能を特徴づけた。このデータを元にセンサ応答を主成分分析処理し、明確に区別される 3 種ガスのクラスタリング識別が可能となった。

(3) さらに、ガスの空間分布可視化技術を SERS センサアレイデバイスとデータサイエンス手法を組み合わせることで実現した。化学合成法により得られた銀ナノ粒子を、自己組織化手法でガラス基板

に堆積することで **SERS** センサ基板を作製した。加えて、複数枚のこのセンサを配置したセンサアレイによるガス検知システムを構築した。このセンサアレイにガス源から揮発するガス空間分布をセンサの表面に写し取った。その後、**SERS** シグナル励起レーザー光による表面スキャンシステムを使用し、センサアレイに写し取った残留ガス分子の **SERS** スペクトルの分布を高速に取得した。これらのスペクトルデータから濃度分布情報を推定し、ガスの空間分布の可視化に成功し、ガス源の位置やサイズ情報、そして時間とともに変化するガスの空間分布を取得することが可能となった。さらに、異なる位置にある二種類のガス源から揮発、拡散し、混合するガスを測定し、**SERS** スペクトル分布データから、**NMF** (non-negative matrix factorization) と **CNN** (convolutional neural network) によりガス種ごと濃度分布を識別・推定し、その分布を可視化することにも成功した。

以上の結果は、分子選択性を持つ超高感度 **SERS** センサを利用し、高感度なガス検知、**VOC** ガスの識別、ガスの空間分布情報を可視化する技術の開発に成功したもので、センサ科学とセンサ情報処理の分野において価値ある業績と認められる。

よって、本研究者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。