

NOVEL OPTICAL DEVICES BASED ON SILICONE OPTICAL TECHNOLOGY (SOT) AND THEIR APPLICATIONS FOR CHEMICAL AND BIOLOGICAL ANALYSIS

チャクリヤ, マラスク

<https://hdl.handle.net/2324/4110521>

出版情報 : Kyushu University, 2020, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

(別紙様式2)

氏 名 : チャクリヤ マラスク

論文題名 : NOVEL OPTICAL DEVICES BASED ON SILICONE OPTICAL TECHNOLOGY (SOT) AND THEIR APPLICATIONS FOR CHEMICAL AND BIOLOGICAL ANALYSIS
(Silicone Optical Technologyに基づく新しい光学デバイスとその化学的および生物学的分析応用に関する研究)

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

近年、計測とITを結びつけサイバー空間で実世界をより安全・高効率化する、サイバーフィジカル空間(CPS)がエネルギー問題や安全安心社会の実現に向けて注目されている。不可視物質の計測結果をサイバー空間に中継できるin-situ化学分析のデバイスは、環境・農業・医療などへCPSを広げるためのエッジデバイスとして今後益々重要である。一方、化学分析計測の分野では、キャピラリー中の液流を光で計測するフローインジェクション分析(FIA)は最近様々な実用的計測分野で注目され、特に、必要な試薬とサンプル量の削減やアッセイの再現性などが特長とされている。著者は修士課程で研究していたFIAの知見を生かし、本論文において、ユニークな光学設計手法として提案されているシロキサエラストマーを共通材料としたモノリシックな光学系設計技術であるSOT (Silicone Optical Technology)を用い、光学系を印刷する手法をFIAシステム設計に適用・評価したSOT-FIAに関する研究を初めて行った。

この論文は、SOT-FIAという新しい光学システムの実現にあたり、透明なSiliconeエラストマーの一種であるポリジメチルシロキサン(PDMS)をコアとし、その外壁に炭素粒子分散PDMSを配置することで測定対象外のノイズ光を抑制する微小な準空間光フィルター(SOT-QSF)を組み込み、外部からの光や内部の散乱ノイズ光を効率よく除去したSOT-FIAモジュールを開発し、それを各種分析に合わせて再設計することで環境や生態分析に適用して成果を得たものであり、主に5つの成果を示している。

第1に、デジタル設計から3D印刷された光重合エラストマー製のモジュールを基本骨格として、これに付加的なプロセスのみでSOTを利用した光ノイズ除去機構であるSOT-QSFを付加してSOT-FIA光学モジュールを構成するための、様々な設計手法や作製条件を明らかにしている。

第2に、細胞活性の吸光計測との融合研究への適用をおこなっている。細胞培養の24配列マイクロウェルプレートの下に、24個のSOT-QSFをマトリクス状に配置した吸光計測プレートを開発して、継続的な細胞モニタリングを可能にした。各マイクロウェルの直上に配置した白色LEDの光はウェル直下のSOT-QSFによりフィルターされるため、更なる直下にあるRGB光センサーでのみ選択的に検出されるとした。これにより同時に全ウェル中の細胞をモニタリングすることが可能になり、性能的に96ウェルへの適用の可能性も呈示している。

第3に、FIAで利用する注入という工程をSOTモジュールの製造手法に転用し、付加的プロセスのみでSOT-QSFを埋め込む手法を提唱し、実証している。3D印刷されたSOT-QSFのためのフレーム孔にPDMSを注入し、次にN₂ガス注入で穴の内壁側にコーティングをおこない、SOT-QSFを構成させた。こうして作製したSOT-QSF性能評価では、99.8%のノイズ減衰、およびクロストークテスト

(別紙様式2)

0.5%未満を示した。この仕組みを水中の鉄の比色定量に適用し、優れた直線性、幅広い分析範囲、および良好な回収率を示した。

第4に酵素反応計測へのSOT-FIAの適用が可能であることを示している。西洋ワサビペルオキシダーゼ、 H_2O_2 、およびアニリンの存在下で酵素的に生成されたポリアニリンによる光吸収に基づくフロー酵素結合免疫吸着アッセイ(ELISA)法への適用では、クランク型検出チャンバーを3D印刷してフロー競合ELISAを実施している。50%での居住濃度は0.5 ppmで検出範囲(90%から10%への吸光度の変化)は、0.05~5 ppmとしている。また、人工尿でもフロー競合ELISAを実施し、人工尿の有意なマトリックス効果の悪影響は確認できないことも示している。

第5に、SOTの製品化例である携帯型吸光度計をSOT-FIAに拡張する設計として、光吸収・散乱系の組み合わせを用いた新しい光学系を提案・実証している。3次元印刷された雌型を利用し、透明・散乱・吸収の3種類のPDMSをキャストする手法でのSOT-FIAのモジュールを作製した。光が流路を横方向から通り抜ける従来型に比べ、送光・受光をずらして多重散乱を経由させる新しい手法を提案し、実効光路長を大幅に長くし、劇的に向上した感度(30~45倍)を示している。

結論として、この論文の成果は、FIAという重要な化学計測手法についてSOTによる設計・製作が非常に有効であることを明らかにするとともに、その応用がin-situセンシングや多様な要求に即座に対応できるプロトタイピングデバイスであることを明らかにしており、サイバーフィジカル空間(CPS)を拡張する化学分析のモバイルデバイスの発展に向けて工学上重要な成果を呈示している。

このように、本論文は、新しい小型・可搬型の光学素子の設計手法であるSOTと実用的な化学分析の手法であるFIAを初めて統合し、低雑音な光学フィルター機構を印刷的手法で実装する技術を通して、小型・モバイル可能なSOT-FIAモジュールを開発するとともに、鉄の比色反応・フロー酵素結合免疫吸着アッセイで据え置き計測と遜色ない感度示すとともに、全く新しい散乱光を利用したSOT-FIAの感度増大の可能性を実証している。これらの知見は、光化学計測機器によるCPSへの貢献について大いに寄与することが期待されるものであり、電気電子工学上価値ある業績である。