

# 爆発性蒸気を検出する ランチボックスサイズの蛍光センサ

芳香族ニトロ化合物である爆発性トリニトロトルエン (TNT) などの軍事的脅威となる物質を検出するには、ppbの蒸気検出感度が必要であり、そして脅威にさらされた位置まで容易に運ぶことができる

小形機器を使って選択的に検出する必要がある。英国のセントアンドリュース大学、エジンバラ大学、ストラスクライド大学の研究チームは、化学的な感度を持つ共役 (半導体) 高分子ベースのマイクロシステムを使って、10ppb濃度のジニトロベンゼン (DNB) 蒸気 (TNT 模擬芳香族ニトロ化合物) を検出することができるランチボックスサイズの爆発性蒸気センサを開発した<sup>(1)</sup>。

## 蛍光クエンチング

典型的な蛍光ベース検知技術は、発光性材料の蛍光がテスト下の蒸気によってクエンチング (消光) されることによる発光強度の低下を測定する。すなわち、電子過剰の共役高分子を光励起すると、続いて高分子よりも低いエネルギー分子軌道を占有する爆発性蒸気への電子移動が起こり、結果として高分子からの蛍光が消光され、発光強度が低下する。この消光作用により低下した光ルミネセンス、増幅された自然放射光 (ASE)、レーザ発振などの測定は、いずれも励起強度、収集効率、迷光などの内部と外部の環境因子の影響を受けるため、研究チームは、高分子レーザ発振材料の光ルミネセンス寿命の変化を定量化することで蒸気分析物を測定する方法を選択した。

光ルミネセンス寿命または時間分解

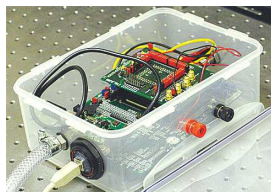


図1 ラunchボックスサイズ (20×13×7cm<sup>3</sup>) の爆発性蒸気検出システムは、薄膜発光性高分子材料からの蛍光減衰をCMOSベース検出システムで測定する。(資料提供: セントアンドリュース大学)

蛍光は、標準的な時間相関単一光子計数 (TCSPC) 法を使って容易に測定できる。しかし、システムコストと物理的サイズを低減するために、商用のTCSPC機器を使わずに、CMOSベースシステムと窒化物発光ダイオード (LED) アレイの組み合わせによって蛍光を励起し、次いで、シリコン単一光子アバランシェダイオード (Si-CMOS SPAD) でそれを検出した。

## CMOSベース検出

このランチボックスサイズの検出システムは、高分子センサ、すなわち、英ケンブリッジ・ディスプレイ・テクノロジー社のグリーン (CDTG) フルオレンをベースとした溶融シリカ基板上の共重合体薄膜、CMOS駆動LEDアレイ励起光源、光検出器、蛍光寿命信号処理回路で構成されている (図1)。

直径72 $\mu$ m画素を持つ窒化アルミニウムインジウムガリウム (AlInGa<sub>N</sub>) マイクロLEDの8×8アレイは、高分子センサに入射するための450nmピーク励起、1.2nsパルス幅の照明を生成した。第2のCMOSチップはSPAD16×4アレイとオンチップタイミングならびに信号処理回路を含む。残留励起を除去するための514nm長のロングパスフィルタが高分子センサとSPADチップのちょうど中間に挿入されている。

約460psの時間ゲート幅を使用して爆発性蒸気存在下での薄膜センサからの蛍光放射による総光子数の値を測定し、それを使って蛍光減衰曲線のヒストグラムを構成した。これとは別に、高速寿命決定 (RLD) アルゴリズムを使って15sの蛍光寿命測定も実施した。このシステムはRLD測定を連続して20回行えるようにプログラムされているため、寿命変化をほぼ実時間で観察することができる。蛍光寿命は、10ppbのDNB分析物に曝露する前に2.66nsで、曝露後には1.63nsと測定された。この36%の寿命短縮は商用TCSPC機器を使って制御測定された結果と一致した。

セントアンドリュース大学の講師、グラハム・ターンプル氏は、「この小型センサは、EPSRCから資金援助を受けて、CMOSに統合されたハイブリッド GaN/有機オプトエレクトロニクスマイクロシステムの開発と研究が続いているHYPIX研究コラボレーション内で開発された。異なる半導体技術を一緒に統合することによって、われわれは爆発性蒸気検出への新しいアプローチを提供する斬新なマイクロシステムを構築することができた。このセンサマイクロシステムは地雷の主成分であるTNT類似物質の蒸気を検出した。現在、この研究は研究室での原理証明段階にあるが、われわれは、このプロトタイプを地雷検出用途に向けて前進させるだろう」と語っている。(Gail Overton)

セントアンドリュース大学の講師、グラハム・ターンプル氏は、「この小型センサは、EPSRCから資金援助を受けて、CMOSに統合されたハイブリッド GaN/有機オプトエレクトロニクスマイクロシステムの開発と研究が続いているHYPIX研究コラボレーション内で開発された。異なる半導体技術を一緒に統合することによって、われわれは爆発性蒸気検出への新しいアプローチを提供する斬新なマイクロシステムを構築することができた。このセンサマイクロシステムは地雷の主成分であるTNT類似物質の蒸気を検出した。現在、この研究は研究室での原理証明段階にあるが、われわれは、このプロトタイプを地雷検出用途に向けて前進させるだろう」と語っている。(Gail Overton)

## 参考文献

(1) I.D.W. Samuel et al., SPIE Optics & Photonics conference paper 8118-13, San Diego, CA (Aug. 25, 2011).