

ナノ分子電気化学スイッチング素子の開発とバイオ計測への応用

東北大学大学院環境科学研究科

伊野 浩介

要旨

本研究では、トランジスタのようなスイッチング素子の役割を果たす“ナノ分子電気化学スイッチング素子”を開発した(図1)。これはナノ空間で誘起される化学反応を利用しており、スイッチングとシグナル増幅が達成される。このスイッチ素子を組み込んだ電気化学イメージングデバイスを開発し、細胞活性イメージングに応用した。

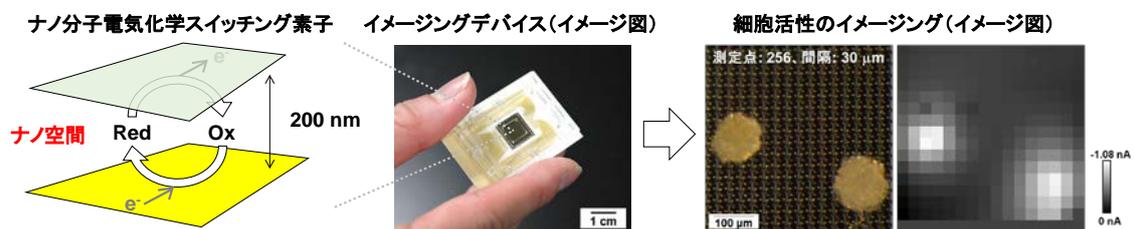


図1 研究概要。スイッチング素子、デバイス、細胞活性

1. 研究背景と目的

培養細胞などのバイオサンプルを評価する技術は、医学、工学において重要である。現在、電流計測に基づく電気化学バイオ計測が提案されている。この手法により、細胞の呼吸活性や分泌物質のモニタリング、タンパク質が評価できる。ハイスループットな検出のために、多数の電極を配置した配列電極デバイス(図2)が開発されている。しかしながら、コネクタパッドを含む電極面積が膨大になるため、多数のセンサを配置できない。そこで、電界効果トランジスタのようなスイッチング素子を組み込んだCMOS電気化学イメージングデバイスが開発されているが、開発に時間と費用が掛かってしまうため、安価で簡単に作製できるスイッチング素子が求められている。

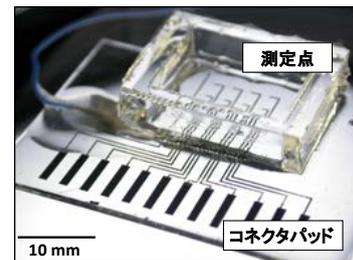


図2 配列電極デバイス。

ここで、電界効果トランジスタのようなスイッチング素子を組み込んだCMOS電気化学イメージングデバイスが開発されているが、開発に時間と費用が掛かってしまうため、安価で簡単に作製できるスイッチング素子が求められている。

これまでに私のグループでは、トランジスタのような半導体の性質を利用したスイッチング素子ではなく、“分子電気化学スイッチング素子”と呼ばれる化学反応を利用した新しい原理のスイッチ素子を報告している(図3)。このスイッチング素子は、2組の近接した電極と溶液から構成される。スイッチ電極で測定対象物を反応させ、2組の電極間で生成

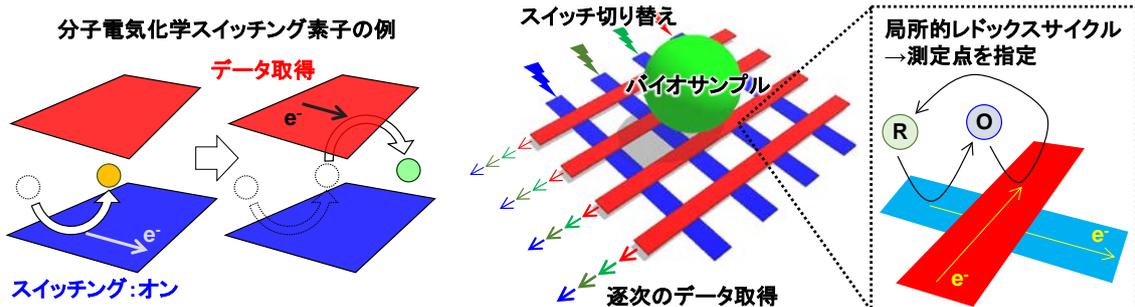


図3 スwitching素子の概要

図4 スwitching素子を組み込んだデバイス。

物が反応と拡散をする現象（レドックスサイクル）を誘起しており、その結果高感度化が実現される。スイッチ電極はトランジスタにおけるゲート電極の役割を果たし、スイッチングを実現している。電気化学イメージングのために、縦と横電極が立体的に交差したデバイスを開発している（図4、前ページ）。各格子点を個別の独立したセンサとして利用できるため、 $2n$ 本の電極で n^2 個のセンサを配置でき、センサの高密度化が期待できる。

センサ感度は2組の電極間の距離に依存しており、近接させることで高感度化できる。これまでに、 μm サイズの素子の開発に成功しているが、高感度化に向けた新しい戦略が必要である。そこで本研究では、ナノ空間を介した素子である“ナノ分子電気化学スイッチング素子”を開発し、高感度な電気化学バイオイメージングを目指した。

2. 結果及び考察

ナノ空間を介して電極を配置するために、クロム犠牲層を利用した（図5）。これによりクロム層の厚さ（約200 nm）のナノ空間を形成できる（図5）。図5に、この素子を組み込んだデバイスを示す。コネクタパッドが8個にも関わら

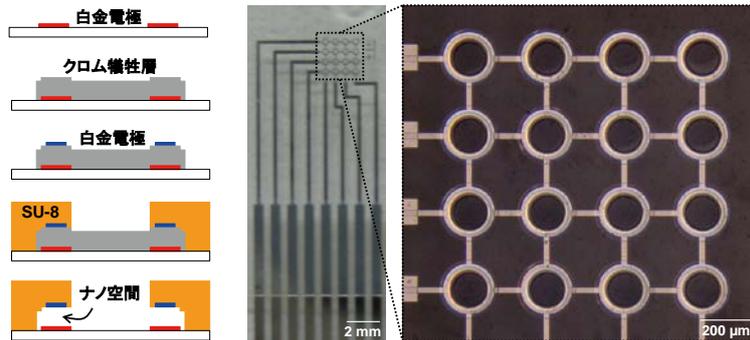


図5 デバイス作製法と作製したデバイスの光学イメージ。

ず16個の電気化学センサを有している。次に、開発した素子の電気化学特性を評価したところ、レドックスサイクルを誘起しない場合に比べ、100倍程度のシグナル増幅を達成した。この結果から、高感度な電気化学スイッチング素子を開発したと言える。

続いて、胚性幹細胞（ES細胞）の細胞評価を実施した。分化マーカーであるアルカリホスファターゼ（ALP）の活性を電気化学シグナルに変換して検出したところ、細胞分化に応じた電流シグナルを取得した（図6）。また、目的の箇所からシグナルが得られていることから、開発したシステムが機能していることが確認された。

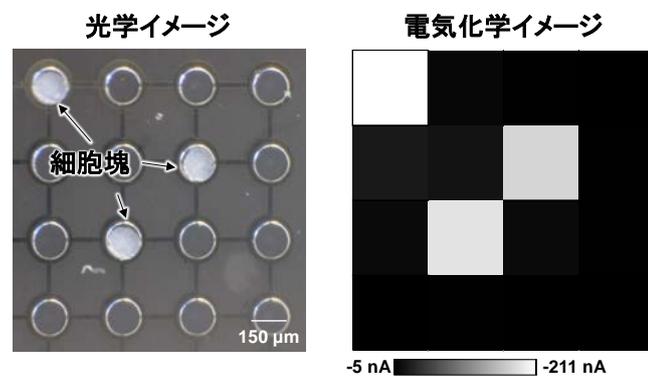


図6 細胞分化マーカーの電気化学イメージング。

3. まとめと課題

本研究では、ナノ空間で誘起される化学反応を利用した“ナノ分子電気化学スイッチング素子”を開発し、化学反応に基づくスイッチングとシグナル増幅を達成した。これを組み込んだデバイスを作製し、電気化学バイオイメージングデバイスを達成した。現時点ではレドックスサイクルを誘起できる分子しか検出できないため、開発したデバイスの応用が限定される。検出システムに新しいアイデアを組み込み、検出できる分子が広がれば、“ナノ分子電気化学スイッチング素子”は集積型バイオチップとして普及が期待できる。