



報道機関 各位

東北大学多元物質科学研究所

厚さわずか2ナノメートルの半導体極薄トランジスタで 分子認識に成功！

— 医療・環境・生産に特化した分子センサーへの応用に期待 —

【発表のポイント】

- 現代の社会問題を解決するために超小型・薄型・軽量のセンサーが必要
- 厚さわずか2ナノメートルの半導体を用いた分子認識手法を提案
- 新たな半導体と光の組み合わせによる分子認識センサーの作成に成功
- 医療用センシングや環境モニタリングへの応用が期待される

【概要】

気体や液体中に存在する分子種を特定する分子認識が、マイクロメートルサイズのセンサーに流れる電流を検出することによって簡便に行えるようになれば、喫緊の社会問題を解決する技術革新が可能となることが期待されます。

東北大学多元物質科学研究所の米田 忠弘 教授、高岡 毅 講師、国立研究開発法人 産業技術総合研究所 デバイス技術研究部門 安藤 淳 研究部門付らの共同研究グループは、厚さ僅か2ナノメートルで縦横1マイクロメートル程度の超小型半導体薄膜からなるセンサーを作成しました。センサー表面に、パイ(π)電子共役系分子^{注1)}として興味を持たれている銅フタロシアニン(CuPc)分子^{注2)}を吸着させ、さらに様々なエネルギーを持つ光を照射したときの光応答電流を観測する実験を行ったところ、特定のエネルギーを持つ光の場合にのみ光応答電流が観測されることを見出しました。この実験により、分子を吸着させたMoS₂原子層薄膜に、分子特有のエネルギーを持つ光を照射すると、光応答電流が生じる、ということの世界で初めて示しました。

本技術を発展させることにより、体内化学物質のモニタリングによる疾患の早期発見、有害な揮発性有機分子や二酸化炭素などの高感度ガスセンシング、植物生育状態モニタリングなど、様々な社会問題を解決するための技術革新が可能になると期待されます。

本研究成果は、2021年8月3日に英国王立化学会の学術誌「RSC Advances」に掲載されました。

【詳細な説明】

背景

現在、気体や液体中に存在する分子種を特定するために、可視紫外吸収分光、赤外吸収分光、核磁気共鳴、光電子分光、質量分析、クロマトグラフィーなど様々な測定手法を利用することができます。しかしながら、これらの実験装置には、分光用機器や強磁場発生装置、分子抽出用カラムなどある程度のスペースを占有する部品が不可欠であり、大型の装置となってしまふことは避けられません。もし、分子認識が、マイクロメートルサイズのセンサーに流れる電流を検出することによって簡便に行えるようになれば、体内化学物質のモニタリングによる疾患の早期発見、環境雰囲気下に存在する有害な揮発性有機分子や二酸化炭素などの高感度ガスセンシング、農業生産性の向上に不可欠な植物生育状態モニタリングなど、喫緊の社会問題を解決する技術革新が可能となることが期待されます。

成果

東北大学多元物質科学研究所の米田 忠弘 教授、高岡 毅 講師、国立研究開発法人 産業技術総合研究所 デバイス技術研究部門の安藤 淳 研究部門付らの共同研究グループは、厚さ僅か 2 ナノメートルで縦横 1 μm 程度の超小型半導体薄膜に微量の分子を吸着させたときの光応答電流を測定することにより、分子を検出する実験に成功しました。

世の中にはほぼ無限とも思われる多くの種類の分子が存在しますが、それぞれの分子には、最高被占軌道 (HOMO) と最低空軌道 (LUMO) と呼ばれる二つの軌道が存在し、それらのエネルギー差 (ΔE) は、分子を特徴づける重要な物理量となります。分子が、 ΔE に等しいエネルギーを持つ光を吸収すると、HOMO には正電荷をもつ正孔が、LUMO には負電荷をもつ電子が生成されます (図 A 参照)。この正孔と電子を電気信号として測定することができるのであれば、分子に照射する光のエネルギーを掃引したときに、ちょうど光のエネルギーが ΔE に等しい場合にのみ、電気信号が検出できることとなります。この現象を利用すれば、電気信号が検出されたときの光のエネルギーから、分子に特有の HOMO と LUMO のエネルギー差 (ΔE) を求めることができ、さらに分子を特定することが可能となります。

実験では、機械的剥離により作成した二硫化モリブデン (MoS_2) 3 層からなる厚さ約 2 ナノメートルの原子層薄膜 (縦横 1 マイクロメートル) をシリコン酸化膜の上に配置し、さらに MoS_2 原子層薄膜の両端にチタン電極を蒸着することによって、 MoS_2 電界効果トランジスタを作成しました (図 B 参照)。

さらに、両端のチタン電極に電源を接続して MoS_2 原子層薄膜に電圧を印加できるように配線します。電圧を印加したときに流れる電流は、 MoS_2 原子層薄膜内の電子や正孔の濃度に依存します。この MoS_2 原子層薄膜に分子を吸着させると

電子や正孔の濃度が変化するため、電流も変化します。この電流変化から分子種を判断しよう、というのが近年注目されている MoS₂ 原子層薄膜を用いたセンシングの原理です。しかし、この方法では、様々な分子を区別することができない、ということがわかってきました。

そこで、新たに、光と組み合わせることによって、“特定のエネルギーを持つ光を照射したときの光応答電流を測定する”、という手法を用いて分子の性質を検出する実験を試みました。ターゲット分子としては、 π 電子共役系分子として興味を持たれている銅フタロシアニン分子を用いました。銅フタロシアニン分子を吸着させた MoS₂ 原子層薄膜に様々なエネルギーを持つ光を照射したときの光応答電流を観測する実験を行ったところ、1.76 電子ボルトの光を用いると、銅フタロシアニン分子が吸着している場合にのみ光応答電流が観測されました（図 C 参照）。1.76 電子ボルトは、MoS₂ 原子層薄膜に吸着した銅フタロシアニン分子の ΔE に相当すると考えられます。この実験により、分子を吸着させた MoS₂ 原子層薄膜に、分子特有のエネルギーを持つ光を照射すると、光応答電流が発生する、ということの世界で初めて示すことができました。

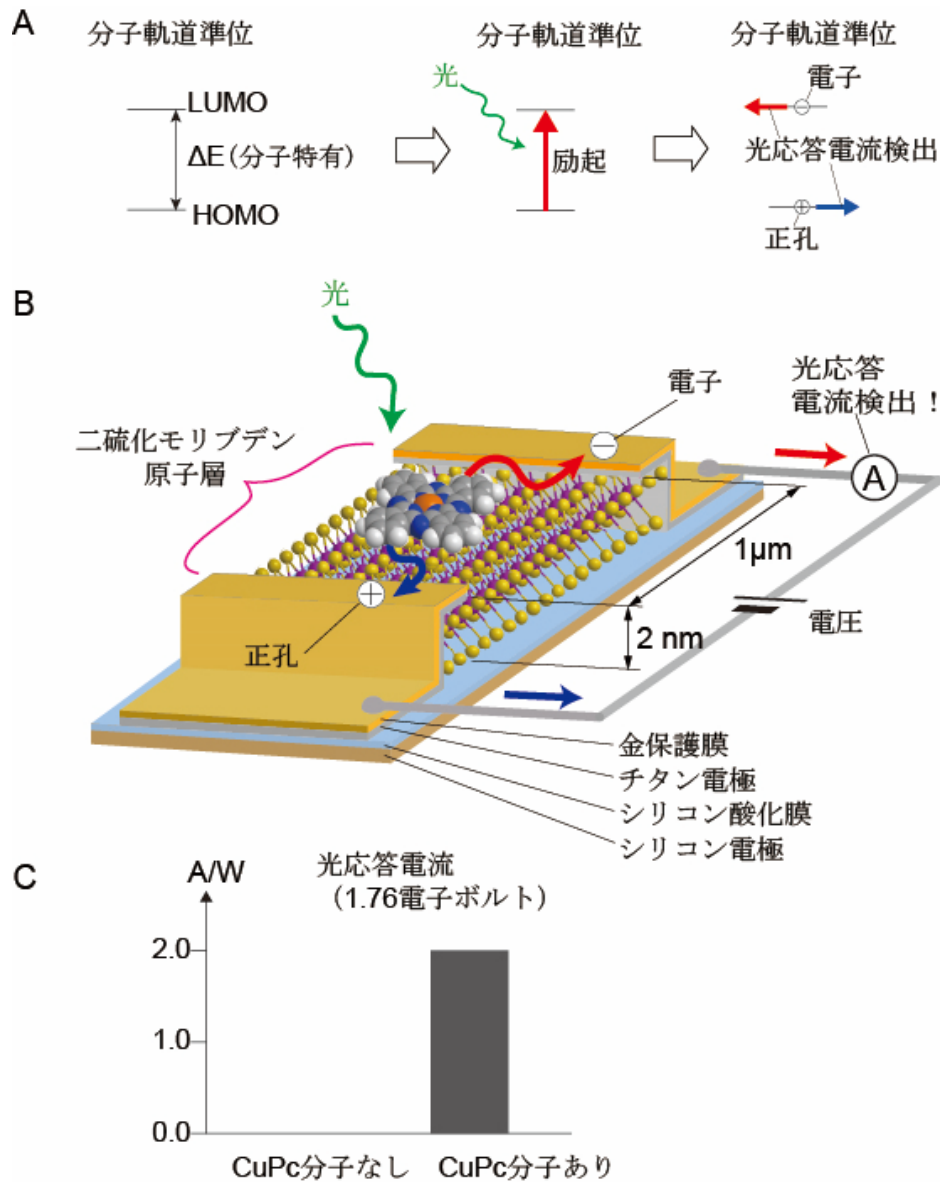


図.A) 分子が、最高被占軌道 (HOMO) と最低空軌道 (LUMO) のエネルギー差に等しい光を吸収すると、HOMO には正電荷をもつ正孔が、LUMO には負電荷をもつ電子が生成される。B) MoS₂ 電界効果トランジスタに銅フタロシアニン分子を吸着させ、1.76 電子ボルトの光を照射すると、光応答電流が観測される。C) 銅フタロシアニン (CuPc) 分子が吸着する前と吸着した後の光応答電流。

今後の期待

今後、様々な分子に対する分子特有のエネルギーを調べることにより、電氣的に簡便に分子を特定できる新たなセンシングシステムの開発が可能となります。マイクロメートルサイズのセンサーに流れる電流を検出することによって分子認識が簡便に行えるようになれば、個人がウェアラブルデバイスとして、もしくは、体埋め込み型デバイスとして日常生活の中で体内の種々の微量化学物質を

常時モニタリングすることにより、様々な疾患の予防や早期発見、我々が生活する環境雰囲気下に存在する有害な揮発性有機分子や二酸化炭素などの高感度検出が可能となります。さらに、農業生産性の向上に不可欠な植物生育状態のモニタリングなど、社会問題を解決する技術革新が期待されます。

【論文情報】

タイトル：Sensor Behavior of MoS₂ Field Effect Transistor with UV/Vis Light Injection Toward Chemical Recognition

著者：Md Iftekharul Alam¹, Tsuyoshi Takaoka^{2*}, Hiroki Waizumi¹, Yudai Tanaka¹, Muhammad Shamim Al Mamun¹, Atsushi Ando³ and Tadahiro Komeda^{2*}

所属：1 東北大学大学院理学研究科化学専攻, 2 東北大学多元物質科学研究所, 3 産業技術総合研究所

掲載誌：*RSC Advances*, 2021, 11, 26509 – 26515.

DOI：10.1039/d1ra03698j

【用語説明】

注1. パイ（ π ）電子共役系分子：非局在化した π 電子を有する分子を指す。発光特性や、導電性・磁性などの興味深い性質を示し、各種の機能性材料に応用されている。

注2. 銅フタロシアニン（CuPc）分子：フタロシアニン骨格に銅イオンがキレートされた構造を持つ分子で、現在最も広く使われている青色顔料である。電子材料としても期待される。

【問い合わせ先】

（研究に関すること）

東北大学多元物質科学研究所

講師 高岡 毅（たかおか つよし）

電話：022-217-5369

E-mail：tsuyoshi.takaoka.b1@tohoku.ac.jp

（報道に関すること）

東北大学多元物質科学研究所 広報情報室

電話：022-217-5198

E-mail：press.tagen@grp.tohoku.ac.jp