

受賞研究の紹介文

カーボンナノチューブ自立膜アレイを使用した ウェアラブル検査デバイスの開発

産業技術総合研究所センシングシステム研究センター
4D ビジュアルセンシング研究チーム 主任研究員 鈴木 大地

テラヘルツ(THz)帯電磁波を活用した検査手法は、製品の内部に渡る空間情報や材質情報を非破壊・非接触で得ることができる強力な手法として注目を集めている。THzセンシングの実用化に必要なのが発振・検出・制御を可能とする各種光学素子の開発であるが、その鍵となる材料がグラフェンを丸めた筒状の1次元構造体であるカーボンナノチューブ(CNT)膜である。CNT膜は低次元構造に由来して高い導電・熱電特性、紫外～THz帯にわたる広帯域な吸収特性、折り曲げ可能な機械的強度といった従来の半導体材料にはない魅力的な特性を有する革新的半導体材料として注目を集めている。一方、マイクロスケールのCNT厚膜は既存のリソグラフィーやインクジェット等のプロセス技術では精度よく加工することができず、光学素子に求められる微細化やアレイ化ができないという課題を有している。すなわち、CNT膜を材料としたTHz光学素子の実現にはCNT膜に適した新たなプロセス技術を開発する必要があった。

そこで本研究では従来のようにCNT膜を成膜後に加工するのではなく、レーザ加工等であらかじめプリパターンニングされたフレキシブルフィルムを介して、パターンニングされた位置にのみCNT自立膜を成膜するという自己整合成膜技術を新たに確立した(図1(a))[1, 2]。当該技術によりCNT自立膜二次元アレイを作製し、その後上面と裏面の両方から電極を形成するというシンプルなプロセスにより、立体配線構造を有するフレキシブルTHzカメラパッチを作製した(図1(b))。これにより、被測定物に合わせて自由に折り曲げられる他、指先やロボットのような任意の対象に装着できる計測自由度の高いTHzセンシングシステムを構築することが可能となった。

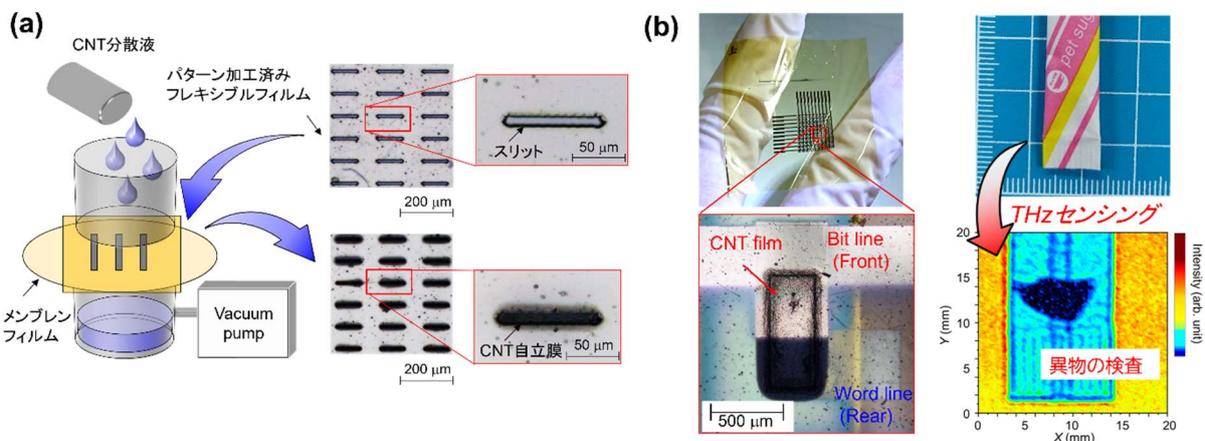


図1 (a) 自己整合成膜技術概要図。(b) 開発したフレキシブル THz カメラパッチと THz センシングによる非破壊検査応用例。

【実用化が期待される分野】

1990年代に飯島澄男氏により発見されて以降、CNTは革新的半導体材料として着目され、様々な研究が行われてきた。本研究はその歴史の中で『CNTの自立膜を任意の箇所に形成する技術』を確立したものである。開発した自己整合成膜技術の強みは、レーザ加工のプリパターンに合わせてCNT自立膜をマイクロ～センチスケールで設計・集積・アレイ化ができるプロセス自由度の高さである。これにより、当該技術を活用することで、前述のようなTHz撮像デバイスに加え光学フィルタ、熱電発電素子、熱物性計測センサー、バイオセンサー等、CNT膜を材料とした各種デバイスが作製可能となる(図2)[3, 4]。このように、本研究で開発した自己整合製膜技術はCNT膜デバイス作製の基盤となる技術であり、後に続くナノカーボン物性研究やフレキシブルデバイス研究等に広く適用されることが見込まれる。

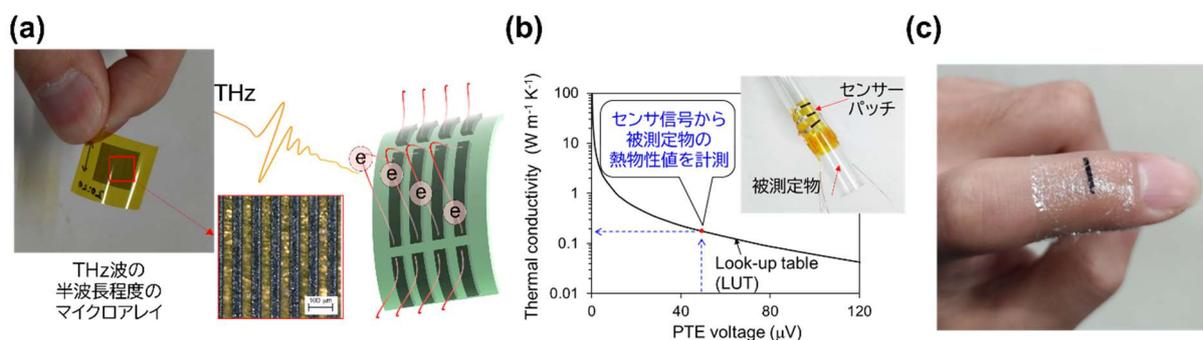


図2 自己整合成膜技術により作製した各種デバイス。(a) THz光学フィルタ。(b) 熱物性計測センサー。(c) バイオセンサーパッチ。

[1] D. Suzuki, K. Li, K. Ishibashi, Y. Kawano, “A terahertz video camera patch sheet with an adjustable design based on self-aligned, 2D, suspended sensor array patterning,” *Advanced Functional Materials* 31, 2008931, 2021.

[2] D. Suzuki, “Patterning and Photo-thermal Sensing Applications of Suspended, 2D, Micro-scale CNT film array,” *The 61st Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium*, Sep. 1st-3rd, 2021. *Iijima Award for Young Scientists*.

[3] D. Suzuki, Y. Takida, Y. Kawano, H. Minamide, N. Terasaki, “Carbon nanotube-based serially connected terahertz sensor with enhanced thermal and optical efficiencies,” *Science and Technology of Advanced Materials* 23, 424-433, 2022.

[4] D. Suzuki, N. Terasaki, “Freely attachable thermal property measurement method based on the photo-thermo-electric effect,” *Sensors & Actuators: A. Physical* 354, 114296, 2023.