



## PRESS RELEASE

岡山大学記者クラブ

文部科学記者会

科学記者会

御中

令和 3 年 8 月 11 日

岡 山 大 学

### メモリスティブな振る舞いを持つ新規材料を発見 ～人間と同様の思考を持つコンピュータの実現に向けて～

#### ◆発表のポイント

- ・カーボンナノチューブ<sup>(1)</sup>と六方晶窒化ホウ素のヘテロ構造<sup>(2)</sup>の大規模集合化に成功しました。
- ・電気特性に脳のシナプスのようなメモリスティブな振る舞いを発見しました。
- ・メモリスティブな電気特性の発現メカニズムのモデルを提唱しました。

岡山大学大学院自然科学研究科(工)の博士前期課程 1 年の岸淵美咲大学院生と同大学術研究院自然科学学域の鈴木弘朗助教、林靖彦教授らの研究グループは、カーボンナノチューブ (CNT) に六方晶窒化ホウ素 (hBN) を合成した新規材料 (一次元 hBN/CNT ヘテロ構造) の大規模集合化 (バルクスケール化) に成功し、その新規材料において脳のシナプスのようなメモリスティブな振る舞いを発見しました。

今回の研究成果は、2021 年 7 月 30 日に米国化学会 (American Chemical Society) 発行の学術雑誌「ACS Applied Electronic Materials」に掲載されました。

メモリスタ<sup>(3)</sup>は、素子を通して電荷の情報を抵抗変化として記憶する受動素子であり、脳のシナプスを模倣したような動作が可能であると考えられています。そのため、人間の脳と同じ思考回路を持つニューロモルフィック (神経形態学的) コンピューティング<sup>(4)</sup>に向けて必要不可欠です。今回メモリスタ動作を明らかにした材料はワイヤー状で曲げられることから、フレキシブルデバイスへの実装が期待できます。フレキシブルなメモリスタ素子は、今後 AI や IoE の発展に大きく寄与します。

#### ◆研究者からのひとこと

学部 4 年から卒論テーマとしても取り組んだ研究です。コロナ禍で研究する時間が限られていましたが、研究室メンバーに支えて頂きました。有難うございました！ (岸淵)

岡山大学に 2020 年度に着任して新たに取り組んだ研究です。研究室の高い CNT 合成技術に最新の知見を取り入れた結果、非常に興味深い現象を発見することができました。(鈴木)



岸淵大学院生



鈴木助教



## PRESS RELEASE

### ■発表内容

#### <現状>

円筒構造をもつナノスケールの炭素材料であるカーボンナノチューブ (CNT) に絶縁性を持つ層状物質の六方晶窒化ホウ素 (hBN)<sup>(5)</sup> を合成した新規ナノ構造 (一次元 hBN/CNT ヘテロ構造) が 2020 年に実現されました (R. Xiang *et al.*, *Science* **367**, 537 (2020))。CNT と hBN はファンデルワールス力によって積層されているため、一次元のファンデルワールスヘテロ構造<sup>(6)</sup> と呼ばれています。これまで、CNT はナノスケールサイズであるため、その大規模集合化 (バルクスケール化) の手法と、デバイス化に関して研究が進められてきました (H. Inoue *et al.*, *Carbon* **158**, 662 (2020))。新しい材料である一次元 hBN/CNT ヘテロ構造についてもバルクスケール化と、特性評価が必要でした。

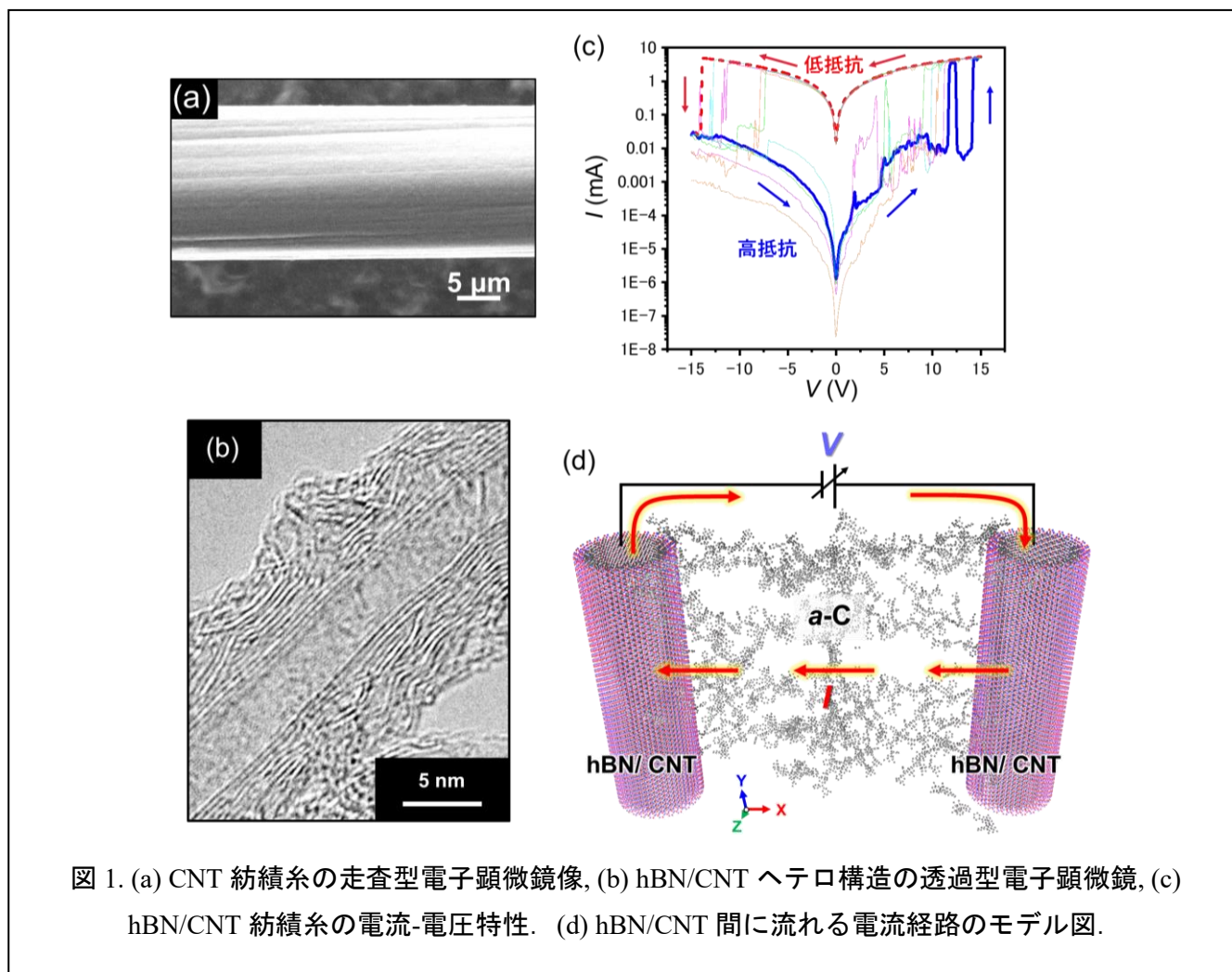
#### <研究成果の内容>

CNT を無数に束ねた糸のことを CNT 紡績糸<sup>(7)</sup> と呼んでいます。CNT 紡績糸は CNT が基板に垂直に配向した CNT アレイから糸を撚りだすことで作製することができます。本研究ではこの CNT 紡績糸 (図 1(a)) や CNT シートに対して hBN を直接合成することで一次元 hBN/CNT ヘテロ構造のバルクスケール化に成功しました。

また、このバルク構造体の結晶構造解析や電気特性評価を行いました。透過型電子顕微鏡による観測によって、CNT 上に新しい hBN 層が形成されていることが確認できました (図 1(b))。また、hBN の層構造に欠陥や乱れがある場合、電流-電圧特性に大きなヒステリシス<sup>(8)</sup> が生じることが明らかになりました (図 1(c))。このような電流-電圧特性に現れるヒステリシスはメモrista素子の動作原理になっています。このようなメモrista的振る舞いの原因は不明であったため、いくつかの検証実験と量子化学計算<sup>(9)</sup> を行い、ヒステリシスの発現モデルを提唱しました。まず、バルク構造体に流れる電流の経路は一次元 hBN/CNT ヘテロ構造にあると考えました。また、ヘテロ構造間にはアモルファスカーボン (a-C)<sup>(10)</sup> が存在しており、電流は a-C を介して流れます (図 1(d))。a-C 中では電荷の偏りを引き起こす官能基 (BC<sub>2</sub>O など) が生成されており、電界中で a-C の動的な振る舞いを引き起こしていると考えられます。hBN 層には欠陥や乱れが多く存在しており、電界によって動き、形状を変えた a-C が hBN 層の欠陥を通して、電流の経路を作ります。このように形成された電流の経路をコンダクティブフィラメントチャネル (CFC) と呼びます。通常、hBN は絶縁性を示すので、a-C の CFC が形成された時にのみ、導電性を示すことになります。CFC が電界の変化に応答して、繋がったり、切れたりすることによって、ヒステリシスが現れます。

#### <社会的な意義>

今回観測された特異な電氣的振る舞いは、第 4 の回路素子であるメモrista素子としての動作を示しています。また、このメモrista動作がフレキシブルなワイヤー形状において確認できたことは、フレキシブルデバイスへ実装する可能性を示しており、将来の IoE 社会に貢献することができます。メモristaはシナプスを模倣した回路動作が可能であるため、人間の脳と同じ思考回路を持つニューロモルフィック (神経形態学的) コンピューティング<sup>(7)</sup> の実現の大きな鍵となります。



### 論文情報

論文名 : Memristive Behavior in One-Dimensional Hexagonal Boron Nitride Carbon Nanotube Heterostructure Assemblies

掲載紙 : *ACS Applied Electronic Materials*

著者 : Hiroo Suzuki, Misaki Kishibuchi, Kazuma Shimogami, Mitsuaki Maetani, Kyohei Nasu, Tomohiro Nakagawa, Yuichiro Tanaka, Yasuhiko Hayashi

DOI : 10.1021/acsaelm.1c00472

URL : <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsaelm.1c00472>

### 研究資金

本研究は、基盤研究(B) (18H01708、21H01371)、挑戦的研究(萌芽) (19K21946)、新学術領域研究(研究領域提案型) (19H05332)、若手研究 (21K14497)、JST の A-STEP (1127666、1127647)、2020 年度住友基礎科学研究助成、2021 年度笹川科学研究助成、2020 年度矢崎科学技術振興記念財団の支援を受けて実施しました。



## PRESS RELEASE

### ■補足・用語説明

1. カーボンナノチューブ (CNT) : 円筒構造をもつナノスケールの炭素材料です。円筒の直径はおおよそ 1 nm から 50 nm. 電気伝導性や機械的強度に優れています。
2. ヘテロ構造: 異なる物質同士を接合した構造です。
3. メモリスタ: 抵抗、キャパシタ、インダクタに次ぐ第 4 の回路素子. 通過した電荷を記憶し、それに伴って抵抗が変化する受動素子です。演算と記憶両方の機能を担い、エネルギー効率が非常に高いと考えられています。
4. ニューロモルフィックコンピューティング: 脳の機能を模擬したコンピュータです。従来のコンピュータに比べ、高速化と低消費電力が期待されています。
5. 層状物質の六方晶窒化ホウ素 (hBN) : ホウ素と窒素で構成される絶縁性の層状物質です。CNT の結晶に非常に近い構造をもちます。
6. ファンデルワールスヘテロ構造: ヘテロ構造の一種です。分子間力の一種であるファンデルワールス力によって異なる層状の物質が積層されている状態です。CNT のような円筒状物質に積層された構造を特に一次元のファンデルワールスヘテロ構造と呼びます。
7. CNT 紡績糸: CNT のバルク構造体の一つです。チューブ軸方向に配向性を保ったまま、CNT を無数に撚り合わせることで作製することができます。
8. ヒステリシス: 特に電圧-電流特性においては電流掃引方向を逆転した際に、掃引方向によって異なる電圧-電流特性が現れる現象です。
9. 量子化学計算: 分子全体に広がる分子軌道を計算して分子の電子状態を求める計算手法です。
10. アモルファスカーボン (a-C) : 炭素が結晶構造を持っていない状態です。炭素が未結合手をもっているため、黒鉛やダイヤモンド、CNT のような結晶に比べ、反応性に富んでいます。



岡山大学  
OKAYAMA UNIVERSITY



岡山大学は持続可能な開発目標 (SDGs) を支援しています。



### <お問い合わせ>

岡山大学学術研究院 自然科学学域

助教 鈴木 弘朗

(電話番号) 086-251-8133

(FAX) 086-251-8133