

平成 30 年 9 月 27 日現在

機関番号：17104

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12109

研究課題名(和文) パルス発生する負性抵抗素子カーボンナノチューブネットワークの脳型情報処理への応用

研究課題名(英文) Application for brain computing using pulse generation device with negative differential resistance made by carbon nanotube network

研究代表者

田中 啓文(Tanaka, Hirofumi)

九州工業大学・大学院生命体工学研究科・教授

研究者番号：90373191

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：カーボンナノチューブ(CNT)とナノ粒子とのランダムネットワークを作製し、脳型情報処理に必要なノイズ・パルス発生デバイスを実現するために、新奇ポリ酸(POM)を合成し、そのSWNTランダムネットワークを作製し、パルス発生挙動を調べた。周りにポルフィリンを配位させたPOMからパルスが発生した一方、ピロールやブチルを配位したPOMからは発生しなかった。POMへの配位分子からの電子の移動が、パルス発振を促していると思われる。また、シミュレーションからパルス発生メカニズムが分かったうえ、脳型コンピューティング演算に利用できる可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：To apply for brain computing using pulse generation device with negative differential resistance, carbon nanotube network was fabricated with newly synthesized polyoxometalates (POMs). By measuring pulse generation, in the case POM has porphyrin coordination, pulse was observed, while butane or pyrrole were coordinated. The results implies that electron transfer from coordinate molecules to POM promoted pulse generation. Simulation results suggested mechanism of pulse generation and another simulation showed possibility that POM/CNT random network device can be used for brain computing.

研究分野：ナノ電気伝導

キーワード：カーボンナノチューブ 負性抵抗 ポリ酸 ランダムネットワーク 脳型演算

1. 研究開始当初の背景

脳型情報処理技術はニューラルネットワークの発展により進歩を遂げている。近年注目を浴びている深層学習では、入力層にノイズを導入したデノイジングオートエンコーダ (DAE) [1] や確率的ニューロンを導入した制限付きボルツマンマシン (RBM) [2] など、ノイズを積極的に利用したニューラルネットワークが必ず用いられる。DAE や RBM を実チップで直接実行する脳型回路を考える上で、ノイズ発生デバイスは必要不可欠である。これまで論理回路による疑似乱数回路やアナログカオス素子などが利用されていたが、簡便に作製でき精密にノイズを発生させることが可能なデバイスが実現出来れば、飛躍的な低消費電力化や高集積化が可能となる。また、学習プロセスにより得られた荷重値を記憶する記憶素子が必要である。現状それには電荷、抵抗メモリなどが使われているが、情報量を増加させるためにパルス間隔メモリが求められている。よってパルスを希望通りに発生するデバイスの作製も必要であり、同様に CNT ランダムネットワークを用い、最適条件を探索する。申請者はこれまでに、負性抵抗性分子ナノ粒子や CNT を用い、ランダムネットワーク構造からノイズ発生・制御に成功している。これにより、ノイズ・パルスの自在発生が可能となったが、酸化還元反応を用いるために、全ての物質が酸化側、還元側に寄ってしまうとデバイスの動作が終了するという欠点も存在する。よって本研究では、さらに材料系や作製条件を検討し、永続的に動作する素子を作製し、かつ脳型プロセッシングに適応を目指す。[1] Y. Bengio et al., **Generalized Denoising Auto-Encoders as Generative Models**, Advances in Neural Information Processing Systems 26, 2013. [2] G.E. Hinton, **Reducing the dimensionality of data with neural networks**, Science, 2006.

2. 研究の目的

カーボンナノチューブ (CNT) とソフトマテリアルナノ粒子とのランダムネットワークを作製し、脳型情報処理に必要なノイズ・パルス発生デバイスを実現する。

そのために必要な多様な酸化還元性を有する材料のナノ粒子の電気特性を明らかにする。また、回路シミュレータなどによるシミュレーションを行う。

パルス発生の様子をリターンマップ解析し、ランダムネットワーク内の回路のカオス性を調べ、脳型情報処理システムへの応用を模索する。

3. 研究の方法

SV₂W₁₀O₄₀/H₄t-BuTPP、(Bu₄N)₄SV₂W₁₀O₄₀、SV₂W₁₀O₄₀/H₄TPP の 3 種の POM を新たに合成し、これまでの POM と同様の SWNT ランダムネットワークから得られるパルス発振挙動を、マルチプローブシステムを用いて調べる。

セルオートマトンの交差点に POM を配置しそれを SWNT で結合した格子で、POM 間の電子集合体ホッピングを確率により起こさせると、時間経過につれどれほどの電子が対向電極に到達するかを計算し、それを電流とする。

リザーバコンピューティングシミュレーターにより SWNT/POM 系でのリザーバ演算シミュレーションを行う。

4. 研究成果

新たに合成した POM 分子について SWNT との混合体のランダムネットワークを作製し、パルス発生状況を調べたところ、周りに 4 つのポルフィリンを配位した POM によるものからのパルス発生を確認した。

パルス発生機構のシミュレーションをセルラーオートマタ型で行ったところ、パルス発生メカニズムを説明できることが分かった。

セルラーオートマタを基本としたパルス発生機構を基にリザーバ演算をシミュレートしたところ、SWNT/POM ネットワーク系が記憶演算を行うことができることが分かった。

- により、SWNT/POM ランダムネットワークが脳型プロセッシングに適応できる可能性を示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2 件)

「A Molecular Neuromorphic Network Device consisting of Single-Walled Carbon Nanotubes complexed with Polyoxometalate」
H. Tanaka, M. Akai-Kasaya, A. TermehYousefi, L. Hong, L. Fu, H. Tamukoh, D. Tanaka, T. Asai, T. Ogawa, Nature Communications **9**, 2693 (2018).
査読有

「Tuning the electrical property of single layer graphene nanoribbon by adsorption of planar molecular nanoparticles」
R. R. Pandey, M. Fukumori, A. TermehYousefi,

M. Eguchi, D. Tanaka, T. Ogawa, H. Tanaka, Nanotechnology **28**, 175704 (6pp) (2017). 査読有

〔学会発表〕(計 13 件)

2016/12/17 Internatinal Symposium on Applied Engineering and Sciences, 九州工業大学(福岡県北九州市) A new Transverse Flux Linear Motor using High Density Structure, K. Yoshizu, O. Tsutsumi, L. Fu, H. Tamukoh, T. Ogawa, H. Tanaka

2016/6/15 ナノ学会 北九州国際会議場(福岡県北九州市) ポスター、吉津法隆、堤治、付凌翔、田中啓文、小川琢治、田中啓文、ピレン末端側鎖を導入したポリ酸のカーボンナノチューブネットワーク複合体のニューロン様発火特性

2016/6/15 ナノ学会、北九州国際会議場(福岡県北九州市) ポスター、付凌翔、田中啓文、小川琢治、田中啓文、ポルフィリンポリ酸のカーボンナノチューブネットワーク複合体のニューロン発火型デバイス特性

2016/5/11 日中ナノメディシン、北九州国際会議場(福岡県北九州市) invite、田中啓文、Brain-like signal generating electric devices made of single-walled carbon nanotube and nanoparticle complex

2016/1/25 JST 機器開発セミナー、大阪大学電顕センター(大阪府吹田市) 依頼講演、田中啓文、次世代コンピューター応用に向けたナノカーボンを利用した基礎研究

2015/12/17 Pacifichem 2015, Hawaii convention center、ホノルル(アメリカ)、Lingxiang Fu, Hakaru Tamukoh, Takuji Ogawa, Hirofumi Tanaka, Chaotic analysis of neuron-firing reproducing device of POM/CNT random network

2015/12/15 Pacifichem 2015, Hawaii convention center、ホノルル(アメリカ), invite, Hirofumi Tanaka, Neuron-like signal generation and its chaotic analysis of single-walled carbon nanotube and redox nanoparticle complex

2015/12/3 The international symposium on "Recent Trends in Analysis Techniques for Functional Materials and Devices", 大阪大学(大阪府吹田市), invite, Hirofumi Tanaka, Neuron-like signal generation and its chaotic analysis of single-walled carbon nanotube and POM nanoparticle random network

2015/11/23 SAES2015, UPM Malaysia、セレンゴール(マレーシア), invite, Hirofumi

Tanaka, Electric properties of single-walled carbon nanotube and nanoparticle complex for neuron-like signal generation

2015/11/23 SAES2015, UPM Malaysia, セレンゴール(マレーシア), Koji Yoshizu and Hirofumi Tanaka, Neuron-firing like electric property generated in network of pyrene-POM/CNT complex

2015/9/16 JSAP 76th 2015 名古屋国際会議場(愛知県名古屋市), Poster, Reetu Raj Pandey, Hirofumi Tanaka, Electrical circuit model for neuron firing device by negative differential resistance junctions components

2015/9/16 第76回応用物理学会秋季学術講演会 名古屋国際会議場(愛知県名古屋市) 付凌翔・堤治・吉津法隆・田中啓文・小川琢治・田中啓文、ピレン末端側鎖を導入したポリ酸のカーボンナノチューブネットワーク複合体のニューロン発火型デバイス特性

2015/8/23 IEEE Regional Symposium on Micro and Nanoelectronics 2015 (IEEE-RSM2015) クアラトレンガヌ(マレーシア), invited, Hirofumi Tanaka, Brain-like signal generating electric devices made of single-walled carbon nanotube and nanoparticle complex

出願状況(計 1 件)

名称: 非線形素子
発明者: 田中啓文・小川琢治・浅井哲也
権利者: 大阪大学
種類: 特許
登録番号: 平成 29 年(2017 年)11 月 2 日 第 6233772 号(成立)
国内外の別: 国内

〔その他〕

○ホームページ
九州工業大 田中研究室 HP
<http://www.brain.kyutech.ac.jp/~tanaka/index.html>

○新聞報道

・2018/8/3 科学新聞 11 面
「神経細胞のスパイク発火に類似 CNT と POM のネットワークで発生成功」
・2018/7/18 日経産業新聞 6 面
「脳の神経に似た電気信号 炭素材料使い再現」

6. 研究組織

(1)研究代表者

田中 啓文 (TANAKA, Hirofumi)
九州工業大学・大学院生命体工学研究科・教授
研究者番号：90373191

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

田向 権 (TAMUKOH, Hakaru)
九州工業大学・大学院生命体工学研究科・准教授
研究者番号：90432955

江口 政徳 (EGUCHI, Masanori)
(財)ファジィシステム研究所研究員
研究者番号：60613594

(4)研究協力者

小川 琢治 (OGAWA Takuji)
浅井 哲也 (ASAI Tetsuya)
赤井 恵 (AKAI Megumi)