

Au 原子接合のための FPGA 上の人工知能と実験パラメータの自律最適化

Optimization of Experimental Parameters for Fabrication of Au Atomic Junctions Using Artificial Intelligence Implemented on FPGA

東京農工大院工 ○櫻井拓哉、平田鷹介、岩田侑馬、竹林敬太、白樫淳一

Tokyo University of Agriculture & Technology

○T. Sakurai, Y. Hirata, Y. Iwata, K. Takebayashi and J. Shirakashi

E-mail: s188050s@st.go.tuat.ac.jp

近年、大量のデータを解析し、学習する人工知能が様々な問題の解決に使用されている[1, 2]。これまで我々は、量子スケールでの原子接合の作製手法として知られている、フィードバック制御型エレクトロマイグレーション(FCE)法[3]に人工知能を取り入れることで、自律的に最適な実験パラメータを設定するFCEシステムの構築を行ってきた[4]。さらに前回の報告では、実験パラメータの1つである電圧フィードバック量 V_{FB} の最適化を行うFCEシステムをFPGA(Field Programmable Gate Array)に実装することで、効率的なFCE制御を検討した[5]。今回は、FPGAに実装された人工知能が先の V_{FB} に加え、2つ目の実験パラメータである閾値微分コンダクタンス G_{TH} をも最適化することで、より自律的なFCE制御によるAu原子接合の作製を目指した。

本システムは、初期データベースを構築する学習エンジンを搭載したHost-PC、FPGA、Auチャネルから構成される。FPGAには、評価エンジン、推論エンジン、FCEエンジンを実装した。評価エンジンでは、コンダクタンスの制御性に関する評価関数によって実験パラメータが評価される。推論エンジンでは、遺伝的アルゴリズムに基づくパラメータの選択方法によって、リアルタイムで実験パラメータが決定される。FCEエンジンでは、推論された実験パラメータがFCEに適用される。これらにより、FPGAを用いて、リアルタイムで複数の実験パラメータを最適化する人工知能カスタムハードウェアの構築を実現した。表1に、 V_{FB} のみ(1パラメータ)と V_{FB} & G_{TH} (2パラメータ)を最適化した際のScoreを比較した結果を示す。今回設定した評価関数では、Scoreが小さいほど制御性の良いコンダクタンス波形を表している。表より、2つの実験パラメータである V_{FB} & G_{TH} を最適化した際のFCE制御が優れた評価結果を示していることがわかる。以上より、FPGAに実装された人工知能によって、複数の実験パラメータがリアルタイムで最適化され、自律的なFCE制御によるAu原子接合の作製が可能であることが示唆された。

Table. 1 Average and top score of FCE when experimental parameters are optimized.

Experimental Parameters	Average Score	Top Score
V_{FB} (1 Parameter)	28.3	22.6
V_{FB} & G_{TH} (2 Parameters)	20.1	18.2

References

- [1] D. Ferrucci, Eric Brown, Jennifer Chu-Carroll, James Fan, David Gondek, Aditya A. Kalyanpur, Adam Lally, J. William Murdock, Eric Nyberg, John Prager, Nico Schlaefer, and Chris Welty, AI magazine, 31 3 (2010) 59.
- [2] D. Silver, Aja Huang, Chris J. Maddison, Arthur Guez, Laurent Sifre, George van den Driessche, Julian Schrittwieser, Ioannis Antonoglou, Veda Panneershelvam, Marc Lanctot, Sander Dieleman, Dominik Grewe, John Nham, Nal Kalchbrenner, Ilya Sutskever, Timothy Lillicrap, Madeleine Leach, Koray Kavukcuoglu, Thore Graepel and Demis Hassabis, Nature, 529 (2016) 484.
- [3] D. R. Strachan, D. E. Smith, D. E. Johnston, T.-H. Park, M. J. Therien, D. A. Bonnell and A. T. Johnson, Appl. Phys. Lett., 86 (2005) 043109.
- [4] Y. Iwata, Y. Katogi, N. Numakura, S. Sakai and J. Shirakashi, ICASS 2017, June 12-15 (2017), Dalian, China.
- [5] 櫻井、岩田、酒井、平田、白樫: 第65回応用物理学会春季学術講演会 18a-P4-3 (2018).