FPGA に実装されたイジングマシンでの 実験パラメータ決定システムの構築と Au 原子接合の自動作製

Control for Quantized Conductance Using Optimized Parameters Obtained by Ising Computing Implemented on FPGA

東京農工大院工 ○平田鷹介、櫻井拓哉、竹林敬太、酒井正太郎、白樫淳一

Tokyo University of Agriculture & Technology

°Y. Hirata, T. Sakurai, K. Takebayashi, S. Sakai and J. Shirakashi

E-mail: s184433x@st.go.tuat.ac.jp

近年、組合せ最適化問題を解くための計算機として、イジングスピンモデルを模擬したハードウェアが注目を集めている[1,2]。これまで我々は、原子1個~数個の接合構造(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]における実験パラメータの選択について、イジングマシンによって予め最適化されたスケジューリングをFCE 法へ適用することで、安定な Au 原子接合の作製を行ってきた[4]。今回は、FCE を実行するシステムとイジングマシンによる実験パラメータのスケジューリング決定システムを FPGA (Field Programmable Gate Array)に実装することで、実験の進行と同時に、実験状況に応じた実験パラメータをリアルタイムに探索・決定しながら、FCE へ自動的に適用するシステムを構築した。

FPGA 上に実装された本システムは、FCE エンジンとイジングマシンから構成される。FCE エンジンでは、Au ナノワイヤに対して FCE を実行する。この際、電圧フィードバック毎に得られるコンダクタンス波形が評価関数によってスコア付けされ、使用された実験パラメータの優劣が評価される。イジングマシンによる演算は、FCE エンジンによってスコアが得られた後に、Au 原子接合作製実験の進行と同時に実行される。具体的には、得られたスコアをデータベースへ格納し、これを基にイジングスピンモデルの交換相互作用を更新した後、基底状態探索を行う。これらによって、次の電圧フィードバック時に適用される実験パラメータの決定が、実験の進行中にリアルタイムに行われる。図1に、FCE による印加電圧とコンダクタンスの波形、また、イジングマシンの基底状態探索時におけるエネルギープロファイルを示す。図より、実験パラメータ探索でのイジングマシンによる演算において、エネルギーが収束している事が確認された。また、この演算では実験パラメータの1つである電圧のフィードバック量が、120ミリ秒以内で決定された。以上より、FPGAに実装されたイジングマシンが FCE の実行中に実験パラメータの自律的決定を行うことで、Au 原子接合を自動的に作製できる可能性が示唆された。

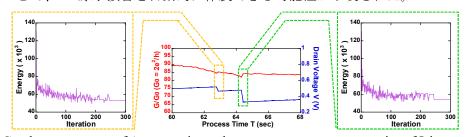


Fig. 1 Conductance traces of Au nanowire and energy convergence properties of Ising machine.

References

- [1] M. Yamaoka, C. Yoshimura, M. Hayashi, T. Okuyama, H. Aoki and H. Mizuno, IEEE J. Solid St. Circ., 51 (2016) 303.
- [2] M. W. Johnson, M. H. S. Amin, S. Gildert, T. Lanting, F. Hamze, N. Dickson, R. Harris, A. J. Berkley, J. Johansson, P. Bunyk, E. M. Chapple, C. Enderud, J. P. Hilton, K. Karimi, E. Ladizinsky, N. Ladizinsky, T. Oh, I. Perminov, C. Rich, M. C. Thom, E. Tolkacheva, C. J. S. Truncik, S. Uchaikin, J. Wang, B. Wilson and G. Rose, Nature 473 (2011) 194.
- [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] 平田、櫻井、酒井、白樫: 第79回応用物理学会秋季学術講演会 21p-221A-5 (2018).