

FPGA 上のイジング計算機での基底状態探索による 実験パラメータの決定と Au 原子接合の形成

Fabrication of Au Atomic Junctions Using Experimental Parameters Obtained by Ising Spin Computing Implemented on FPGA

東京農工大 [○]平田鷹介、櫻井拓哉、三木司、島田萌絵、白樫淳一

Tokyo University of Agriculture & Technology

[○]Y. Hirata, T. Sakurai, T. Miki, M. Shimada 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]に対して、FPGA(Field Programmable Gate Array)に実装されたイジング計算機を用いた、人の手を介さない制御手法での Au 原子接合の作製を検討してきた[4]。今回は、イジング計算機による FCE 実験パラメータ決定システムを FPGA に実装し、実験状況に応じて複数の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計算機から構成される。FCE エンジンは、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(電圧フィードバック量 V_{FB} 、閾値コンダクタンス G_{TH} 、電圧増加幅 V_{STEP})の組合せの優劣が評価される。イジング計算機による解探索は、FCE エンジンによってスコアが得られた後に、Au 原子接合の作製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、実験の進行状況に応じた実験パラメータの決定がリアルタイムに行われる。図 1 に、FCE 法での印加電圧 V とコンダクタンスの波形 G/G_0 、また、イジング計算機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、電圧のフィードバック毎にイジング計算機がエネルギー収束動作を見せながら解探索を行い、実験パラメータを自律的に決定しながら Au 原子接合を形成している様子が確認された。以上より、FPGA に実装されたイジング計算機が FCE の実行中に適切な実験パラメータの決定を行い、自動的に Au 原子接合を作製できることが明らかとなった。

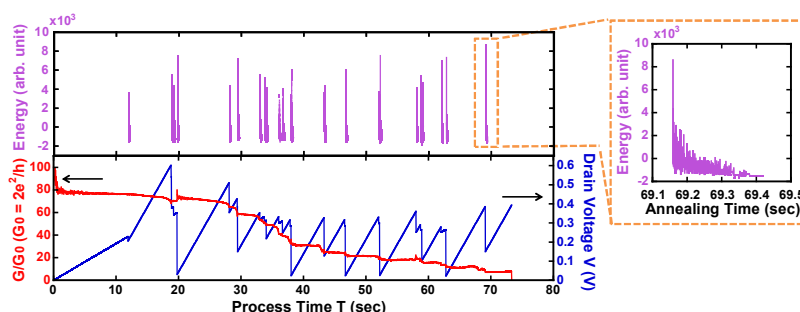


Fig. 1 Conductance traces of Au nanowire and energy convergence properties of Ising computing.

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、竹林、酒井、白樫: 第66回応用物理学会春季学術講演会 12a-W934-8 (2019).