

量子アニーリングマシンを用いた 原子接合作製実験での実験パラメータ探索とスケジュール最適化 Optimization of Experimental Parameters for Fabrication of Atomic Junction Using Quantum Annealing Machine

東京農工大 [○]江澤遥、島田萌絵、津嘉山大輔、白樫淳一

Tokyo University of Agriculture & Technology

[○]H. Ezawa, M. Shimada, D. Tsukayama, and J. Shirakashi

E-mail: s201531y@st.go.tuat.ac.jp

近年、量子アニーリングマシンは量子シミュレーションを可能にするなど、様々な分野での応用が期待されている[1]。これはイジングモデルの基底状態を探索する物理実験装置であり、現在、ハードウェアのトポロジーが強化された D-Wave Advantage2 がクラウド経由で利用可能である[2]。これまで我々は、古典コンピュータ上に実装したイジングマシンを用いて原子接合の作製手法であるフィードバック制御型エレクトロマイグレーション(Feedback-Controlled Electromigration: FCE)法での実験パラメータの最適化と原子接合の作製を行ってきた[3]。今回は、量子アニーリングマシンを実際の問題(実験)に適用するために、FCE 法のパラメータの一つである印加電圧のフィードバック量 $V_{FB}(\%)$ に着目し、最適解が既知となるような V_{FB} の適用スケジュールを設定して求解特性を検討した[4]。今回は、FCE 法を用いた Au 原子接合作製実験で得られたデータベースから、量子アニーリングマシンを用いて V_{FB} の探索とスケジュール最適化を実行した。

図 1 に、本手法のシステムフローを示す。はじめに、FCE 法に対して V_{FB} スケジュールをランダムに適用して得られた 50 サンプル分のデータベースを構築する。次に、構築したデータベースを基に評価関数を作成し、イジングモデルにマッピングする。これを量子アニーリングマシンが実行可能な QUBO (Quadratic Unconstrained Binary Optimization)[5]に変換する。最後に、量子アニーリングマシンを用いて基底状態探索を行い、最適な V_{FB} の探索と適用スケジュールを求める。本実験では、アニーリング時間は $20\ \mu\text{s}$ に設定し、問題ごとに 10^4 回ずつアニーリングを行った。印加電圧をフィードバックさせる回数 N の値を変えて実験を行ったところ、 $N = 10$ のとき、量子アニーリングマシンの残留エネルギー $E_{\min_QA}$ と従来手法である Simulated Annealing の残留エネルギー $E_{\min_SA}$ の比率で算出される解の Accuracy は最大 83.44%の精度を得られた[6]。以上より、量子アニーリングマシンが実際の原子接合作製実験の実験パラメータ探索とスケジュール最適化に適用できる可能性が示唆された。

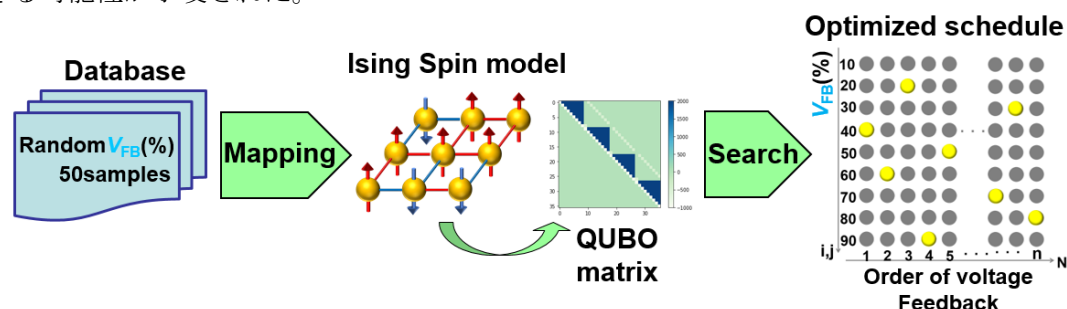


Fig. 1 System flow of solving V_{FB} schedule using quantum annealing machines.

References

- [1] A. D. King, et al., Nature Physics 18 (2022) 1324.
- [2] Dwave leap. <https://www.dwavesys.com/home>. Accessed on 13 June 2023.
- [3] S. Sakai, Y. Hirata, M. Ito and J. Shirakashi, Sci. Rep. 9 (2019) 16211.
- [4] 米田、島田、三木、白樫: 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会 13a-S101-3 (2021).
- [5] A. Lucas, Front. Phys. 2 (2014) 5.
- [6] Y. Yoneda, M. Shimada, A. Yoshida and J. Shirakashi, Appl. Phys. Express 16 (2023) 057001.