量子ドット列を介したスピン量子ビットの断熱量子状態転送

Adiabatic quantum state transfer of spin qubits via quantum dot array

阪大産研 [1]　○(M1)湯田 秀明 [1], 藤田 高史 [1], 大岩 顕 [1]

SANKEN, Osaka Univ. [1], ○Hideaki Yuta[1], Takafumi Fujita[1] Akira Oiwa[1]

E-mail: yuta21@sanken.osaka-u.ac.jp

半導体量子ドット中の単一電子スピンを、スピン鎖を用いて伝送する手法について、数値シミュレーションを行い、効率的な伝送に必要な条件を研究した。

シリコン量子ビットの集積化に向けて、チップ内で計算ユニットを分割し、そのユニット間を量子力学的に結合させてネットワークを構成し、大規模な量子計算を行う配線構造が考案されており、そのユニット間(数十μm)の量子ビットをもつれさせる技術(量子リンク)の開発が課題となっている。

この量子リンクを実現させる一つの方法として、Figure 1 に示すような断熱量子状態転送(AQT)がある。図のようにスピン鎖と両端のドットの交換相互作用の ON,OFF を断熱的に切り替えることによって、左側のスピンが右側の電子に転送される。断熱的な操作では量子状態の時間発展を厳密にとらえることなく十分緩い操作で転送が実行されるため、量子リンクの開発要件を緩和できる可能性がある。3 つのスピン間の AQT が GaAs 量子ドット列を用いて原理検証されており[1]、従来の SWAP 操作を繰り返す方法よりも高い忠実度でスピンの転送を実現している。

本研究では、より多くのスピン間での AQT について数値シミュレーションを行った。5 スピンの場合の操作時間と Infidelity の関係を Figure 2 に示す。この結果から、十分な時間をかけることで適切に伝送を行うことができることと、短い操作時間で共鳴的に忠実度が高くなる条件が存在することが分かった。ただし、実際のデバイスでは半導体基板内のポテンシャルが不均一であるために量子ドット配列に均一な交換相互作用を働かせることは困難であることが考えられるため、そのように場所によって相互作用の強さが異なる場合、共鳴過程の忠実度が低下することを確かめた。しかしその場合でも、結合操作を任意波形で制御できれば高い忠実度の伝送が回復することを示し、その最適波形を実デバイスで探索する方法を考案した。

以上の方法は AQT に限らず量子ドット配列を利用した伝送方式一般に有用であり、従来のように精確な操作を必要としない量子リンクが実現できる可能性がある。

[1]Kandel, Y.P., Qiao, H., Fallahi, S. *et al. Nat Commun* **12**, 2156 (2021). https://doi.org/10.1038/s41467-021-22416-5

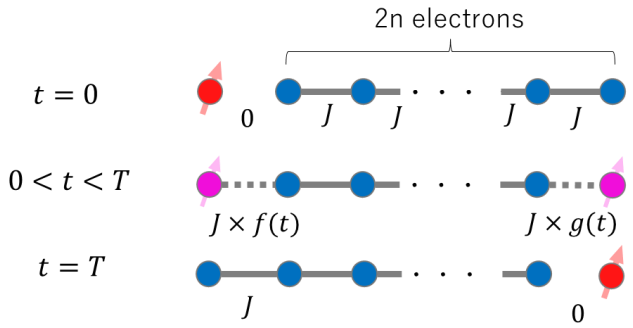

Figure 1, Adiabatic quantum state transfer (AQT).

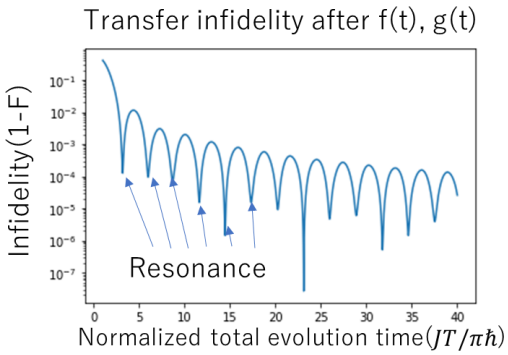

Figure 2, 5 spin AQT infidelity.