

人工分子電荷量子ビットにおけるラビ振動のコヒーレント制御 Coherent Control of Rabi Oscillations in Charge Qubit Using Artificial Molecule

大野満希 岸和輝 久保敏弘
Mitsuki Ono Kazuki Kishi Toshihiro Kubo

津山工業高等専門学校 総合理工学科 電気電子システム系
Electrical and Electronics System Program, Department of Integrated Science and Technology,
National Institute of Technology, Tsuyama College

1. 研究目的

近年、Google や IBM で開発されている超伝導量子ビットを用いた量子コンピュータに関する研究が話題となっている[1]が、超伝導量子ビットに限らず半導体量子ドットを用いた量子ビットの研究も精力的になされている。量子コンピュータを実現するにあたって、CNOT ゲートの演算が必要となるが[2]、基本量子論理ゲートの1つである 1 qubit のユニタリー変換も CNOT ゲートの演算に含まれ、いわゆるラビ振動を用いて実現することができる。本研究では、2 重量子ドットによる人工分子電荷量子ビットにおけるラビ振動の実験[3]を想定し、時間に依存するシュレーディンガー方程式を数値的に解くことで、コヒーレントな制御を議論する。

2. 研究手法

人工分子中に電子が1つだけ存在する状況を考える。量子ドット間のポテンシャル障壁として、以下のような時間に依存するモデルを想定する。

$$V(x,t) = V_0 \exp\left[-\frac{(x-x_0)^2}{a_0}\right] \cos(2\pi\omega t)$$

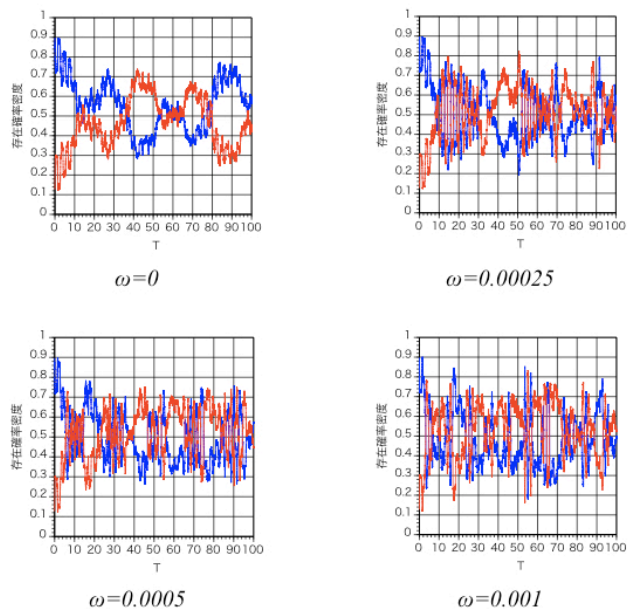
これは実験的にはマイクロ波を印加することで正弦的な時間変化をさせることが可能である。このポテンシャルの下で、時間に依存するシュレーディンガー方程式

$$i\hbar \frac{\partial \psi(x,t)}{\partial t} = \left[-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V(x,t) \right] \psi(x,t)$$

をオイラー法を用いて数値的に解く事で、波動関数の時間発展を調べることができる。初期条件として、波動関数はガウス型の波束を考える。計算して得られた波動関数の絶対値の2乗（存在確率）を計算する事で、左右の量子ドットに存在する電子数が分かるので、それらの時間変化を調べる事で、量子ドット人工分子系におけるラビ振動を議論することができる。

3. 計算結果

上記の時間に依存するポテンシャル障壁の周期（振動数 ω ）を変化させて、左右の量子ドットに含まれる電子数をプロットした結果を図に示す。青が左の量子ドットの電子数を、赤が右の量子ドットの電子数をそれぞれ表す。初期条件として、時刻 $T=0$ に電子が左の量子ドットにいてとして計算を行った。



数値計算の結果から分かるように、量子ドット間のポテンシャル障壁を時間的に変化させることで、量子ドット間で電子のやり取りを制御することができることがわかった。

4. 今後の展望

今後は、量子ドット間のポテンシャル障壁の構造や時間変化のさせ方によってどのような制御が可能であるかを議論する。また、ラビ振動の様子を量子ポイントコンタクトや量子ドットなどの電荷計を近くに置いたモデルを考え、電荷量子ビット内の電子状態を読み出す計算を行う予定である。

5. 参考文献

- [1] John M. Martinis et al., Nature **574**, 505 (2019).
- [2] D. Loss and D. P. DiVincenzo, Phys. Rev. A **57**, 120 (1998).
- [3] T. Hayashi et al., Phys. Rev. Lett. **91**, 226804 (2003).