

単電子ターンスタイルの消費エネルギー

Dispersion energy of single-electron turnstiles

立命館大学大学院理工学研究科 ○安田 実可、 今井 茂

Ritsumeikan Univ. Mika Yasuda, Shigeru Imai

E-mail : re0080pf@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

単電子デバイスの消費エネルギーは非常に小さいとされているが、詳細な研究は少ない。

共通ゲート三重ドット単電子デバイスでは、ゲート電圧 V_g をスイングさせることでターンスタイル動作とポンプ動作の両方が可能である[1,2]。ソース・ドレイン電圧 $V > 0$ で電子を移送するターンスタイル動作では、ソース・ドレイン電源が eV だけ仕事をしている。ここで、 e は素電荷量である。他方、 $V \leq 0$ で電子を移送するポンプ動作ではゲート電源が仕事をしている。2つの動作は同じ構造のデバイスでおきるので、ターンスタイル動作でもゲート電源が仕事をしていると推測される。

そこで今回は、中央ドットにだけゲート容量 C_g が接続している非共通ゲート型単電子ターンスタイルにおいて、電子移送のために消費されるエネルギー量とゲート電源とソース・ドレイン電源のそれぞれの仕事量を明らかにする。なお、トンネル接合の容量はすべて C_j とする。

2. ターンスタイル動作の消費エネルギー

3つのドットの電子状態を (n_1, n_2, n_3) と表す。 $(0,0,0)$ において V_g を上昇させると、ゲート電源から容量にエネルギーが移動するが系全体のエネルギー E の消費はない。 V_g がクーロンブロッケード条件(CB条件)の境界に到達すると、トンネリングにより電子配置は $(1,0,0)$ または $(-1,1,0)$ となる。このとき、 V_g の値がCB条件境界に非常に近ければ、トンネリングによる E の消費も非常に小さい。引き続き2回目のトンネリングが起き、電子配置は $(0,1,0)$ となるが、 V_g の値は2回目のトンネリングのCB条件境界から離れているので、 E は減少する。ここで、 $(1,0,0)$ または $(-1,1,0)$ と $(0,0,0)$ における E の値

は等しいので、ソース電極からドット2に直接電子が移動する場合の E の変化を考えればよい。

トンネル接合の両端から見た合成総容量を C_{Tj} 、ソース電極とドット2の間の合成総容量を C_{Tg} とする。また、Fig.1 に三重ドット単電子デバイス内部の電位を示す。

ソースからドット2への電子移動による E の変化は、(コンデンサ C_{Tg} を充電するエネルギー) - (ソースからドット2までの電位差を電子1個が移動するときに消費されるエネルギー) となる。式にすると、 $e^2/2C_{Tg} - \{V_2(0,0,0) + V/2\}e$ である。 $(0,1,0) \rightarrow (0,0,0)$ の場合の E の変化も同様に考えると、 $e^2/2C_{Tg} - \{V/2 - V_2(0,1,0)\}e$ となる。

以上より、1 サイクルあたりの E の変化は
$$e^2/C_{Tg} - \{V + V_2(0,0,0) - V_2(0,1,0)\}e = e^2/C_{Tg} - 2e^2/C_{Tj}$$
 であり、 V にかかわらず一定である。また、ゲート電源のエネルギーは
$$e^2/C_{Tg} - 2e^2/C_{Tj} + eV,$$
 ソース・ドレイン電源のエネルギーは $-eV$ だけ変化する。

3. まとめ

非共通ゲート型単電子ターンスタイルではゲート電源も仕事を行っており、1サイクルあたりの E の変化は V にかかわらず一定である。詳細は講演で説明する。

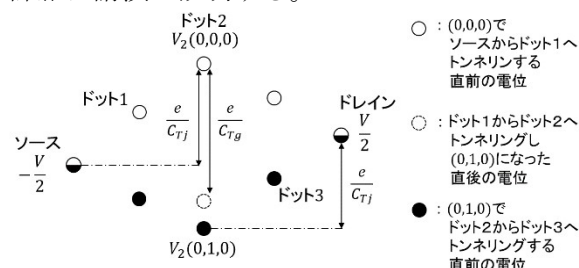


Fig.1. Potential of a triple-dot single-electron device.

参考文献

- [1] S. Imai *et al.*, JJAP, **48** 124502 (2009).
[2] S. Imai *et al.*, JJAP, **54** 104001 (2015).