ゲート容量が不均一な共通ゲート三重ドット単電子デバイスの安定領域の解析

Analysis of stability regions of single-common-gate triple-dot single-electron devices with asymmetric

gate capacitances

立命館大学大学院 理工学研究科 ⁰渡辺 雄介, 今井 茂

Ritsumeikan Univ. °Yusuke Watanabe, Shigeru Imai

E-mail: re0066se@ed.ritsumei.ac.jp

1. <u>はじめに</u>

単電子デバイスの安定領域の配置を明らかにすることはデバイスの動作を理解するうえで重要である。図1の共通ゲート直列三重ドット単電子デバイスにおいて、外側と内側のドットのゲート容量*Cgs、Cgc*が異なる構造では、*Cgs / Cgc*の値がどのような実数の場合でも、安定領域のオーバーラップが存在し、ターンスタイル動作することが確認されている[1]。そこで、今回は*Cgs / Cgc*が実数の場合の安定領域の配置の仕方を明らかにするために、安定領域の分布図を作成した。

<u>2. 結果</u>

図1に示すように直列三重ドット単電子デバイスの各接合の容量を C_j 、両側と中央のゲート容量をそれぞれ C_{gs} , C_{gc} とおく。各接合のトンネリングを T_{s1} - T_{D4} で示し、下付きの文字で電子が移動する前と後の場所を表す。

 $C_{gs} / C_{gc} = a$, $C_j = 2C_{gs} + C_{gc}$ とおく。横軸を V_g' 、縦軸を $V'_{c} = -V'_{a}/(2a+1)$ に設定して、V' = 0のときの各 $(n_{1} n_{2} n_{3})$ の 安定領域の配置がaによってどのように変化するかを図2に示 す。ここで、 $V' = (2 C_{gs} + C_{gc})V/e$, $V_g' = (2 C_{gs} + C_{gc})V_g/e$ は、 $V, V_a を規格化したものである。また、<math>(n_1 n_2 n_3)$ は3つのドット にある過剰電子数である。それぞれの安定領域は青色の四角 形で表され、四角形の右側の境界線がT_{S1}, T_{D3}、左側の境界線 が T_{1S}, T_{3D} 、上側の境界線が T_{21}, T_{23} 、下側の境界線が T_{12}, T_{32} の クーロンブロッケード条件にそれぞれ対応している。この図 ではaがある定数の時、安定領域の分布は、原点を通る直線の 上に表される。aは0~∞までの実数として変化するため、Cas とCacが整数比でない場合の安定領域の配置を一目で確認す ることができる。そして、この図から安定領域の配置には規 則性があることがわかる。過剰電子数が対称(赤字)である安 定領域と非対称(黒字)になっている安定領域の2種類があり、 過剰電子数が対称の安定領域は、Va'が2増加すると両端の電 子数が1個増え、Vcが1減少すると中央の電子数が1個増える。 さらに、過剰電子数が対称の安定領域同士は、四角形の角で 互いにオーバーラップする。

図3は、図2の分布図においてターンスタイル動作が可能な 動作点のスイングを示している。 $(m_s m_c m_s)$ と $(m_s m_c + 1 m_s)$ の間のオーバーラップで3通り、 $(m_s + 1 m_c m_s + 1)$ と $(m_s m_c + 1 m_s)$ の間のオーバーラップで1通りのターンスタ イル動作が可能である。V'>0ならば、①のVg'スイングでは、 V_g' の上昇時に $(m_s m_c m_s)$ の状態から T_{s1} が起こり、 V_g' の下降時 に $(m_s m_c + 1 m_s)$ の状態から T_{23} が起こる。②の V_g' スイングで は、 V_g' の上昇時に $(m_s m_c m_s)$ の状態から T_{s1} が起こり、 V_g' の下 降時に $(m_s m_c + 1 m_s)$ の状態から T_{3D} が起こる。③の V_g' スイン グでは、 V_g' の上昇時に $(m_s m_c m_s)$ の状態から T_{12} が起こり、 V_g' の 下降時に $(m_s m_c + 1 m_s)$ の状態から T_{3D} が起こる。④の V_g' ス イングでは、 V_g' の上昇時に $(m_s m_c + 1 m_s)$ の状態から T_{3D} が起こる。 ①の V_g' ス イングでは、 V_g' の上昇時に $(m_s m_c + 1 m_s)$ の状態から T_{3D} が起こ る。①~④で起こるトンネリングはそれぞれ同方向なトンネ リングであるため、ターンスタイル動作する。

図4(a),(b)は、接合容量Ciをそれぞれ10000倍、1/10000倍

したときの安定領域の分布図である。 C_j を10000倍にした場合、 各 $(n_1 n_2 n_3)$ の安定領域の形状は均一に近づき、安定領域がつ くるオーバーラップも均一化する。逆に、 C_j を1/10000倍にし た場合、各 $(n_1 n_2 n_3)$ の安定領域の形状の歪みが大きくなり、 $0 \le a < 1$ の範囲では三重以上のオーバーラップが確認でき る。また、過剰電子数が非対称の安定領域は見られなくなっ た。

<u>3. 参考文献</u>

[1] S. Imai et al., Jpn. J. Appl. Phys., 53 (2014) 094002.







