

4 重ドット単電子デバイスにおけるポンプ動作可能なバイアス電圧の拡張

Extension of bias voltage range for pumping in common-gate quadruple-dot single-electron devices

立命館大理工, ○門田 悠, 今井 茂

Ritsumeikan Univ. ○Yu Kadota, Shigeru Imai

E-mail: re0086hh@ed.ritsumei.ac.jp

はじめに: Fig.1 のような非対称な構造の共通ゲート四重ドット単電子デバイスにおいて、ソース、ドレイン、ゲート電圧をそれぞれ $-V/2, V/2, V_g$ とし、電子配置 (n_1, n_2, n_3, n_4) を $\mathbf{n}$ とする。低 V_g と高 V_g でそれぞれある $\mathbf{n}$ において、ポンプ動作が可能なバイアス電圧 V の最大値を臨界電圧 V_c と呼ぶ。前回、我々はある特定の $\mathbf{n}$ に対する V_c について、ゲート容量比を変化させた場合の最大値を求めた[1]。今回は、ポンプ動作可能な $\mathbf{n}$ の種類について調べ、臨界電圧の最大値を拡張する。

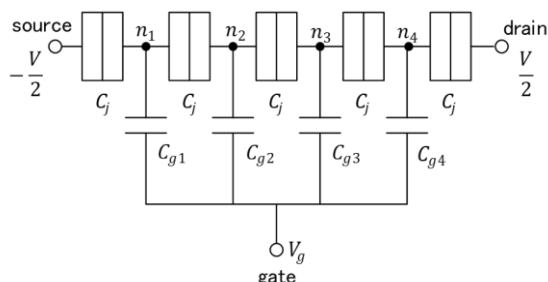


Fig.1 Equivalent circuit

結果: ゲート容量を $C_{g1} \sim C_{g4}$ とし、接合容量を均一の C_j とする。これらの容量比を $C_{g1}:C_{g2}:C_{g3}:C_{g4}:C_j = a+d:1:1:a-d:2a+2$ とする。なお、 V_g, V, V_c はそれぞれ $V'_g = C_j/e \cdot V_g$, $V' = C_j/e \cdot V$, $V'_c = C_j/e \cdot V_c$ で規格化を行う。

最初に、 $V' = 0$, $a = 1$ とし、 d と V'_g に対して各 $\mathbf{n}$ の安定領域の分布を求めた。Fig.2 のように、横軸を V'_g 、縦軸を $V'_d = -(C_{g1} - C_{g4})/e \cdot V_g = -d/2 \cdot V'_g$ とすることにより、安定領域を周期的に表現することが可能である。 d が一定のときの V'_g に対する安定領域の配置は、原点を通り d の値に対応する傾きを持つ直線を引くことで、その直線上に表せる (例えば $d = 1/2$ の場合、傾きは $-1/4$ となる)。安定領域の境界の各線分はトンネリングの種類に対応しており、安定領域がオーバーラップする場所でこれらを調べることで、対応する $\mathbf{n}$ でポンプ動作が起きるか否かを判断できる。加えて分布図には周期性があるため、1つの単位胞について調査すれば、分布図全体におけるポンプ動作の可否を判断することができる。

次に、ポンプ動作が可能なそれぞれの $\mathbf{n}$ に対して、Fig.3 のようにポンプ動作が可能な a, d, V' の範囲を求めた。Fig.3 が示す立体的領域内ではポンプ動作が可能であり、立体の表面がそれぞれの a と d に対する V'_c を表している。 V'_c が最大となる頂点は、そのときの a と d の条件も表している。様々な $\mathbf{n}$ に対して同様に調べた結果、低 V_g と高 V_g における $\mathbf{n}$ が $(10,5,5,1)$ と $(10,6,5,1)$ の場合に、 $a = 0.9621$, $d = 0.8193$ にすると、最大の V'_c である 0.2366 が得られた。以前の報告における最大値 0.2181 [2] から約 8.5% 拡張することができた。

[1] 門田他 第80回秋季応物, 2019, 20p-E317-8.

[2] S. Imai *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. 58 (2019) 034001.

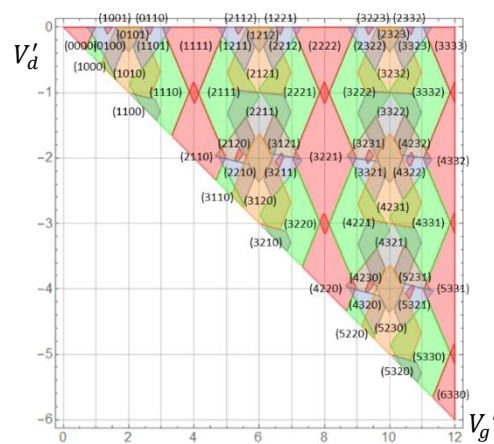


Fig.2 Distribution map of stability regions.
($a = 1, V' = 0$)

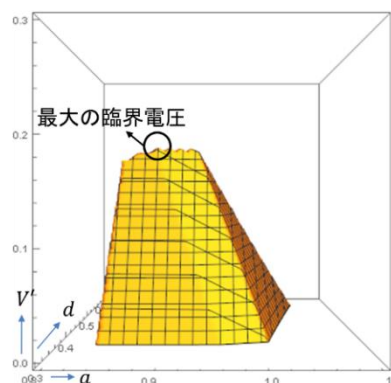


Fig.3 a - d - V' area where pumping is possible between electron states $(2, 1, 1, 1)$ and $(2, 2, 1, 1)$.