

物理形成量子ドットにおける RF 反射測定に適した単段整合回路の設計・評価

Design and evaluation of single-stage matching circuits suitable for RF reflectometry of a physically defined quantum dot

東工大 °松田 凌、神岡 純、溝口 来成、米田 淳、小寺 哲夫

Tokyo Tech, °Ryo Matsuda, Jun Kamioka, Raisei Mizokuchi, Jun Yoneda, Tetsuo Kodera

E-mail: matsuda.r.ae@m.titech.ac.jp

量子ドットを用いて定義されるスピン量子ビットは、従来の CMOS 技術との親和性から集積化に有利な物理系である。スピン量子ビットの読み出し技術として、電荷計を用いた RF 反射測定がある。この技術は、量子ビット用量子ドット近傍に配置した電荷計量子ドットに整合回路を接続する。そして、整合回路を通して RF 信号を入射し反射信号を測定することで、量子ビット用量子ドット中の電荷スピン状態の変化を読み出すことができる[1]。しかし、読み出しのさらなる高速化・高感度化のためには、整合回路の広帯域にわたるインピーダンス整合が望ましい。

そこで本研究では、電荷計量子ドットの極低温下での S パラメータ測定により、RC 並列回路として等価回路パラメータを導出した。これを基にして、 L または C で表される回路パラメータ 2 つから成る 3 種類の単段整合回路 (Fig.1)を用いた場合の、最適な回路パラメータを計算した。さらに、3 つの単段整合回路の帯域をそれぞれ評価することで、周波数や電荷計量子ドットの等価回路パラメータに応じた最適な回路の選択方法を考案した。一例として Fig.1(c)の整合回路を用いた場合の、RF 反射測定のシミュレーション結果を示す(Fig.2)。インピーダンス整合時に振幅反射率が-10dB 以下で定義される帯域幅が 1 MHz であり、かつ R_{CS} の変化に対する振幅反射率の変化を確認した。以上より本研究の単段整合回路設計方法・評価方法は、電荷計量子ドットに対して高速かつ高感度な読み出しが実現しうることを示した[2]。

本研究はJST Moonshot R&D Grant Number JPMJMS2065, MEXT Quantum Leap Flagship Program (MEXT QLEAP) Grant No. JPMXS0118069228, JST さきがけ(JPMJPR21BA), 科研費(JP20H00237, JP20K15114, JP21K14485)の支援を受けて遂行された。

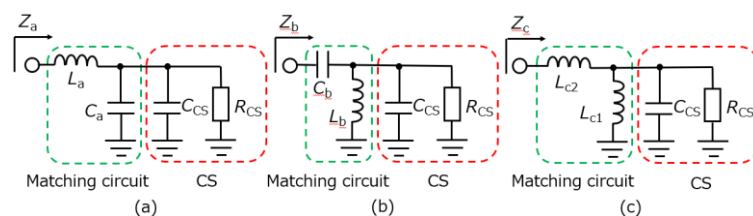


Fig.1 Schematics of a matching circuit and a QD charge sensor. QD charge sensors are represented as resistance (R_{CS}) and capacitance (C_{CS}) in parallel. (a) Matching circuit composed of a shunt capacitor (C_a) and a series inductor (L_a). (b) Matching circuit composed of a shunt inductor (L_b) and a series capacitor (C_b). (c) Matching circuit composed of a shunt inductor (L_{c1}) and a series inductor (L_{c2}).

[1] D.J. Reilly, et al., *Appl. Phys. Lett.* 91, 162101 (2007).

[2] J. Kamioka et al., submitted

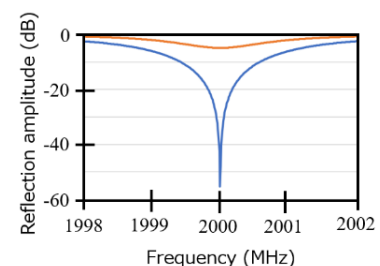


Fig.2 Simulation result of the designed QD charge sensor with matching circuit (c). The blue solid line shows the reflection amplitude when $R_{CS} = 1.4 \text{ M}\Omega$ and $C_{CS} = 65 \text{ fF}$ and the orange dashed line shows when $R_{CS} = 5.1 \text{ M}\Omega$ and $C_{CS} = 65 \text{ fF}$.