

電気二重層ゲートによる InAs 量子ドットの電子状態の変調

Liquid Gated Quantum Dot Electric-Double-Layer Transistors

東大ナノ量子機構・東大生産研¹、東大院工²、理研 CERG³、CREST-JST⁴

○柴田憲治¹、Hongtao Yuan²、岩佐義宏^{2,3}、平川一彦^{1,4}

INQIE and IIS, Univ. of Tokyo¹, Dept. Appl. Phys., Univ. of Tokyo², CERG Riken³, CREST-JST⁴

○K. Shibata¹, H. T. Yuan², Y. Iwasa^{2,3}, and K. Hirakawa^{1,4}

E-mail: kshibata@iis.u-tokyo.ac.jp

単一 InAs 量子ドットトランジスタにおいては、高周波電界、光子等を用いた、単一の電荷・スピン状態の動的制御の実現が期待される[1]。我々はこれまで、極微細ギャップ電極を用いて、GaAs 基板表面に成長した QD に直接電氣的なコンタクトを取ることによって、輸送特性の観点から単一自己組織化 InAs QD の電子状態を明らかにしてきた[2]。しかし、これまではボトムアップ的に形成された極微細 InAs 量子ドットに対して、量子ドットへの光学的なアクセスを保ちつつ、その電子状態を大きくゲート変調することは極めて困難であり、素子の制御性は非常に限られていた。

この状態を打破するため、図 1 に示すように、光学的に透明な電解液に電圧を印加することで固体 / 電界液界面に形成される電気二重層で実現する極めて高い電界を、ゲート電界として用いる量子ドット電気二重層トランジスタを作製した。その結果、図 2(a)-2(d)に示すように、電解液に印加する電圧 V_{TG} を変化させることで、素子のクーロン安定化ダイアグラムが大きく変化した。詳細な解析から、素子の軌道量子化エネルギー、帯電エネルギー、伝導度、電子の g 因子などのパラメーターを、この手法を用いることで従来になく大きくゲート変調できることがわかった。この成果は、世界で初めての量子ドットに対する電気二重層ゲートの適用であるだけでなく、広くボトムアップ量子ナノ構造の電子状態を光学的なアクセスを保ちつつ大きく変調する手法を示した点でも意義がある。

[1] K. Shibata et al., Phys. Rev. Lett. 109, 077401 (2012),

and references therein.

[2] K. Shibata et al., Appl. Phys. Lett. 94, 162107 (2009).

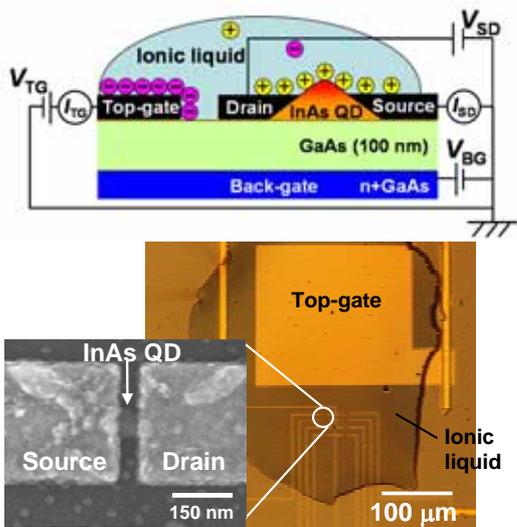


図 1: イオン液体を用いた電気二重層ゲートトランジスタ構造の模式図(上)と顕微鏡像(下)

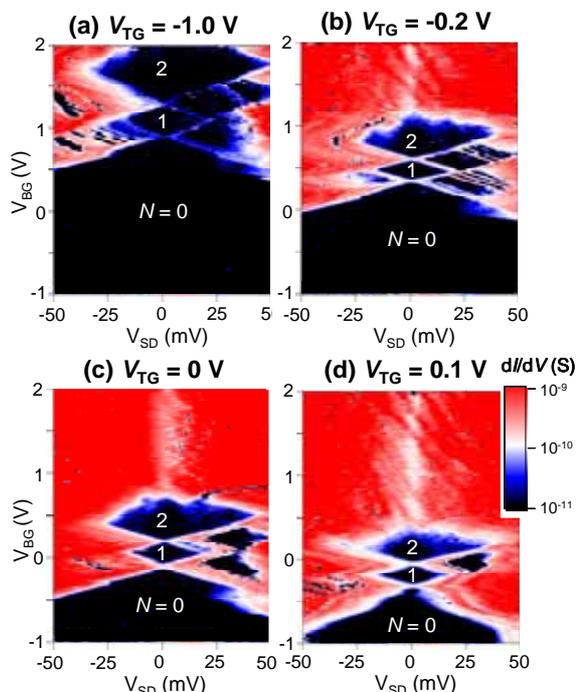


図 2:(a)-(d)電気二重層トップゲートに様々な電圧を印加したときのバックゲート掃引による 4.2 K でのクーロン安定化ダイアグラム。