ナノギャップ電極と結合した PbS 量子ドットにおける電気伝導特性

Electron transport through colloidal PbS quantum dots coupled to nanogap metal electrodes

東北工大 [1], 東北大通研 [2]　　○柴田憲治 [1], 齋藤光貴 [1], 大塚朋廣 [2]

Tohoku Inst. Tech.[1] and RIEC, Tohoku University[2]　　°K. Shibata[1] K. Saito[1], and T. Otsuka[2]

E-mail: kshibata@tohtech.ac.jp

コロイド量子ドット（QD）は直径数ナノメートルの非常に小さな半導体結晶であり、近年特に太陽電池への応用が期待されている。中でも硫化鉛（PbS） QD は赤外光領域で幅広く吸収波長を制御できる有望な光電変換材料であり、デバイス応用に向けて QD 間のキャリア伝導の理解が重要な課題となっている。PbS QD の電気伝導特性に関しては、これまで多数の QD の 2 次元配列に関する電気伝導特性の評価が行われている[1]一方で、単一 QD や少数 QD に対する電気伝導特性の評価は行われていない。本研究では単一 QD レベルでの PbS QD のキャリア伝導の知見を得ると同時に、単電子素子への応用も模索することを目的として研究を行った。ナノギャップ金属電極によって単一 PbS QD に電気的にアクセスし、QD を介したトンネル伝導を観測するとともに、これをゲート変調することで PbS QD の電子状態に関する情報を得る実験を行った。

ナノギャップ金属電極はフィードバック通電断線[2]によって形成し、その上から市販のオレイン酸キャップ PbS QD（直径～5.5 nm）溶液を滴下することでナノギャップ電極近傍に QD を分散させた。図 1 にナノギャップ電極付近の電子顕微鏡（SEM）写真を示す。ギャップ幅が 5-10 nm 程度のナノギャップ電極が形成され、その周囲に多数の PbS QD が分布している様子が観測された。図 2 に素子の概念図と T = 2.5 K で観測されたソースドレイン間の電流－電圧（I_{SD} - V_{SD}）特性を示す。I_{SD} は V_{SD} に対して階段状に変化し、更にゲート電圧 V_G を変化させることで変調される様子が観測された。作製した素子の 10%弱において、図 2 のような I_{SD} - V_{SD} 特性が観測された。これらの結果は素子が PbS QD をクーロン島とする単一電子トランジスタとして動作していることを強く示唆するものである。

[1] S. Z. Bisri et al., Adv. Mater. 26, 5639 (2014).

[2] A. Umeno K. Hirakawa, APL 94, 162103 (2009).

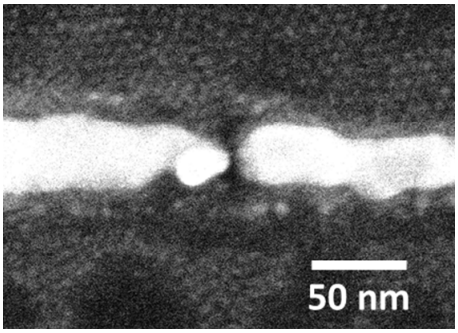

図 1: コロイド PbS QD を活性層とするトランジスタ素子の SEM 写真

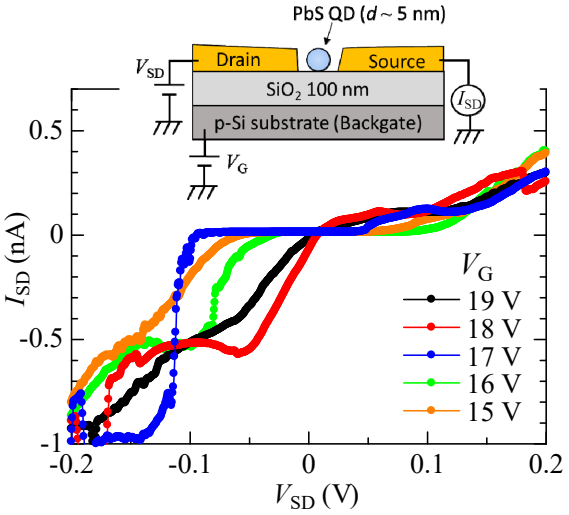

図 2: PbS QD 素子において様々なゲート電圧において観測された電流－電圧特性。挿入図は素子の概念図。