19p-PB1-2

ナノギャップ電極・単一量子ドット接合系におけるゲート変調効果

Electric field tuning of electronic states in single InAs quantum dots coupled to nanogap metal electrodes

東北工大 [1]，東大生産研・東大ナノ量子機構 [2]　○柴田 憲治 [1,2]，平川 一彦 [2]

Tohoku Inst. of Tech.[1], IIS and INQIE, Univ. of Tokyo[2]　°K. Shibata[1,2] and K. Hirakawa[2]

E-mail: kshibata@tohtech.ac.jp

「人工原子」と呼ばれる自己形成量子ドット（QD）を用いた単一電子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などが期待される[1]。我々はこれまで、ナノギャップ電極を用いて、GaAs 基板表面に成長した InAs QD に直接電気的なコンタクトを取り（図 1）、輸送特性の観点から単一自己形成 InAs QD の電子状態を明らかにしてきた[2]。しかし、二次元電子ガスを微細ゲートにより閉じ込めて形成した従来の QD トランジスタとは異なり、自己形成 QD を活性層とするトランジスタでは、ソース・ドレイン電極として用いるナノギャップ金属電極によるゲート電界の遮蔽の効果が非常に大きく、電界が QD に届きにくいため、その特性を大きく電界制御することが困難であり、素子の制御性は限られていた。よって、いかに効率良くゲート電界によって QD の電子状態の変調を行うかが、自己形成 QD トランジスタの応用に向けた鍵となる[3]。

本研究では、ナノギャップ金属電極が QD の電子状態の電界変調に与える影響を調べるため、ナノギャップ電極に対する QD の位置によってゲート変調の度合いがどのように変わるかを詳しく調べた。図 2 に 2 つの異なる QD 素子の電子顕微鏡像を示す。図 2(a)はナノギャップ電極の中央に QD が位置するが、図 2(b)では、ナノギャップ電極の端に QD が位置する。それぞれの試料で、バックゲートに電圧を印加した際の電界効果の強さを比較した。その結果、図 2(a)の試料に対して、図 2(b)の試料では 3-4 倍の電界効果が得られることが分かった。これは、バックゲートからの電気力線が基板表面のナノギャップ金属電極に向かって集中するために、金属電極の端で強い電界が実現すると考えることで説明できる。以上の結果は、最適な金属電極形状と QD 位置をとることで、QD 素子のゲート電界による制御性を大きく向上できることを意味している。

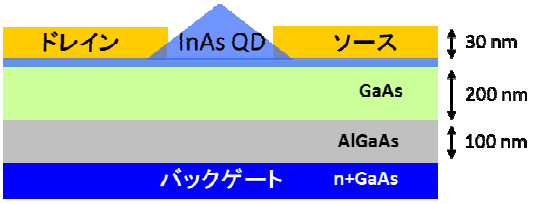

図 1：QD トランジスタ素子の断面模式図

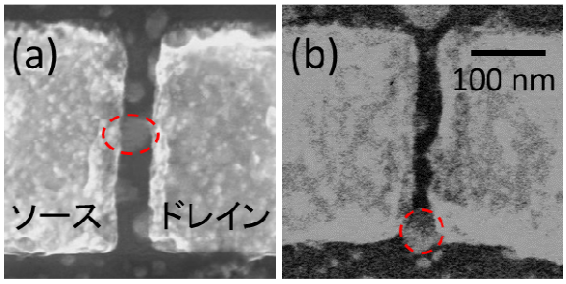

図 2：QD トランジスタ素子の電子顕微鏡像。伝導に寄与する QD 位置を赤い点線で示す。

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

[2] M. Jung et al., Appl. Phys. Lett. 86, 033106 (2005).

[3] K. Shibata et al., Nature Communications 4, 2664 (2013).

© 2014 年　応用物理学会