

グラフェン狭窄素子の輸送特性のメカニズム

Mechanism of Transport Characteristics in Graphene Constriction Devices

北陸先端大¹, 日立ケンブリッジ研究所² ○岩崎 拓哉¹, Zhongwang Wang¹,

Manoharan Muruganathan¹, 水田 博^{1,2}

JAIST¹, Hitachi Cambridge Lab.², °Takuya Iwasaki¹, Zhongwang Wang¹,

Manoharan Muruganathan¹, Hiroshi Mizuta^{1,2}

E-mail: t.iwasaki@jaist.ac.jp

[背景] グラフェン量子ドット素子は低消費電力素子やスピン量子ビット等の応用が期待されている [1]。しかしナノスケールグラフェン素子において、不純物等に起因するポテンシャル不均一性により電荷キャリアがランダムに局在化してしまい、キャリア輸送特性は疑似的な多重量子ドットに支配され単一ドットの定義は困難となっている [2]。以前、我々はグラフェン狭窄構造素子におけるドット形成の寸法依存性について報告した [3]。本研究では、単一ドット形成に対応する寸法の狭窄素子を作製・測定し、第一原理計算を用いた解析により輸送特性のメカニズムを調べた。

[実験] 素子作製に関しては、機械的剥離及び転写法により SiO₂/n-Si 基板上に作製した六方晶窒化ホウ素(h-BN)/単層グラフェン/h-BN のファンデルワールス積層ヘテロ構造、または化学気相蒸着によるグラフェンをベースに用いた。Cr/Au コンタクト電極を電子線蒸着及びリフトオフで作製し、水素シルセスキオキサン(HSQ)をマスクに用いてエッチングし、狭窄構造(長さ 80 nm、幅 30 nm)を作製した(Fig. 1)。真空中で 2 端子 DC 測定、ゲート変調にはバックゲートを用いた。測定前には真空アニールにより電荷不純物を可能な限り除去した。第一原理計算に関しては、密度汎関数法に基づくタイトバインディング計算(Density functional tight-binding)を利用した。

[結果・考察] 電気伝導度のゲート電圧依存性を Fig. 2 に示す。温度 300 K において、電荷中性点(CNP)は ~ -0.9 V に位置しており電荷不純物が少ないことが分かる。4.5 K において、広いゲート電圧範囲にクーロン振動特性を観測した。4.5 K における微分コンダクタンスのバイアス電圧-ゲート電圧依存性を Fig. 3 に示す。CNP 付近のゲート電圧範囲において、閉じたクーロンダイヤモンド特性を観測した。ピーク間隔・帯電エネルギーより、有効なドットの領域は幾何学的な狭窄の寸法よりも小さく、ゲート-ドット間の静電容量結合がリード-ドット間に比べて非常に小さいことが分かった。第一原理計算でグラフェンナノリボン(GNR)構造と GNR+ソース・ドレイン構造(狭窄デバイス構造)を解析した結果、GNR+ソース・ドレイン構造の場合、狭窄内の局所状態密度が離散化し透過係数スペクトルに共鳴ピークが現れた。これは GNR のみの場合では現れず、チャンネル方向の閉じ込め効果があることを示唆している。当日は実験・計算結果の詳細を議論する。

[謝辞] 本研究は JSPS 科研費 25220904、16K18090、16 K13650、16J07438 の助成を受け行われた。

[参考文献] [1] B. Trauzettel, et al., Nat. Phys. 3, 192 (2007). [2] D. Bischoff, et al., Appl. Phys. Rev. 2, 031301 (2015). [3] Z. Wang, et al., 第 64 回応用物理学会 春季学術講演会, 15a-B6-2 (2017).

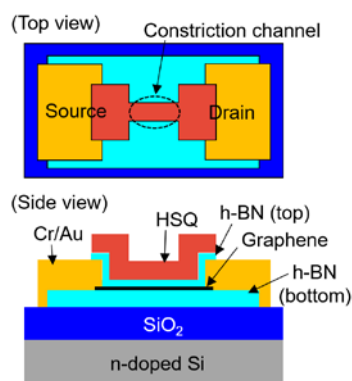


Fig. 1: Schematic illustration of the h-BN/graphene/h-BN constriction device.

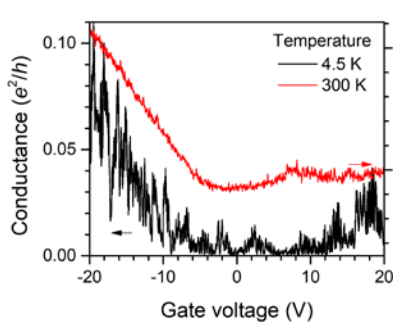


Fig. 2: Conductance of the device as a function of gate voltage at 4.5 K and 300 K.

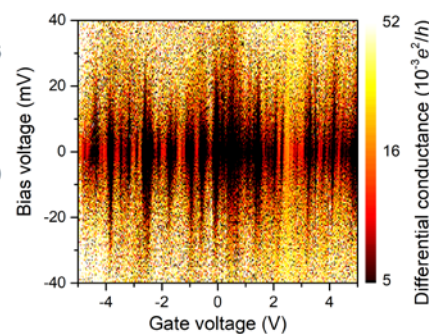


Fig. 3: Differential conductance of the device as a function of bias and gate voltage at 4.5 K.