19p-A7-4

ナノデバイス構造での不純物相関の電子輸送特性への影響

Effects of Impurity Correlation on Electron Transport under Nano-Device Structures

筑波大電物 ^OMuhammad Restu Zulhidza、植田暁子、本多周太、吉田勝尚、佐野伸行

Univ. Tsukuba, °Muhammad Restu Zulhidza, Akiko Ueda, Syuta Honda, Katsuhisa Yoshida,

and Nobuyuki Sano

E-mail: mrestu@hermes.esys.tsukuba.ac.jp

【はじめに】全領域に同じ極性かつ濃度の不純物をドープしたマルチゲートの Junctionless FET (JL-FET)が、その 構造の単純さから注目を集めている。JL-FET では電子はチャネル断面の中心部分を伝導するため、界面ラフネス 散乱の輸送特性への影響は小さく不純物散乱が支配的となる。しかも、デバイスサイズの微細化に伴い、チャネ ル領域内に含まれる不純物数は数個のオーダーとなる。その結果、コンダクタンスなどの輸送特性は、チャネル 内に離散分布する不純物の位置に強く依存する[1]。しかしながら、この位置依存性には二通りの物理機構が内在 していることはあまりよく認識されていない。つまり、(1) 不純物散乱ポテンシャルの位置依存性、(2)電子波にお ける不純物間の位相干渉、である。そこで、本報告では後者について解析を行った。具体的には、ランダムに離 散分布した不純物間の位相干渉の輸送特性への影響を非平衡グリーン関数を用いて考察した。

【計算手法】ナノワイヤ JL-FET 構造のもと、不純物濃度に応じた数の不純物をチャネル領域にランダムに離散分 布させ、有効質量近似の非平衡グリーン関数から線形応答領域で不純物散乱に伴うコンダクタンスおよび抵抗を 求めた。ワイヤの断面積は 3.5 x 3.5 nm²、基盤のドナー不純物濃度は 10¹⁹ cm⁻³とした。位相干渉の位置相関を考察 するために、遮蔽長をパラメータとした湯川型の遮蔽ポテンシャルを不純物散乱ポテンシャルと仮定し、フォノ ン散乱などの他の散乱機構は無視した。

【計算結果と考察】基盤不純物濃度が同じになるようにチャネル長を変えながら、複数の不純物をチャネル領域 に様々にランダム分布させたときの透過係数を求めた。アンサンブル平均した透過係数を電子の入射エネルギー の関数としてプロットした結果を図1に示す。モード(サブバンド)数に応じたコンダクタンスの量子化が、い ずれの場合においても明確に見てとれる。一方、量子ステップ近傍では、不純物数の増加とともにコンダクタン スが大きな変調を受けることがわかる。これらの結果は、アンサンブル数の増加とともに電子波の位相干渉が急 速に乱雑化される一方で、ステップ近傍の運動エネルギーの小さい(電子波長の長い)領域では位相干渉の影響 が強く残ることを示している。不純物数の増加とともに後者の影響が顕著になることから、不純物の位置相関が 長チャネルデバイスでも顕在化する可能性が示唆される。ランダム分布した離散不純物散乱による抵抗成分(非 平衡グリーン関数から求めた透過係数からコンタクト抵抗成分を差し引いた抵抗)を図2にチャネル領域に含ま れる不純物数の関数として示す。不純物の位置や数によって抵抗は大きくばらつくが、アンサンブル平均した抵 抗値はほぼ直線にのることがわかる。つまり、ナノスケール領域にあるデバイス構造においても、アンサンブル 平均した抵抗は古典的なオームの法則に従っていることを示す。

 M.P. Persson, et al., Phys. Rev. B 82, 115318 (2010); A. Martinez, et al., IEEE Trans. ED 58, p.2209 (2011); Y-M. Niquet, et al., Appl. Phys. Lett., 100, 153119 (2012).



Fig. 1. Ensemble averaged transmission coefficients of electrons in nanowires with impurities (dashed lines) and without impurity (solid line) as a function of energy.



Fig. 2. Resistances due to various impurity distributions versus the number of impurity in the channel region. The average is marked with solid symbols with dotted line.