

ナノデバイス構造における不純物相関の電子輸送特性への影響

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

筑波大電物 ^oMuhammad Restu Zulhidza, 金野有治, 植田暁子, 本多周太, 吉田勝尚, 佐野伸行

Univ. Tsukuba, ^oMuhammad Restu Zulhidza, Y. Kaneno, A. Ueda, S. Honda, K. Yoshida, and N. Sano

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

【はじめに】半導体デバイスの微細化に伴って、適切なトランジスタ特性を得るためににはチャネル領域の不純物濃度を上げざるを得ない。一方、チャネル領域がナノスケールにあることから、チャネル領域に含まれる不純物数は（高濃度にドープされていても）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、不純物の局在する位置や数によって大きくばらつく可能性が懸念されている[1]。この特性ばらつきが不純物に伴った電子波の位相干渉によることは明白であるが、その物理機構について踏み込んだ考察は未だ無い[2]。そこで本報告では、ナノスケールデバイス構造のもとで、単純化した散乱ポテンシャルを用いることで、チャネル領域に局在した不純物による位相干渉の輸送特性への影響をグリーン関数を用いて統計的に解析した。

【計算手法】Fig. 1 に示すように、断面積が $3.5 \times 3.5 \text{ nm}^2$ のナノワイヤ構造のもとで tight-binding 法で遅延グリーン関数を recursive に求めた。チャネル領域の不純物濃度は常に 10^{19} cm^{-3} とすることで、離散不純物の数（1 個或いは 2 個）に応じてチャネル長を 8 nm 或いは 16 nm に固定した。ランダム分布させた 200 パターンの不純物分布に対してコンダクタンスを求め、不純物が局在していないときの抵抗を差し引くことで、離散不純物に伴った抵抗成分を求めた。不純物散乱ポテンシャルは単純な湯川型遮蔽ポテンシャル（遮蔽長 1.3 nm）を仮定し、ワイヤ界面の影響を組み込むために鏡像電荷も考慮した。

【計算結果と考察】チャネル領域に 2 個の不純物をランダム分布させたときの（不純物に伴った）抵抗成分を、不純物間距離の軸方向成分 δz の関数としてプロットしたものを Fig. 2 に示す。抵抗値は 200 パターンの不純物分布に対して大きくばらつくが、大きく分けて 3 つの領域から成ることが見て取れる。不純物間距離が大きい領域 (Zone I) では、抵抗値のばらつきは小さく、破線で示すアンサンブル平均 ($4.52 \times 10^4 \Omega$) に近い値を取る。このときの移動度は $111 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ と見積もられることから、古典的な移動度 ($\sim 100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$) に漸近する領域と言える。一方、不純物間距離が遮蔽長の 2~7 倍程度の領域 (Zone II) では、不純物間での位相相関により電子波が強く干渉しあい、抵抗値が急峻に増加する。不純物がさらに接近している領域 (Zone III) では、抵抗値が逆に大幅に小さくなる傾向が見られる。これは、接近している不純物の散乱ポテンシャルがお互い重なることに依るものと考えられる。

[1] 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).

[2] M. R. Zulhidza, *et al.*, H26 年秋応物.

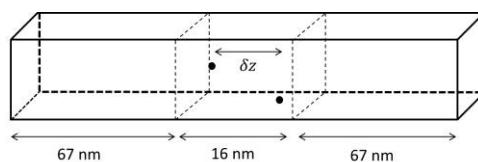


Fig. 1: Device structure employed in this study. The doping density in the substrate is assumed to be 10^{19} cm^{-3} and the channel length is fixed with 8 or 16 nm, depending on the number of impurities doped in the channel region.

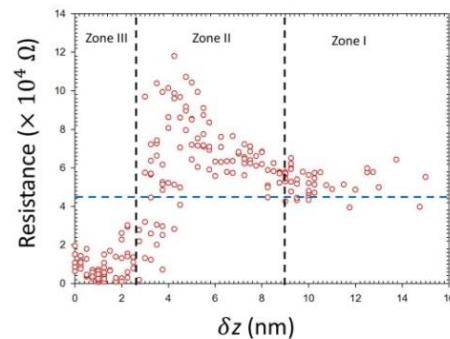


Fig. 2: Impurity-limited resistance as a function of the distance along the axis direction between the two impurities. The ensemble average value of resistance ($4.52 \times 10^4 \Omega$) is represented by dashed line.