ナノワイヤ構造におけるイオン化不純物散乱：結合定数と位相干渉

Impurity Scattering under Nanowire Structures: Coupling and Phase Interference

筑波大数物 °金野有治, 植田暁子, 佐野伸行

Univ. of Tsukuba, °Yuji Kaneno, Akiko Ueda, Nobuyuki Sano

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

【はじめに】半導体デバイスの微細化はナノスケールにまで達しており、輸送特性を支配するチャネル領域に含まれる不純物数は数個のオーダーとなっている。その結果、将来デバイスとして有望なナノワイヤ構造では、不純物の種類や存在する位置、個数の輸送特性に対する依存性がさらに顕在化することが危惧される[1]。そこで本報告では、電子・不純物相互作用における結合定数の輸送特性への影響を不純物の局在性を考慮して検討する。そのうえで、複数の不純物間での電子の位相干渉の室温での輸送特性への影響についても考察する。

【計算手法】Fig.1 に示すような断面積が3.5mm × 3.5nmのナノワイヤ構造のもとで、有効質量近似により遅延グリーン関数を求め、ランダウア公式から不純物起因の抵抗を求めた。不純物濃度は$10^{19}\mathrm{cm}^{-3}$とし、不純物の散乱ポテンシャルは鏡像電荷を考慮した遮蔽長 1.3nmの遮蔽ポテンシャルを用いた。正負のイオン化不純物を考え、電子・不純物相互作用の結合定数を人為的に変化させて抵抗を求めた。

【計算結果】アクセプタあるいはドナー不純物 1 個をランダム分布させたときの 2 種類の結合定数に対する抵抗を、断面中心からの不純物位置の関数としてプロットしたものを Fig.2 に示す。相互作用の結合定数を通常の大きさと 1/30 の大きさにした場合を示す。すでに報告されている通り[1]、散乱ポテンシャルおよび波動関数の振幅の大きさによって断面中心から離れるにつれて抵抗が小さくなるのが見て取れる。また、通常の結合定数では 2 種類の不純物の抵抗値がおよそ一桁の違いがあるのに対し、結合定数を通常の 1/30 に変えたときの抵抗値はほぼ一致している。これは結合定数を小さくすることでバルクのときと同様にボルン近似が成立し、不純物の電荷の符号に依存しなくなるためである。即ち、閉じ込め効果のあるナノ構造では相互作用が実効的に強くなることを示唆している。これが、散乱理論とボルツマン輸送方程式から求めた抵抗値で大きな差が出る要因と考えられる。複数不純物を配置した場合の結合定数依存性については当日発表する。

[1] M. P. Persson, *et al*., Phys. Rev. B 82, 115318 (2010); Y.-M. Niquet, H. Mera, C. Delerue, Appl.Phys.Lett. 100, 153119 (2012).

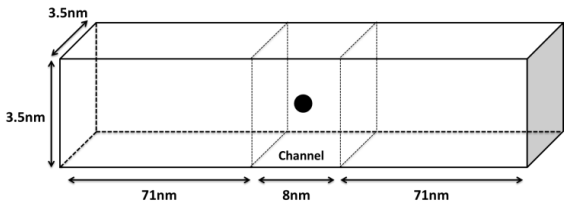

Fig. 1: Device structure employed in this study. The doping density in the substrate is assumed to be 10^{19} cm^{-3}.

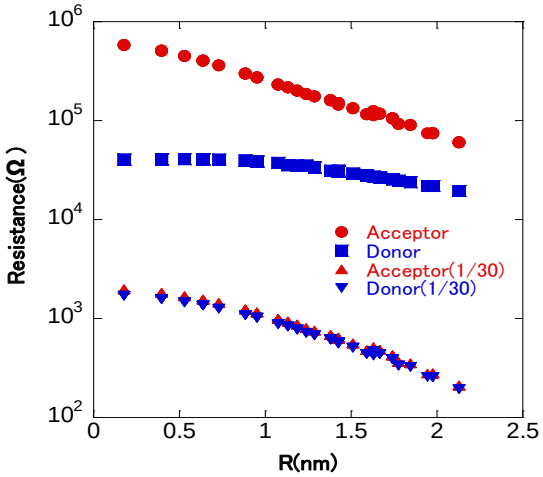

Fig. 2: Impurity-limited resistances obtained from two different coupling constants versus radial position of impurity.

© 2015年 応用物理学会