

Własności transportowe niejednorodnych nanodrutów półprzewodnikowych

Maciej Wołoszyn

Katedra Informatyki Stosowanej i Fizyki Komputerowej

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH

Nanodrutu są strukturami o średnicach rzędu kilku-kilkudziesięciu nanometrów, przy długościach większych o rzędy wielkości, zwykle mikrometrowych. Ich szczególne cechy powodują, że stanowią one rozwiązanie, które może posłużyć jako podstawowy element układów elektronicznych, optoelektronicznych czy spintronicznych, w tym do zastosowań także w tak obecnie intensywnie rozwijanych dziedzinach jak fotowoltaika czy magazynowanie energii elektrycznej.

Istotne jest w związku z tym dokładne poznanie ich własności oraz mechanizmów odpowiadających za transport ładunku i/lub spinu, oraz wypracowanie metod pozwalających na przewidywanie i optymalizację parametrów nanodrutów. W związku z rozmiarami geometrycznymi nanodrutów i naturą zachodzących w nich procesów transportowych, tworzone modele i stosowane metody obliczeniowe muszą uwzględniać zjawiska kwantowe zachodzące w badanych układach, z tego powodu nazywanych czasem także drutami kwantowymi. Dodatkowo na poziomie badań podstawowych daje to możliwość eksplorowania ciekawych zjawisk kwantowych zachodzących się w nanodrutach. Tego typu zjawiska są szczególnie ciekawe (i wielu przypadkach wciąż nie do końca przebadane) w drutach które nie mają jednorodnej struktury ze względu np. na zmienną geometrię albo zastosowanie różnych materiałów na różnych odcinkach wzdłuż osi nanodrutu (może to dawać efekt barier potencjału) lub też wzdłuż promienia nanodrutu (co z kolei prowadzi do wytworzenia nanodrutu o strukturze rdzeniowo-powłokowej, dwu- lub więcej warstwowej). Do przeprowadzenia obliczeń, których wyniki zostaną zaprezentowane, wybrane zostały nanodrutu półprzewodnikowe, które nie są jednak jedyną możliwością: poza nimi spore zainteresowanie dotyczy także m.in. metalicznych (np. złotych czy platynowych), nadprzewodzących (np. YBCO) czy molekularnych (na bazie związków organicznych, np. DNA, jak również nieorganicznych).

Przedstawione zostaną m.in. wyniki obliczeń, które pozwoliły na wykazanie możliwości zmian znaku magnetooporu w drutach półprzewodnikowych wytworzonych z antymonku indu (InSb). Zjawisko to ma miejsce w nanodrutach umieszczonych w zewnętrznym polu magnetycznym skierowanym wzdłuż osi nanodrutu i zachodzi na skutek występowania przewężenia geometrycznego [1]. Zagadnienie anomalii magnetooporu przeanalizowane zostało również w kontekście związku z rezonansami Starka w nanodrutach z arsenku indu (InAs) [2]. Może to mieć miejsce nie tylko dla nanodrutu o średnicy zmieniającej się na skutek zmiennej geometrii układu, ale także w wyniku efektywnego ograniczenia przekroju dostępnego dla transportu nośników ładunku poprzez zastosowanie bramki (lub bramek) otaczających drut kwantowy. Innego typu przebadaną niejednorodnością jest sytuacja, gdy wzdłuż nanodrutów umieszczone są warstwy z innego materiału, np. bariery z InP znajdujące się w nanodrucie wytworzonym z InAs. Oprócz dobrze znanego zjawiska tunelowania rezonansowego przez powstającą w ten sposób wzdłuż osi nanodrutu studnię kwantową, pojawiają się dodatkowo efekty, które mogą prowadzić do oscylacji prądowych w funkcji przykładanego napięcia bramki (nakładających się na charakterystykę prądową typową dla urządzeń tunelowo-rezonansowych) [3]. Rozważane niejednorodności mogą mieć także dużo bardziej skomplikowaną strukturę. Jako przykład przedstawione zostaną wyniki symulacji dla układów, w których bariery rozmieszczone są w sposób charakterystyczny dla układów nieuporządkowanych oraz kwaziperiodycznych, co pozwala na porównanie z wynikami dostępnymi dla układów warstwowych [4-7].

[1] M.Wołoszyn, B.J.Spisak, P.Wójcik, J.Adamowski, Physica E 83 (2016) 12

[2] M.Wołoszyn, B.J.Spisak, J.Adamowski, P.Wójcik, J. Phys.: Condens. Matter 26 (2014) 325301

[3] M.Wołoszyn, J.Adamowski, P.Wójcik and B.J.Spisak, J. Appl. Phys. 114 (2013) 164301

[4] B.J. Spisak, M.Wołoszyn, D.Szydłowski, J. Comput. Electron. 14 (2015) 916

[5] D.Szydłowski, M.Wołoszyn, B.J.Spisak, Semicond. Sci. Technol. 28 (2013) 105022

[6] M.Wołoszyn, B.J.Spisak, Eur. Phys. J. B 85 (2012) 10

[7] B.J.Spisak, M.Wołoszyn, Phys. Rev. B 80 (2009) 035127