

-----日本物理学会九州支部例会 特別講演概要-----

講師： 高柳邦夫・東京工業大学教授

題目：「量子ナノワイヤ最前線」

日時： 2008年12月6日(土)13:30-14:40

場所： 福岡工業大学(福岡市東区)

量子ナノワイヤ最前線

東京工業大学 大学院理工学研究科 物性物理学専攻
高柳邦夫

原子鎖や量子ワイヤあるいは量子コンタクトの電気伝導は物理学や応用工学の基本問題であり、最近では電子やスピンあるいはフォノンの量子化伝導の問題として研究が発展している。原子鎖やナノワイヤのコンダクタンス量子化と特殊構造について、我々の研究を中心に最近の展開を紹介する。

コンダクタンス量子は e^2/h であり、スピン縮退した系では $2e^2/h$ であることは、Landauer 公式や 2次元電子ガス系のコンダクタンス量子化、あるいは量子ホール効果などから良く知られている。しかし、原子鎖やナノワイヤの量子的伝導は 3次元系であり、2次元とは異なる特徴をもつ。

金属のナノコンタクトの電気伝導は、メカニカルブレイクジャンクション(MBJ)やSTM(走査型トンネル顕微鏡)技法をつかって、電極間に張られたナノワイヤを引き伸ばしながら計測されている。コンダクタンス値は、コンタクトが切断する直前にできる原子鎖まで、様々な太さに対して得られる。こうした方法だけでは、ナノワイヤや原子鎖の構造が分からず、ナノワイヤに閉じ込められる電子の固有状態、すなわち、伝導チャンネルが分からない。我々は、超高真空電子顕微鏡とSTM法を組みあわせて、構造とコンダクタンスの1対1対応を明らかにする方法を工夫した。

その結果、固体とは異なる構造的特殊性が見出された。(1) 表面効果(少数粒子)によって、CNT(カーボンナノチューブと同様なカイラリティをもつラセン多層チューブが形成される。一方、原子鎖のレベルでは(2) グラフィンのように2次元に原子鎖が並んだシート構造が現れる。(3) ナノワイヤ長さが短くラセン周期に満たない場合、固体と同様な原子鎖の配列をもった断面構造が現れる。そうした、構造の特徴に対応して、コンダクタンスの量子化が起きていることが分かった。

コンダクタンス量子化を纏めると、(1) 金属ナノワイヤ部分は完全導体としてふるまう。(2) ナノワイヤ断面にコンファインされる離散した量子状態数が断面の原子構造を決めていて、量子状態が1つ増えるごとにナノワイヤ構造も変化する。(3) 計測されるコンダクタンスは量子状態数とは異なり、完全透過は起きていない。(4) 透過率の減少は、ナノワイヤ内での電子波の多重反射のためであ

る。(5) コンダクタンスを決めるのは、最細線部の断面内量子状態数である。

量子伝導で、特筆すべきは、金属ナノワイヤが完全導体として振舞うことが間違いなく示されたことだと考える。金属ナノワイヤが数十ナノメートルになっても、また、金属が半導体になっても、伝導に与かるキャリアの完全導体としての振る舞いは変わらない。完全導体ではフェルミ速度でのキャリア移動が可能であるので、この特徴を生かして、キャリアの高速移動、高速振動を必要とする機能素子への応用が期待される。

今後の課題は、(a) 磁場依存性、(b) スピン系、(c)半導体・有機系ナノワイヤ、(c)基板効果、(d) プロトン(水素)伝導 という課題であろう。それらは、デバイス応用への“さきがけ”であり、是非とも研究の推進を推奨したい。本研究に携わった、東京工業大学の 大島義文氏、久留井慶彦君、谷城康真氏、また日本電子(株)近藤行人氏に謝意を表します。本研究は、文部科学省の「量子コンタクト」ならびに科学技術振興機構 CRSET「0.5A 分解能物質解析顕微鏡基盤技術の開発」の支援によるものです。

2008.11.27 筆