



Title	共鳴トンネル素子と平坦な界面
Author(s)	岩崎, 裕
Citation	大阪大学低温センターだより. 2009, 145, p. 1-1
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/12746
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

共鳴トンネル素子と平坦な界面

岩崎 裕

物性 3 極限として低温・強磁場・高圧が挙げられる。物性を素子の特性まで広げると、第 4 の極限としてメソスコピックなスケールに渡った規則的な構造が挙げられるであろう。ここでは、量子素子である共鳴トンネル素子が、低温でかつ表面・界面の超平坦性の極限で、著しい特性をもたらすであろうことに思いを巡らせてみよう。

薄い絶縁層で隔てられた電極間に電位差をつけると、電子はトンネル効果で電極間を移動する。絶縁層が単一であれば、トンネル確率は 1 以下である。しかし、絶縁層に導電層が挟まれ、ポテンシャル障壁の中にポテンシャルの凹みがあり電子を束縛する準位があれば、共鳴現象が生じる。電子のエネルギーが特別の値を取る時に、1 の確率で電子が障壁を透過する。

トンネル確率は障壁の厚さの指数関数に逆比例して減少するので、厚くなると限りなく 0 に近くなるが、共鳴の起こるエネルギーでは 1 になる。5 nm 程度のシリコン酸化膜にシリコン薄膜が挟まっている系では、理論的には、共鳴と非共鳴で 10 桁程度のトンネル確率の差が生じる。共鳴というのは、このように異常な現象である。数値計算では、計算精度を上げてもなかなかこれを再現できない。量子力学的に考えても、共鳴は粒子描像とは全く相容れない現象（1 個の電子が系のポテンシャル全体を知っているように振る舞う）で興味深い。

実験では、共鳴はどのように観測されるのであろうか。上記の構造を持った共鳴トンネルダイオードに対し、電流 - 電圧特性に鋭いピークを期待するが、常温ではなかなかピークを観測できない。極低温にすれば、ピークはやや鋭くなるが、とても理論的な予測に及ばない。

鋭い共鳴は、電子波の干渉により起こるので、界面の凹凸によって電子波が散乱されると、効果が減殺される。まずは、電子のフェルミ波長に比べて十分に平坦な面が、やはりフェルミ波長に比べて充分長いメソスコピックなスケールに渡って広がっていなければならないと考えられる。しかし、それだけで充分だろうか。フォトリソグラフィを用いた波長 ~ 1500 nm の光のとじ込めで、~ 10 nm のキャビティの形状の変化でも、とじ込め寿命に大きな影響が出ることが示されている。異常に鋭い共鳴現象・特性は、原子レベルの平坦な界面を要するであろう。

このような平坦な面を作るにはどのようにすればいいのか。いわゆるトップダウンの人工的な研削では実現できない。熱平衡状態では、エントロピーを稼ぐために、若干のランダムネスが導入される。非平衡で、例えば、原子ステップのみに粒子が付着して成長するステップフロー成長では、条件によってステップが比較的等間隔に並んだ、所望の平坦な表面・界面が作成できるかもしれない。

平坦な界面の形成は、極低温を作ると同じように地味な仕事であるが、そこには、江崎博士の言うブレークスルー、現在の技術の延長ではない飛躍：10 桁以上の共鳴現象が待っていると思われる。