

# 東京工業大学藤澤研究室

当研究室は東京工業大学理工学研究科物性物理学専攻、及び極低温物性研究センターに所属しています。NTT物性科学基礎研究所の量子固体物性研究グループと連携しつつ、藤澤利正教授の下、総勢9名で研究を行っています。主な研究対象は半導体二次元電子系などの低次元系における量子輸送現象です。

現代の高度な情報処理技術を支えるエレクトロニクスは、トランジスタなどの半導体デバイスを用いて電子の電荷を精密に制御することで成り立っています。このような従来の半導体エレクトロニクスにコヒーレンスやスピン自由度といった量子論的概念を取り入れることで、革新的な量子情報技術の実現を目指す研究が世界的な潮流になっています。当研究室では、電子を静電的に微小領域に閉じ込めて作製される量子ドットを用いて電荷量子ビットを実現し、そのコヒーレント制御技術、あるいはそれを用いた量子計測技術の開発に取り組んできました。

電荷量子ビットは2つの量子ドットが静電的に結合した二重量子ドット(DQD)において、電子がどちらの量子ドットに存在するかをそれぞれ $|0\rangle$ 、 $|1\rangle$ 状態とみなすことで実現されます。各量子ドットのエネルギー準位やドット間結合強度などのパラメータは静電的に制御することができるため、電荷量子ビットは極めて制御性のよい量子ビットであるといえます。これまでに我々は、4つの量子ドット間の静電結合(図1(b))を精密に制御することで、二量子ビット系の量子状態(図1(c))を自在に制御し、CNOTやSWAPなどの論理演算が実現できることを示してきました。

現在当研究室では、この電荷量子ビットにおけ

るデコヒーレンスの起源の解明に取り組んでいます。我々はデコヒーレンスの主たる原因として、フォノン、特に結晶表面を伝搬する表面弾性波とDQD内の電子との電子-格子相互作用に着目しています。これまでに、ピエゾ効果を利用して楕円ゲート電極(図2(a))から表面弾性波を発生させ、DQD中の電子のフォノン吸収、放出を観測することに成功しています(図2(b))。このように、表面弾性波に着目すると固体中の電子-格子相互作用を人為的に制御することができます。今後はフォノン放出に起因する電荷量子ビットのデコヒーレンスの抑制を目指すとともに、より積極的に電子-格子相互作用を制御して、共振器量子音響力学と呼ぶべき新しい研究分野の開拓に挑戦したいと考えています。

また我々は、DQDを流れる電子を1つずつカウントすることにより、電子の完全計数統計を実現しました。この手法は電流を担う個々の電子のダイナミクスの実時間観測を可能にするもので、究極の電流測定の一つであるといえます。現在はこの技術をさらに発展させ、スピン流を担う単スピンの実時間観測の実現を目指して研究を行っています。このスピン流計測技術は、半導体デバイス中のスピン分極率測定や高効率スピンフィルターの実現に貢献するものであると考えています。

他にも、量子ホール端状態を伝搬する電子波束のダイナミクスの研究など、固体素子における量子輸送現象の研究を幅広く行っており、新しい量子状態制御技術の創出に向けて精力的に研究に取り組んでいます。

[東京工業大学 橋坂 昌幸]

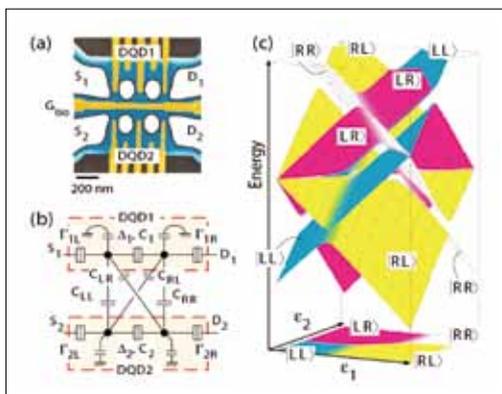


図1 (a) 電荷量子ビットによって実現された二量子ビット系  
(b) 二量子ビットを構成する4つの量子ドット間の静電結合  
(c) 二量子ビットの量子状態を表すエネルギーダイアグラム

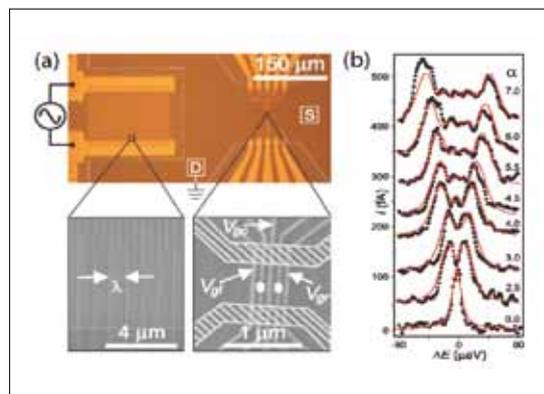


図2 (a) 表面弾性波発生器(左下)、二重量子ドット(右下)の電子顕微鏡写真、及び試料全体の光学顕微鏡写真(上)  
(b) 表面弾性波の吸収・放出にともなう二重量子ドットの共鳴ピークの分裂