

研究室訪問記 2013年度 奨励研究助成 エネルギー

訪問日 2014年7月22日

理化学研究所 創発物性科学研究センター 量子機能システム研究グループ

大塚 朋廣 特別研究員

研究題名：超高速量子ドットプローブを用いた固体微細デバイス中の局所電子状態のダイナミック計測

理化学研究所・大塚朋廣先生を訪ねて

和光の量子機能システム研究グループの大塚先生を訪ね、真新しい会議室に通されました。この研究グループは昨年度に4人でスタート、現在は10人になったとのこと。この研究グループに加わる前に、先生はコペンハーゲン大学のニールス・ボーア研究所で5ヶ月間、固体中量子状態の高速読み出しに関する研究に従事、今回の助成研究の柱になっています。またグループとしては現在、小さな半導体デバイスを作り、1ヶずつの電子を使って面白い計算をするという量子コンピューティングに向けた研究を行っています。

近年、情報処理デバイスの低消費電力化や多機能化に向けて、スピントロニクスデバイスや量子情報処理デバイスなどの新しいデバイスが提案されています。これらのデバイスでは、スピン効果や量子効果を示す半導体微細材料、またその内部の局所電子状態が本質的に重要な役割を果たすとのこと。そこで助成研究では、局所電子状態を調べるための量子ドット（以下QDと表示）を用いた新しい局所プローブと、その状態の高速時間変化を明らかにするための超高速読み出し手法を組み合わせ、新しい超高速QDプローブを実現しようとしています。

QDは電子を小さい所に閉じ込めるデバイスで、その内部に操作性の良い量子準位が形成されます。測定対象からこの準位への電子のトンネルを調べることで、対象内部の電子状態を調べることができます。また、測定対象に単一のトンネル障壁で結合した横結合型QDは、外界との間に電子の出入りが生じないことから、測定に際しての擾乱が極端に小さい優れたプローブになります。このQDプローブへの電子のトンネルはごく近距離でしか起こらないため、狙った場所に予め作製することにより、そこでの局所状態を調べることができます。また将来的には、このプローブを走査型プローブ顕微鏡の針先に付けられれば場所を選ばず計測できる可能性があるとのこと。

QDプローブの詳細は下図に示します。QD内準位のエネルギーを測定対象に対して変化させ、その際の電子のトンネルによる生じるQD内電荷数の変化を、近傍に設置した量子ポイントコンタクト（QPC）の伝導度の変化として調べます。研究では量子細線（QW）に電圧バイアスを掛けたときのQDに最も近いQWの一点の電子状態を調べています。QD中の準位がスピン状態に依存するので、QW内に生じたスピン偏極を検出できるとのことです。

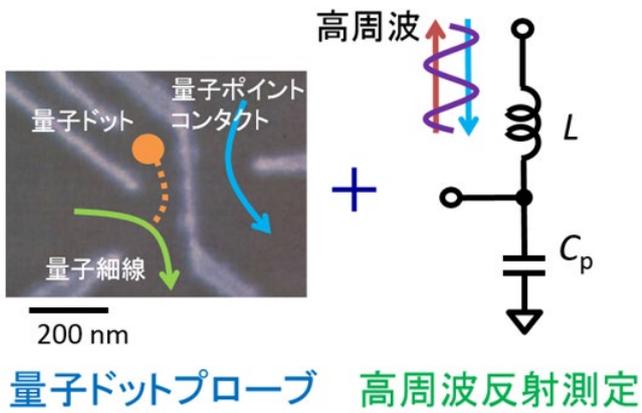
また、量子ドット中の単一電荷を超高速（ $\mu$ 秒レベル）で読み出す技術は、前述のニールス・ボーア研究所での研究を生かして、量子ポイントコンタクトを用いた電荷検出器を高周波共振器回路に組み込み高周波の反射測定を行うという手法です。この手法は世界でも少数のグループでしか実現していないとのこと。

現在、半導体デバイスにGaAsを用いていますが、将来的には他の材料も検討しているとのこと。寿命の短いスピンの状態を局所的にとらえるなど、スピントロニクスデバイス実現に向けた物理現象の解明に期待したいと思います。（2014年7月22日訪問、技術参与・飯塚）



希釈冷凍機の前で;  
中央が先生

### 超高速量子ドットプローブ



### 超高速量子ドットプローブの特性

- 優れた局所性
- 高エネルギー分解能
- ダイナミクスの測定

➡ 固体微細構造の新測定手法