

## 東京大学

# 人工原子(量子ドット)の制御を実現。高速・高分解能・高波形品質の任意波形ゼネレータAWG710B型が研究を加速。



### ■ 概要

課題	人工分子・原子となる素子を創り出し、その物性を探るにあたり、ゲートをコントロールするための信号として、立ち上がりが速く波形品質に優れた信号を必要とした。
ソリューション	任意波形ゼネレータに高速立ち上がりのオプションを採用することで、高速・高品質の波形を自在に作り出せるようにした。AWG710B型を2台使用中。
利点	ゲートの駆動信号に対する問題が解決されたことで、本来の作業に集中することができ、今後の研究が加速される。

### ■ 背景 ■

#### 微小な量子空間を探る

近年、量子情報や量子計算と呼ばれる学問分野の研究が進んでいます。これらはインフォメーションとエレクトロニクスの融合であり、量子力学の理論を現実に応用する道を開くものといわれています。また実際に、究極のセキュリティとされる量子暗号やコンピュータの最終形と言われる量子コンピュータにも結びつく最先端の研究として、世界的な規模で研究が活発化しています。量子情報や量子計算は量子力学の概念と手法を忠実にトレースします。例えば、量子力学では、“ゼロも1も取り得るが、ゼロも1も同時に存在する”という「重ね合わせ」の状態が存在します。また、量子暗号は暗号を開くまではそうした状態にあり、盗み見た瞬間に値が確定すると同時に見る前の状態が失われ、再現することは

できません。

では、そういった量子力学的状態は、現実としてどのようにしたら作り出せるのか。この命題に対して東京大学の樽茶研究室では、最小の単位を作り出すことを足がかりにしました。現実には、ただ一つの電子だけが存在する状況を作り出し、その電子のスピンを観測することを目指したのです。ちなみに、樽茶研究室は固体電子系の問題をマイクロな量子力学的立場から探究し、応用として量子情報処理というまったく新しい科学技術を開拓することを目指しています。この研究は独立行政法人JST(Japan Science and Technology Agency: 科学技術振興機構)の国際共同研究の一環でもあります。

### ■ 課題 ■

#### 究極の人工原子、量子ドットの実現

ただ一つの電子だけが存在する状況を作り出すためには、電子1個を閉じ込める入れ物を作る必要があります。さらに閉じこめられた1個の電子だけを制御する方法を考え出さなければなりません。これを半導体の微細加工とナノテクノロジーによって実現したのが、人工原子あるいは量子ドットと呼ばれる素子です。今回お話を伺った樽茶教授は、1個の電子を厳密に制御できる量子ドットを世界で初めて作り出すことに成功した研究者としても知られています。

そして樽茶教授の研究は、複数の量子ビットが、これも量子力学で言う「絡み合い」という状態を保った関係を作り出すことへと進んでいます。絡み合いを実現することで、情報の超高速演算が実現できるからです。それは人工原子から人工分子への進化でもあります。ただし、情報を演算するためには、絡み合いの状態をオンまたはオフできる制御機能を持たせなければなりません。さらに、制御は極めて短い時間の中で行われる必要があります。量子力学的な状態は、ナ



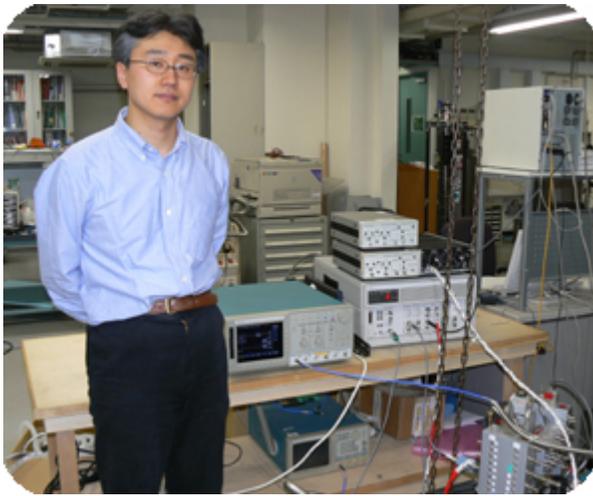
東京大学教授  
大学院工学研究科 物理学専攻  
工学部物理学科  
工学博士 樽茶 清悟 様

ノ秒～ミリ秒程度のごく短い時間しか安定して存在できないからです。

## ■ 機種選択とその理由 ■

### 高速で波形品質に優れた信号源が必要

量子ドットは具体的には半導体素子であり、チャンネル内の電子が1個だけという特殊な FET(電界効果トランジスタ)だと考えることができます。したがって、絡み合いの制御はいかにして FET のゲート電極を超高速信号でドライブするかという電気的な問題に突き当たります。具体的にはナノ秒を下回る高速な制御が必要です。さらに、制御パルスの波形や配列(シーケンス)も、できるだけ正確に設定する必要があります。



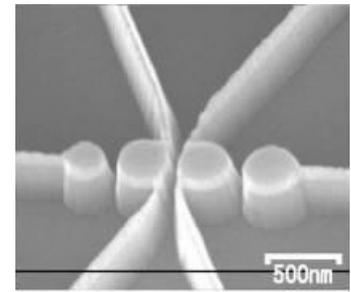
AWG710Bで実験中の東京大学 大学院 工学系研究科 物理学工学専攻  
樽茶研究室 講師 大岩 顕 様

こうした要件を満たす信号源は世界的に見ても機種が限られます。樽茶教授もこれまで他社製品を使用されていましたが、研究を進めるにあたり、テクトロニクス社の任意波形ゼネレータ AWG710B 型を選択されました。テクトロニクスでは、超高速の要求に応えるため、立ち上がり時間 175ps 以下が保証される広帯域出力オプションを装備してご要望に応えました。

AWG710B 型を選択された理由について樽茶教授にお聞きしたところ「世界中で同様の研究を進める研究者達が複数の機種を比較してみた結果、テクトロニクス社の信号発生器の波形品質が高く、機能・性能的にも要件を満たすことが分かった」とのこと。

もちろん樽茶教授ご自身も、各社の信号発生器を実際に使って評価検討されました。樽茶教授は「立ち上がり時間だけを考えるならば他にも該当機種はありましたが、私たちは特にオーバershootやリングングといった

波形の品質にこだわりました。その結果 AWG710B 型は、我々が求める波形品質を満たしました」と証言されています。さらに、波形の設定など操作的な操作面の容易さ



量子ドット  
樽茶研究室ホームページより

や、複数台で運転する際の同期の確かさなどもご評価いただきました。二段階の階段状パルスや台形状など様々な波形を作り出す必要があるからです。なお、同研究室では現在 AWG710B 型を2台お使いいただいています。

## ■ 成果と展望 ■

### 加速する研究、将来は多チャンネルも

実際の実験は極低温下で行う必要があります。AWG710 型の出力端から試料までの長さは 2m 近くになります。波形の品質を保ったまま、この 2m の距離を伝送することだけでも、その困難さは想像に難くありません。しかしながら、AWG710B 型の導入によって、樽茶教授の研究にも弾みがつきました。AWG710 型は導入されて間もないことから、今のところ基本的なデータの採取が行われていますが、既に「従来のゼネレータと比べてデータがきれいに採れる」という感想をいただいています。

樽茶教授は現在、素子を4個程度並べたものまで視野に入れていますが。量子力学的な手法の実現には他にも超伝導を利用するものや光を利用するものなどが提案されており、それぞれに研究が進んでいます。こうした中において、樽茶教授の人工原子による方法は、系がシンプルである、半導体なので多ビット化への可能性に優れる、スピンを利用するため量子力学的な安定度が高いなどのメリットがあります。また、最も実現化に近い応用とされる光暗号の中継装置などにも使いやすいと予想されます。日々進化する量子情報や量子計算の世界において、テクトロニクス社の任意波形ゼネレータがその一端を担っているのはうれしい限りです。