

# 水柿研究室

電気通信大学 電気通信学部

電子工学科 マイクロエレクトロニクス講座

西8号館609室

Home Page: <http://fluxon.ee.uec.ac.jp/>

構成員: 水柿義直 (助教授)



# 量子1個を操る電子素子

## 研究の内容:

トンネリング現象、クーロン・ブロッケイド、超伝導現象、ジョセフソン効果などを利用して、「電子」や「磁束量子」を1個ずつ操作できる電子素子を実現します。

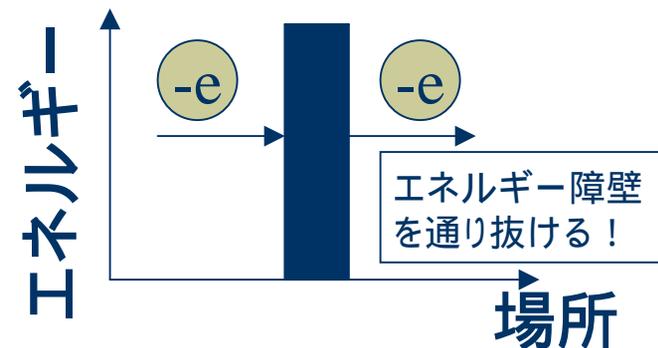
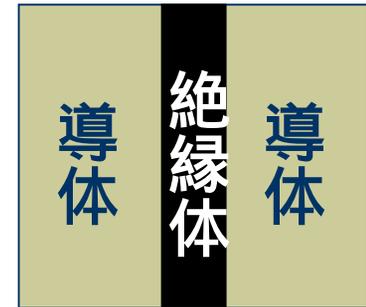
このパネルでは「単一電子素子の研究」についてご紹介します。

# トンネリング現象

電子には「粒子」的な性質と「波動」的な性質があります。

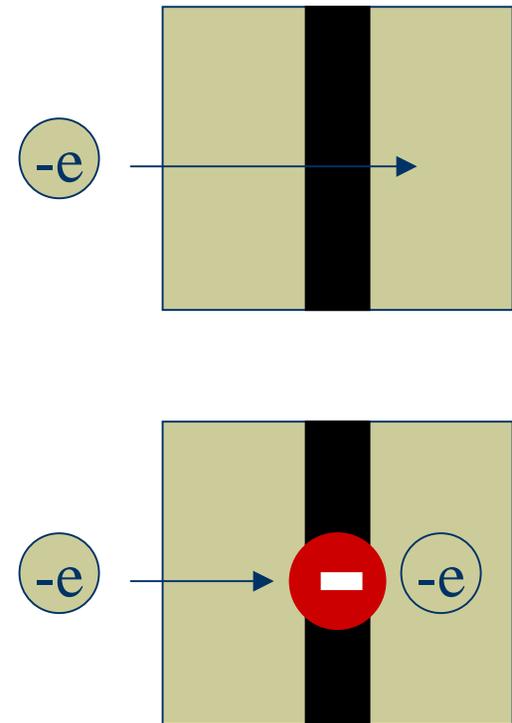
波動的な性質により、導体間に薄い絶縁体が挟まれていても、ある確率で電子は絶縁体を通り抜けることができます。これを「トンネリング現象」と呼びます。

これは量子力学的な効果で、エレクトロニクスにも応用されています(例:フラッシュメモリ)。



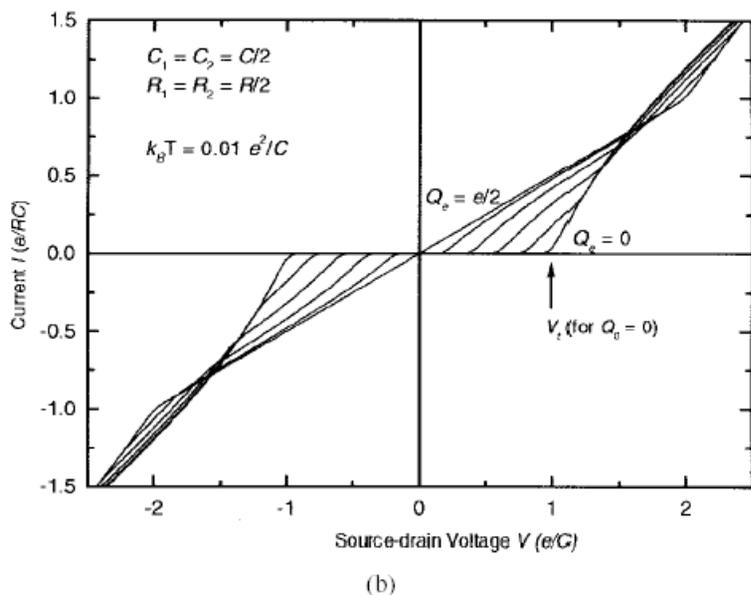
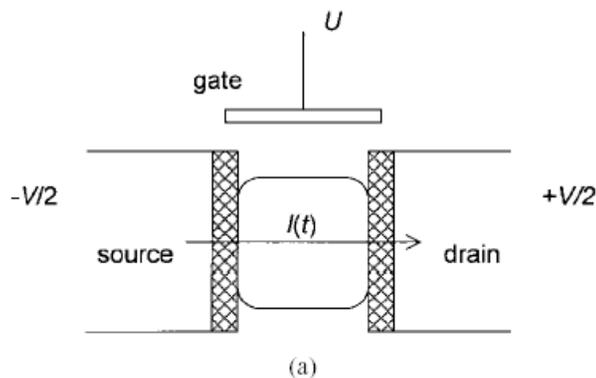
# クーロン・ブロッケイド

トンネル接合は、キャパシタンス  $C$  を持っています。電子1個の帯電エネルギー  $e^2/2C$  が背景熱雑音  $k_B T$  ( $k_B$ :ボルツマン定数、 $T$ :絶対温度) よりも大きくなるまでトンネル接合を小さくすると、トンネリングした電子がクーロン反発力で次の電子のトンネリングを禁止します。この現象をクーロン・ブロッケイドと呼び、単一電子素子動作の基本原理となります。

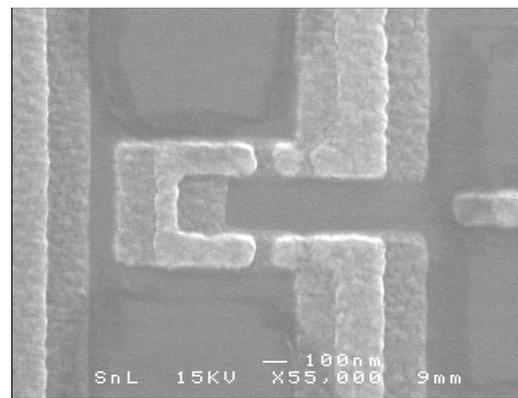


最初にトンネリングした電子が次の電子のトンネリングを妨げる！

# 単一電子トランジスタ



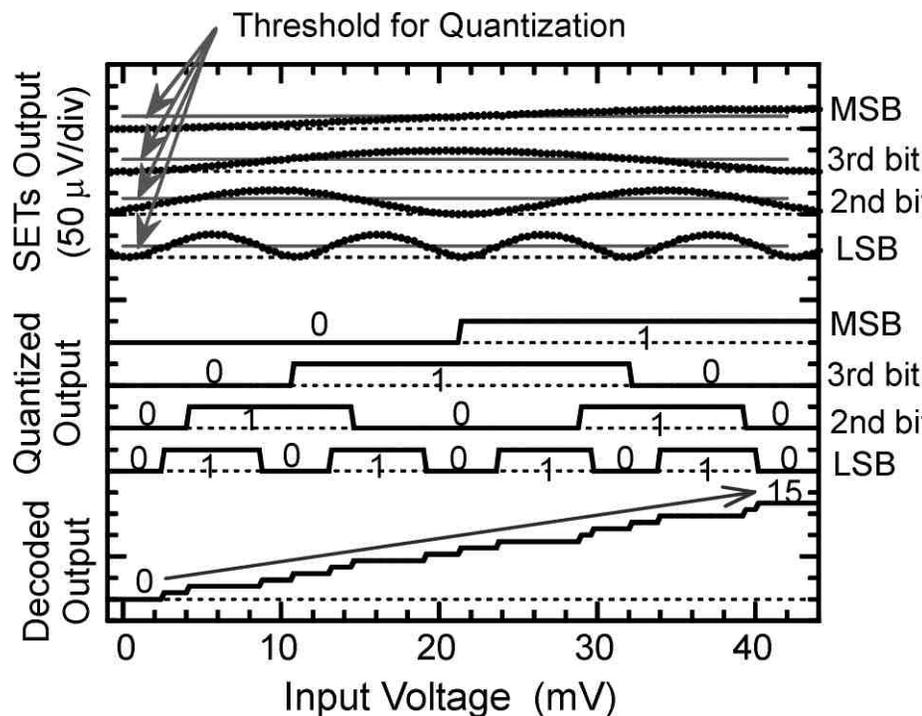
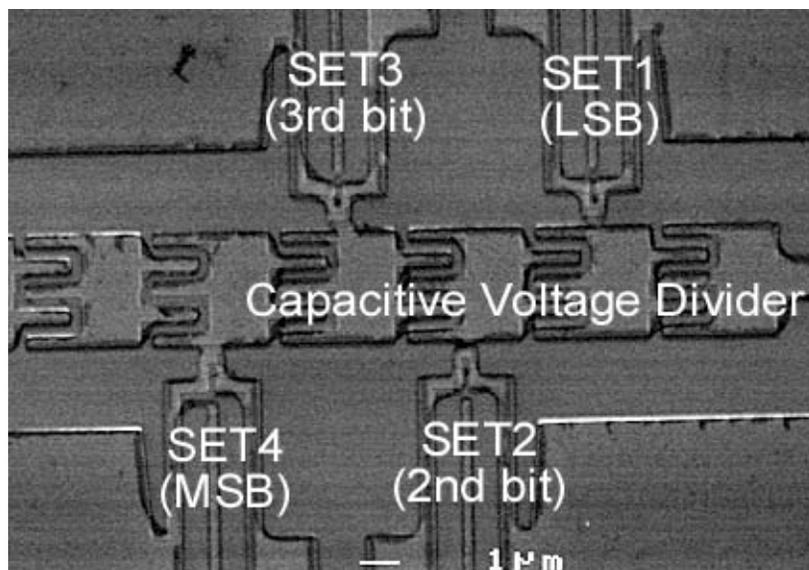
微小トンネル接合を2個直列に接続すると、単一電子トランジスタとなります。電子電荷 ( $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ) の百万分の一の電荷を検出するほどの高感度なセンサです。



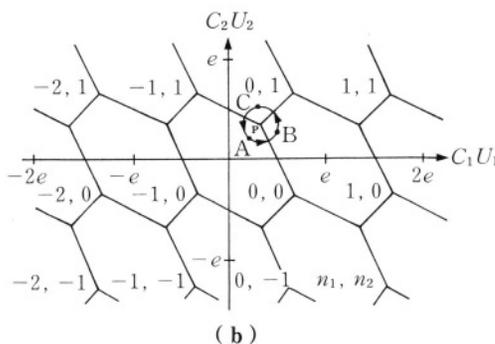
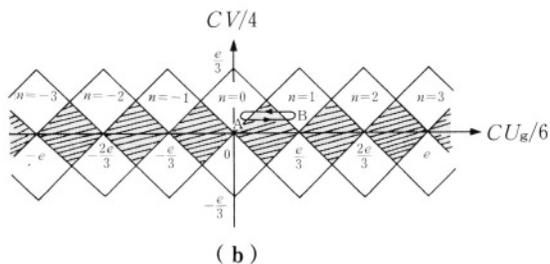
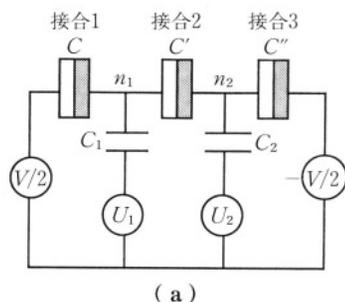
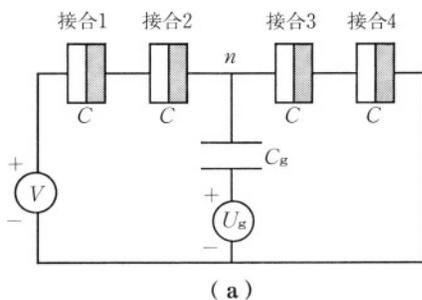
アルミの斜め蒸着法で作製された単一電子トランジスタ

# 単一電子トランジスタを利用したアナログ・デジタル変換器

単一電子トランジスタの特徴を生かすことで、高感度なアナログ・デジタル変換器を少ない素子数で実現できます。



# 単一電子ターンスタイルと 単一電子ポンプ



「単一電子ターンスタイル」と「単一電子ポンプ」では、外部信号に同期して電子を1個ずつ伝搬させることができます。

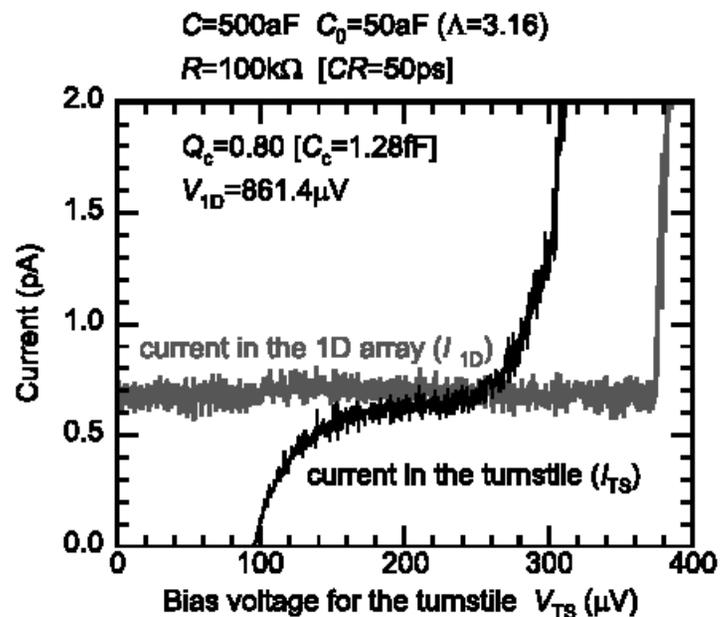
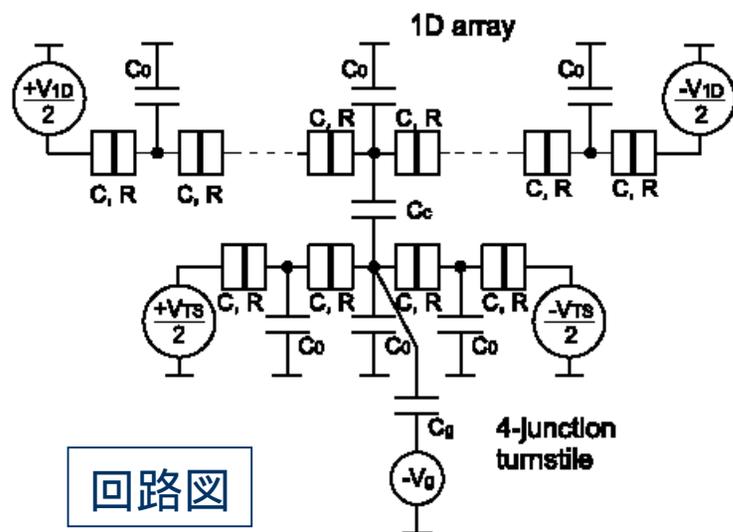
単一電子ターンスタイル

単一電子ポンプ



ターンスタイル

# 単一電子 電流ミラー回路

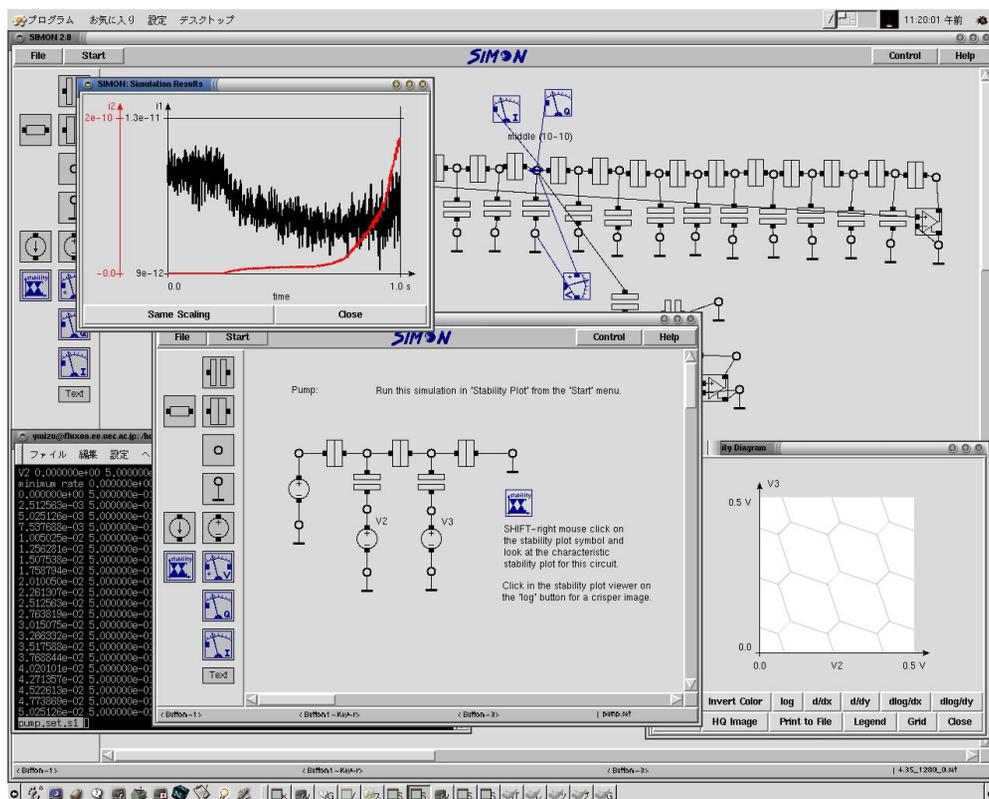


モンテカルロ・シミュレーションの結果

単電子ターンスタイルと1次元アレイを組み合わせることで、電流ミラー回路(1次元アレイを流れる電流と同じ値の電流が単電子ターンスタイルを流れる)が実現できます。

# 数値計算 (モンテカルロ・シミュレーション)

単一電子素子を利用した回路の動作特性をモンテカルロ・シミュレーションにより解析します。



シミュレーションを行っているコンピュータの画面