

高機能トンネル電子デバイスと その応用に関する研究

代表者： 水柿 義直（電子工学科 助教授）

メンバー： 伊藤 正史、小林 恭平（電子工学専攻 M2）

生田目洋子、根本裕次、波木井秀充、水田 元紀
（電子工学専攻 M1）

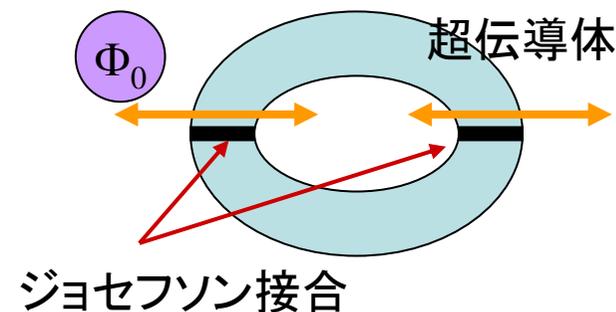
加藤和行、鈴木一広（電子工学科 B4）

高機能トンネル電子デバイスとは

- 超伝導電子(クーパ対)のトンネリング
 - 巨視的量子波導関数で記述される超伝導電子のトンネリング
 - 基本となる物理: 超伝導、磁束量子化、ジョセフソン効果
 - 研究内容: 超伝導体トンネル接合を用いたデバイスと回路
- 電子1個ずつのトンネリング
 - 電子1個のレベルで電子のトンネリングを制御
 - 基本となる物理: クーロン・ブロッキング
 - 研究内容: 微小トンネル接合を用いたデバイスと回路
- 自己組織化プロセスを利用したナノ構造体の作製
 - 研究内容: 陽極酸化アルミナ細孔配列と機能性材料埋めこみ
 - 研究内容: 微小電子デバイス(ナノデバイス)への応用

超伝導トンネルリング電子デバイスと回路 (ジョセフソン・デバイス)

- 超伝導、ジョセフソン効果、磁束の量子化を利用した高機能トンネル電子デバイス
 - 超高速、超低消費電力、超高感度、超高精度

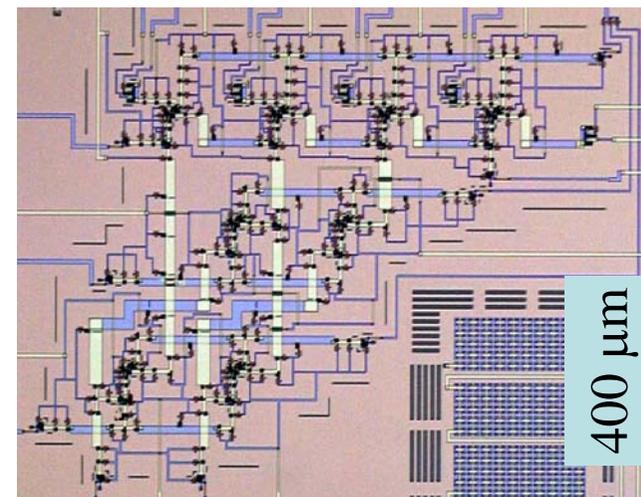


- ジョセフソン効果の式

$$I = I_c \sin \phi$$

$$V = \frac{\hbar}{2e} \frac{d\phi}{dt} = \Phi_0 f$$

- シミュレータ、CADツール群を利用した回路設計
- 高速信号測定システムの構築と回路性能評価



単一磁束量子論理回路
(2×2ビット乗算器)

高精度電圧増倍回路の設計

(産業総合研究所との共同研究)

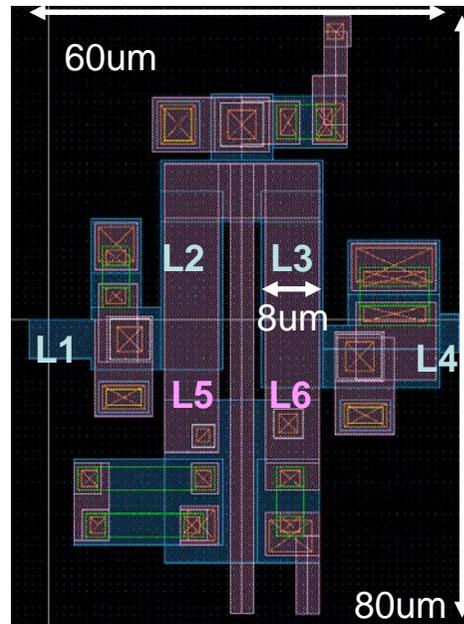
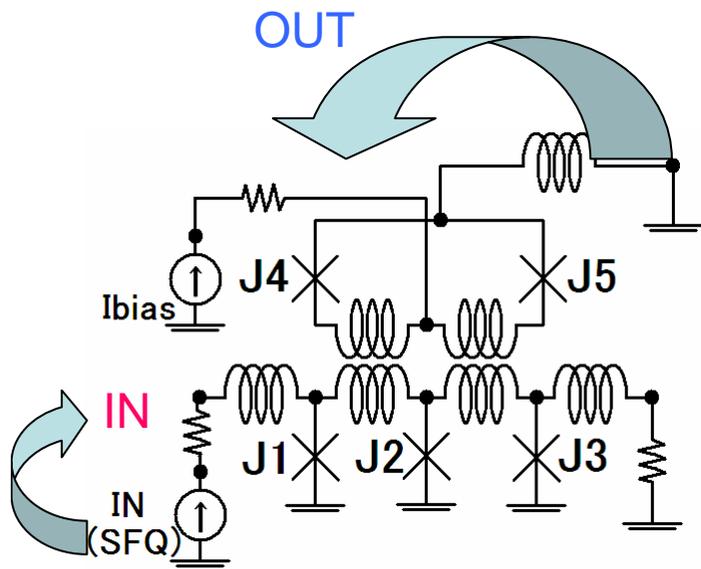
交流ジョセフソン効果 →

$$V = n\Phi_0 f$$

電圧が周波数だけで決まる (材料を問わない)。

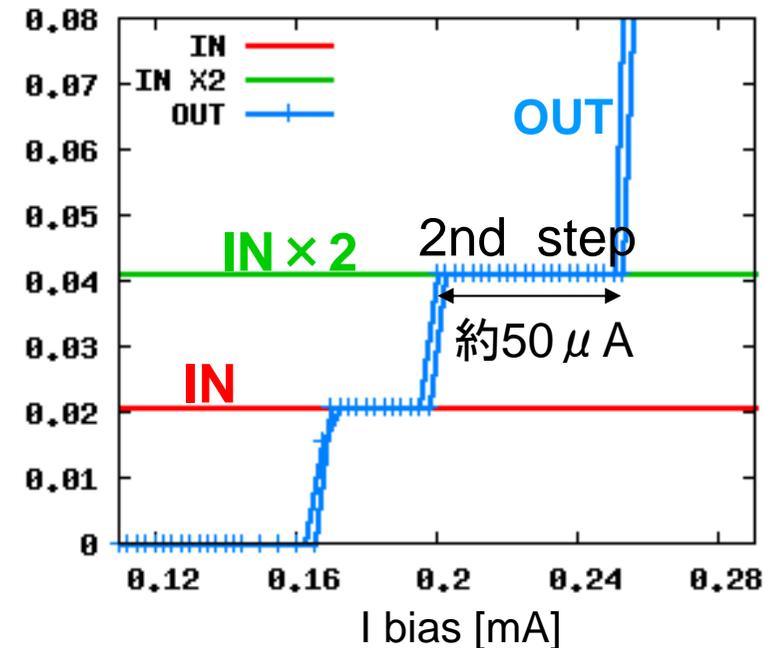


電圧標準、高精度D/A変換 → 高精度電圧増幅



電圧増倍回路VM

(入力パルス周波数 10GHz)



2次ステップVMのI-V特性(数値計算) 4

単一電子トンネリング・デバイスと回路

□クーロン・ブロッケイドに基づく単電子トンネリングを利用した高機能トンネル電子デバイス

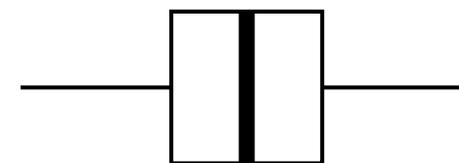
■超高密度、超低消費電力、超高感度、超高精度

●微小トンネル接合(100nm□程度)の作製

➢SVBLのクリーンルームを利用

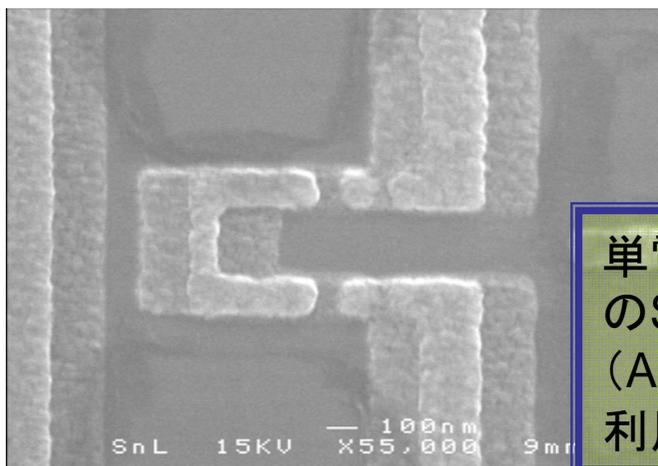
●数値計算による単電子デバイス回路の特性評価

➢コンピュータ・シミュレーション(モンテカルロ法)

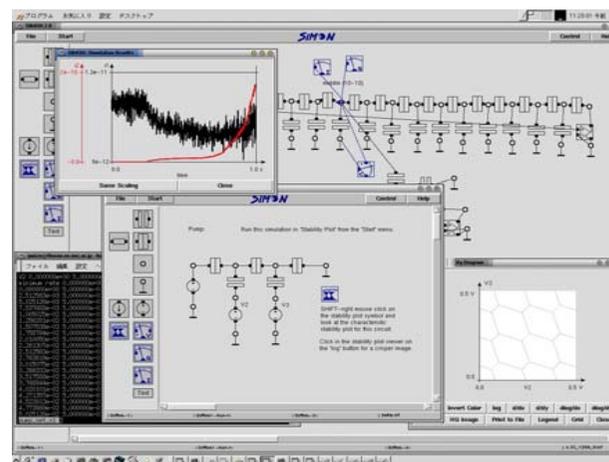


$$k_B T < \frac{e^2}{2C}$$

$$I = ef$$

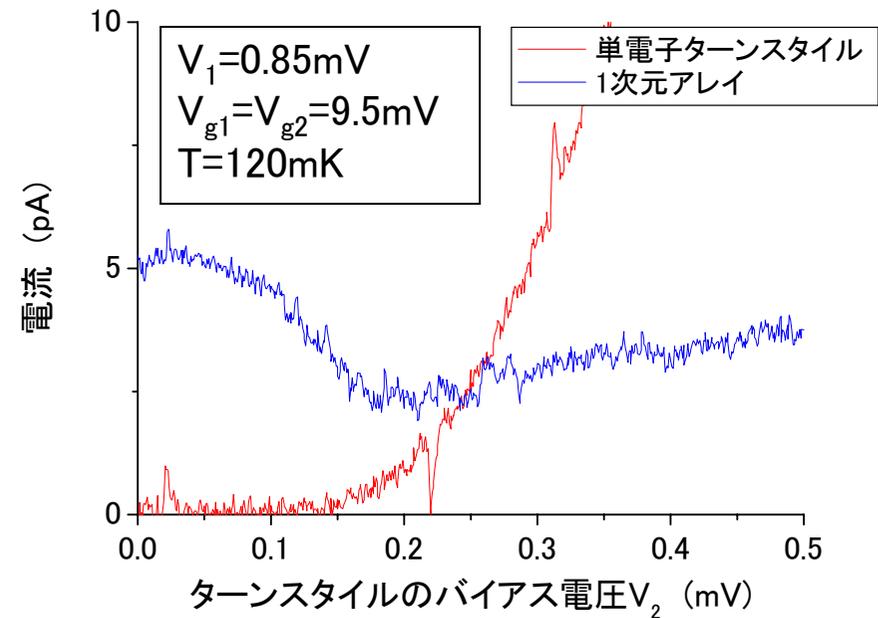
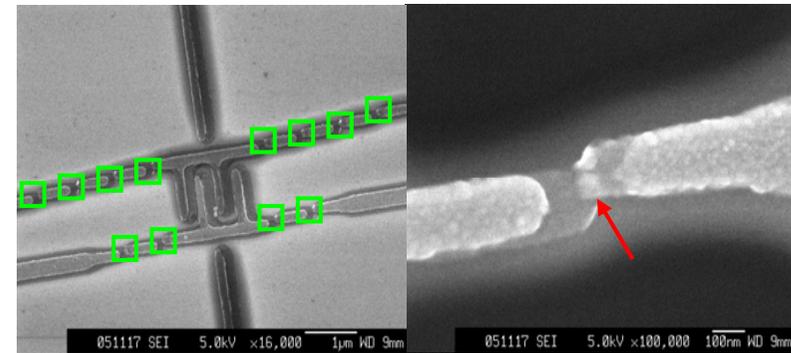
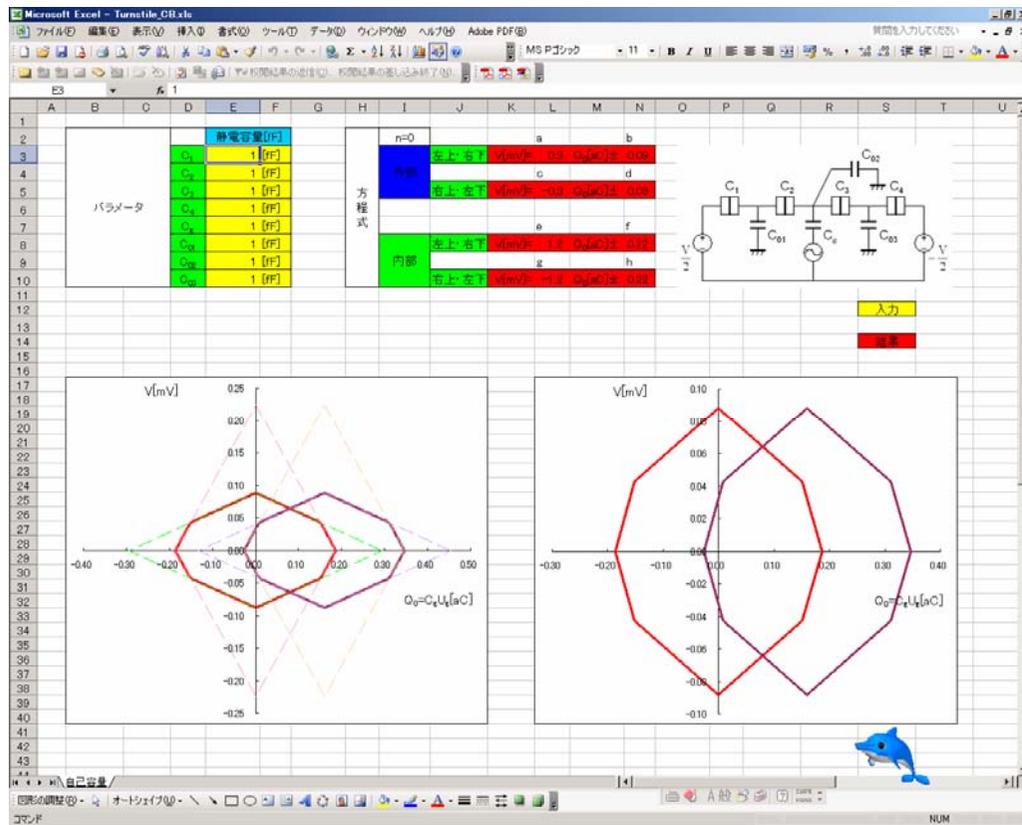


単電子トランジスタのSEM写真
(Al/AIOx/Al接合を利用)



モンテカルロ・シミュレーション 5

単一電子ターンスタイル・デバイスによる 電子1個の操作

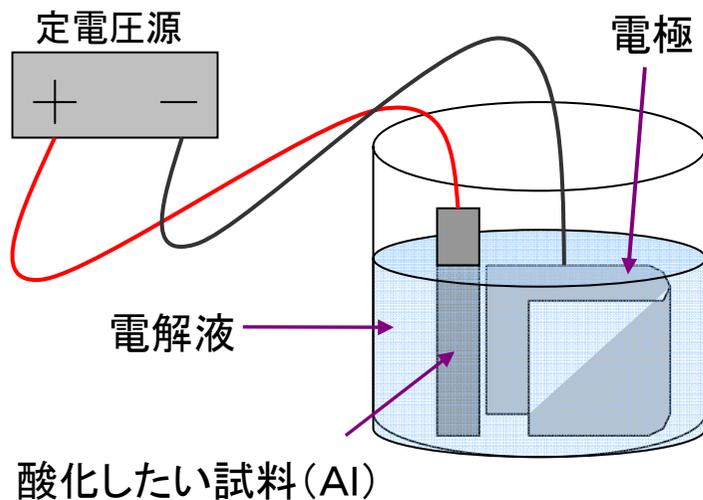


単一電子ターンスタイル用
設計ツールの開発
(Microsoft Excelベース)

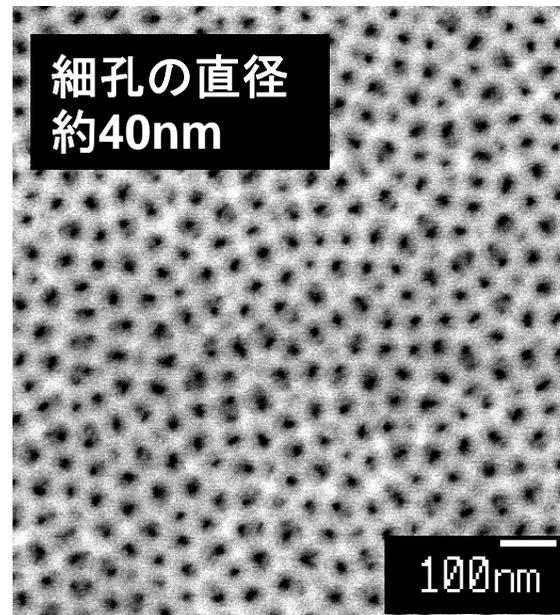
単一電子ターンスタイルを利用した
電流ミラーの試作と特性評価

自己組織化プロセスを利用したナノ構造体作製

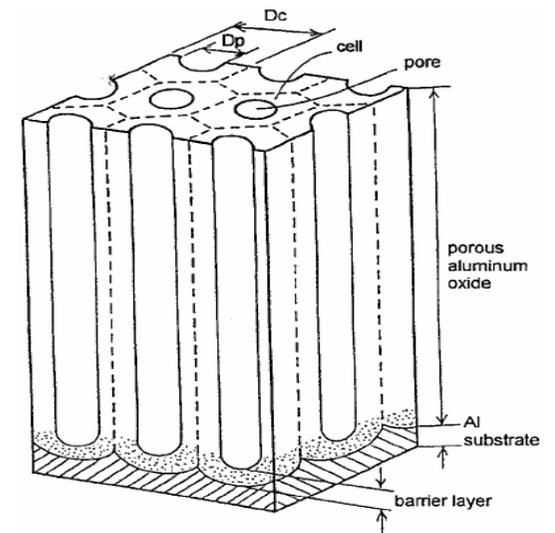
- アルミ酸化膜ナノホール(10~100nm径)の自己組織化配列を利用したデバイス作製
 - 界面(表面)形状の発展成長ダイナミクスの解析
 - 単電子デバイス作製プロセスへの応用
 - 電界放出素子作製への応用



作製方法

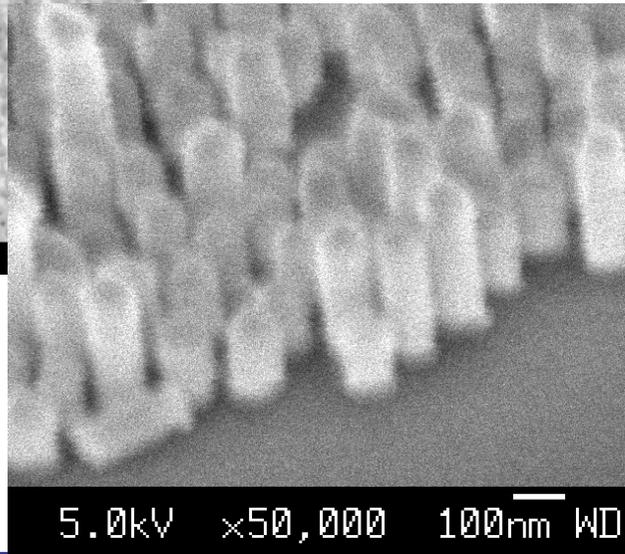
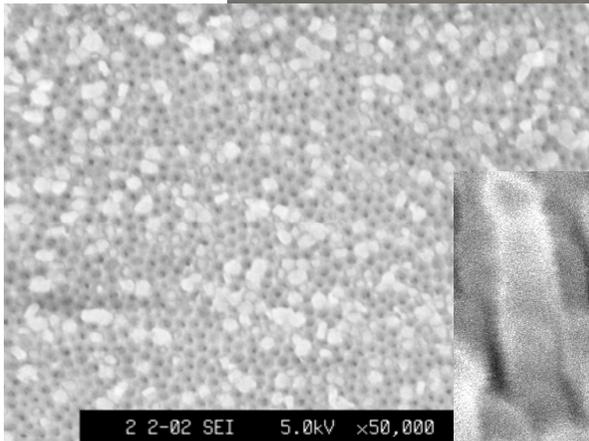
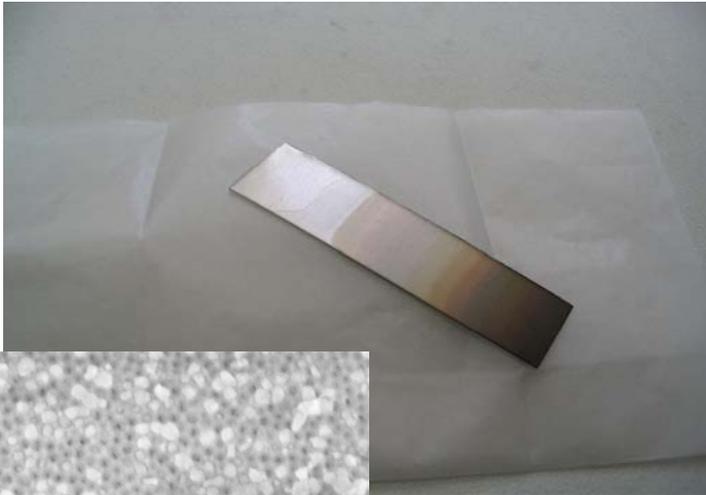


表面SEM像の例

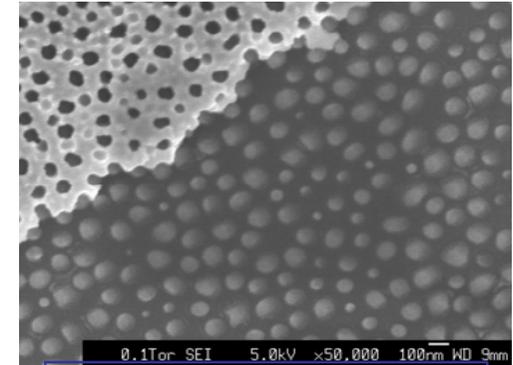


ナノホールの模式図

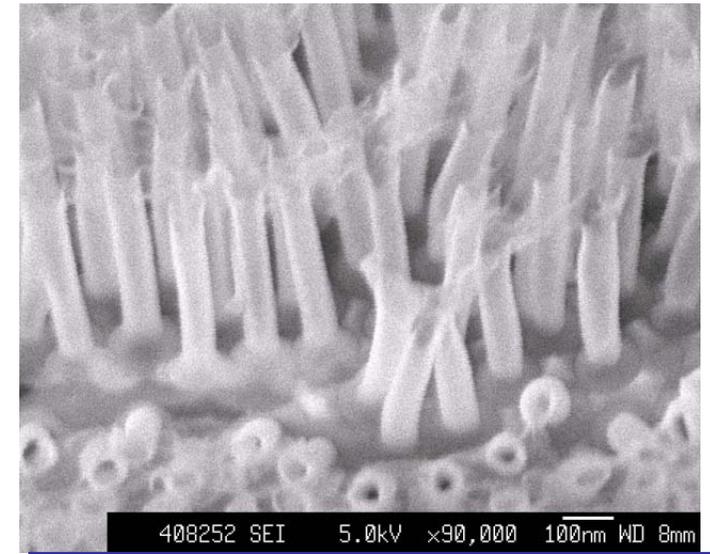
ナノホールへの金属や炭素系材料の埋め込み



ニッケルの埋め込み



金の埋め込み



炭素系材料の埋め込み