

# 高機能トンネル電子デバイスと その応用に関する研究

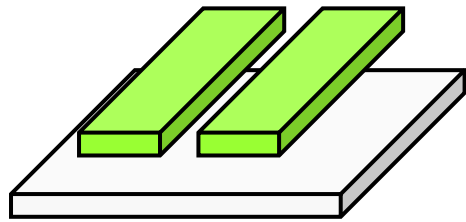
代表者： 水柿 義直（電子工学科 准教授）

メンバー： 柏竜太、河合章生、滝口将志（電子工学専攻 M2）  
田中文之、田村信行（電子工学専攻 M1）  
大塚正喜、菊池健人、斎藤淳（電子工学科 B4）

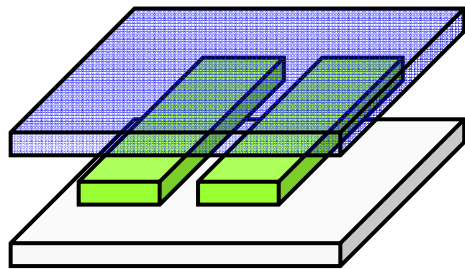
# 高機能トンネル電子デバイスとは

- 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
    - 特徴: 超高速、超低消費電力、超高感度、超高精度
- 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、スピン依存伝導
  - 研究内容: 微小トンネル接合を用いたデバイスと回路
    - 特徴: 超高密度、超低消費電力、超高感度、超高精度

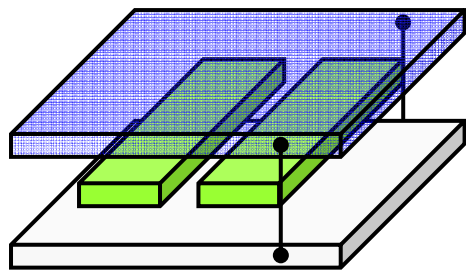
# 超伝導ストリップライン間の相互インダクタンス評価



マイクロストリップライン (MSL)構造



接地無しストリップライン (SLnoGC)構造



接地有リストリップライン (SLGC)構造

2本の超伝導ストリップライン間の相互インダクタンスについて、そのライン中心間距離依存性を実験および数値計算により調べた。

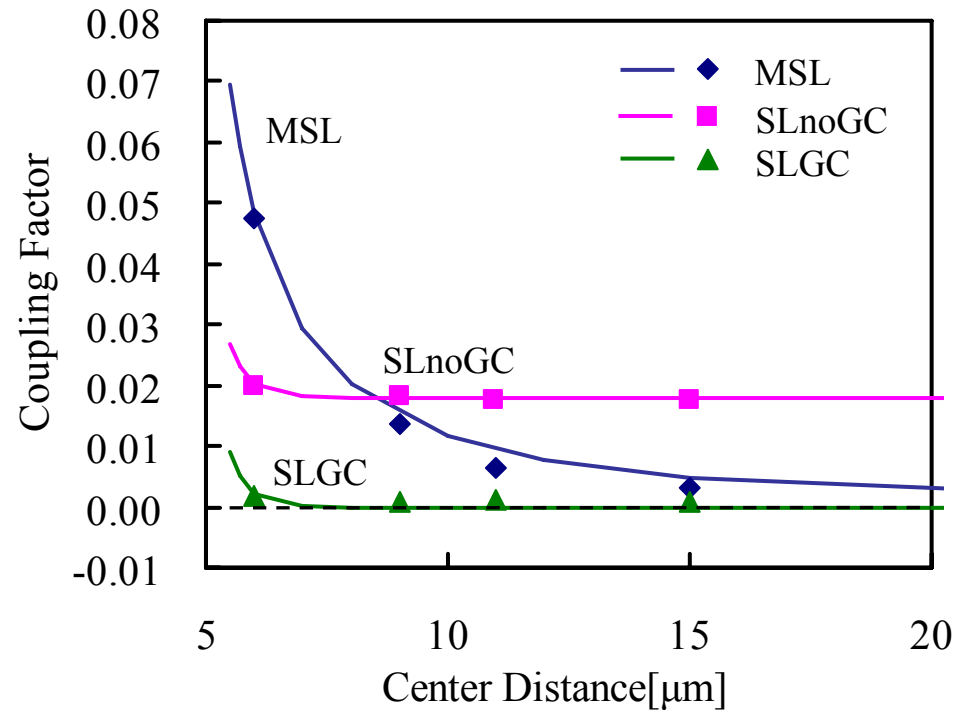
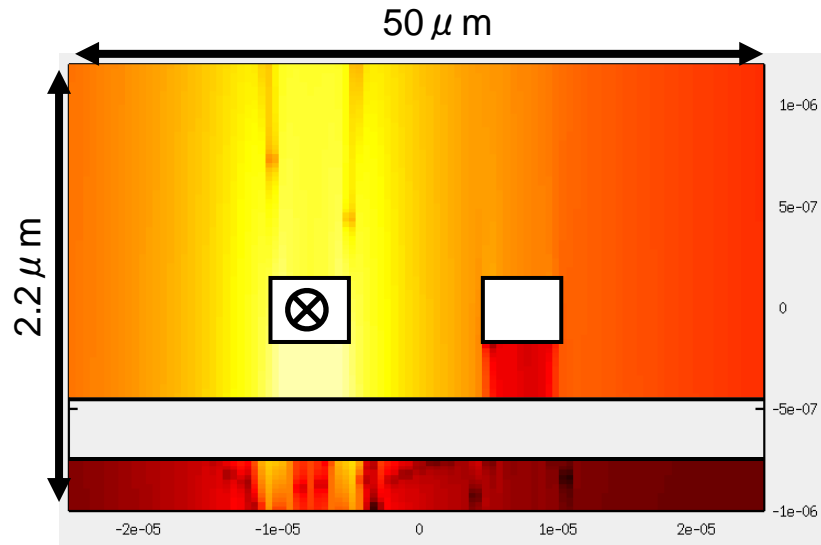


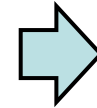
図 中心間距離-相互インダクタンス特性。  
実線:計算値、点:実験値。

# 線路断面の磁場強度分布

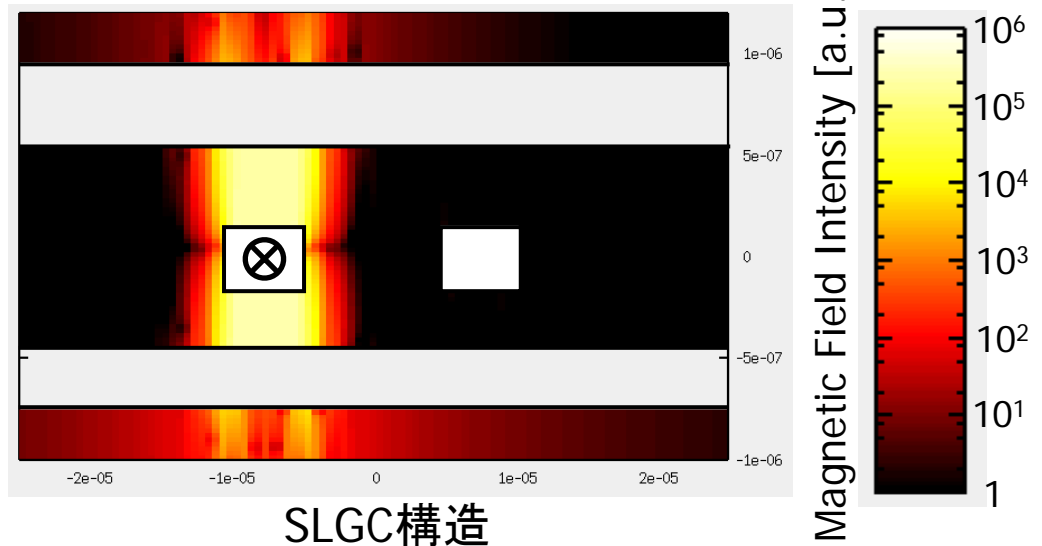
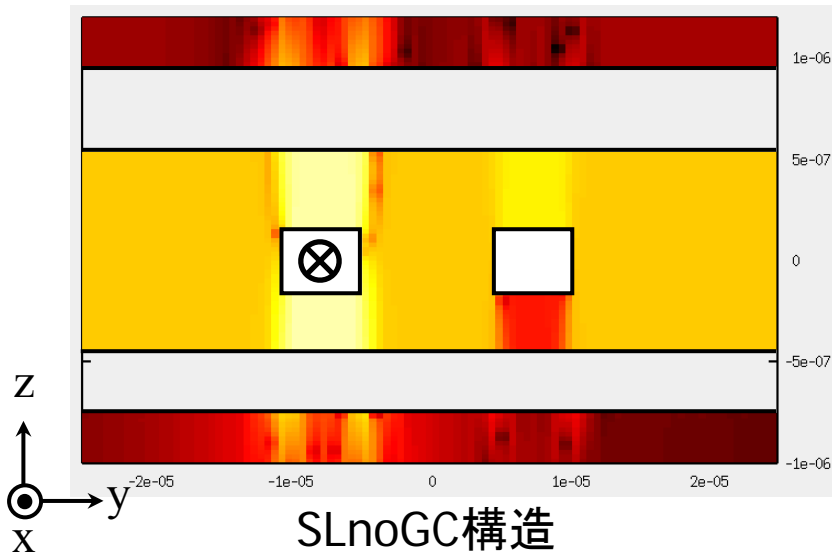


磁場強度は...

- MSL構造
  - コントロール線路からの距離に依存し徐々に低下
- SLnoGC構造
  - 上部下部GP間に一様な強度で広がる
- SLGC構造
  - コントロール線路から離れると急速に低下

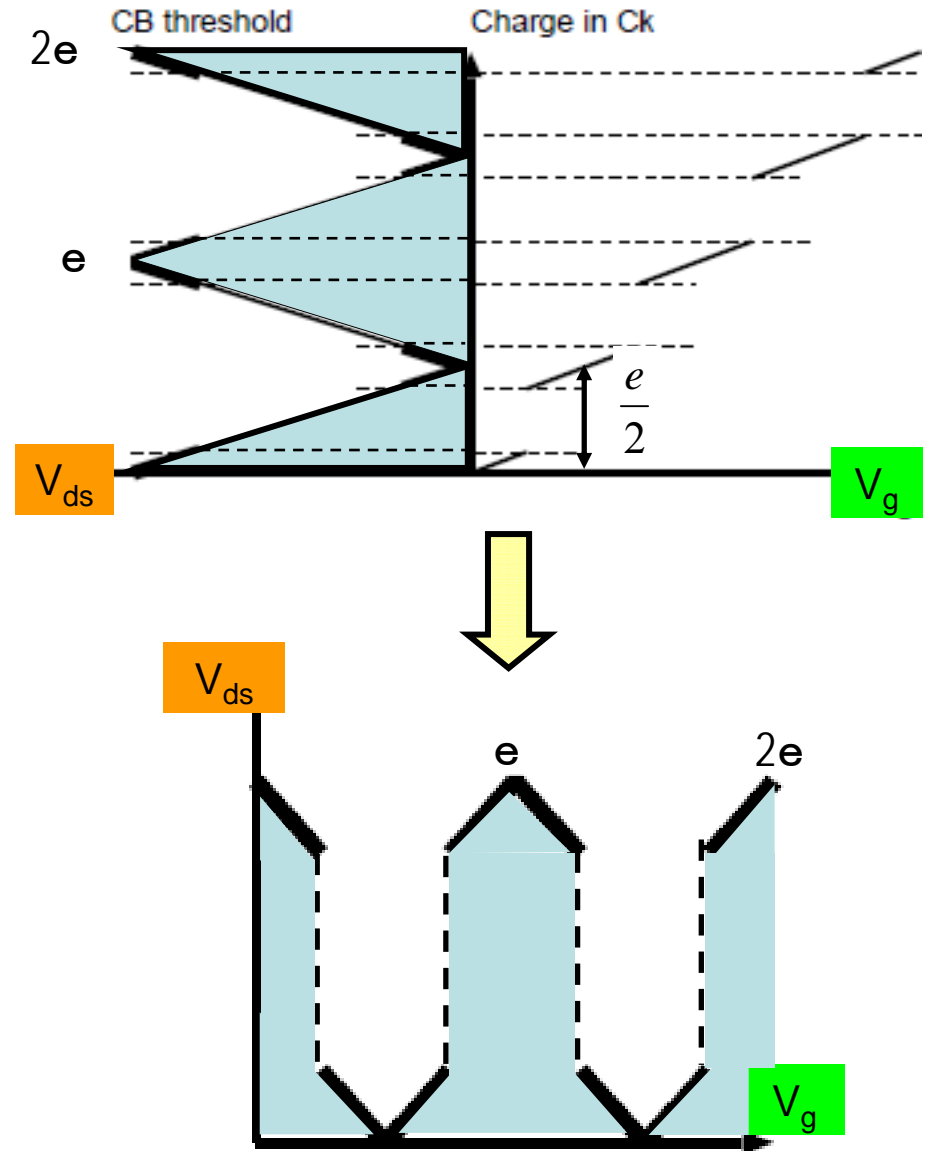
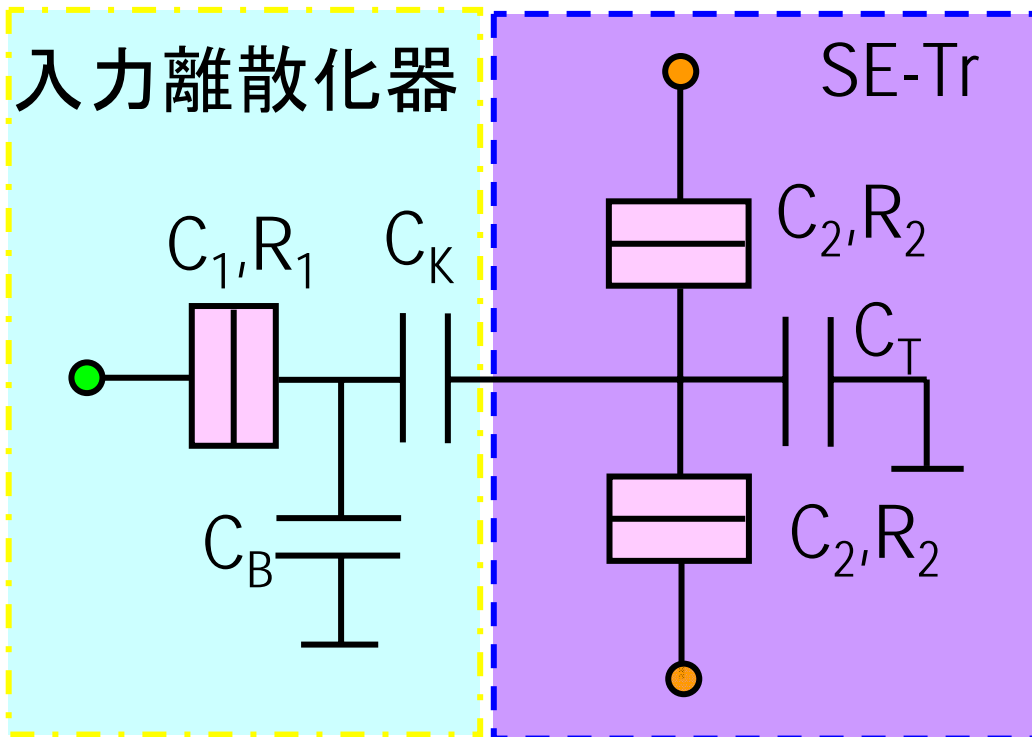


結合係数の変化と対応する



# 入力離散化器付き単一電子トランジスタの考案

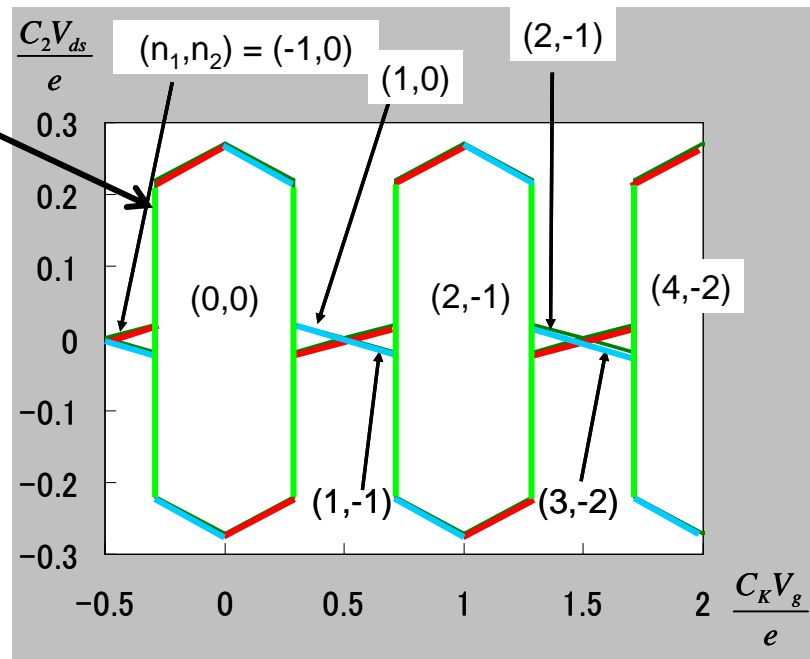
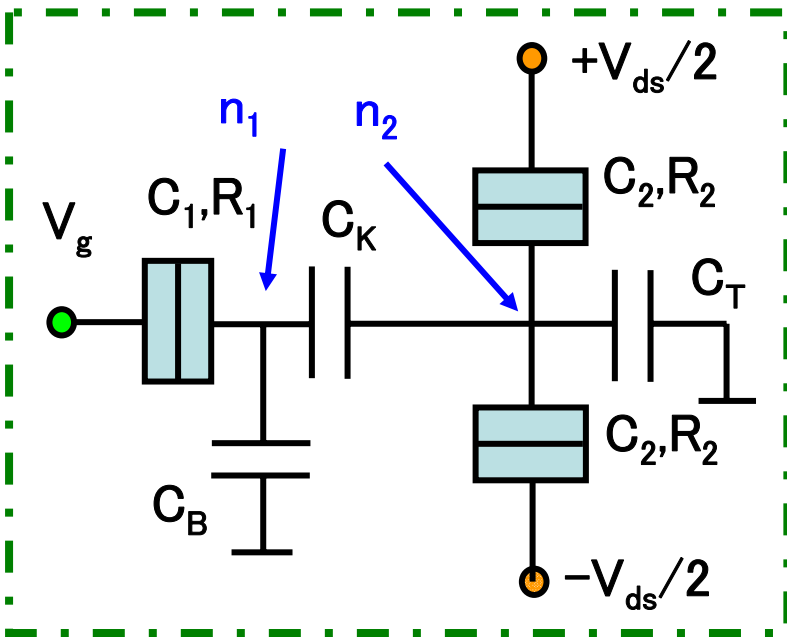
- 単一電子トランジスタの入カゲートに、単一電子箱を応用した入力離散化器を接続することで、入出力特性の向上を図る



# クーロン閉塞領域を解析的に導出

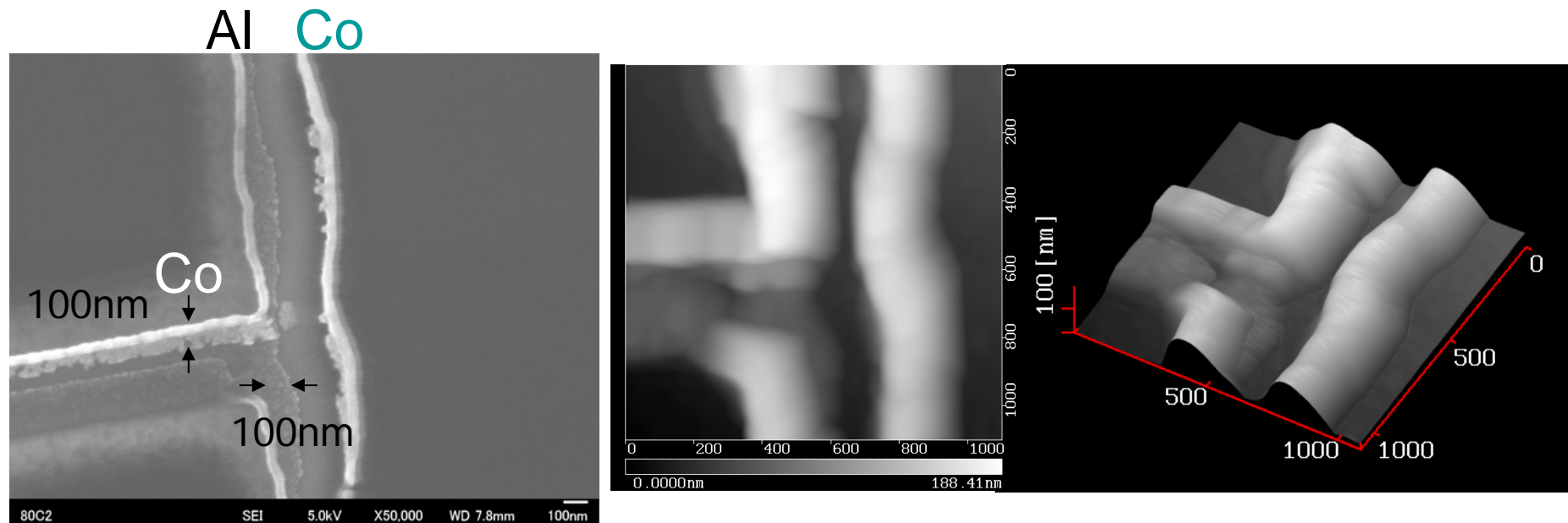
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{2C_K C_1 V_g + 2n_1 e C_K + (2n_2 - 1) e C_z}{2(C_2 + C_T) C_z + (C_1 + C_B) C_K} < V_{ds} < \frac{2C_K C_1 V_g + 2n_1 e C_K + (2n_2 + 1) e C_z}{2(C_2 + C_T) C_z + (C_1 + C_B) C_K} \\ \frac{2C_K C_1 V_g + 2n_1 e C_K + (2n_2 + 1) e C_z}{2(C_2 + C_T) C_z + (C_1 + C_B) C_K} < V_{ds} < \frac{2C_K C_1 V_g + 2n_1 e C_K + (2n_2 - 1) e C_z}{2(C_2 + C_T) C_z + (C_1 + C_B) C_K} \\ \frac{(2n_1 - 1) e C_x + 2n_2 e C_K}{2C_B C_x + 2(C_T + 2C_2) C_K} < V_g < \frac{(2n_1 + 1) e C_x + 2n_2 e C_K}{2C_B C_x + 2(C_T + 2C_2) C_K} \quad \left( \begin{array}{l} C_z = C_1 + C_K + C_B \\ C_x = 2C_2 + C_K + C_T \end{array} \right) \end{array} \right.$$

SE-TrのC.B.領域に飛びが生じる



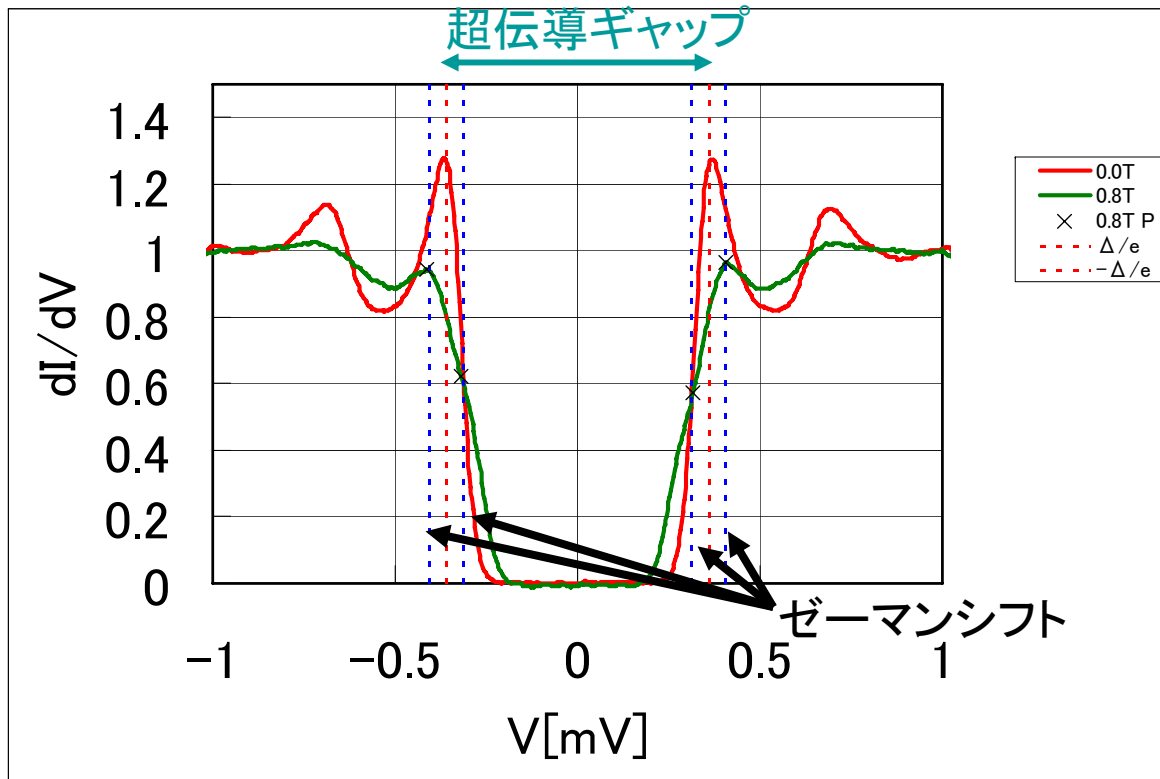
# サブミクロンサイズの強磁性体／超伝導体トンネル接合を用いたスピン偏極率測定

- 外部磁界印加下の強磁性体／超伝導体トンネル接合の微分コンダクタンス特性を利用して、強磁性体のスピン偏極率を求めることができる。
- これまでの研究では数十ミクロン角程度の大きさのトンネル接合が利用されていた。本研究では、サブミクロンサイズのCo/AlO<sub>x</sub>/Alトンネル接合を作製し、スピン偏極率を求める実験を行った。



作製素子の電子顕微鏡(SEM)写真(左)と、原子間力顕微鏡像(右)

# 微分コンダクタンス特性と 算出されたスピン偏極率



↑ 正規化された微分コンダクタンス-電圧特性

- 測定温度は88mK
- 分裂したコンダクタンスピークを利用して、スピン偏極率を算出
- 得られたスピン偏極率は、文献値よりも小さめ。その原因は検討中。
  - 素子の問題？
  - サイズ効果？

↓ 算出されたスピン偏極率

磁場H[T]	0.3	0.4	0.5	0.8	1.0
偏極率 P[%]	19.7	16.2	18.0	15.7	11.6