

# エレクトロマイグレーション法による ナノギャップ形成位置の誘導現象

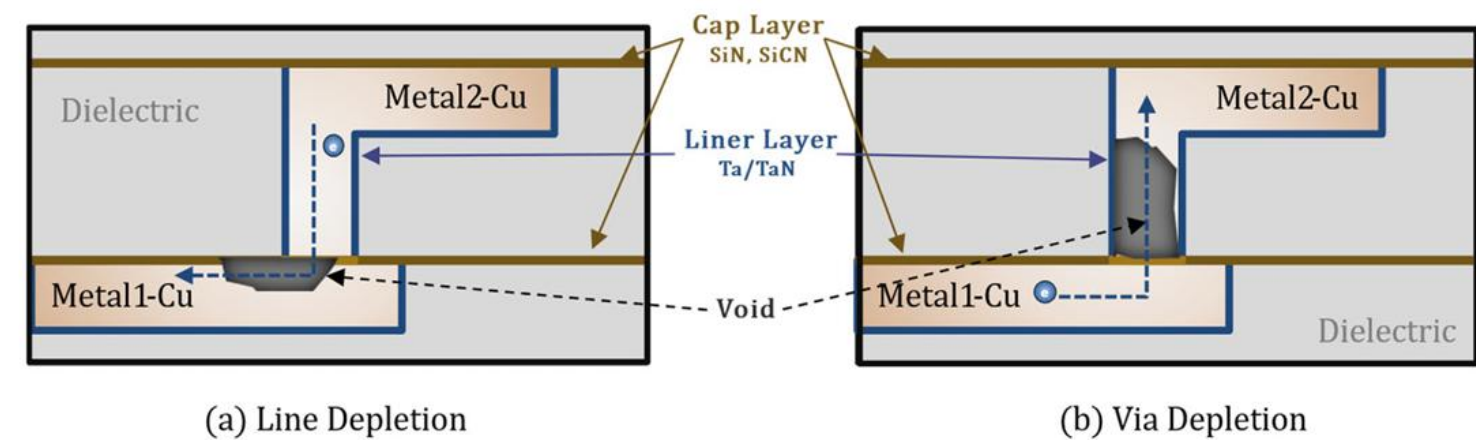
千葉工大<sup>1</sup> 産総研<sup>2</sup> ○杉政 慶太<sup>1,2</sup>, 筒井優貴<sup>1,2</sup>, 菅 洋志<sup>1</sup>, 島久<sup>2</sup>, 内藤泰久<sup>2</sup>

Chiba Tech<sup>1</sup>, AIST<sup>2</sup> ○Keita Sugimasa<sup>1,2</sup>, Yuki Tsutsui<sup>1,2</sup>, Hiroshi Suga<sup>1</sup>, Hisashi Shima<sup>2</sup>, and Yasuhisa Naitoh<sup>2</sup>

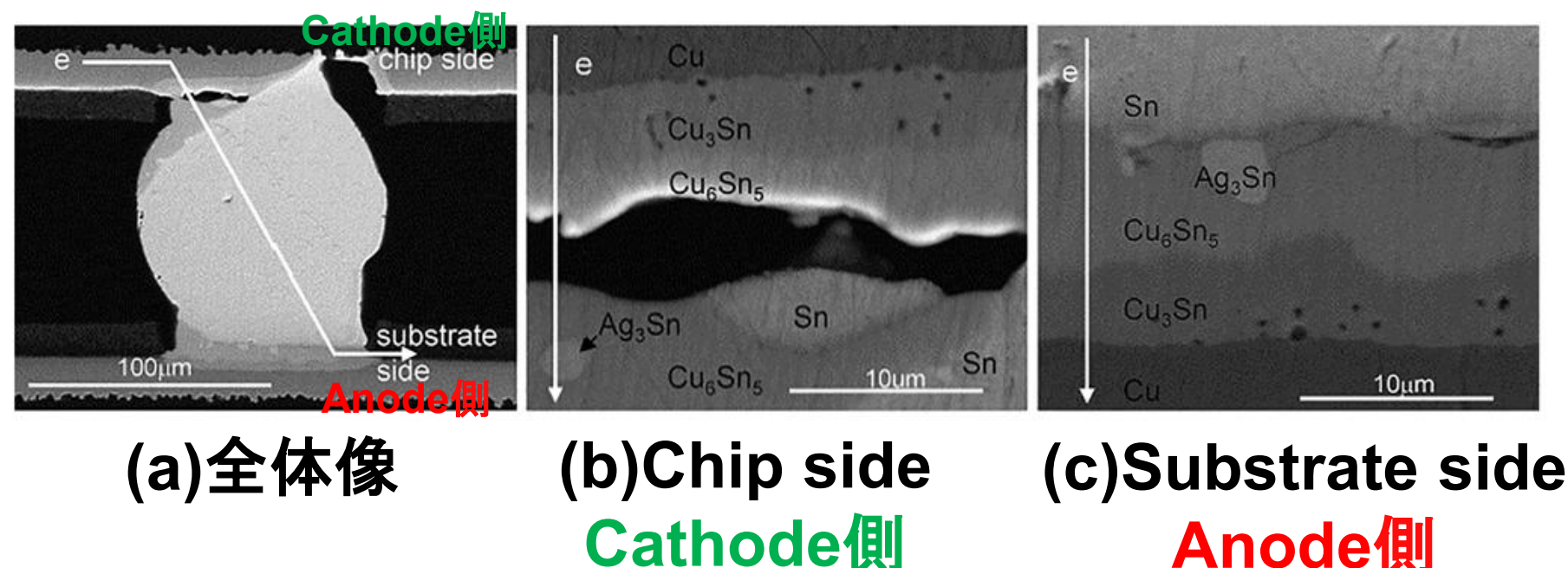
## 研究背景

### エレクトロマイグレーション(EM)<sup>[1]</sup>

集積回路に過電流が流れることにより金属細線が破断される現象であり、回路や配線の故障原因の一つである。



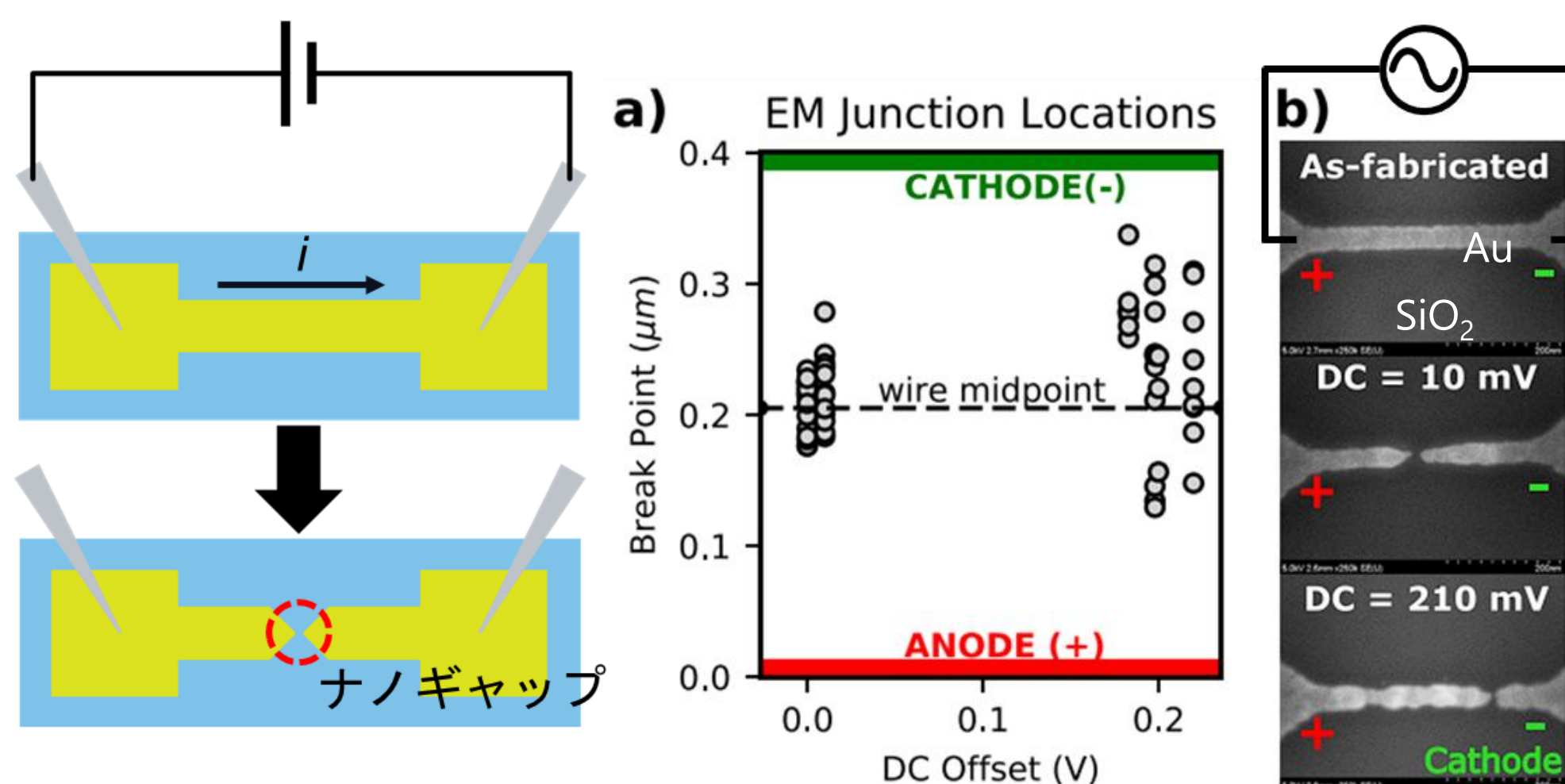
EMにおける2つの典型的故障形態



SnAgCu はんだ接合におけるEM損傷の断面SEM

### EMによる破断(ナノギャップ)位置<sup>[2]</sup>

EMのメカニズム解明の為、金属細線を用いた研究が盛んに行われている。しかし、EM破断箇所(ナノギャップ)は細線のCathode側に形成される傾向があるとされているが破断位置は大きくばらけ、位置制御ができなかった。

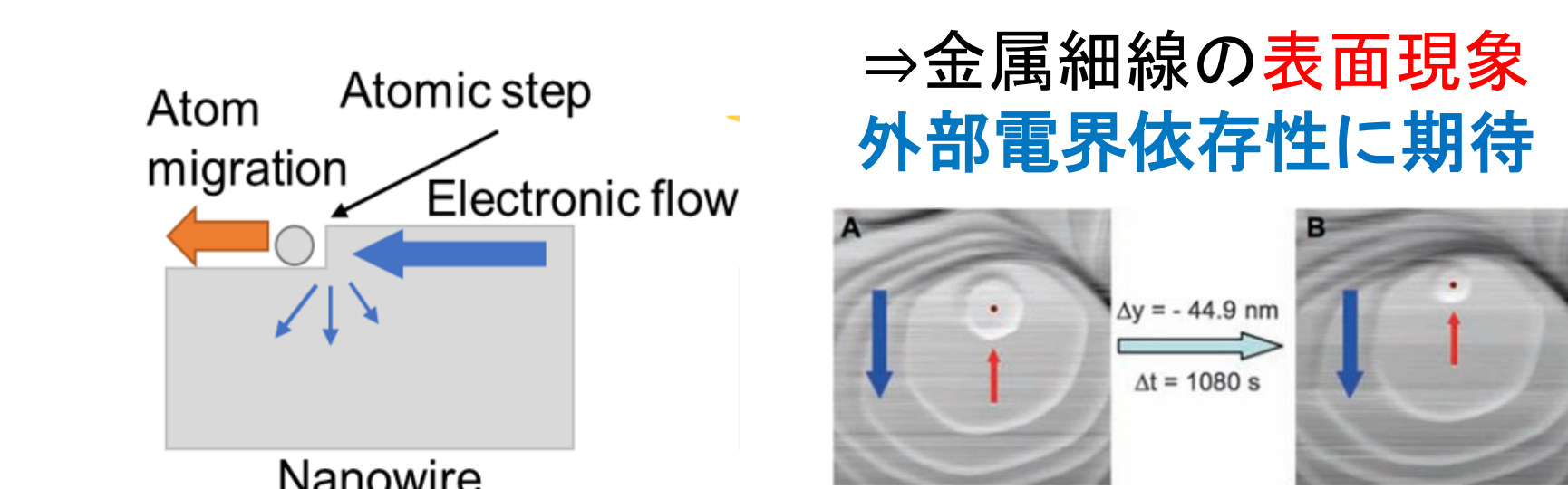


### EMのメカニズム<sup>[3,4,5]</sup>

金属細線のEM現象は主に以下の2つの現象で構成

1. ジュール熱による溶断  
電子 ⇒ 金属細線の全体的な構造に依存  
外部電界依存性なし

2. 電子風力による原子移動  
最表面金属ステップでの原子移動  
⇒ 金属細線の表面現象  
外部電界依存性に期待



### 目的

EMによるナノギャップ形成位置が外部電界で誘導可能か検証する。

## サンプル作製・研究結果および考察

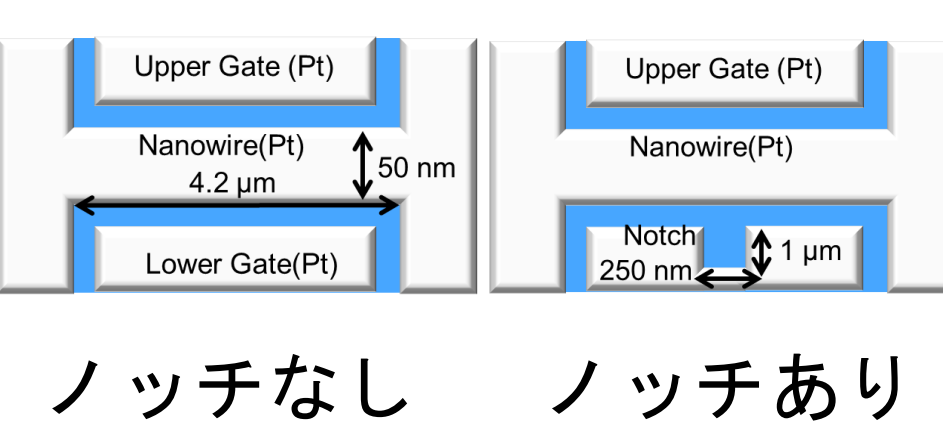
### 細線の作製とEMの実施

スパッタ成膜装置、電子ビーム露光装置、アルゴンイオンミリング装置を用いて細線を作製

- ①スパッタ成膜
- ②電子ビームリソグラフィー
- ③1stミリング
- ④レジスト除去
- ⑤2ndミリング
- ⑥EM

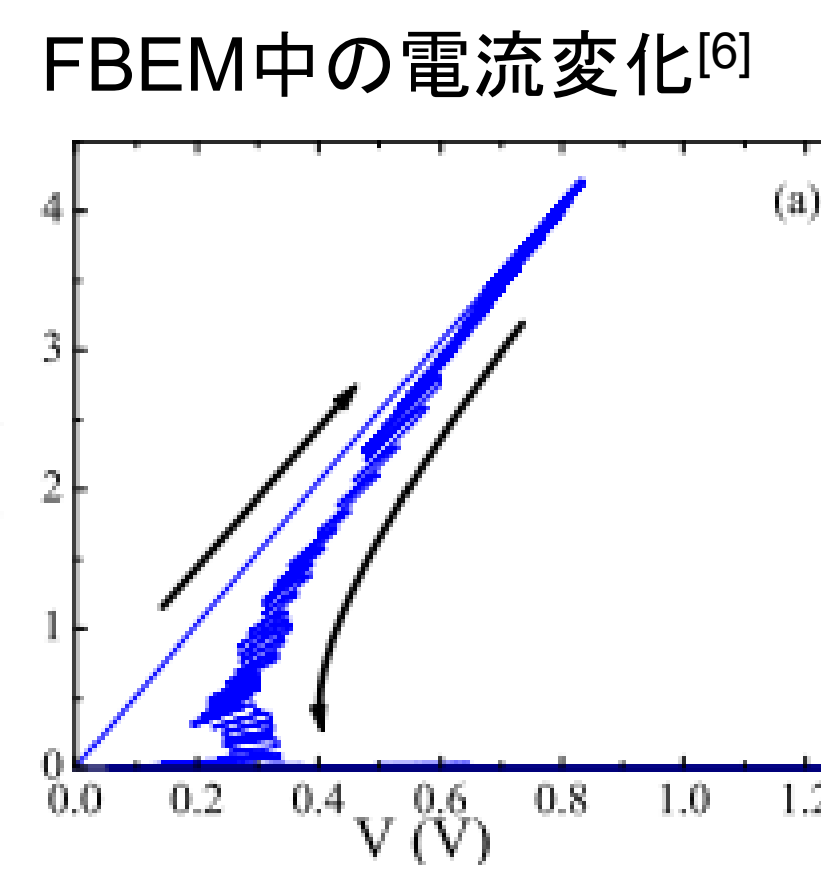
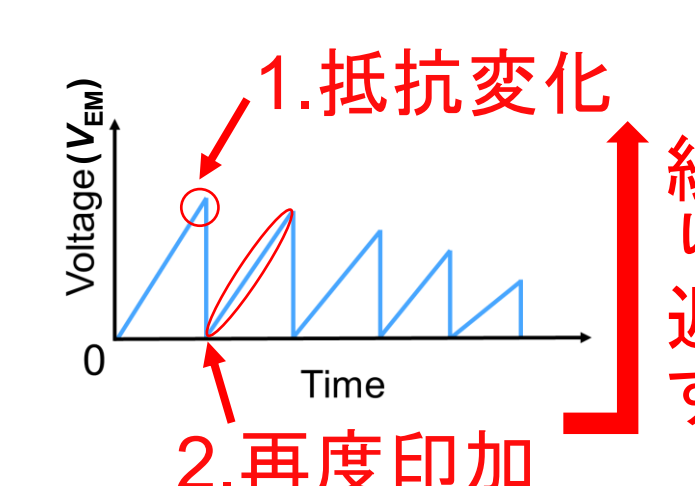
#### ①～⑤細線作製

- ・ ノッチ構造がない試料(構造0)
  - ・ ノッチ構造を導入した試料(構造1～3)
- ⇒ 局所的に外部電界を変化させる



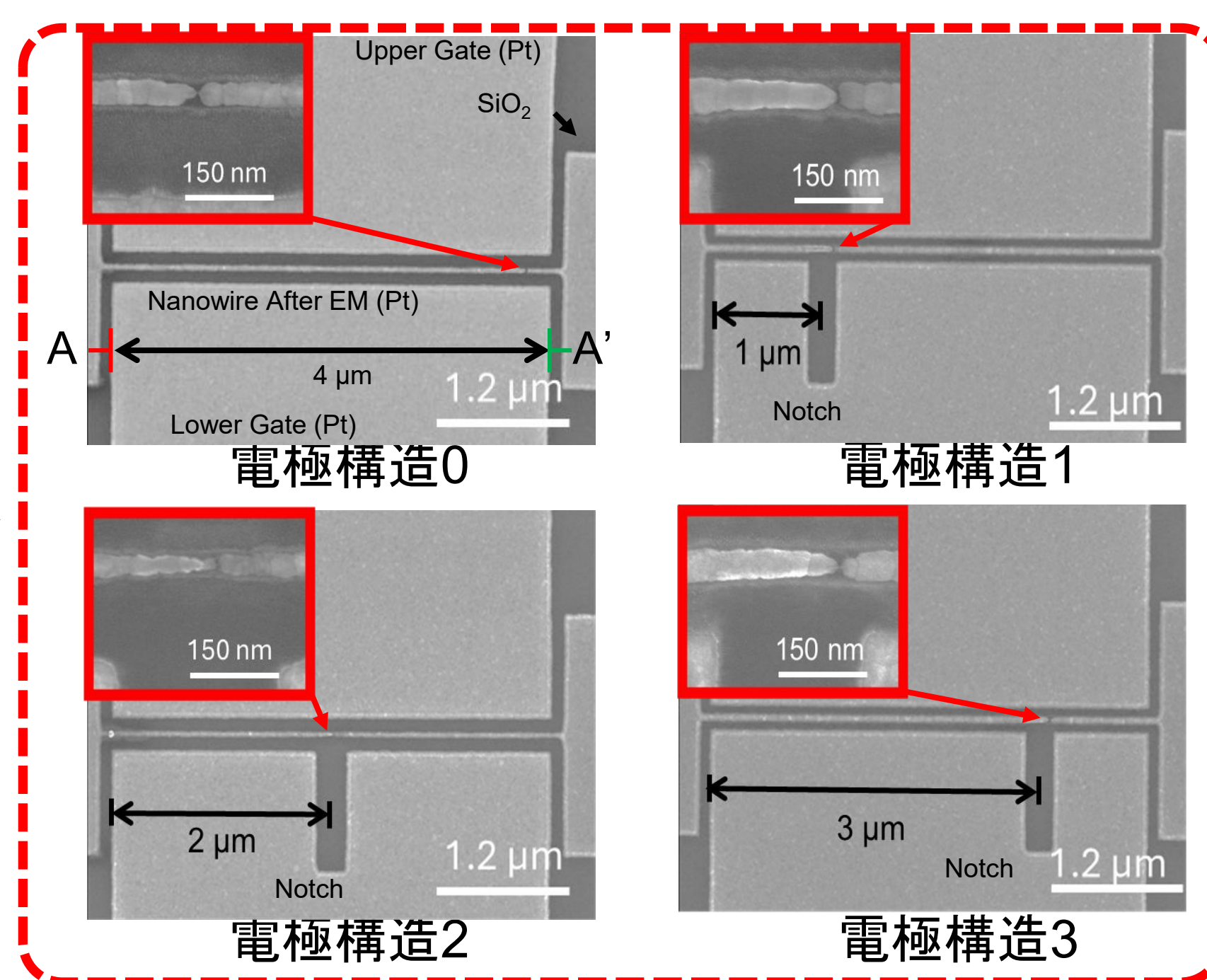
ノッチなし ノッチあり

⑥EMの実施 (室温・真空中)  
Feedback controlled EM (FBEM)法  
抵抗変化を監視し電圧印加を行い、  
ジュール熱による溶断を避けつつ慎重  
にEMによりナノギャップを形成させる

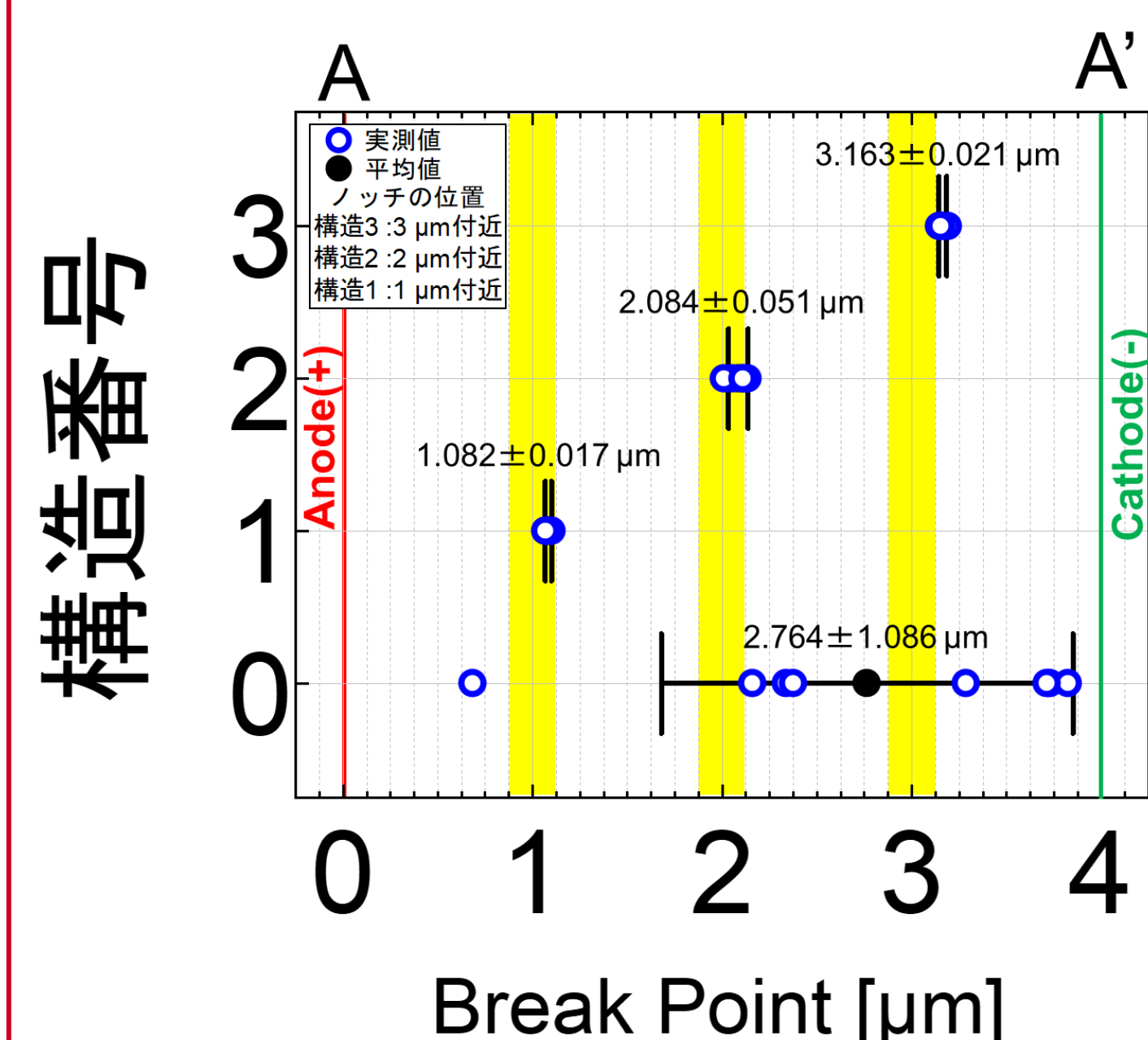


### EM後のナノギャップ位置

電極構造1～3はノッチ位置にナノギャップが形成されている

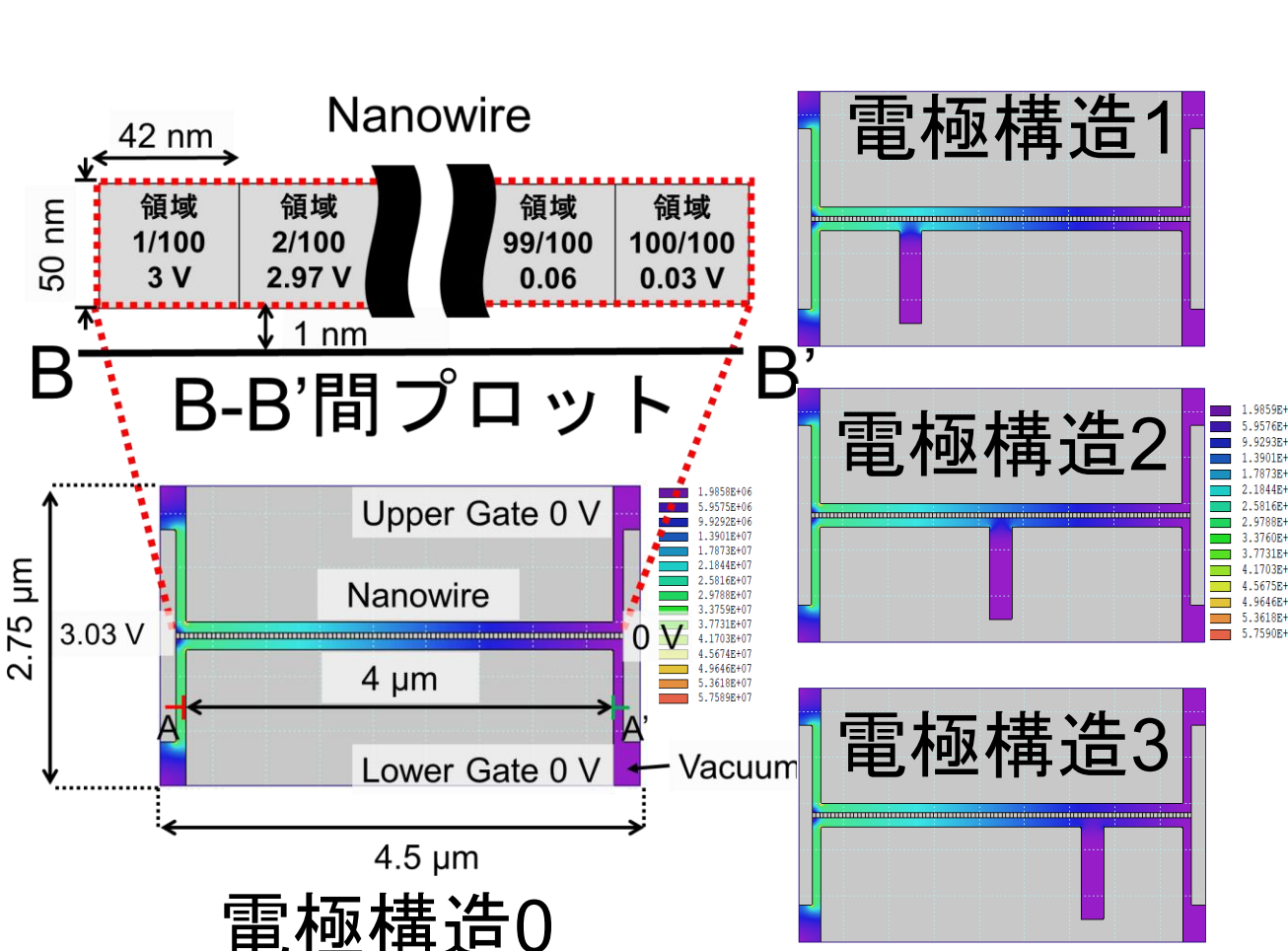


### 試料の構造とギャップ形成位置

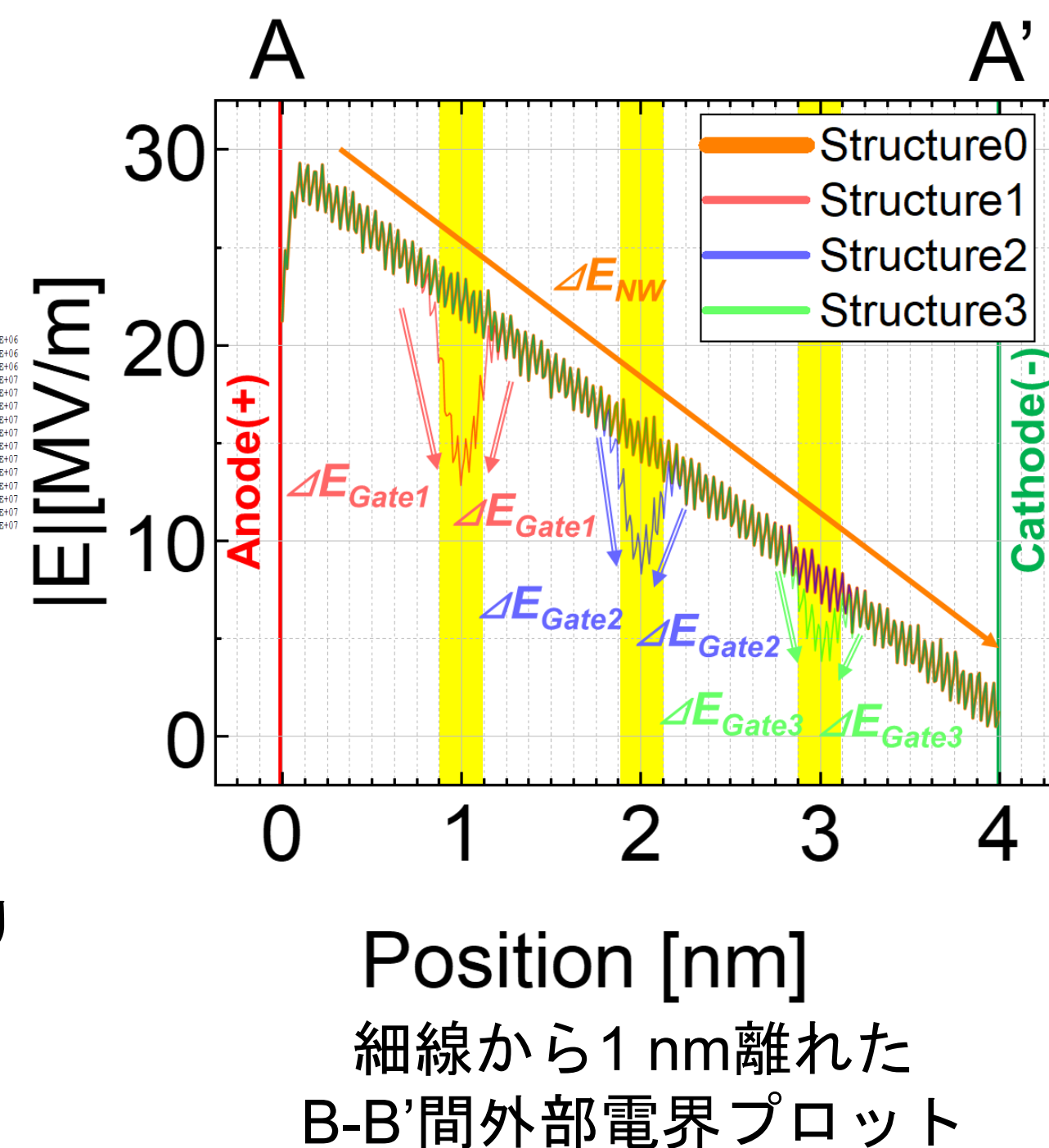


ノッチ構造でも特にCathode側に  
ナノギャップが形成されている

### 有限要素法シミュレーションによる解析



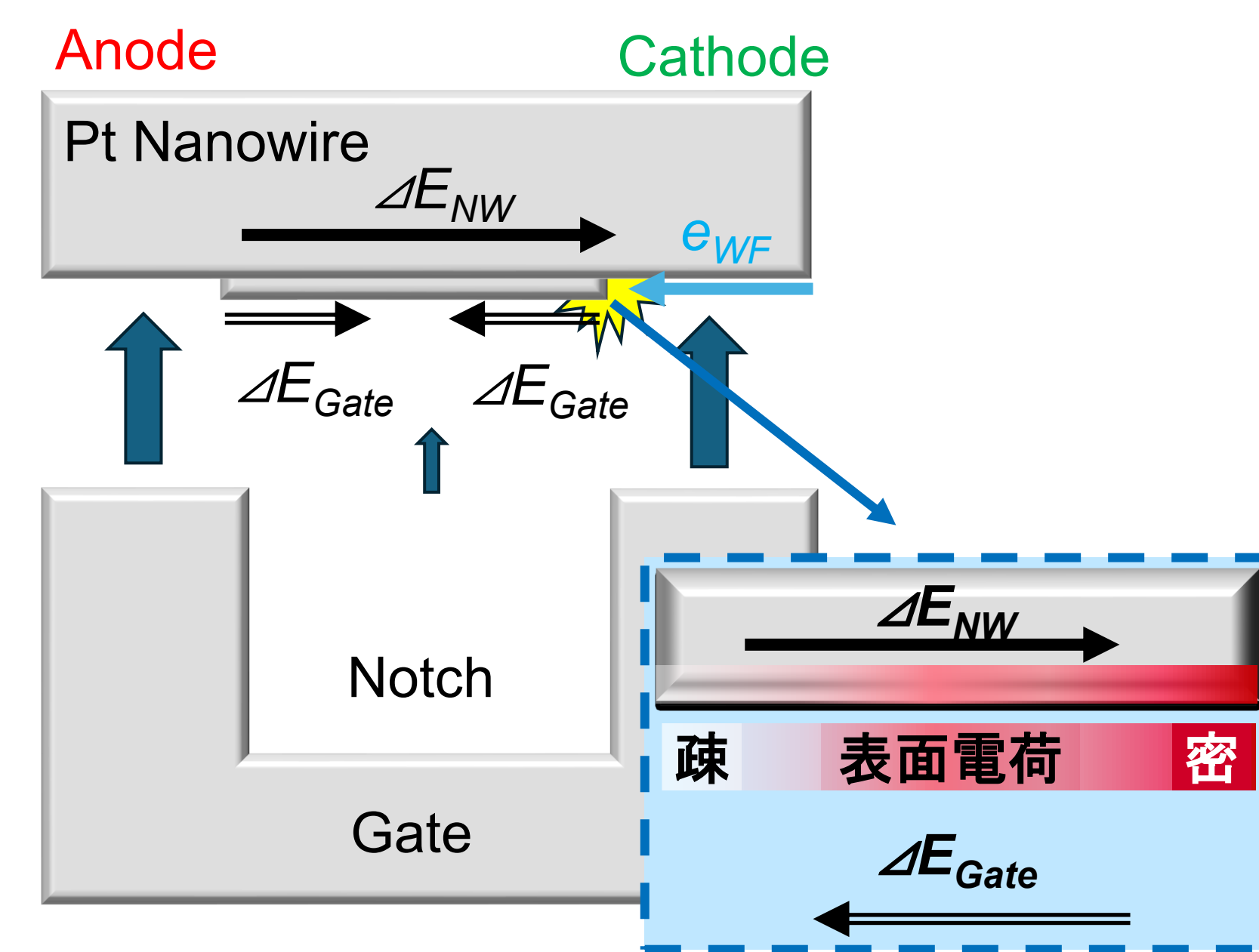
有限要素法シミュレーションにより  
算出した電界分布



細線から1 nm離れた  
B-B'間外部電界プロット

ノッチの導入位置での外部電界が減少  
⇒ 局所的な表面電界の減少により表面電荷の疎密が発生

### ノッチ構造によるEMの誘導モデル



局所的な表面電界の減少によって電子散  
乱が増強され、電子風力による原子移動  
が集中的に発生していると考えられる

## まとめ

ゲート電極にノッチ構造を取り入れナノギャップ形成位置の誘導効果を検証した。  
・ ナノギャップ形成位置をノッチ構造のCathode側に誘導できることがわかった。  
・ 局所的な表面電界の減少により表面電荷の疎密が発生し、EMにおける電子風力による原子移動に作用して誘導が発生していると考えられる。  
⇒ EMによる破断位置は誘導可能であり、それを利用した回路や微細構造の形成への応用が期待できる。

## 参考文献・謝辞

[1] Ping Cheng et al., *Electronics*, **14**, 3151, (2025). [2] S. D. Sawtelle et al., *Appl. Phys. Lett.*, **113**, 193104 (2018). [3] M. L. Trouwborst, et. al., *Appl. Phys.*, **99**, 114316 (2006). [4] O. Bondarchuk, et. al., *Phys. Rev. Lett.*, **99**, 206801 (2007). [5] C. Tao, et al., *Science* **328**, 736 (2010). [6] D. R. Strachan et al., *Appl. Phys. Lett.*, **86**, 043109 (2005).  
本研究の一部は、科研費(23K04551)および文部科学省「マテリアル先端リサーチインフラ」事業(課題番号: JPMXP1224AT0021)の支援を受け実施した。



エレクトロニクス・製造領域エレクトロニクス基盤技術研究部門  
エマージングデバイス技術研究グループ

連絡先: sugimasakeita20230628sakusei@gmail.com



ともに挑む。つぎを創る。