

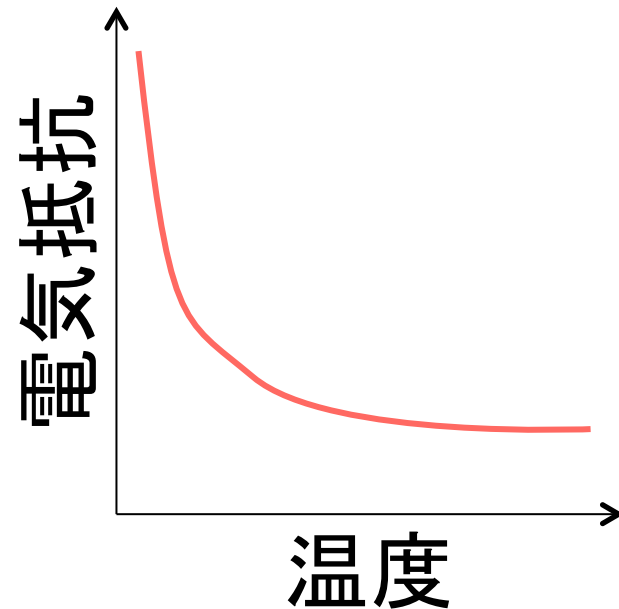
# 酸化物ナノ細線における相転移現象

東京大学 生産技術研究所 助教  
守谷 頼

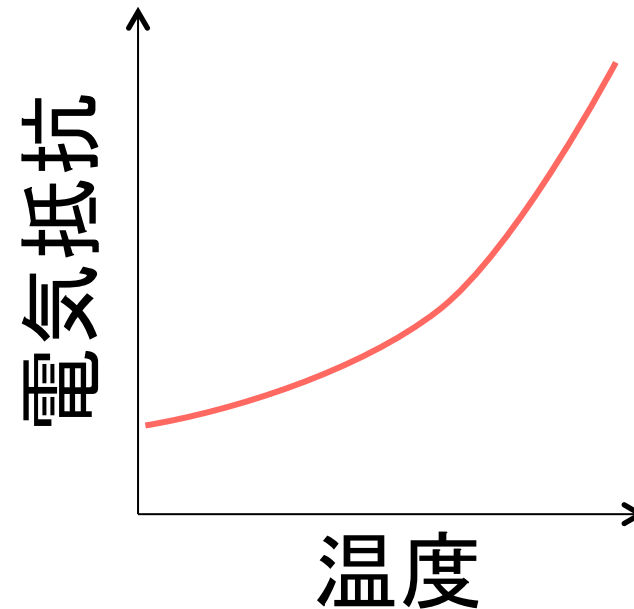


# 金属-絶縁体転移

絶縁体



金属



一つの物質でも金属から絶縁体になる材料がある

**金属-絶縁体転移**



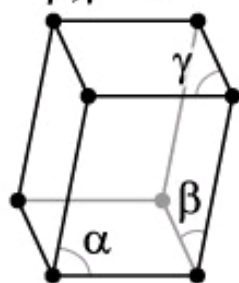
# 酸化バナジウム ( $\text{VO}_2$ )

絶縁体

単斜晶

$\alpha \neq 90^\circ$

$\beta, \gamma = 90^\circ$

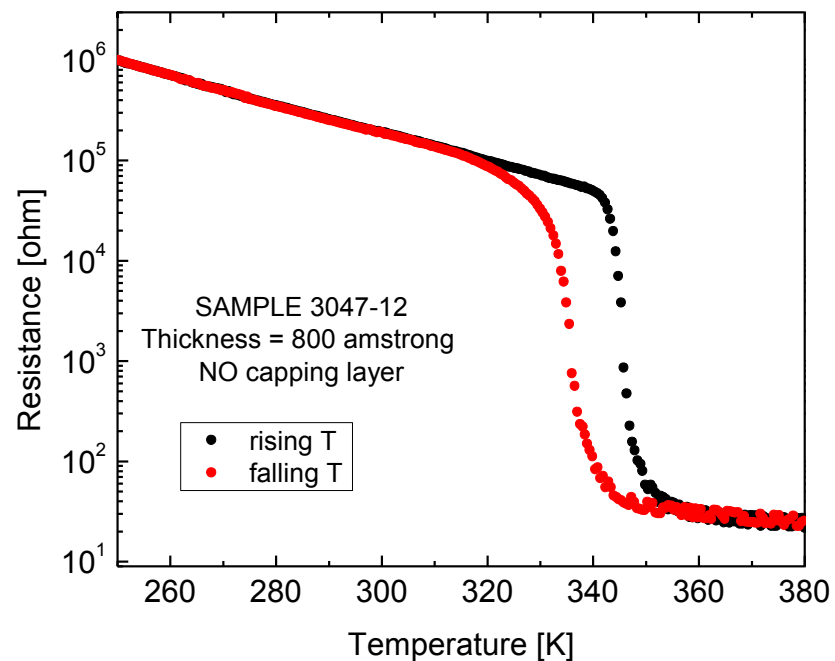


高抵抗

室温

低電界

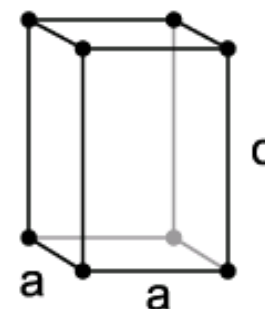
転移温度 =  $\sim 350$  K



金属

正方晶

$a \neq c$



低抵抗

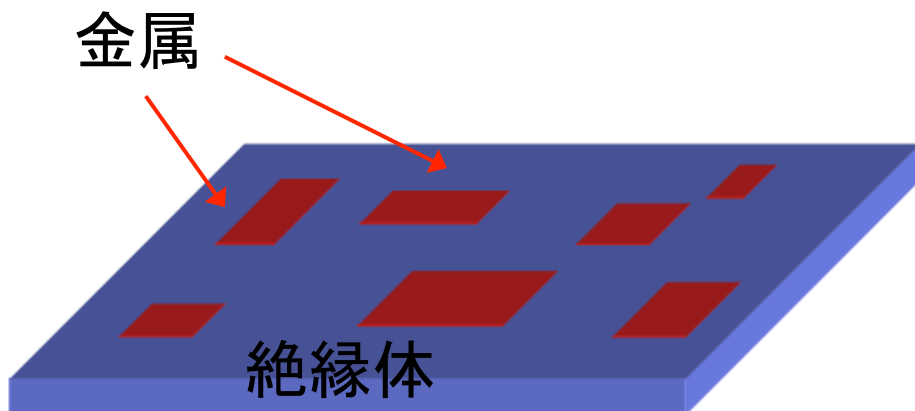
高温

高電界



# ナノ構造における金属-絶縁体転移

薄膜



多数のドメインの生成  
とその拡大

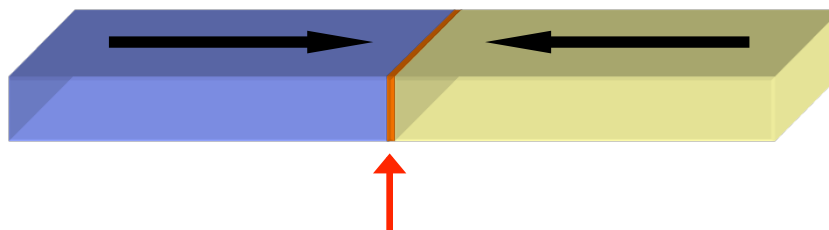
ナノ細線



単一のドメイン壁  
(Domain Wall)



# ドメイン間の境界面 = Domain Wall



Domain Wall (ドメイン壁)

## 分極ドメイン

←  $M$  磁気分極 (強磁性体)

←  $P$  電気分極 (強誘電体)

←  $e$  自発歪 (強弾性体)

## 相ドメイン



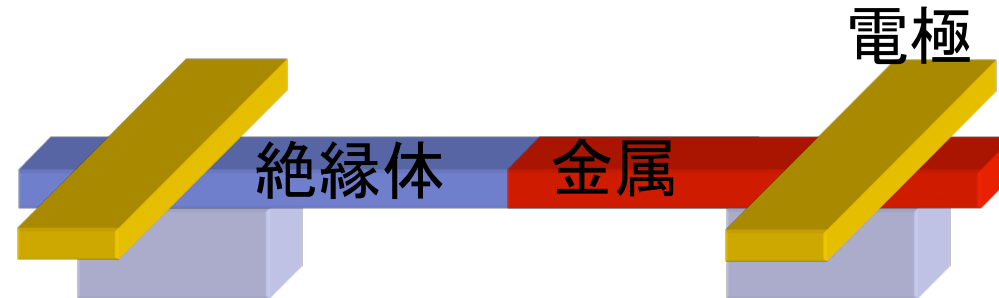
金属



絶縁体



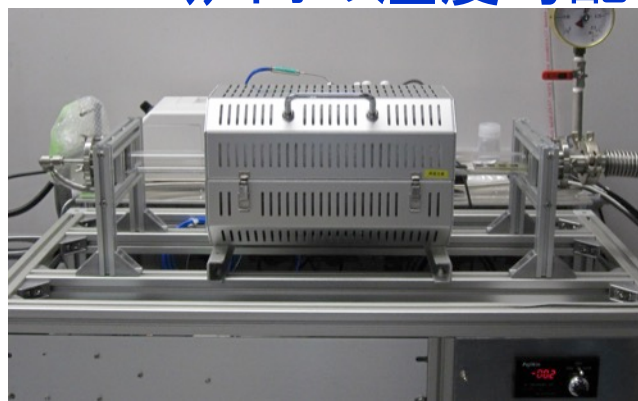
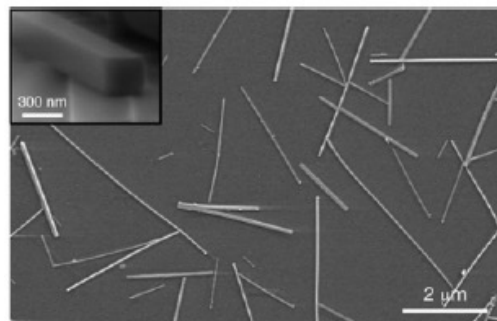
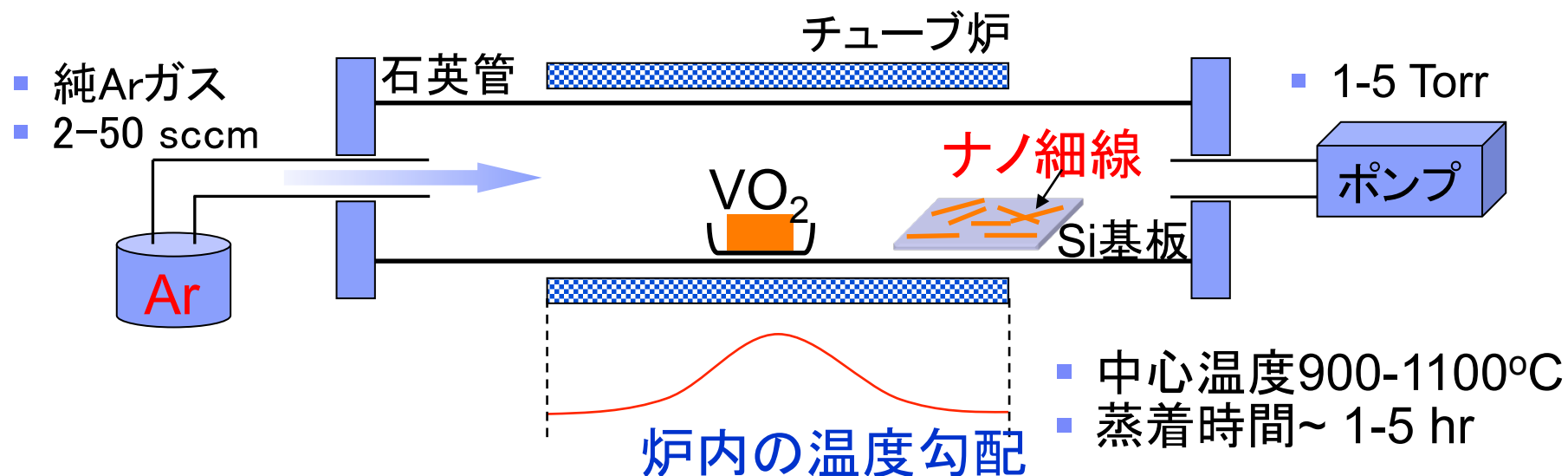
# ナノ細線における単一の金属-絶縁体DW



- 単結晶ナノ細線の作製
- ナノ細線への単一DWの注入
- 電気伝導によるDWの観測



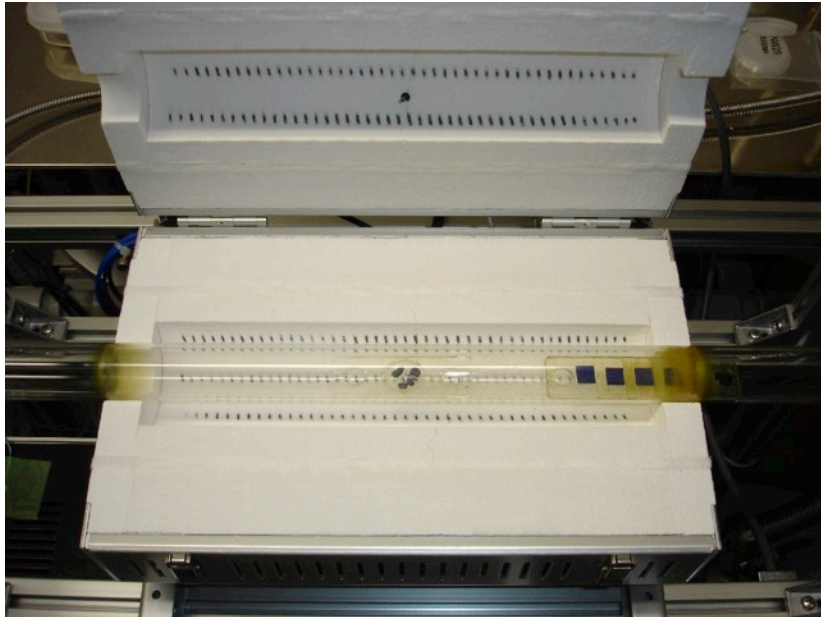
# Vapor Transfer Growthを利用した 単結晶ナノ細線作製



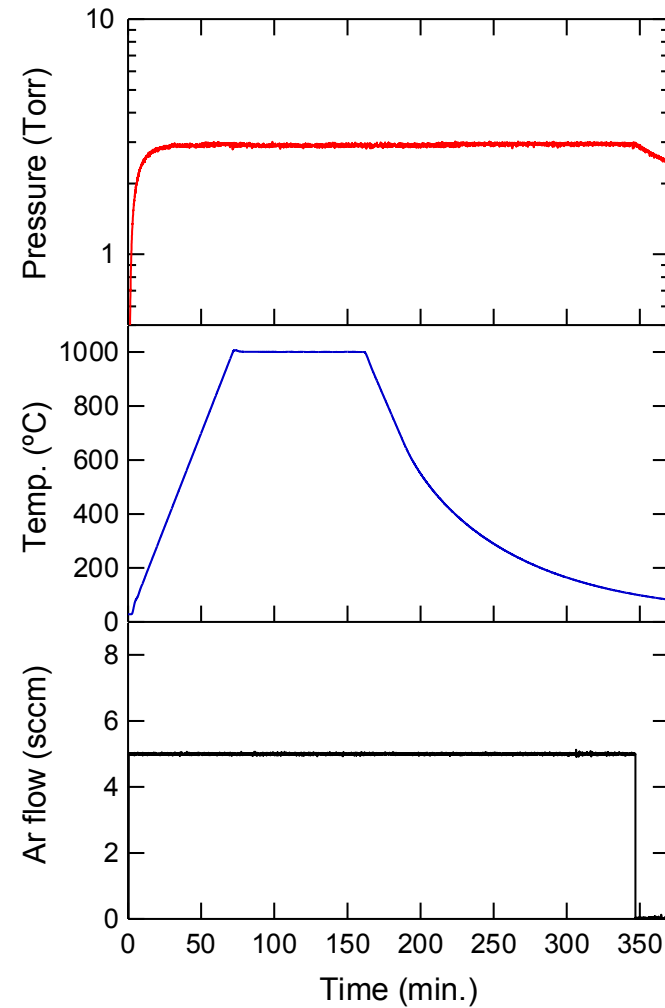
Guiron et al., J. Am. Chem. Soc. 127, 498 (2005)



# 石英管の内部の構造とナノ細線作製時の条件



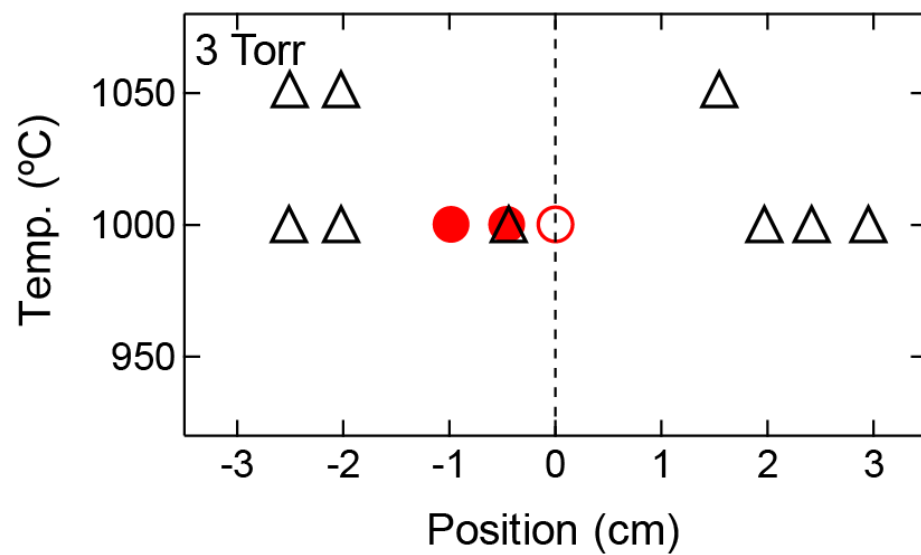
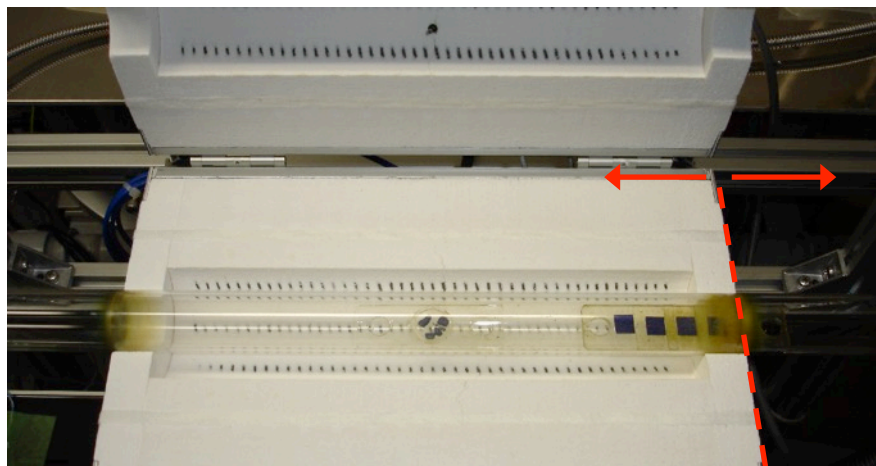
- 温度および真空度を変化させて  
ナノ細線の作製条件を探索  
→ 光学顕微鏡により試料観察





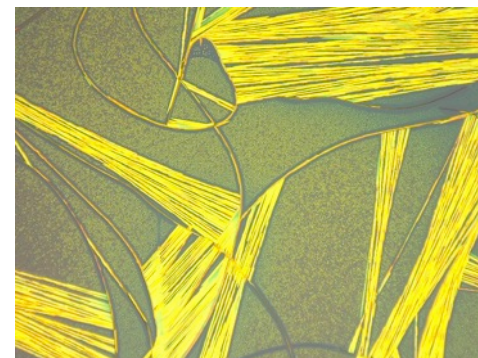


# ナノ細線の作製条件の最適化



1mm<sup>2</sup>領域内のナノ細線の本数

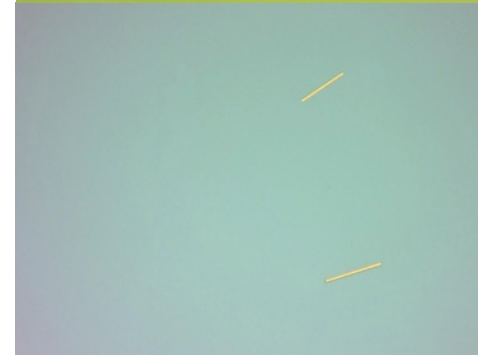
● 束状に成長



○ 10本以上



△ 10本未満

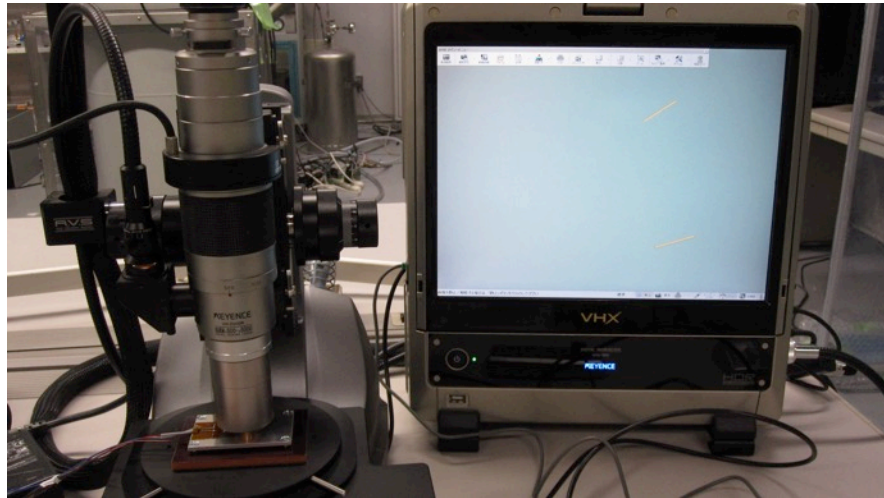


600 μm

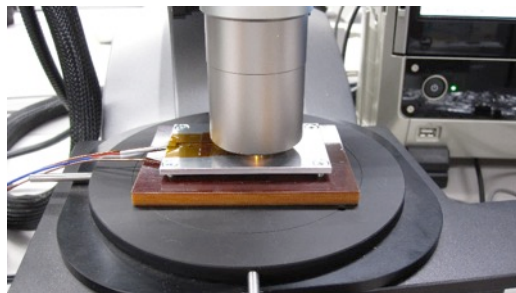




# 高分解光学顕微鏡＋基板温度加熱機構



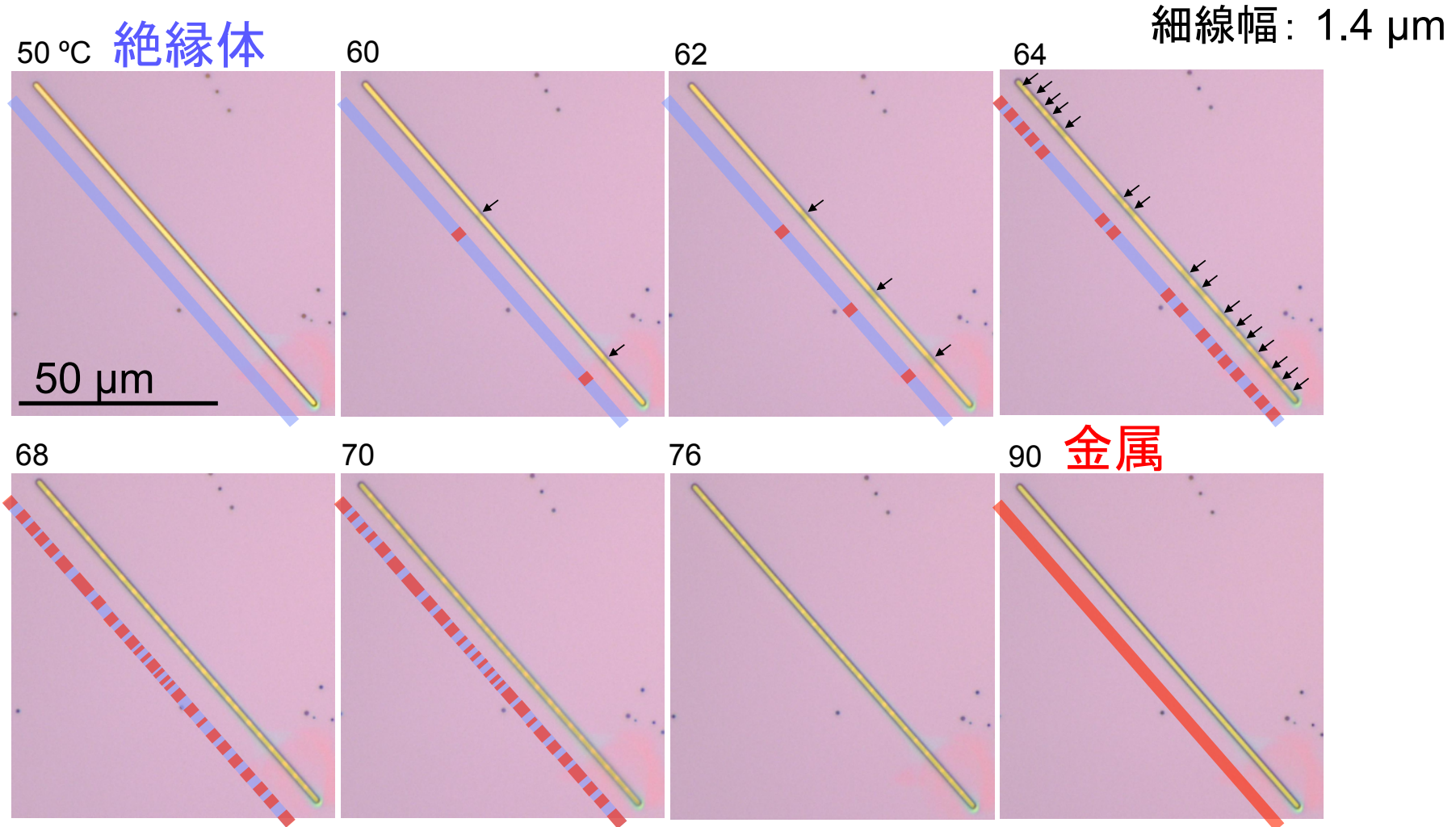
- 基板温度を変化させながら、光学顕微鏡で観測。



基板ヒーター(室温～300°C)



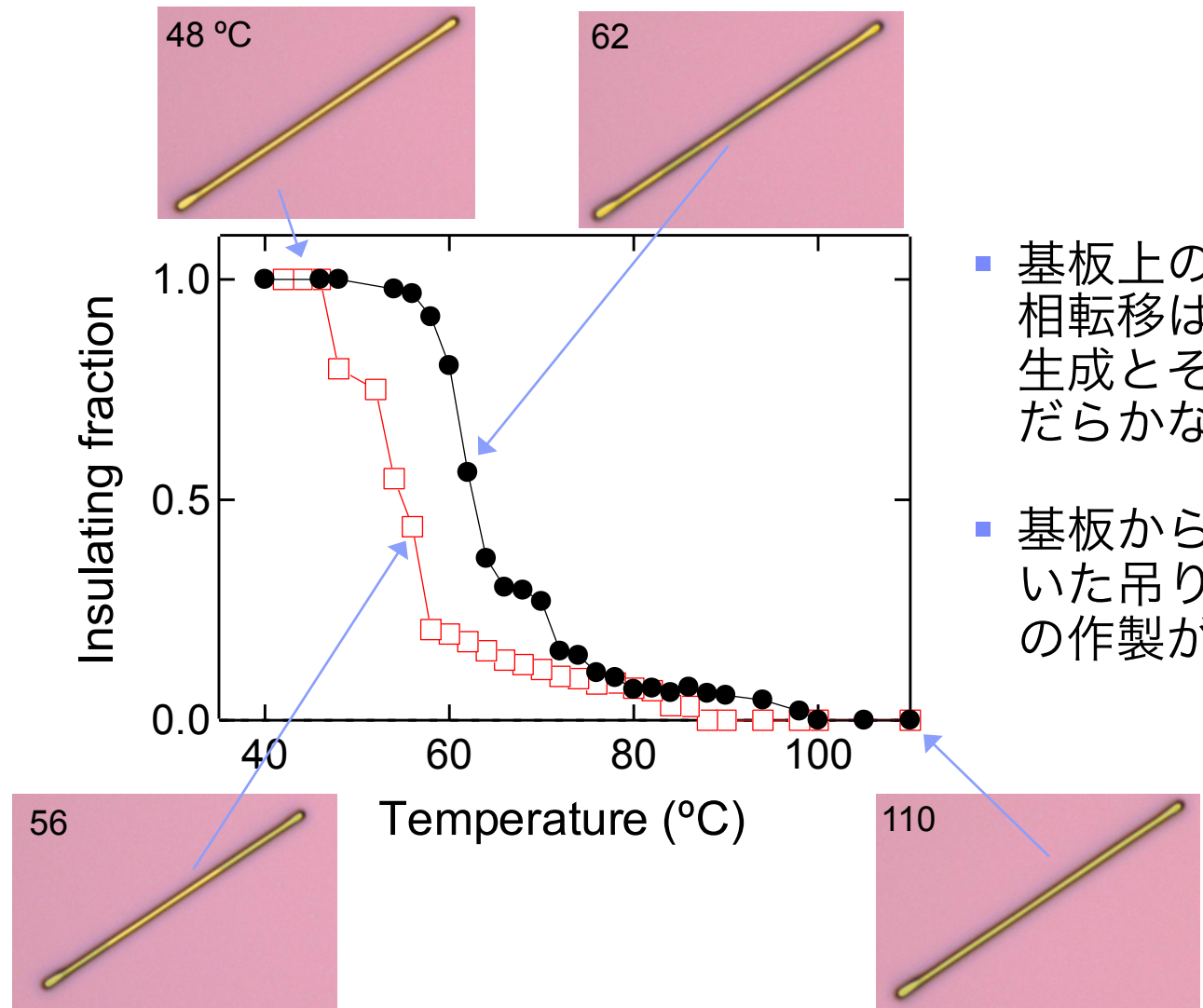
# 光学顕微鏡による金属-絶縁体転移の観測(歪あり)



- Si基板からの歪を受けている→ストライプドメイン構造による相転移



# 光学顕微鏡を用いて相転移温度を見積もる(歪あり)

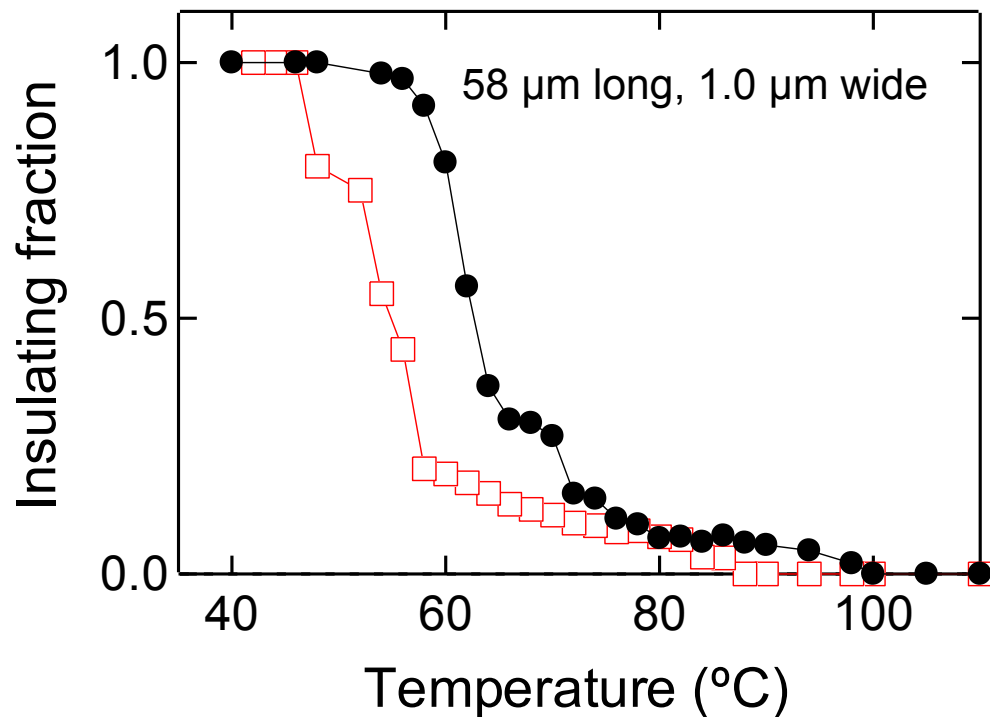


- 基板上的のナノ細線では、相転移は複数ドメインの生成とその拡大によるなだらかな変化を示す。
- 基板からの影響を取り除いた吊り下げ構造の細線の作製が必要。

長さ58  $\mu\text{m}$ 、幅1.0  $\mu\text{m}$

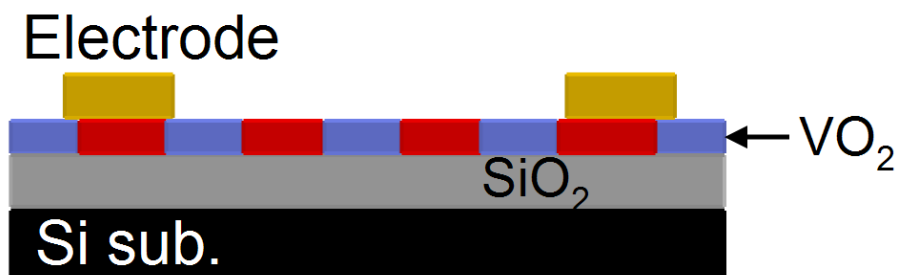


# 光学顕微鏡を用いて相転移温度を見積もる(歪あり)



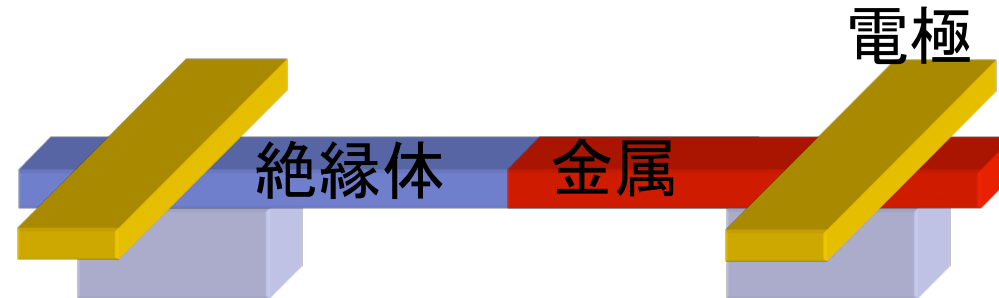
- ならかな金属-絶縁体転移
- ヒステリシスを伴った相転移

多数ドメイン構造  
→ 基板からの歪





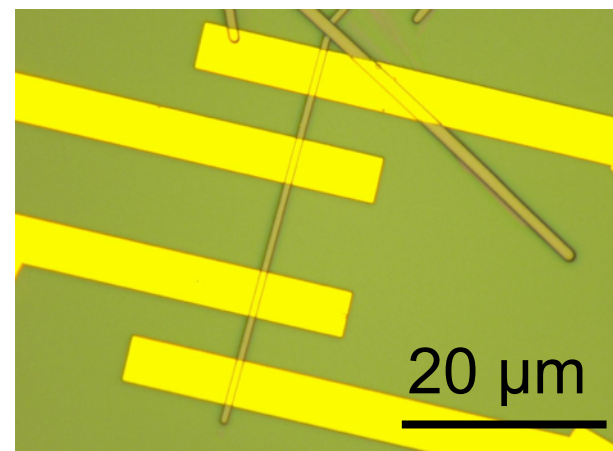
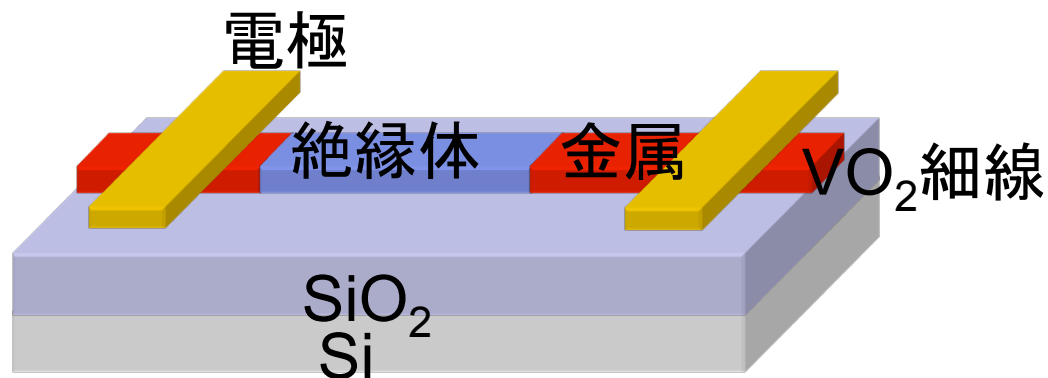
# ナノ細線における単一の金属-絶縁体DW



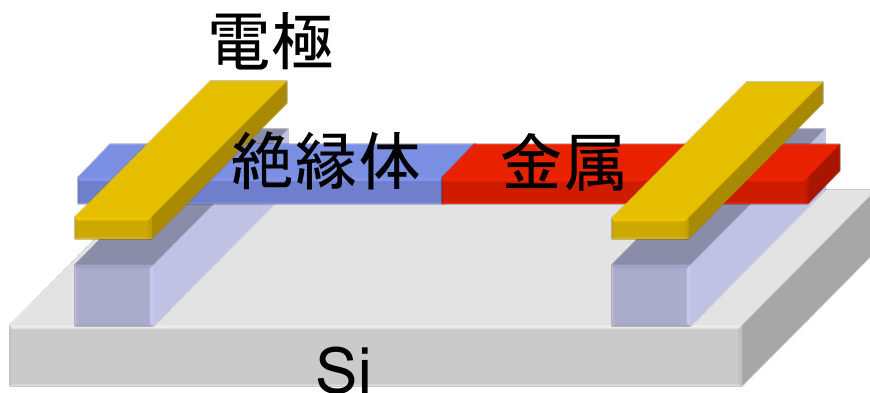
- 単結晶ナノ細線の作製
- ナノ細線への単一DWの注入
- 電気伝導によるDWの観測



# つり下げ構造をもつナノ細線の作製



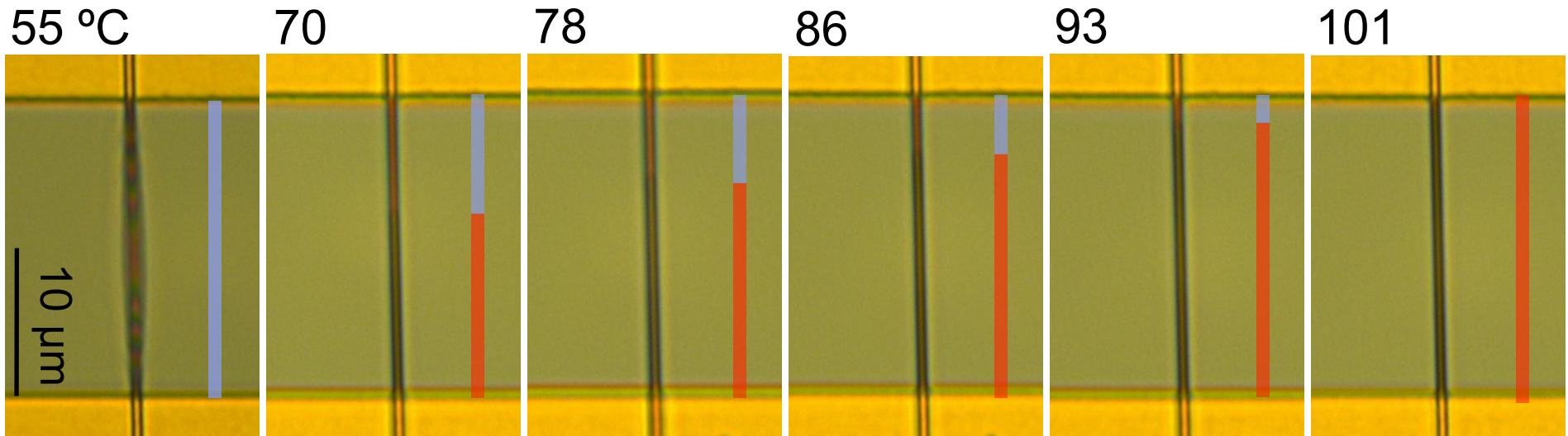
電極をマスクとして  
バッファードフッ酸処理



- Au/Cr電極作製
- バッファードフッ酸処理
- 超純水→IPA→Hexane→N<sub>2</sub>乾燥



# 単一DW駆動による金属-絶縁体転移



Insulator

細線幅: 400 nm

Metal

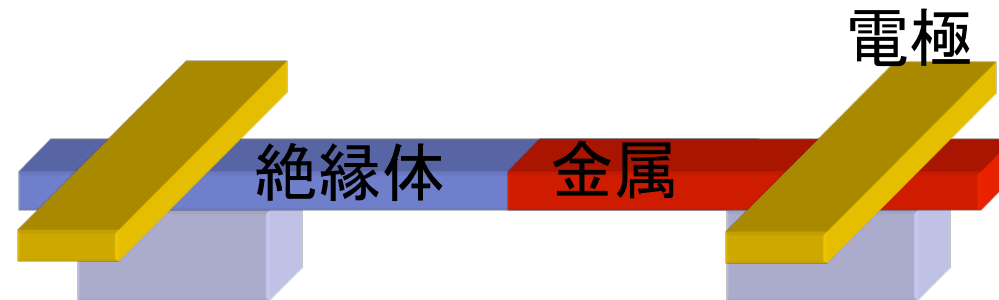


■ 単一DWの運動によるM-I転移





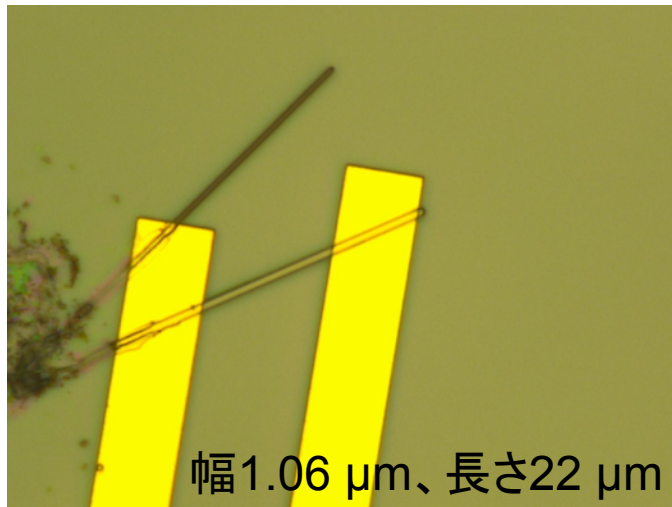
# ナノ細線における単一の金属-絶縁体DW



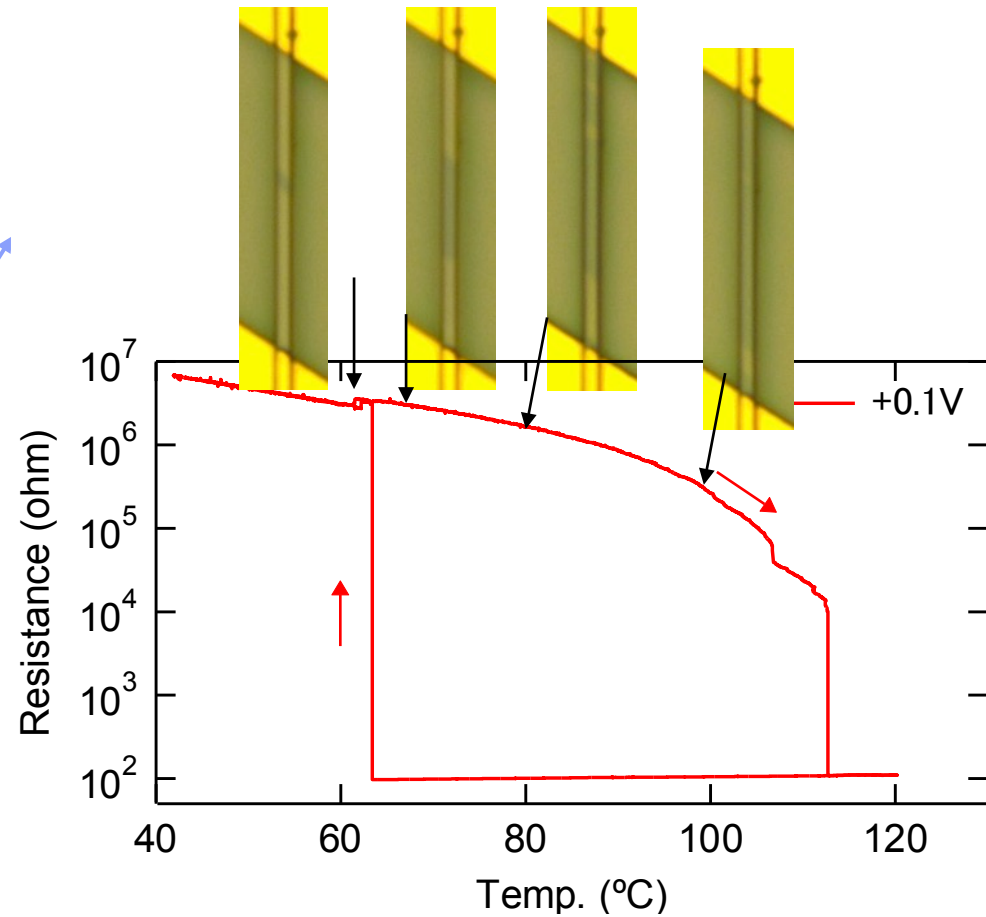
- 単結晶ナノ細線の作製
- ナノ細線への単一DWの注入
- 電気伝導によるDWの観測



## 結果3：電気伝導による金属-絶縁体転移の評価

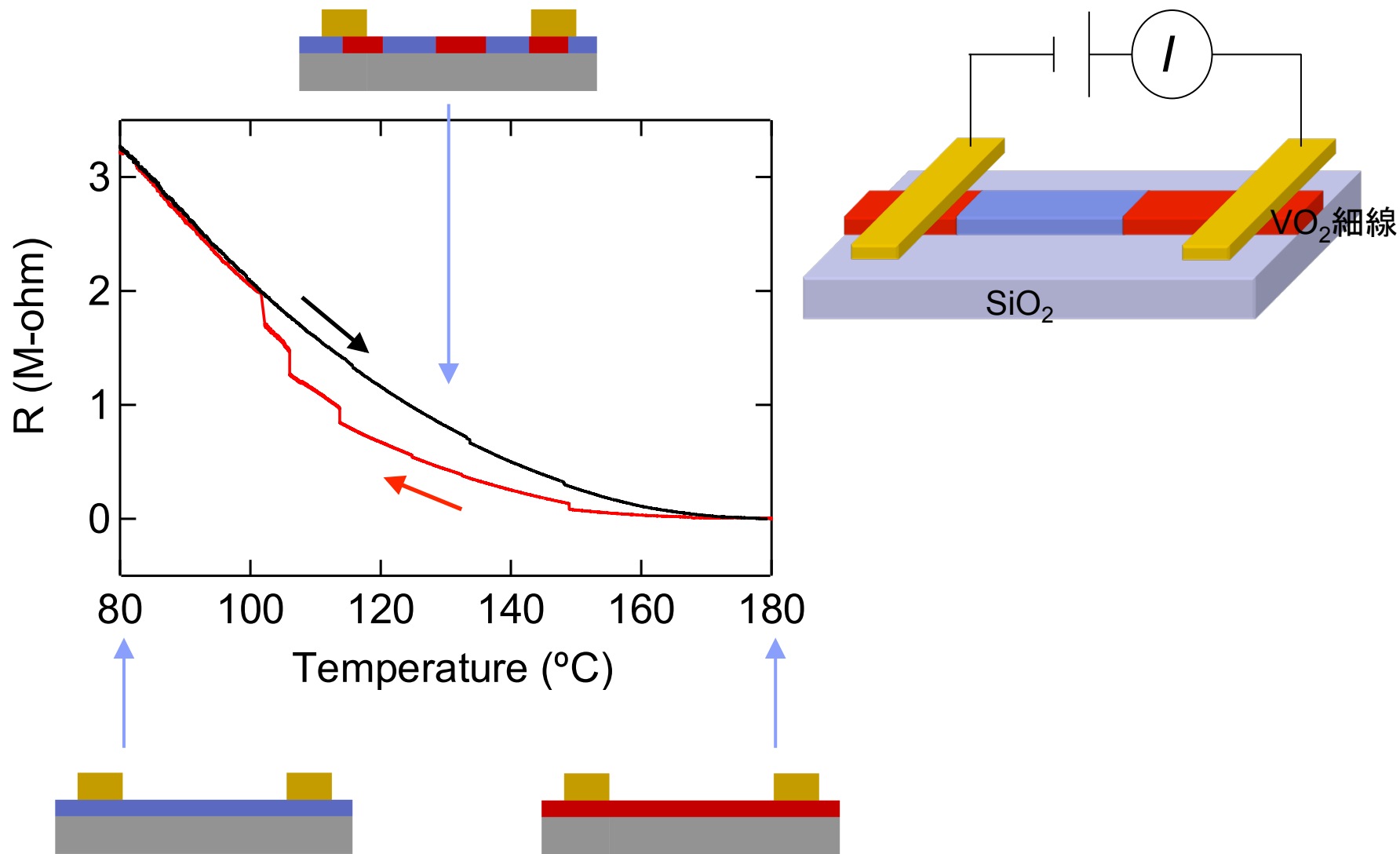


- 4桁を超える抵抗変化を観測
- 基板からの歪の影響によるマルチドメインの生成



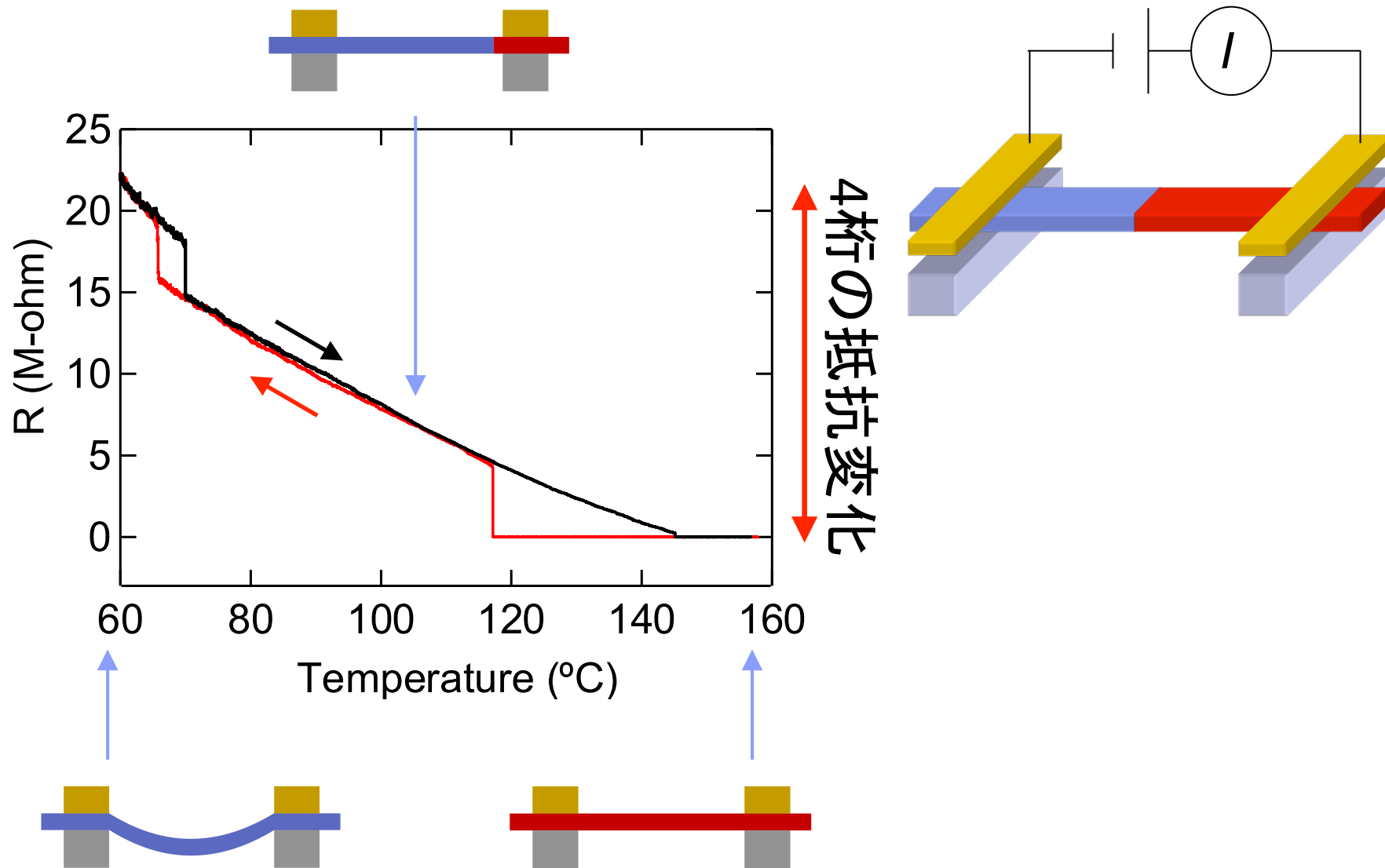


# 電気伝導による金属-絶縁体転移の検出(歪あり)





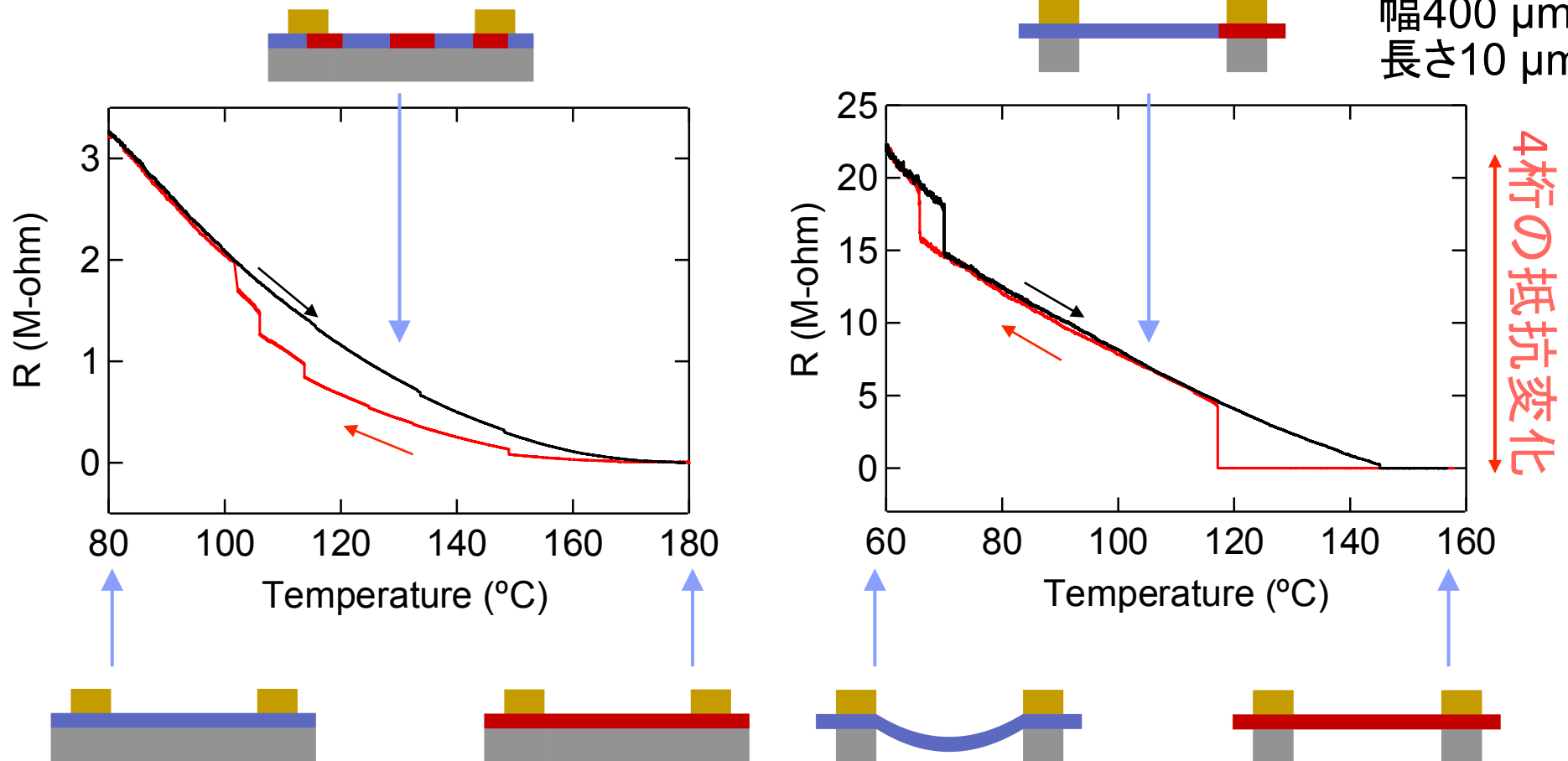
# 電気伝導による金属-絶縁体転移の検出(歪なし)





# 電気伝導による金属-絶縁体転移の評価

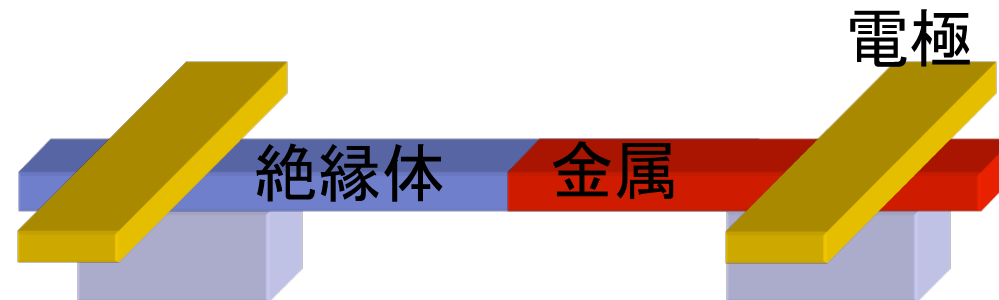
幅400  $\mu\text{m}$   
長さ10  $\mu\text{m}$



- 抵抗測定によりDWの位置を数十nmの精度で検出できる



# 酸化物ナノ細線における単一の金属-絶縁体 境界面の運動と相転移



- 高品質な酸化バナジウム単結晶ナノ細線の作製
- 吊り下げ構造デバイスにおける単一ドメインの実現
- 抵抗測定による単一DWの運動の観測



## 今後の展望

スマートウインドウなどの窓材への応用

