

球状ヘテロエピタキシャル ナノギャップ電極を用いた 単分子トランジスタ

東京工業大学 科学技術創成研究院
フロンティア材料研究所
教授 真島 豊

2020年2月13日

従来技術とその問題点

白金表面への無電解金めっき(医療用途、車載用途)、
パラジウム表面への無電解金めっき(電子部品用途)は、

基板の制限(単結晶)

めっきが進行しない(前処理)

密着性

大きな接触抵抗

耐熱性

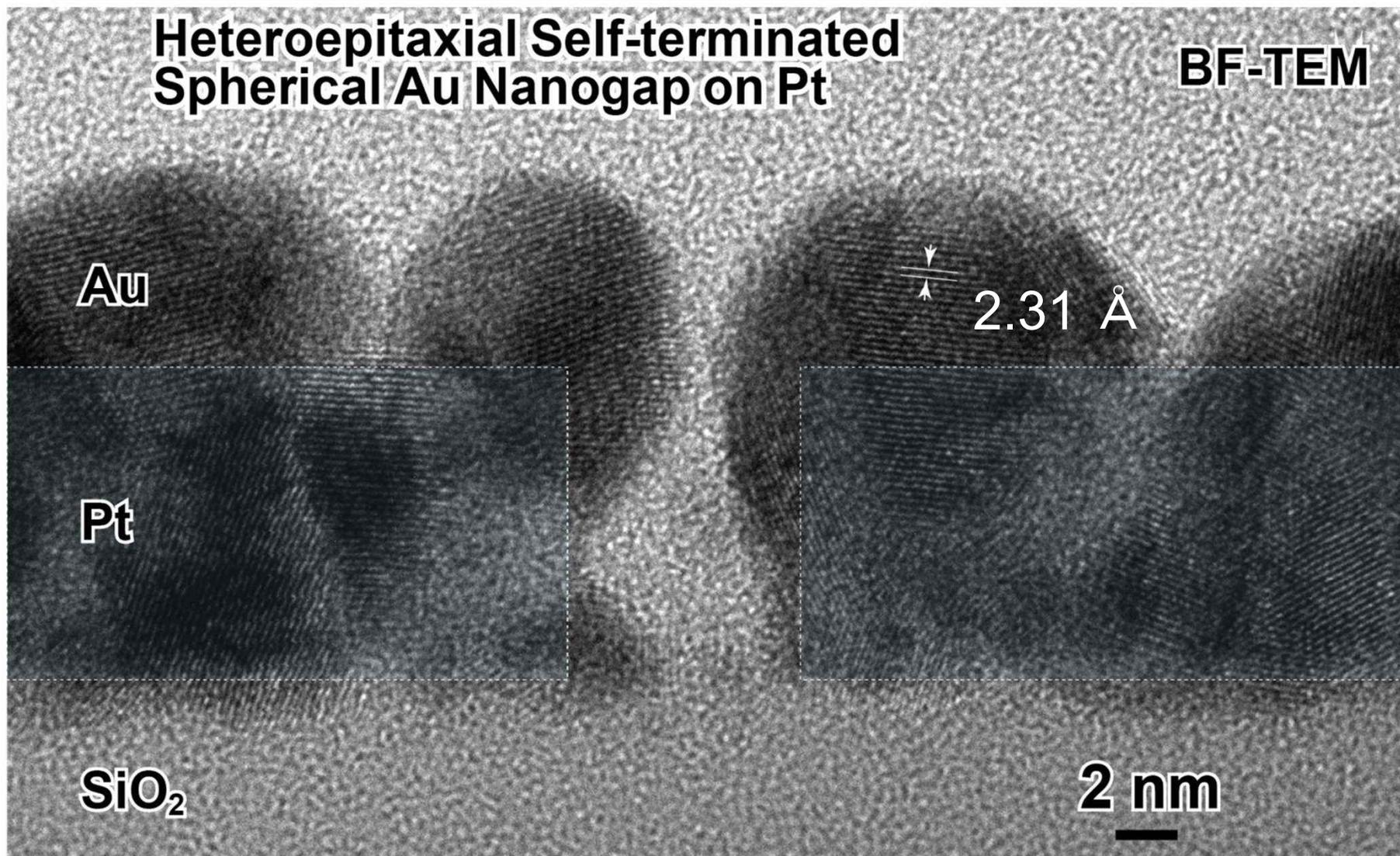
信頼性

等の問題があり、広く利用されるまでには至っていない。

EBLと無電解金メッキによりPt表面に 半球状にヘテロエピタキシャル成長させたAuを有する ナノギャップ電極チップ

x1**x100****x100,000****Nanogap Chip****Electrode Pad****HS-Au/Pt Nanogap****Source****Drain****10 mm****100 μm** **20 nm**

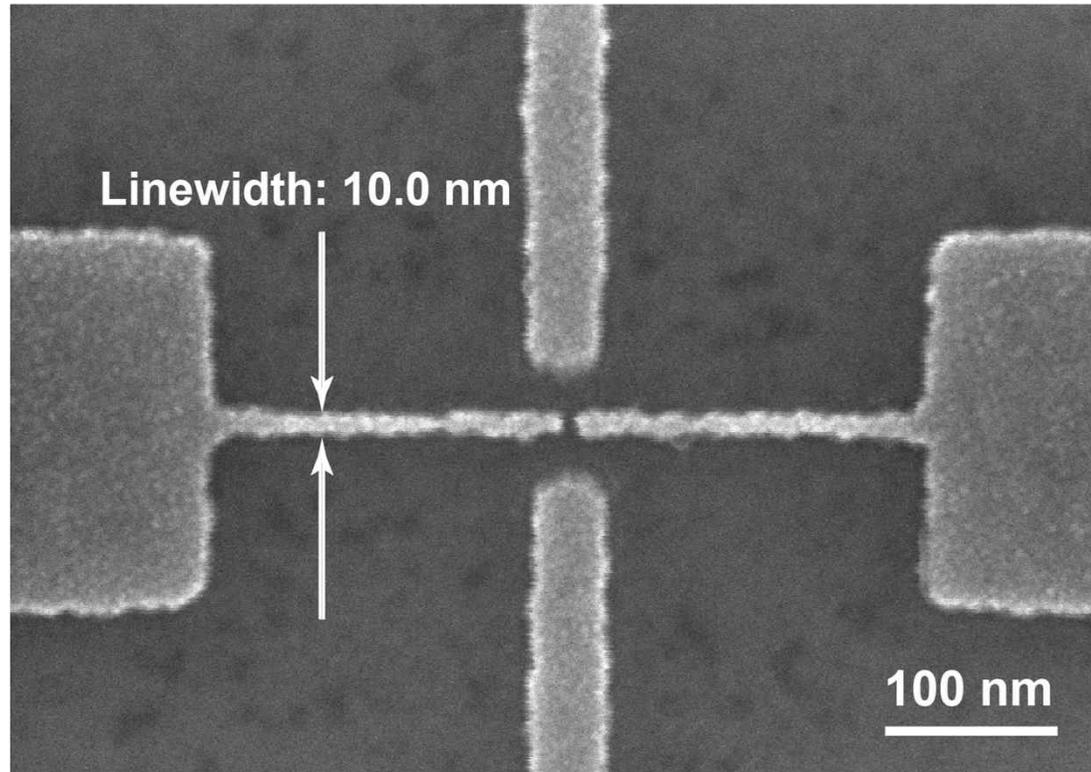
多結晶Pt電極母構造表面への無電解金めっきの BF-TEM断面拡大図



自己停止機能により、短絡無く、球状ナノギャップを作製

Ptによる超微細ナノギャップ電極母構造

電子ビームリソグラフィ (EBL) により形成



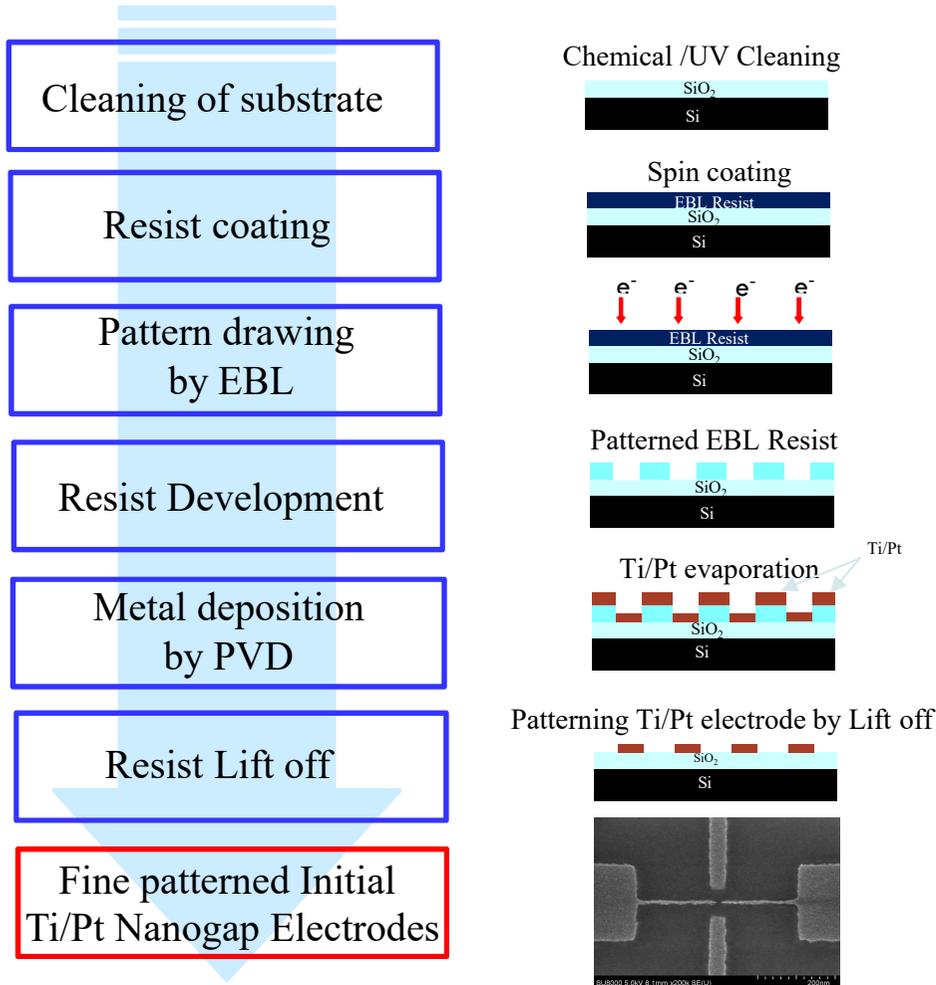
Electrodes' line width 10 nm

- High melting point
 $T_m(\text{Pt})=1768^\circ\text{C}$, $T_m(\text{Au})=1064^\circ\text{C}$
- Low surface diffusion coefficient
 $D_0(\text{Pt-Au})=0.0209$, $D_0(\text{Au-Au})=0.117$

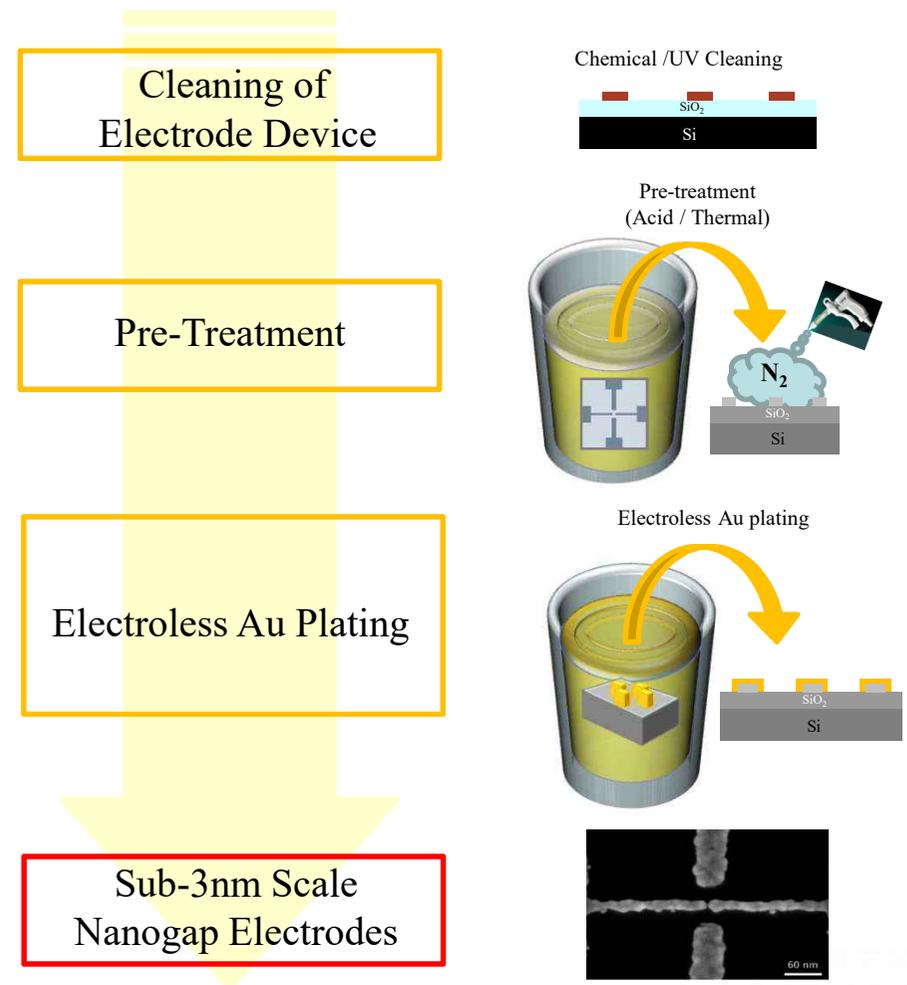
Yoon Young Choi et al., *Appl. Phys. Express* **12** 025002 (2019)

Pt母構造表面への無電解金メッキによる ナノギャップ電極の製造工程

● Electrode Patterning Process by Electron Beam Lithography (EBL)



● Nanogap Control Process by Electroless Au Plating (ELGP)

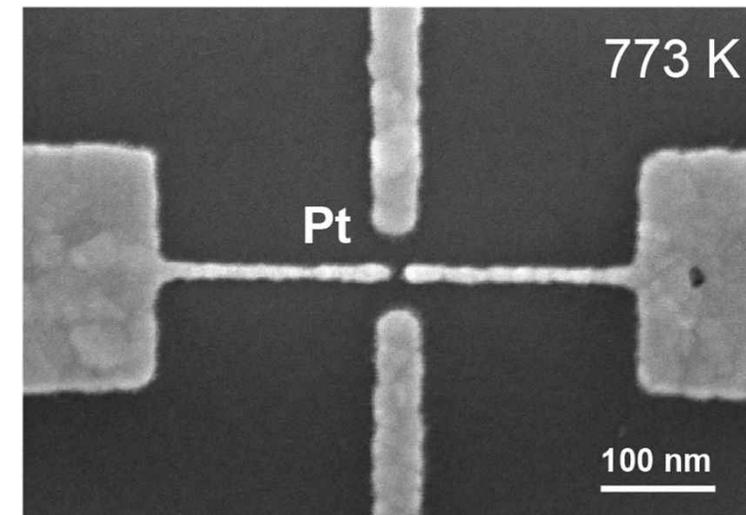
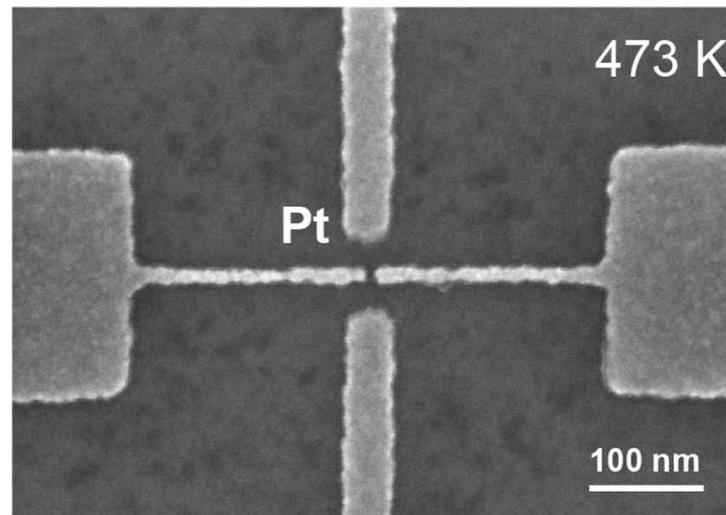
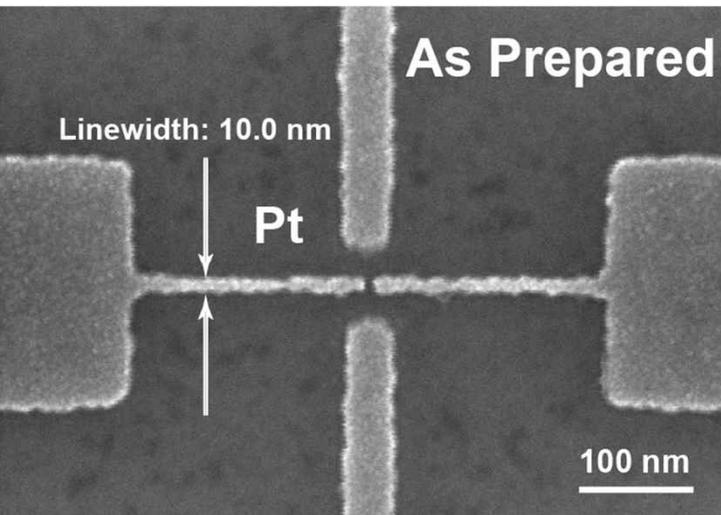


無電解金めっき(ELGP)プロセスは、ウエハサイズで可能

Ptによるナノギャップ電極母構造の耐熱性

基盤技術: 線幅10 nm、ギャップ長10 nmの白金下地金属パターン

Anneal by furnace in a vacuum for 2 hours

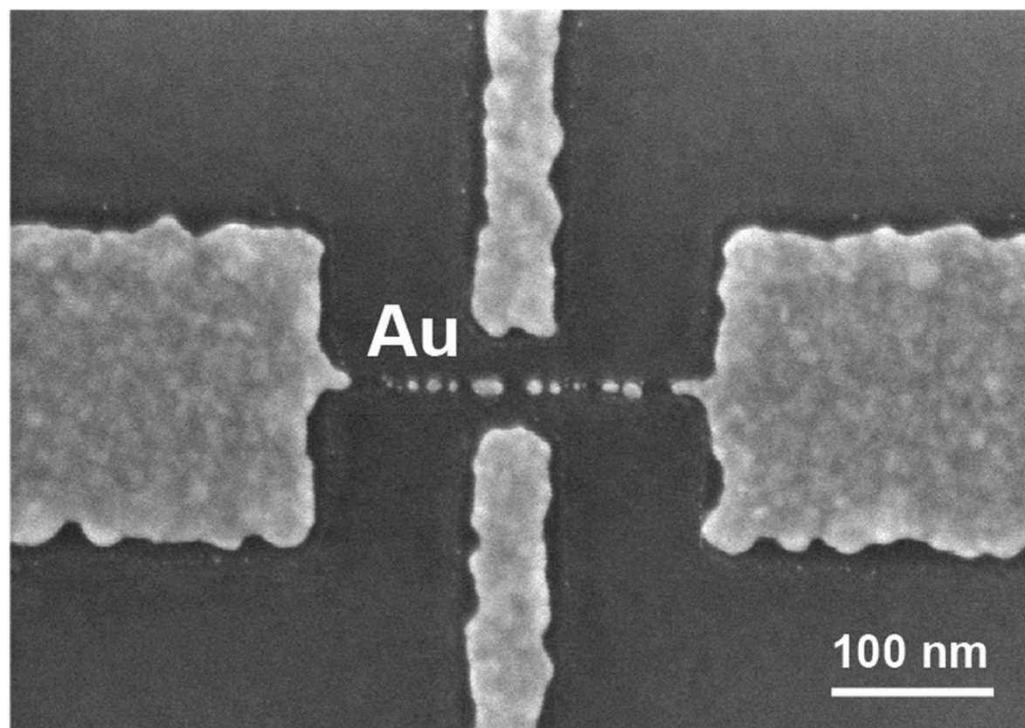


耐熱性500°C

従来技術

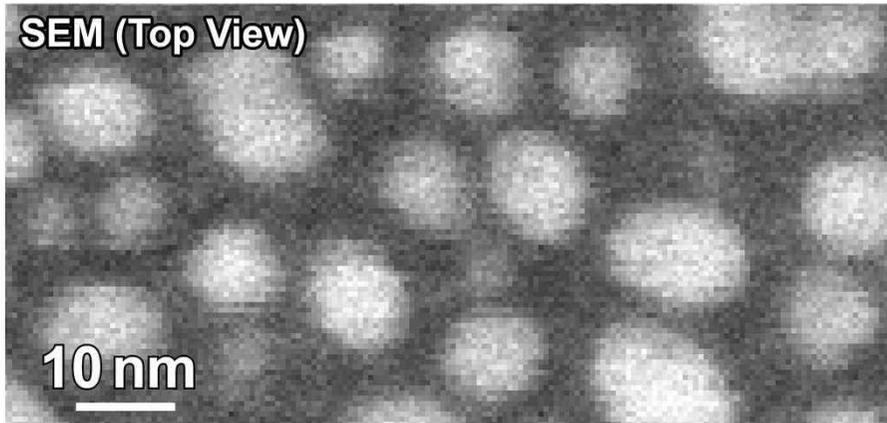
Auのみで形成したナノギャップ電極

室温においてすらレイリー不安定性により
矩形形状から粒滴状に変容

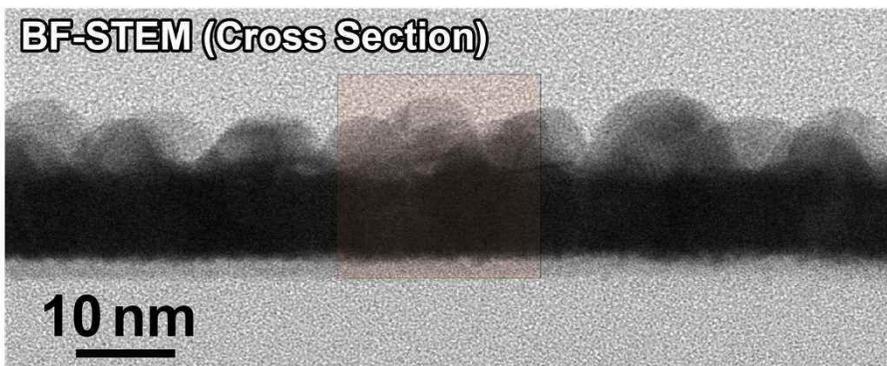


室温で細線構造を維持できない

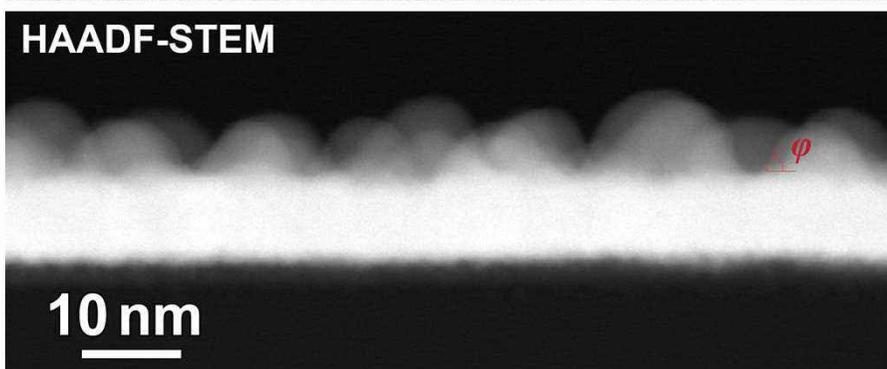
多結晶Pt表面への無電解金メッキ (Electroless Au Plating : ELGP)



Isolated granular structures



Overlapped hemispheric gold islands



EDSによる元素マッピング 多結晶Pt表面へのELGP

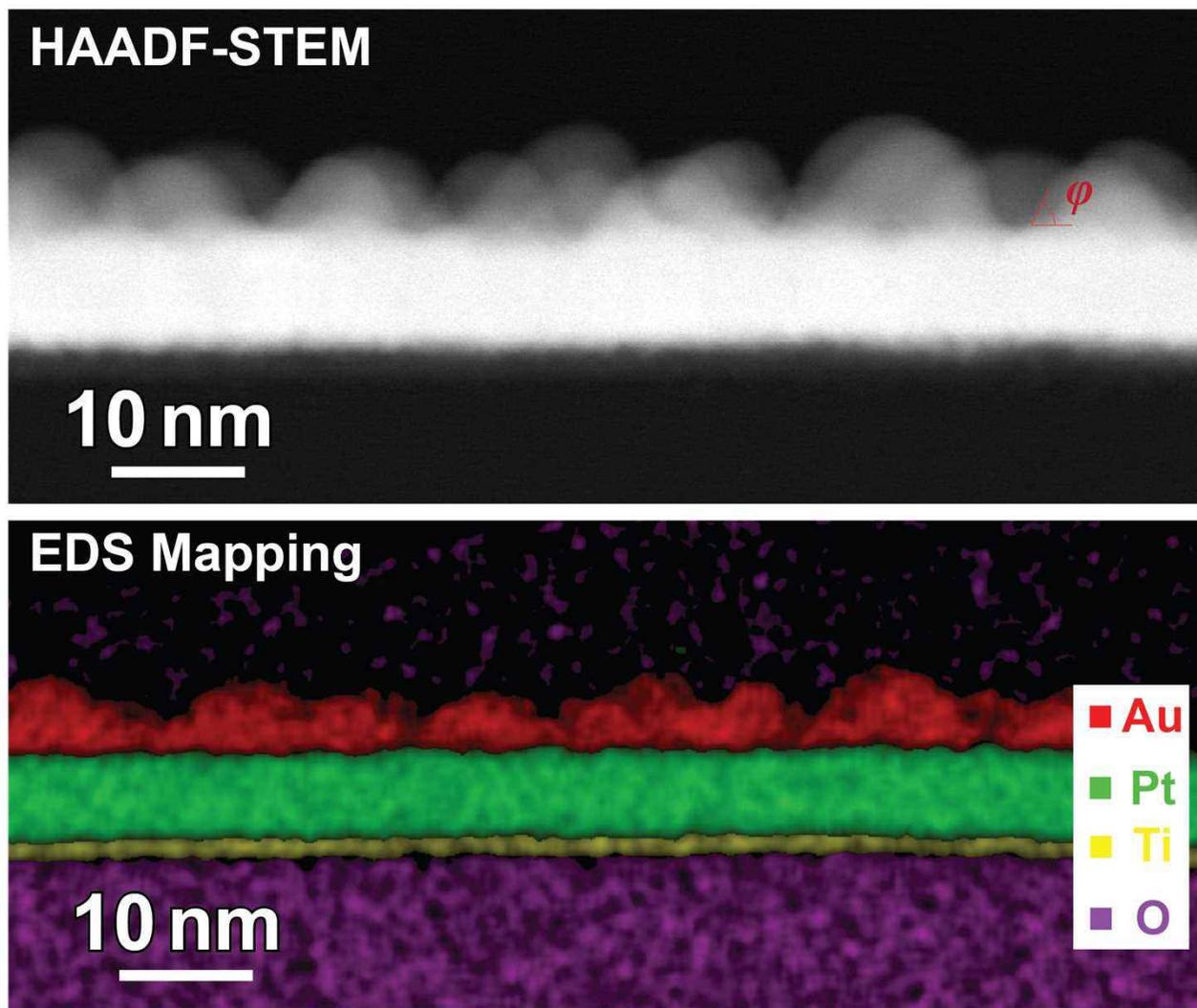
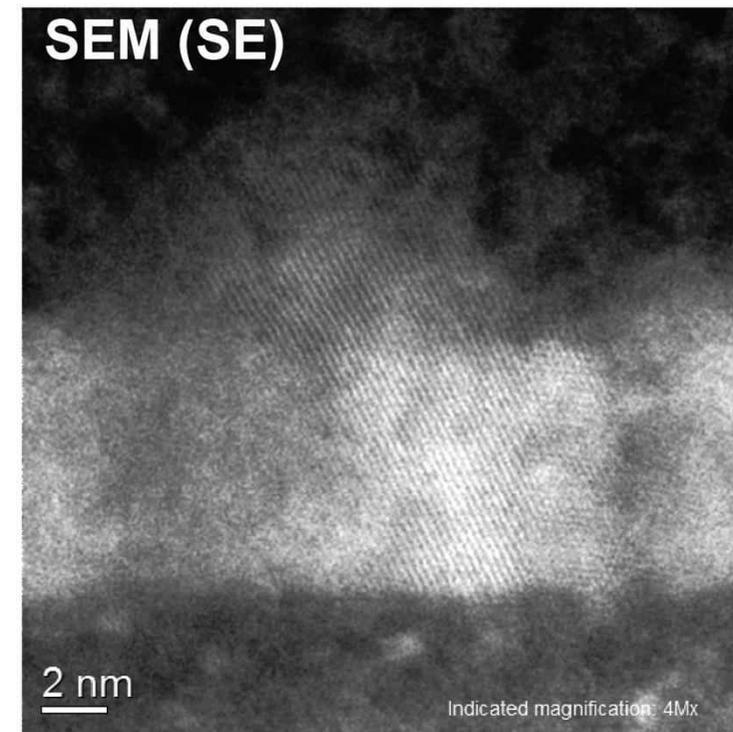
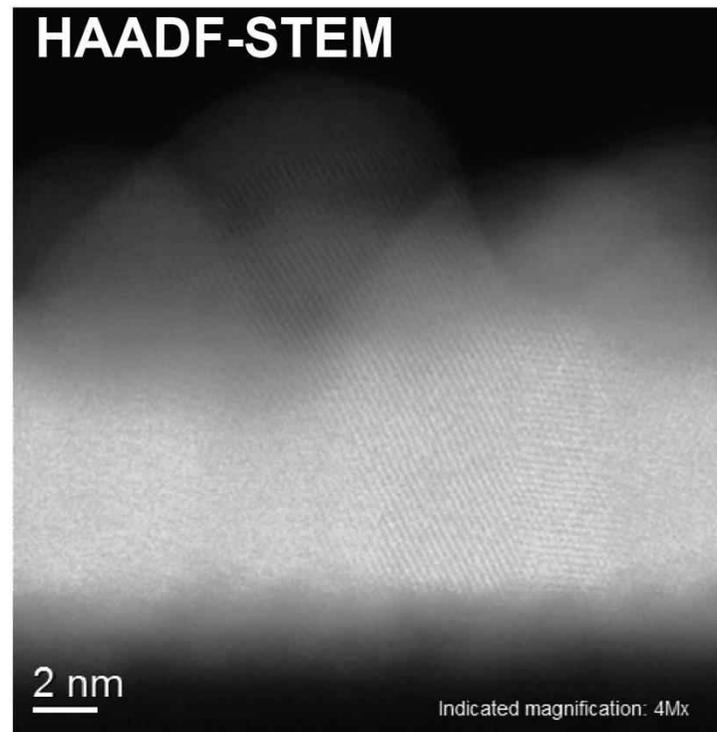
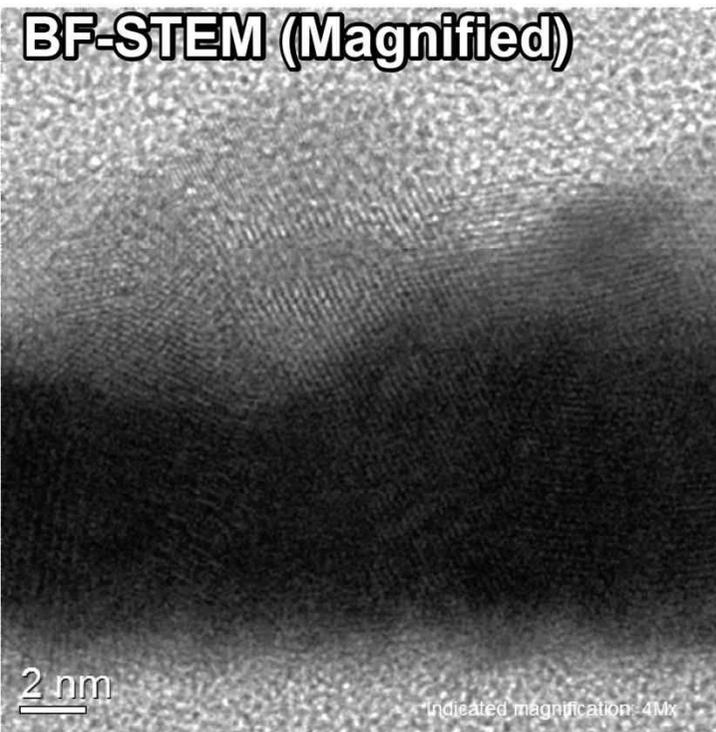


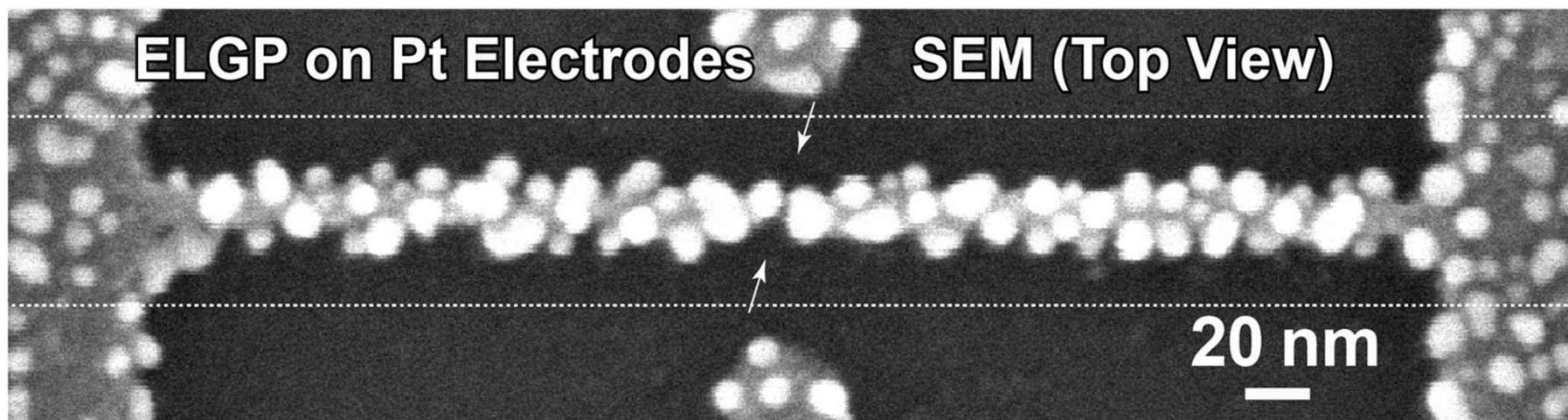
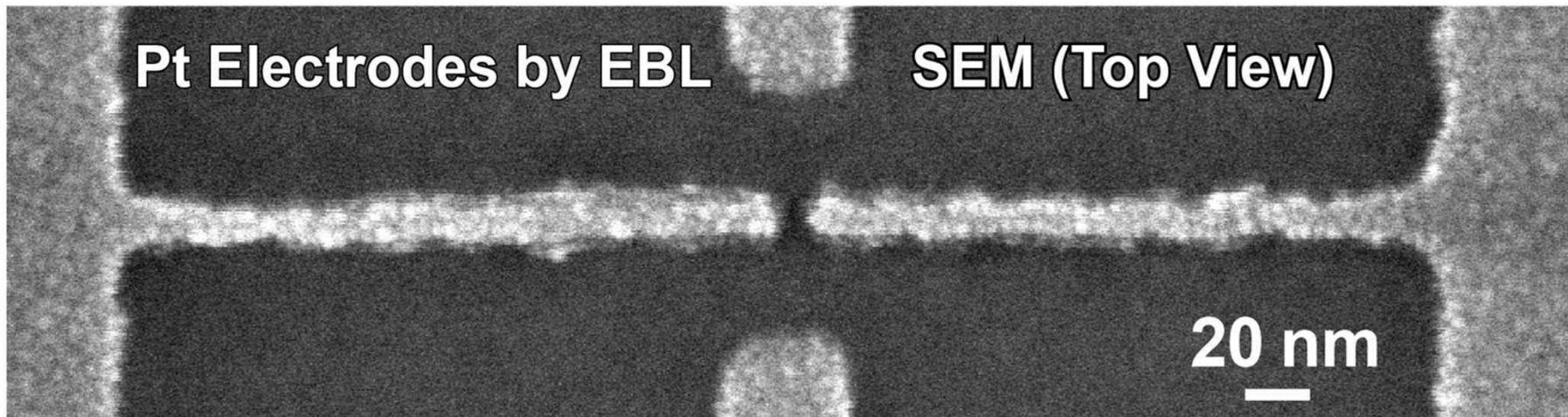
図12.2.2

ELGPにより多結晶Pt表面で Auがヘテロエピタキシャル成長

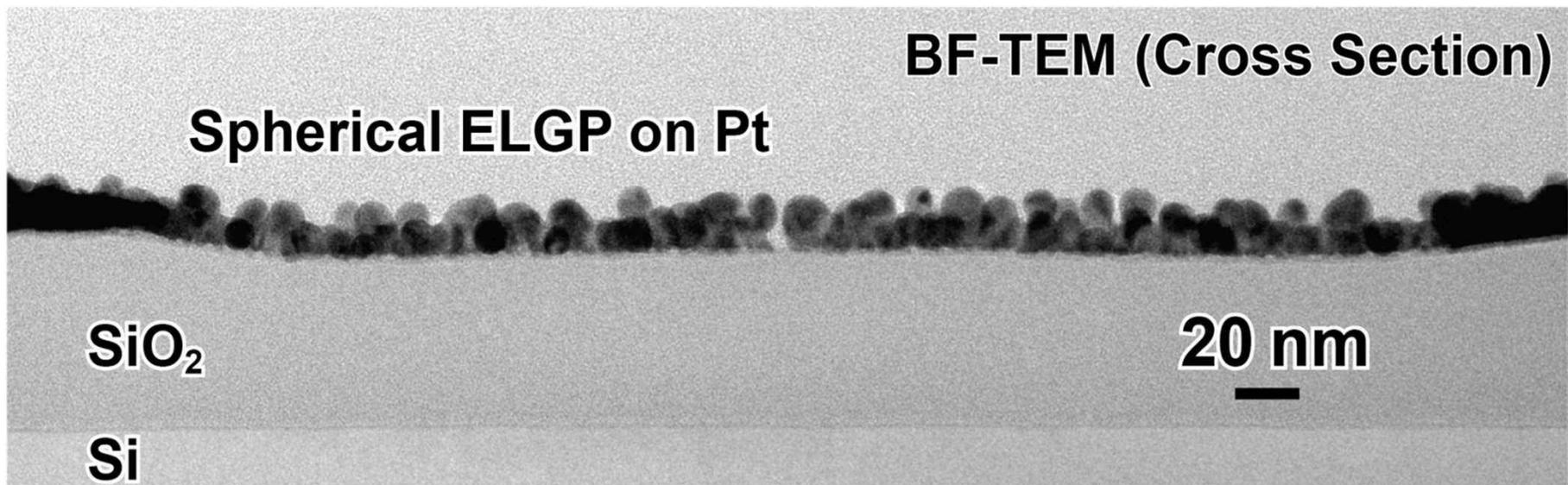
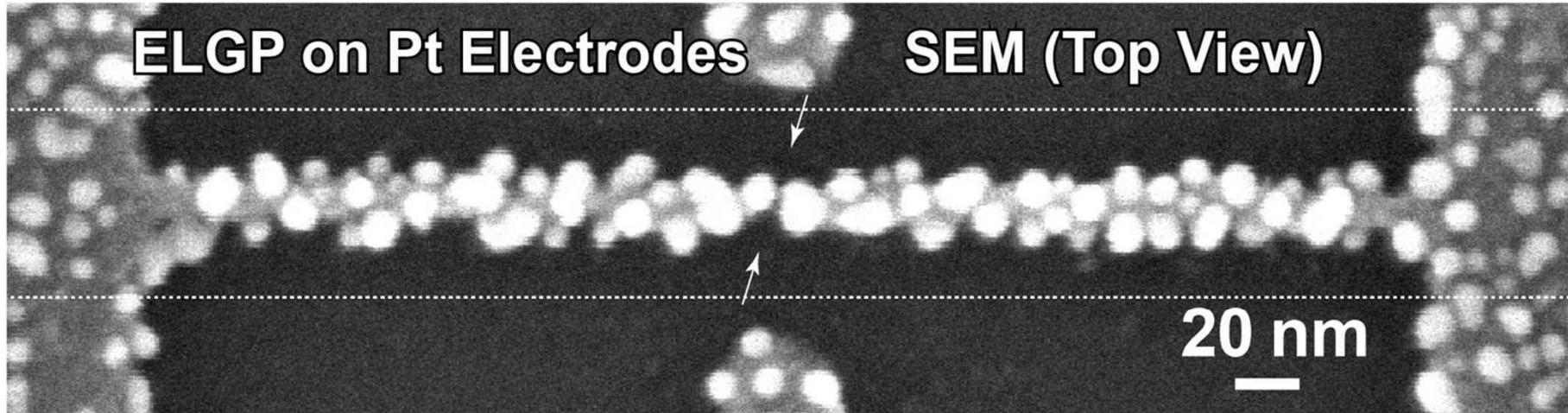


**Heteroepitaxial Au growth on polycrystalline Pt surface
by ELGP process confirmed**

多結晶Pt電極母構造へのELGP

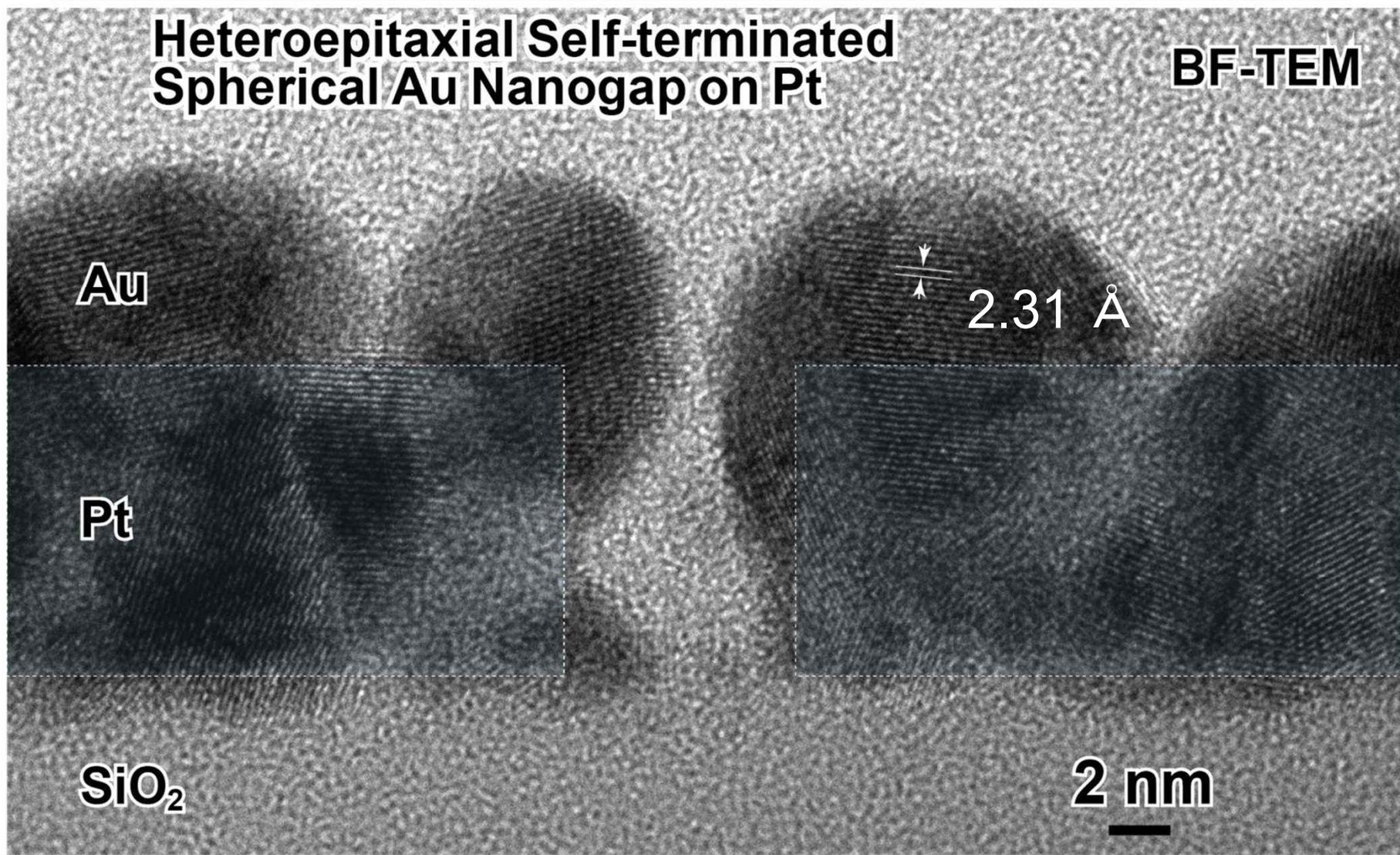


BF-TEM断面画像 多結晶Pt電極母構造へのELGP



BF-TEM断面の拡大画像

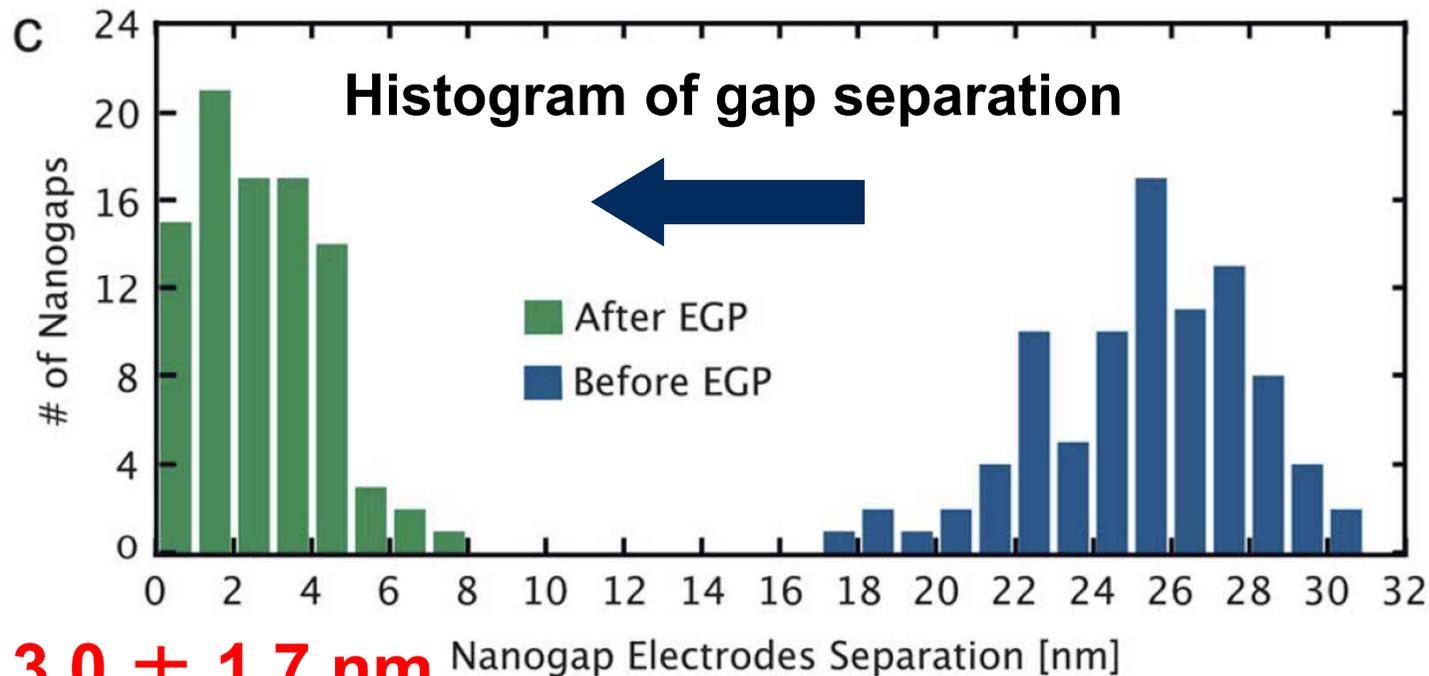
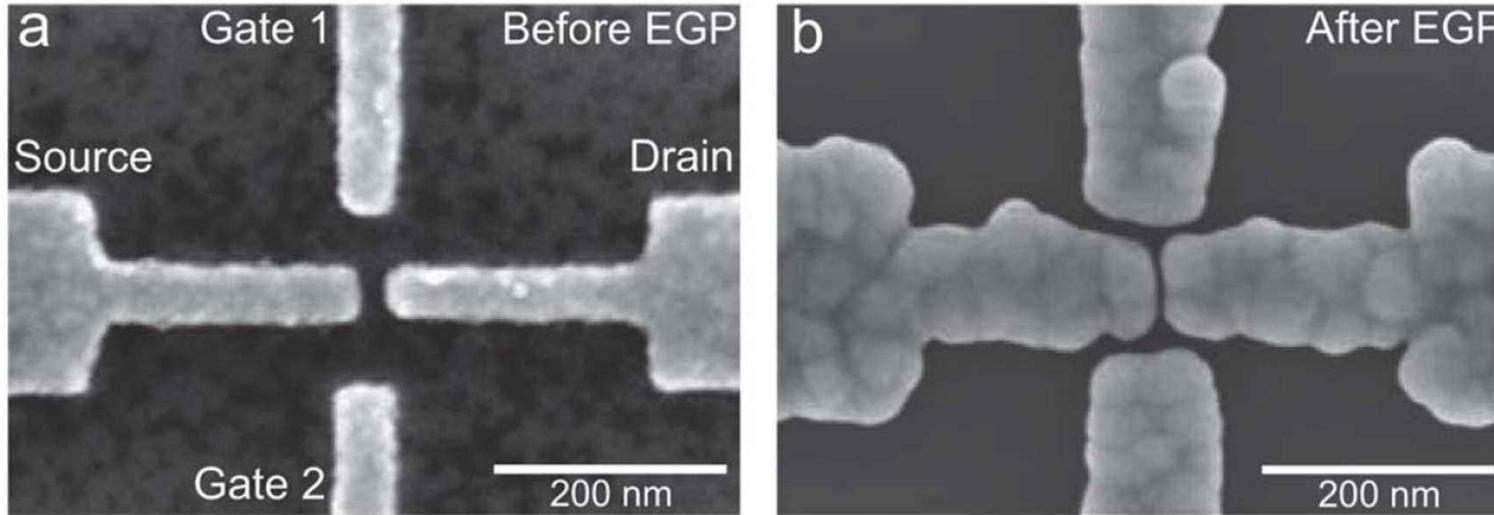
球状ヘテロエピAu/多結晶Ptナノギャップ電極



Lattice plane distance of Au(111): 2.35 Å

Appl. Phys. Express 12 025002 (2019)

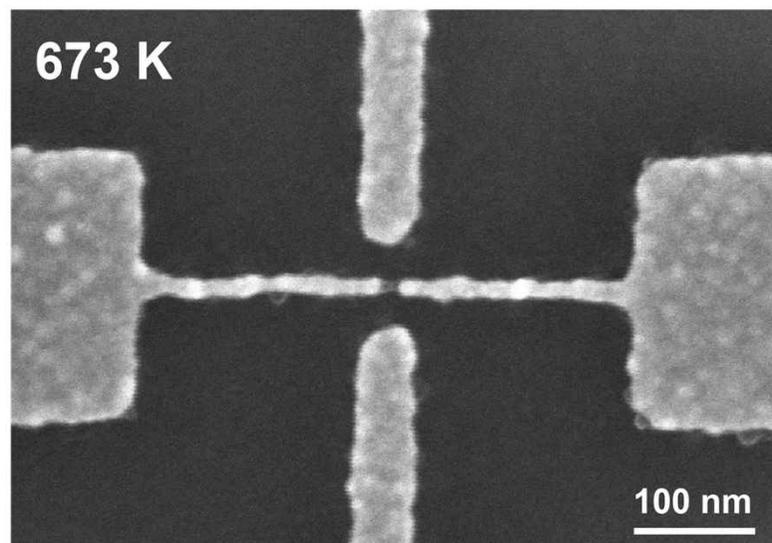
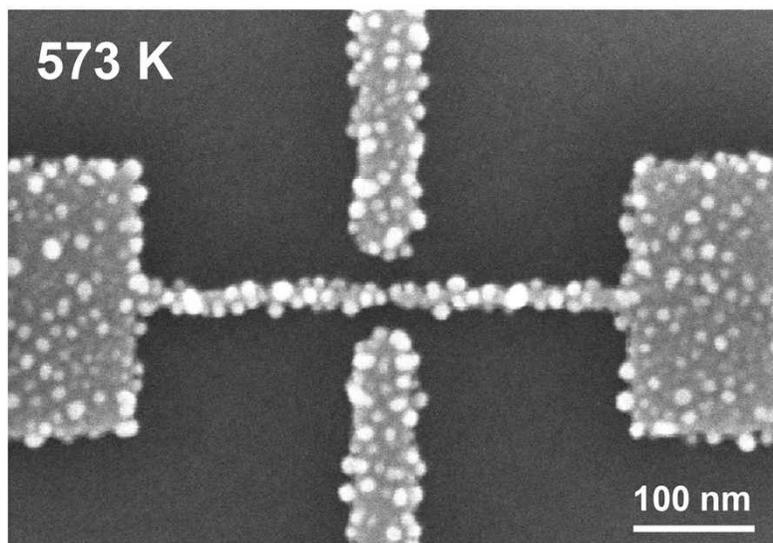
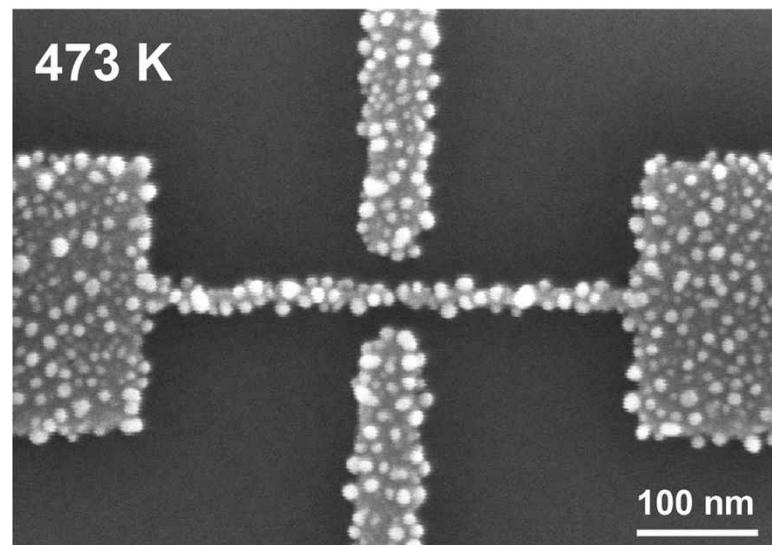
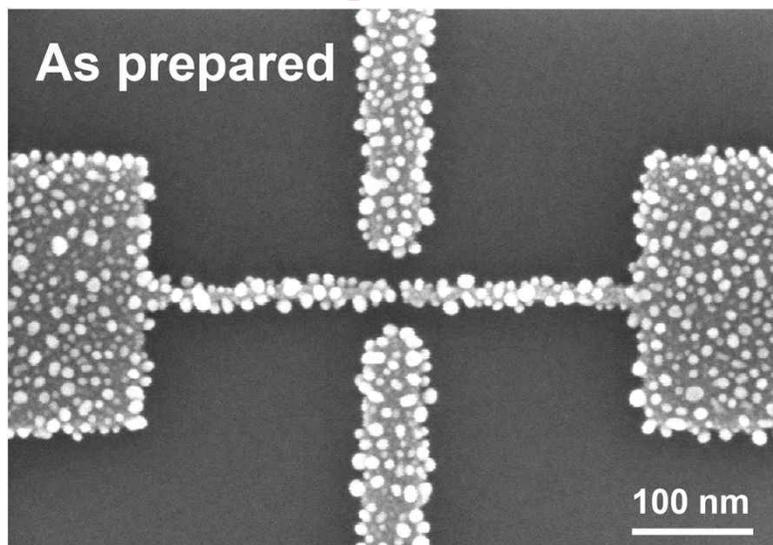
Au/Auナノギャップ電極における ELGPの自己停止機能



$d = 3.0 \pm 1.7 \text{ nm}$

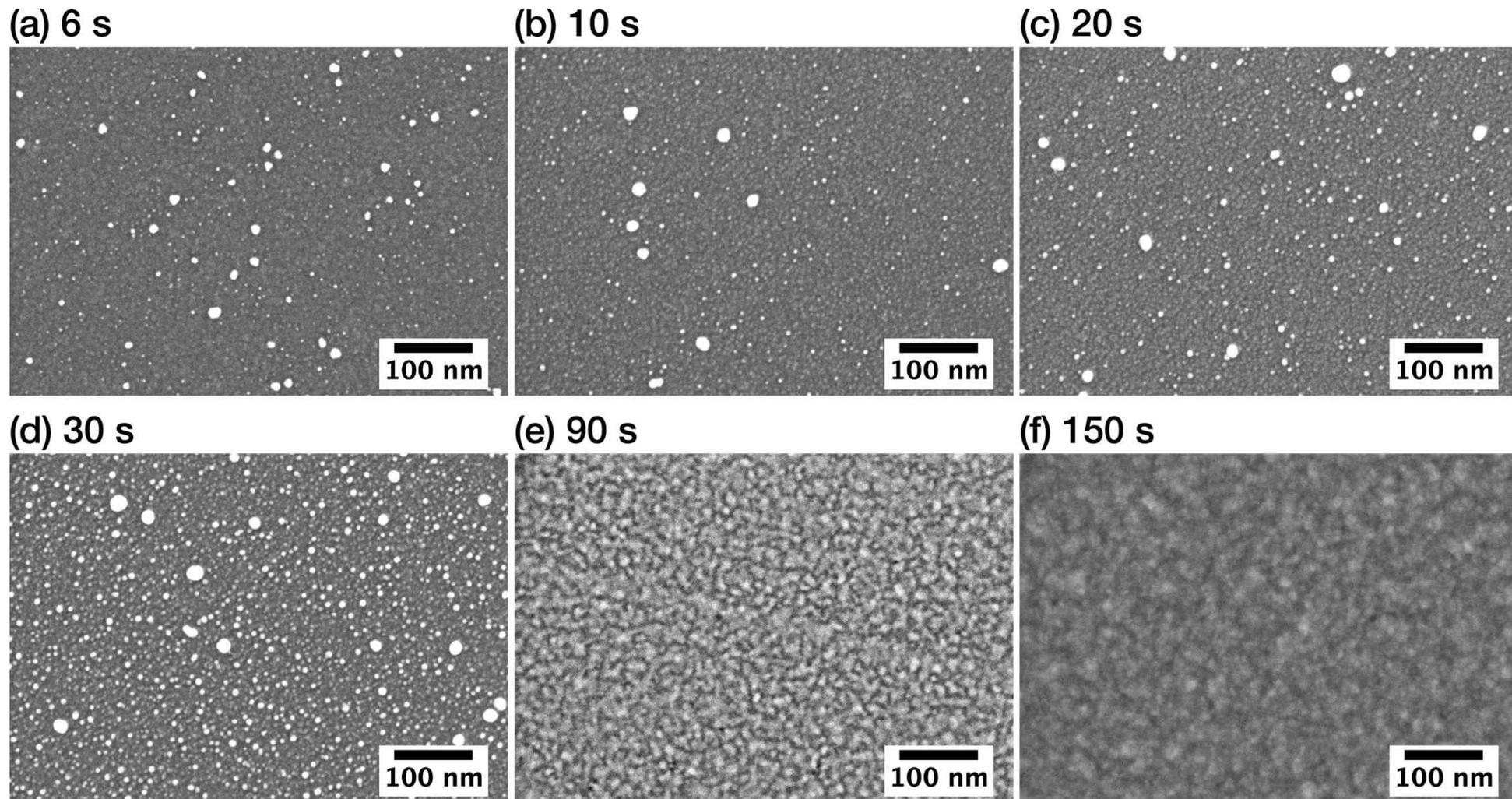
300°Cまでのロバストな耐熱安定性を有する 球状ヘテロエピタキシャル Au/Ptナノギャップ電極構造

Anneal by furnace in a vacuum for 2 hours

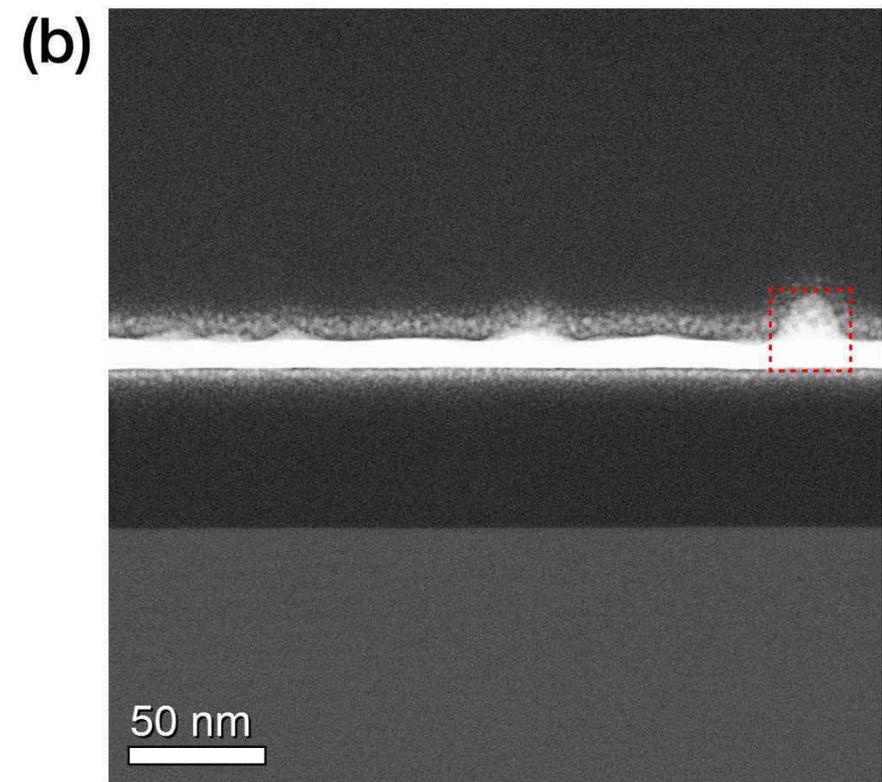
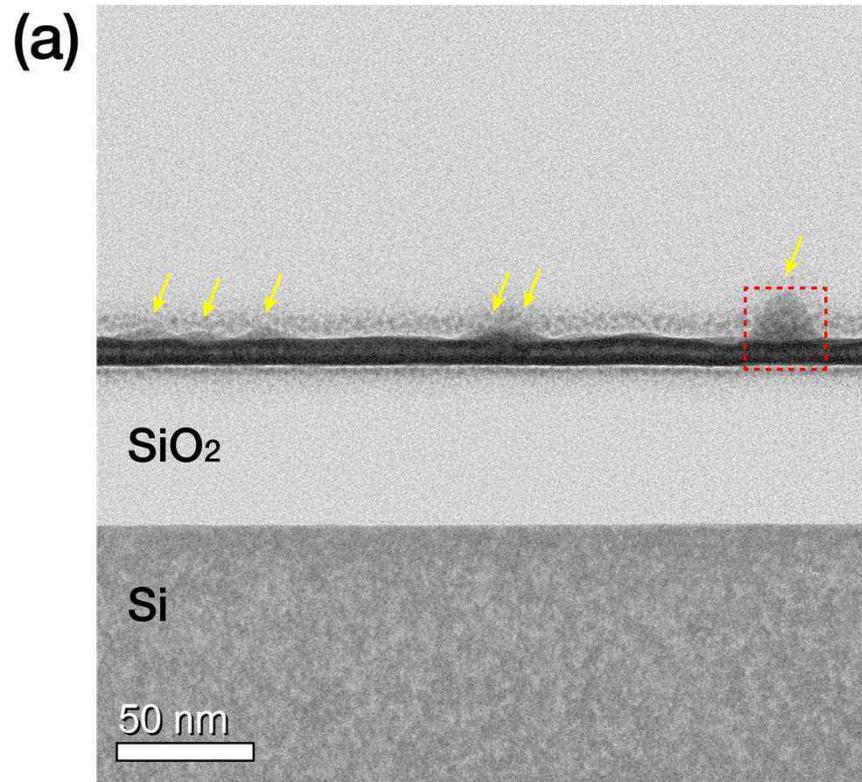


耐熱性
300°C

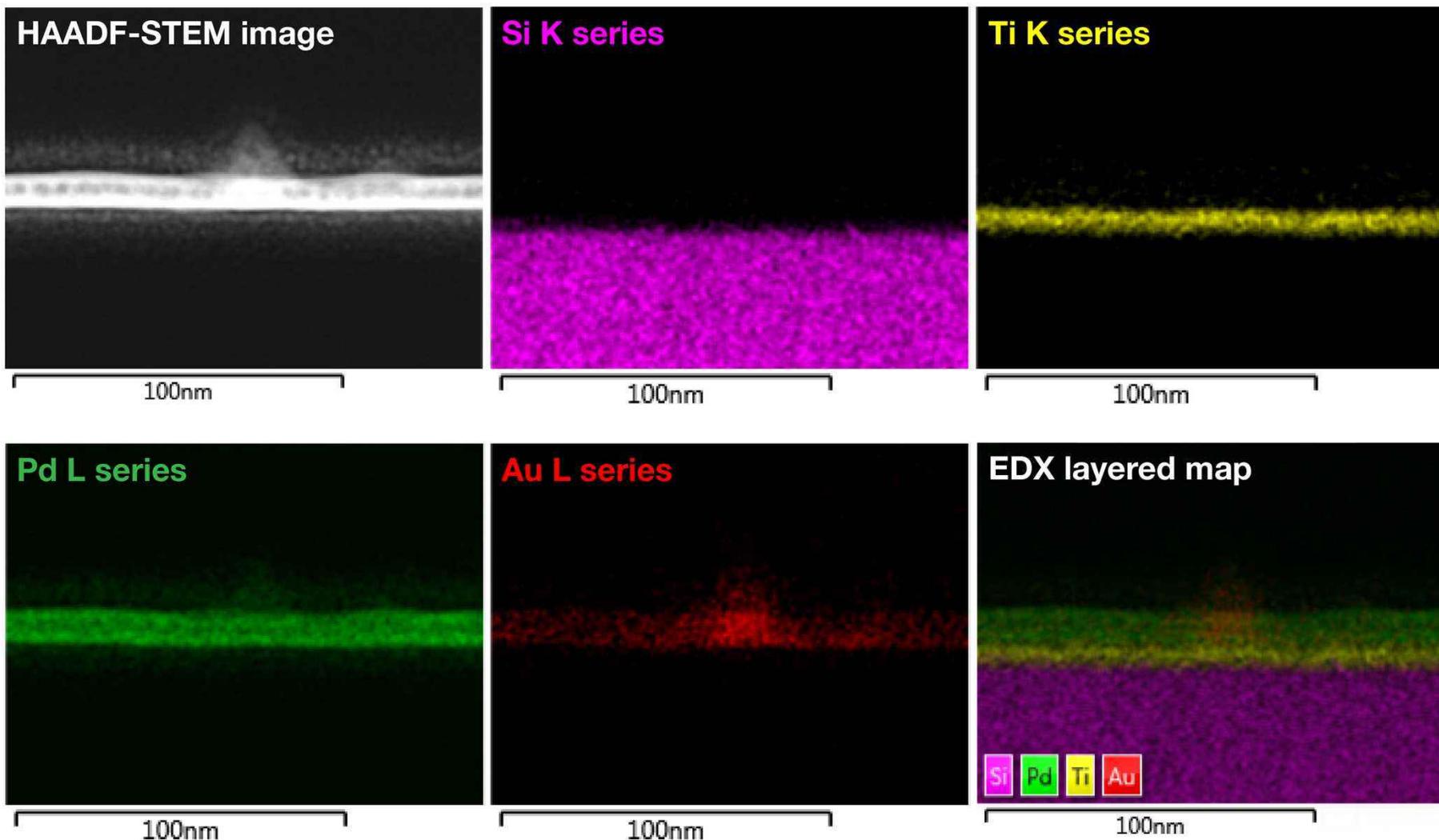
パラジウム (Pd) 薄膜表面での ELGPによるAu成長



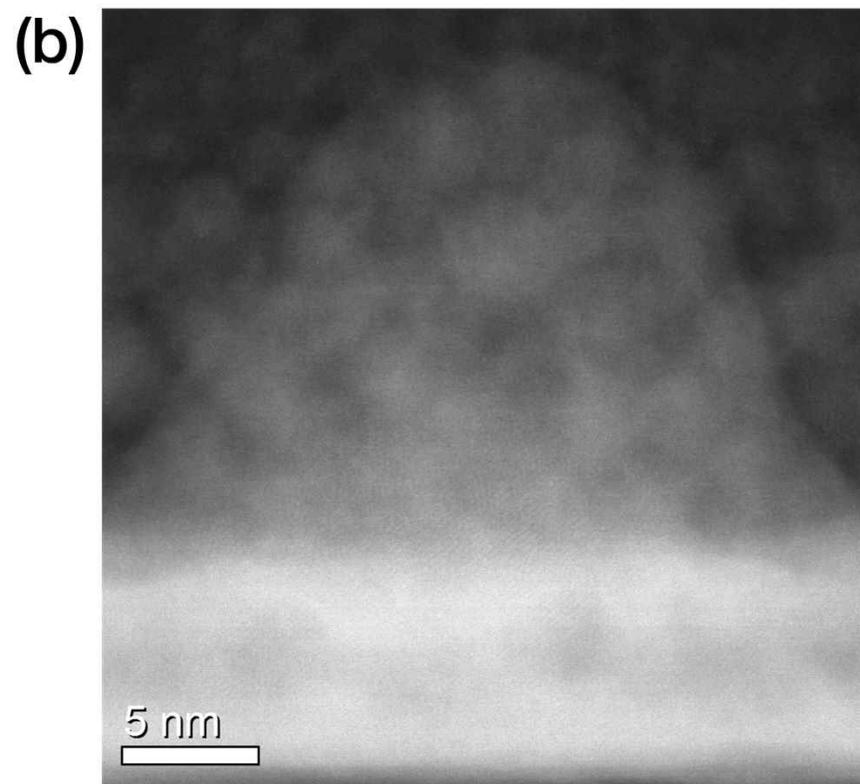
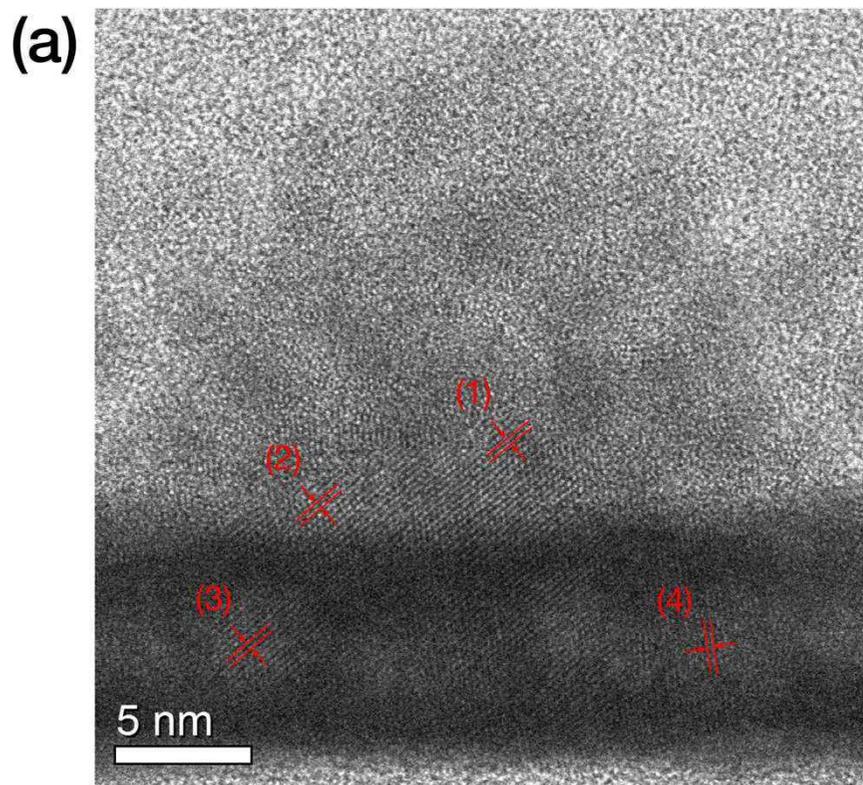
パラジウム (Pd) 薄膜表面での ELGPによるAu成長



室温におけるパラジウム (Pd) 薄膜表面での ELGPによるAu成長過程での相互拡散



パラジウム (Pd) 薄膜表面への室温での ELGPによるAuのヘテロエピタキシャル成長



単分子単電子トランジスタ

(Single-Molecule Single-Electron Transistor: SM-SET)

従来の強みと課題

強み

超高速動作

化学的に合成した分子を単電子島に
一つの電子のセンシング

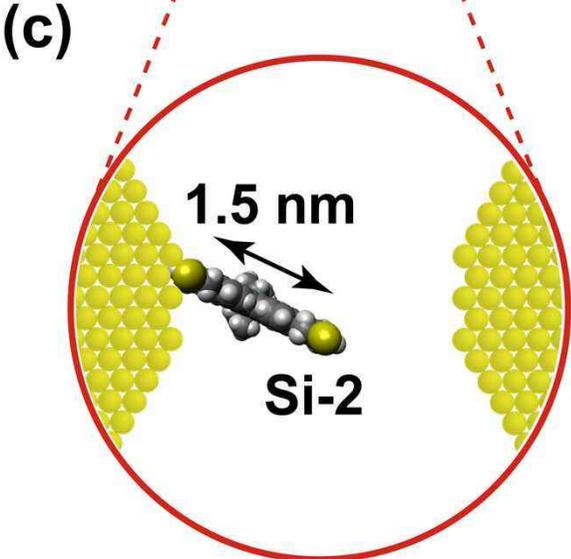
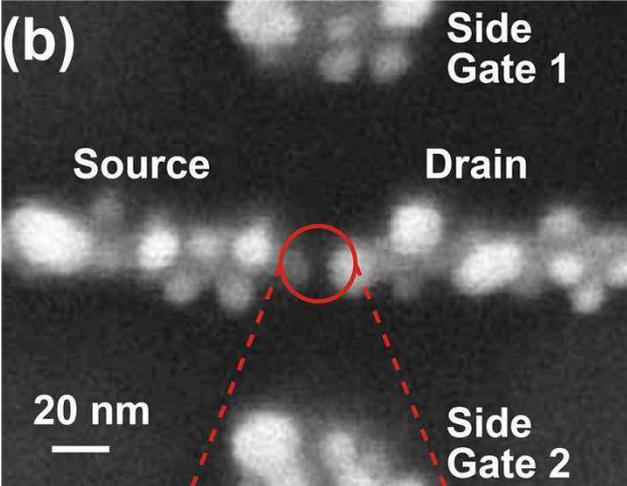
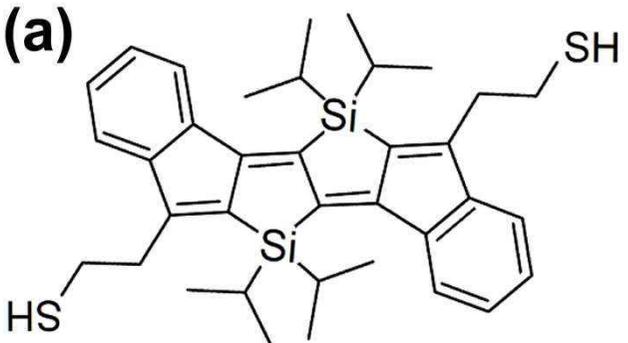
課題

動作が不安定（特に室温）

ゲート変調が掛かりにくい

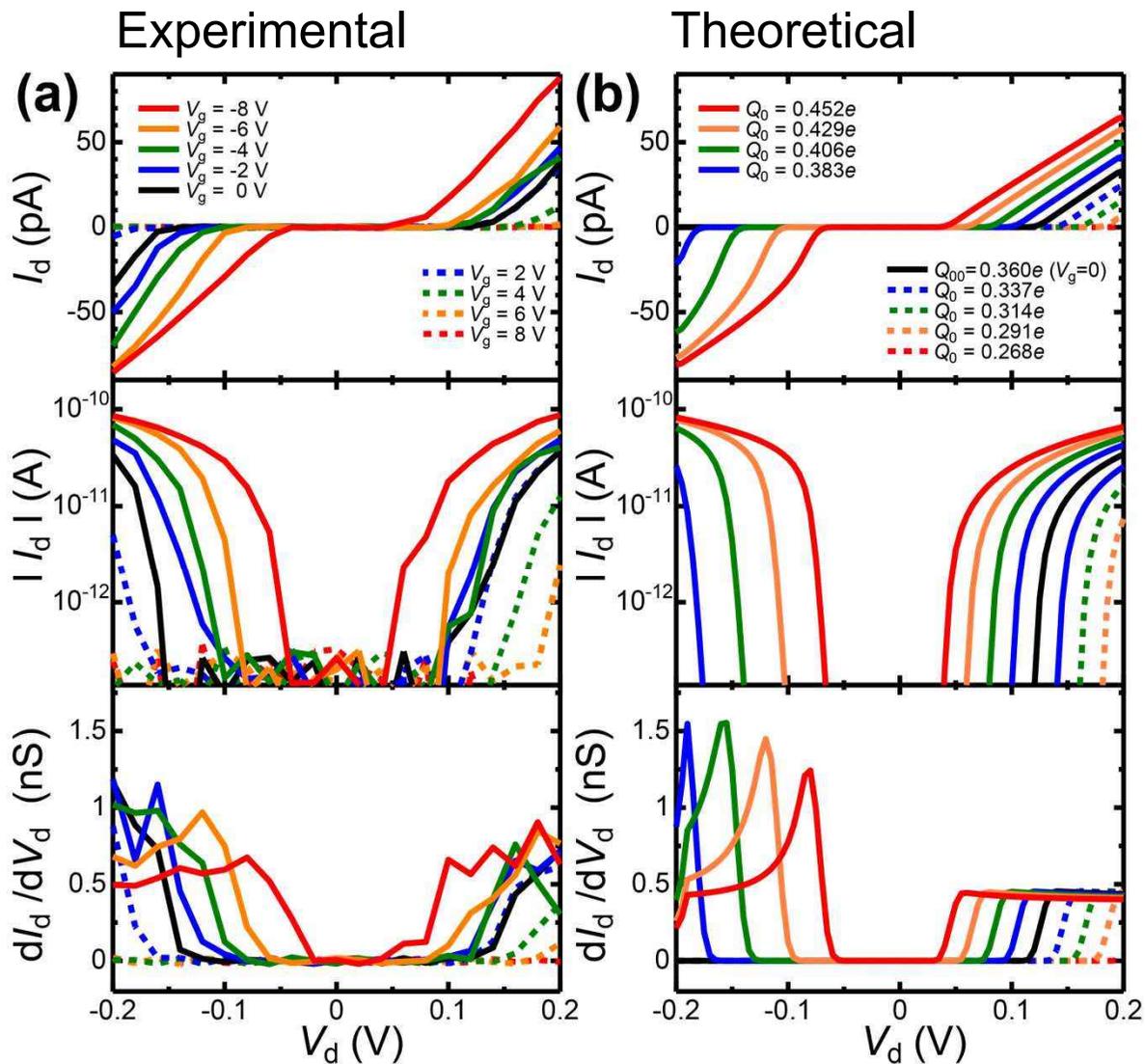
球状ヘテロエピ金／白金ナノギャップで課題を解決

応用例 π 共役結合キノイド環状オリゴシロールと ヘテロエピタキシャル球状Au/Ptナノギャップ 電極を用いたSM-SET

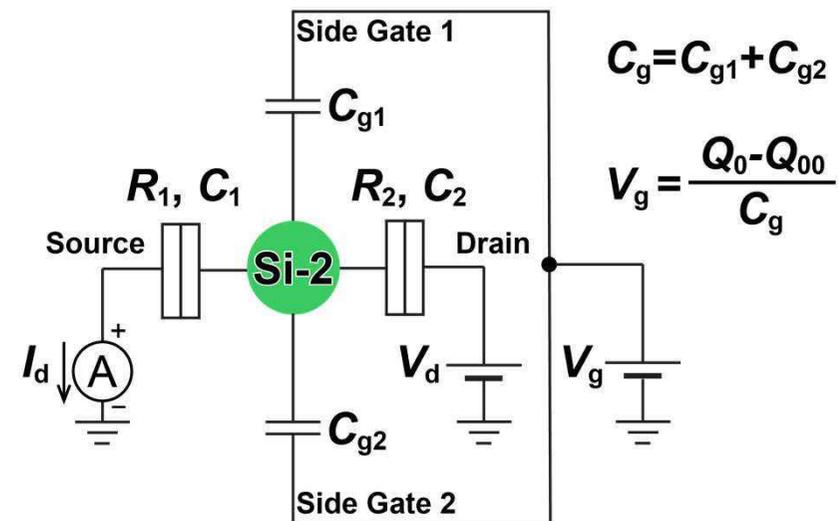


Collaboration with
Prof. Ryo Shintani, Osaka Univ.
Prof. Kyoko Nozaki, Univ. of Tokyo

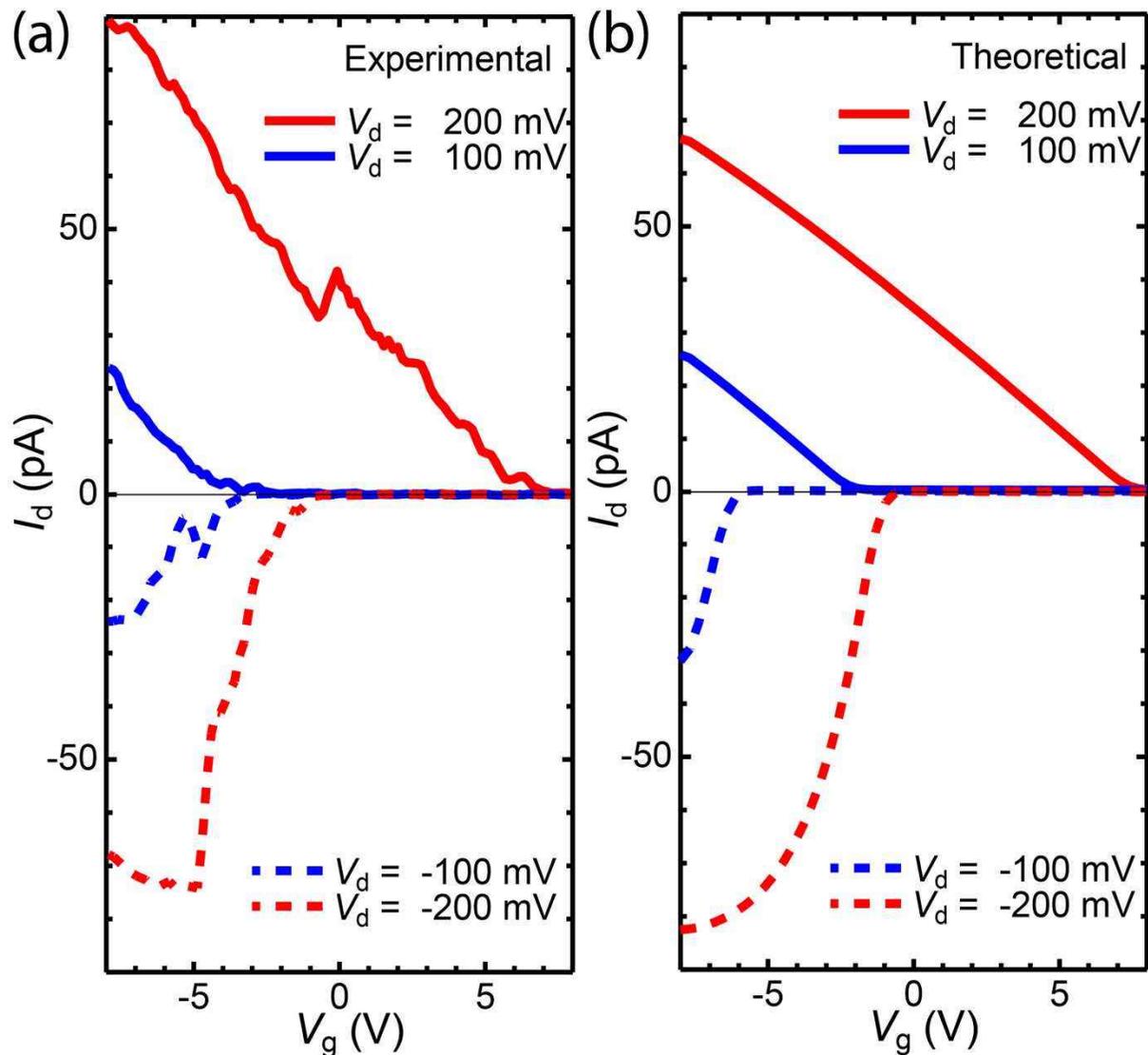
単分子単電子トランジスタ (SM-SET) の I_d-V_d 特性



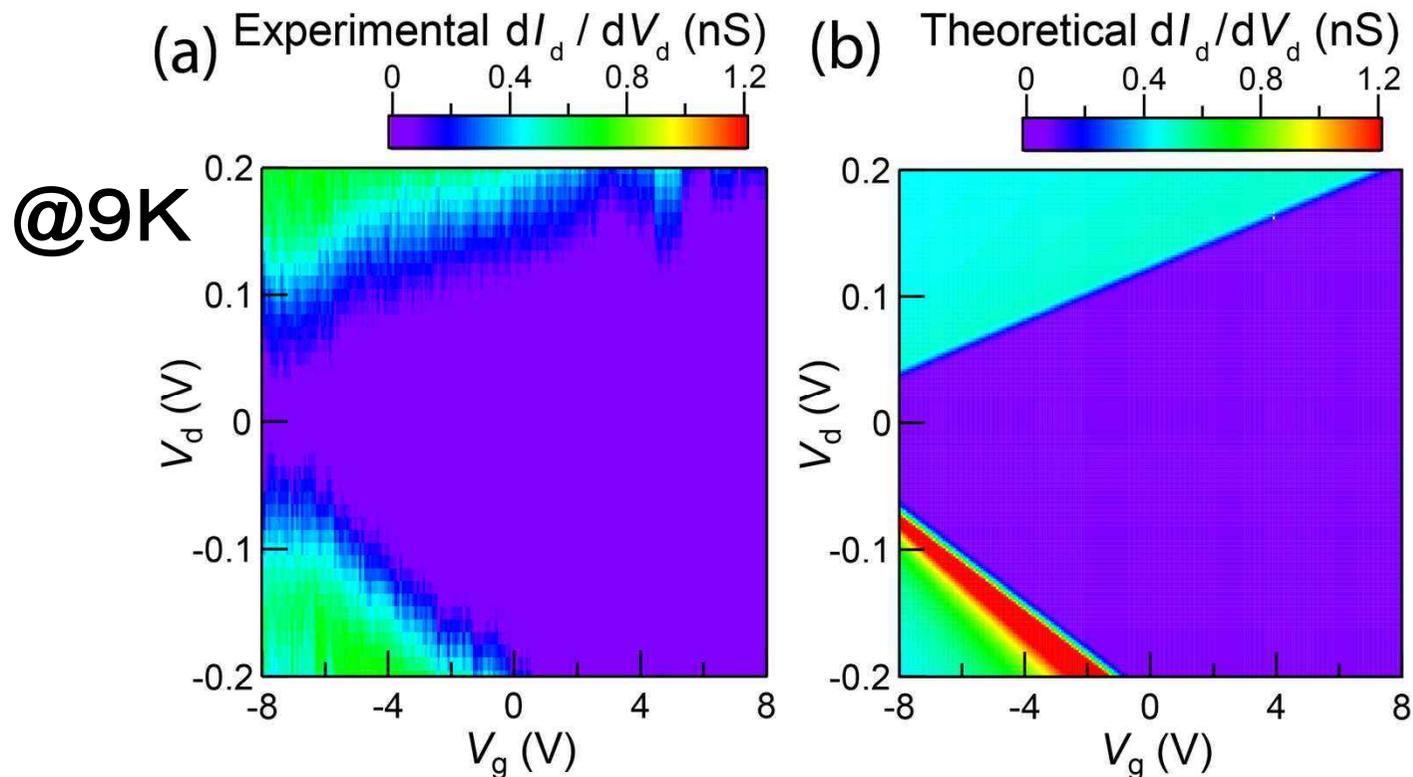
(c)



単分子単電子トランジスタ (SM-SET) の I_d - V_d 特性



単分子単電子トランジスタ (SM-SET) の 2次元微分電流特性



1.5nmのクーロン島(分子)のゲート変調に成功
室温動作も確認済み

新技術の特徴・従来技術との比較

	密着性	コンタクト抵抗	耐熱性	ギャップ長制御
従来技術	×	△	×	×
新技術	○	○	○	○

想定される用途

- **本技術の特徴を生かす分野**

- 1. 医療分野**

→ **生体親和性、信頼性の向上**

- 2. 電子部品用途、車載用途**

→ **密着性、耐熱性、接触抵抗、
信頼性の向上**

- 3. ナノギャップを用いた単電子トランジスタ**

→ **応答速度の向上**

実用化に向けた課題と企業への期待

- 白金ならびにパラジウムのナノギャップの量産に向けた試作
- 本技術の特徴を活かしたデバイスの試作

本技術に関する知的財産権

- 1) 【発明の名称】 : ナノギャップ電極及びその作製方法、並びに
ナノギャップ電極を有するナノデバイス
 【出願番号】 : PCT/JP2019/007937
 【公開番号】 : WO/2019/168123
 【出願人】 : 国立研究開発法人科学技術振興機構
 【発明者】 : 真島豊、Yoon Young Choi、Ain Kwon
- 2) 【発明の名称】 : 単分子トランジスタ
 【出願番号】 : PCT/JP2019/007941
 【公開番号】 : WO/2019/168124
 【出願人】 : 国立研究開発法人科学技術振興機構
 【発明者】 : 真島豊、中村栄一、辻勇人、野崎京子、新谷亮、
オウヤンチュン、居藤悠馬、イスンジュ
- 3) 【発明の名称】 : ヘテロエピタキシャル構造体及びその作製方法、
並びにヘテロエピタキシャル構造を含む金属積層体及びその作製方法、
ナノギャップ電極及びナノギャップ電極の作製方法
 【出願番号】 : PCT/JP2019/034167
 【出願人】 : 国立研究開発法人科学技術振興機構
 【発明者】 : 真島豊、Yoon Young Choi、島田郁子、遠山諒、Mingyue Yang

お問い合わせ先

【ライセンスについて】

国立研究開発法人科学技術振興機構

知的財産マネジメント推進部 知財集約・活用グループ

TEL 03-5214-8486

e-mail license@jst.go.jp

【技術内容について】

東京工業大学科学技術創成研究院フロンティア材料研究所

教授 真島豊

TEL 045-924-5376

e-mail majima@msl.titech.ac.jp