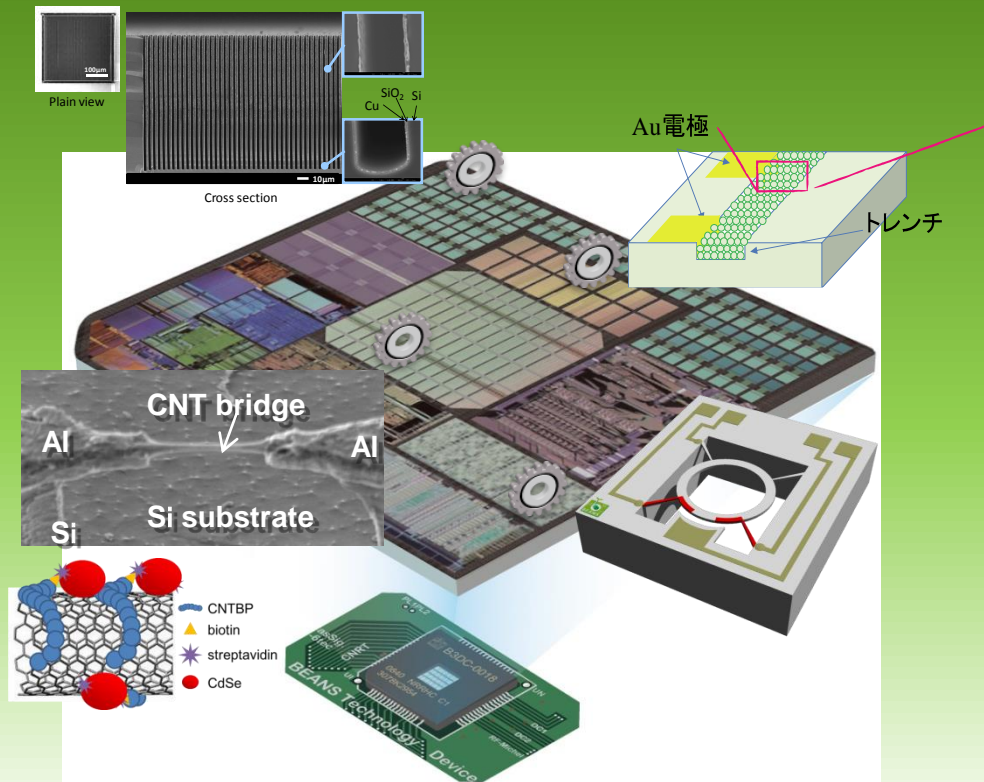


ナノの合わせ技がもたらす MEMSプロセスの新地平



3D BEANS センター
東京大学大学院工学系研究科
杉山 正和

BEANS始動前夜

新たなマイクロ・ナノプロセスへの期待

ナノ・高アスペクト
比(>100)構造

ナノ界面

シリコン以外の機能性

発光・CNT・生体材料

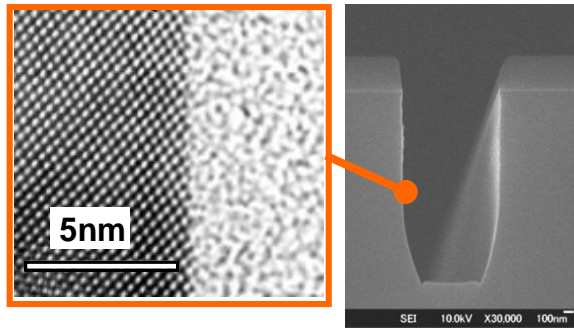
ミッション: 新たなものづくり技術の開発

1ランク上の安心・安全・健康をもたらす
ことづくりの基礎として…

3D BEANSが開発した新プロセスのシーズ

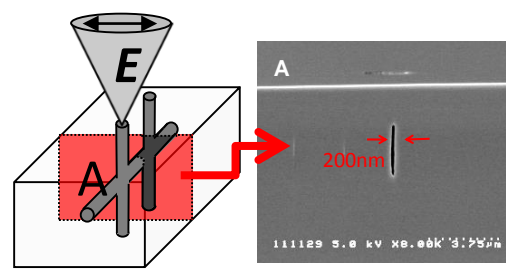


無損傷ナノ加工



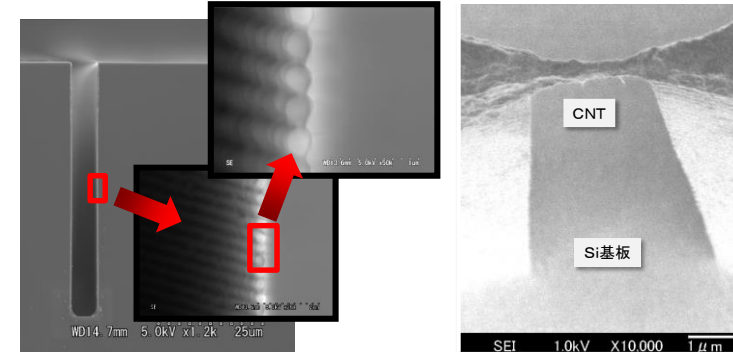
中性粒子ビーム
エッチング

自在に掘る



レーザアシスト
エッチング

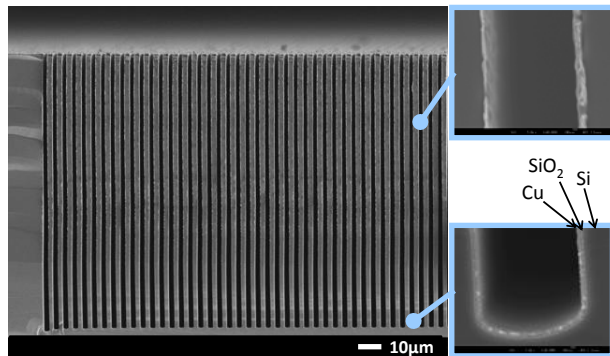
3D構造に並べる



ナノ粒子配列

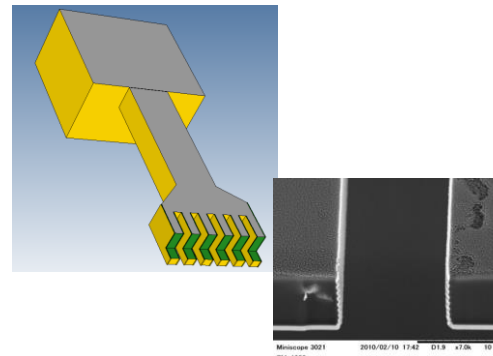
CNT架橋

深い孔に製膜



超臨界流体製膜

高耐久ナノ接点



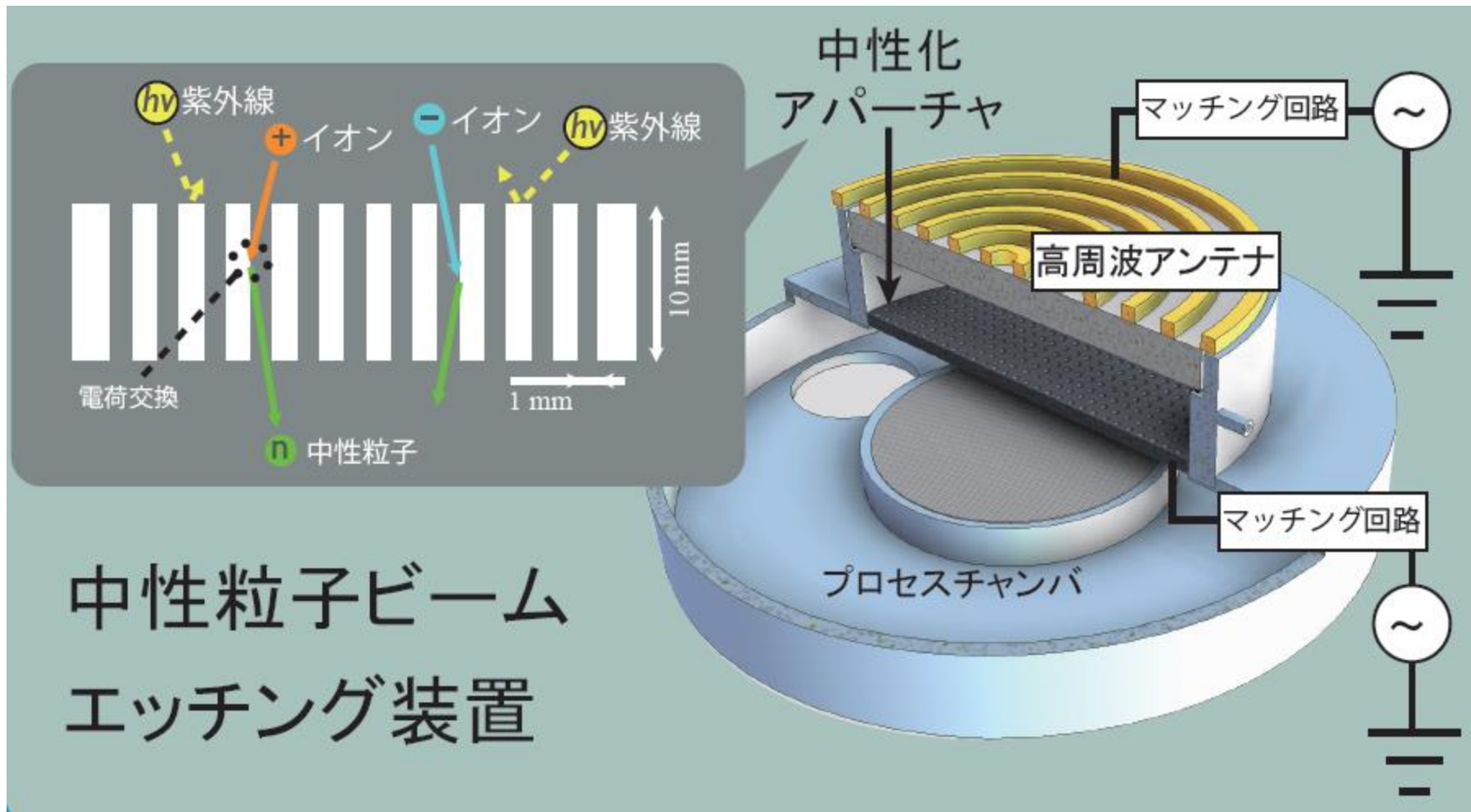
長寿命ナノ電極

材料を見分けて並べる



ペプチドによる
パターニング

中性粒子ビームエッチング



中性粒子ビーム エッチング装置

- 表面へのイオン・紫外線の入射をカット → ダメージフリー

中性粒子ビームエッチング プロセス開発



- 装置導入 (8インチ対応プレ量産機)
- プロセス開発
- ↑ 実験と理論を組み合わせた
新たなプロセス開発体系を構築
- マルチスケールシミュレーション

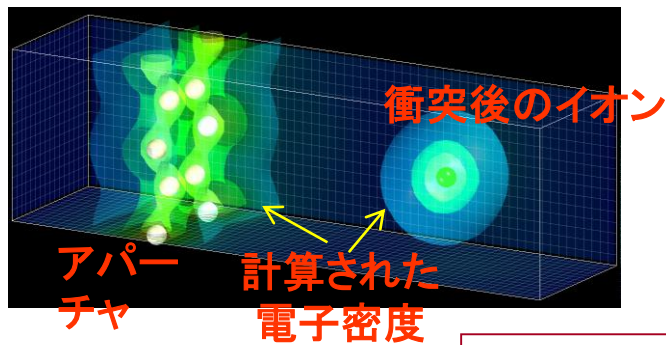


プラズマ
生成

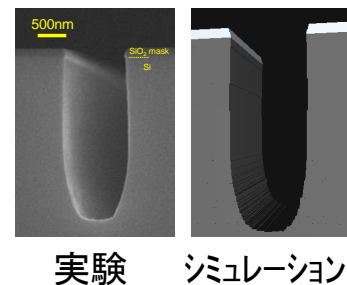
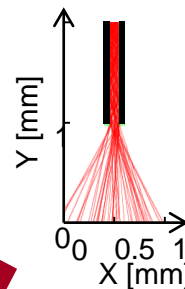
既存

アパーチャによるイオンの中性化

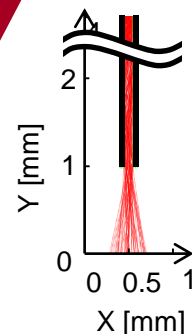
側壁での中性化素過程の
第一原理量子化学計算



モンテカルロ
シミュレーション



高速化・垂直化
均一性向上の指針獲得

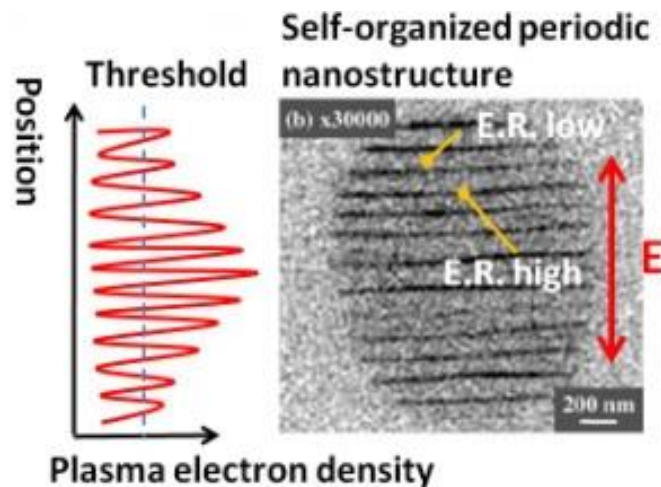
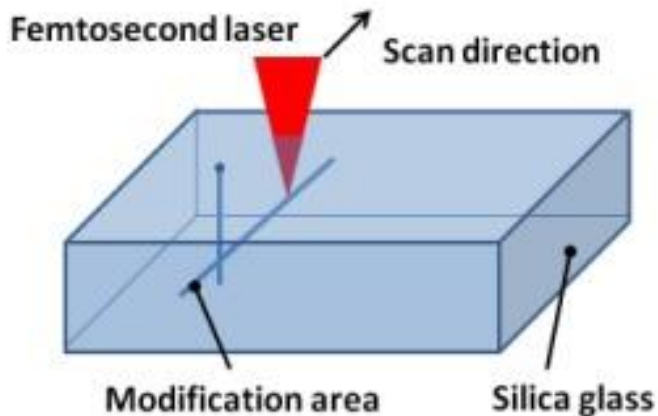


高アスペクト比
アパーチャにより
垂直性向上
(予測)

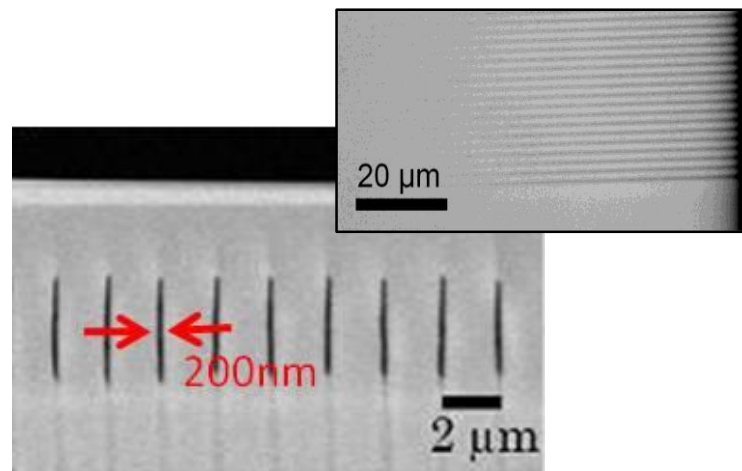
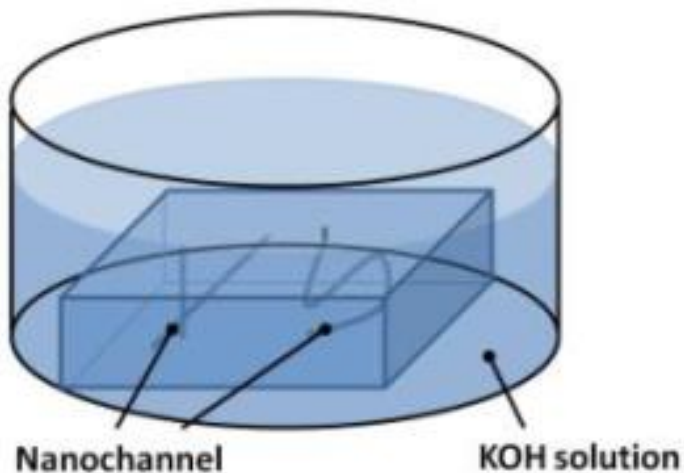


フェムト秒レーザーアシストエッチング

露光 (レーザー照射)



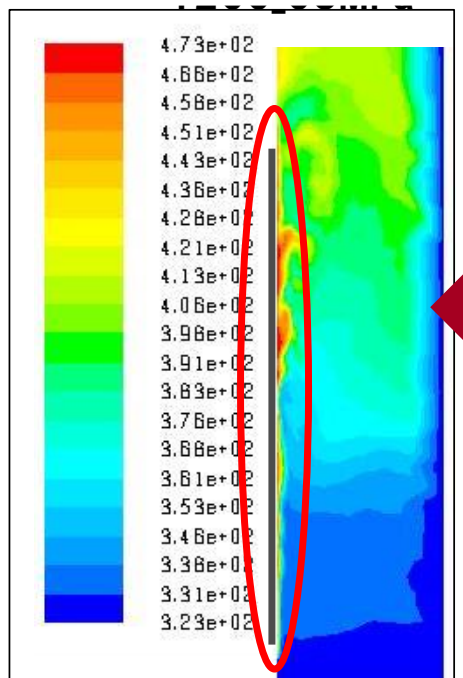
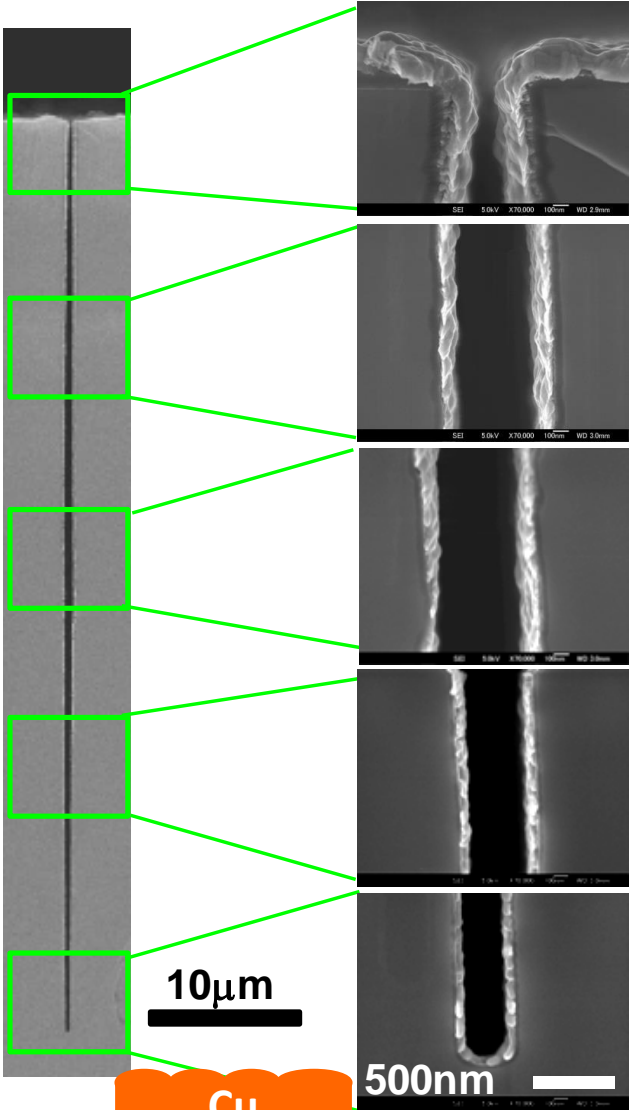
現像 (ウエットエッチ)



ガラスに埋め込まれたアスペクト比25,000のナノ流路(開口幅100 nm)を形成可能

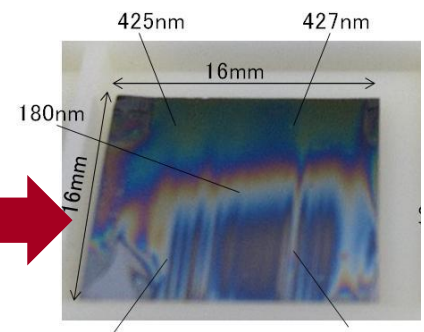
超臨界流体製膜

- 反応媒体：超臨界CO₂
高溶解能＋高拡散性
→アスペクト比100のトレンチに
金属・酸化膜を均一製膜



基板直上の流動状況
(流体シミュレーション)

SiO₂の膜厚ムラ



シミュレーションを活用
した装置設計の基礎

8インチ製膜装置の
実証継続中

CNTの誘電泳動によるナノ架橋

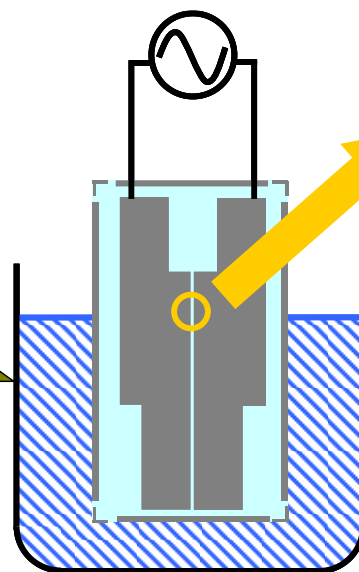


精製済み単層CNT溶液

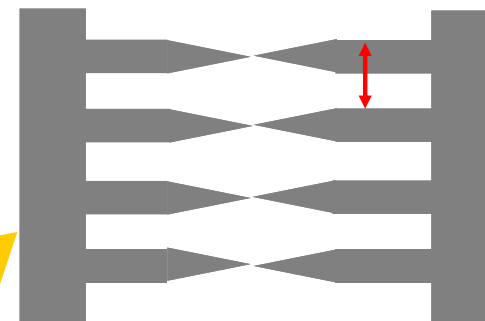
単層・複層

半導体・金属性をあらかじめ選別

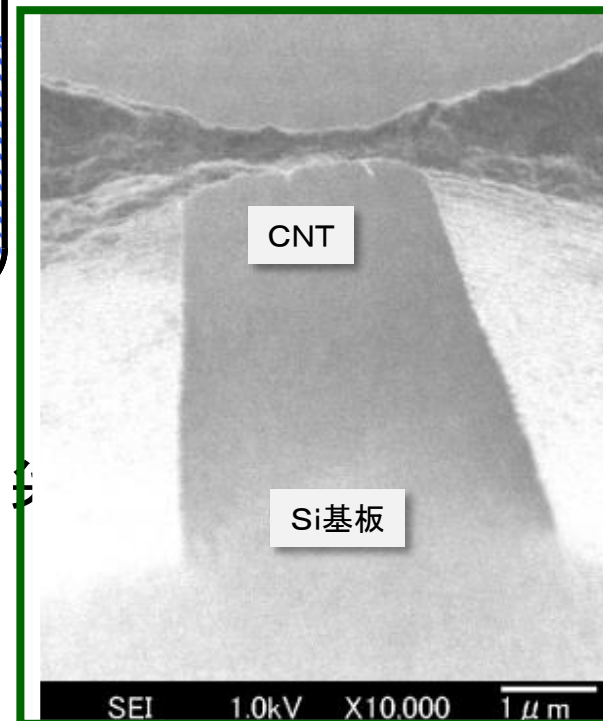
泳動条件 5MHz
30Vpp 15min



25umピッチ



10umギャップ



- 性質の揃ったCNTによる構造作製が可能
 - 既存技術(3D構造へのCNTのCVD)に対する優位性

ペプチドによる材料選択的結合



ペプチドの末端官能基を利用
→ 下地材料を選択して
ナノ粒子を配列

SI上にパターンニングしたZnO膜に
CdSeナノ粒子を選択的に修飾

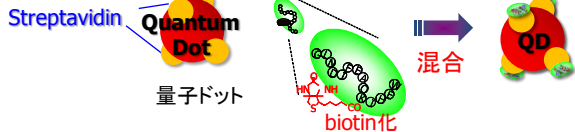
Life BEANSとの連携

分子進化工学的手法: ファージディスプレイ法

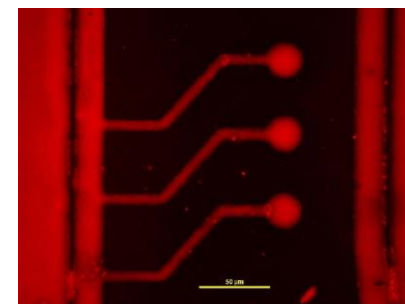
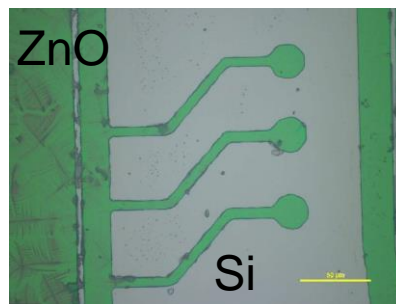
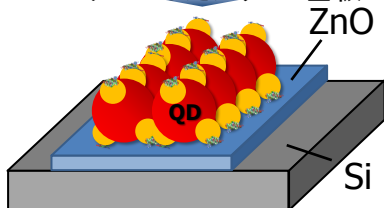
ZnO粒子



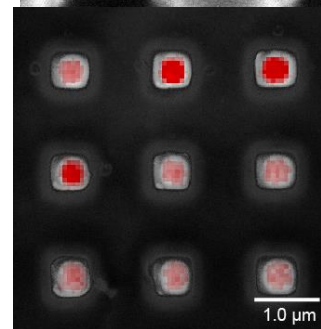
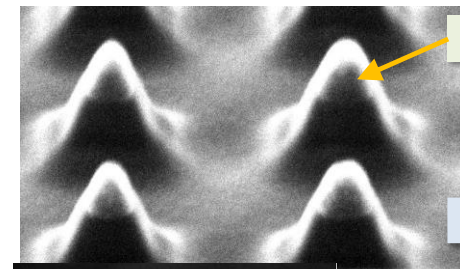
混合操作のみによる修飾



ZnOパターンしたシリコン基板へ



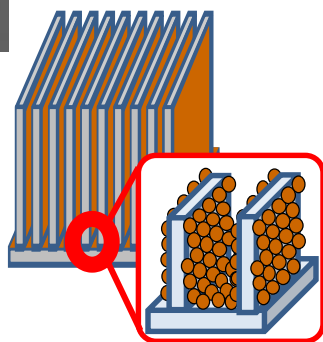
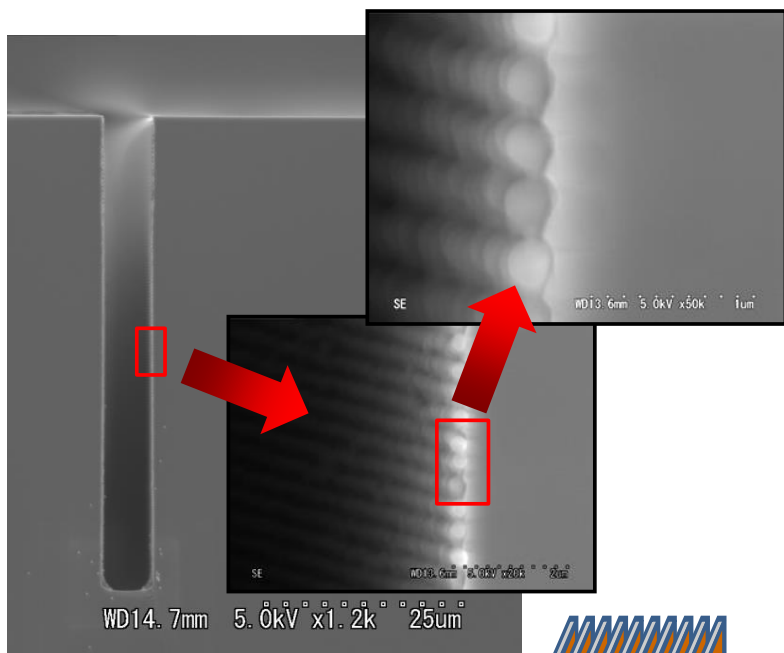
平面パターン



立体パターン
(尖塔部のみ
CdSe修飾)

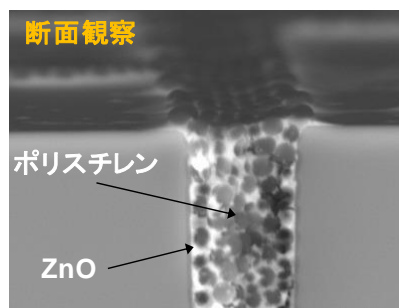
3D構造へのナノ粒子配列

トレンチの側壁に100 nm径のPSナノ粒子を単層自己組織化配列

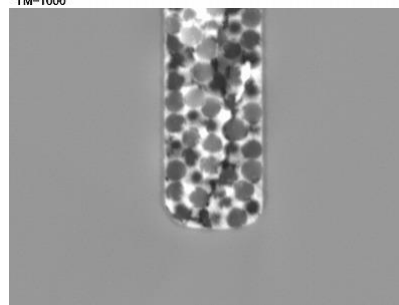


トレンチの内部にナノ粒子を充填
→ハニカム構造形成

ZnO充填後

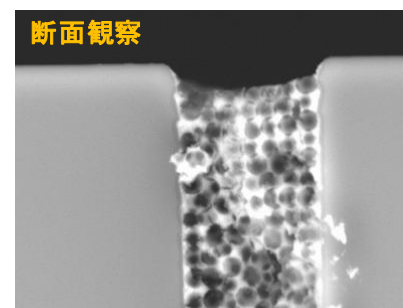


Miniscope 3086 2010/02/12 21:09 D2.2 x10k 10 μm
TM-1000

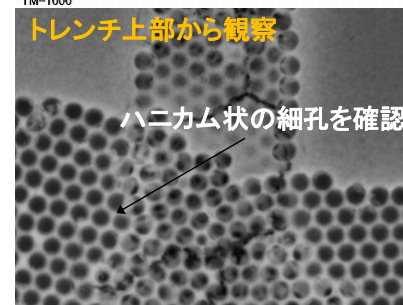


Miniscope 3087 2010/02/12 21:10 D2.2 x10k 10 μm
TM-1000

ポリスチレンベーク後

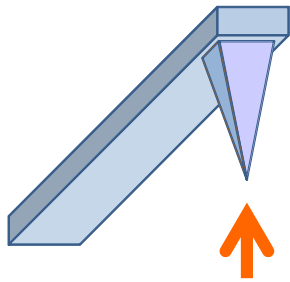


Miniscope 3090 2010/02/12 21:38 D2.4 x10k 10 μm
TM-1000



Miniscope 3168 2010/02/16 15:09 D3.5 x10k 10 μm
TM-1000

長寿命ナノ接点

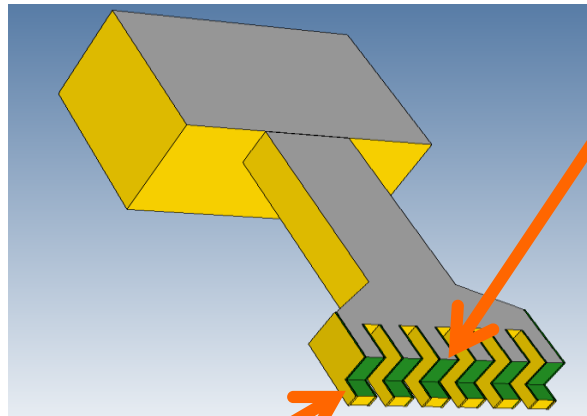


従来のナノ接点
 ○ ナノサイズ
 × 摩耗
 → リソ等の応用には
 不向き

ナノ電極のナノライボロジ解析
 → 材料選択の指針獲得

材料強度の組み合わせ
 電極 > 基板 > シリコン(母材)

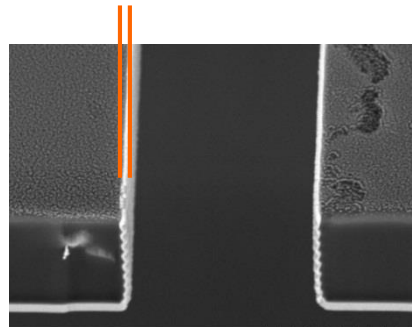
トレンチ側面に電極を形成した 新設計ナノ接点



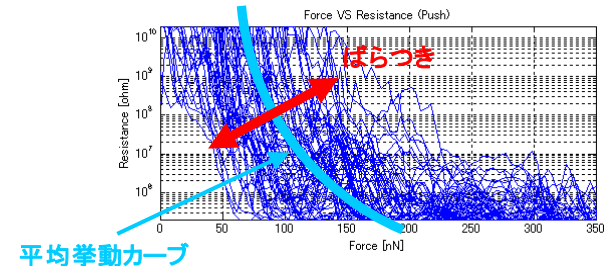
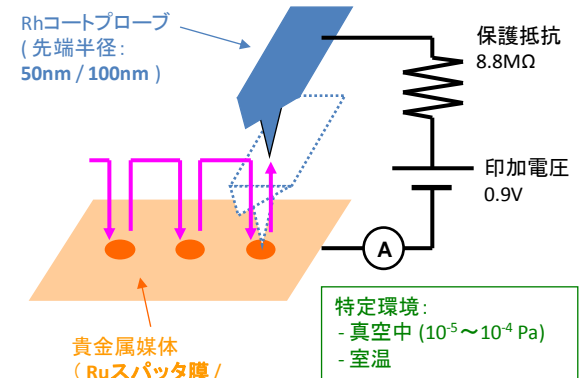
ナノ接点

電気接触部位
 (数十 nm)

側面への金属の
 付着を防ぐ庇



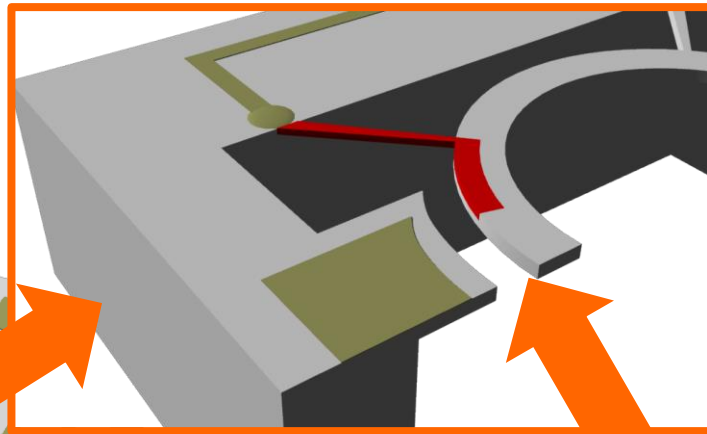
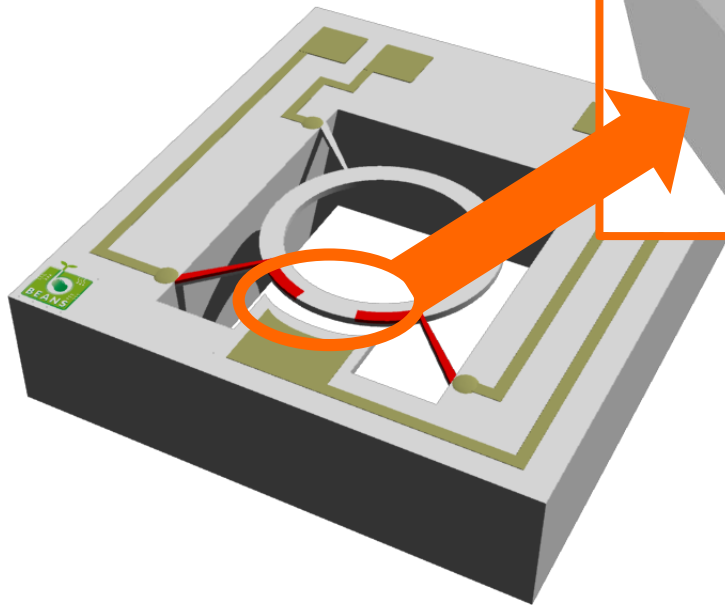
Miniscope 3021 2010/02/10 17:42 D1.9 x7.0k 10 um TM-1000



低消費電力RFフィルタ



新デバイス



トレンチ側壁に電子チャネルを形成
ダメージフリーの側壁エッチングが必須

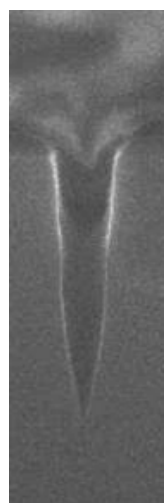
中性粒子ビームエッチング



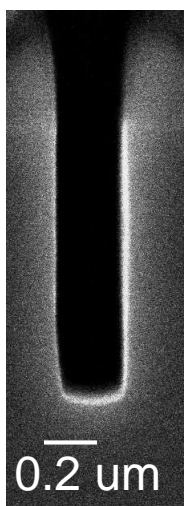
新プロセス

MEMS振動子の側壁に
MOSFETを形成

中性粒子エッチング速度・形状の改善

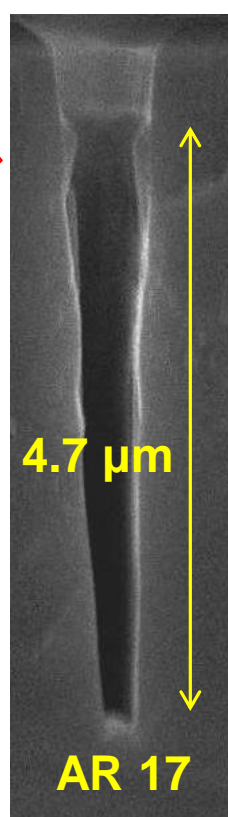


DLCコート
高バイアス



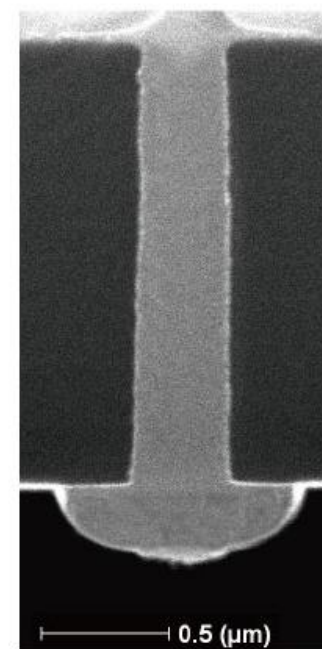
垂直、低損傷

高AR
エッチング



エッチング速度
> 3 μm/hour

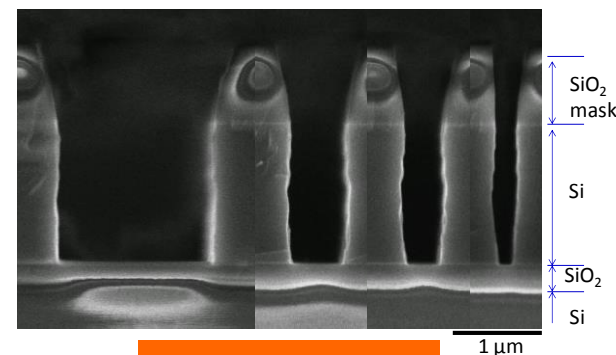
MEMS
エッチング



Si

SiO₂

0.5 μm

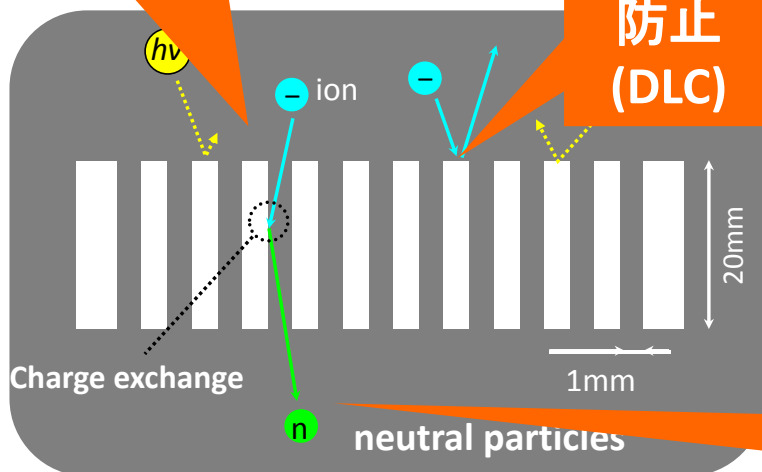


ノッチフリー

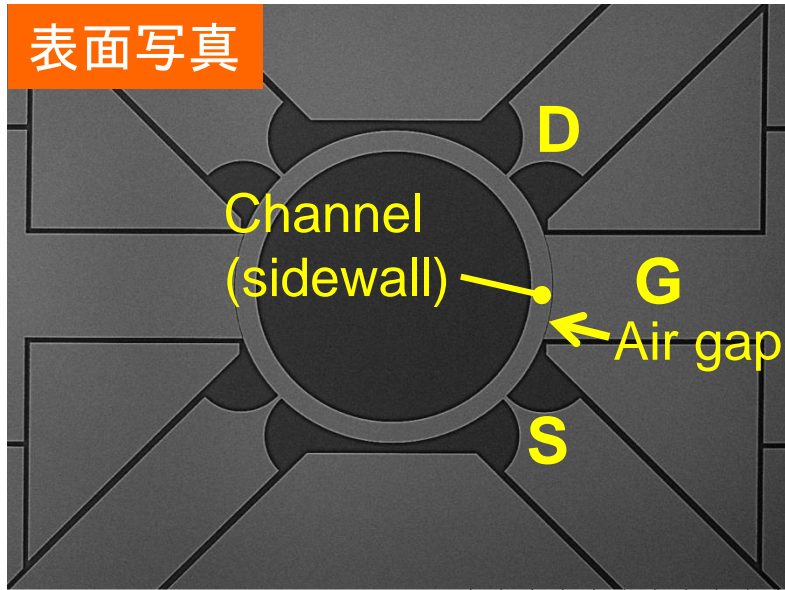
加速 (高バイアス)

摩耗
防止
(DLC)

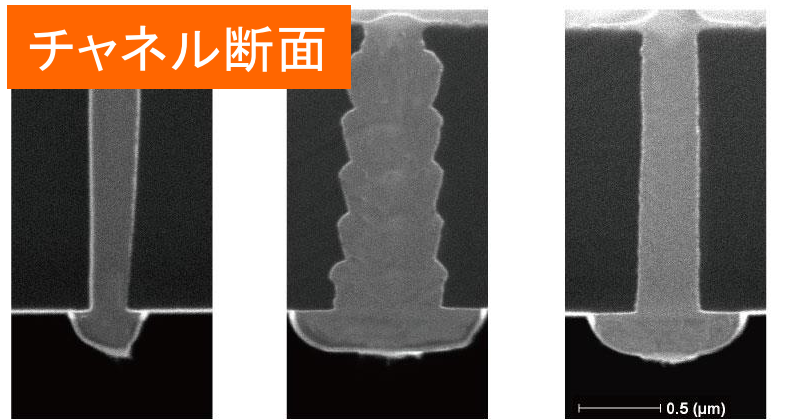
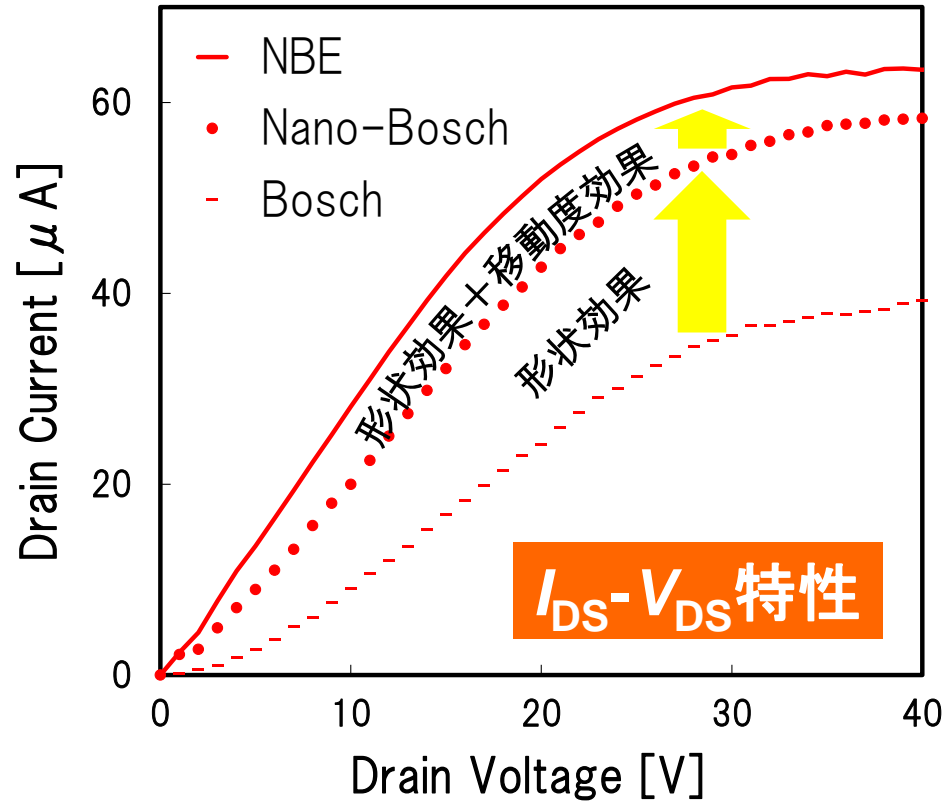
コリメート
(高アスペクト比)



エアギャップトランジスタ



Miniscope 0232 2012/12/27 17:11 L D2.1 x250 300 um
TM-1000



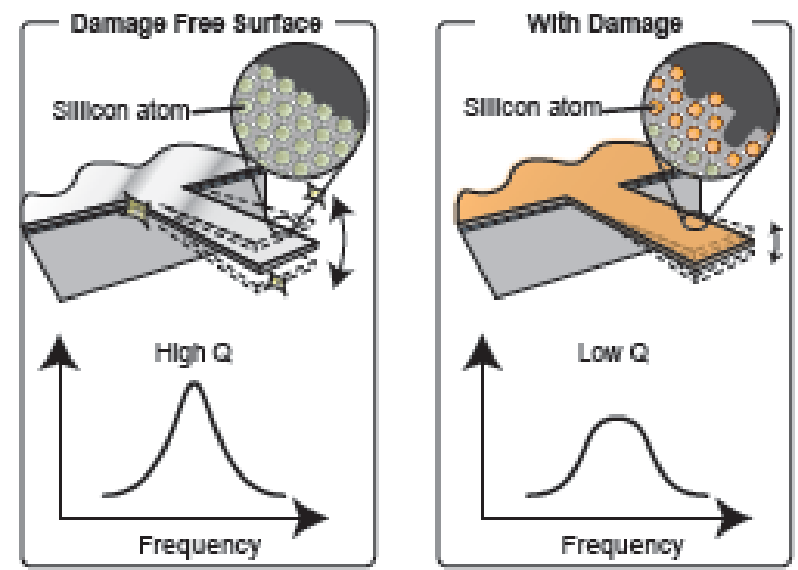
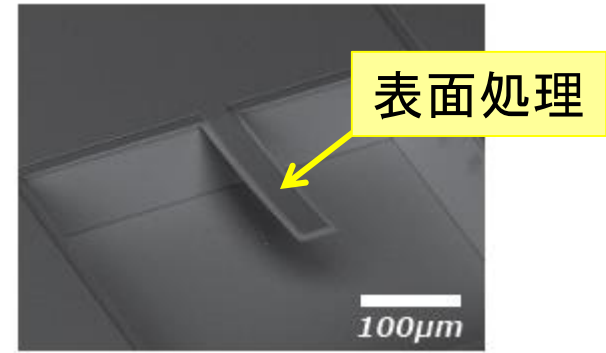
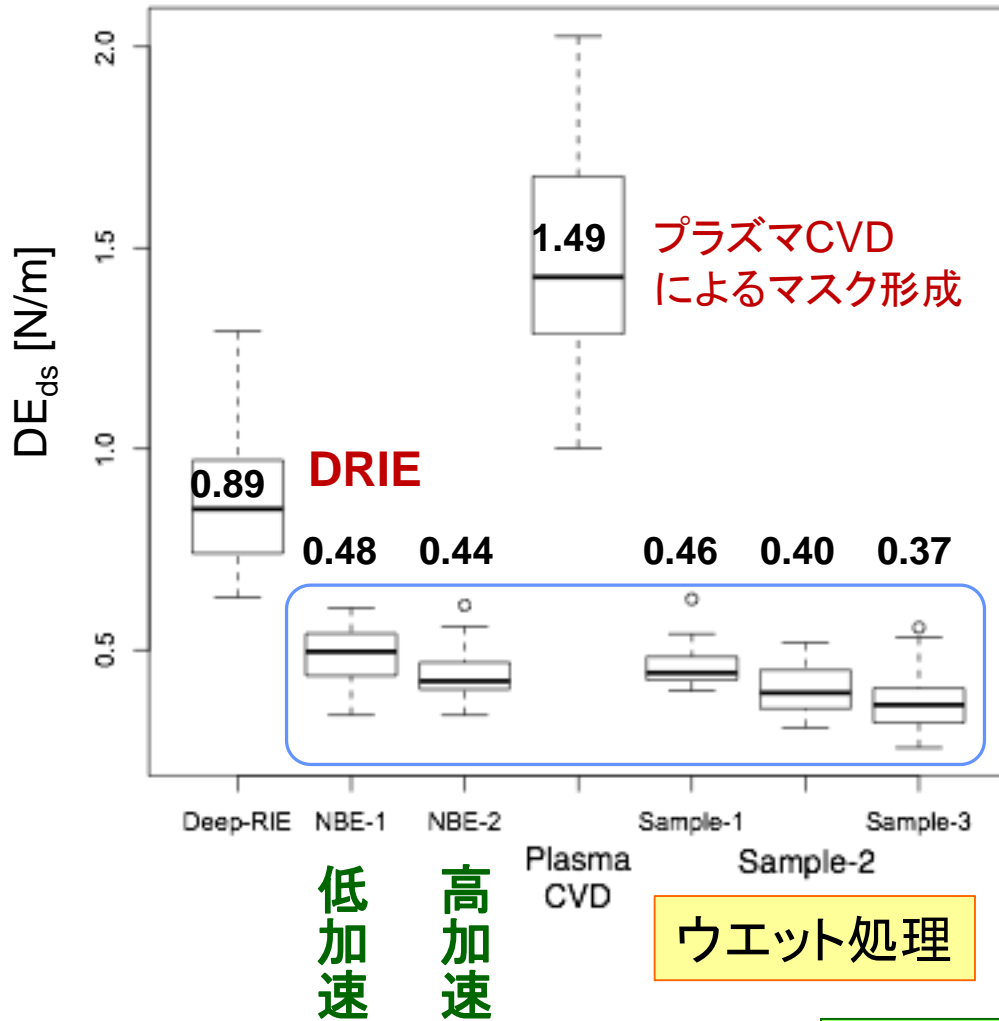
中性粒子

ボッシュ

ナノボッシュ

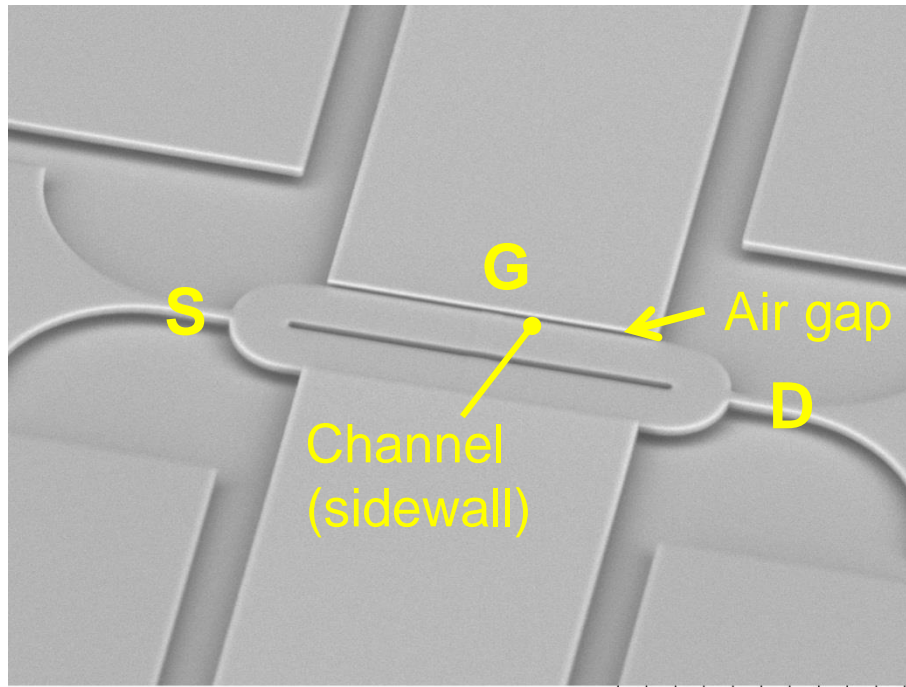
□ チャネルの加工には中性粒子ビームエッチングが必須

機械振動に対するNBEの優位性



□ 高加速NBEでも表面損傷は清浄ウエハ表面なみに少ない。

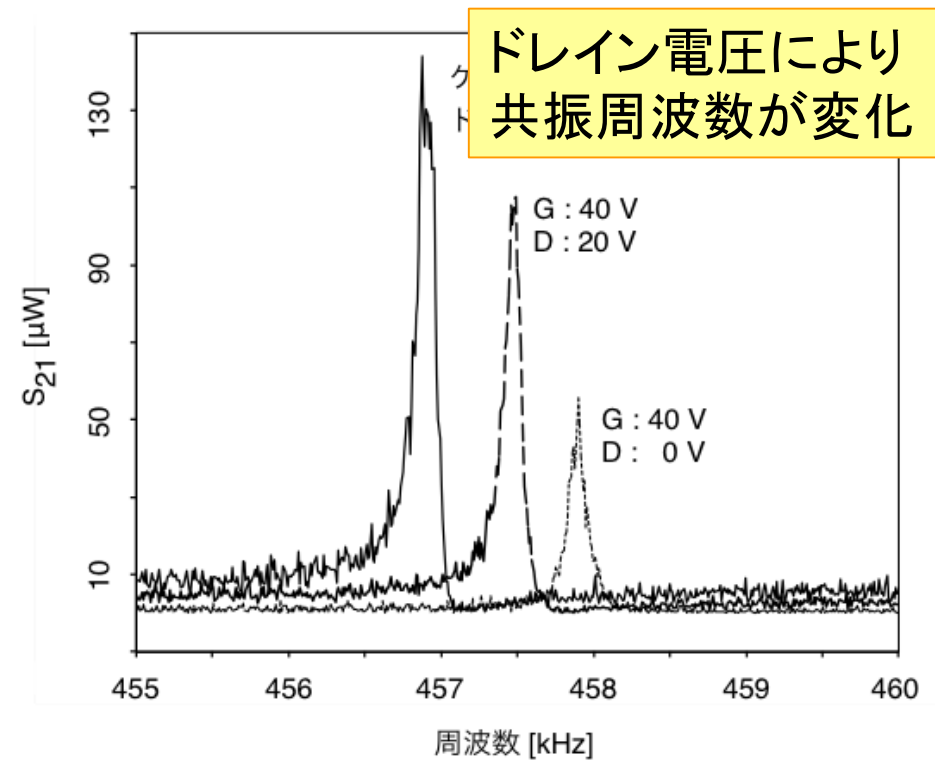
NBEにより作製したMEMSトランジスタ



Miniscope 0103

2012/11/14 18:51 L D2.7 x1.2k 50 um

TM-1000



- 中性粒子ビームエッチング(NBE)によるチャネル形成
- 機械振動と練成した高周波透過特性を実証！

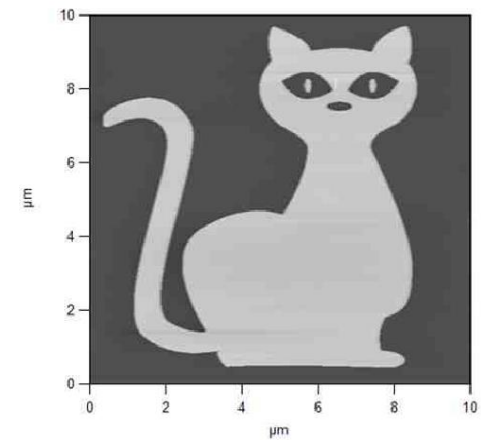
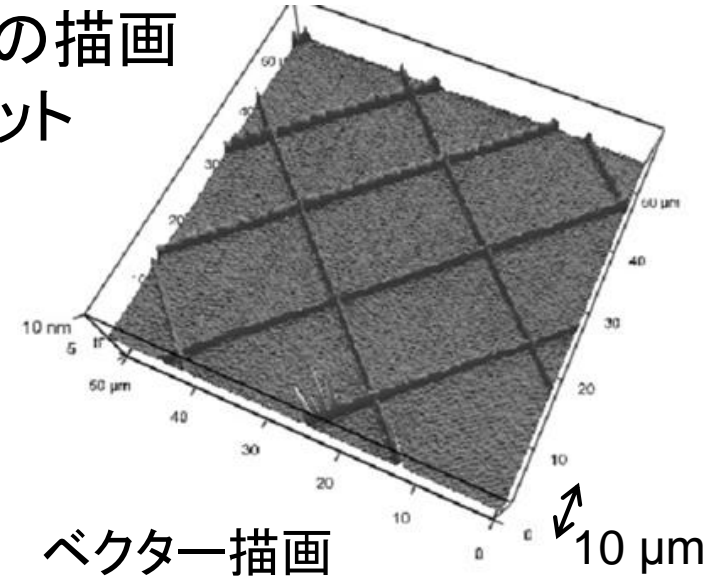
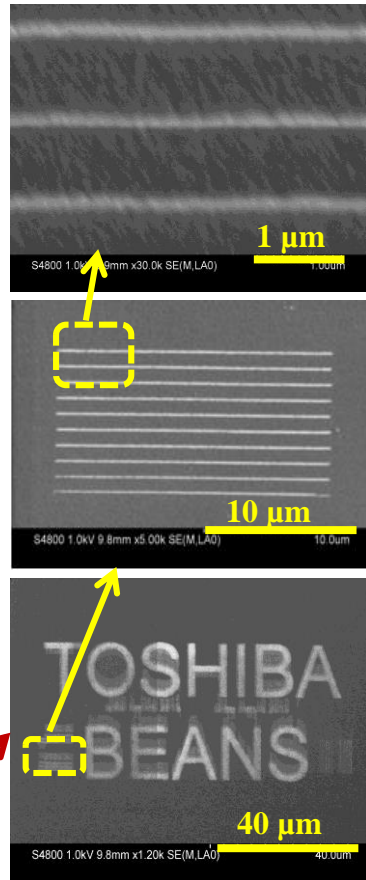
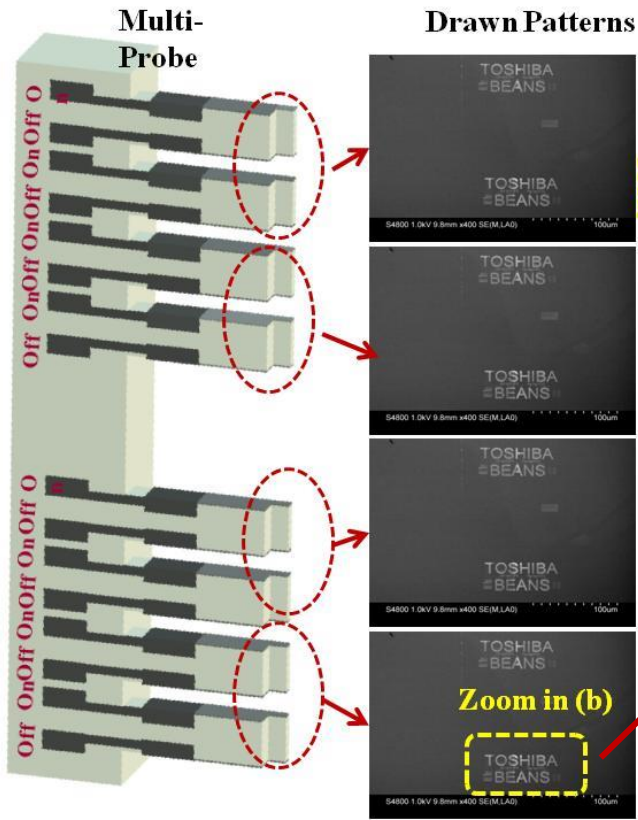
長寿命ナノプローブリングラフィー



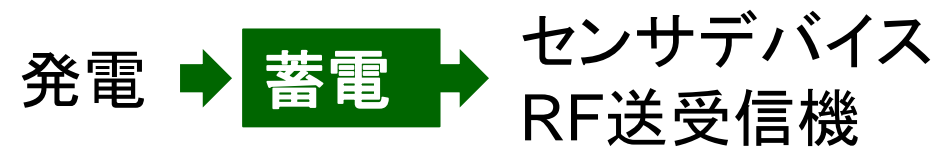
マルチプローブリソ

陽極酸化(デモ)

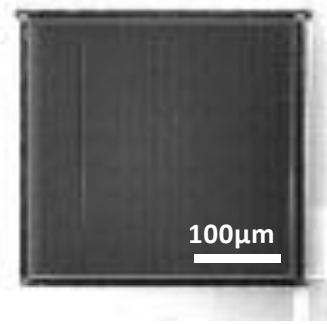
- 10 nm精度の描画
- 高スループット
- 低コスト



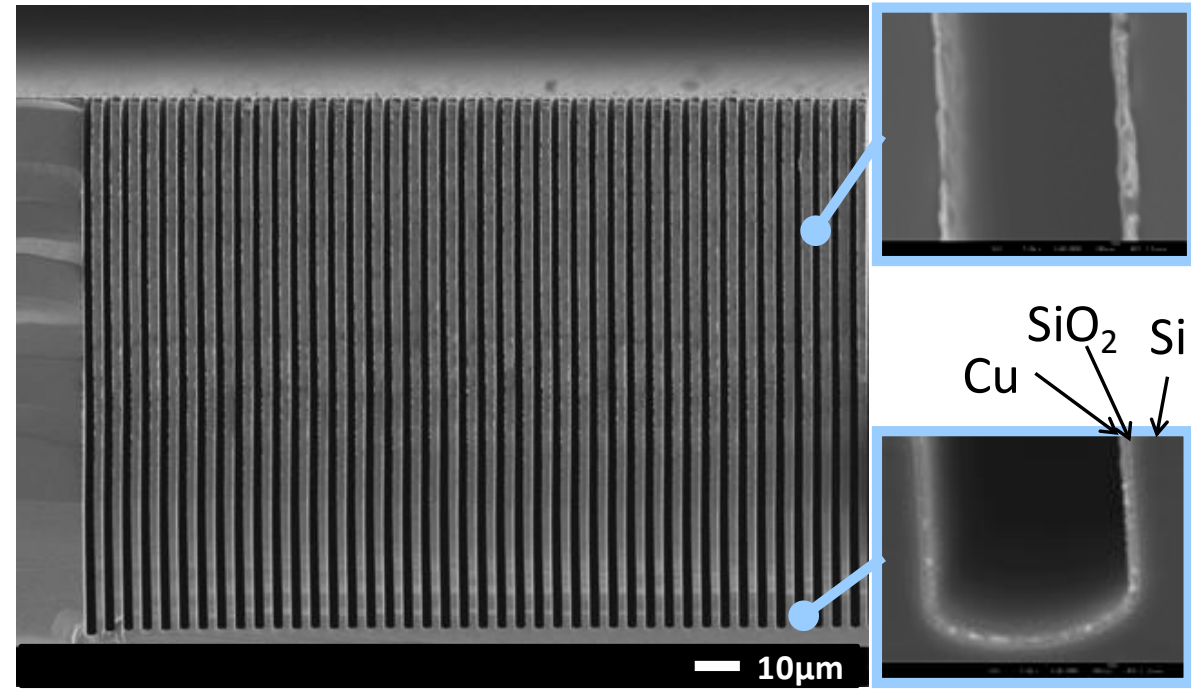
高アスペクト比3Dキャパシタ



深掘り3次元レンチを用いた高容量キャパシタ



Plain view



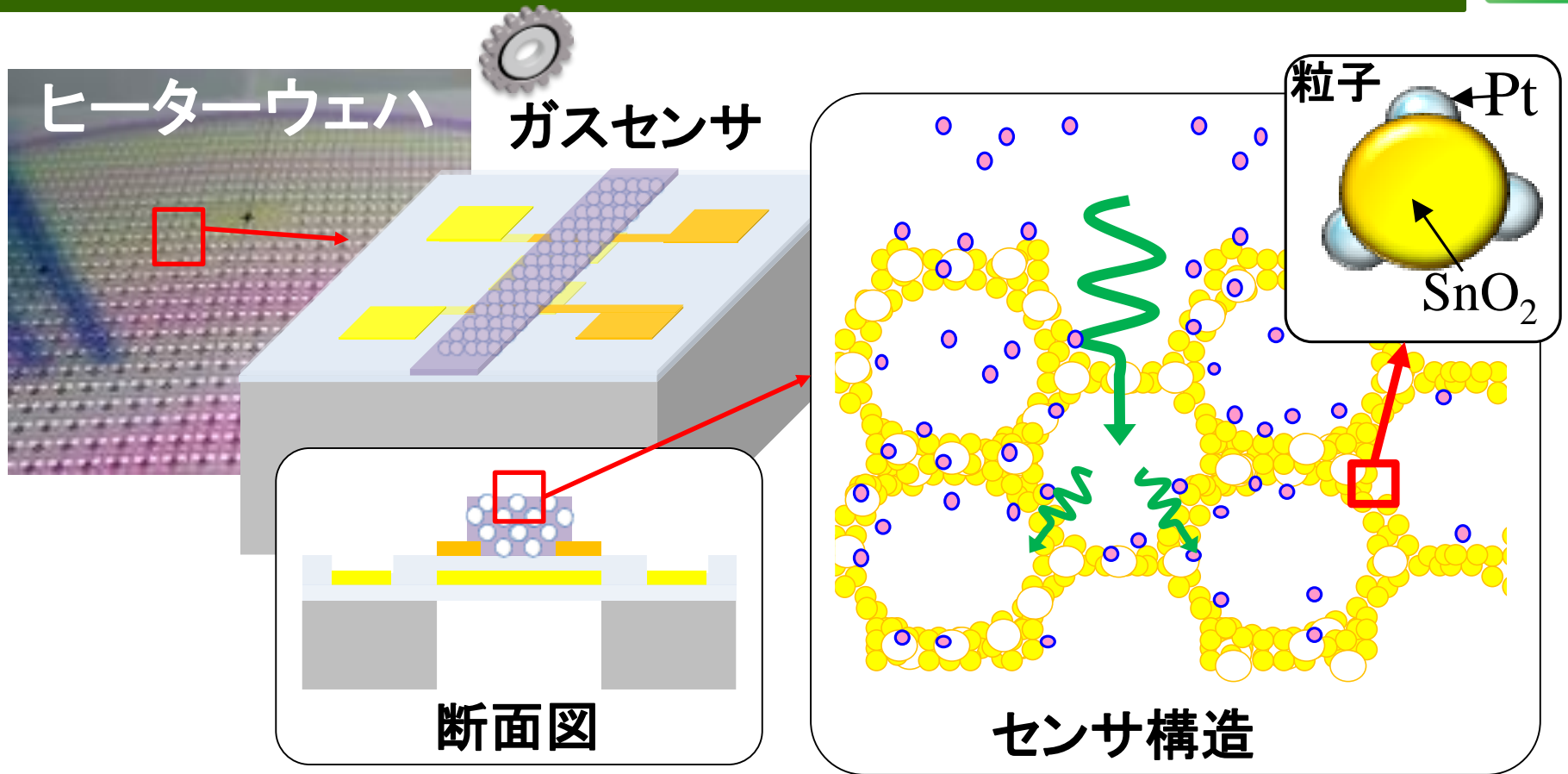
Cross section

平面状キャパシタに比べて70倍の容量増大(比表面積の増大効果)



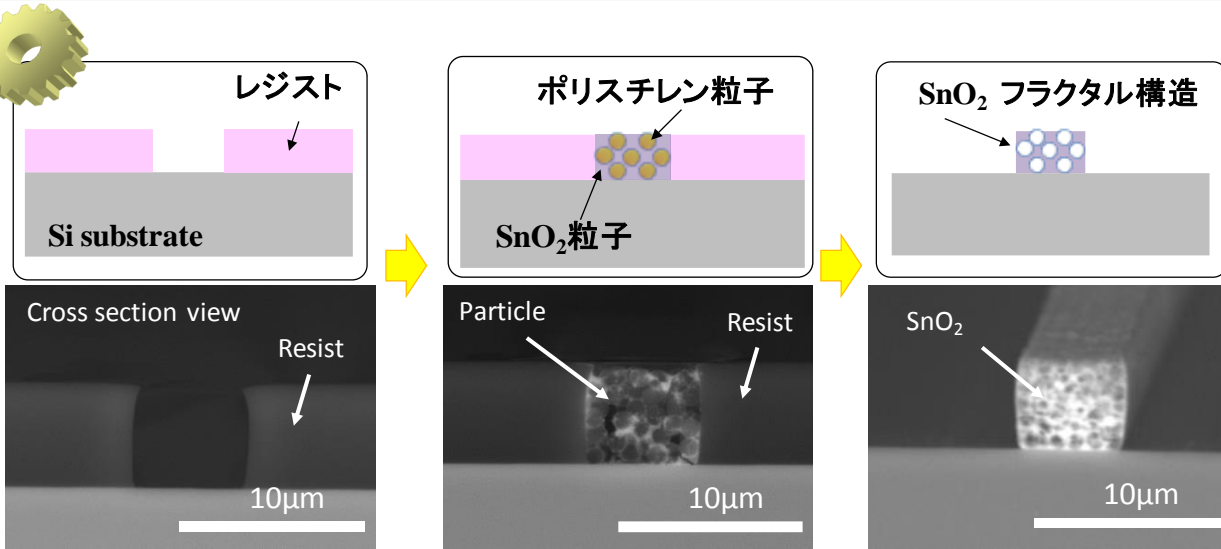
超臨界流体製膜

ナノ粒子配列を用いたガスセンサ

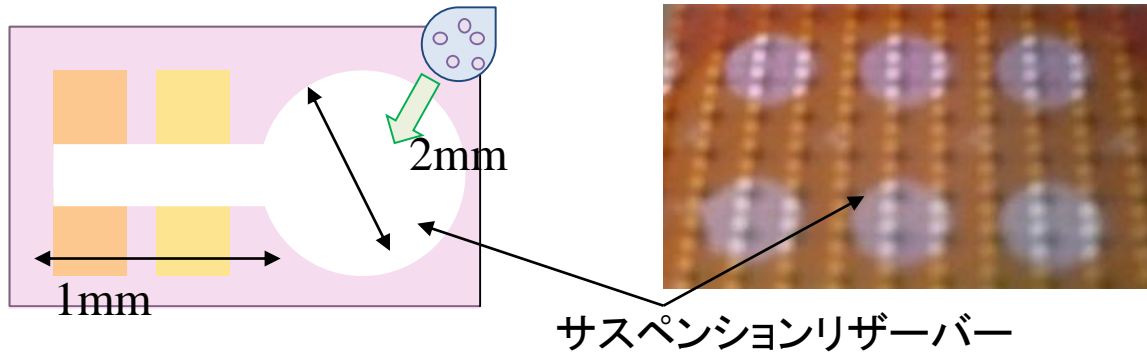


- SnO_2 ナノフラクタル構造 → 大きな比表面積・迅速なガス拡散
- Pt触媒添加 → 高感度・検出ガス種の選択性
- MEMSホットプレート上に容易に作製可能

ガスセンサ on MEMSホットプレート



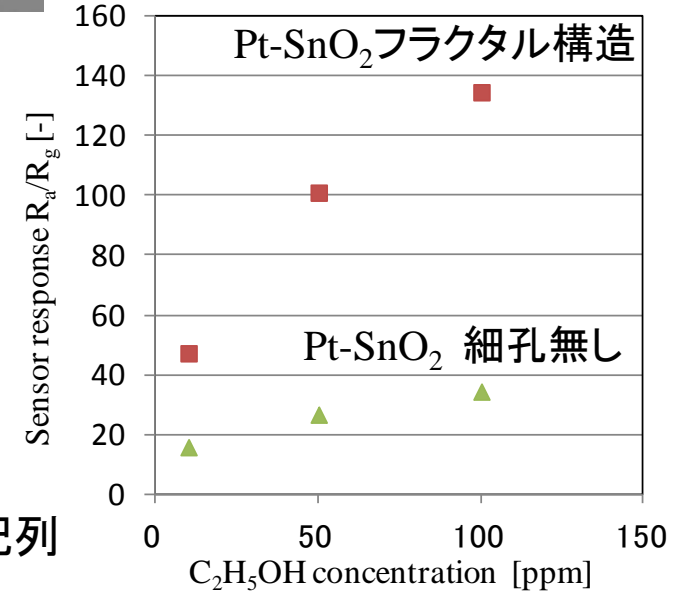
従来型センサ(製品)に
比べ大幅な感度向上



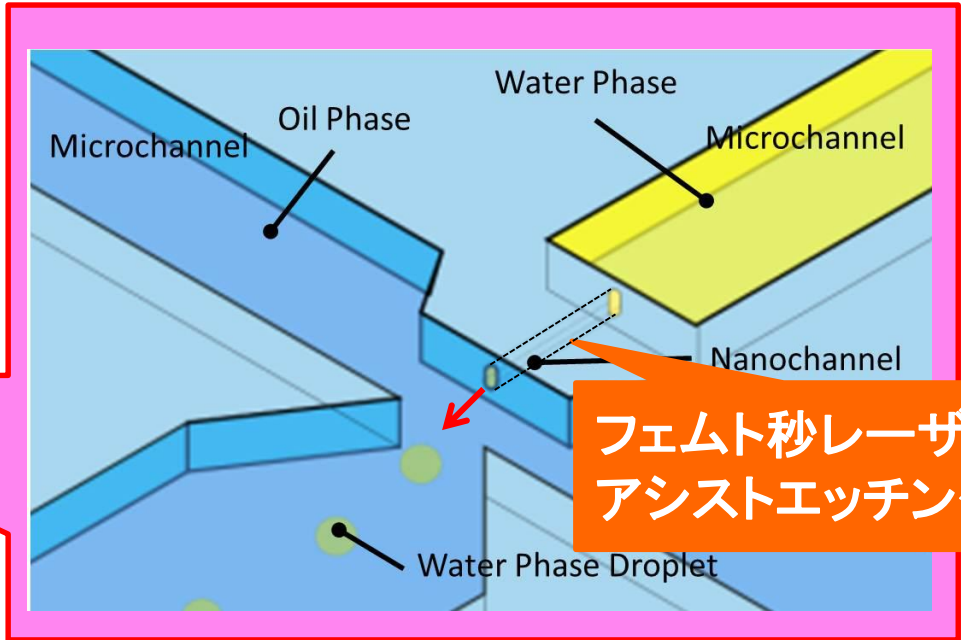
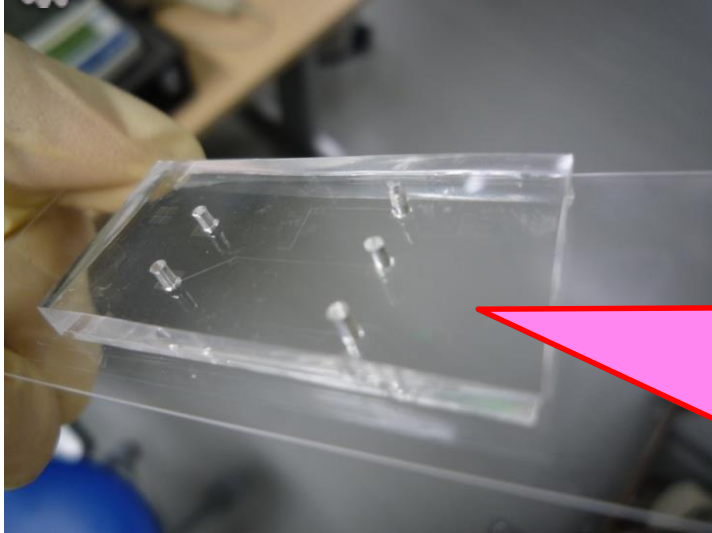
SnO₂粒子(直径数nm)
ポリスチレン粒子(直径 1 μm)
PtCl₄溶液

すべて混合して
滴下・自己組織化配列

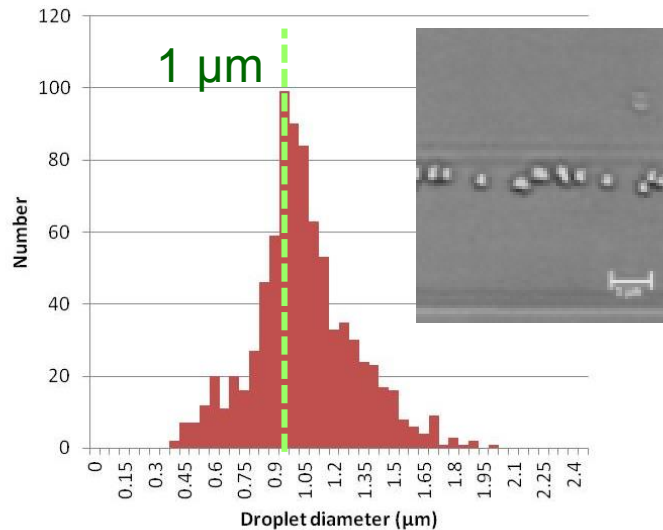
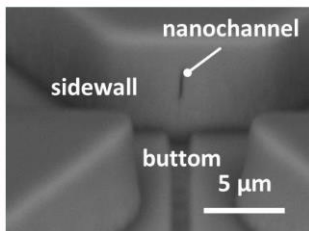
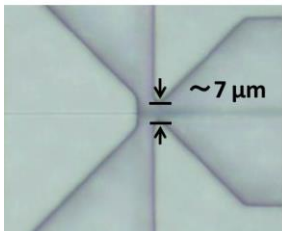
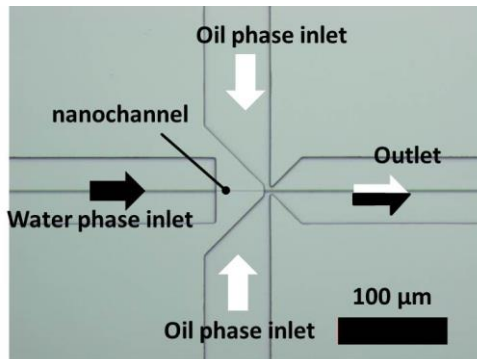
焼結(レジスト・PS粒子除去)



ナノ液滴生成デバイス

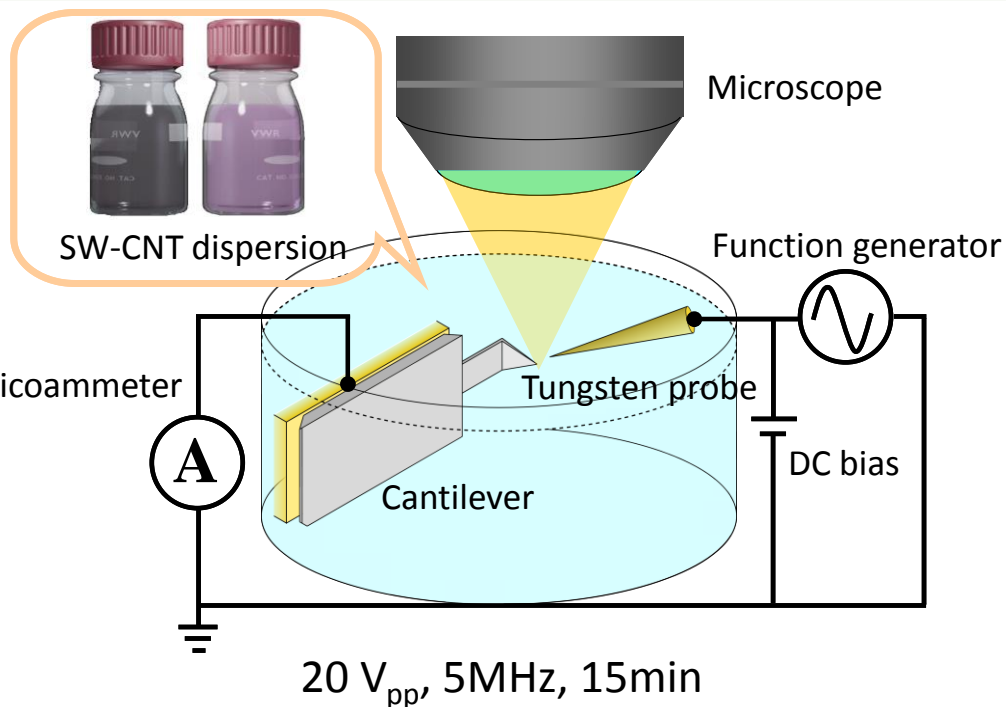


フェムト秒レーザー
アシストエッチング

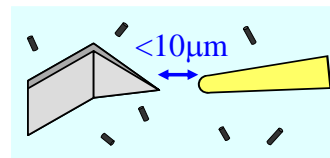


サブミクロン径の
液滴を形成可能

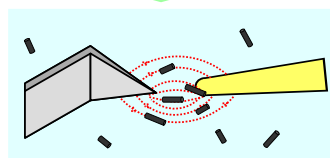
誘電泳動法によるCNT探針の作製



(1) Aligning



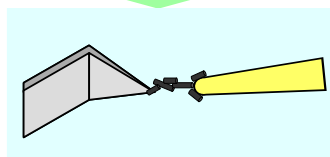
(2) AC/DC voltage ON



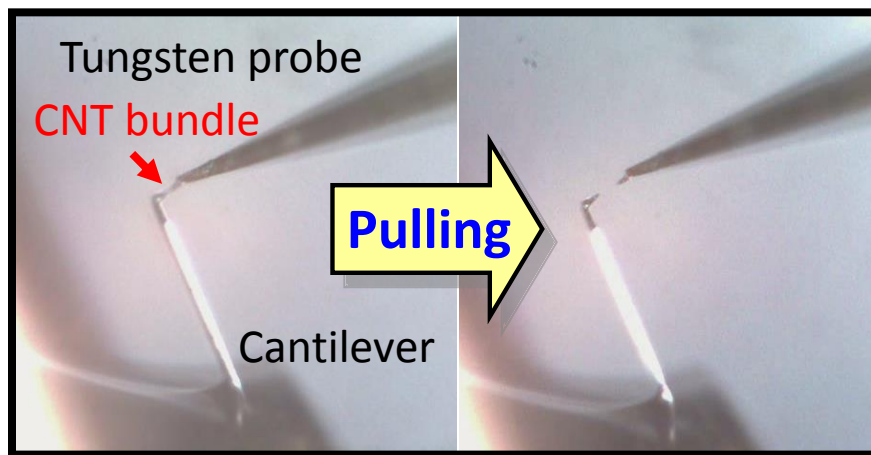
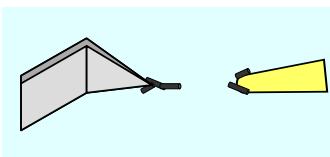
$$F_{DEP} \propto \nabla |E|^2$$

E: Electric field strength

(3) SW-CNTs bundle bridged

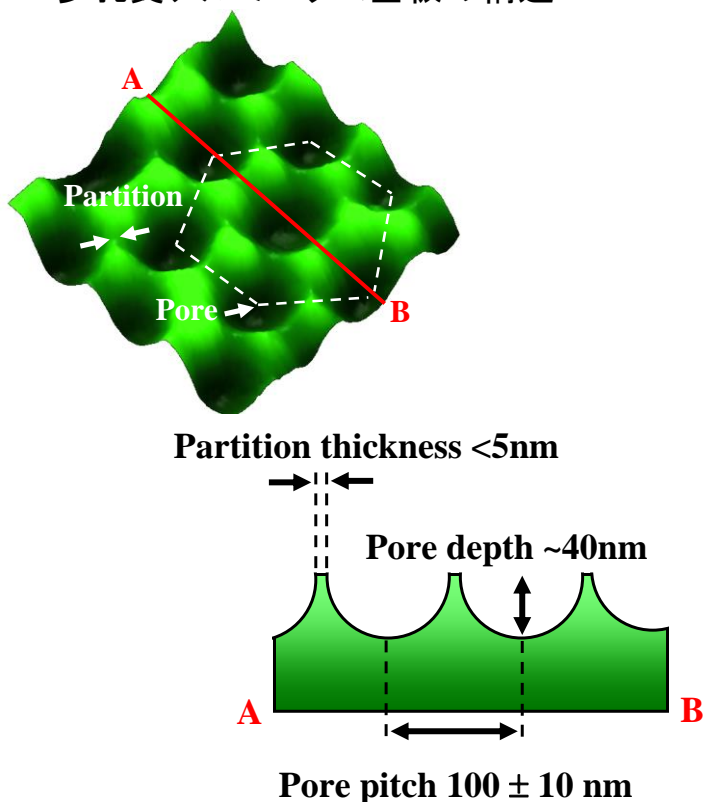


(4) Pulling



CNTカンチレバーの特性評価

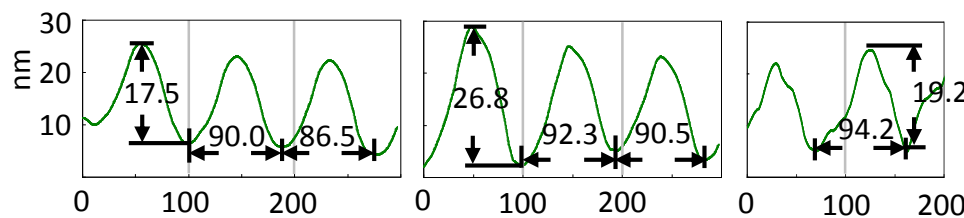
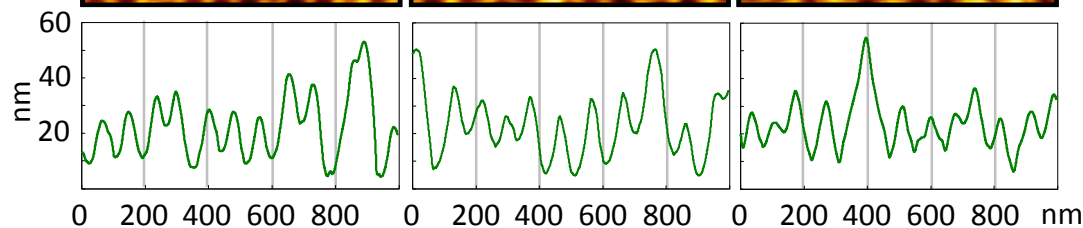
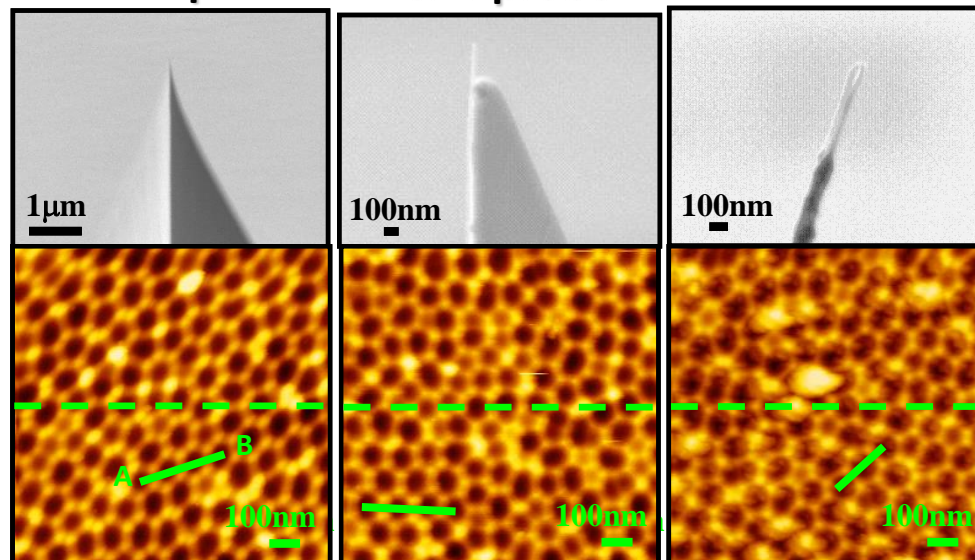
・多孔質アルミニウム基板の構造



Conventional
silicon probe

Commercial
CNT probe

Our CNT probe



誘電泳動法で作製したCNTカンチレバーは、従来の市販品と比べ同等レベルの高分解能観察が可能であることがわかった。
またこの方法により、CNTカンチレバーを低コスト化が実現できる。
(市販CNTカンチレバー5万円/本)

3D-BEANSの成果



デバイス

製造装置

中性粒子ビームエッチング

超臨界流体製膜

フェムト秒レーザー
アシストエッチング

シミュレーション・解析技術
(中性粒子ビームエッチング・超臨界)

ナノライボロジ

プロセス
基盤技術

ペプチドを用いた
物質選択結合

3D構造への粒子配列
ナノフラクタル形成

CNT誘電泳動

3D-BEANSの成果



デバイス

中性粒子ビーム
エッチング装置

超臨界流体製膜装置
@DENSO

製造装置

中性粒子ビームエッチング

超臨界流体製膜

フェムト秒レーザー
アシストエッチング

シミュレーション・解析技術
(中性粒子ビームエッチング・超臨界)

ナノライポロジー

プロセス
基盤技術

ペプチドを用いた
物質選択結合

3D構造への粒子配列
ナノフラクタル形成

CNT誘電泳動

3D-BEANSの成果

