

ポストシリコン世代のMEMS製造技術

中性粒子ビーム無損傷3次元加工

超臨界高均一製膜

ナノ構造自己組織化

がもたらすMEMSのパラダイム



杉山 正和

3D BEANS センター

東京大学大学院工学系研究科

3D BEANSがもたらすMEMSプロセスの新次元

- 無損傷深3次元構造
- 深3次元構造内部表面への
 - 機能性薄膜の超均一製膜
 - 機能性ナノ構造の自己組織化配列

新次元を拓くMEMSプロセス

- 無損傷深3次元構造を実現する
 - 中性粒子ビームエッチング
 - フェムト秒レーザー誘起エッチング
- 深3次元構造内部表面への超均一製膜のために
 - 超臨界流体製膜
- 3次元構造内部表面への機能性ナノ構造の自己組織化配列のために
 - 3次元表面へのナノ粒子自己組織化配列
 - ペプチドを用いた材料選択的配列

中性粒子ビームエッチング

従来のプラズマエッチング

プラズマ



プラズマからは光子や荷電粒子が照射されるため
欠陥が生じたり形状に異常をきたすことがあります

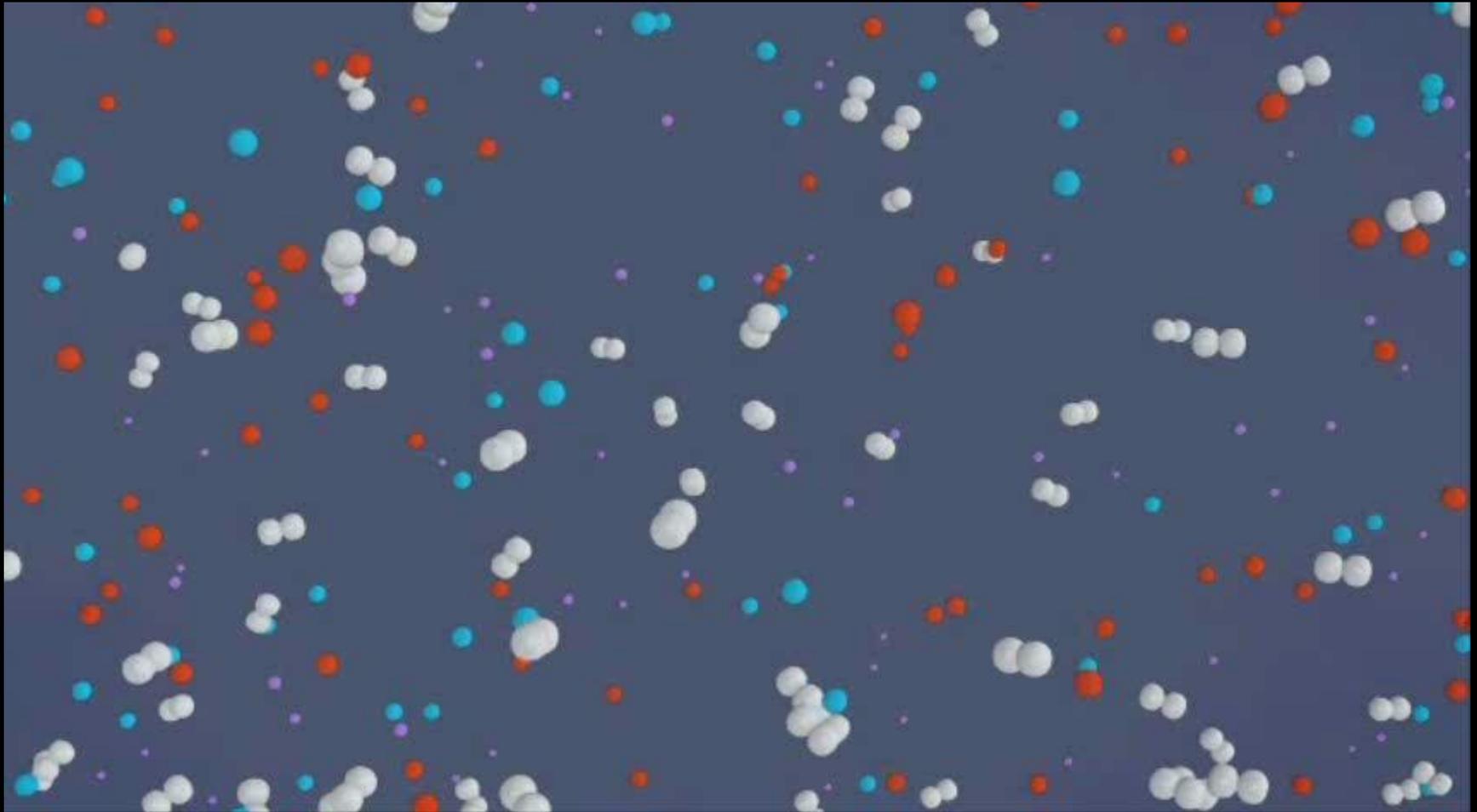
中性粒子ビームエッチング

中性粒子



中性粒子により、基板が垂直にエッチングされます
電荷や紫外光によるダメージはありません

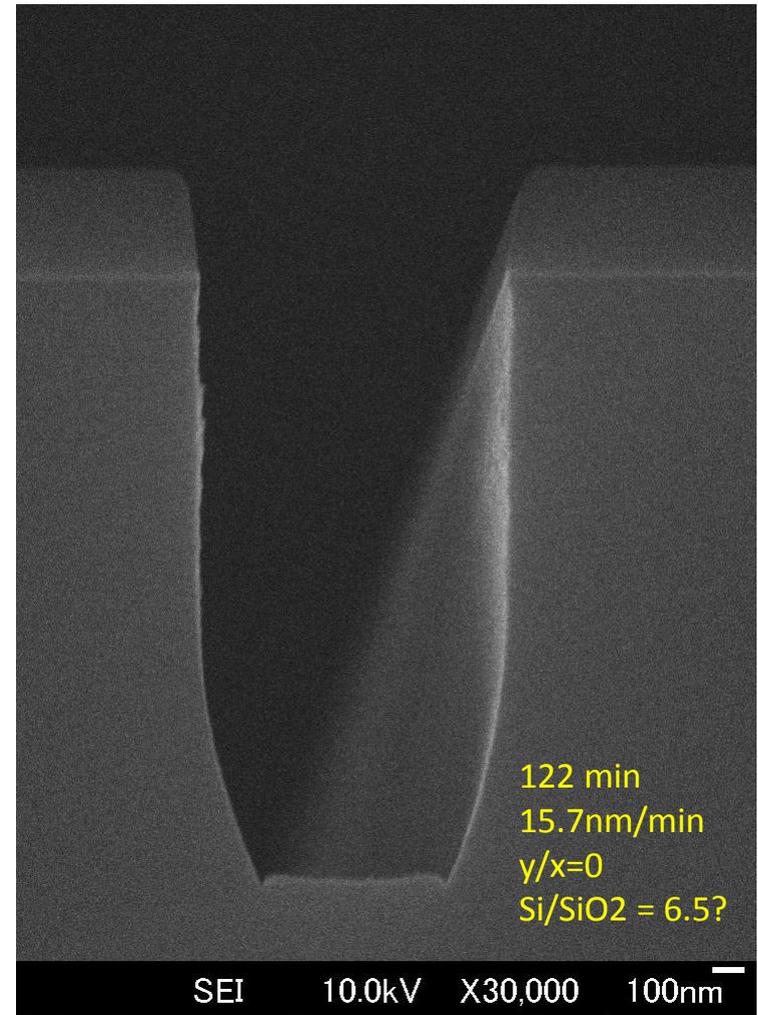
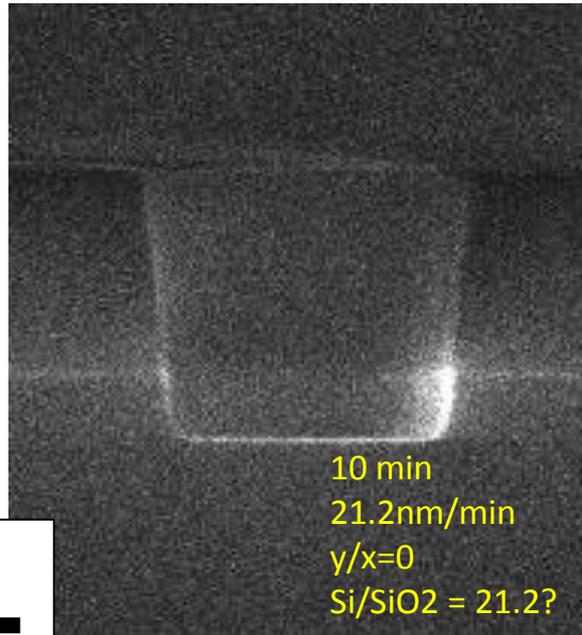
中性粒子ビームの生成



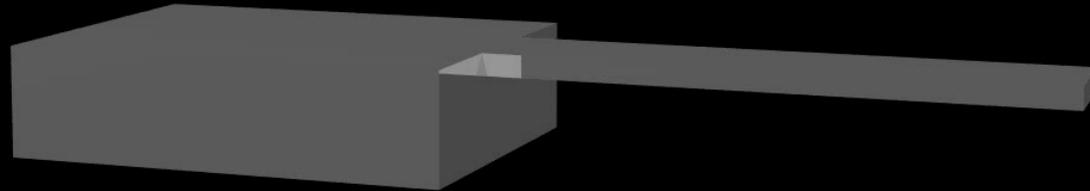
高速・垂直エッチングへの挑戦



F₂+Cl₂=8+72
(F₂ 10%, Cl₂ 90%)
2kW
Pulse 50us/50us



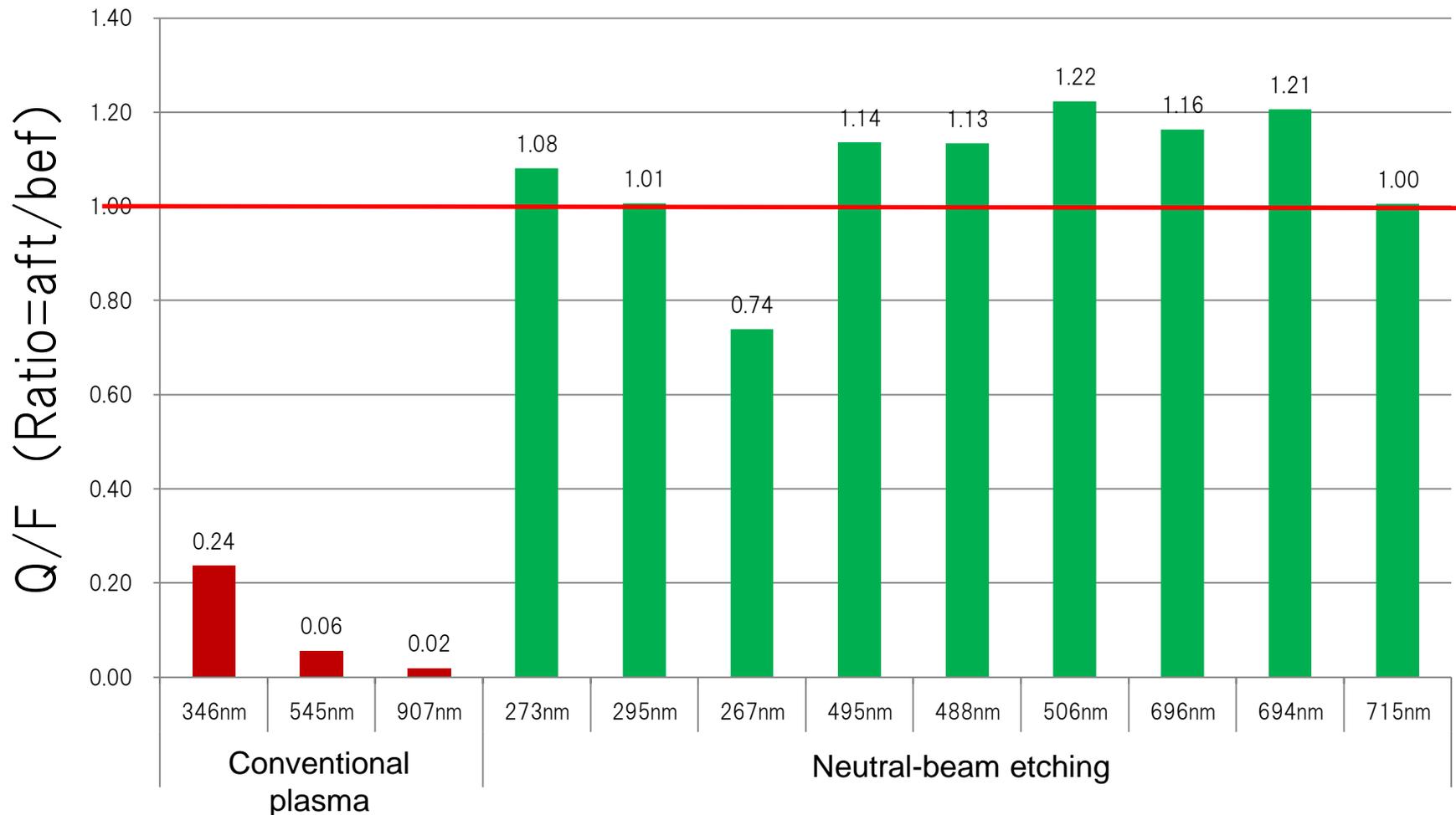
カンチレバーの振動特性による エッチング損傷の評価



エッチング前後の振動特性の変化

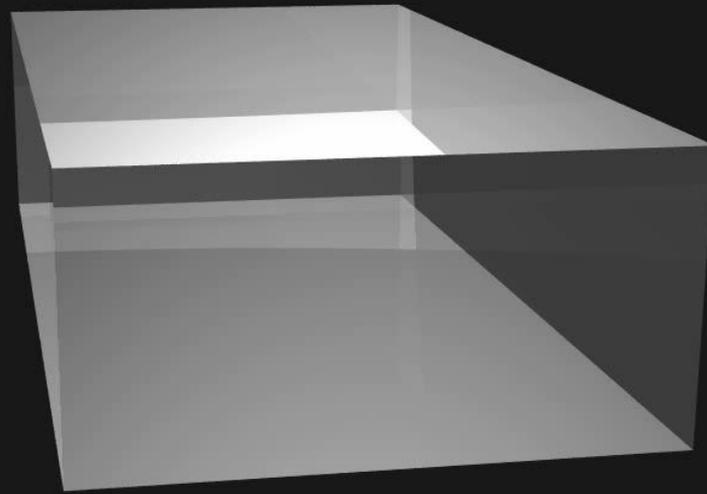


- 中性粒子ビームエッチングの前後でQ/Fの変化なし
→エッチングによる損傷なし

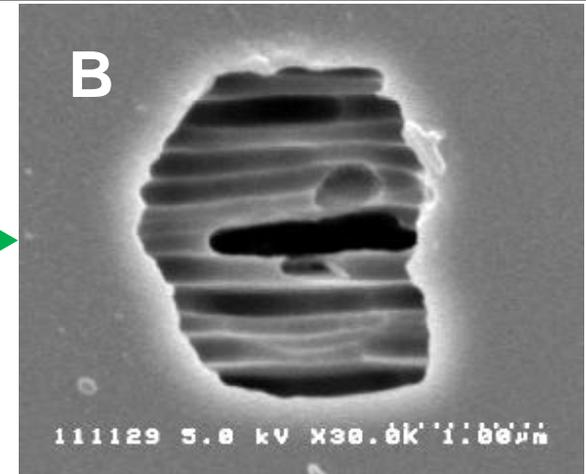
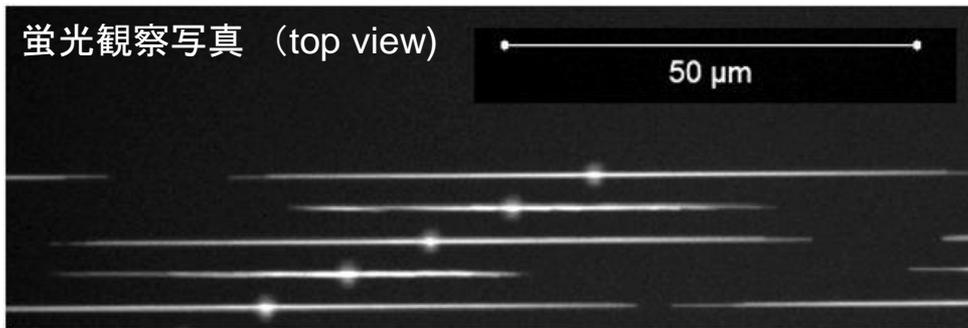
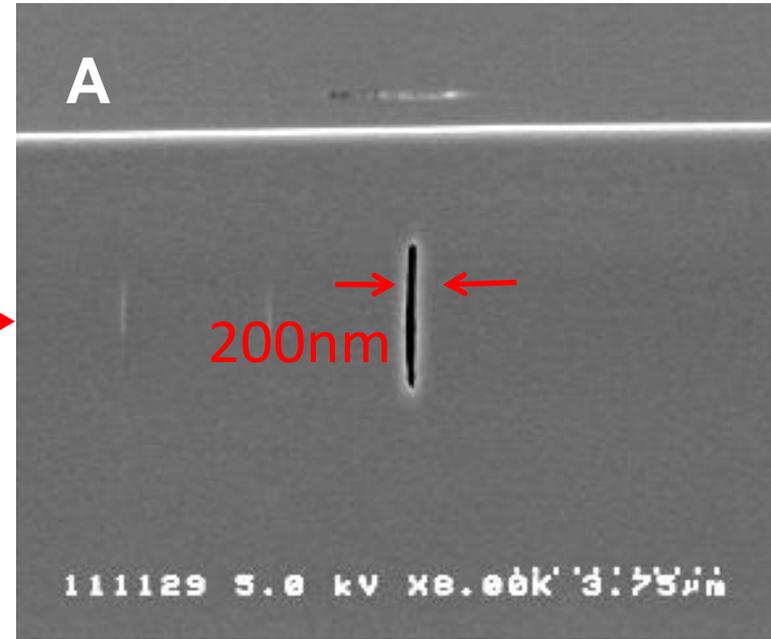
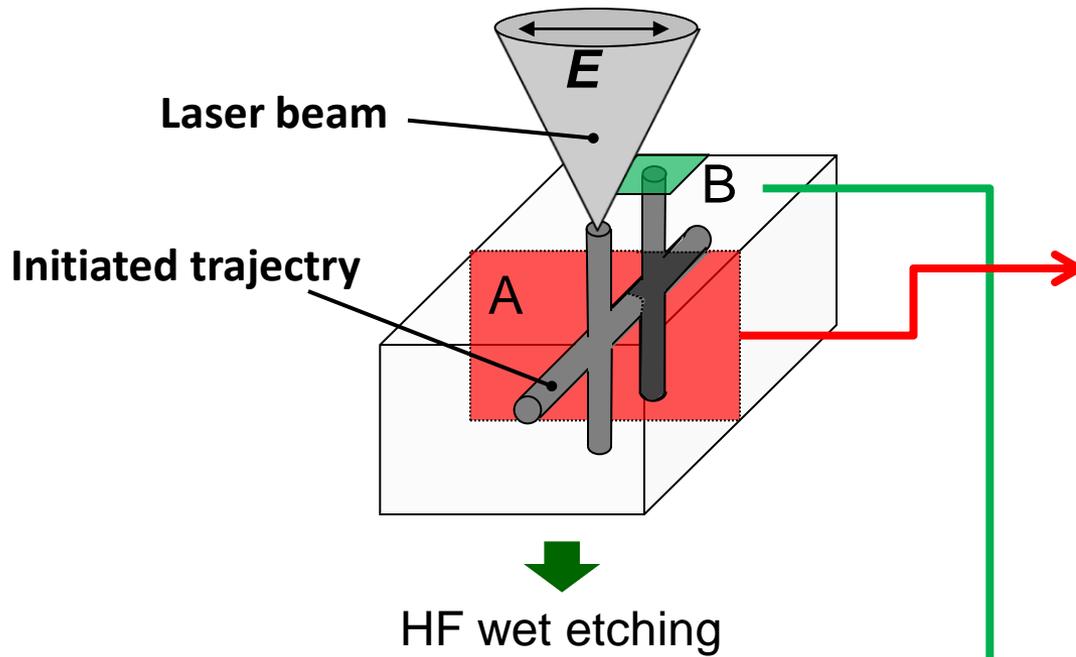


フェムト秒レーザー誘起エッチング

石英へのフェムト秒レーザー照射と ウエットエッチング

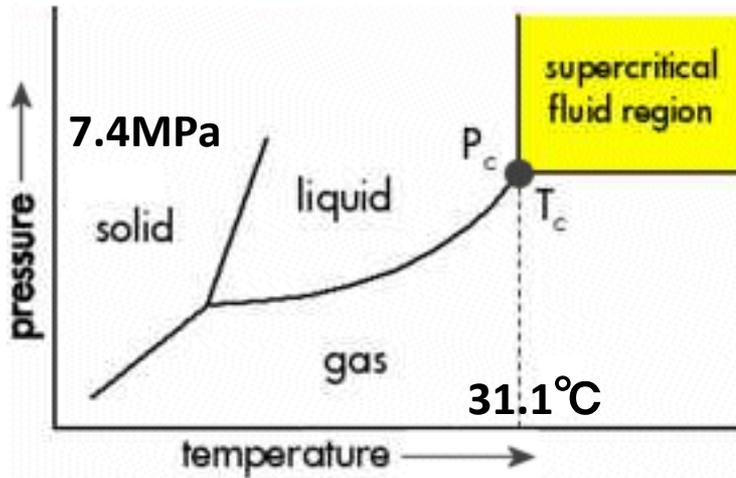


石英基板内部の真3次元エッチング



超臨界流体製膜

超臨界流体とは



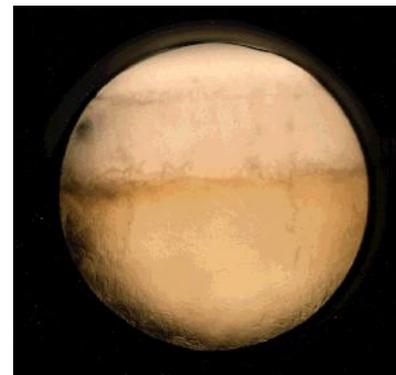
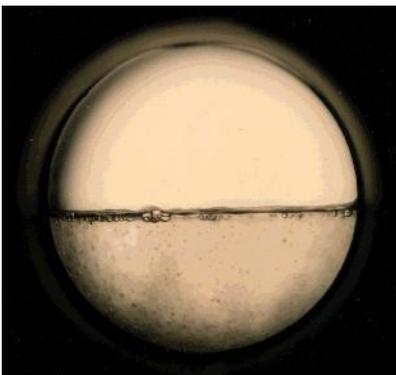
	Gas	SCF	Liquid
Density (kg/m ³)	1	100~1000	1000
Diffusivity (m ² /s)	10 ⁻⁵	10 ⁻⁷ ~10 ⁻⁸	10 ⁻¹⁰

Phase transition

G/L equilibrium

● ————— pressurize —————>

SCF



各種製膜法による微細孔埋め込み



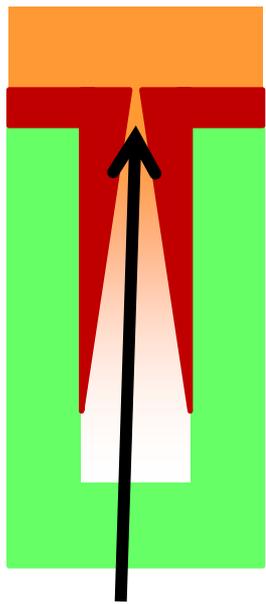
Vapor phase

Rapid diffusion

low concentration

PVD

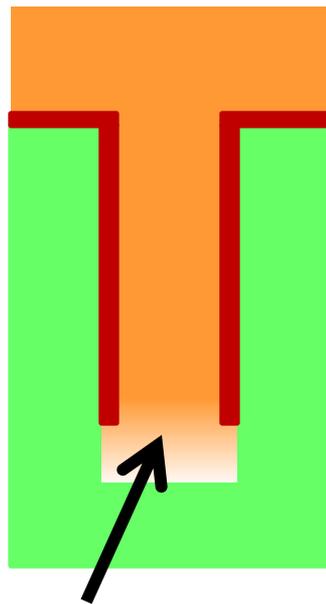
Reactive



Poor coverage
(← reactive)

CVD

Less reactive



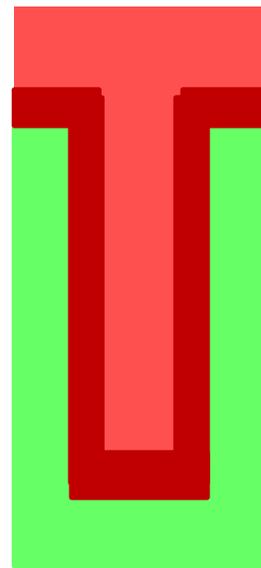
Bad nucleation
(← low conc.)

Supercritical

Rapid diffusion

High concentration

SCFD



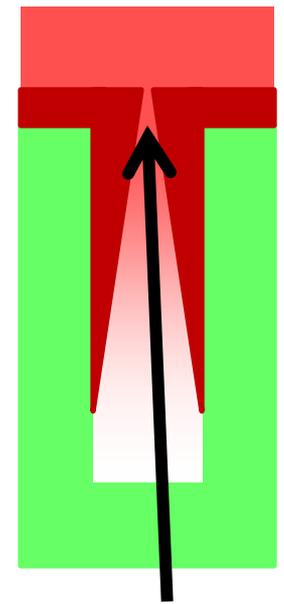
Excellent coverage

Liquid phase

Slow diffusion

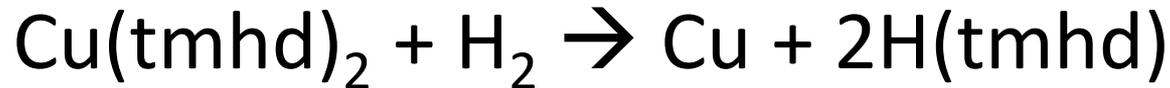
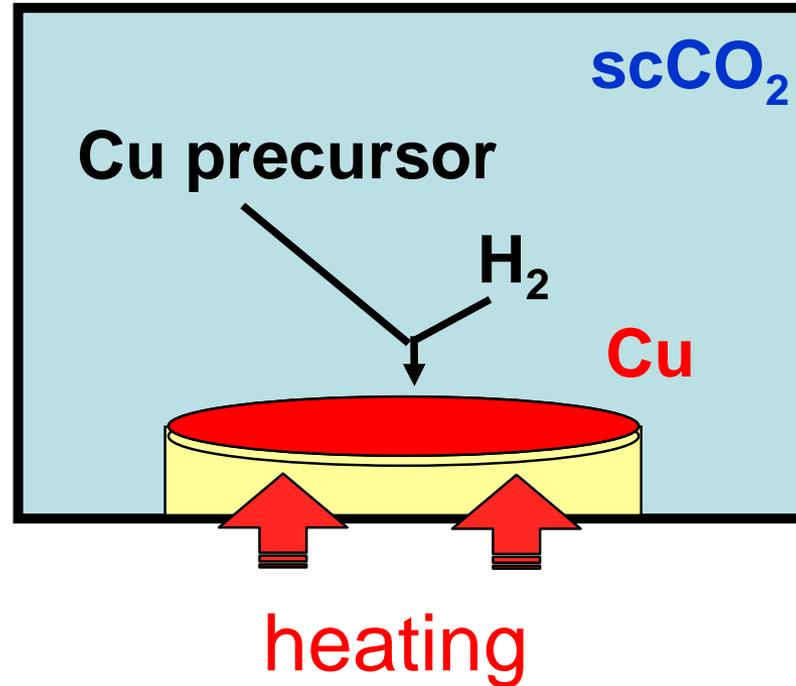
High concentration

Electroplating



Poor coverage
(← Slow diffusion)

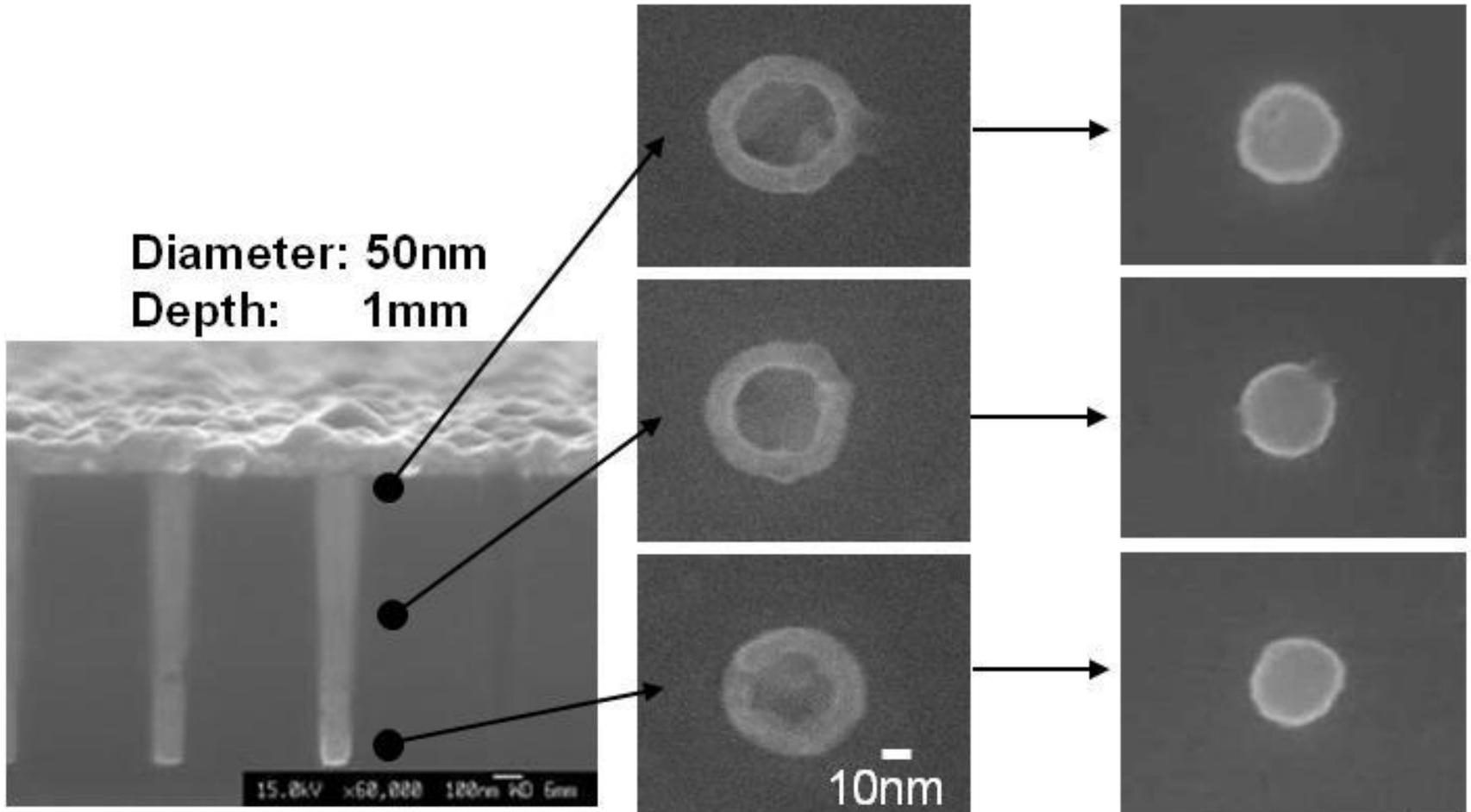
Cuの超臨界流体製膜



Typical reaction conditions:

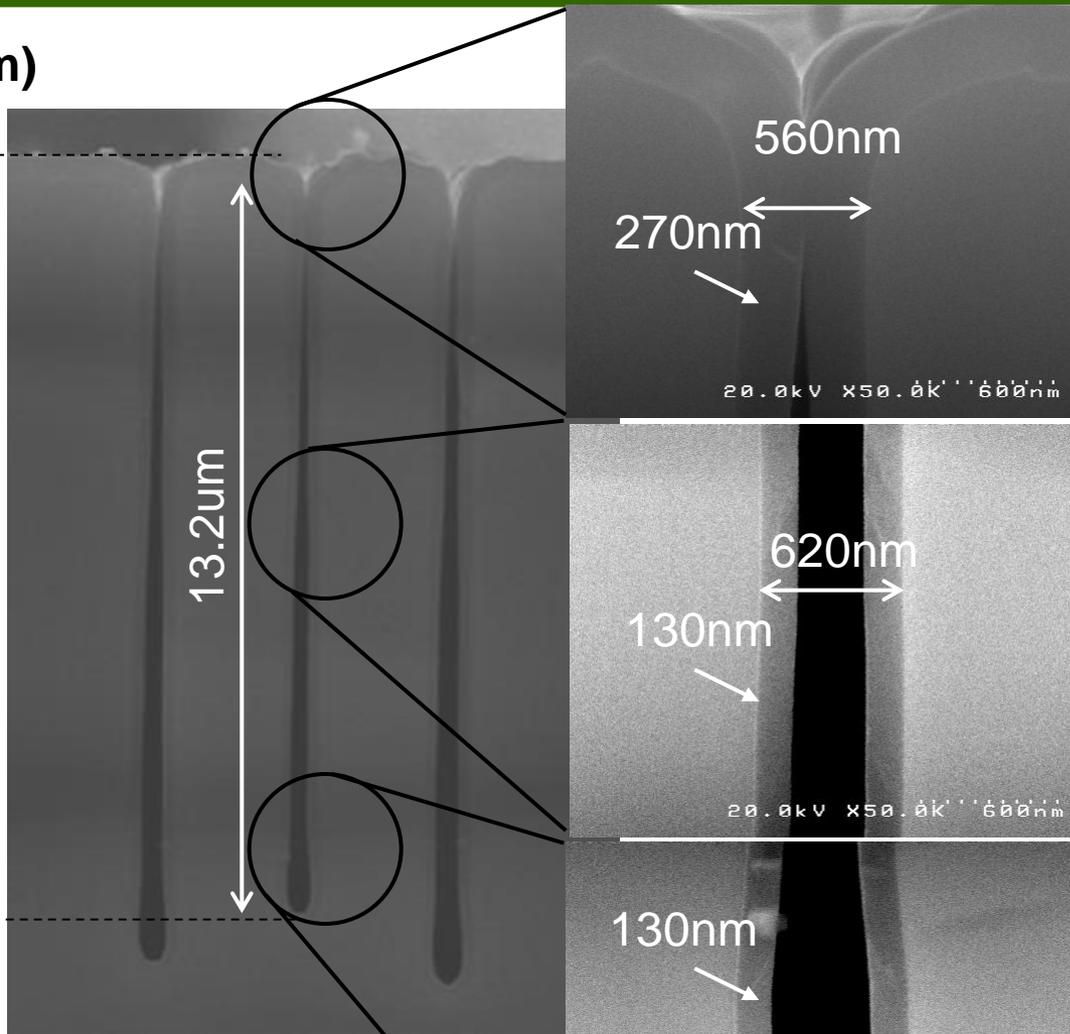
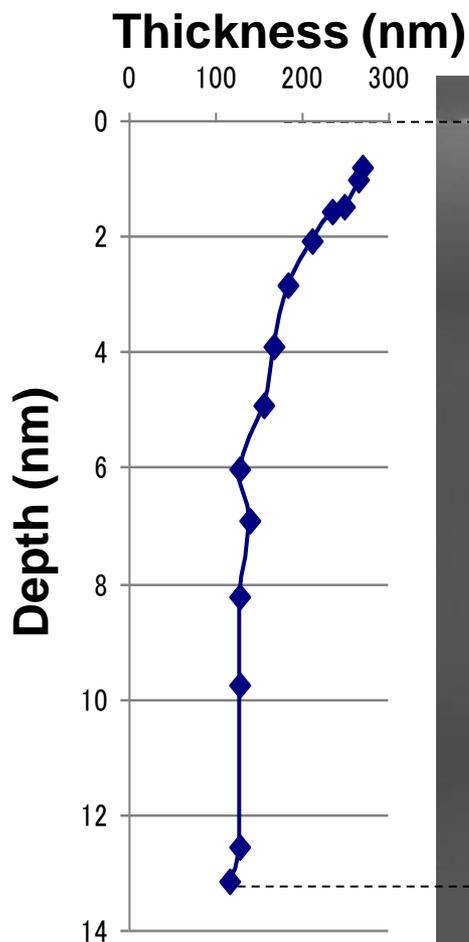
CO₂ (14 MPa) + H₂ (1 MPa), 200°C

Cuの高均一製膜



Selective deposition on a metal underlayer

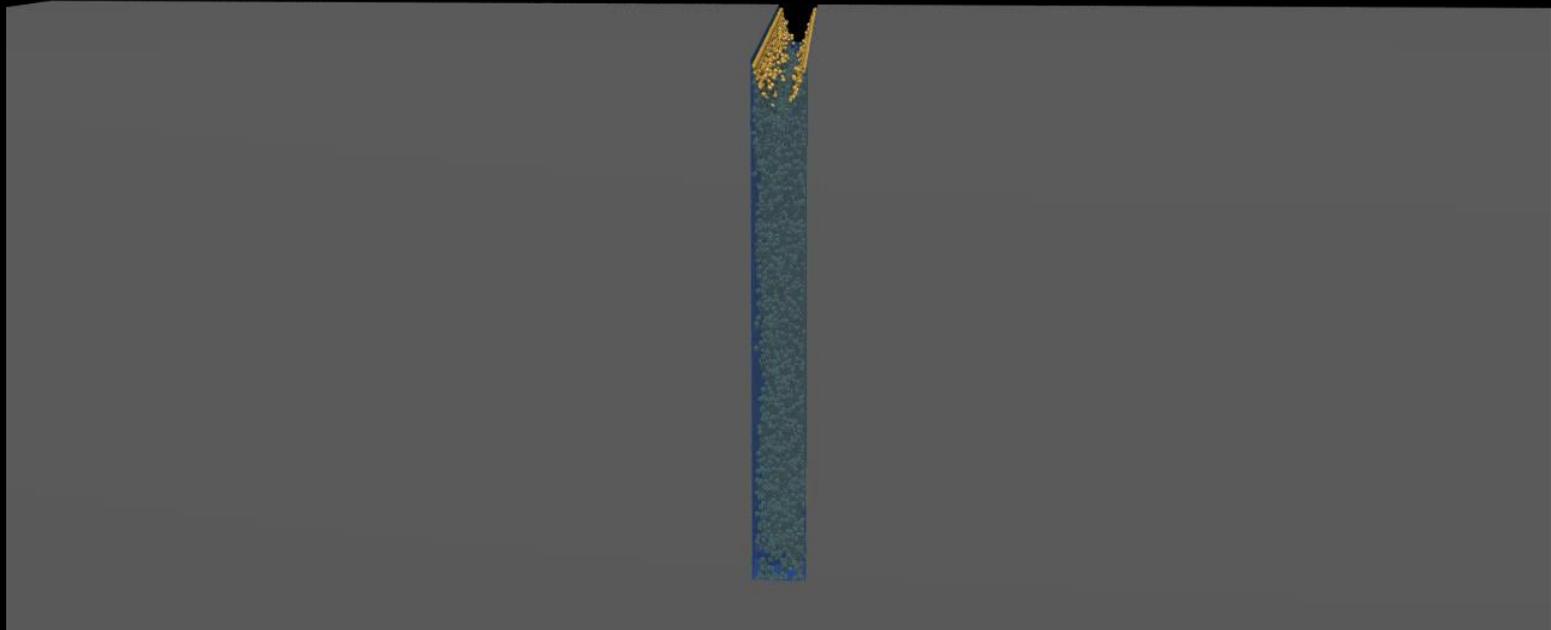
高アスペクト比トレンチへのSiO₂製膜



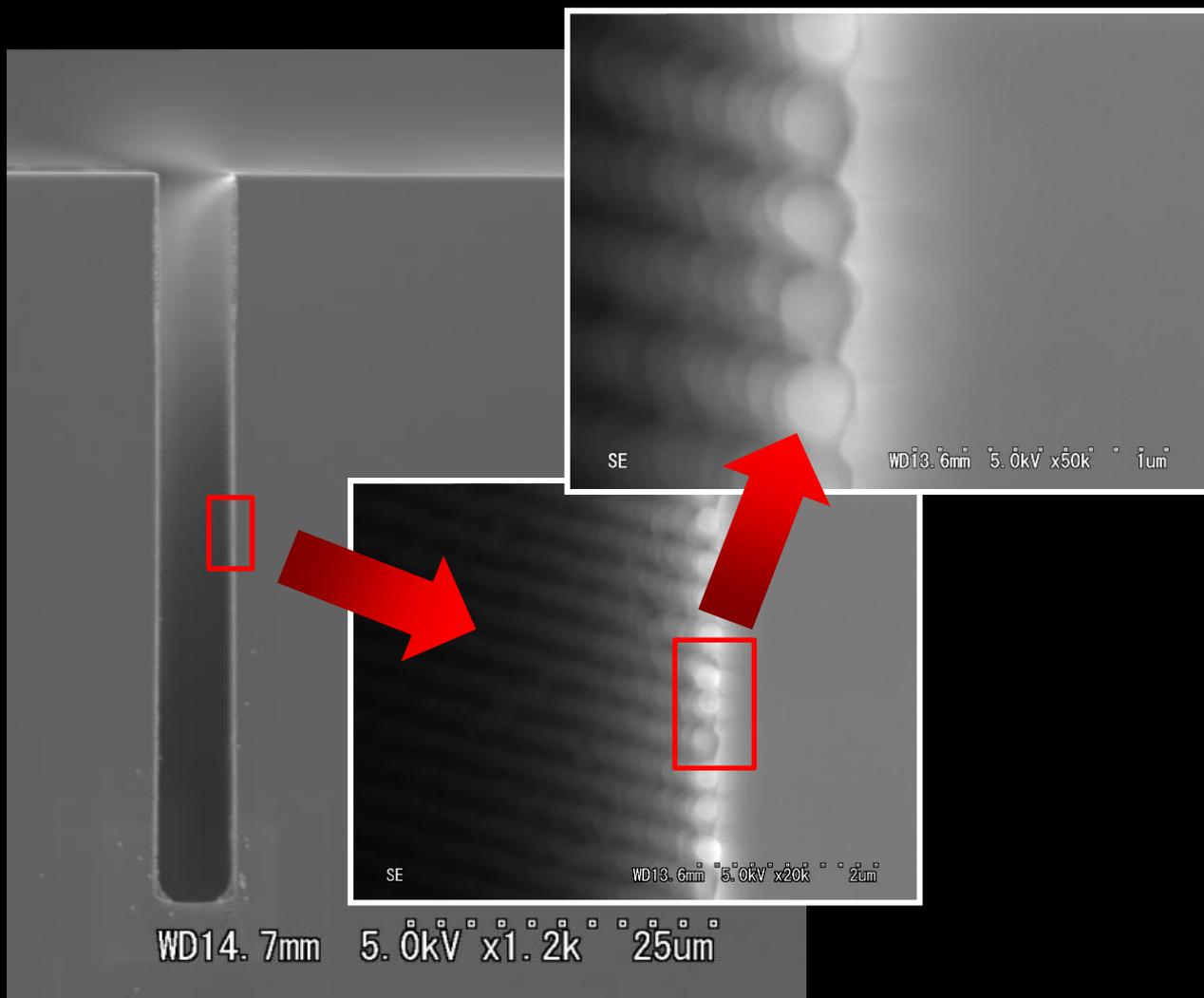
Conformal deposition on trenches with A.R.=23

3次元トレンチへの粒子配列

トレンチ内部表面への ナノ粒子自己組織化配列



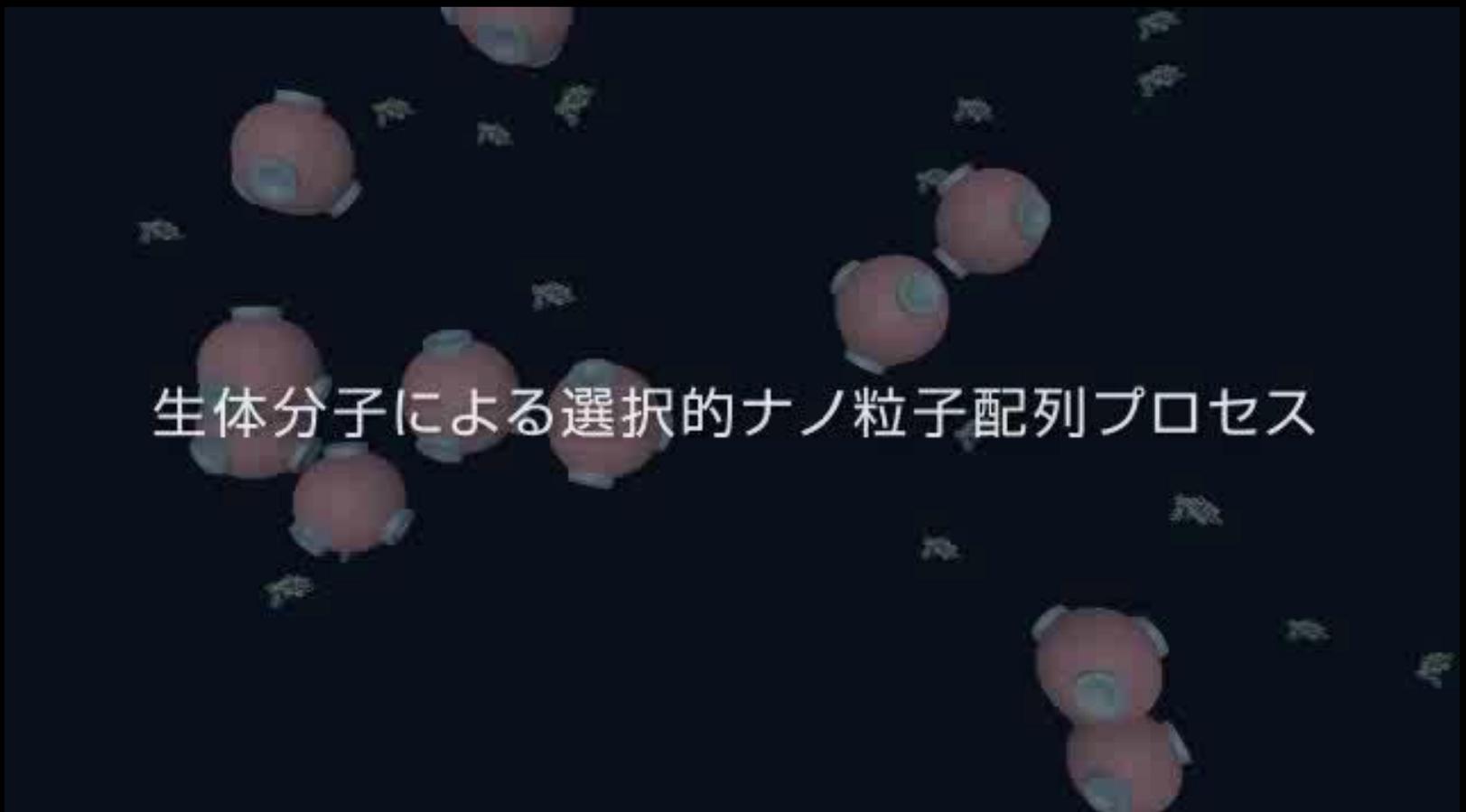
トレンチ側壁に配列したナノ粒子



Cross-sectional SEM image

ペプチドを用いた 材料選択的配列

ペプチドを用いたナノ粒子配列

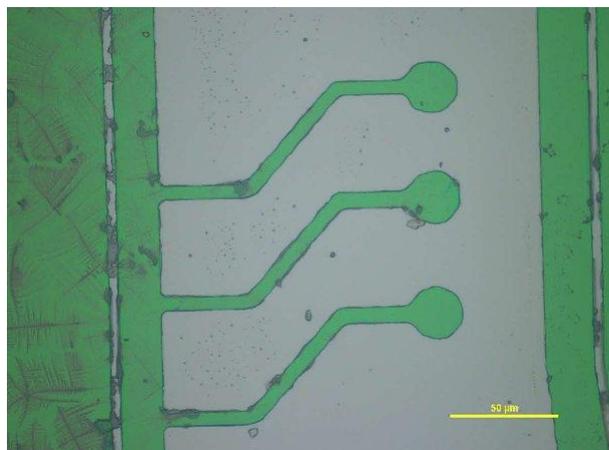


生体分子による選択的ナノ粒子配列プロセス

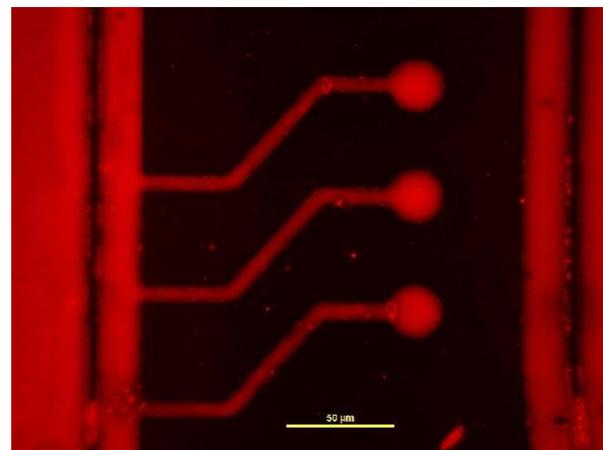
ZnOパターン上に配列したCdSeナノ粒子



- シリコン基板上にZnOをパターンニング
- CdSeナノ粒子とペプチドを含む溶液に浸潤
- ZnOパターン表面にのみナノ粒子が配列
→ 赤い蛍光



UV irradiation



新規デバイス作製の試み

センサノードのオンチップ集積

On-chip Integration with power supply

Conventional device



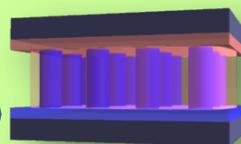
Sensor element

+



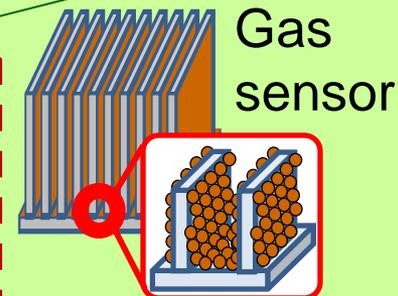
Power supply

Power Generator



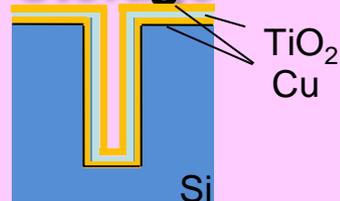
High efficiency solar cell

Sensors

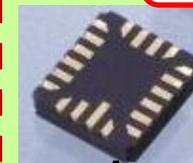


Gas sensor

Power Storage



Super-capacitor made by Supercritical Fluid Deposition

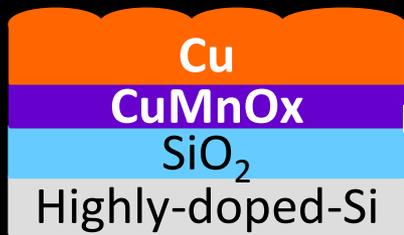


Acceleration sensor

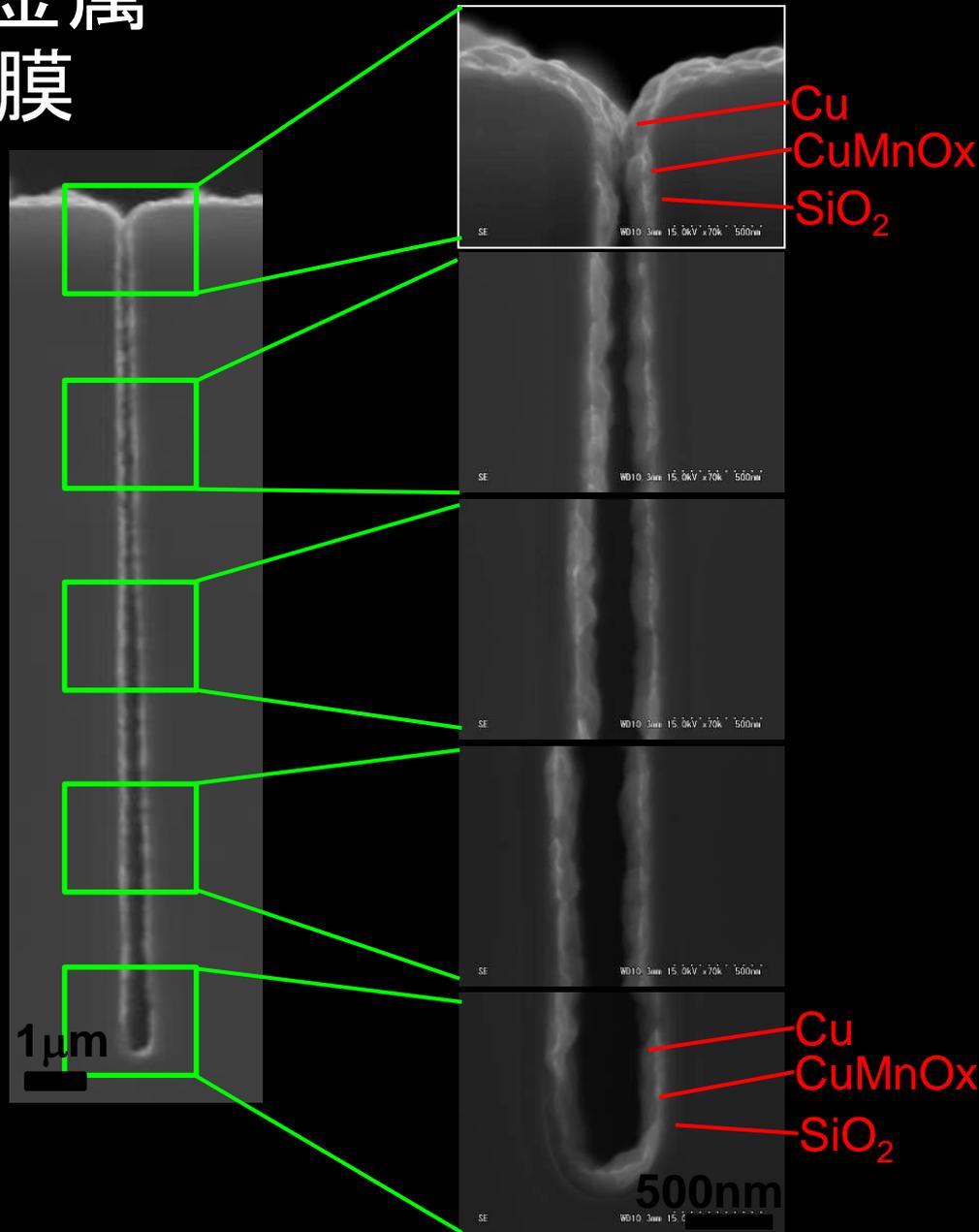
Needs: Conformal deposition on a high-aspect-ratio structure (metal + dielectric multilayer)

深トレンチへの酸化膜・金属積層構造の高均一製膜

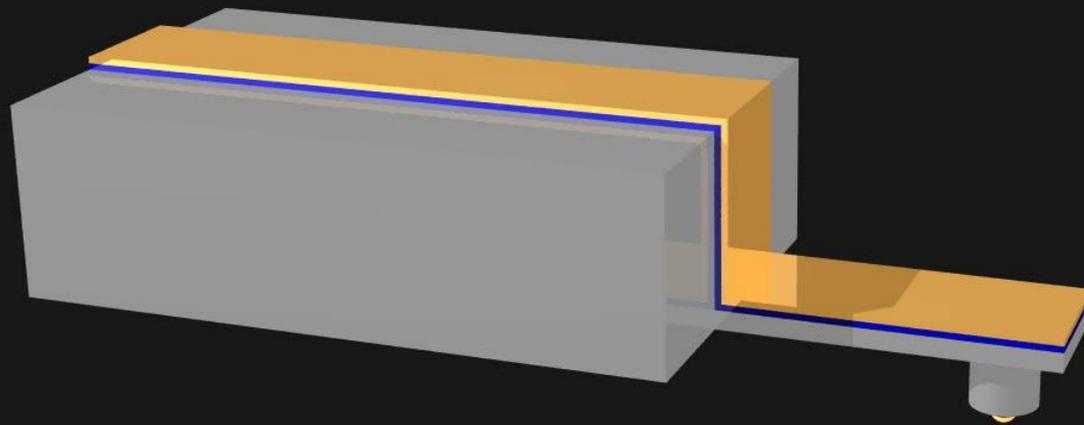
超臨界流体製膜



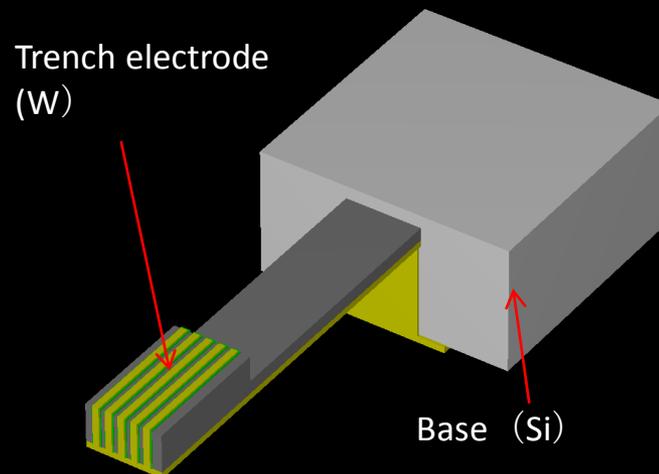
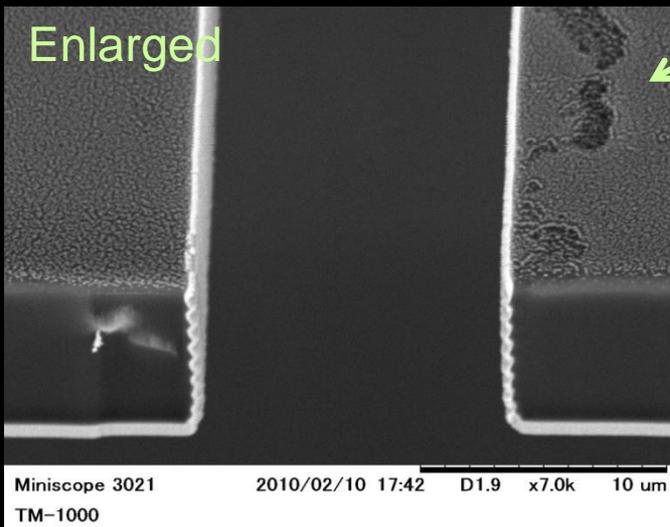
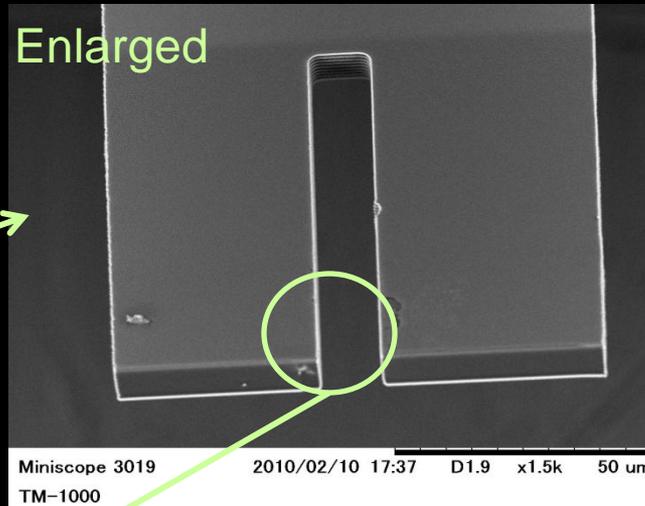
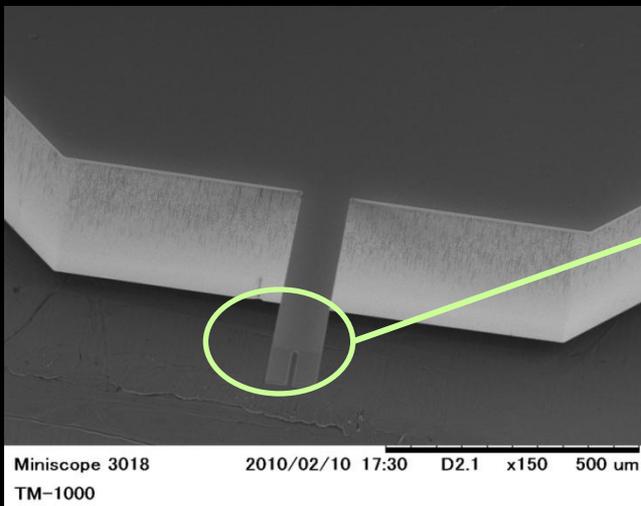
酸化膜上に金属製膜を可能にする密着層



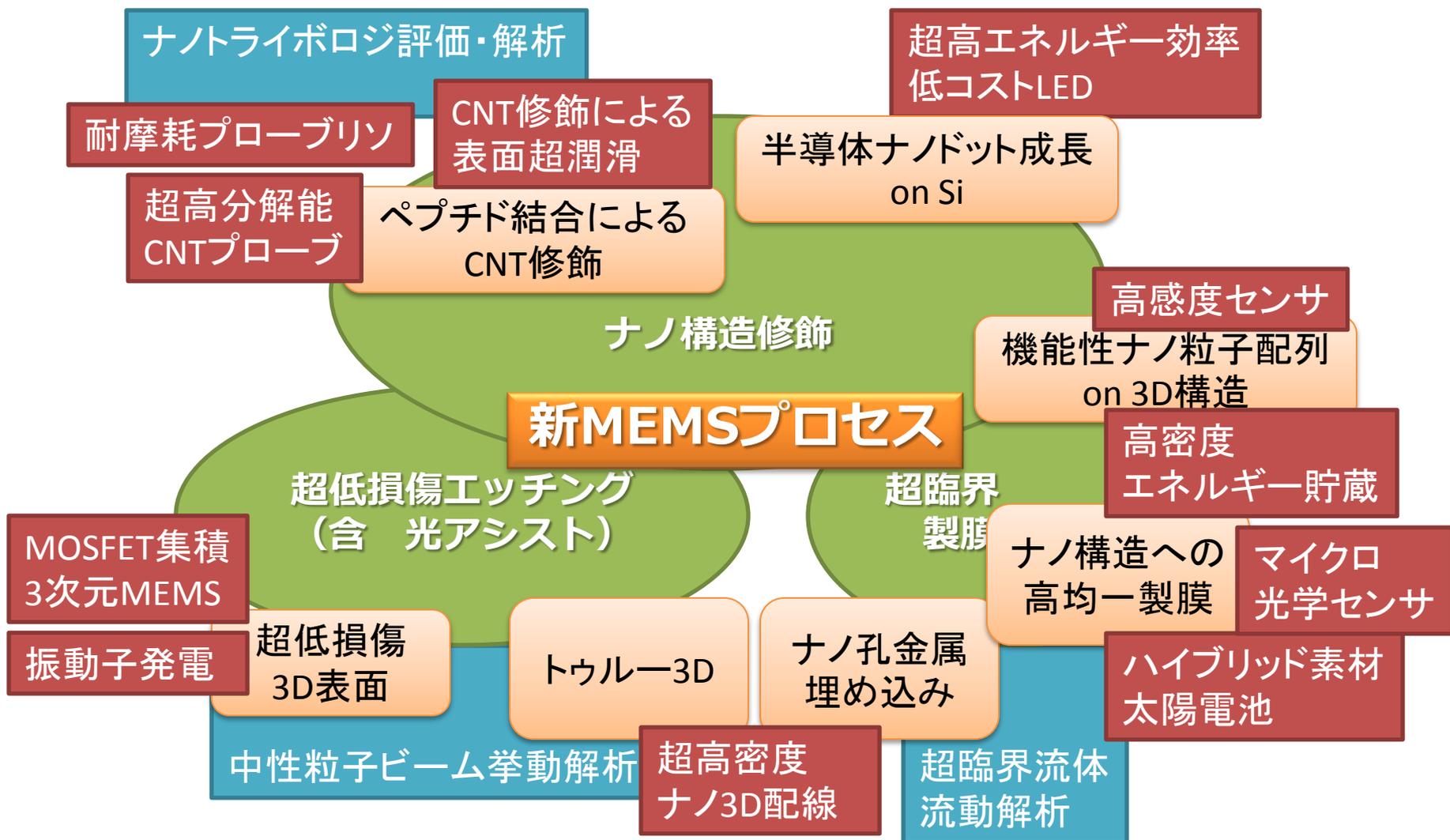
長寿命プローブ



長寿命プローブの試作例



3D BEANSの研究テーマと展開



阿波寄
富士電機

富澤
東芝

山田
デンソー

久保田
東大

美濃
パナソニック電工

植木
オムロン

百瀬
東大

鈴木
SII

李
東芝

武田
BEANS

杉山
東大

勅使河原
東大

額賀
フジクラ

嶋田
東大

3D BEANSでは、今後も新世代を拓くMEMSプロセスを創造します。
皆様のご支援、よろしくお願ひします。