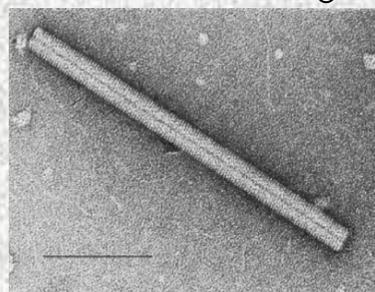
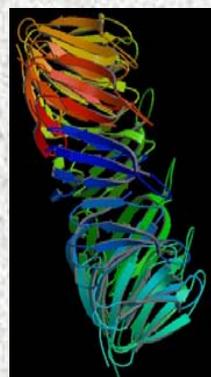
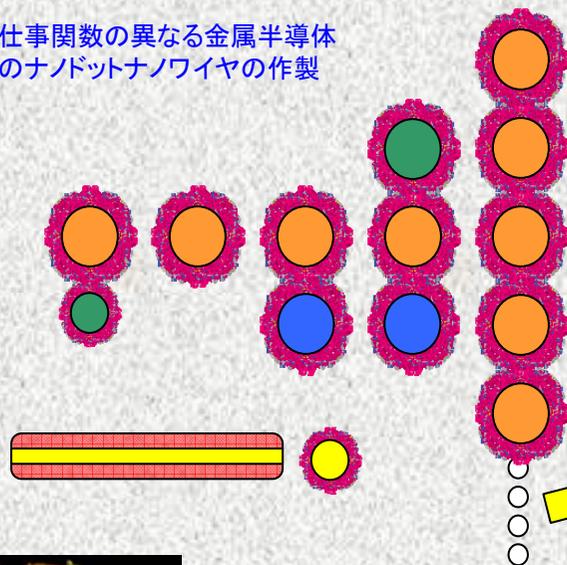


バイオナノプロセス：タンパク質 による無機ナノ機能構造作製

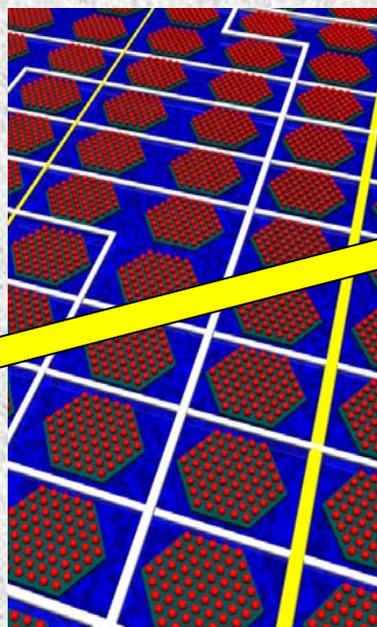
奈良先端科学技術大学院大学
物質創成科学
松下電器連携講座
山下 一郎

バイオのナノテクノロジーを利用する

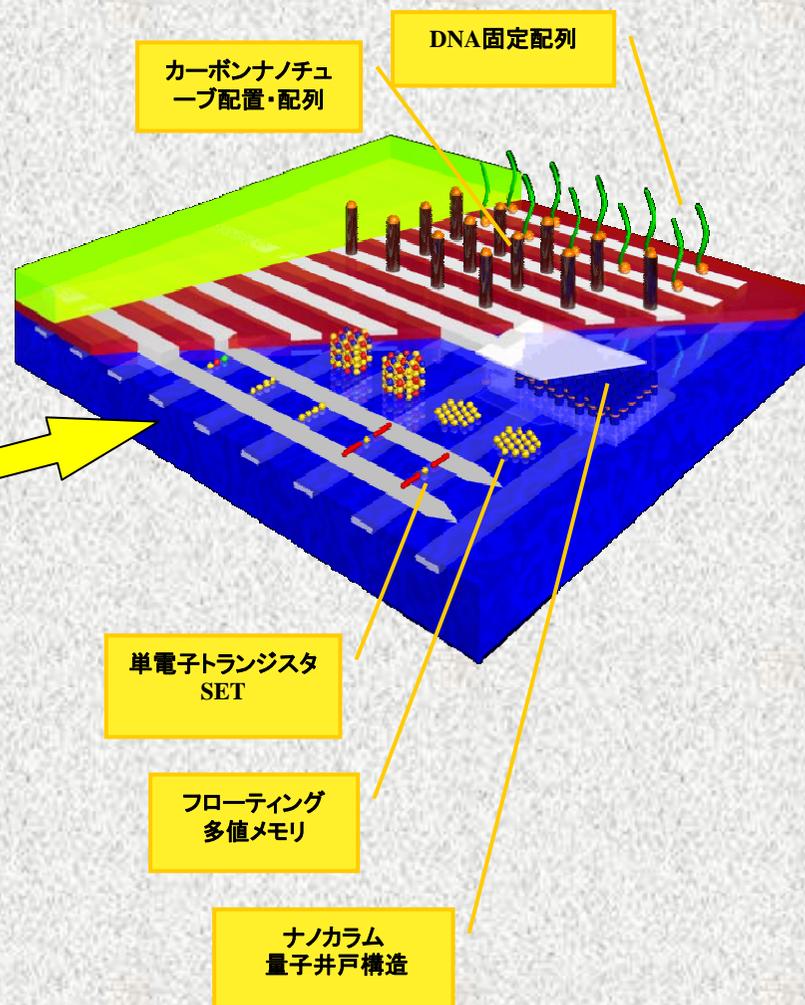
仕事関数の異なる金属半導体のナドットナノワイヤの作製



遺伝子工学を用いたタンパク質改質、人工タンパク質



電子元素の任意配置



カーボンナノチューブ配置・配列

DNA固定配列

単電子トランジスタ SET

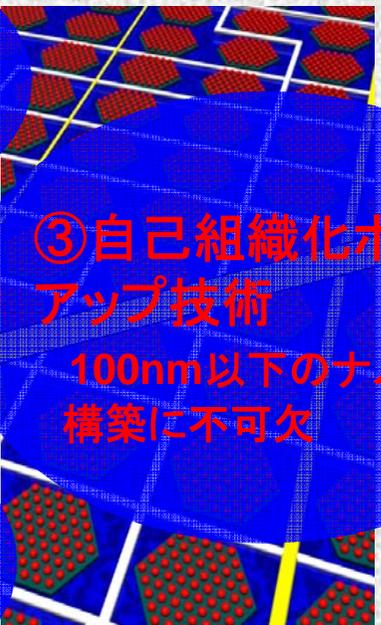
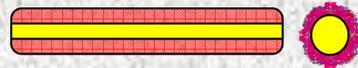
フローティング多値メモリ

ナノカラム量子井戸構造

バイオのナノテクノロジーを利用する

仕事関数の異なる金属半導体のナドットナノ構造の形成

① **バイオナノブロック**: ナノの世界で均一で量子効果素子に不可欠

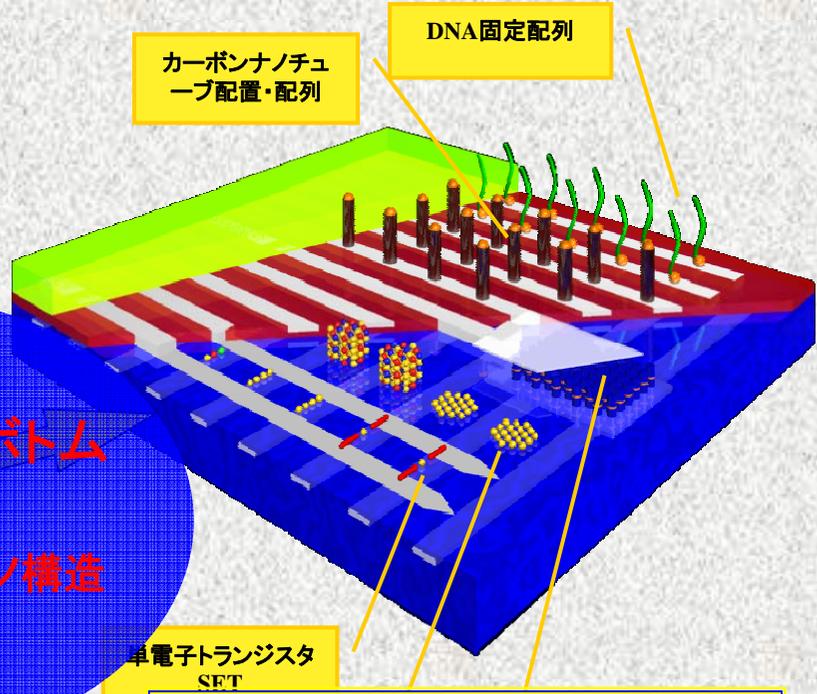


③ **自己組織化ボトムアップ技術**
100nm以下のナノ構造構築に不可欠

電子エレメントの任意配置

② **バイオミネラリゼーション**: バイオと無機テクノロジーとの接点

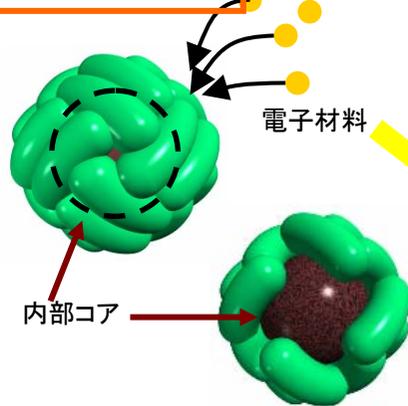
生体組織を用いたタンパク質改質、人工タンパク質



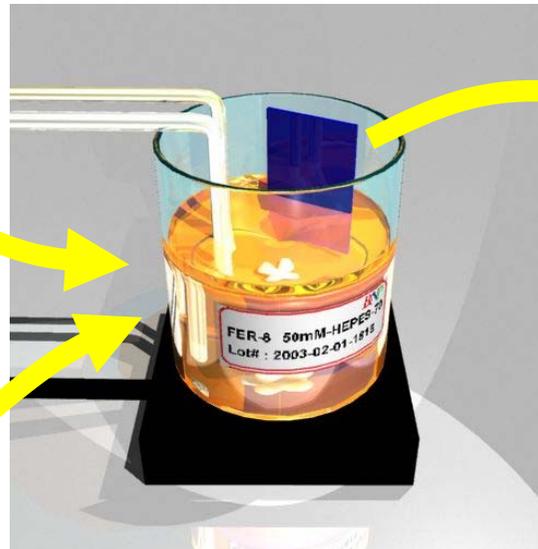
ナノエレクトロニクス
デバイス作製の
新コンセプト

戦略：バイオのナノテクノロジーを利用する。

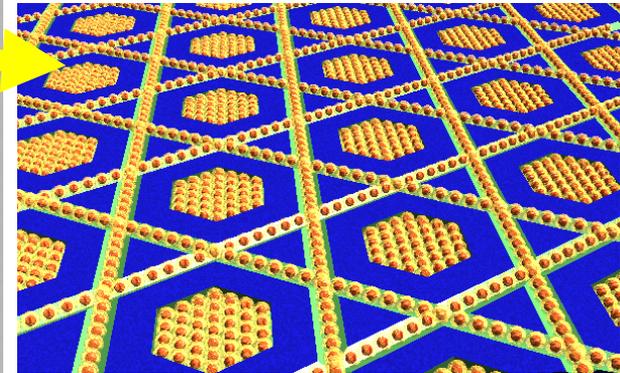
均一ナノ粒子



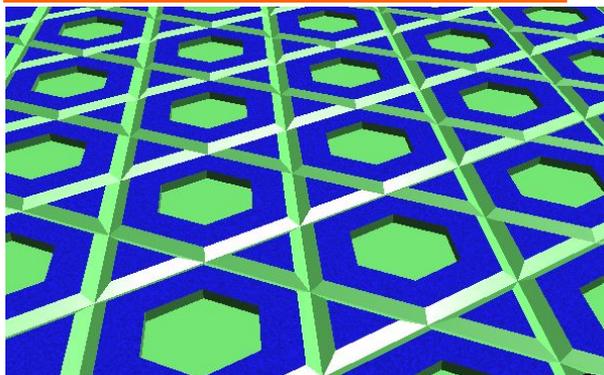
ビーカーケミストリー



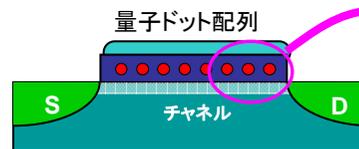
自己組織化ナノドット配列



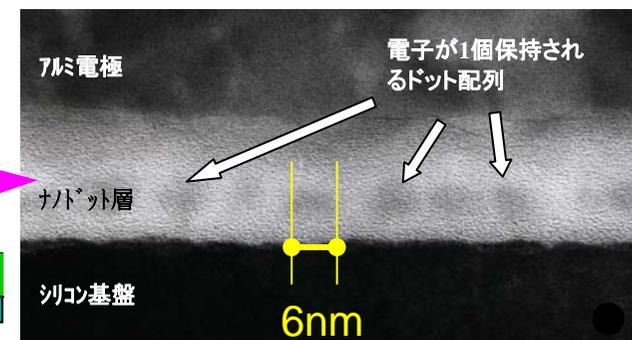
基板パターンニング処理



量子効果
デバイス



断面TEM写真

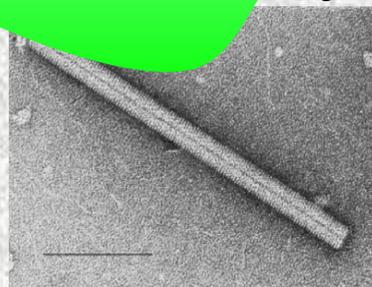
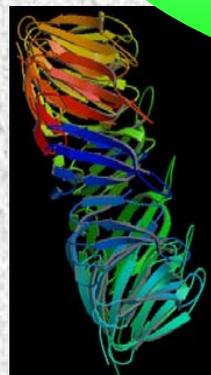


Bio Nano Process

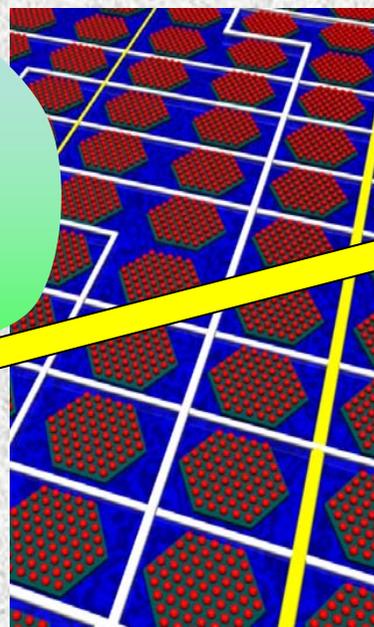
タンパク質で無機材料ナノ構造を作製する→電子デバイスキーコンポーネント

仕事関数の異なる金属半導体のナドットナノワイヤの作製

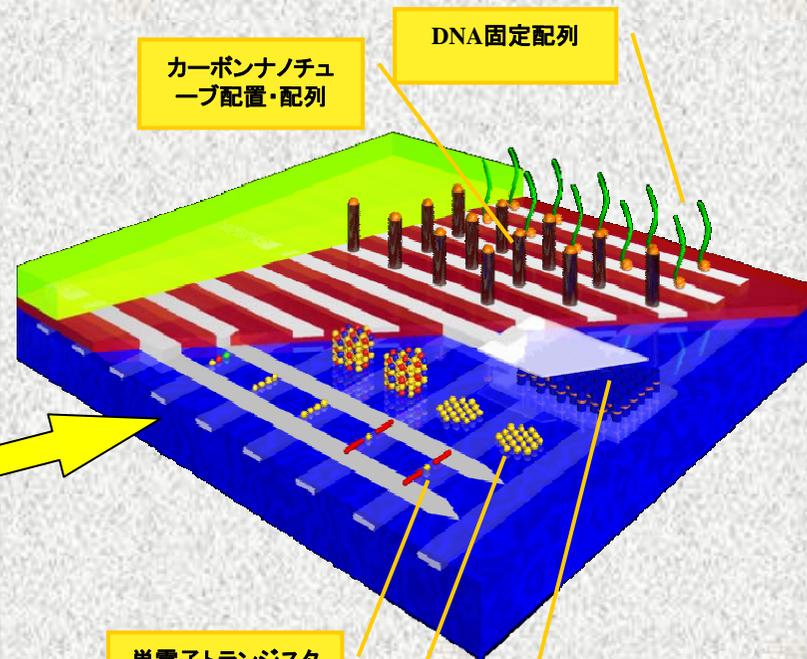
Biomaterialization
生体無機材料析出



遺伝子工学を用いたタンパク質改質、人工タンパク質



電子元素の任意配置



カーボンナノチューブ配置・配列

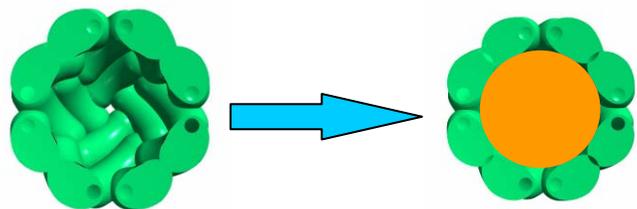
DNA固定配列

単電子トランジスタ SET

フローティング多値メモリ

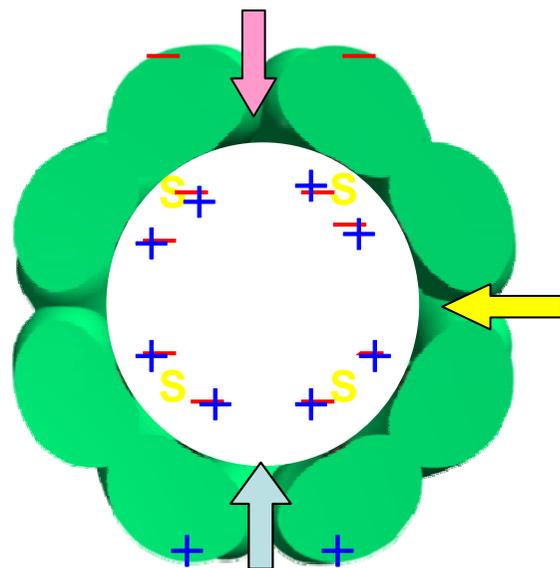
ナノカラム量子井戸構造

生物無機材料析出を利用したナノ粒子作製



かご状: フェリチン, Dps
チューブ状: TMV, TRAP

プラスイオン
 Fe^{2+} 、 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Cr^{2+} 、 Cu^{2+}



マイナスイオン
 AuCl_4^- 、 PtCl_4^{2-}

プラス+マイナスイオンの空洞内反応

CdSe 、 ZnSe 、 FePt

Material	Work function (V)
Mn	4.08
Zn	4.33
Fe	4.60
Co	4.97
Au	5.10
Ni	5.22
Pt	5.63

- 内外をつなぐチャネルの直径の調節。
- 遺伝子操作による内表面の無機材料の核形成部位アミノ酸の部位特異的置換

バイオミネラリゼーションの例: CdSe

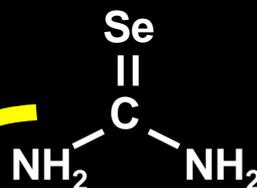
Slow chemical reaction system utilizing $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cd}$ & Selenourea

Apoferritin
0.5mg/mL

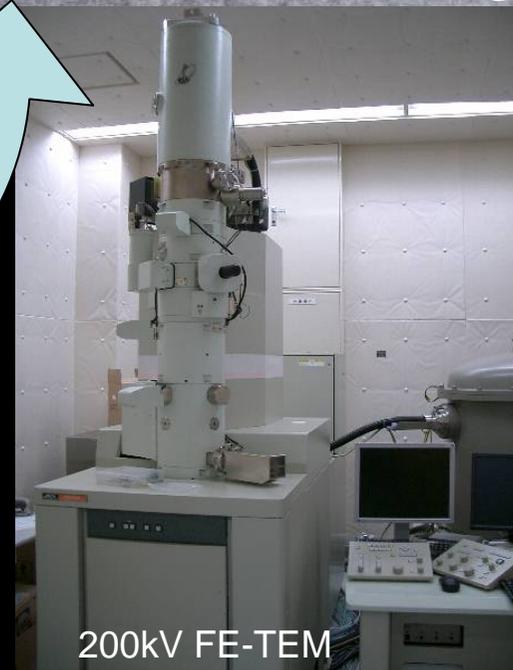
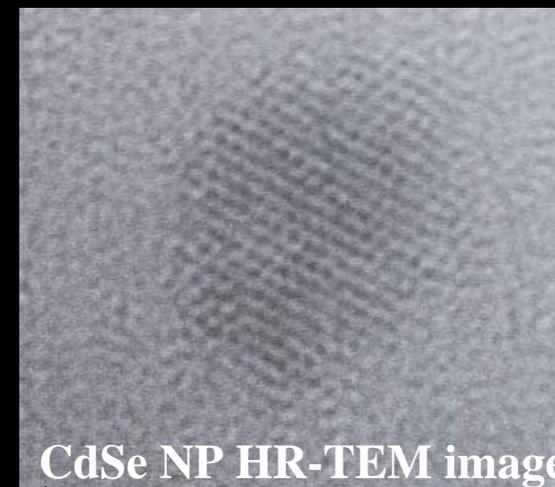
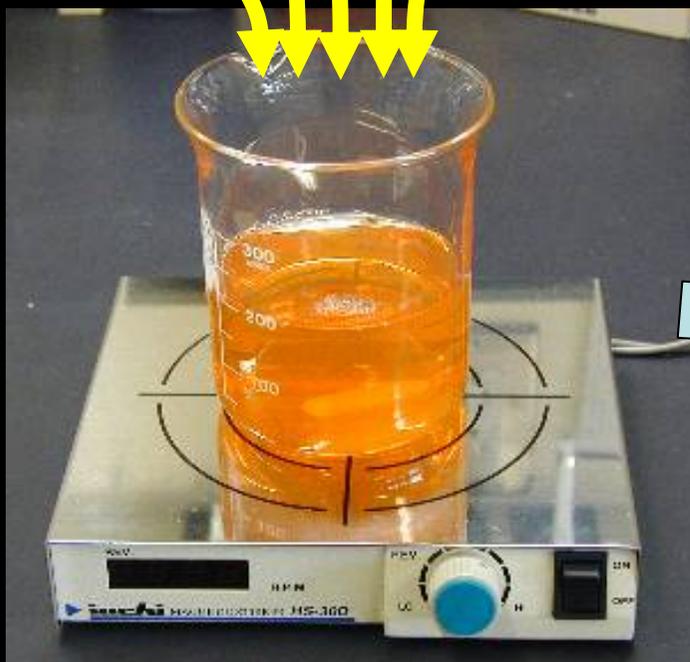
1-3mM
 $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cd}$

40mM
 $\text{CH}_3\text{COONH}_4$

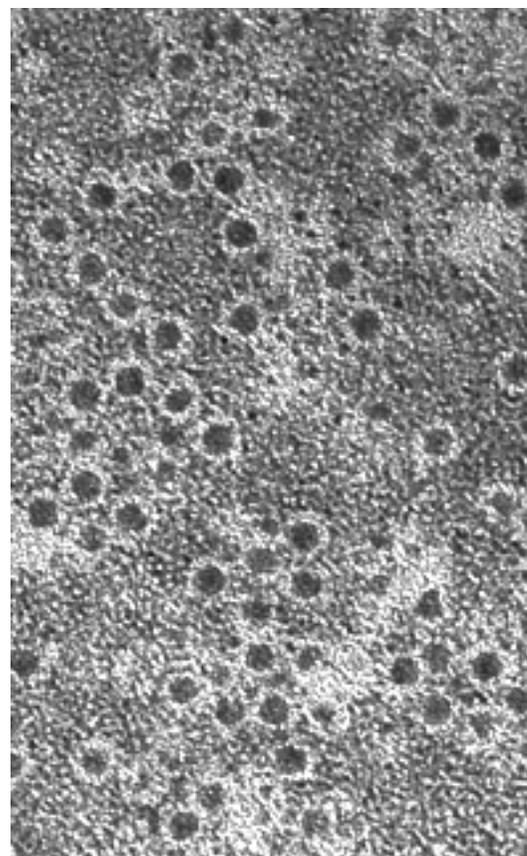
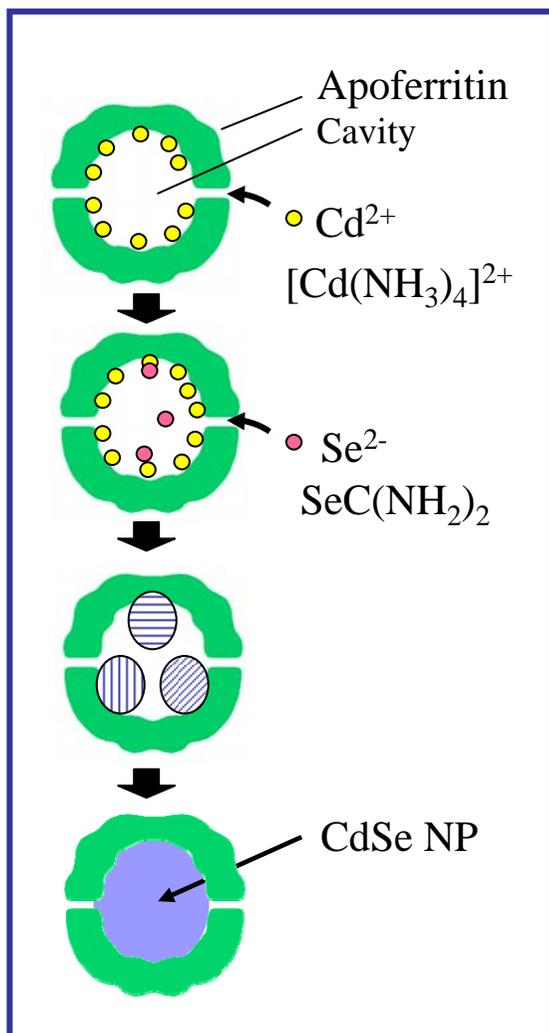
Ammonia water
pH-adjust ~8.0



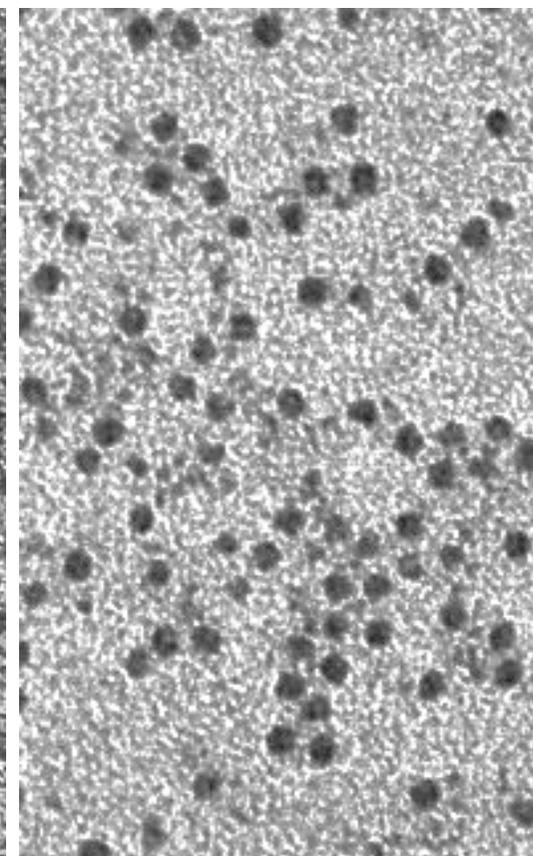
Overnight
reaction



TEM images of CdSe NPs synthesized in the apoferritin

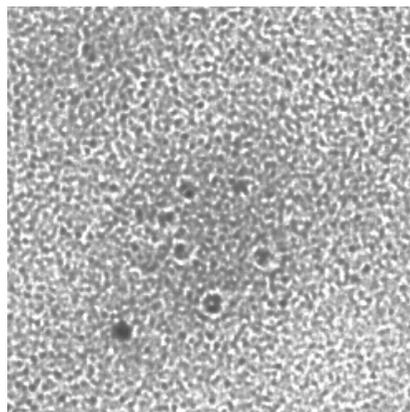


Stained by aurothioglucose

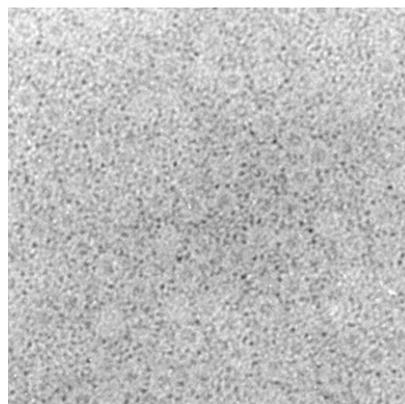


without staining

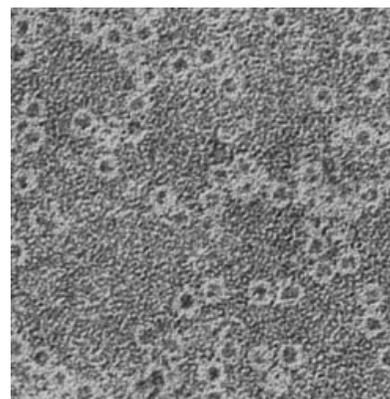
A Gallery of the synthesized cores



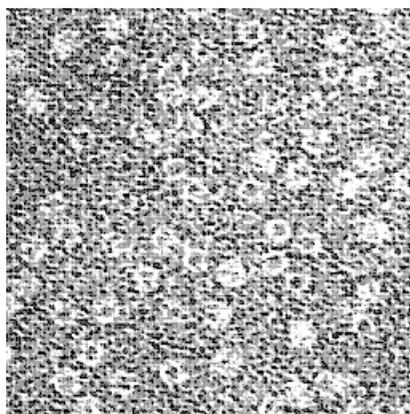
Co Core



Ni Core



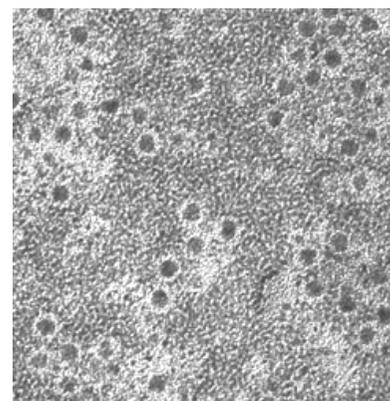
ZnSe Core



Cr Core



InO_x Core



CdSe Core

Others

- CoPt,
- Several compound-semiconductors
- Cu(OH)_x
- ZnO

TEM images were taken with aurothioglucose which could not stain the cavity.

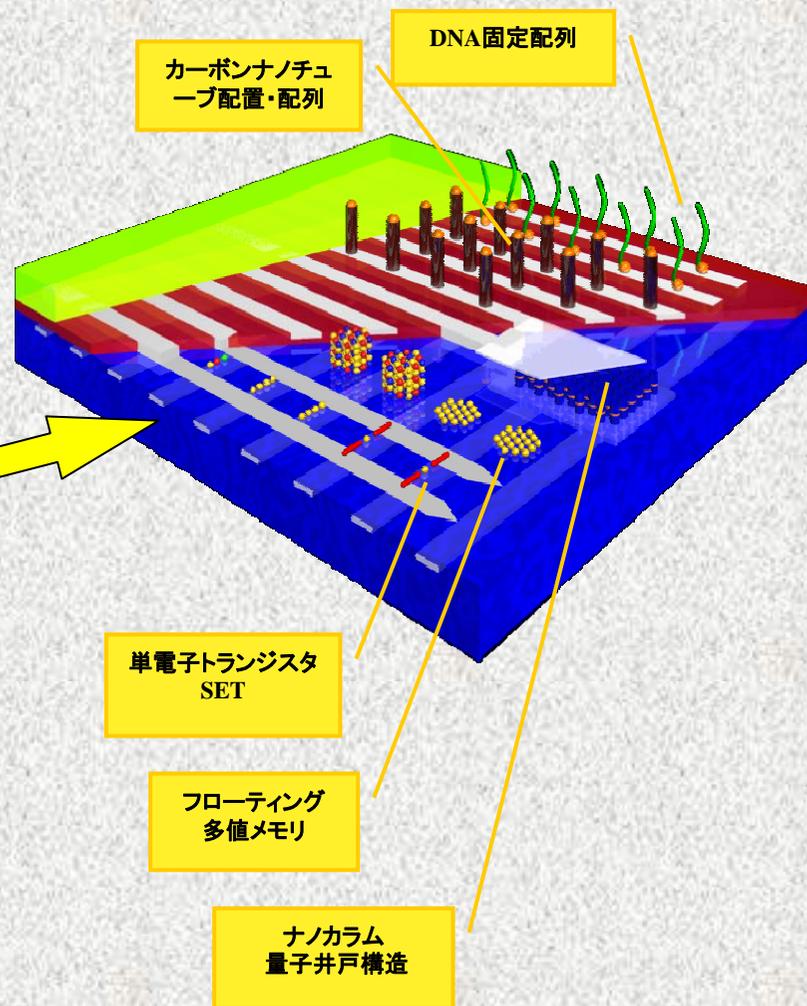
Bio Nano Process

タンパク質で無機材料ナノ構造を作製する→電子デバイスキーコンポーネント

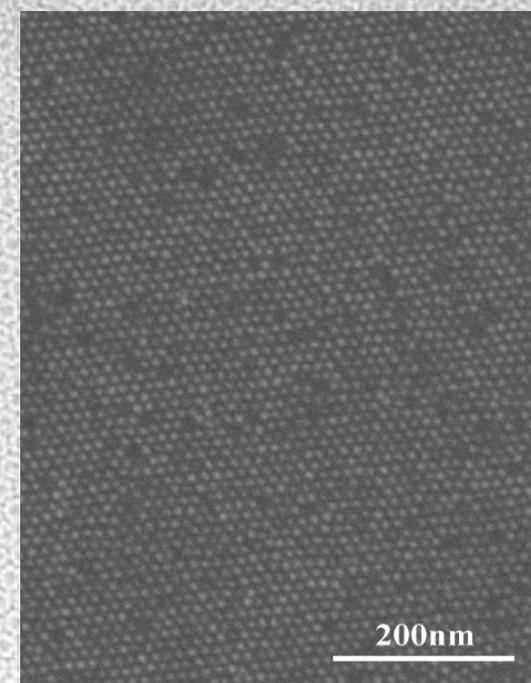
仕事関数の異なる金属半導体のナドットナノワイヤの作製



電子エレメントの任意配置



PBLH法で作製されたタンパク質二次元結晶



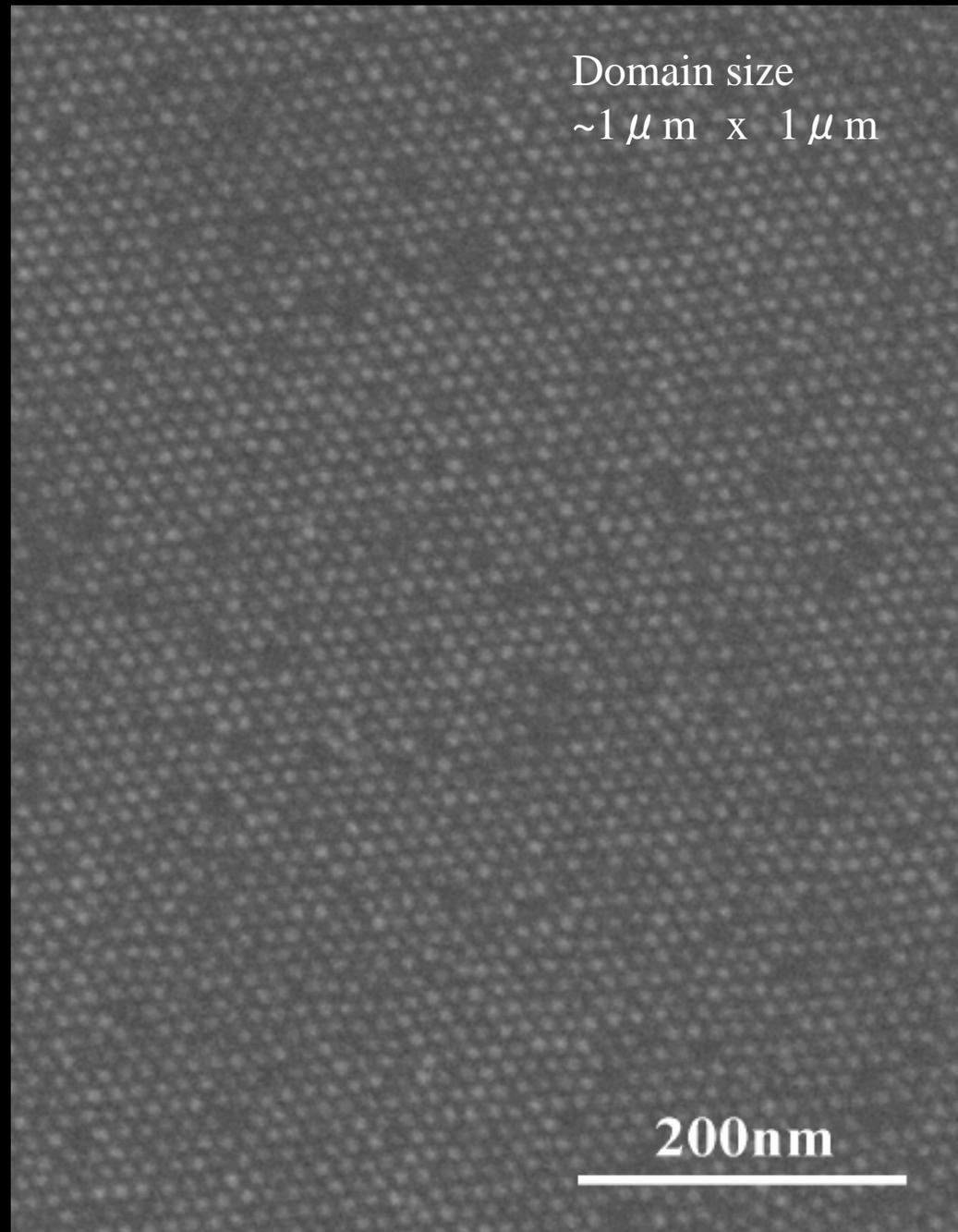
シリコン基板上に転写されたフェリチン二次元結晶
 $10^{12}/\text{cm}^2$ $\Phi 7\text{nm dot}$

*SEM image of
a ferritin array
transferred
onto Si surface*

$10^{12}/\text{cm}^2$

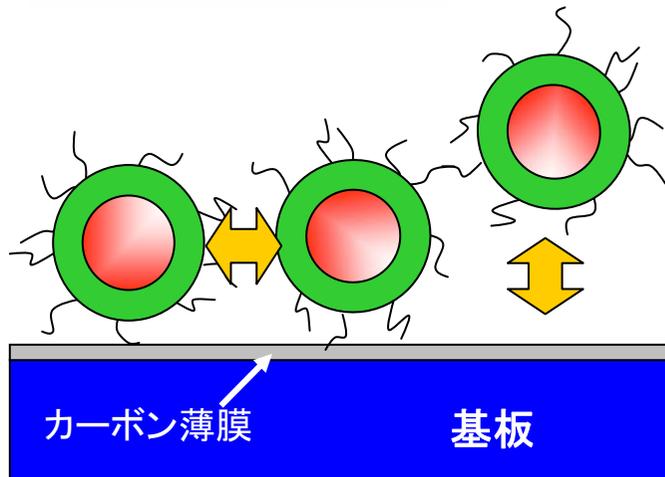
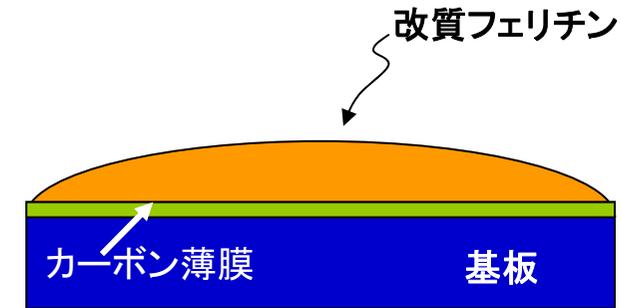
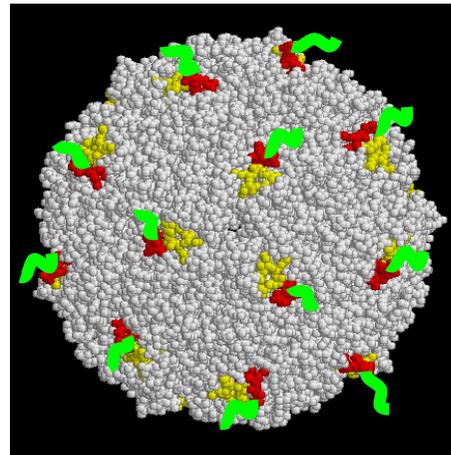
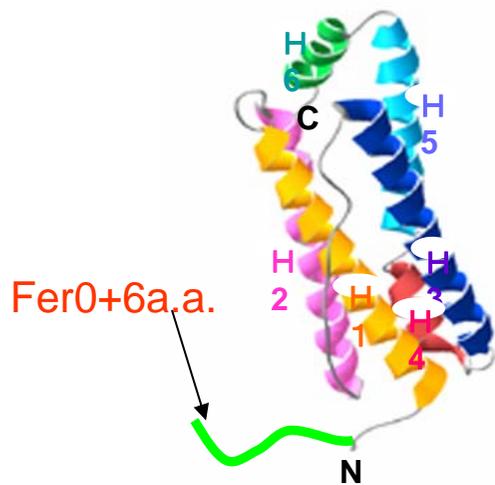
$\Phi 7\text{nm dot}$

Yamashita, I., "Fabrication
of a Twodimensional Array
of Nano-particles Using
Ferritin " *Thin Solid Films*.
Vol. **393** (2001) 12-18

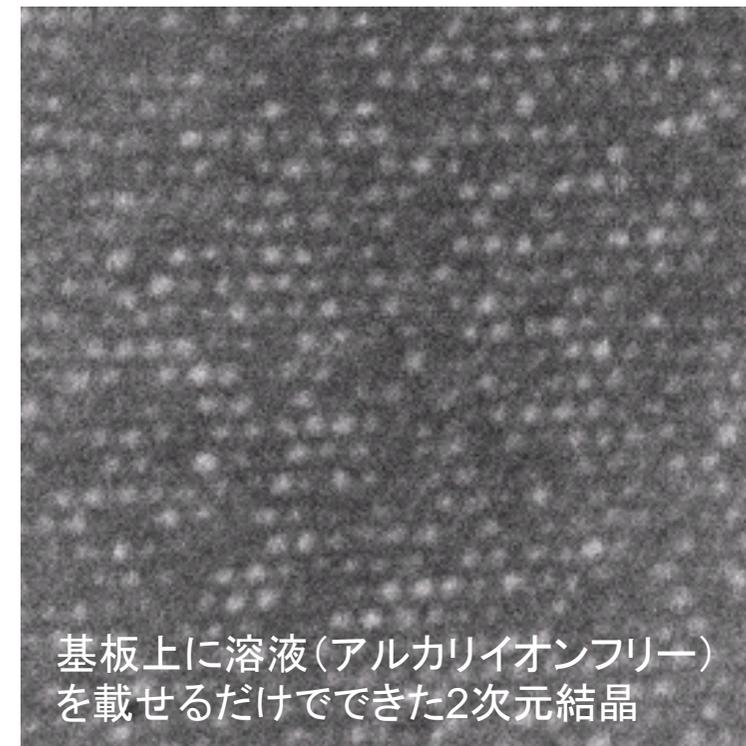


弱疎水性結合モチーフ(DFYSSPYEQLF)による基板上への直接2次元結晶化の実現

BNP



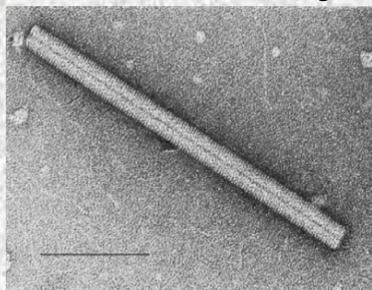
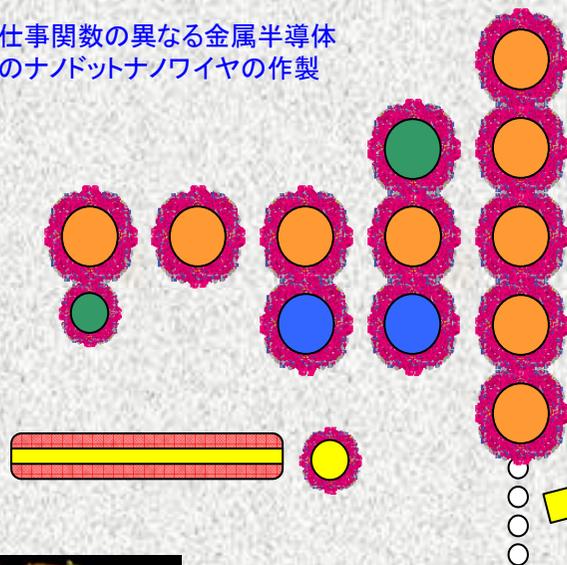
フェリチン間疎水的相互作用引力(外表面でモチーフ提示)
フェリチン-基板間の特異的相互作用(モチーフ間)



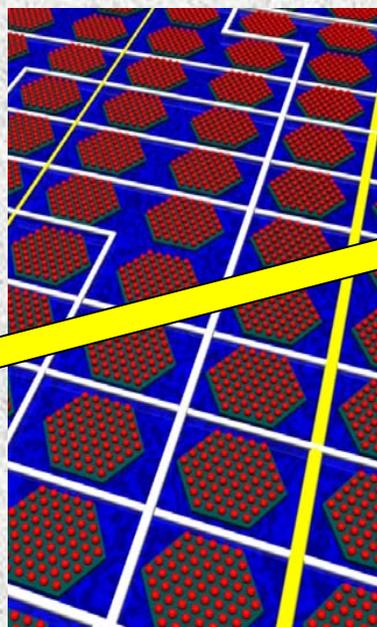
Bio Nano Process

タンパク質で無機材料ナノ構造を作製する→電子デバイスキーコンポーネント

仕事関数の異なる金属半導体のナドットナノワイヤの作製



遺伝子工学を用いたタンパク質改質、人工タンパク質



電子エレメントの任意配置



Nanoelectronic device
ナノ電子デバイス

カーボンナノチューブ配置・配列

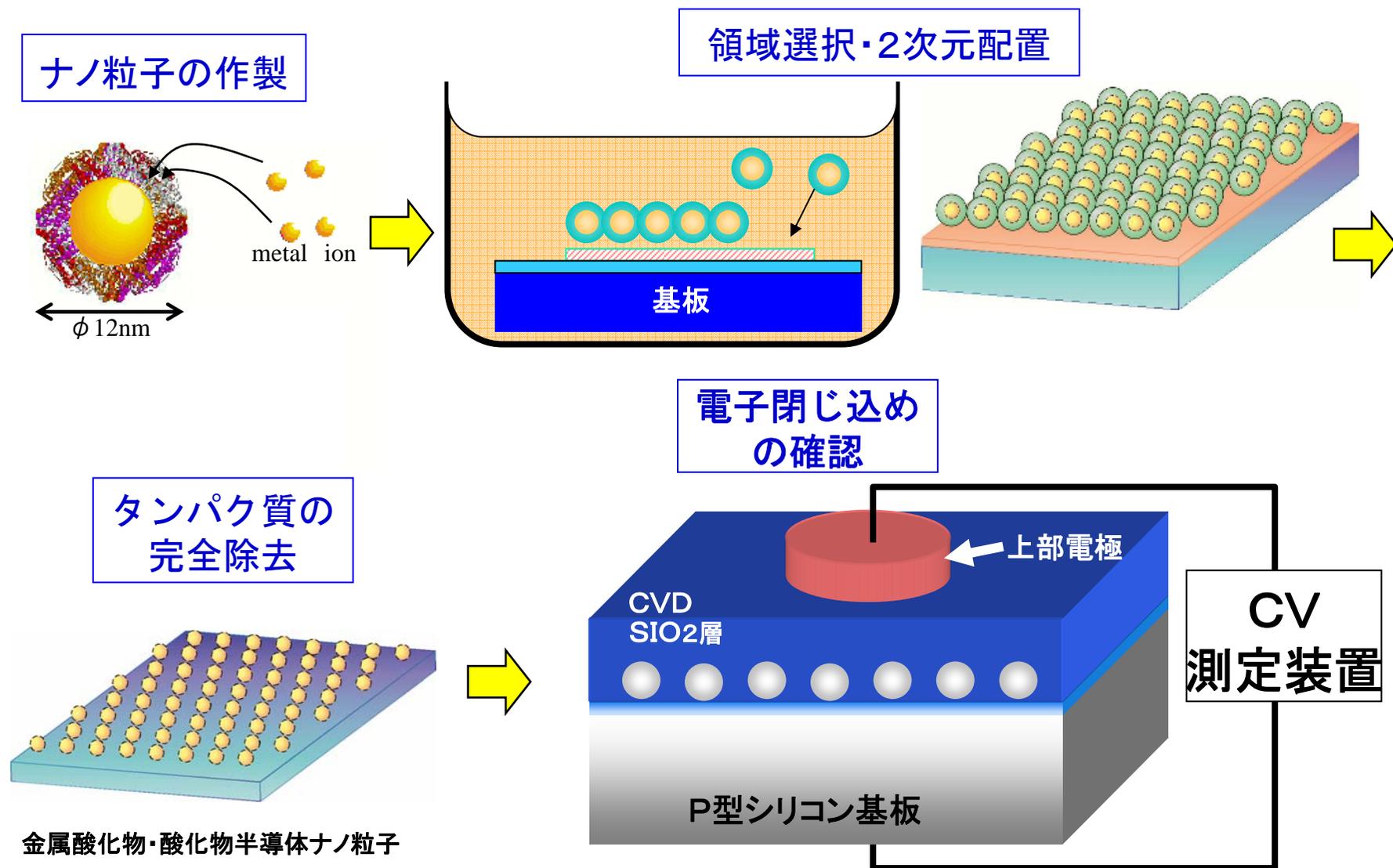
DNA固定配列

単電子トランジスタ
SET

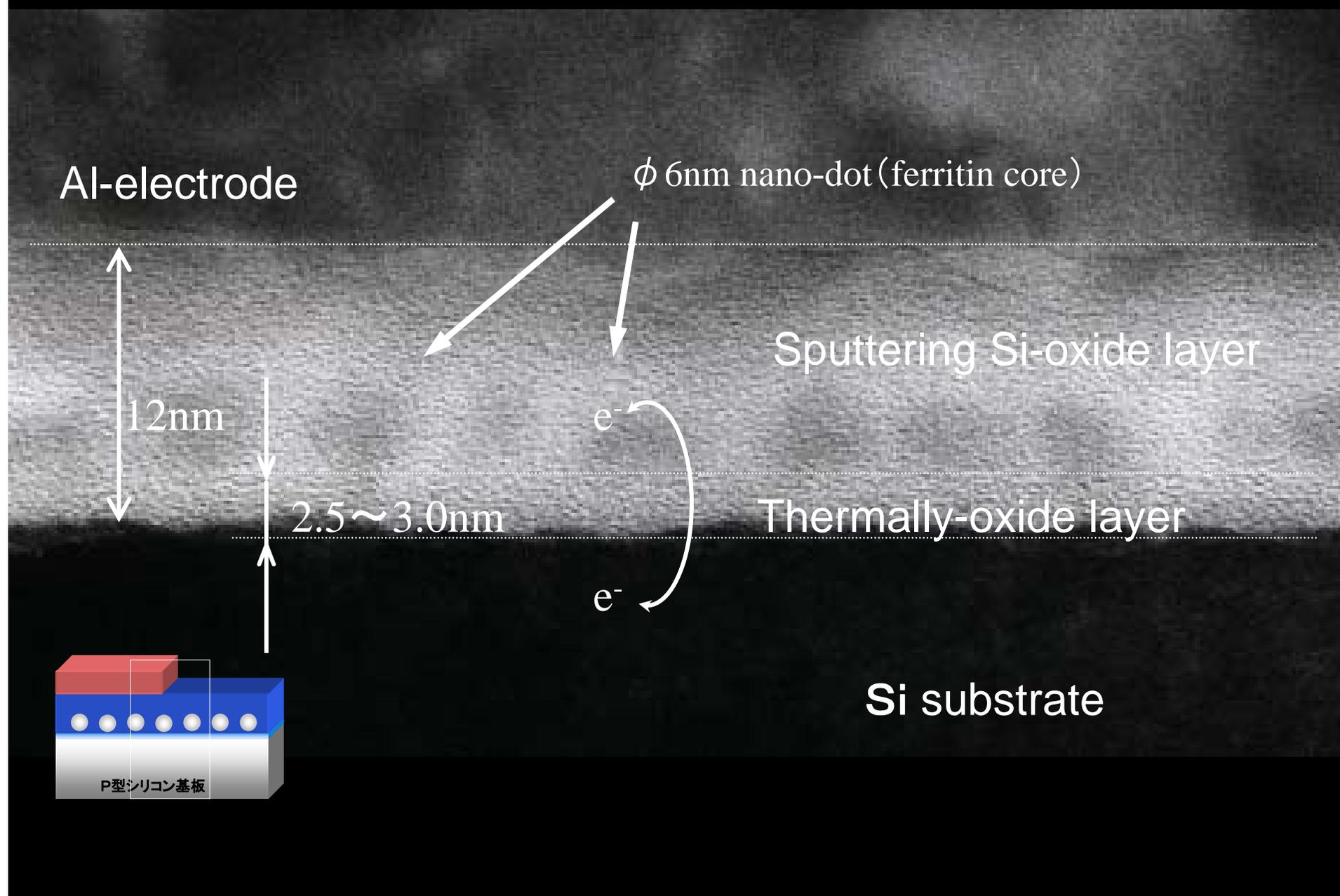
フローティング
多値メモリ

ナノカラム
量子井戸構造

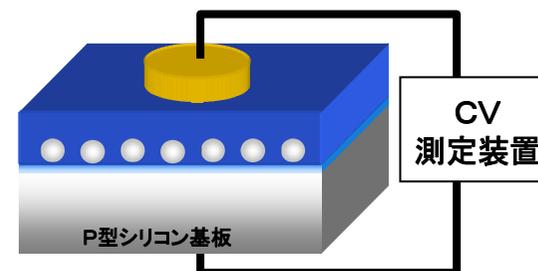
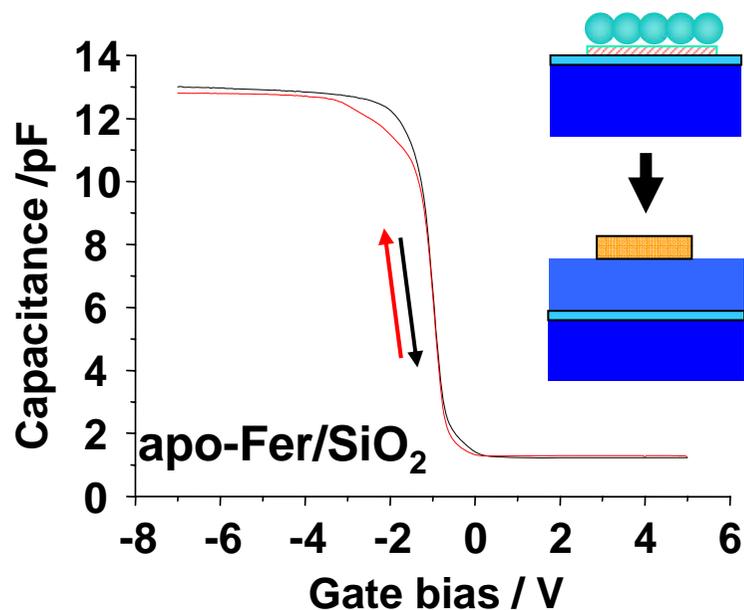
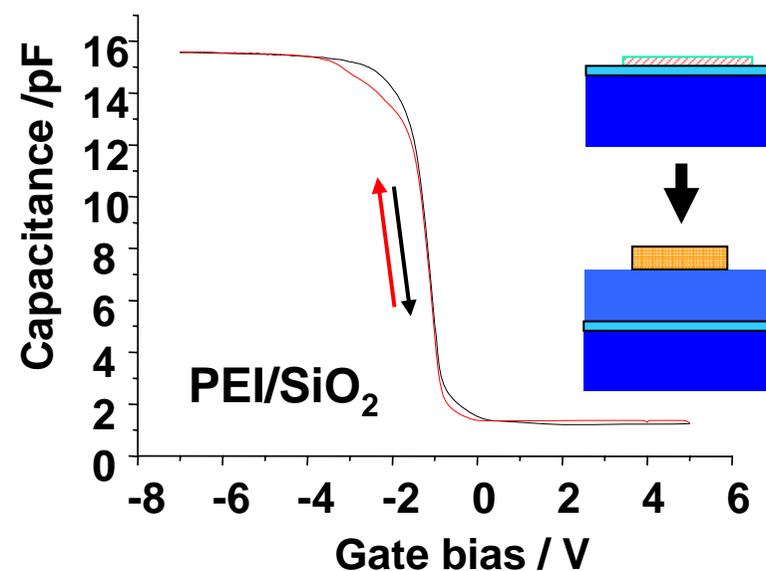
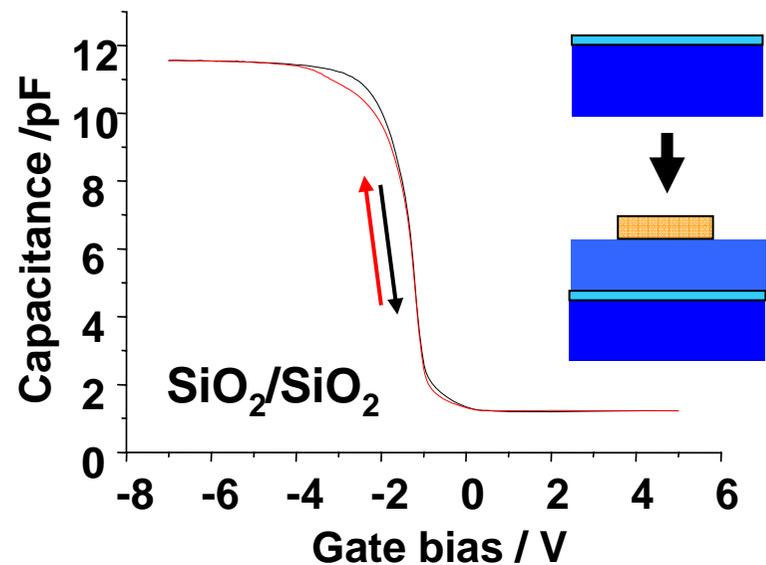
バイオで作製し配置したナノ粒子の 電子閉じ込めの確認



TEM image of Bio nano dot capacitor

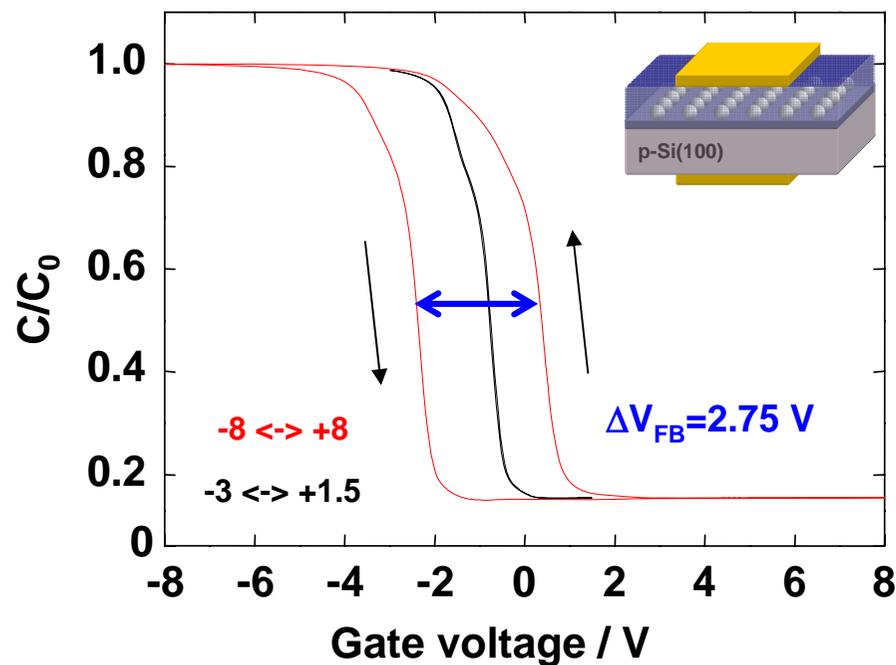


CV characteristics of “blank” MOS capacitor



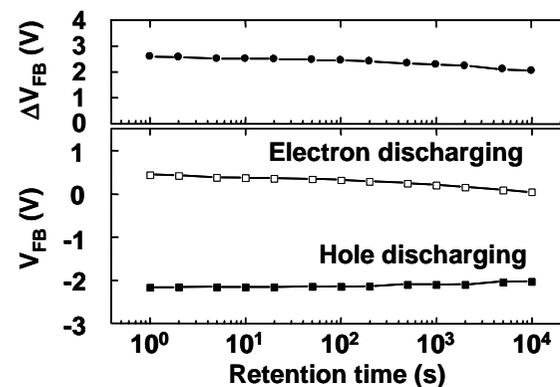
Frequency: 1M Hz
Electrode diameter: 100 um
Delay time: 0.2 sec
Step voltage: 40 mV

V_{FB} change in CV curve

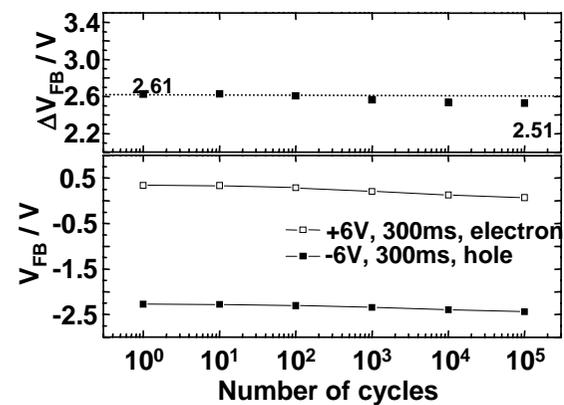


Core: Co_3O_4
 Substrate: epi p-Si coated w/ PEI
 Tunnel oxide: 3nm thermal oxide
 T_{ox} : 20nm, ϕ_e : 100 μm
 Freq.: 1 MHz

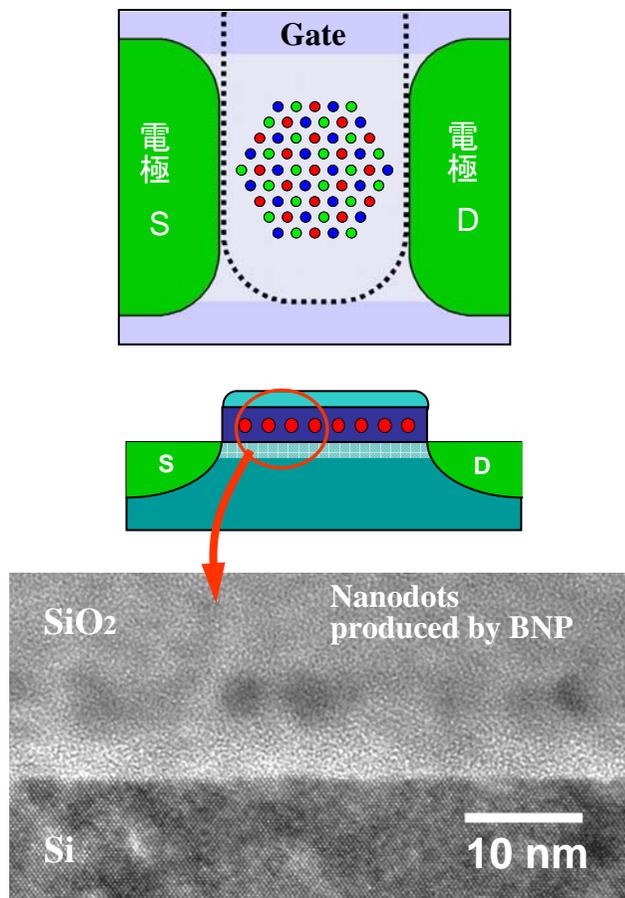
Retention time



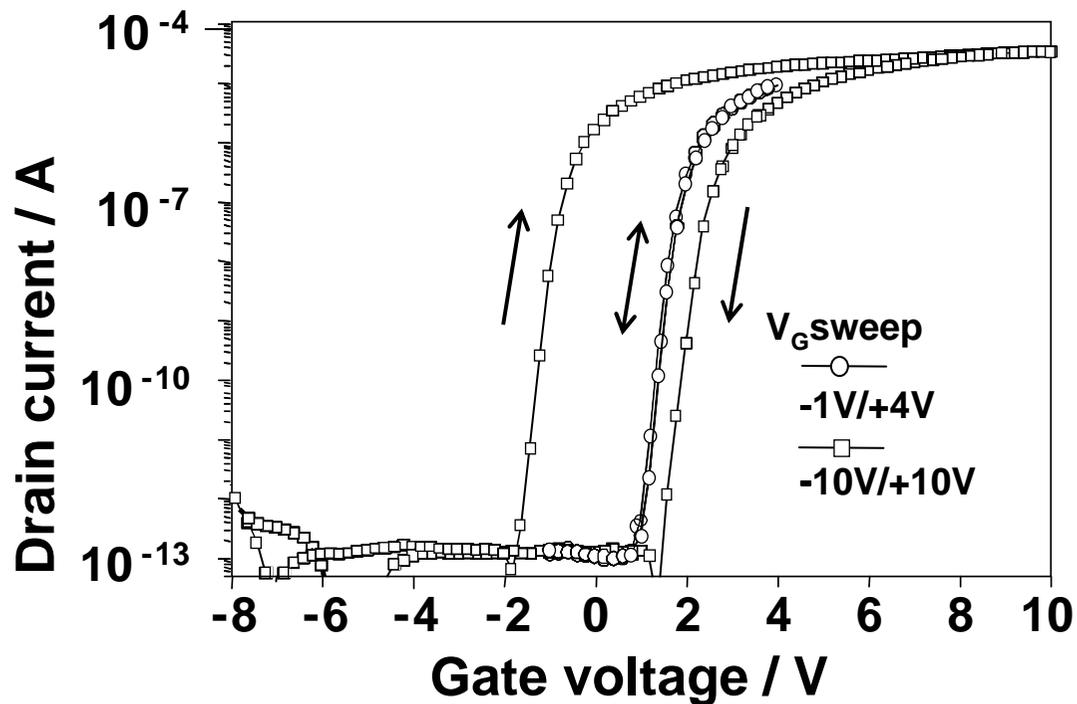
Endurance



試作フローティングゲートメモリの特性

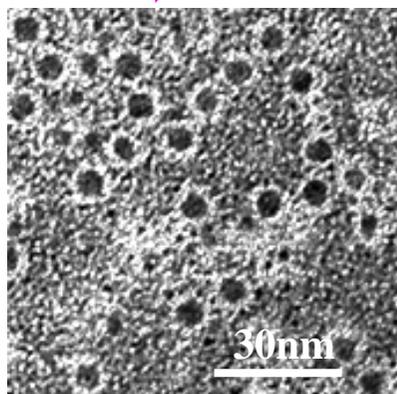
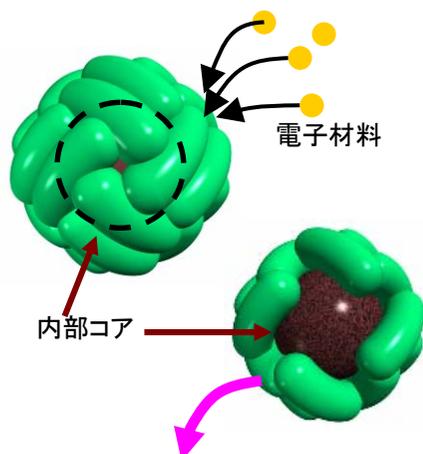


タンパク質をシリコンプロセスを導入して完成させてフローティングゲートメモリの特性



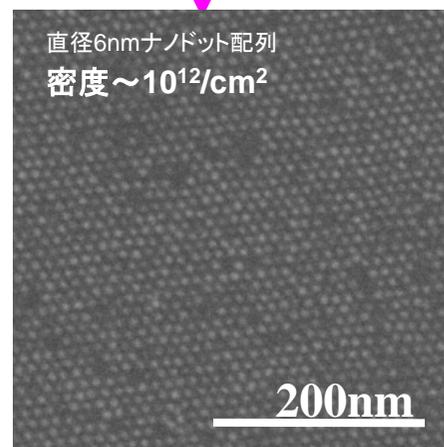
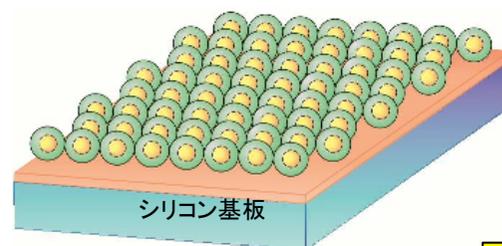
これまでの取り組みと成果

バイオの精密さ応用
均一ナノ粒子の実現



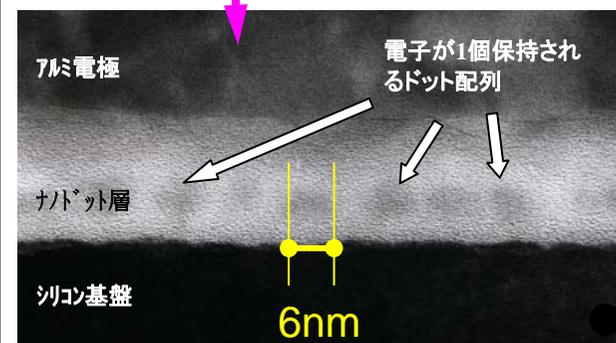
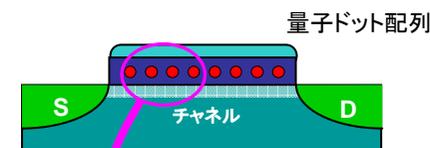
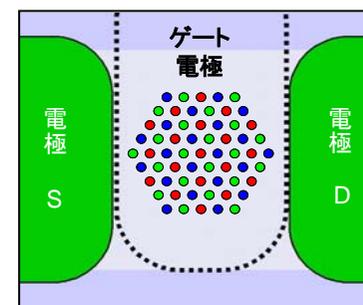
透過電子顕微鏡写真 ○

バイオの自己組織化応用
ナノドット2次元配列実現



SEM写真 ○

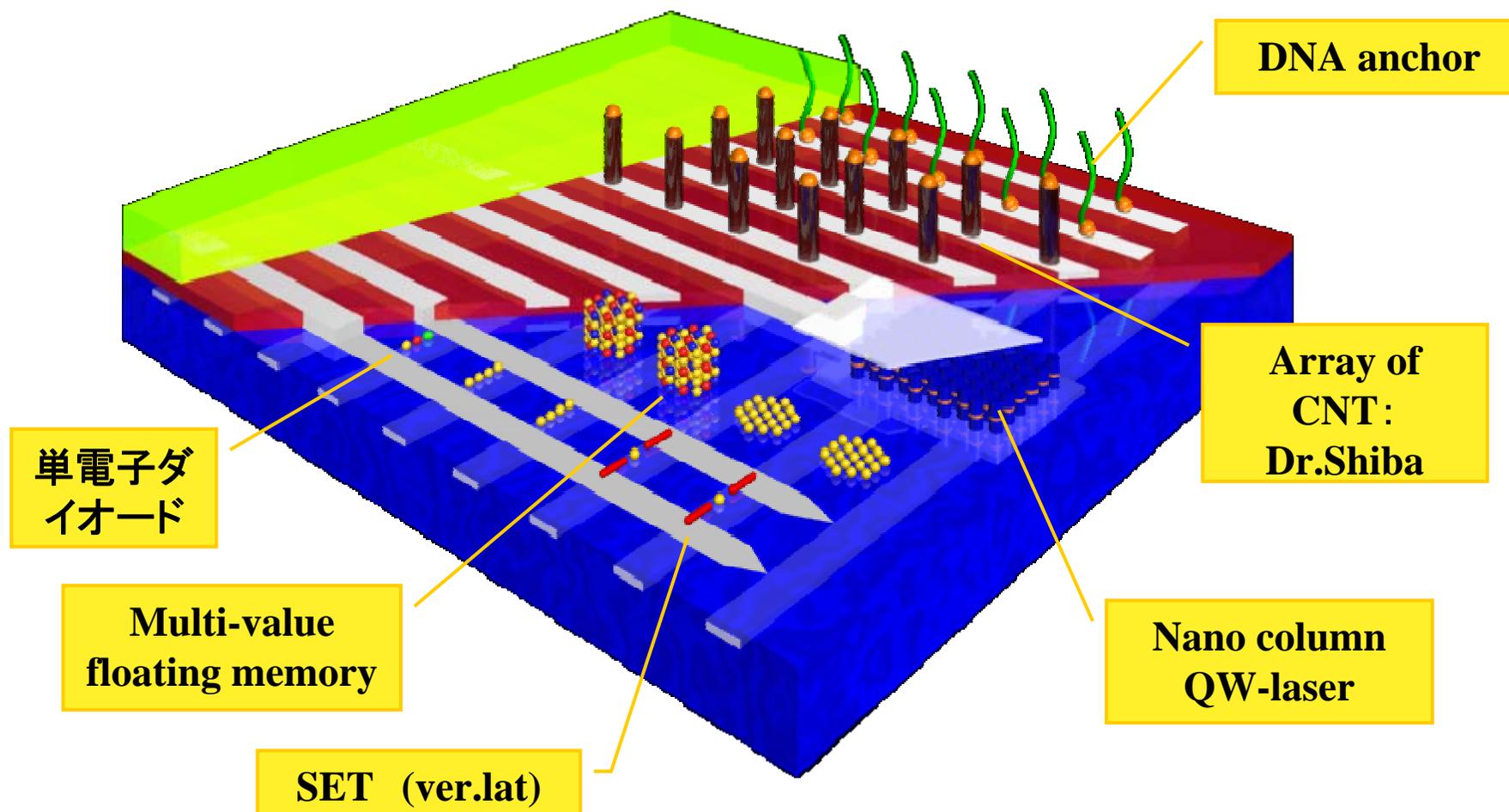
バイオとナノテクの融合応用
フローティングゲートメモリの作製



断面TEM写真 ○

バイオナノプロセスによるナノデバイス例

10年後の実現を目指す。



世界におけるタンパクを利用した 電子デバイスナノ構造作製関連プロジェクト



Acknowledgement

Colleagues

Fund

Panasonic

JST

MEXT

Shigeo Yoshii	ATRL Panasonic
Michihito Ueda	ATRL Panasonic
Nozomu Matsukawa	ATRL Panasonic
Kiyohito Yamada	ATRL Panasonic
Mituhiko Okuda	ATRL Panasonic
Kazuzki Nishio	ATRL Panasonic
Kenji Iwahori	CREST JST
Masayoshi Muraoka	CREST JST
Yumiko Mishima	CREST JST
Rikako Tsukamoto	CREST JST
Keiko Yoshizawa	CREST JST
Kiyotaka Shiba	JFCR,(CREST JST,)
Hideyuki Yoshimura	Meiji University
Trevor Douglas	Montana State University
Hiroya Kirimura	NAIST
Yukiji Uraoka	NAIST
Atsushi Miura	NAIST
PrakaipetchPunchaipetch	NAIST
Takashi Fuyuki	NAIST
Masahiko Hara	TIT, Riken
Seiji Samukawa	Tohoku University
Tomohiro Kubota	Tohoku University
Masahiro Ueda	Osaka University
Toshio Yanagida	Osaka University