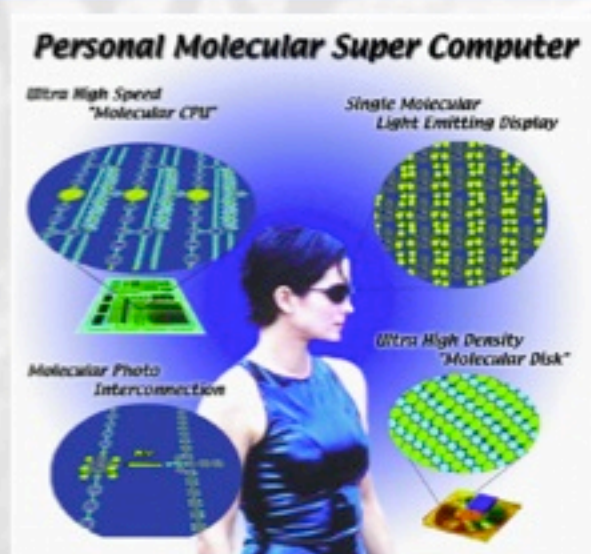




分子ナノテクノロジーの新展開と 有機光電子デバイス統合システムの開発に向けて



融合ナノ基盤工学
研究部門長
松重和美

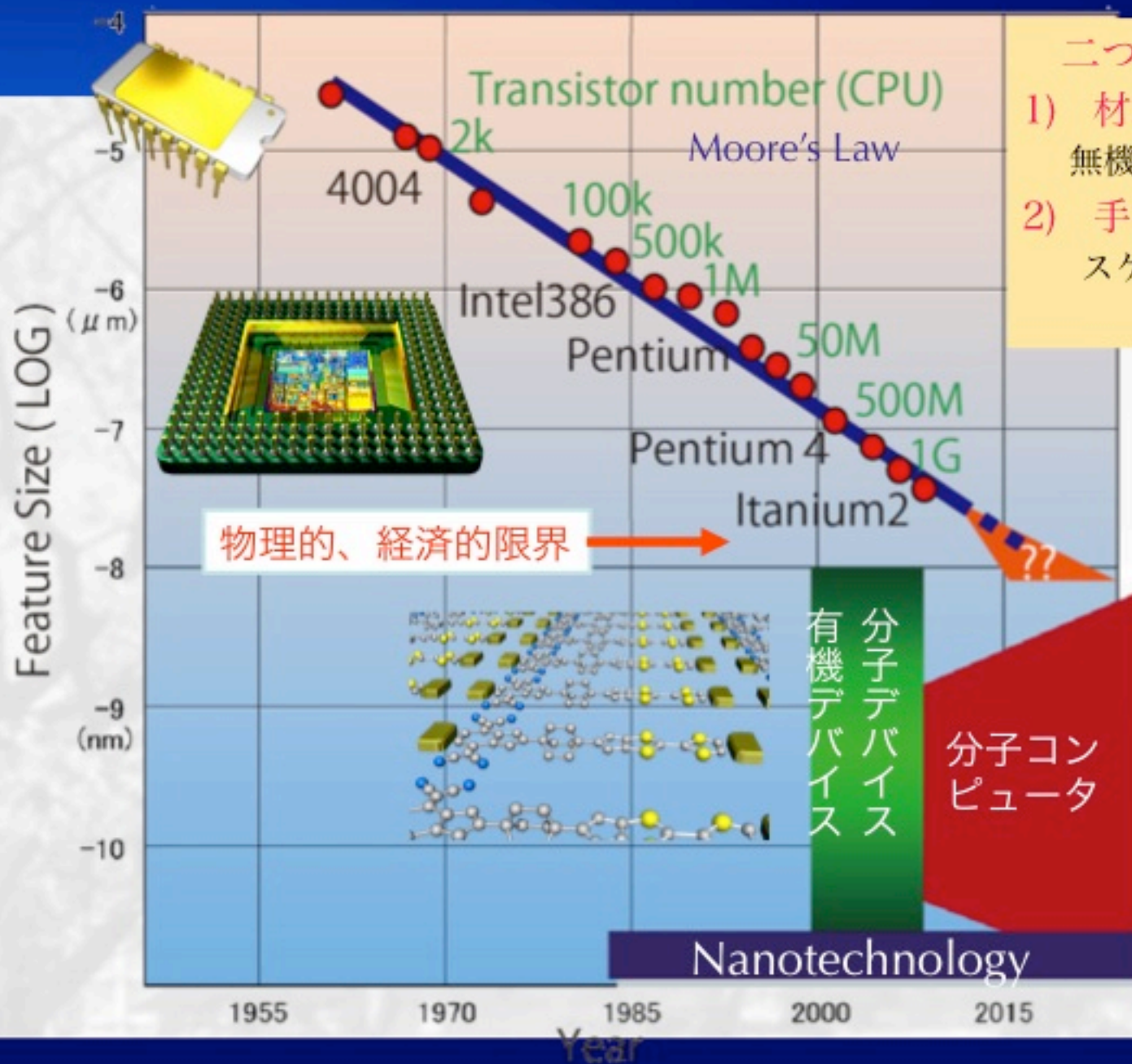


本報告の内容



- 1) ナノテク・イノベーション
- 2) 基盤技術：走査型プローブ顕微鏡
- 3) 有機・分子エレクトロニクス
- 4) グリーンイノベーションと
先進グリーン社会への取り組み

LSIの進展・限界と将来の分子系エレクトロニクスの世界



二つのイノベーション

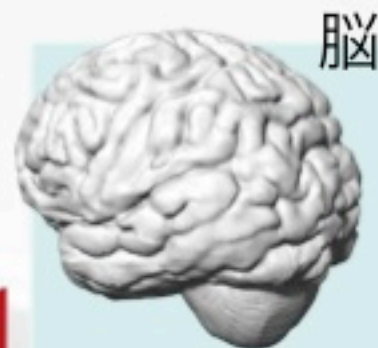
1) 材料

無機系材料 → 有機系材料

2) 手法

スケールダウン

→ ボトムアップ



脳

新たな
Human
Electronics
の世界

基本的有機系素材炭素(C): 有機系材料が 次世代の革新的エレクトロニクスデバイス素材に

Innovation in Electronics

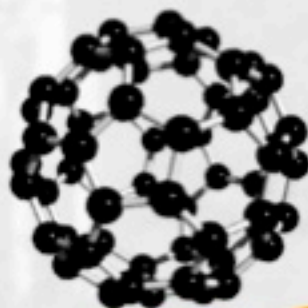
グラフェン
2010 Nobel 物理学賞

最も電気を流す
最も軽くて強い

フラーレン (C₆₀)
1996年Nobel 化学賞



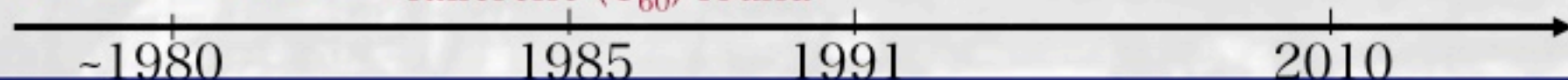
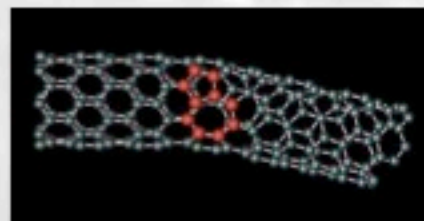
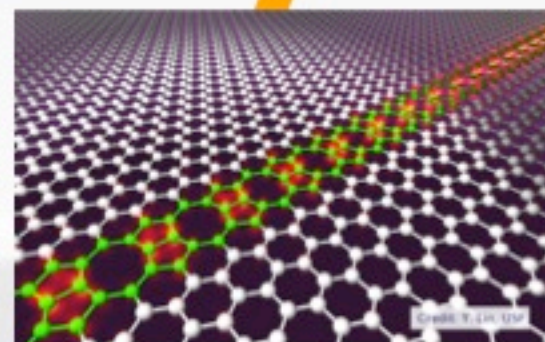
diamond



fullerene (C₆₀) found

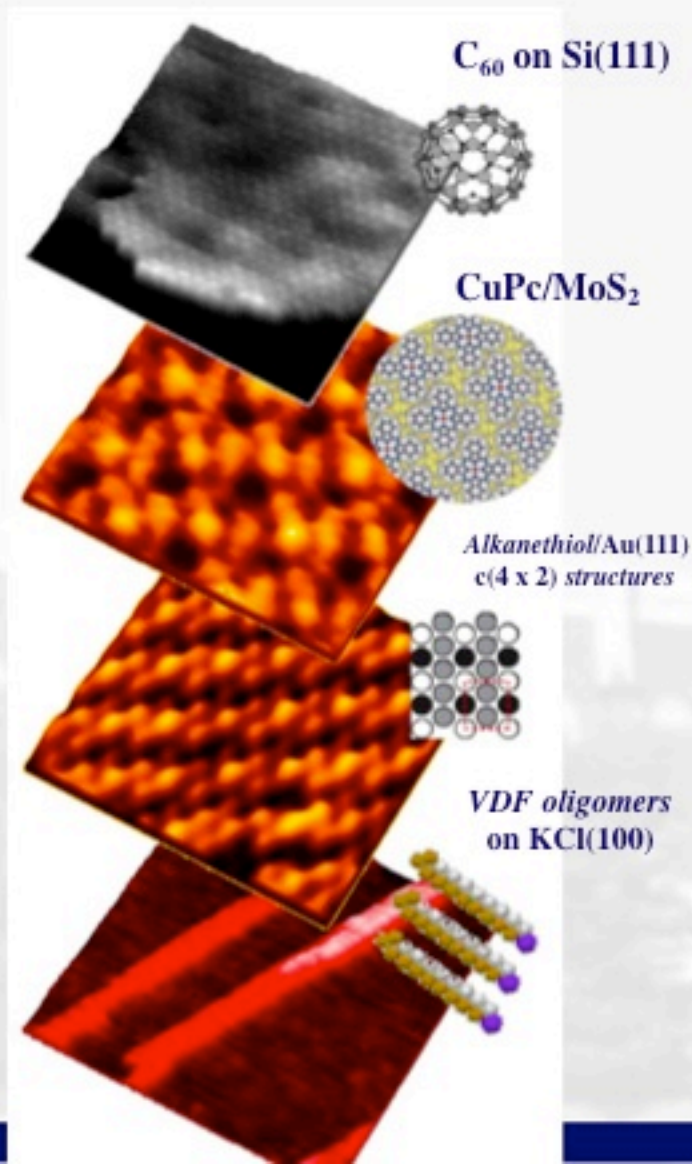
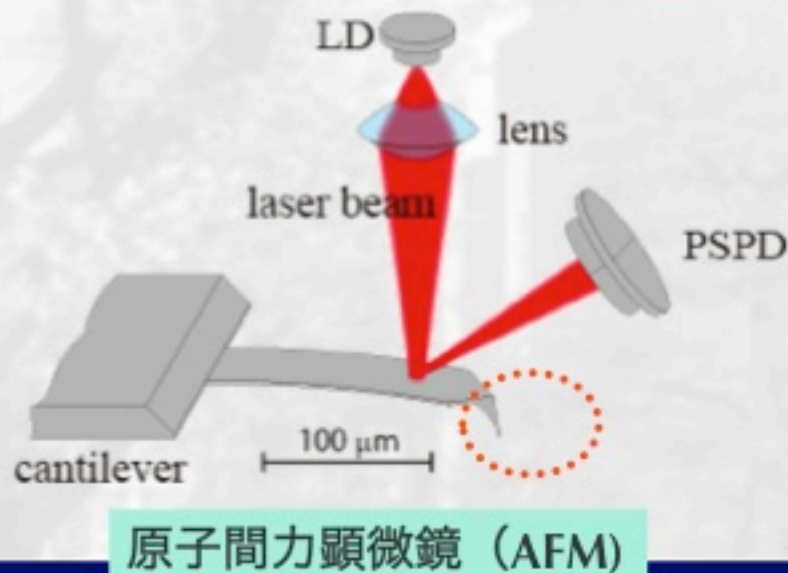
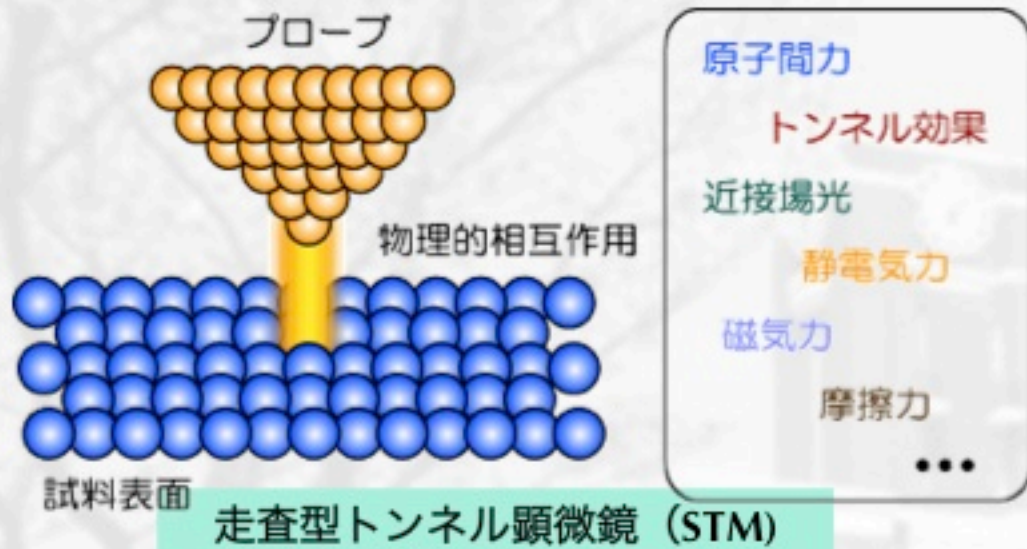


carbon nanotube found



ナノテクの基盤技術

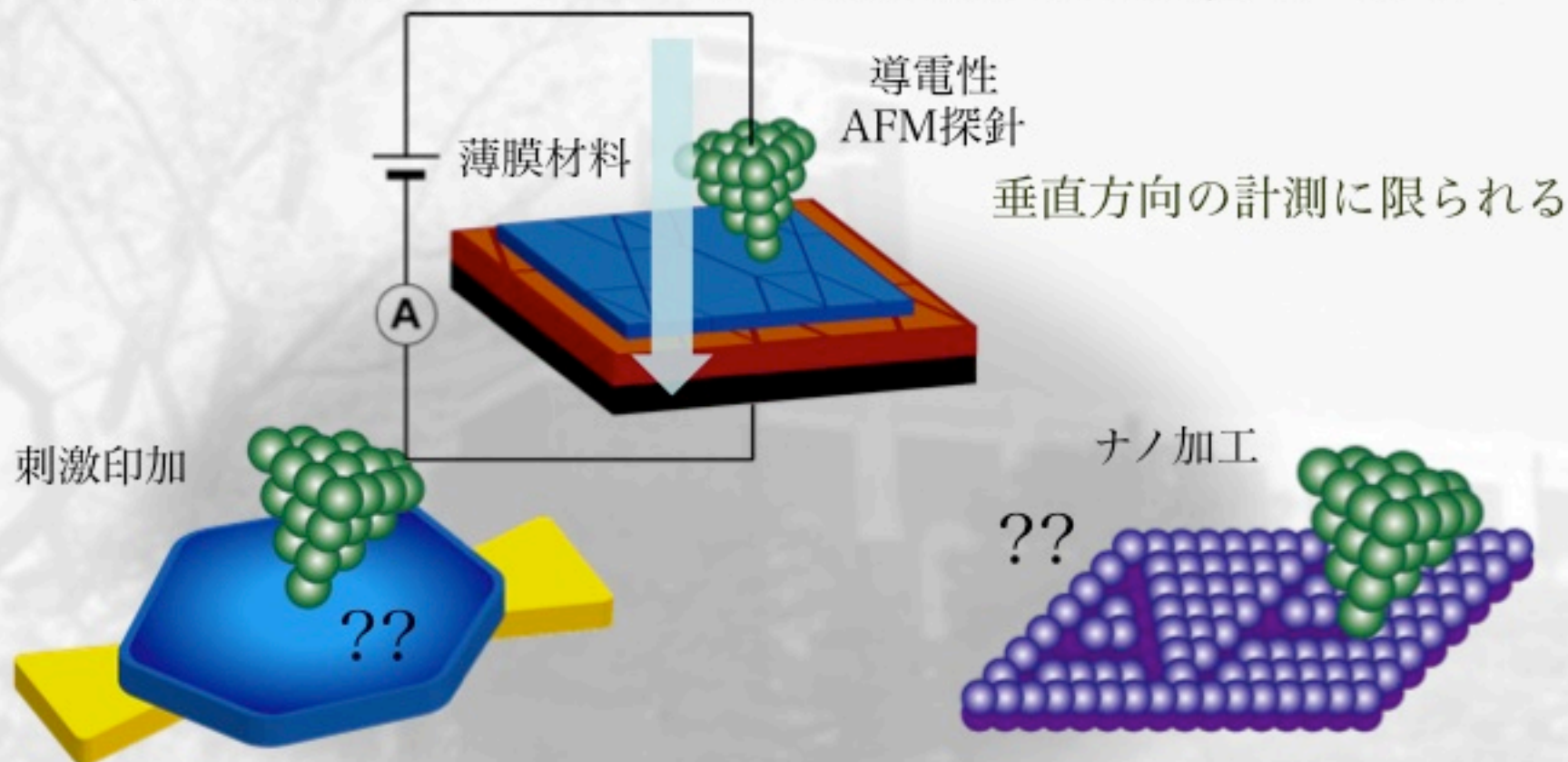
走査型プローブ顕微鏡の原理と観測例



単一プローブAFMの限界



1本のAFMプローブでは計測用途に限界がある

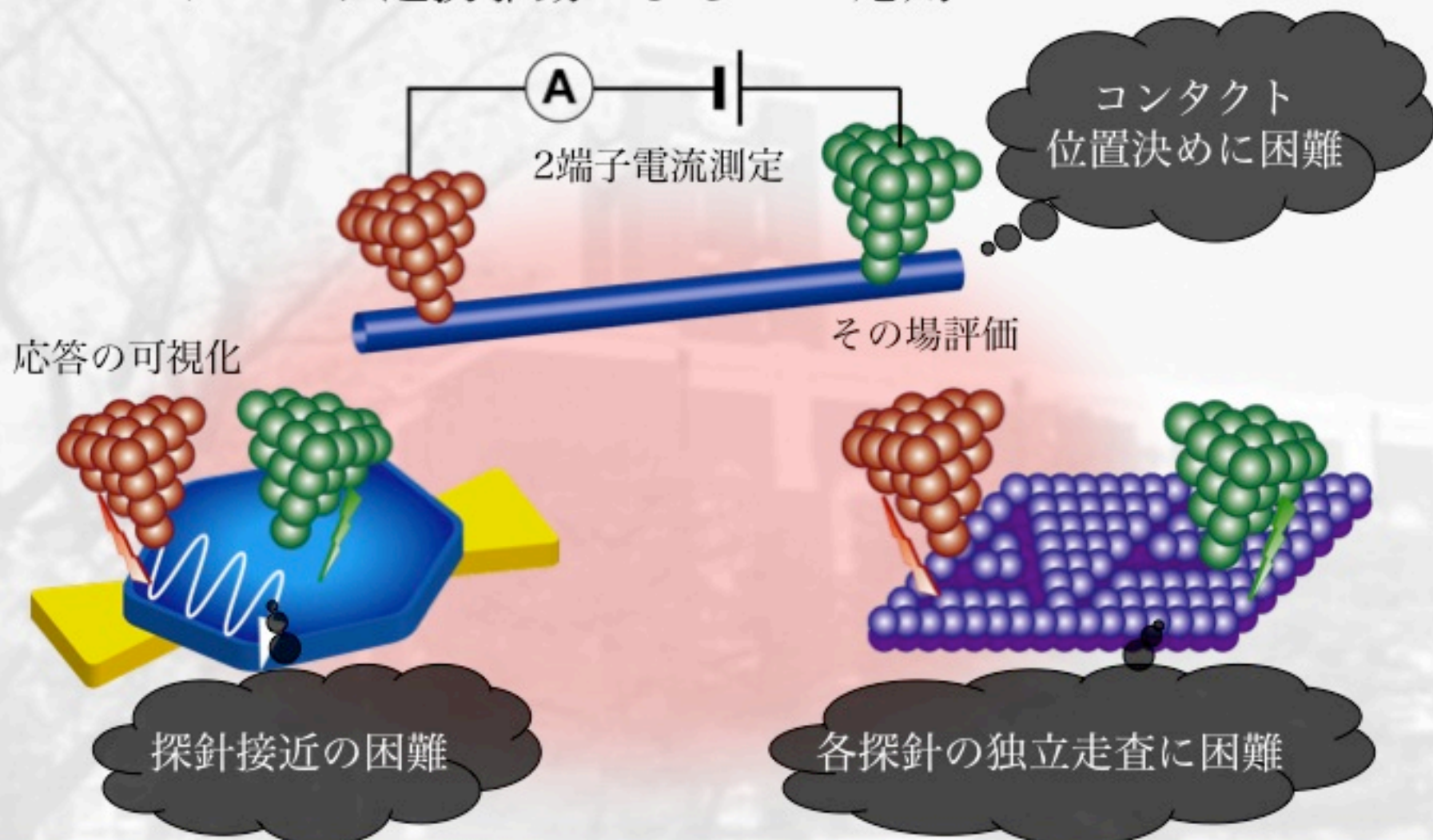


刺激印加と同時に応答を計測できない

加工結果が精細に観察できない

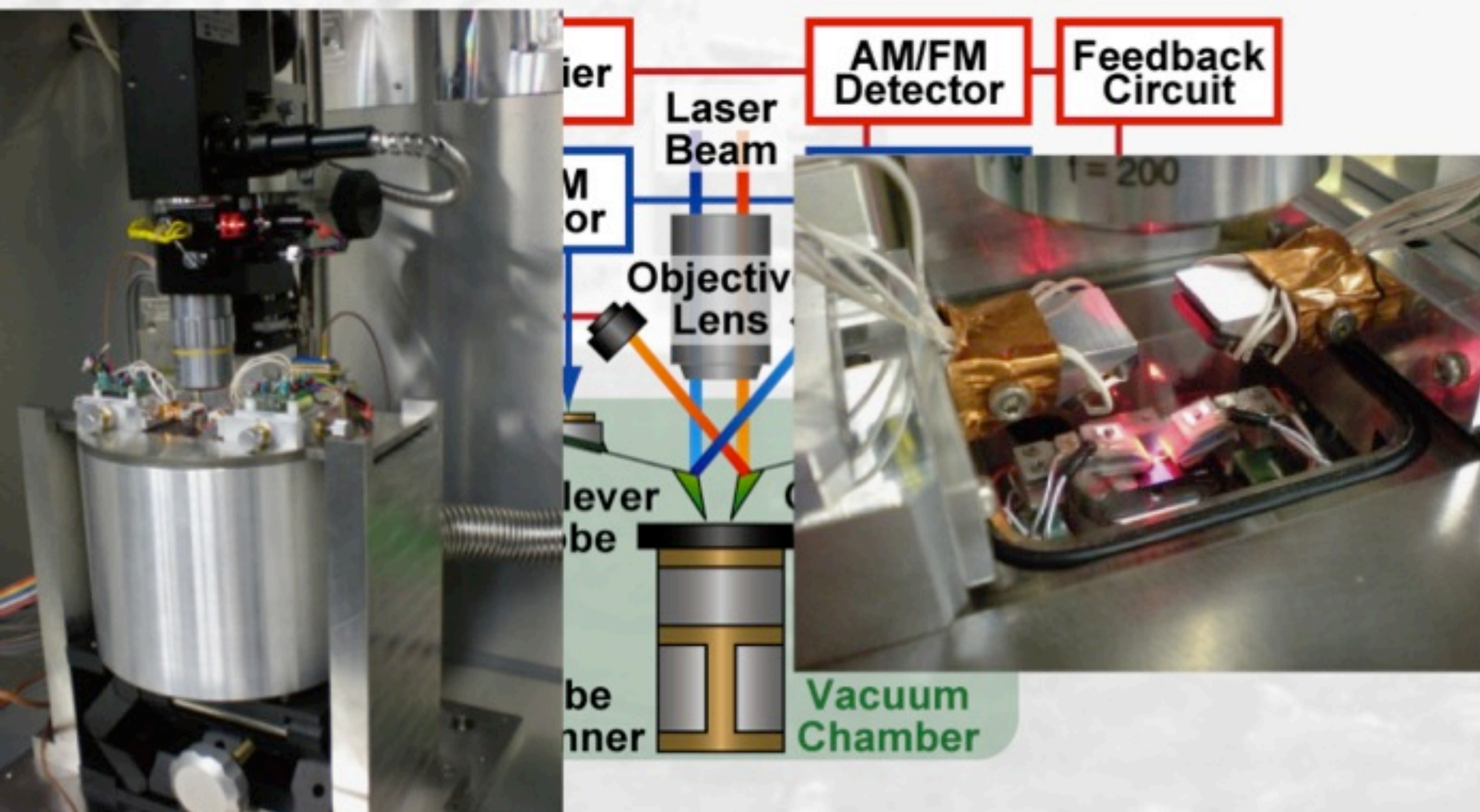
2探針原子間力顕微鏡 (DP-AFM)の開発

2プローブ連携駆動によるAFM応用へのニーズ



DP-AFM装置概要・外観

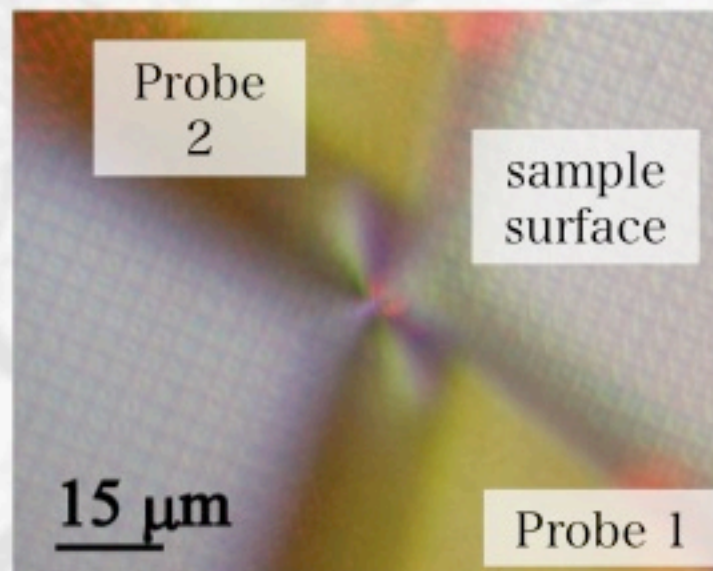
光学系の独立構成による2プローブ同時制御



2プローブ同時AFM観察



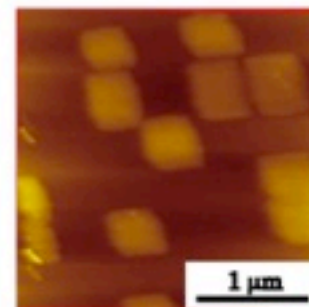
光学顕微鏡で探針間隔2-3 mmに配置



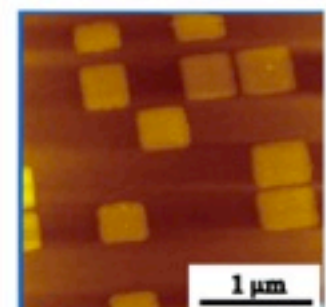
表面形状から位置関係認識



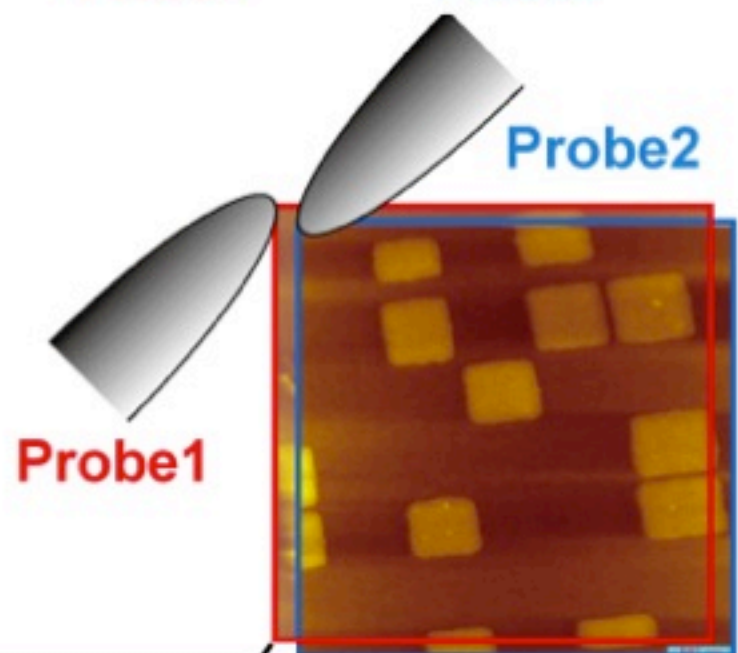
探針を移動、接近



Probe1



Probe2



世界最小の探針間隔で安定動作させて同時観察を実現

有機半導体結晶のトランジスタ特性評価

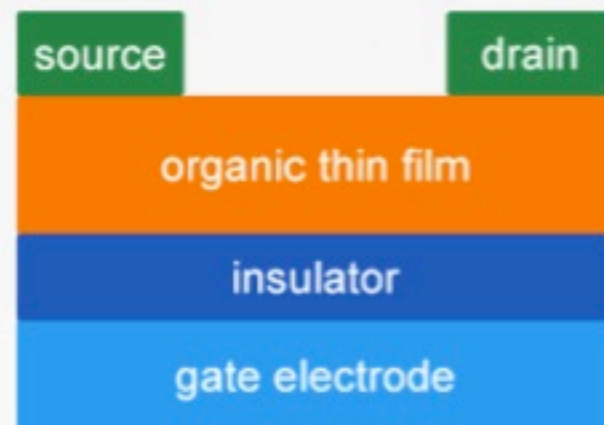


有機薄膜トランジスタ

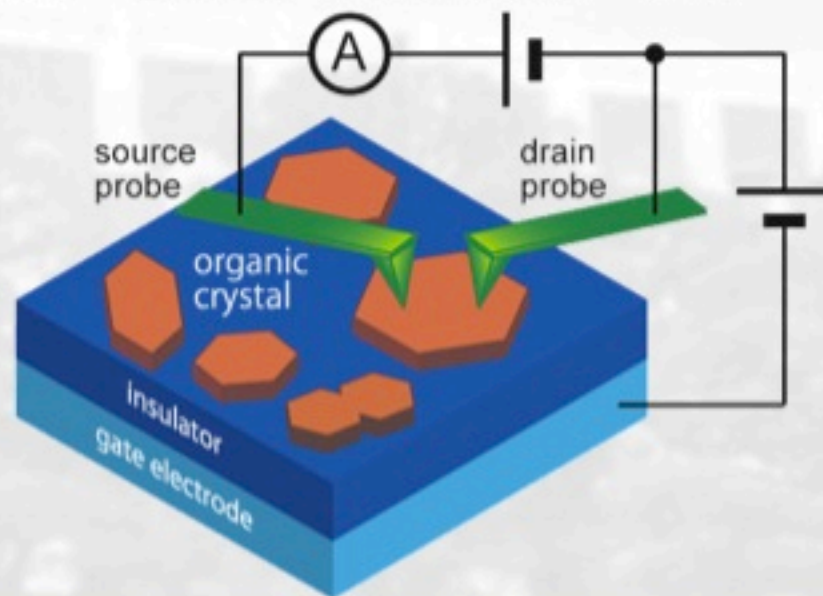
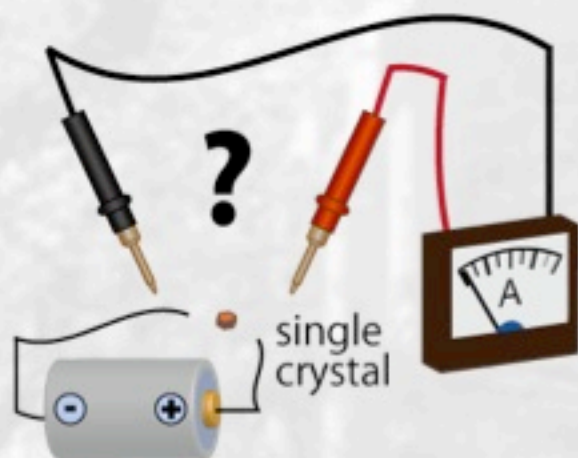
軽量・フレキシブル・低コスト

➡ 次世代デバイスとして期待

➡ 動作機構の解明が必須



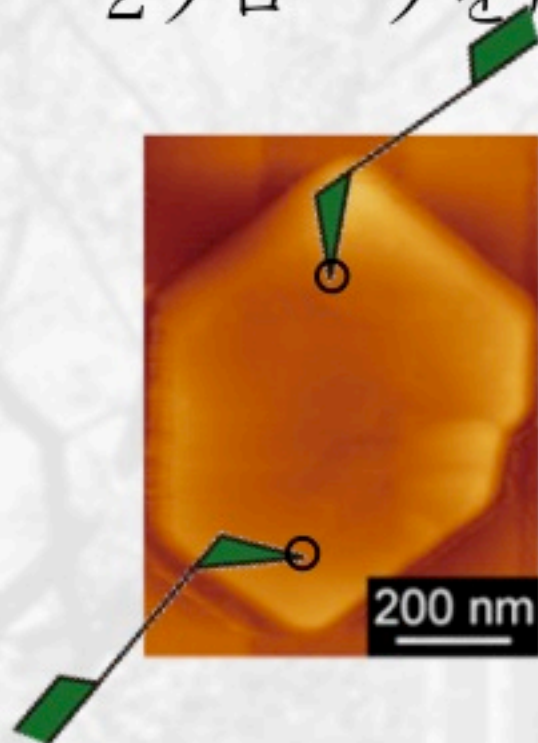
ナノスケールの有機結晶をどのように計測するか



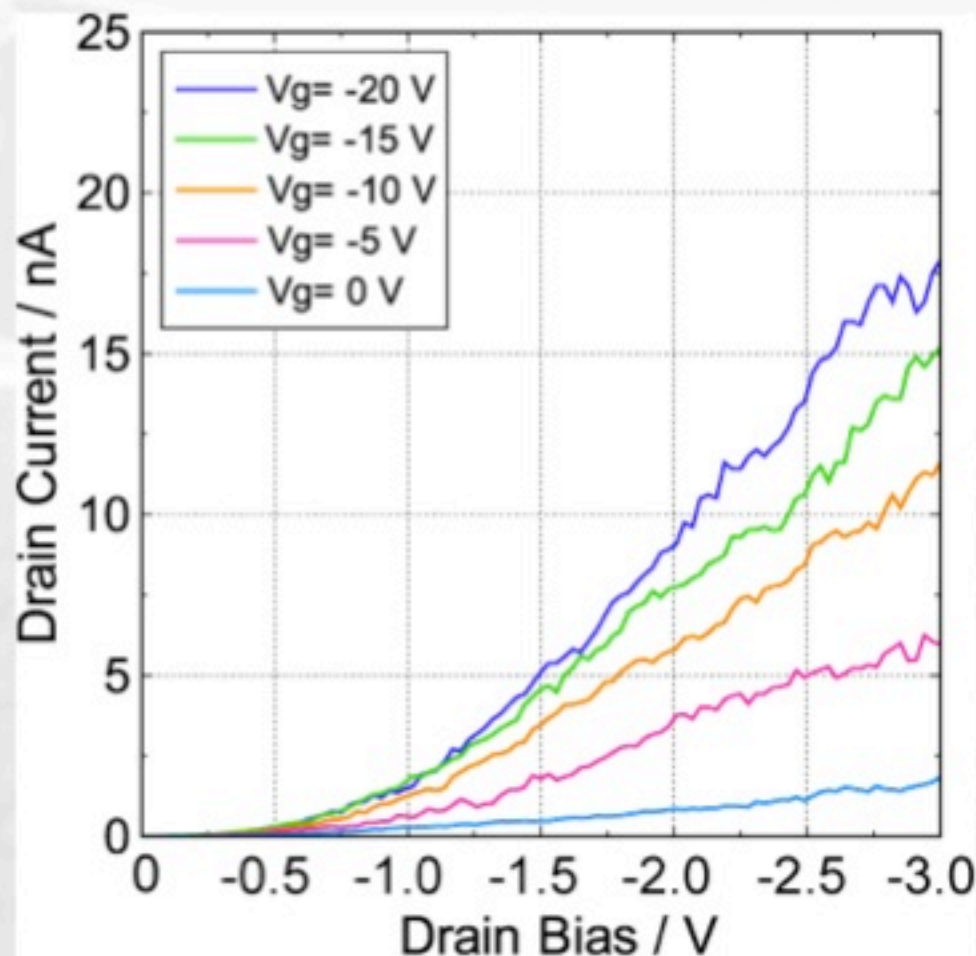
オリゴチオフェン孤立結晶の電気伝導特性



2プローブを用いてp型FET特性の測定に成功



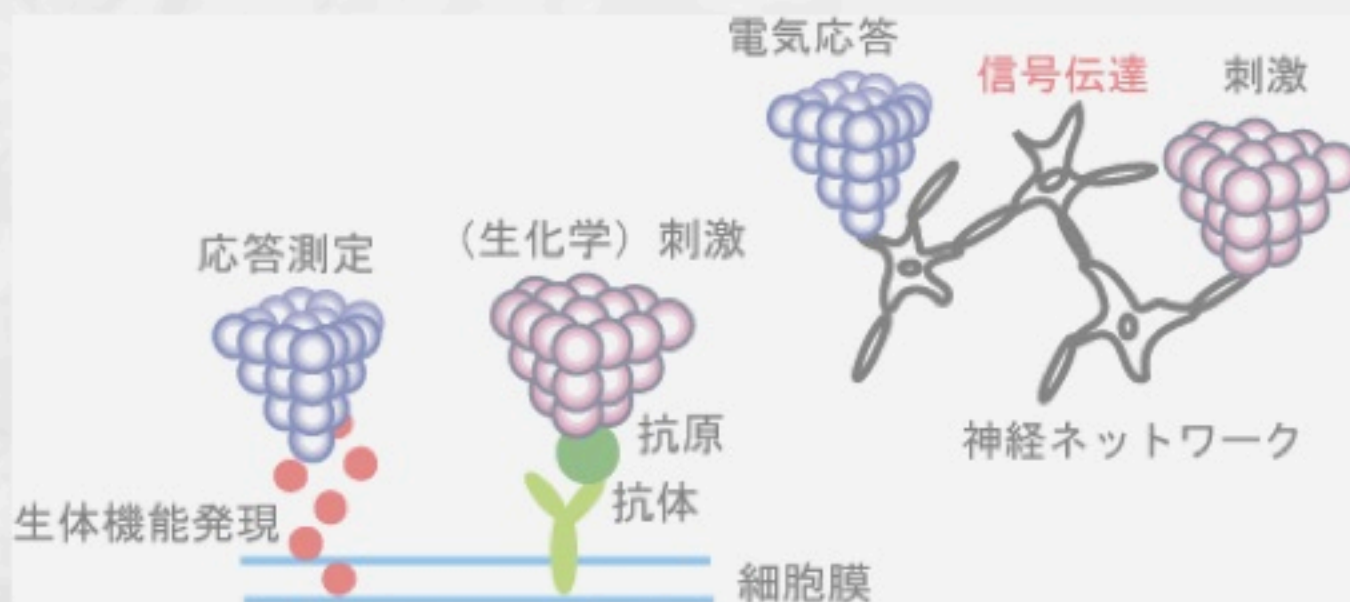
有機孤立結晶の表面形状像.
黒丸(○)が探針接触位置を示す.



DP-AFMの将来展望



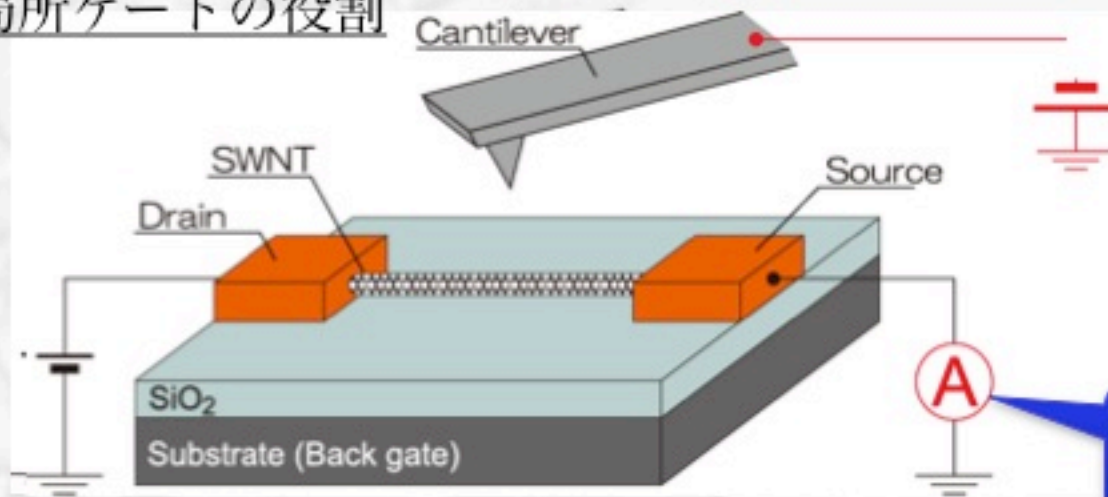
生化学・バイオエレクトロニクスへの応用 生体溶液中で *in vivo* 計測



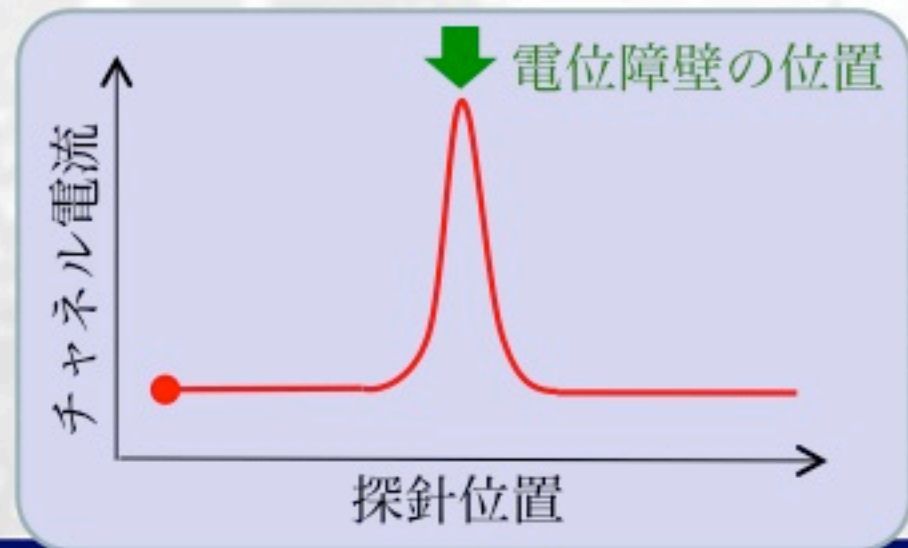
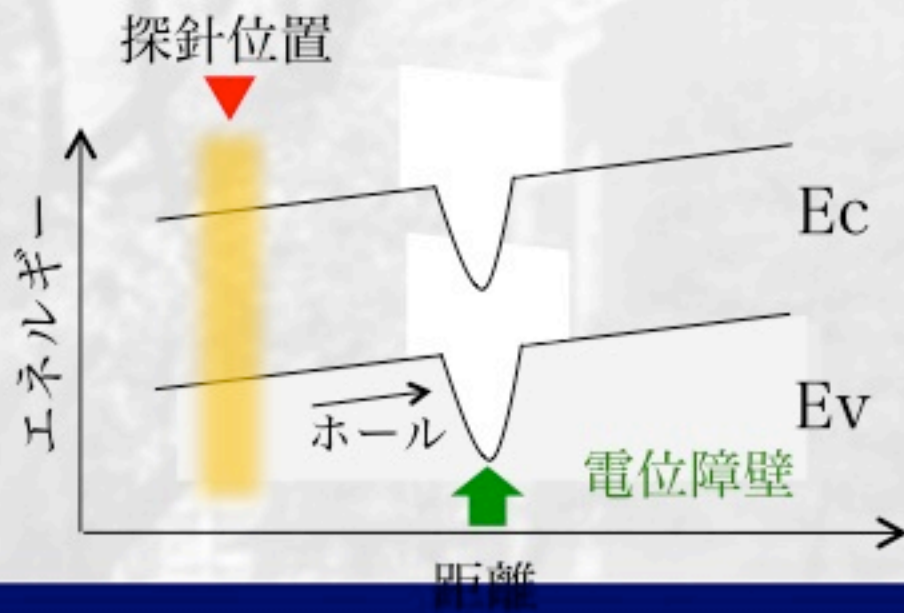
走査ゲート顕微鏡(SGM)



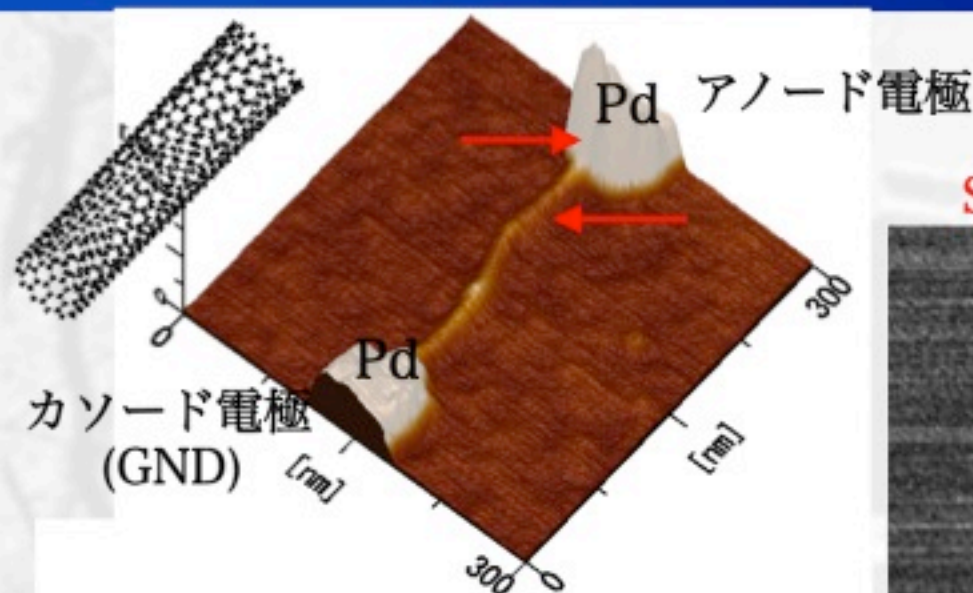
探針：局所ゲートの役割



測定された電流を
マッピング

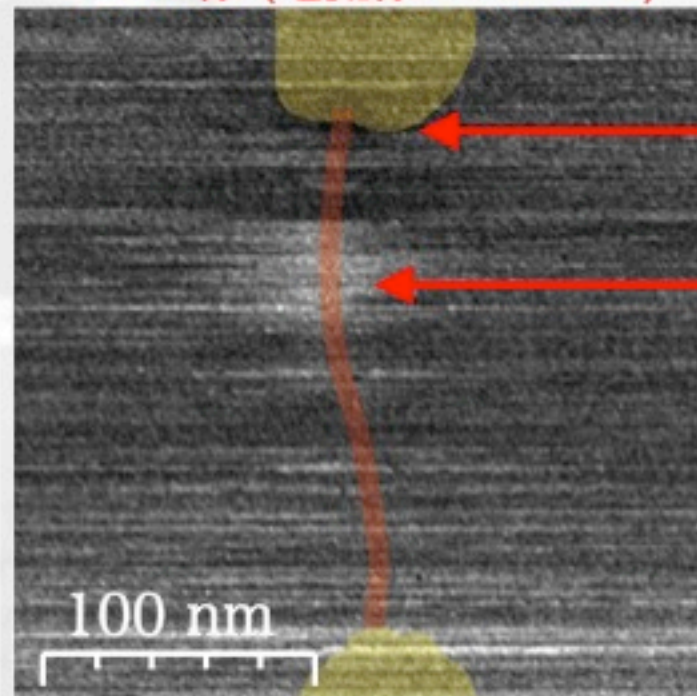


CN-FETの欠陥における局所ゲート応答



SGM像 (電流像, $V_{ds}=2\text{ V}$)

$V_{tip} = 3\text{ V}$



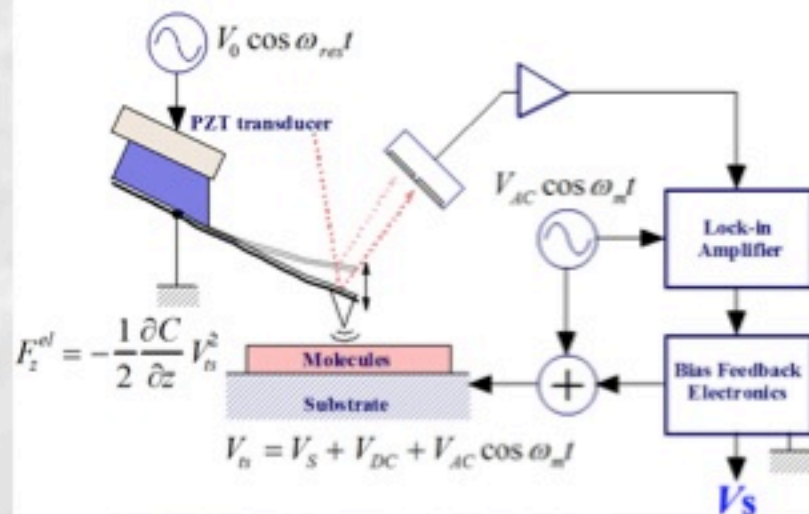
ショットキー障壁
(ホールに対する障壁)

欠陥

(ホール・電子の両方
に対する障壁)

2.6 nA

0 nA

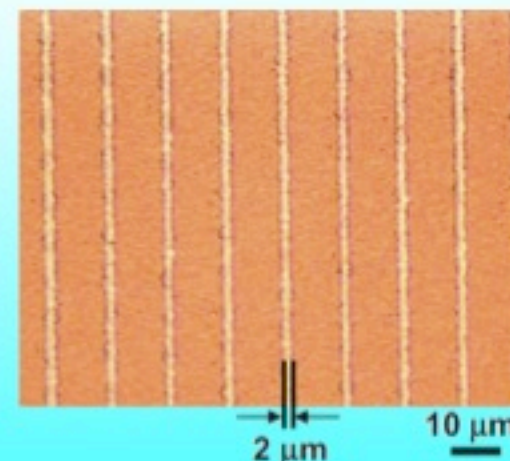
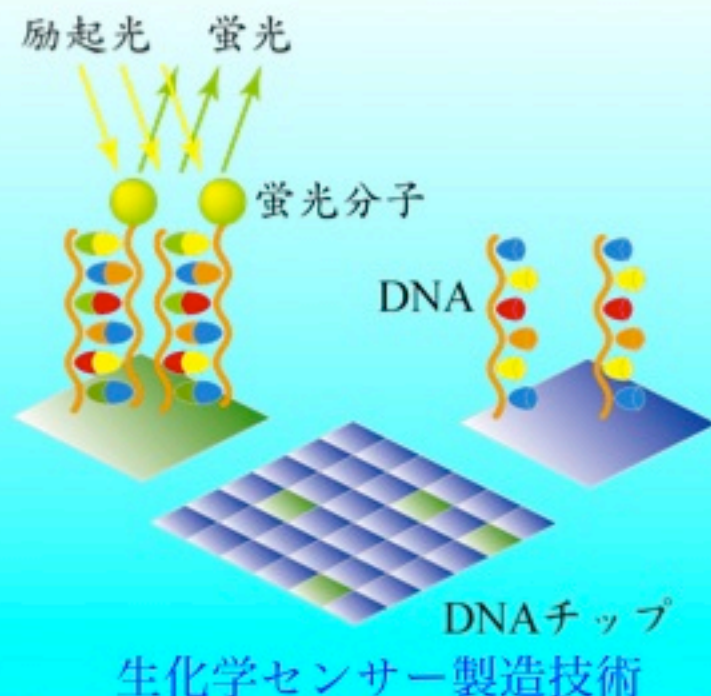


Defects affect I-V characteristics.

新ナノプロセス

ナノインクジェット印刷法の開発
－ ナノ液滴堆積技術 －

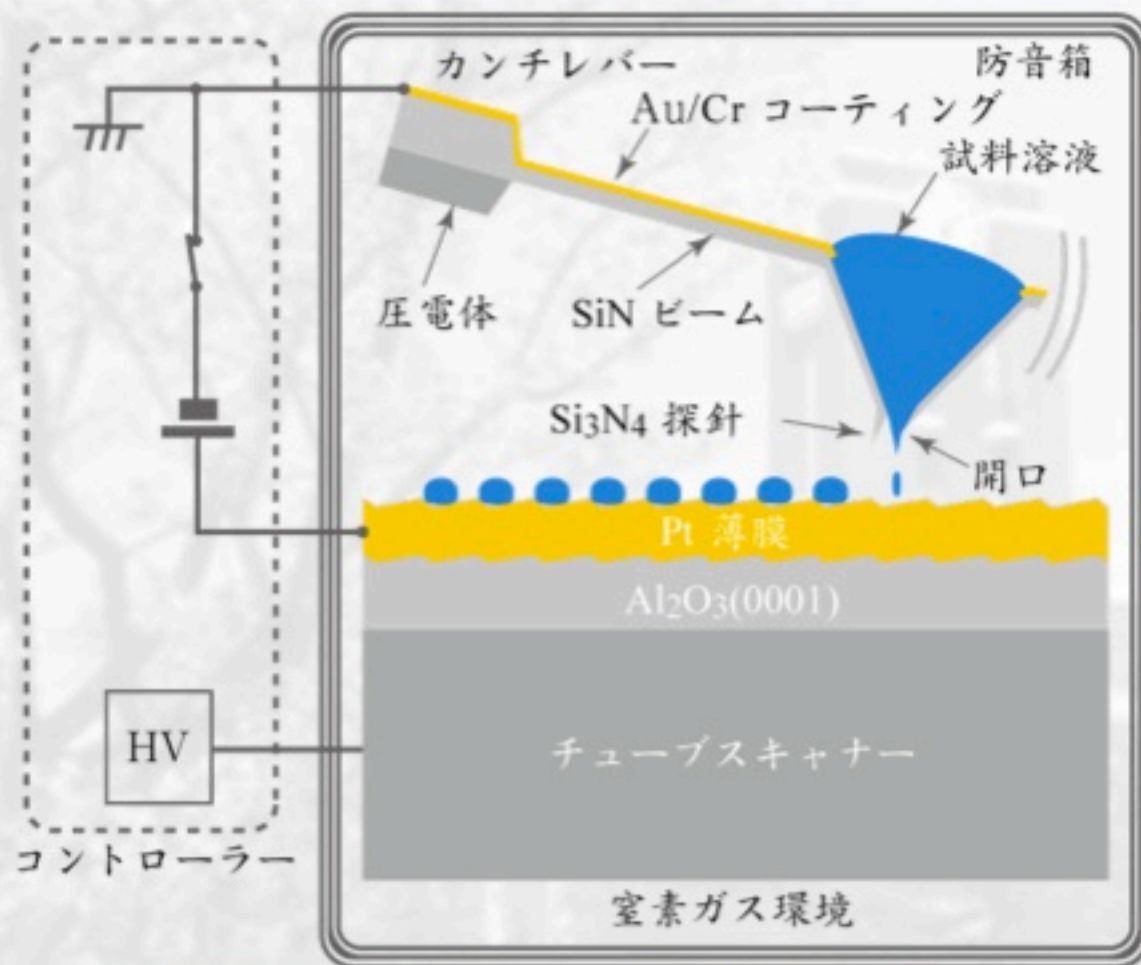
微少液滴堆積技術の開発



インクジェットプリンティング法により
作製した銀配線
† T. Sekitani et al, PNAS 105 (2008) 4976.
プリンタブルエレクトロニクス

ダイナミックモード原子間力顕微鏡を用いたプリンタブル
エレクトロニクスに供しうる微少液滴堆積技術の開発

開発した微少液滴堆積技術

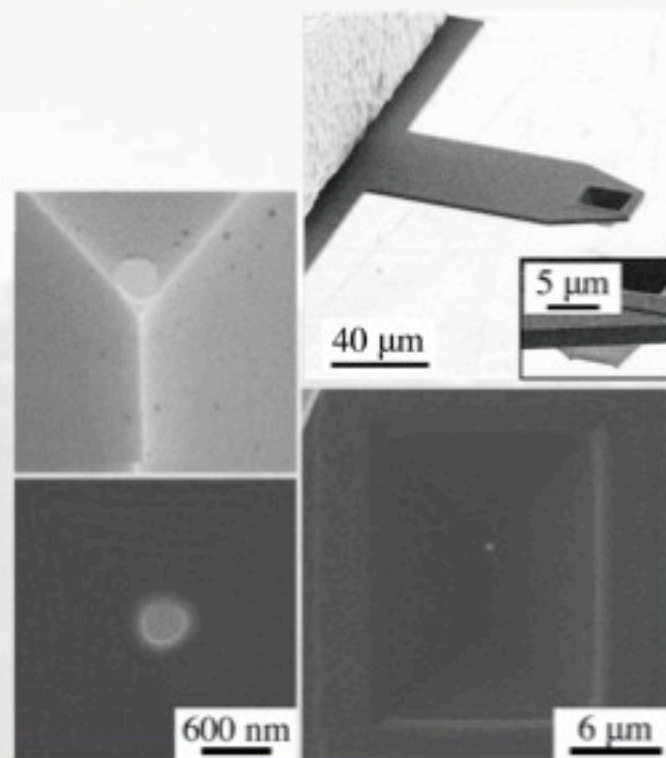


電圧パルス印加 → 液滴堆積

直後に同じ探針で液滴を観察



FIB@インテックセンター・クリーンルーム

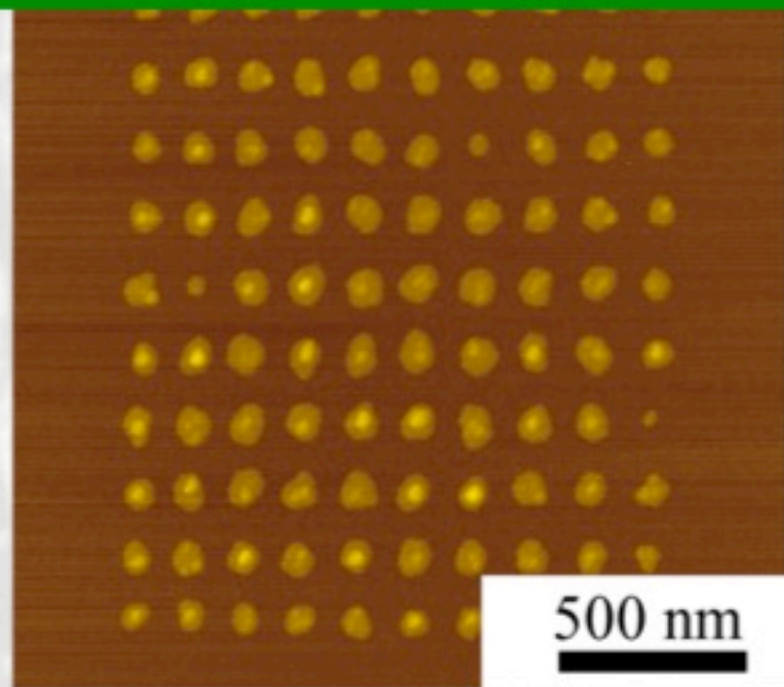


加工した開口付きカンチレバー

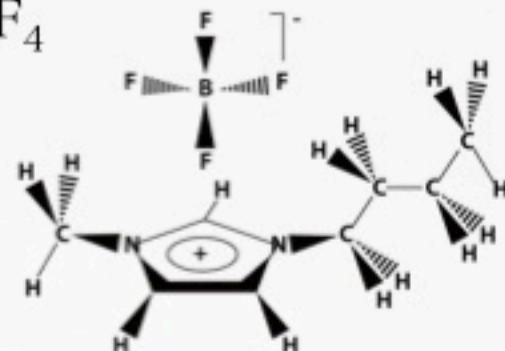
微少液滴および超薄膜の作製



液滴アレイの作製



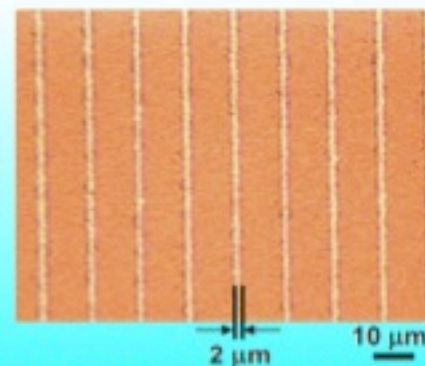
13 試料溶液：イオン液体
[BMIM]BF₄



常温で液体の塩のみから成る液体

9 V 2秒のパルスのアレイ状印加

zepto (10^{-21}) L 液滴堆積を達成



従来技術の液滴堆積量
～サブフェムト (10^{-15}) L

堆積技術の将来展望および応用

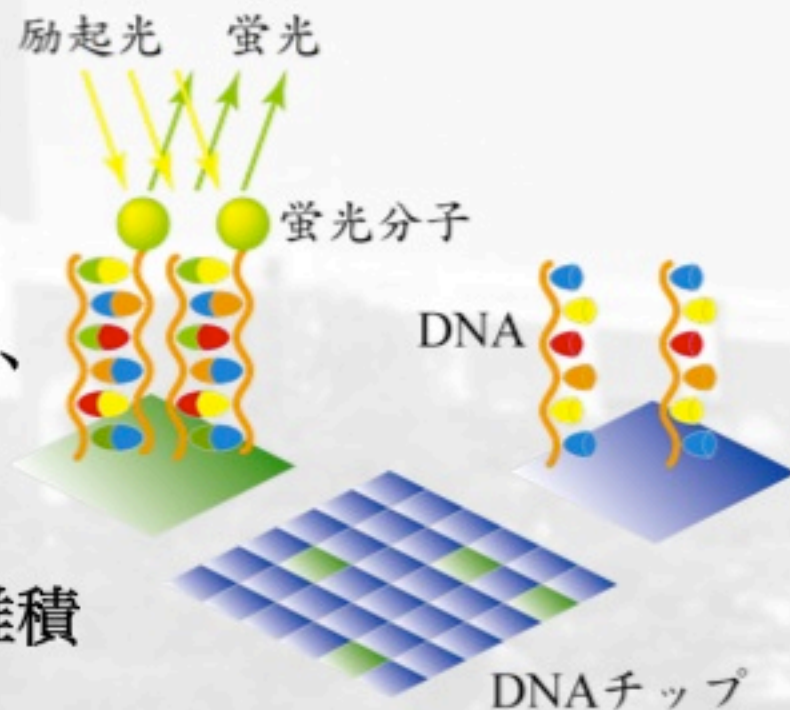


1. 絶縁性基板上への堆積

- SiO_2 やPI, ガラス基板上への堆積
→ 実デバイス製造への展開

2. 多様な機能性粒子の堆積

- エレクトロニクスへの応用：
金属ナノ微粒子, 有機半導体、
レジスト材料
- 生化学センサーへの応用：
DNA, たんぱくなどの堆積



有機薄膜エレクトロニクス

分子スケールエレクトロニクス

有機・次世代分子エレクトロニクス

有機エレクトロニクス

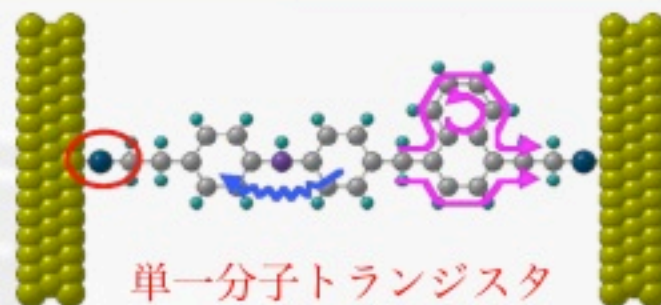


docomo
Galaxy
Samsung製
有機 EL Display
(電界発光)



フレキシブル有機ELディスプレイ
(2010年5月プレス発表: SONY)

分子エレクトロニクス

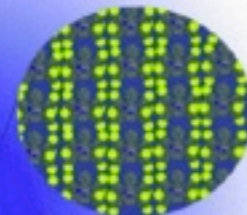
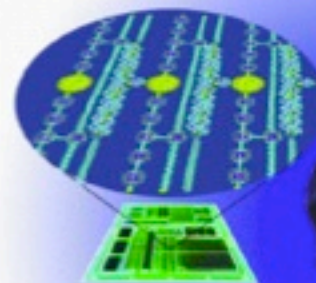


単一分子トランジスタ

Personal Molecular Super Computer

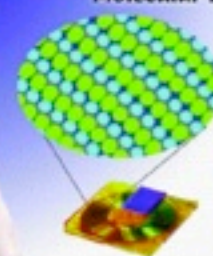
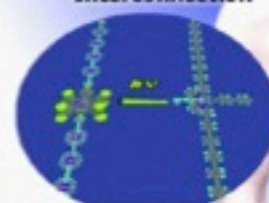
Ultra High Speed
"Molecular CPU"

Single Molecular
Light Emitting Display



Molecular Photo
Interconnection

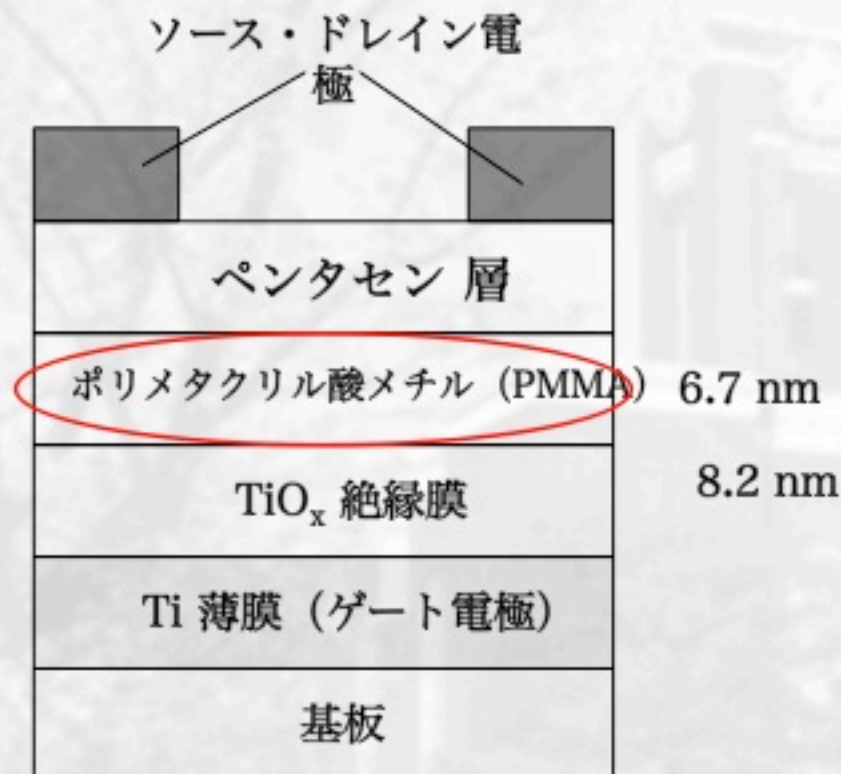
Ultra High Density
"Molecular Disk"



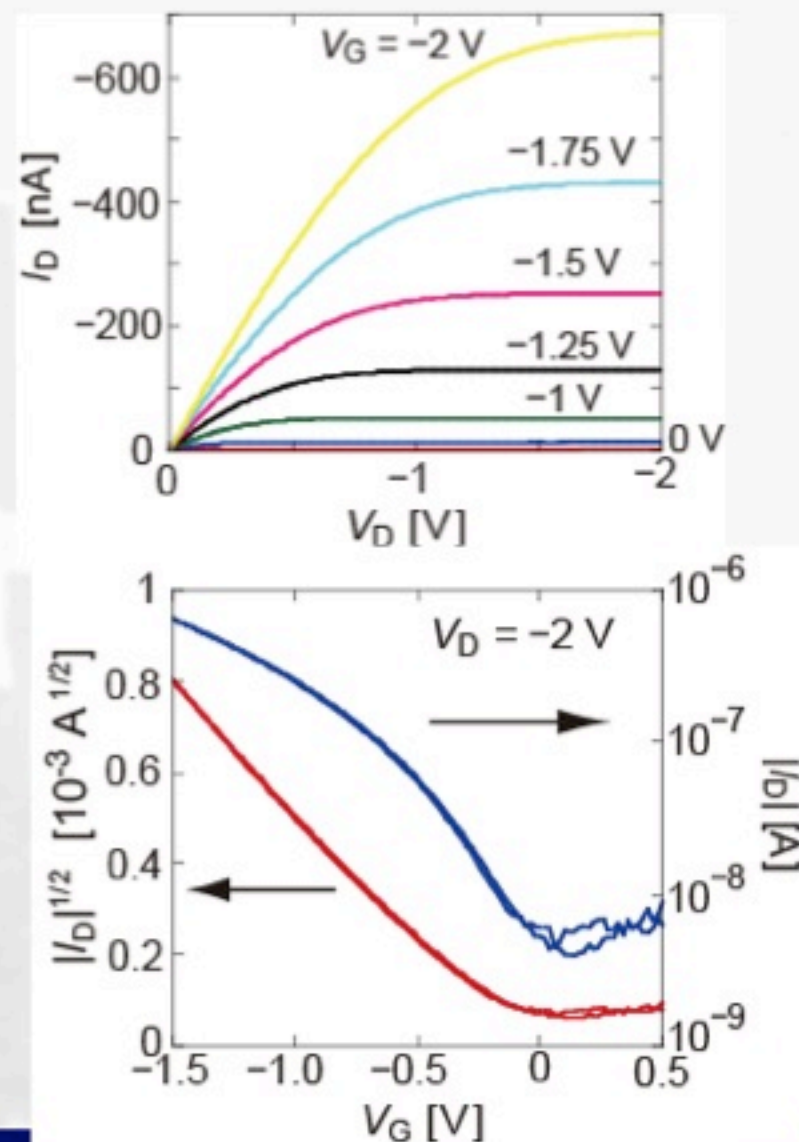
有機薄膜トランジスタの低電圧動作化



PMMA/TiO_x 極薄ゲート絶縁膜の形成



ゲート絶縁膜の膜厚、
及び素材の組み合わせによって、
乾電池レベルの電圧で動作可能



有機薄膜エレクトロニクス (Organic Electronics)



軽量、フレキシブル、印刷技術、低温プロセス、大面積化

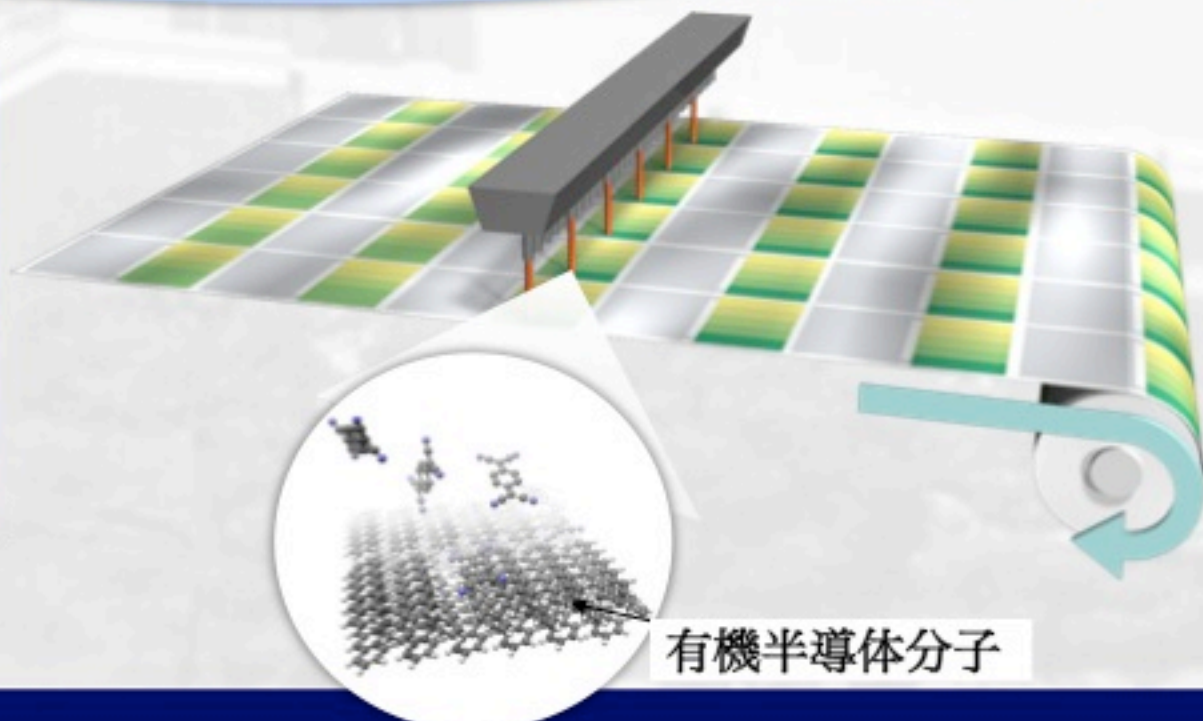


- ✓ 電子ペーパー、ディスプレイ、RFIDタグ、バイオセンサなどへの応用
- ✓ 印刷技術などによる低コスト・低温プロセス、生産ラインの簡便化

次世代の“Printed Electronics”実現を目指して、研究を推進中



フレキシブル有機EL

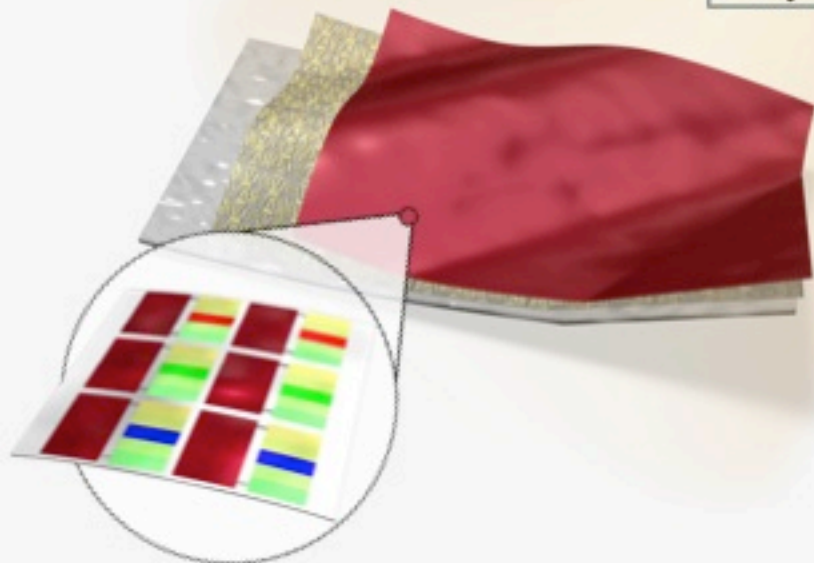
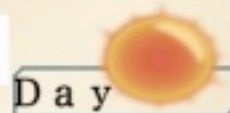


有機半導体分子

有機光電子デバイス統合システム



昼間は太陽電池による充電



プリンタブル技術による
プロセッサ、太陽電池、
ディスプレイの集積化

紙や繊維などのあらゆる
表面での、ユビキタス
システムが実現できる

Night



夜間に充電電力を使用する
ディスプレイ

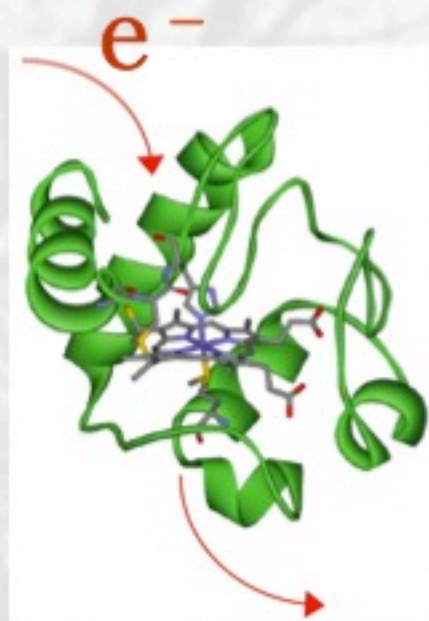
バイオ分子エレクトロニクスへの展開



高効率なエネルギー／信号変換機能を有する生体分子
- functional protein molecules -

電子伝達

シトクロームC



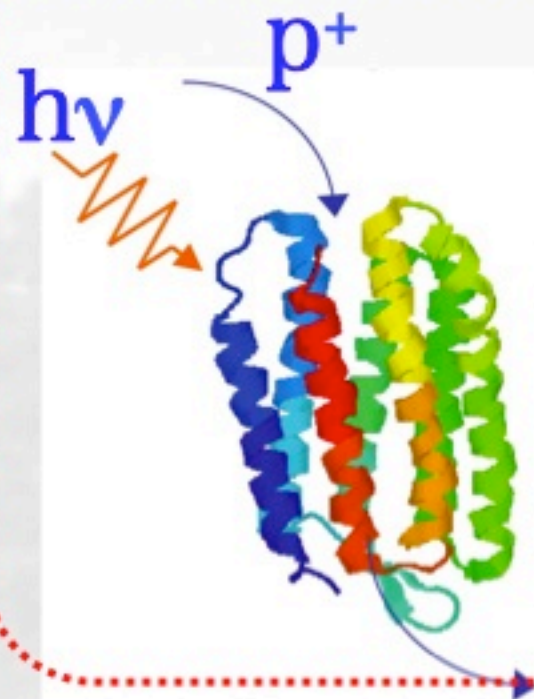
光電変換

光合成ユニット
(PRUタンパク分子)



プロトン輸送

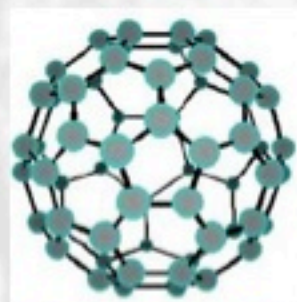
光駆動プロトンポンプ
(バクテリオロドプシン: bR)



分子スケールの電子デバイス構築

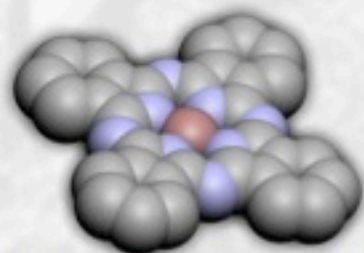


C₆₀分子



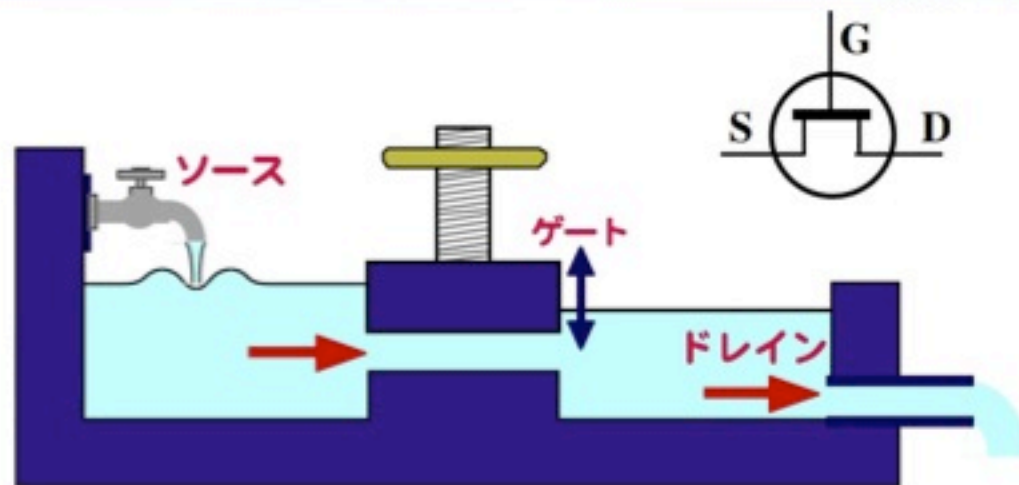
1 nm

フタロシアニン分子

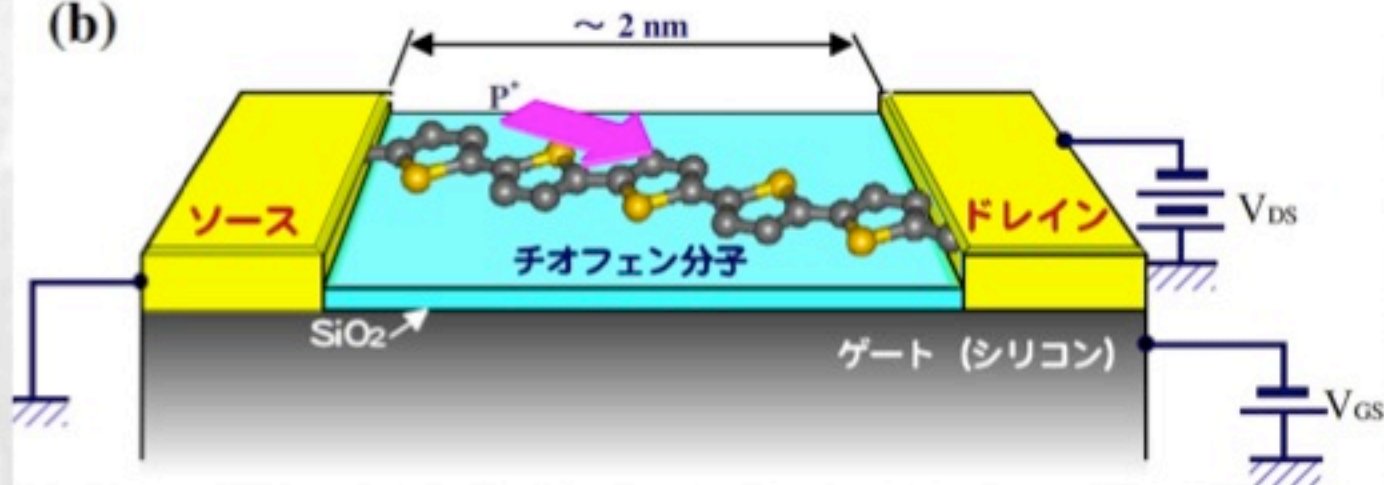


1.5 nm

(a)

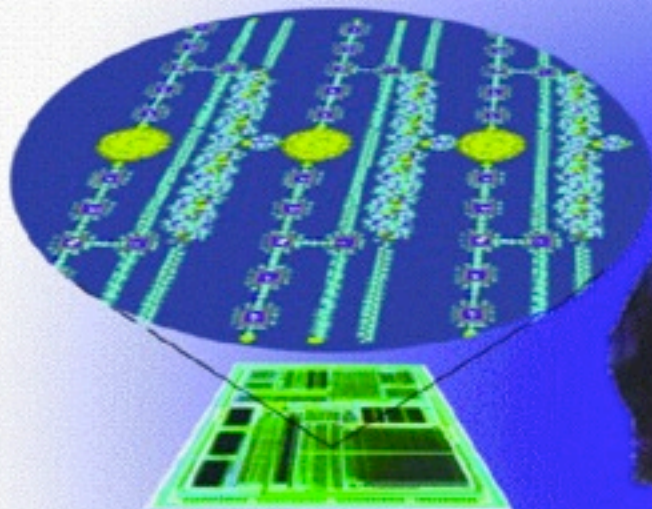


(b)

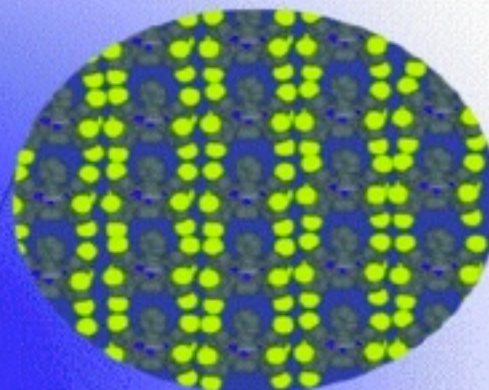


Personal Molecular Super Computer

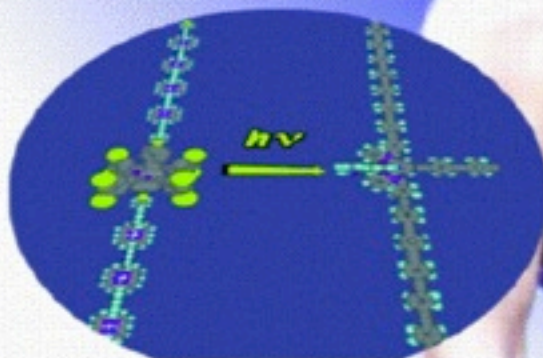
**Ultra High Speed
"Molecular CPU"**



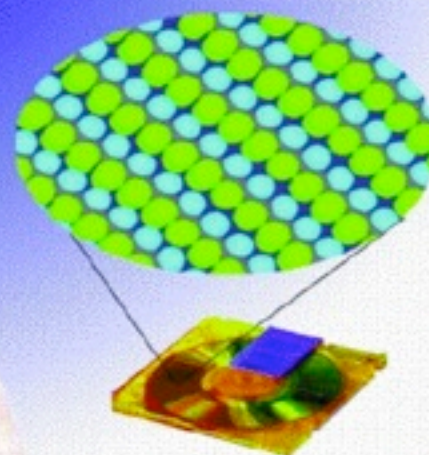
**Single Molecular
Light Emitting Display**



**Molecular Photo
Interconnection**



**Ultra High Density
"Molecular Disk"**





大規模産学連携プロジェクトの創設と実績

第4回産学官連携功労者表彰 日本経団連会長賞受賞 (2006. 6. 11)

京都大学と異業種企業連合との包括的

融合アライアンス

「統合研究テーマ」

次世代有機系電子デバイス・ 材料の研究開発

京都大学国際融合創造センター
戦略的産学連携プログラム



NTT Pioneer HITACHI Inspire the Next ROHM

★毎年2億5千万円x5年間
総額 12億5千万円 +
国からのマッチングファンド

★100件を超える特許出願,知財
WG設置,活用戦略を実施

大型産学連携の代表的成功事例
今後,製品化/更なる共同研究へ



Opening Press 発表(2002.8.1)

枠組構築はG.Stephanopoulos氏 (当時三菱化学CTO,現MIT教授) 等との協議より開始



生物系ナノ繊維を利用した
透明電子デバイス用シート



上記シート上の有機系発光素子

EE for EE

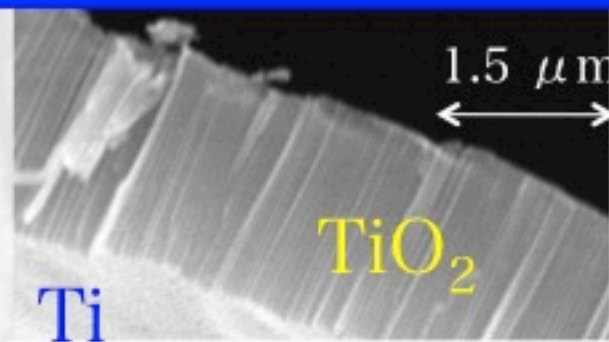
(Electrical Engineering for Eco & Energy)

環境に優しい電子材料・電気システム
京都風電気自動車 (Kyoto-Car) プロジェクト

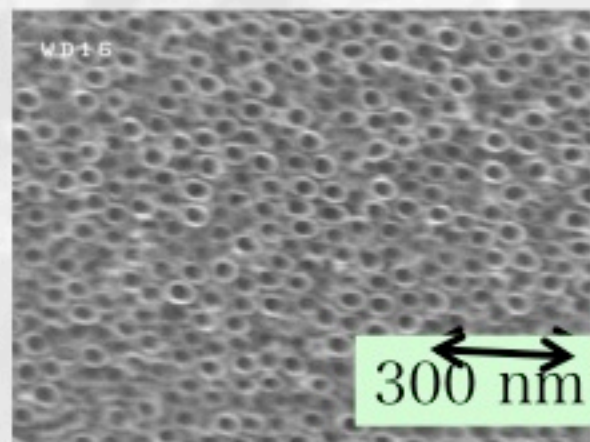
ナノ構造材料のエネルギー変換と水素生成への応用 光触媒水素生成分離膜の開発



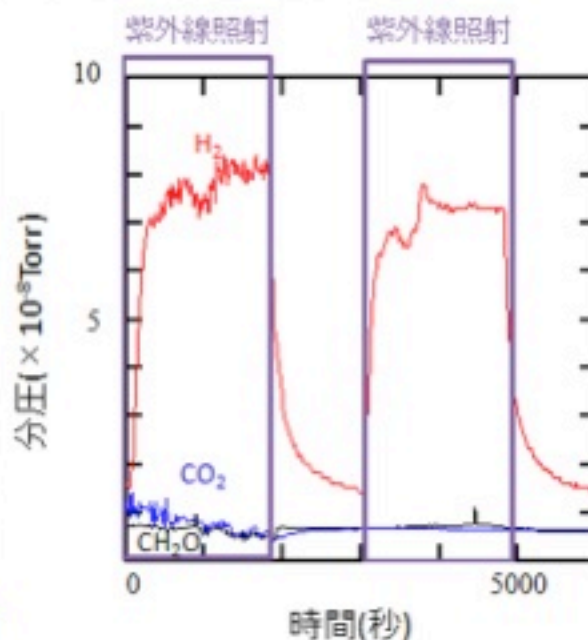
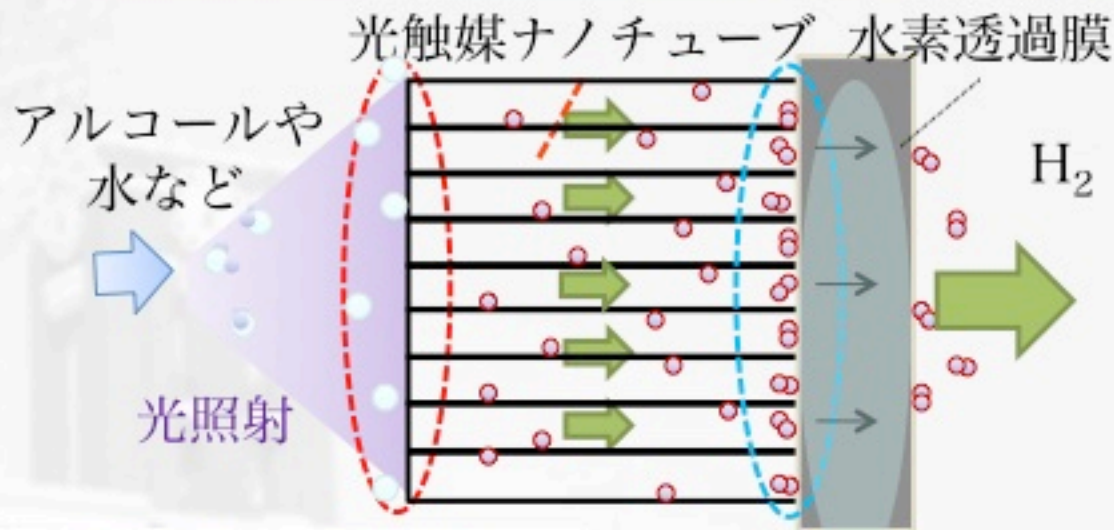
陽極酸化によるTiO₂
ナノチューブアレイの作製



Cross-sectional View (SEM)



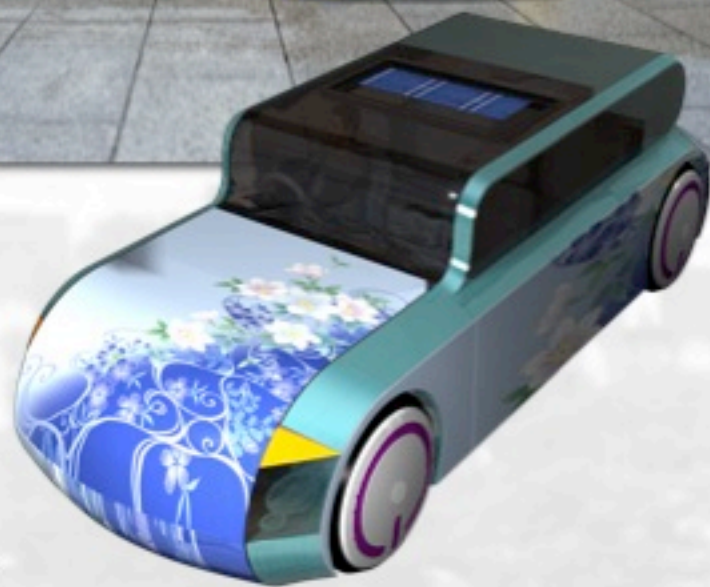
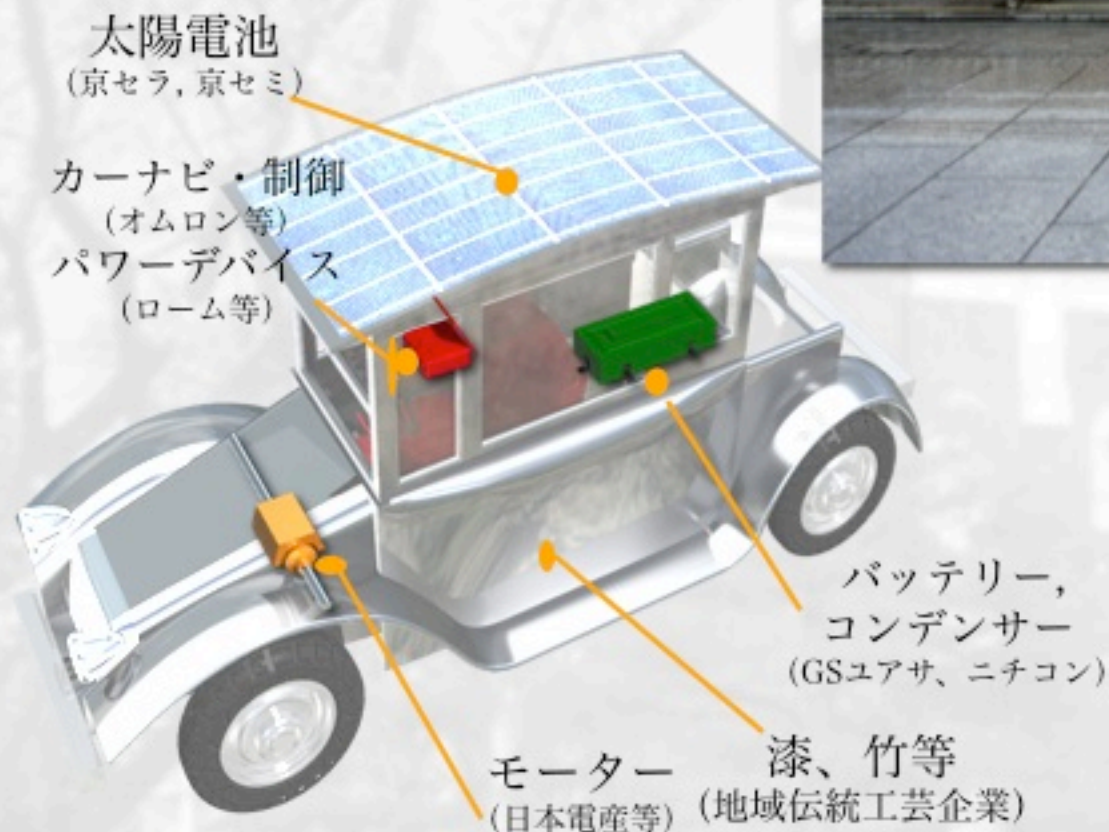
Top View (SEM)



・高純度水素生成
・改質器の小型化
が可能
↓
燃料電池の
小型化が可能に

京都風電気自動車

先端技術と伝統文化の融合
京都の街に会う電気自動車



京友禅デザイン
(JSS, Nissha)

環境に優しい電気自動車 (Kyoto-Car Project)



微小球状太陽電池

先端技術と伝統文化を融合
した京都風電気自動車



新型バッテリー
システム実証実験車



竹型EV "Bamgoo"

先進グリーン・エネルギー・ステーション

