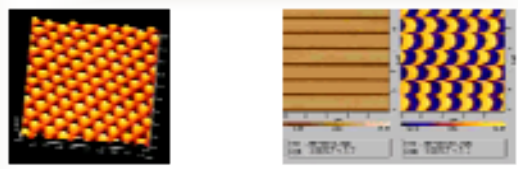


SPMの特長

- 三次元形状と物性の同時高倍率観察
- 様々な環境での測定
- 進化中の最新テクノロジー

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 7

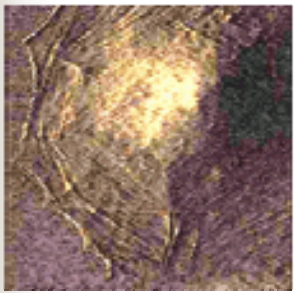
三次元形状と物性の同時高倍率観察



- 右図: グラファイトの原子像 (2000万倍/STM)
- 左図: 光磁気ディスクの三次元形状と極化像の同時観察

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 8

様々な環境での測定

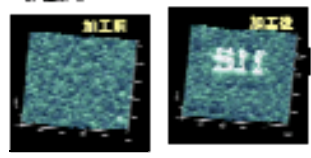


- 液体中・真空中・大気中・低温・高温・加圧・電場・磁場...
- 一生物と細胞の培養液中観察。(EFT顕微鏡)

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 9

進化中の最新テクノロジー

- 物性装置 → 物性・分析装置 → 観察・分析・加工装置
- 三次元形状観察 AFM-STM
- 表面物性分析 PFM-BPM-KPM-スプローブ顕微鏡
- 加工 (マイクロマニピュレーション)



2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 10

STM (走査型トンネル顕微鏡)

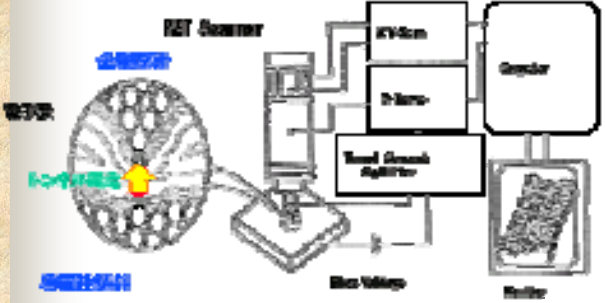
■ 表面の電子状態・形状観察

STM
 設計と材料性に決める量子トンネル電流を利用して、表面形状を原子分解能で観察できるSPMの原素Tモードです。



2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 11

STMの原理



2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 12

Electron Cloud

- General situation showing electron cloud
 - surface electronics on the sample
 - tip sample interaction
- Scanning mode
 - Constant-current mode scanning
 - Constant-height mode scanning

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 13

トンネル電流

- トンネル電流
 - 針と試料が1nm程度まで近付くと、古典力学で考えると越えることができないはずの隙間(障壁)を素通り(トンネル)して両方の伝導電子が流れ来できるようになり、電圧を加えるとトンネル電流が流れる。
 - その値は金属の場合、1 nm、数 mV のときに約1 nA であり、試料と針との隙間が 0.1 nm 増大(減少)すると、およそ10分の1(10倍)になる。

$$J_T \propto \exp(-A\psi^{1/2}z)$$

$$A = \sqrt{\frac{4\pi}{h}} 2m = 1.025 \text{ }^{-1} \text{ eV}^{-1/2}$$

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 14

ピエゾ素子

- ピエゾ素子
 - Z方向のピエゾ素子をトンネル電流が一定になるように駆動すれば、針と試料との隙間を一定に保つことができる。
 - XY方向のピエゾ素子によって探針を走査すれば、針の先端は表面の原子の凹凸をなぞって動くことになる。
 - PZT(チタン酸ジルコン酸鉛系)のセラミックの素材では、約3mm角で長さ30mm程度の角柱の場合、平行な2側面につけた電極間に1V印加すると約1nm伸縮する。
 - 素子に加えた電圧から約10pmの精度で表面の形状を求めることができる。

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 15

PI piezo actuators

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 16

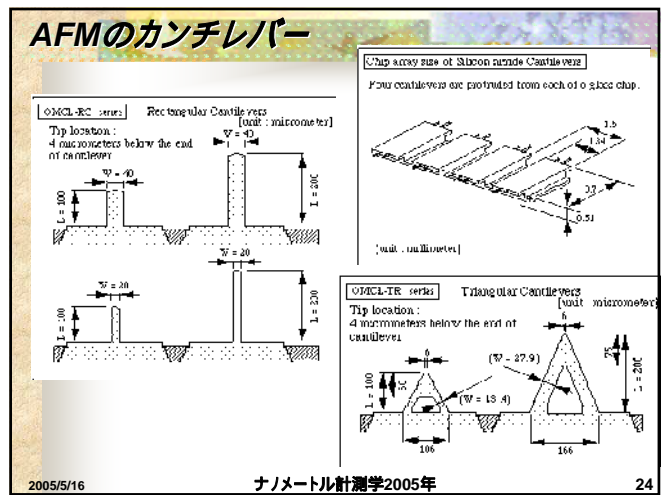
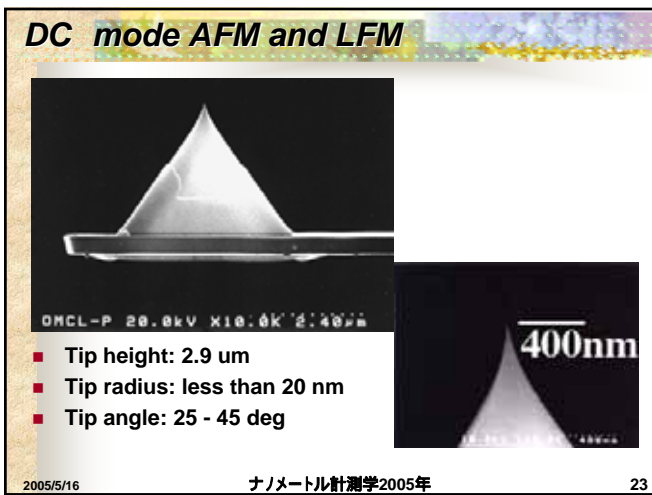
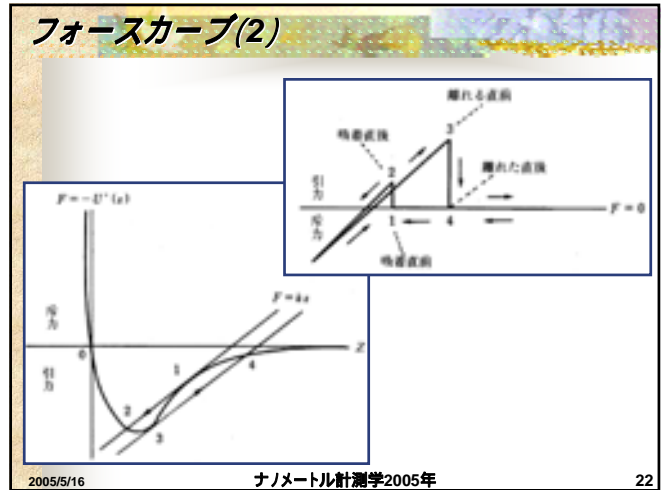
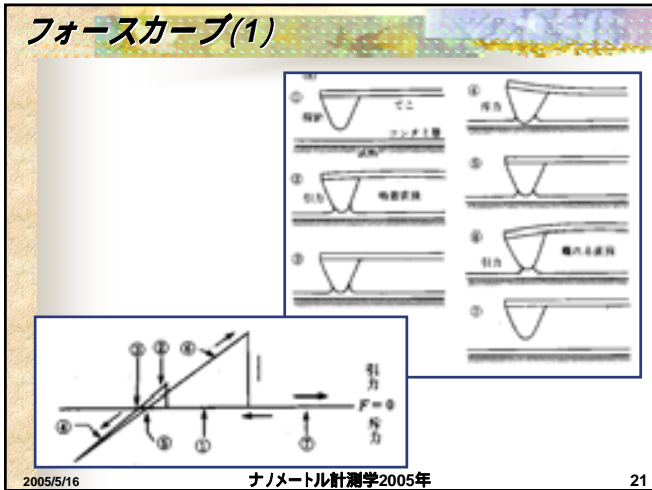
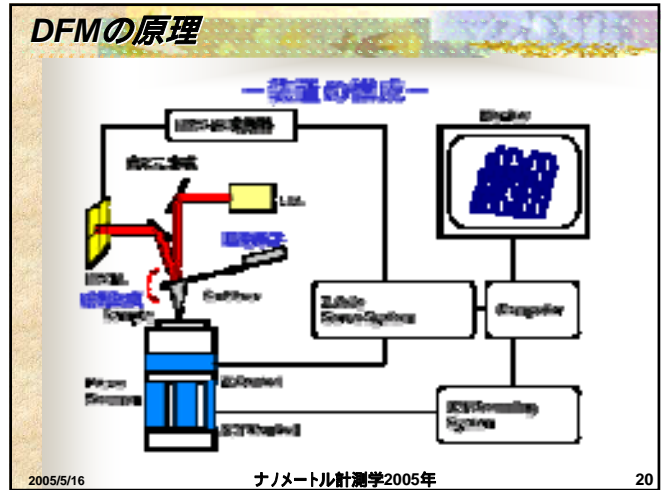
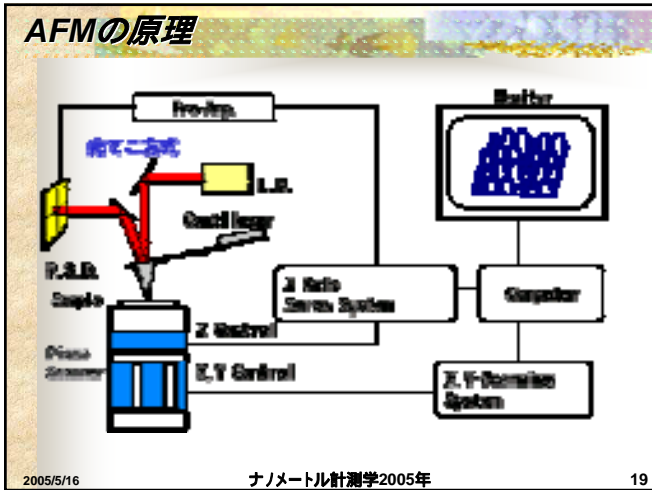
Stack actuator

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 17

AFMの分類

- コンタクトモード(コンタクトAFM)
- ダイナミックフォースモード(DFM)

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 18



AC mode AFM

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 25

Wedge tips

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 26

Carbon Nanotubes

- Carbon nanotubes as probes for atomic force microscopy
- 飯島澄男博士 (NEC基礎研究所 主席研究員, 名城大学工学部教授) がカーボンナノチューブを発見(1991)

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 27

炭素の同位体

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 28

カーボンナノチューブの生成方法

- レーザー蒸発法
- アーク放電法

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 29

カーボンナノチューブの付け方

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 30

カーボンナノチューブによる測定

(a) conventional cantilever
resulting height scale

(b) converted cantilever with nanotube attached
resulting height scale

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 31

FFMとLM-FFM

FFM Friction Force Microscopy
LM-FFM Lateral Modulation Friction Force Microscopy

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 32

マイクロ粘弾性AFM (VE-AFM)

VE-AFM Input: Sinusoidal wave
Output: Sinusoidal wave with phase shift
Resulting height profile

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 33

表面電位測定

Surface potential measurement
Resulting surface potential map

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 34

環境制御型SPM (SPA300HV)

- 多様な環境制御が可能
 - 真空室 → 10⁻⁷ Torr
 - 有機溶媒 → 有機溶媒
 - ガソリン → 有機溶媒
- 高度な制御技術
 - マイクロ制御技術、精密制御技術
 - 高精度測定、高精度測定

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 35

液中・電気化学中SPM

Liquid and electrochemical SPM
Resulting surface potential map

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 36

光プローブ顕微鏡の原理

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 37

光プローブ顕微鏡の特徴

特徴

- ・光学顕微鏡の限界を超える光分解能を実現
- ・光学像(透過・蛍光)と形状の同時観察
- ・機能情報(摩擦・粘弾性・表面電位など)の同時観察
- ・大気・液中での観察が可能
- ・微小領域の分光スペクトル測定が可能
- ・試料の前処理が不要

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 38

光プローブ顕微鏡の観察例

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 39

Molecular Measuring Machine

- M³
 - 1 nm uncertainty
 - 50 mm x 50 mm planar range
 - 2 mm height
 - 5 μm x 5 μm x 3 μm local range

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 40

M³の構造

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 41

M³の測定例

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 42