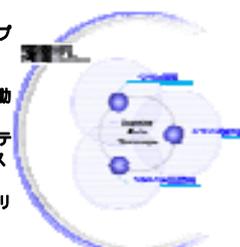


ナノメートル計測学 システム創成学科BISコース

2005年5月16日
東京大学工学系研究科精密機械工学専攻
高増 潔

SPM入門

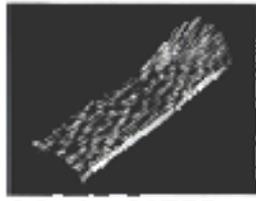
- http://www.sii.co.jp/kgk/construct/spm/html_file/intro.html#
- セイコーインスツルメンツ株式会社
 - 設立: 1937年(昭和12年)9月7日
 - [ウェアラブル] ウォッチ、PCカード型PHS電話機、電子辞書、腕時計型コンピュータなど
 - [インダストリアルシステム] 分析・計測機器、CAD/CAM/CAEシステム、真空ポンプ、コンプレッサなど
 - [ネットワークコンポーネント] 液晶表示モジュール、CMOS IC、マイクロ電池、水晶振動子、光ファイバコネクタなど
 - [e-ソリューション] スタアオートメーションシステム、モバイルメール端末、無線カード決済システム、携帯電話用コンテンツサービスなど
 - [関連事業] ハイテクモータ部品、サーマルプリンタ、カラープリンタ、ネットワーク製品



2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 2

SPMの歴史と進歩(1)

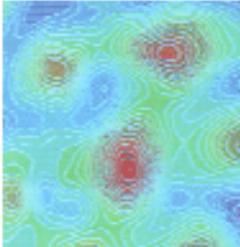
- 1981年: SPMの開発開始された。
世界中初めての原子・分子イメージング
Dr. ドニツ、Dr. ローアー 両氏により STM(金属表面の原子構造の可視化)による原子像の取得が実現された。
- 1985年: SPMの開発開始された。
IBM・ノーリト研究所 Dr. ドニツ、スタンフォード大学 Dr. グローブ 両氏により開始。



2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 3

SPMの歴史と進歩(2)

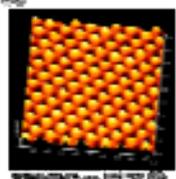
- 1986年: Dr. ドニツ、Dr. ローアー 両氏がノーベル物理学賞を受賞する。
原子像の取得が実現された。
- 1989年: 電子顕微鏡技術の進歩により日本でも初めて原子像の取得に成功する。
住友電気工業/東京大学共同研究センターで実現。



2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 4

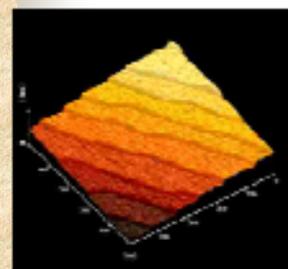
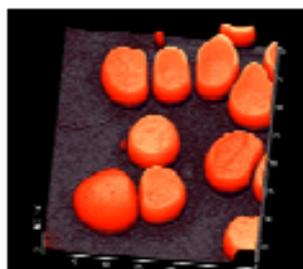
セイコーインスツルメント(株)のSPMの歴史

- 1985年: STMの開発・販売を盛況のうちに始める。
- 1986年: STMの原子像取得に成功する。
- 1988年: STMの改良品化。
- 1989年: SPMの開発開始。
- 1991年: AFMの開発開始。
- 1992年: SPMの改良品化。
- 1993年: SPMの開発開始。
- 1994年: SPMの開発開始。
- 1995年: SPMの開発開始。



2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 5

SPIの観察例

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 6

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

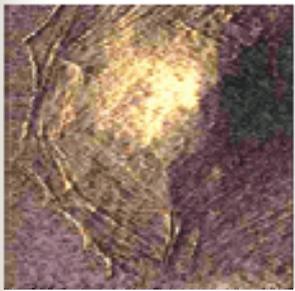
三次元形状と物性の同時高倍率観察



- 右図: グラファイトの原子像 (2000万倍/STM)
- 左図: ハード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

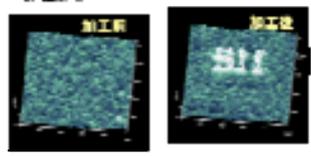


- 真空中・真空中・大気中・低温・高温・加圧・電場・電場...
- 一生物と細胞の培養液中観察。(ストロム)

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

- 測定装置 → 測定・分析装置 → 結果・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)

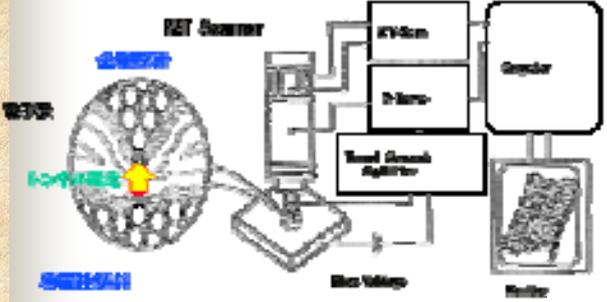
■ 表面の電子状態・形状観察

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測できるSPMの原素T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けるようになり、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

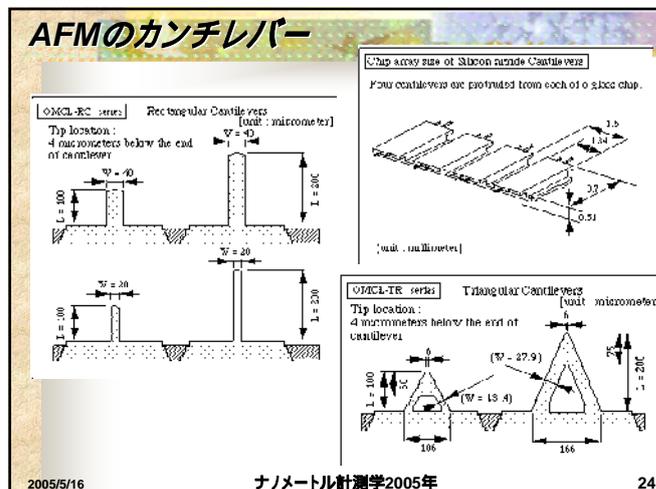
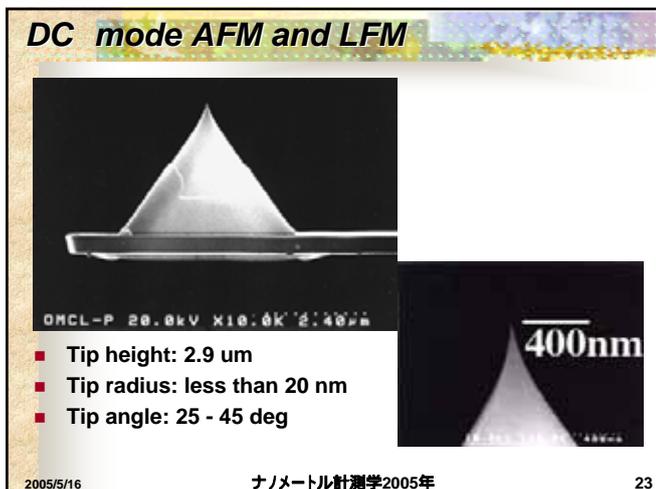
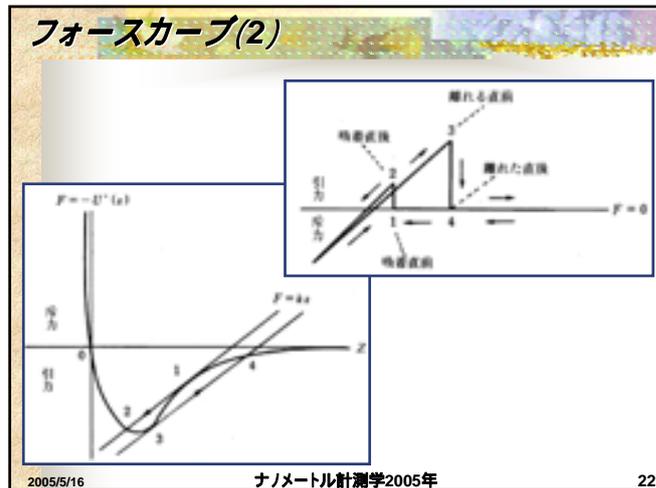
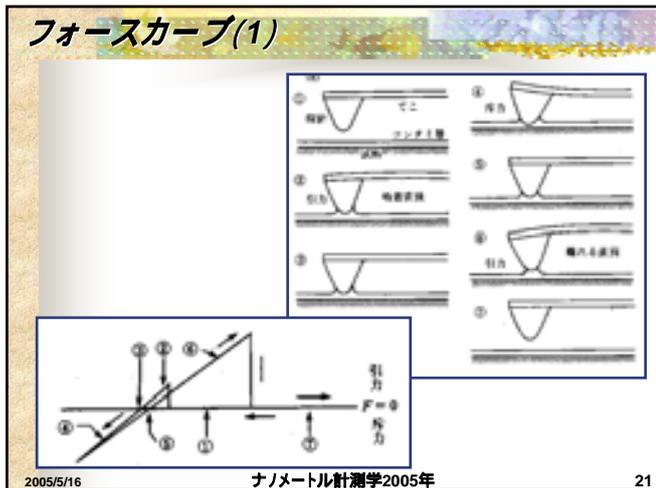
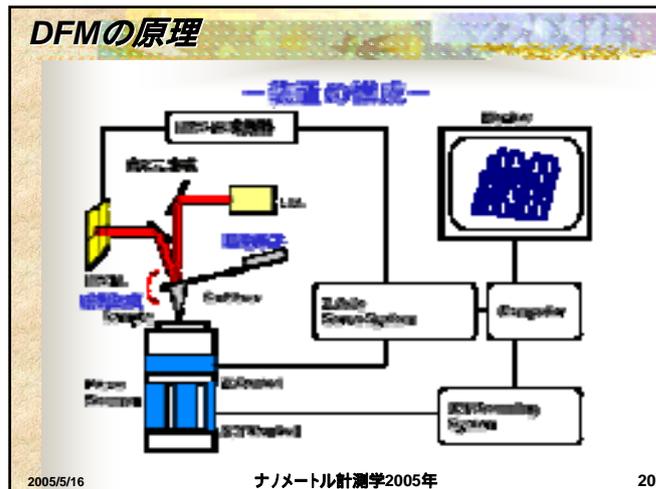
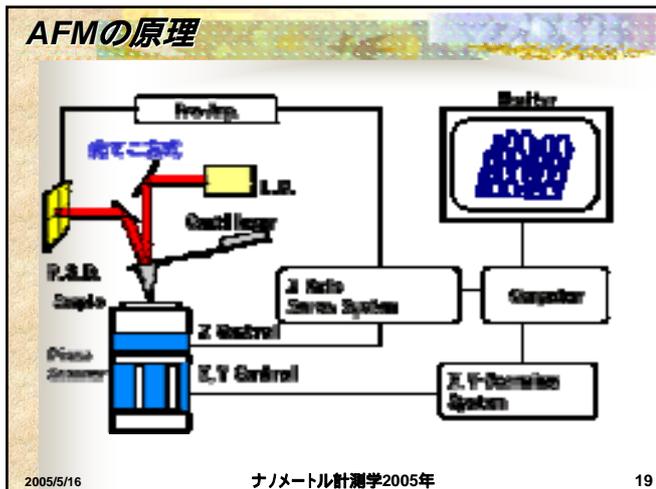
Stack actuator

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 curve

(b) converted cantilever with nanotube attached
resulting height curve

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: Tip Force (F_{tip})

VE-AFM Output: Cantilever Deflection

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 33

表面電位測定

- 非接触状態で電極が試料表面と相互作用する Kelvin Probe (KP) 方式。
- 探針-試料間距離を精密に制御することで、試料の表面電位を測定します。

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 → 水 → 空気
 - ガスクロマトグラフィーによる気体環境制御
- 高度な電圧対応
 - マイクロビーム性、結果の再現性を確保。大型ユニットと専用の高圧電源装置、標準台座で対応

2005/5/16 ナノメートル計測学2005年 35

液中・電気化学中SPM

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