

工学研究科
応用物理学専攻
物理工学講座
菅原研究室

スタッフ: 菅原康弘(教授)
影島賢巳(助教授)
内藤賀公(助手)

21世紀の新学問分野や次世代の産業基盤の
創成につながる“ナノテクノロジー”に関する研
究を幅広く展開する予定

国家の戦略的研究分野

バイオ
テクノロジー

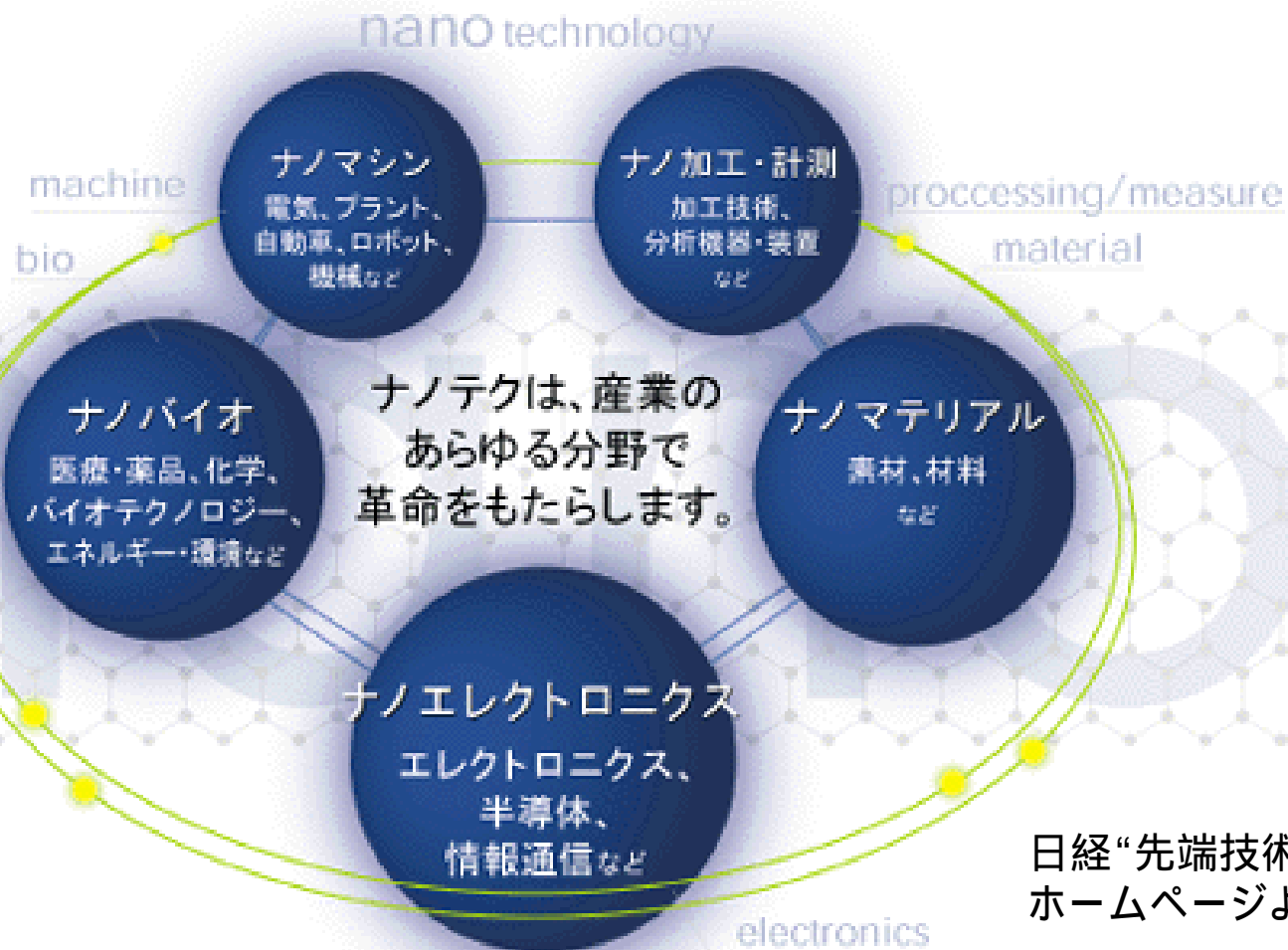
ナノテクノロジー

IT(情報技術)

- ・小泉内閣の総合科学技術会議で、今後の国家戦略技術として決定
- ・米国や欧州でも国家戦略レベルの取り組みを強化

あらゆる分野で産業化が期待されるナノテクノロジー

これまでにない超微細技術によって驚くべき機能・性能を実現



日経“先端技術”
ホームページより

☑ 最先端基礎研究分野

- ・分子素子
- ・量子素子
- ・量子計算機
- ・スピン(磁性)制御素子
- ・ナノ化学工場
- ・ナノ加工技術など

☑ 応用研究分野

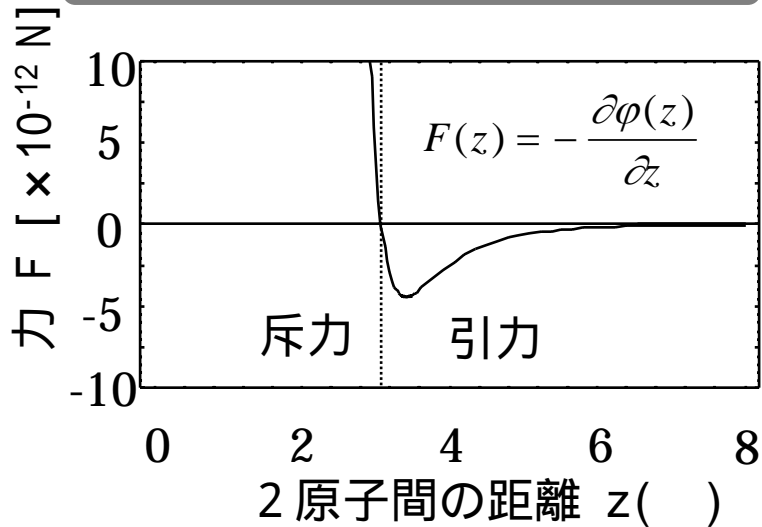
6割を超す企業がナノテクへの取り組みを開始

- ・超高密度磁気記録
- ・高密度次世代半導体素子
- ・ナノ制御極薄強力金属
- ・カーボンナノチューブの電子放出電極
- ・蓄電池電極材への応用
- ・改良型DNAチップ

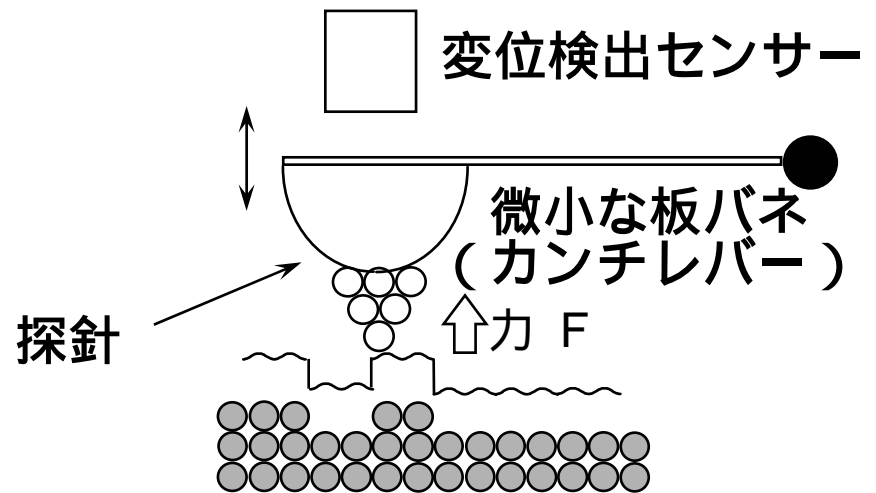
ナノサイエンス・ナノテクノロジーの革新的な研究手法

→ 原子間力顕微鏡 (AFM)

2 個の原子間に働く力

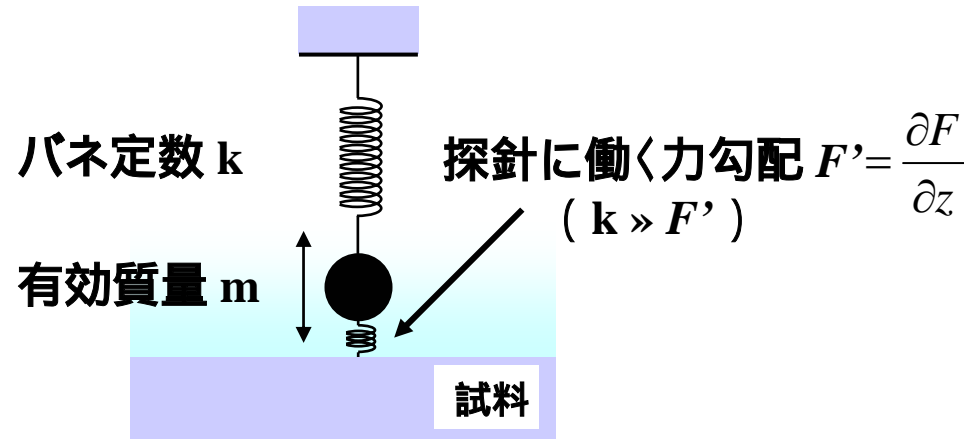
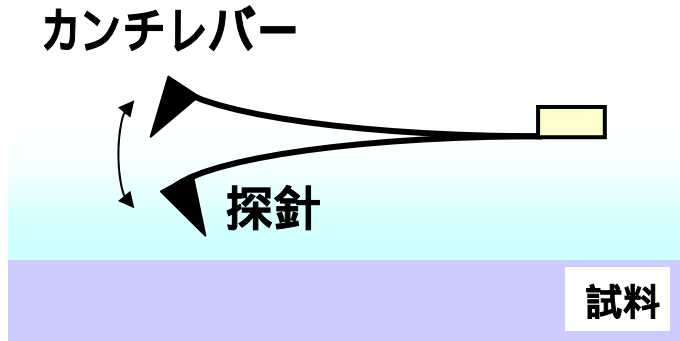


原子間力顕微鏡 (AFM)



周波数変調 (FM) 法による微弱な力の測定原理

動的モード



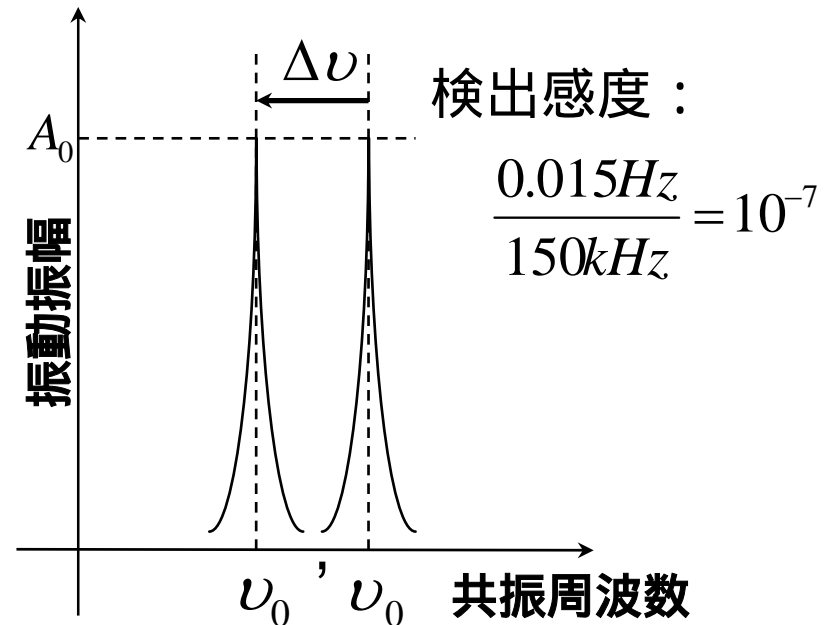
探針・試料間の力学的相互作用



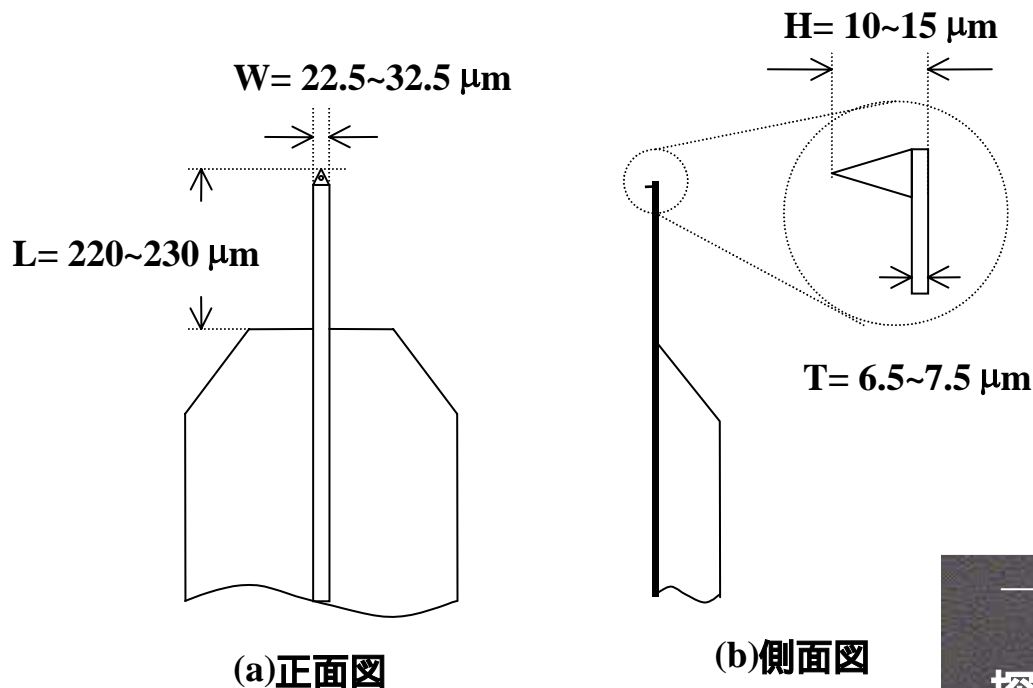
カンチレバーの共振周波数の変化

$$\nu_0' = \frac{1}{2\pi} \sqrt{k - \frac{\partial F}{\partial z}} \frac{1}{m}$$

$$\frac{\partial F}{\partial z} \cong 2k \frac{\Delta \nu}{\nu_0}$$



原子間力を検出する探針(プローブ)



n型シリコン(Sbドーブ)

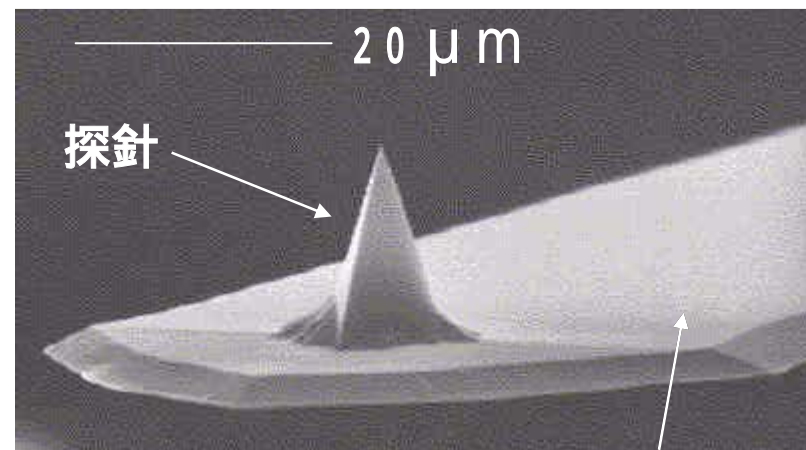
導電率: $0.01 \sim 0.02 \Omega \text{cm}$

ドーブ量: $1.5 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{18} / \text{cm}^{-3}$

曲率半径: 10nm以下

共振周波数: 150~180kHz

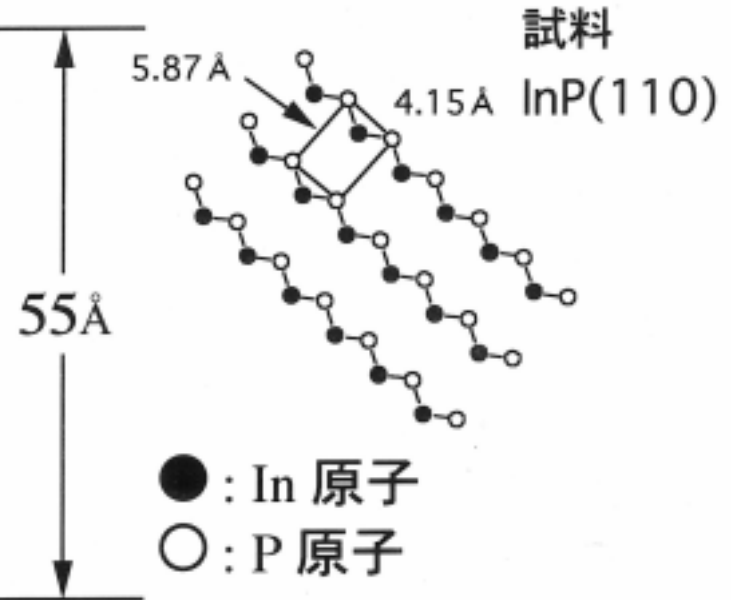
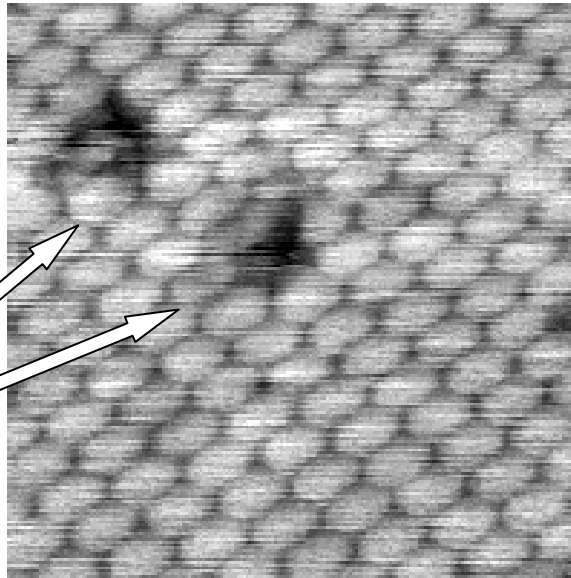
探針: $\langle 100 \rangle$ 方向



原子間力顕微鏡による観察例

真空中

点欠陥



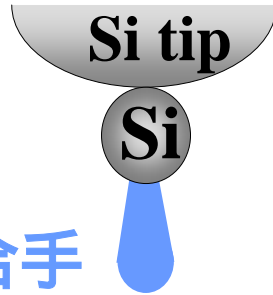
原子間力を用いて物質表面を原子レベルで
画像化可能

原子間力の種類で原子を判別・特定

真空中

Si探針

未結合手

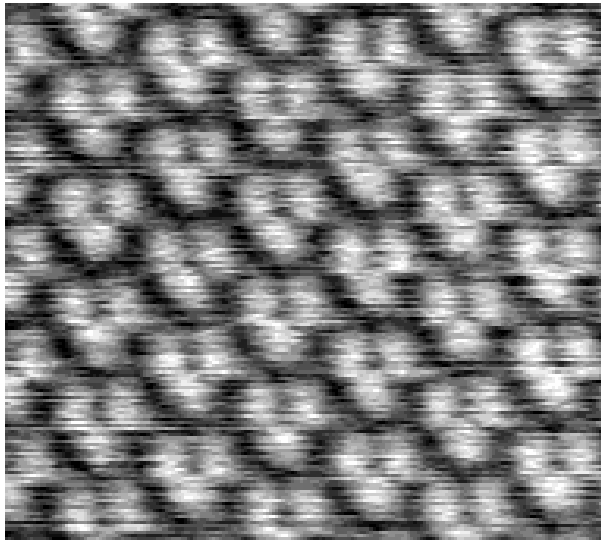
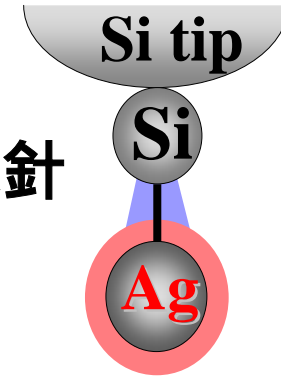


Ag吸着探針

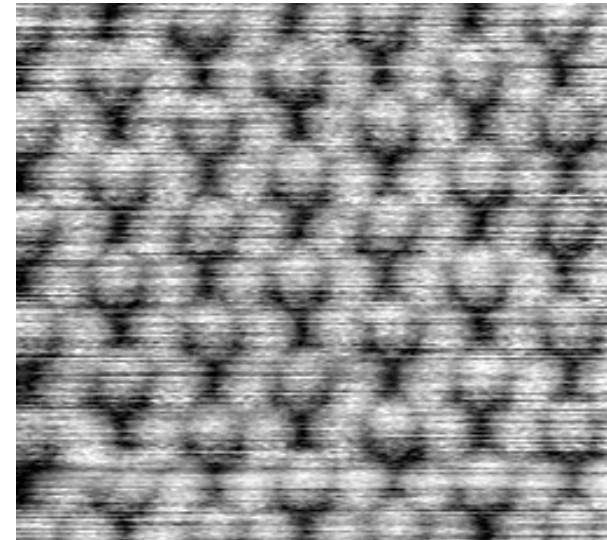
Si tip

Si

Ag



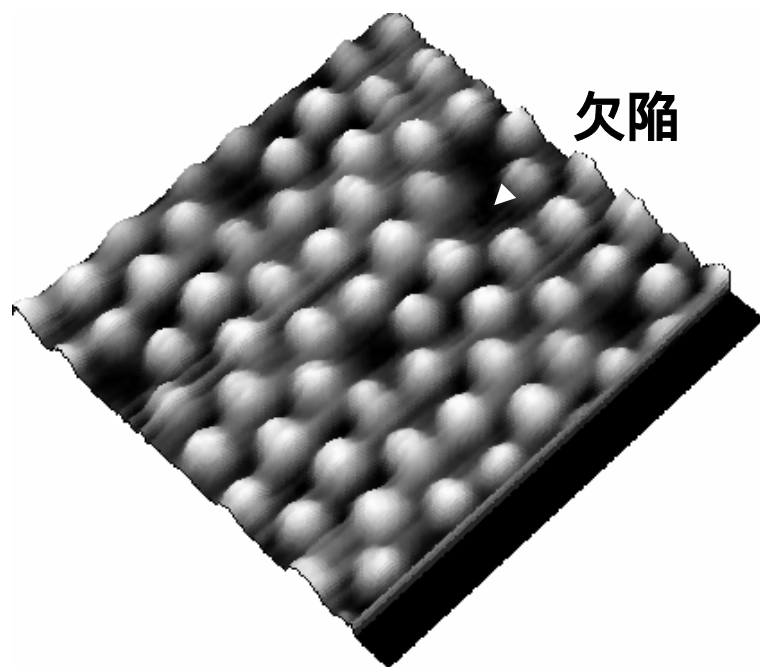
Si原子近傍を画像化



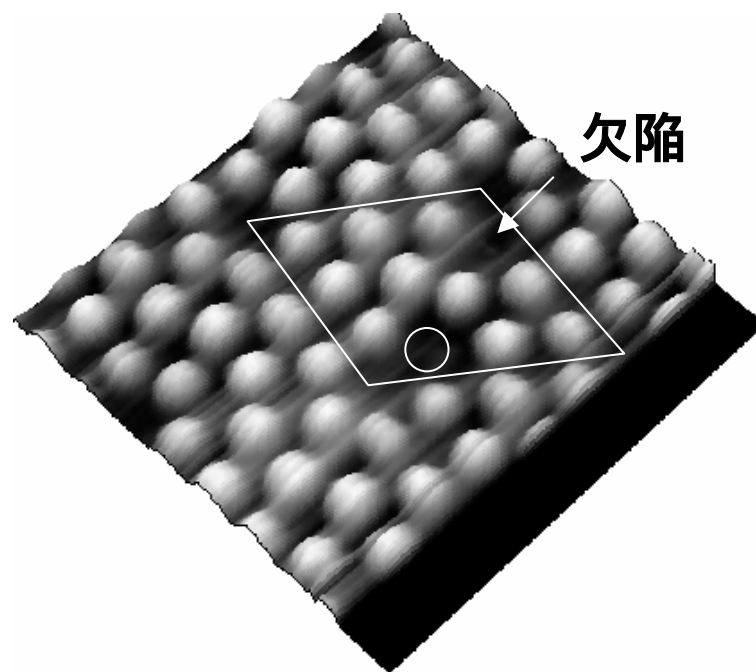
Ag原子位置を画像化

原子種を認識できる機能を発見

原子の力学的な操作(引き抜き)



(a) 探針・表面接触前



(b) 探針・表面接触後

走査範囲 : $50\text{\AA} \times 50\text{\AA}$

原子間力顕微鏡の特長

1. 絶縁体・導電体を問わず、その表面を観察可能
2. 様々な測定環境で動作可能(空气中、溶液中、真空中)
3. 原子レベルの空間分解能を有する(真空中)
4. 原子間力の種類で原子を判別・特定可能
5. 原子を操作可能



ナノサイエンス・ナノテクノロジーの革新的な研究手法

研究テーマ

個々の原子や分子を力学的に操作して、新ナノ物質や新ナノデバイスを組み立てるための未踏の未来技術をナノスケールの力学という観点から確立して、力学に基づいた次世代ナノテクノロジーを開拓する

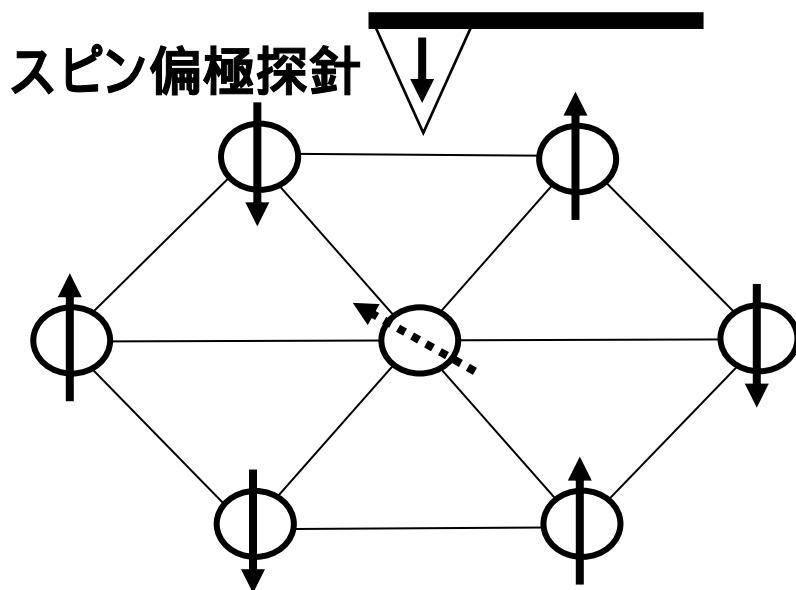


新しいナノ計測技術の開発
(化学結合力、静電気力、磁気力、溶媒力)

原子や分子の操作・制御技術の開発
特に分子スケールエレクトロニクスの開拓
をめざした研究

原子レベルの表面スピンに関する研究

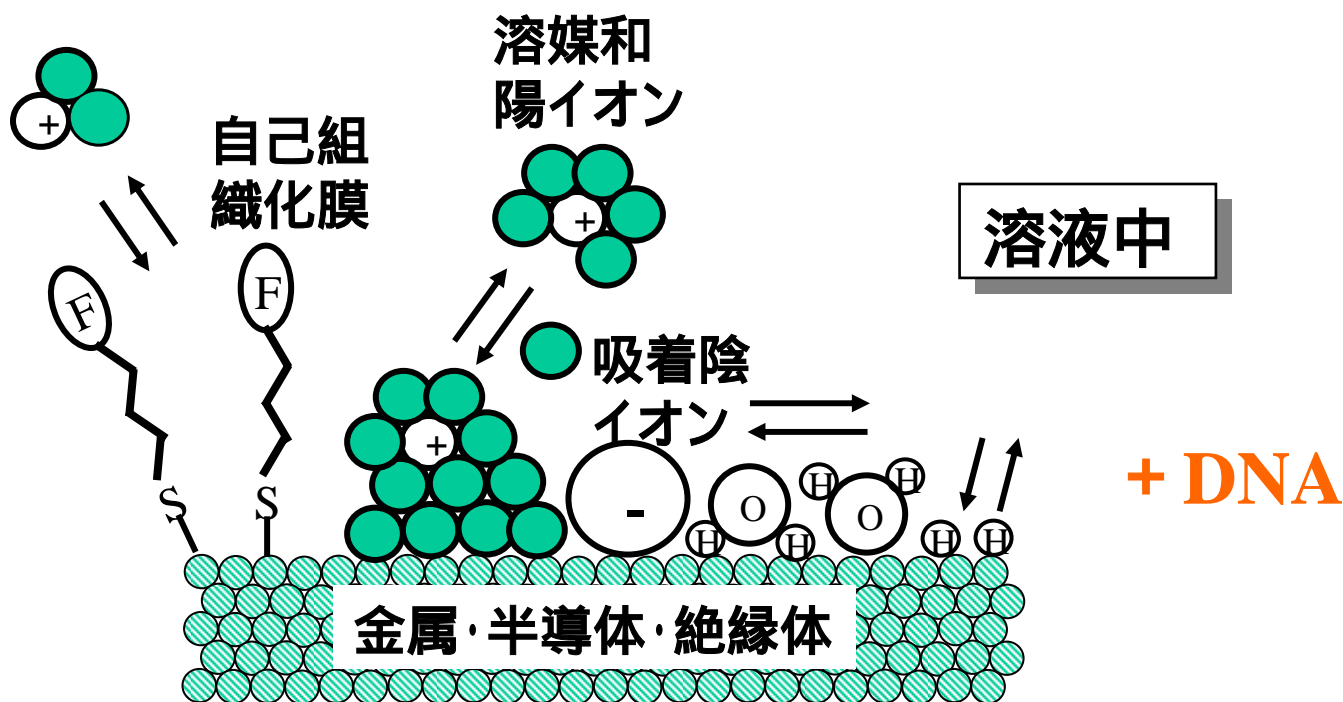
1. 超高密度磁気メモリー、スピンドバイス、量子的スピン演算子など、次世代の機能性物質探索への期待と相まって、表面スピンの関心は高い
2. 表面スピンを原子レベルで観察できる手法を開発し、物質・界面で発現する新物質相の磁性を研究・応用



交換相互作用力を直接検出
強磁性共鳴を利用し、交換
相互作用力の分離

原子レベルの固液界面に関する研究

1. 新効率触媒や分子デバイスの開発、生体分子の機能解明などにおいて固液界面に関する研究は極めて重要
2. 固液界面構造を原子レベルで直接観察できる手法を開発し、自己組織化膜や生体分子、種々の吸着イオン種の静的・動的挙動を研究



ナノ計測技術の開発と次世代ナノテクノロジーの開拓

力学に基づいた原子・分子の計測・操作・制御技術の開発とその応用

磁気力 ↓

原子レベルの
スピンの計測

超高密度磁気メモリ
スピンデバイス
量子的スピン演算素子

溶媒力 ↓

原子レベルの
固液界面の計測

新効率触媒
分子デバイス
生体分子の機能解明

静電気力 ↓

原子レベルの
素電荷の計測

高感度・高分解能
ドーパントプロファイラ
強誘電体メモリ

化学結合力 ↓

原子・分子種
の認識・操作

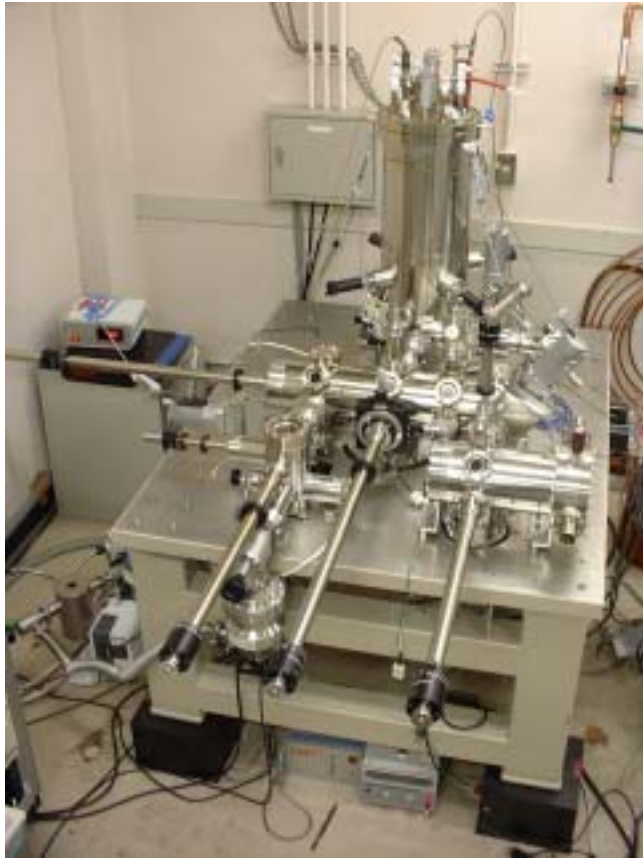
新機能分子デバイス
DNAチップ
新効率触媒・水素貯蔵

将来の実用化研究の推進
で期待される効果

新規な物理
現象の探索

超高性能な電子・光デバイスの開発(高度情報化社会の実現)
新機能を有する新機能触媒の開発(環境・エネルギー資源問題の解決)
生体分子の機能解明とその応用(次世代バイオテクノロジーへの寄与)

研究設備・環境



物性計測関係

- ・溶液中走査型プローブ顕微鏡
- ・超高真空走査型プローブ顕微鏡
- ・極低温・強磁場環境走査型プローブ顕微鏡
- ・低速電子線回折装置

電子計測関係

- ・スペクトラムアナライザー
- ・ネットワークアナライザー
- ・ドメインアナライザー

光計測関係

- ・アルゴンイオンレーザー
- ・マルチチャンネルCCD分光測定システム

➡ 最新の豊富な研究設備を所有

菅原研究室で求めている人材

- ☑ 研究意欲のある人(必須)
- ☑ ナノテクノロジー全般に興味のある人
 - ・原子レベルの計測手法の開発(スピン、固液界面)
回路技術、光計測技術、真空技術、低温技術
 - ・原子分子操作(分子スケールエレクトロニクス)
- ☑ 他では研究していないオリジナルな仕事
したい人(世界で活躍できます)

最後にひとこと

ナノテクノロジーを制する者が21世紀を制す、と言われております。将来、皆さんには、21世紀の社会のリーダーとして、おおいに活躍してもらいたいと思います。そのためには、様々な知識を増やすとともに研究能力を十分に高める必要があります。そのためには、自らをそういう環境においてレベルアップを図るしかなく、4年生の時期が重要であることは言うまでもありません。

菅原研究室では、ナノテクノロジーに関する研究を積極的に行なう予定です。また、個人のレベルアップをめざします。研究を進めていくわけですから、当然、そこに厳しさはありますが、メンバー間の楽しい交流とチームワークを重視した環境作りをする予定です。学生諸君の積極的な参加を希望します。