

## I. 物質科学における応用物理

### 自然現象の多様性、魅力

ナノ . . . → 極微、フェムト . . . → 超高速、カオス . . . → 非線形

ナノ (1/10億) メートルの世界 : 原子が見える、SPM (STM, AFM, EM)

フェムト (1/1000兆) 秒の世界 : 電子・原子の運動を追跡する、超短光パルス

カオス (非線形性) : 複雑な自然界

### デザイン (物質制御、創成)

超伝導、金属、半導体、絶縁体

原子を配列する (超格子、量子細線、量子井戸、. . . . .、量子デバイス)

スピンを揃える (マイクロな磁気モーメント : 磁石を作る)

### 物質科学・物質工学と生活との関わり

21世紀のハードとソフト

エネルギーと環境 (調和する技術、FRCプラズマなど)、生命 (脳、神経、心理、老化、娯楽、. . . . .)。コンピュータ、医療 (非接触/遠隔地診断、措置技術、検診ロボット) . . . . . など。

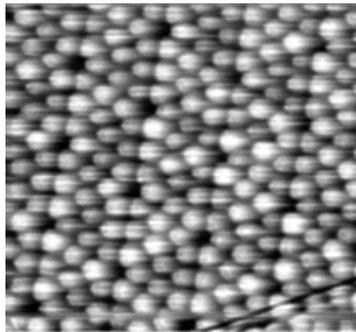
## 1. 物質科学における応用物理

### 原子種の認識と原子を直接操作する未踏技術の開発

原子間力顕微鏡を用いることにより、力学的に個々の原子種を識別しながら、共有結合を切ったり繋いだりできる。この結果は、将来的には、分子や高分子さらにはバイオ材料（例えば、DNA）のような複雑な立体構造を持つナノ構造体を力学的に操作したり構築できる可能性を示唆している。

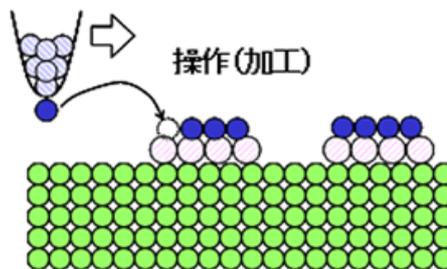
#### 原子種認識の例

(明るい輝点がSi原子、暗い輝点がGe原子)

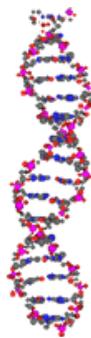


#### 新ナノ物質をボトムアップ的に構築するための技術

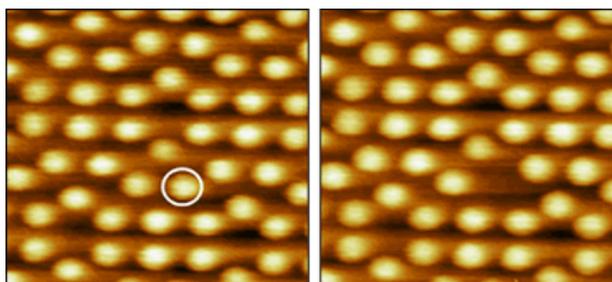
##### 探針



#### DNAの直接解読と操作



#### 原子を操作した例（引き抜き）



(A)

(B)

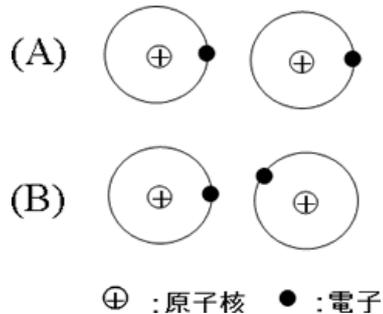
## I. 物質科学における応用物理

### 原子間力を検出して物質表面を観察する

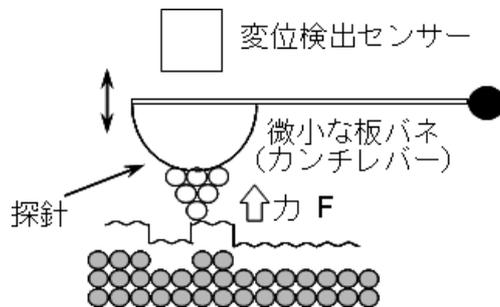
探針先端と試料表面との間に働く原子間力をカンチレバー（微小な板ばね）の変位から測定し、探針を表面に沿って走査することで表面を原子レベルで観察することが可能である。

近接する2つの物体間には必ず力が作用するため、この原子間力顕微鏡には試料に対する制約が原理的に存在しない。様々な表面の構造だけでなく、吸着物、原子欠陥などの観察も可能であり、今や表面の極めて有効な研究手法の一つとなっている。

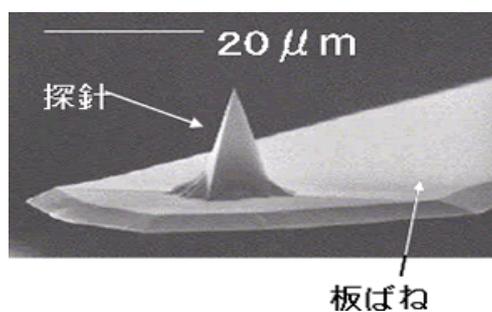
#### 原子間力の起源



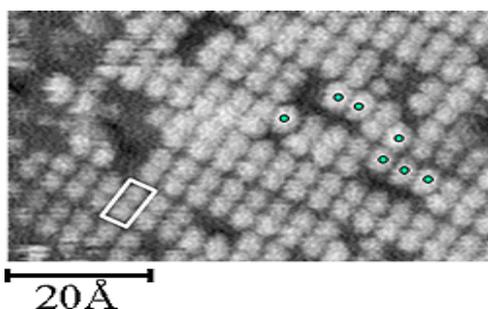
#### 原子間力顕微鏡の測定原理



#### 原子間力顕微鏡の探針（シリコン製）



#### 水素で覆われたシリコン表面の原子間力顕微鏡（輝点は水素原子）

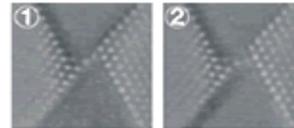


# I. 物質科学における応用物理

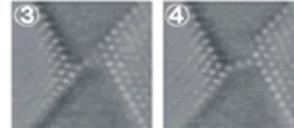
## 原子の世界を探る

物理・化学・生物の研究分野のすべての現象を支配しているのは原子・分子です。様々な現象を原子・分子のレベルから探ることで、身近な家電製品から、世代を超えて伝わる遺伝情報まで、新しいサイエンス・テクノロジーが生まれ、進歩しています。

### 超電子顕微鏡の開発と無収差金原子像の実時間観察

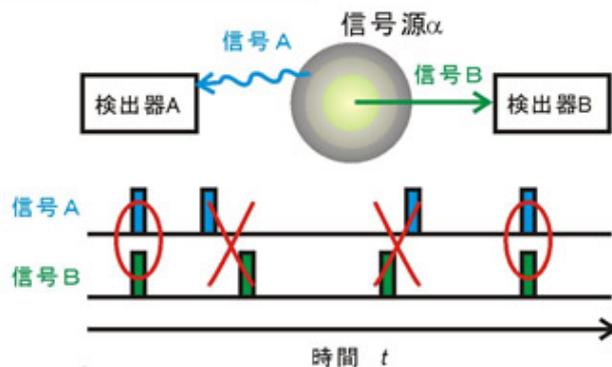


生き物のように動く  
金原子ワイヤ



### コインシデンス電子顕微鏡の開発

#### 微弱な信号の検出に適した コインシデンス検出法の原理

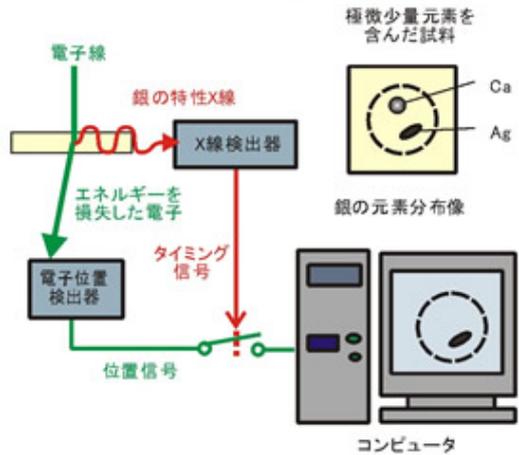


O: 信号源 $\alpha$ の信号

X: 信号源 $\alpha$ とは無関係なバックグラウンド信号

信号源 $\alpha$ とは関係なく発生したバックグラウンド信号を大幅に減らすことができる

コインシデンス検出法を応用した  
コインシデンス電子顕微鏡の概念図



銀の特性X線を検出したときの  
電子の位置信号を取り込む

↓

銀の特性X線を発生させエネルギーを失った  
電子の位置情報のみを得る

↓

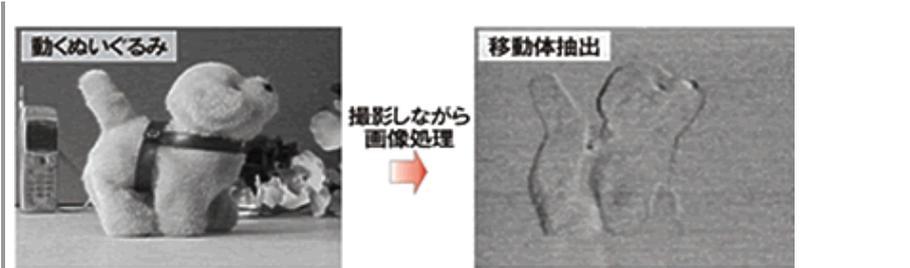
銀の元素分布像

観察した試料の模式図と元素分布像



銀原子が存在するところのみ  
位置信号が得られている

エミッター表面の高温での原子レベルキャラクタリゼーション

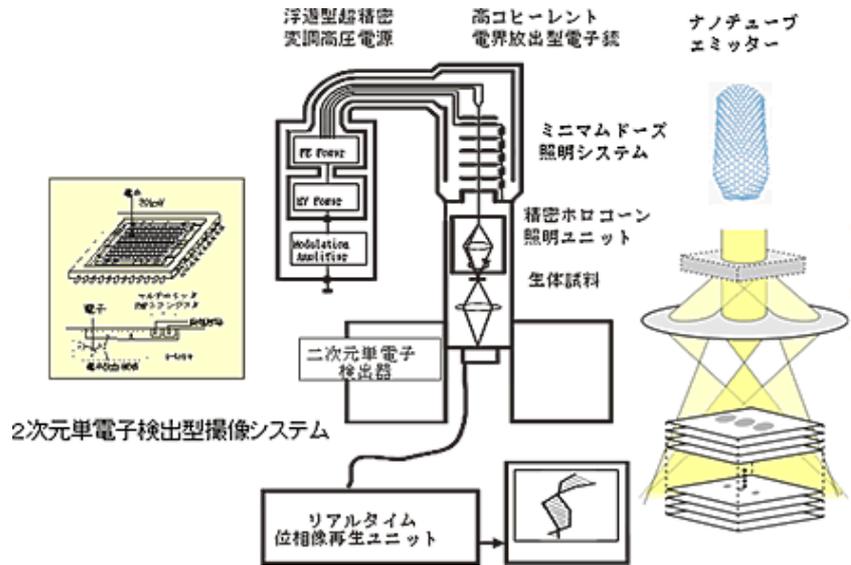


# 1. 物質科学における応用物理

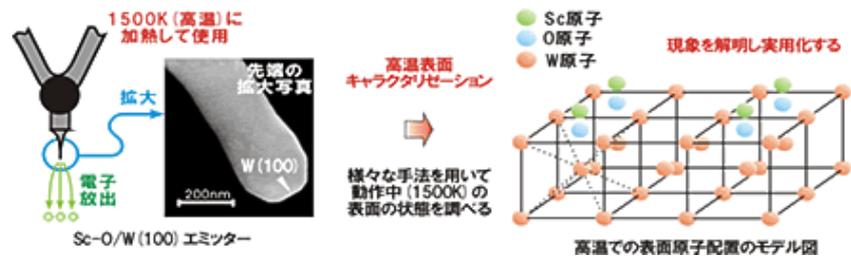
## 超コヒーレント・バイオ位相差電子顕微鏡の開発

世界最高の干渉性をもつ電子源を開発し、電子を一つ一つカウントする究極の撮像システムを開発し、大阪大学が世界に先駆けて研究してきた変調電子顕微鏡技術を駆使することで、生体組織の分子レベル構造観察を実現し、生命の起源に迫る世界初の超コヒーレント・バイオ位相差電子顕微鏡を開発しています。

### 超コヒーレント・バイオ位相差電子顕微鏡の概略図



### インテリジェントCCDカメラの開発

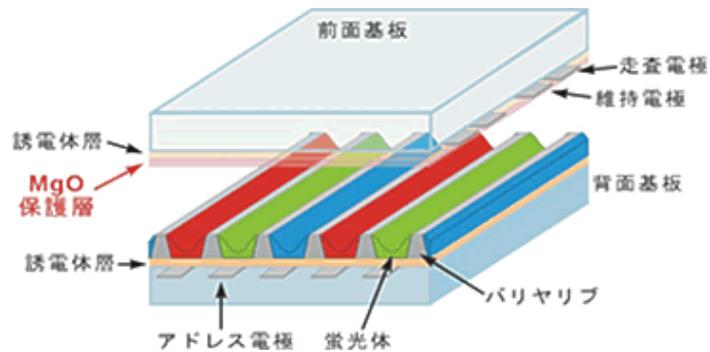


# I. 物質科学における応用物理

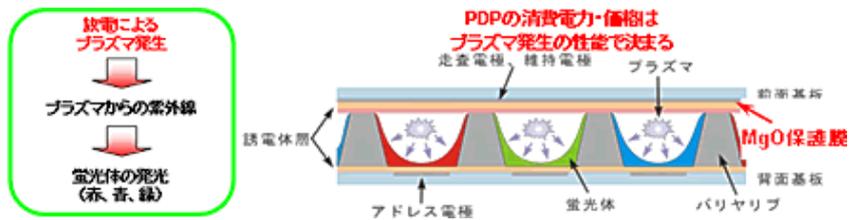
## プラズマディスプレイパネル(PDP)におけるMgO薄膜

PDPは薄型軽量で大画面化が容易なことから、次世代のディスプレイとして研究開発が進められています。今後の低消費電力化・低価格化のカギを握るのがMgO（絶縁体）保護膜の性能です。「MgOを制して世界のPDPを制する」ことを夢に、高性能MgO薄膜の開発を目指した研究を行っています。

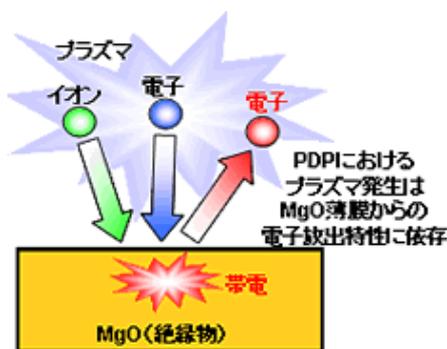
### PDPの構造



### PDPの動作原理



### PDPにおけるプラズマ発生



- ・原子レベルでのMgOの新しい評価方法の確立
- ・高性能なMgO薄膜の開発



MgOを制して  
PDPを制する!!

# I. 物質科学における応用物理

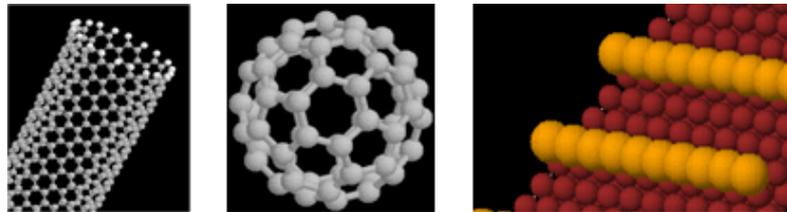
## コンピュータで物質をデザインする

自然界の第一原理である量子力学を適用し、物質をデザインするコンピュータシミュレーション（CMD）が発達している。これを用いて、超高速・超省エネルギー・超高集積を可能とする「スピントロニクス」デバイス、高効率量子触媒など、様々な機能をもつ物質やデバイスの創製が試みられている。

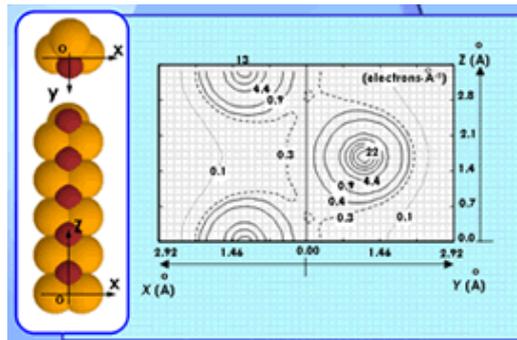


## CMD™（コンピュータシミュレーション・マテリアルズ・デザイン）技術

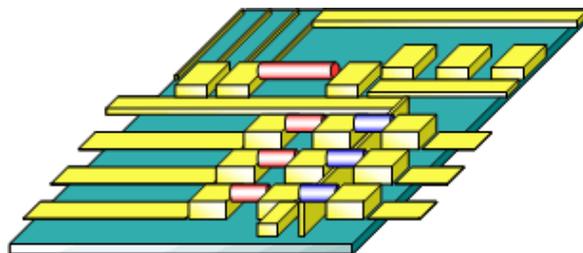
カーボンナノチューブ（左）、フラーレン（中）、表面ナノワイヤー（右）など新規物質の新機能性物性の発掘



計算された $\text{Fe}_{0.75}\text{Ni}_{0.25}$ 原子架橋の電子状態



次世代スピントロニクスデバイスとしての弾道スピ回路 (BSC) のデザイン

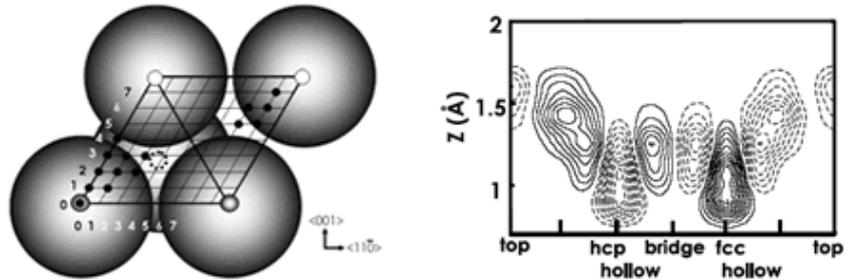


# I. 物質科学における応用物理

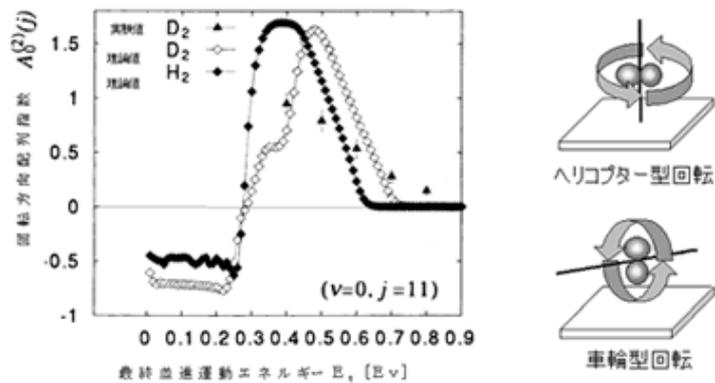
## 水素の運動を追跡する

宇宙で最も質量の小さな原子である水素は、高校までで学ぶ力学（古典力学）には従わず、量子力学による取り扱いを必要とする。水素の量子ダイナミクスは、学術的に興味をもたれているのみならず、現在その解明は、水素循環型クリーンエネルギーシステムの構築という社会的要請においても必要とされている。

白金表面(左)に吸着された水素原子の量子状態(右)



銅表面から脱離する水素分子に見られる動的量子フィルター効果



環境調和・循環型・クリーンエネルギーシステムの構築



再生可能エネルギーによる水素製造技術



安全かつ効率的な水素貯蔵・輸送技術

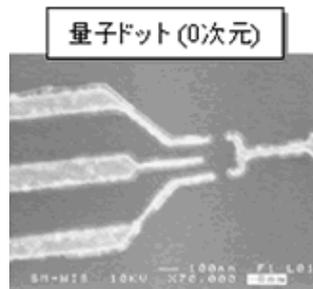
## I. 物質科学における応用物理

### 量子論の応用：物質科学・テクノロジーの基礎

量子論は、現代科学およびテクノロジーの基礎となっています。量子論の方法を用いて、種々の物理現象のメカニズムの解明を行います。

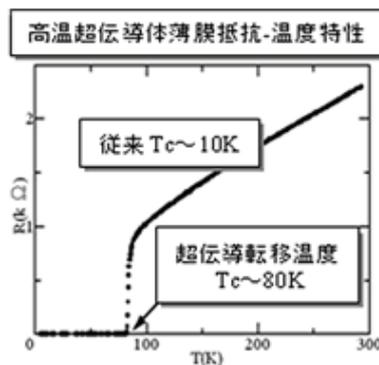
#### 量子デバイス：最先端テクノロジー

最近の超微細加工技術の進歩に伴い、原子のスケールよりは大きいが巨視的なスケールに比べて小さな系、すなわち、「メゾスコピック系」における電子の振る舞いが注目されています。究極の1次元電子系である「量子細線」や、たいへん狭い領域に電子を閉じこめた「量子ドット」などが典型例です。このような系では、量子力学の基本である「電子の波動性」が顕著に現れます。メゾスコピック系の研究は、基礎物理の立場からも、ナノテクノロジーなどへの応用からも大きな注目を集めています。



#### 高温超伝導：新たな技術革命

1986年に発見された高温超伝導物質は、通常のものにくらべ転移温度がたいへん高く、多くの分野への応用が期待されています。この発見はもちろんノーベル賞となりました（超伝導に関する研究は昨年度を含め、過去四回ノーベル賞が授けられています）。高温超伝導物質においては電子の量子効果が重要であることが分かっています。さまざまな理論研究がなされていますが、そのメカニズムの完全な解明には至っておらず、多くの研究者がチャレンジしています。

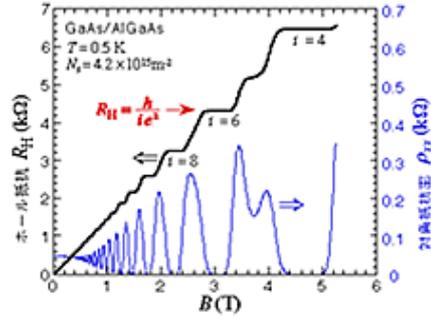


#### 量子ホール効果：究極の量子化

量子論を学んでいない人には、量子ホール効果はあまりポピュラーではありませんが、2回もノーベル賞に輝いた驚くべき現象です。2次

元平面にある電子系に強い磁場をかけると、通常では考えられないような著しい現象「量子ホール効果」がおきます。（例えば、抵抗がなんと $10^{-8}$ もの精度で確定し、これは標準抵抗として使われています）。この著しい現象の背後に、電子たちの美しい協力現象をみることができます。

### 整数量子ホール効果

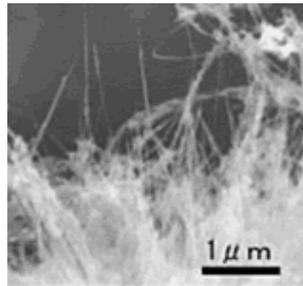
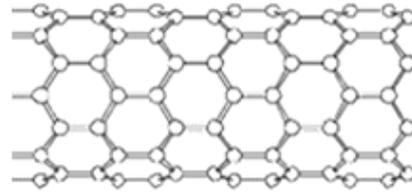


# 1. 物質科学における応用物理

## 量子論の応用：最近のトピックスの例

### 量子デバイス カーボンナノチューブ

- ・ 鋼鉄の数十倍の強さ
- ・ 折れない
- ・ 薬品や高熱にも強い
- ・ 銀よりも電気を伝える



NEC基礎研究所 飯島澄男さん発見

### 新しい超伝導体 MgB<sub>2</sub>

青山大学秋光研究室 学部四年生 超伝導発見  
(朝日新聞 2001年2月24日)



← 大きなインパクト

