

## 原子分子を見る

梶本興亜

### アボガドロ数と原子の大きさ

- 1 モル中の分子の数はアボガドロ数 $N_A$ と呼ばれる。

$$N_A = 6.0221367 \times 10^{23}$$

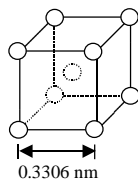
- この膨大な数を初めて決めたのは、ロシュミットである(1865年)。

分子の衝突を反映する平均自由行程の値を用いて分子1個の大きさを決め、液体の1モルの体積中に分子が何個入っているかを計算した。

- 純粋な単結晶の比重が解れば、X線回折による結晶構造の値を使って、1モルの単結晶中の原子の数を評価することが出来る。現在この目的にはSiの単結晶がよく用いられ、アボガドロ数もこの方法で精密に決定されている。

例：金属Tiの結晶

比重=4.401 gcm<sup>-3</sup>  
1モルのTi金属、47.88 g

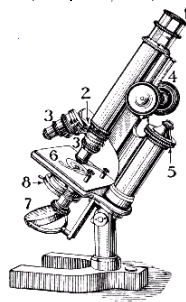
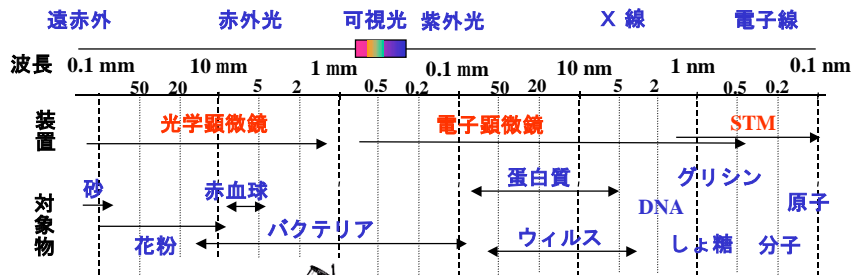


1モルの体積=47.88/4.401 cm<sup>3</sup>  
単位格子の体積=(0.3306)<sup>3</sup> nm<sup>3</sup>  
単位格子中の原子数=2

$$N_A = 6.022 \times 10^{23}$$

## 光学顕微鏡の限界

顕微鏡の分解能は、ほぼ使用する電磁波の波長が限界となる。

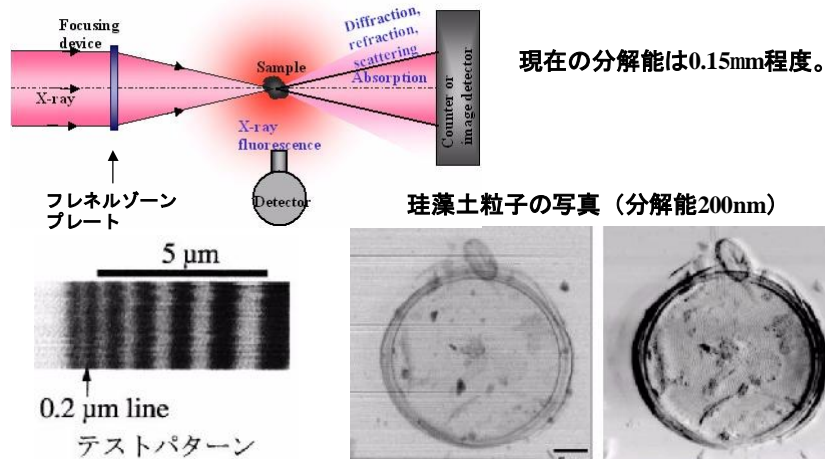


- 1: 接眼レンズ、2: レボルバ (転換器)
- 3: 対物レンズ、4: 粗調整ノブ、5: 微調整ノブ、6: ステージ (プレパラートなどを保持する)、7: 鏡、8: 絞り

光学顕微鏡の図は、Wikimedia から引用しています。

## X線顕微鏡

- ・波長分解能は高い。
- ・レンズ系が組みにくい。
- ・特性X線を用いて、元素ごとの画像が撮れる。  
O 2.4nm, C 4.5nm, N 3.2nm, S 5.4nm, Fe 1.9nm



写真と図はSpring-8のホームページ(走査型X線顕微鏡)より、テストパターンは同鈴木芳生氏の報告より引用。

## 電子顕微鏡とド・ブロイ波長

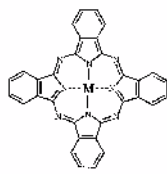
ド・ブロイ波：質量 $m$ 、速度 $v$ で飛行する粒子は、波長 $\lambda$ の波動の性質を兼ね備えている。

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

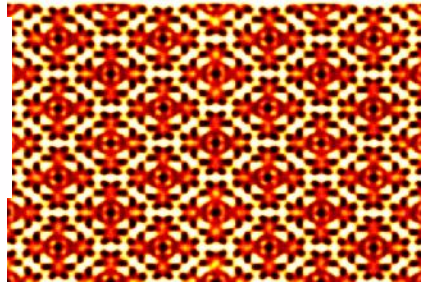
$h$  はプランク定数

電子を加速する電圧が高いほど $v$ が大きくなり、波長は短くなる。

電圧	波長
V	Å
150	1
15000	0.1
1500000	0.01



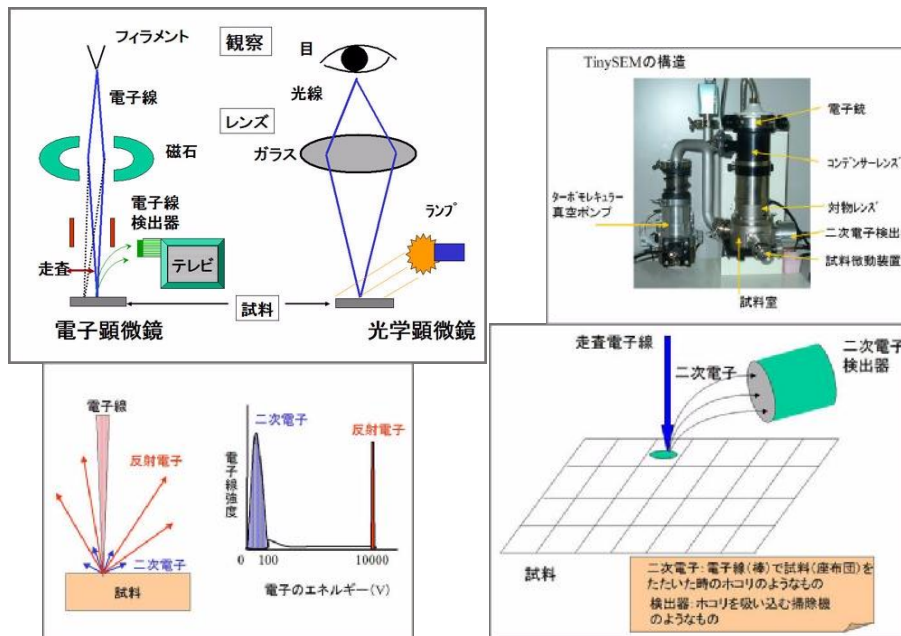
フタロシアニンの結晶



京都大学化学研究所提供



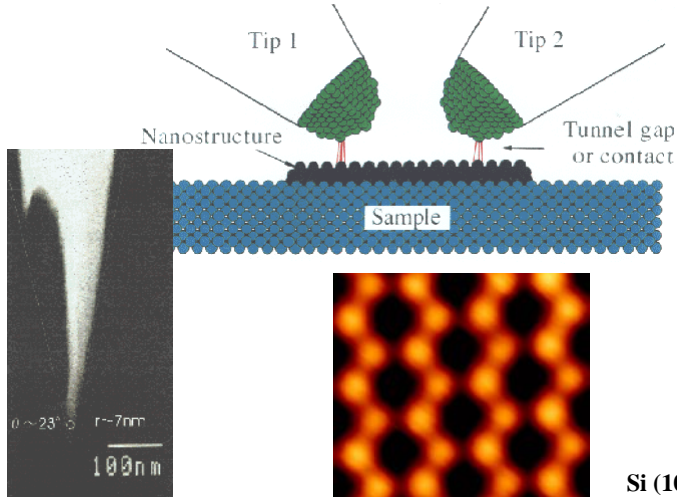
Wikimedia より引用。



株式会社テクネックス工場の「文ちゃんのタイニー・カフェテラス」より引用。

## 走査型トンネル顕微鏡 (STM)

1982年：ビーニヒ(G. Binnig)とローラー(H. Rohrer)が製作  
1986年にノーベル賞を受賞。



理研ニュース 209(1998)より引用。

株式会社ユニソクのホームページの「Result Gallery」より引用。



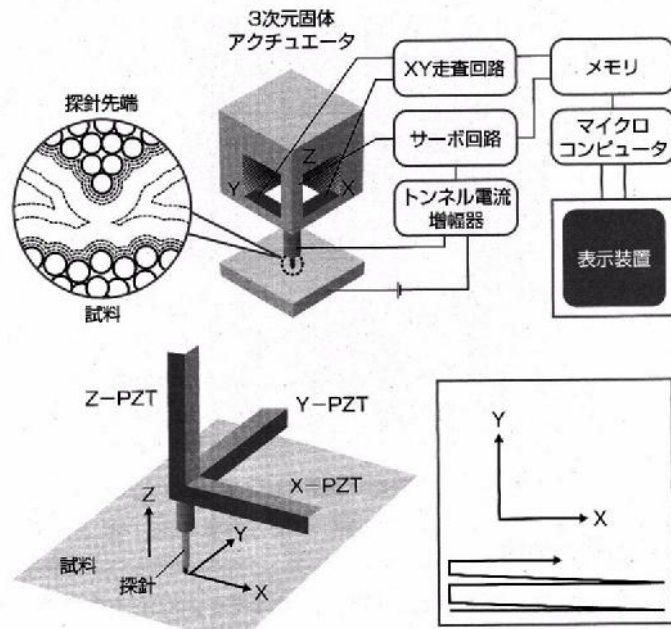
G. Binnig



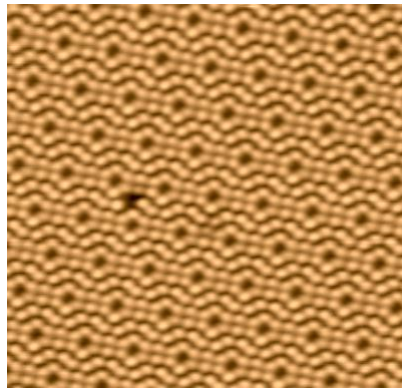
H. Rohrer

Wikimedia より引用。

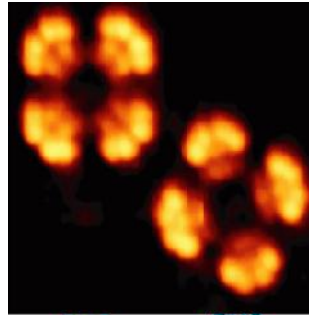
Si (100) 3nm × 3nm



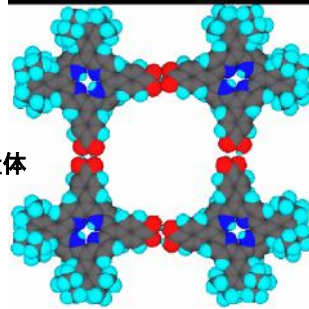
水谷 亘著「よくわかるナノテクノロジーの基本と仕組み」(秀和システム)より引用。



Si(111)表面  
21.72nm × 21.72nm



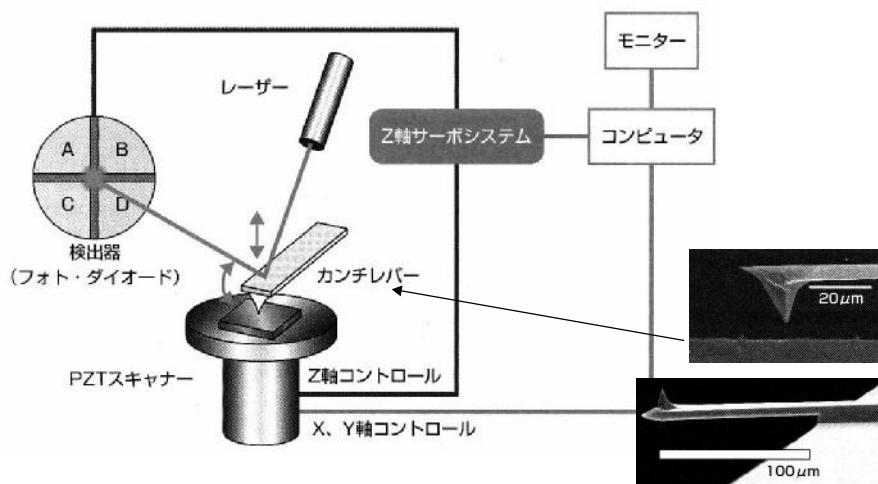
ポルフィリン4量体  
11nm × 11nm



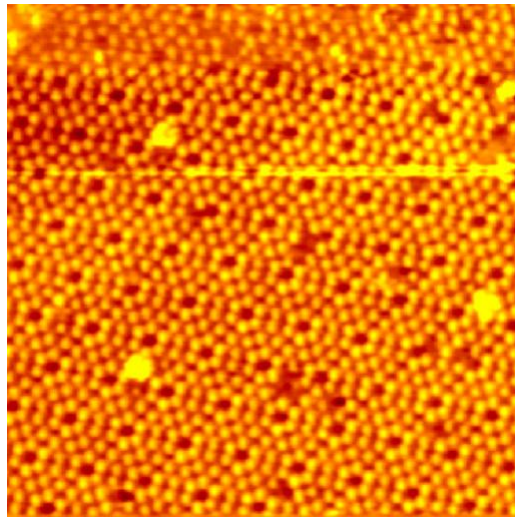
株式会社ユニソクのホームページの「Result Gallery」より引用。

### 走査型原子間力顕微鏡 (AFM)

トンネル電流の代わりに、探針にかかる力をカンチレバーによって検出。



水谷 亘著「よくわかるナノテクノロジーの基本と仕組み」(秀和システム)より引用。



Si(111)表面 7×7構造 13nm×13nm

株式会社ユニソクのホームページの「Result Gallery」より引用。

### 走査型プローブ顕微鏡による1分子操作

(1) 垂直移動

(2) 水平移動

(4) 反応・変質

(3) 分子変形

Trans-2-butene  
C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>

イメージではダンベル形に見える

電子注入  
700-V, SnA  
10秒間

1,3-butadiene  
C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>

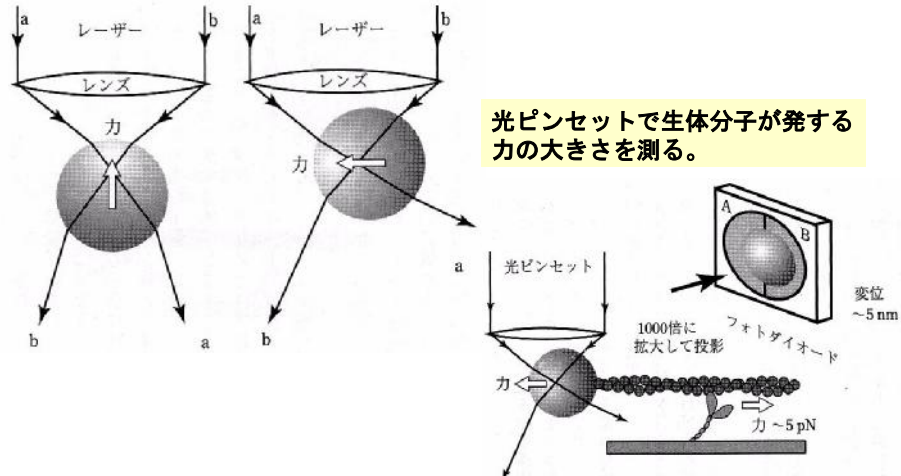
積門形に見える  
ブタジエンに変化

IBMのDon Eiglerによる世界最小の広告  
Ni上にXe原子

水谷 亘著「よくわかるナノテクノロジーの基本と仕組み」(秀和システム)より引用。

## レーザー光による1分子操作

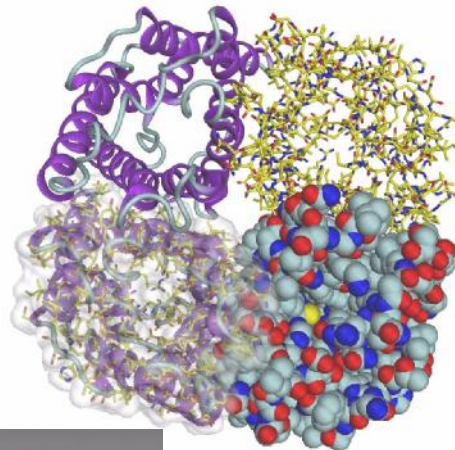
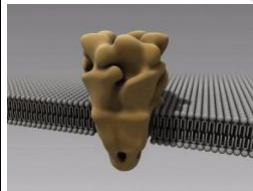
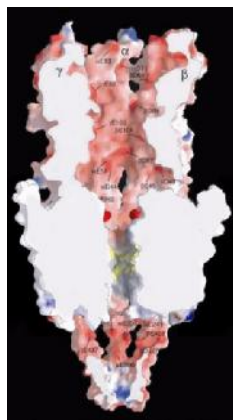
光ピンセット：屈折率が媒体よりも大きい粒子は、光の運動量によって焦点に集まる。



日本生物物理学会編「新・生物物理の最前線」(講談社Blue Backs)より引用。

## タンパク質分子の構造

1. X線回折
2. 電子顕微鏡
3. NMR



京都大学理学研究科  
藤吉研究室HPより引用。

理研・構造生理学研究グループのHP(<http://www.riken.jp/lab-www/multisome/research/No.1/No.1.htm>)より引用。