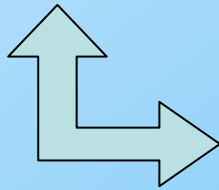


「ナノ領域の原子構造と電子状態の3次元解析 を目指した立体原子顕微鏡の開発」

物質創成科学研究科 凝縮系物性学講座
Surface and Materials Science Laboratory

大門寛

ナノテクノロジー：
集積回路など、ナノサイズの加工

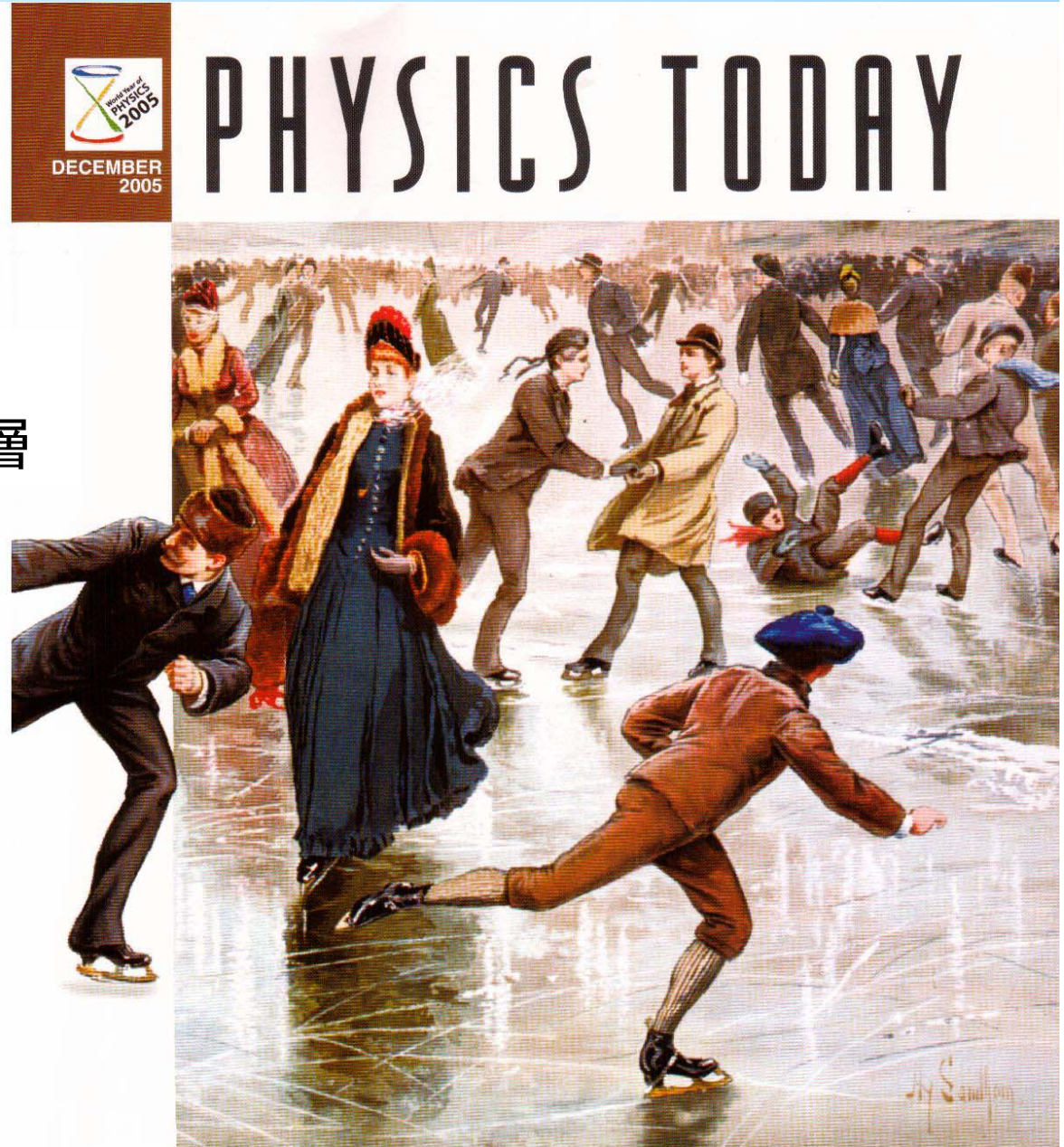


物質の性質は大きさで変化！

表面と生活

氷はなぜすべるか

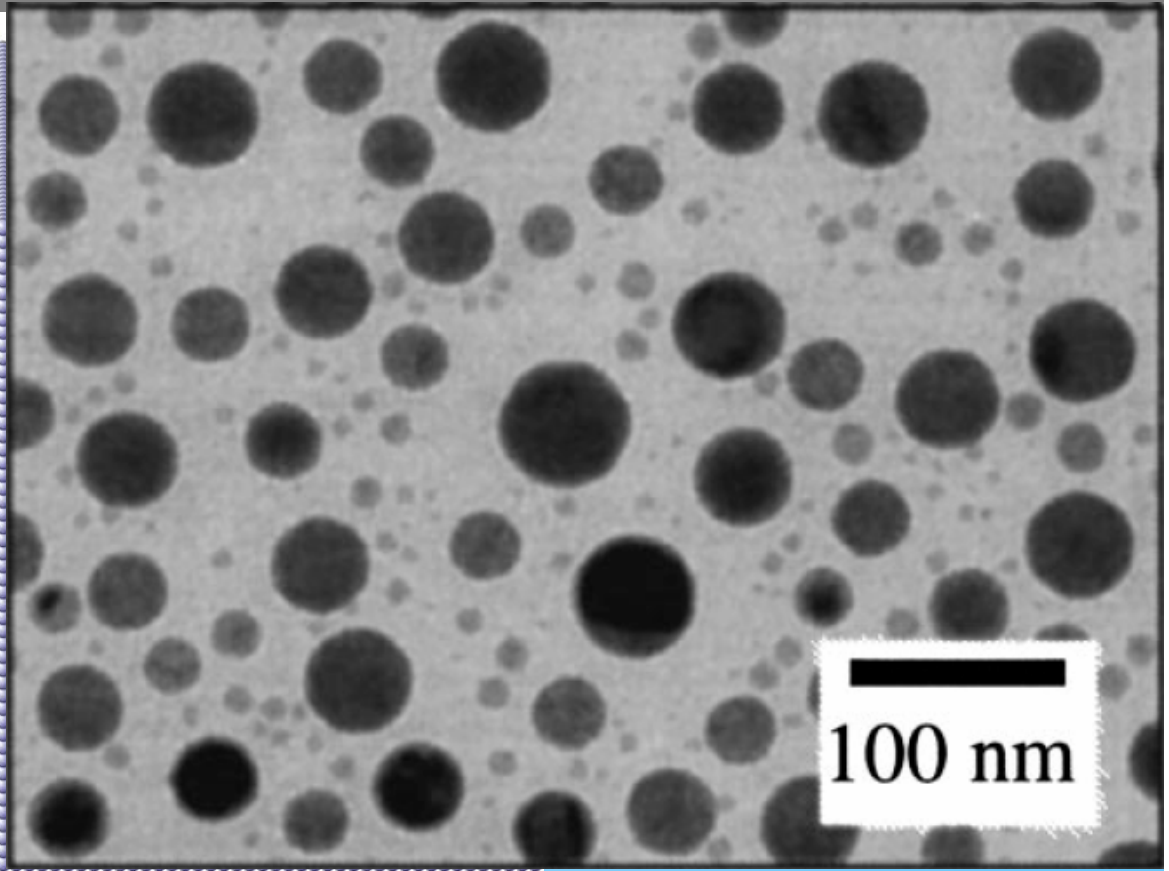
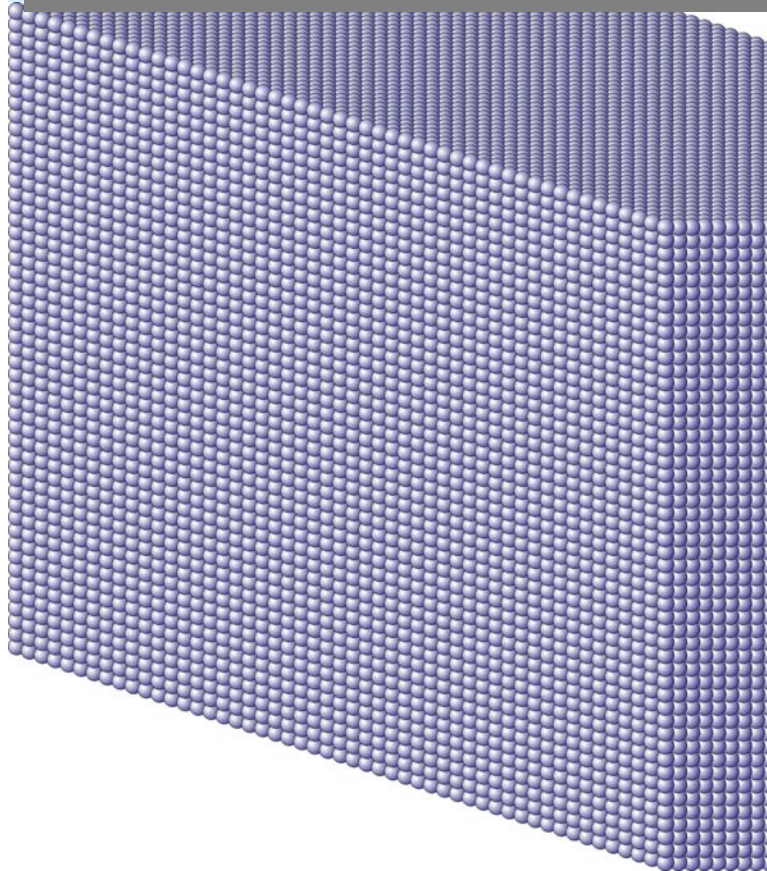
⇔ -25°C まで
10から100nmの表面融解層



Why is ice slippery?

バルクの性質

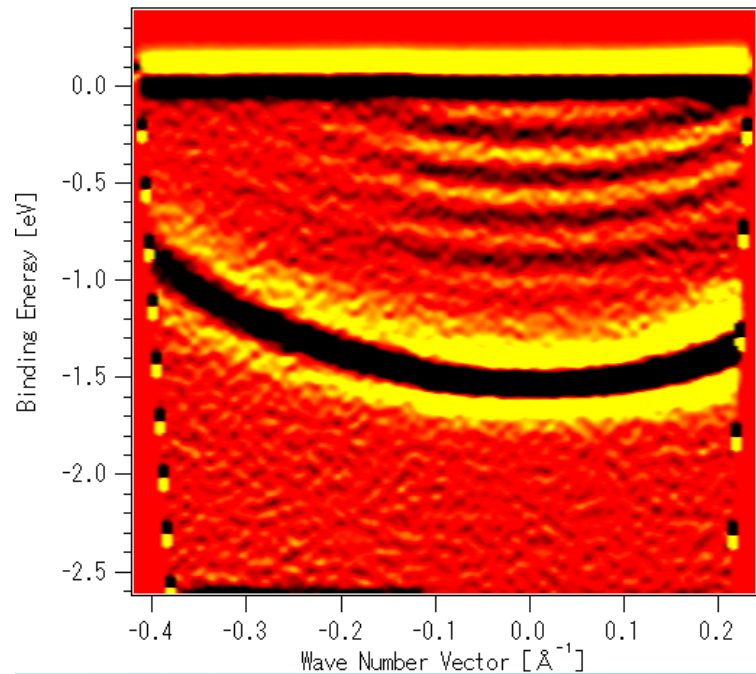
ナノサイズの性質



- | | | |
|---------|------|-------|
| ●原子構造: | 立方格子 | 正20面体 |
| ●融点: | 高温 | 低温 |
| ●電気伝導度: | 金属 | 半導体 |
| ●化学的性質: | 不活性 | 触媒活性 |

表面2次元電子状態

表面では2次元に量子化された電子状態が直接観察できる

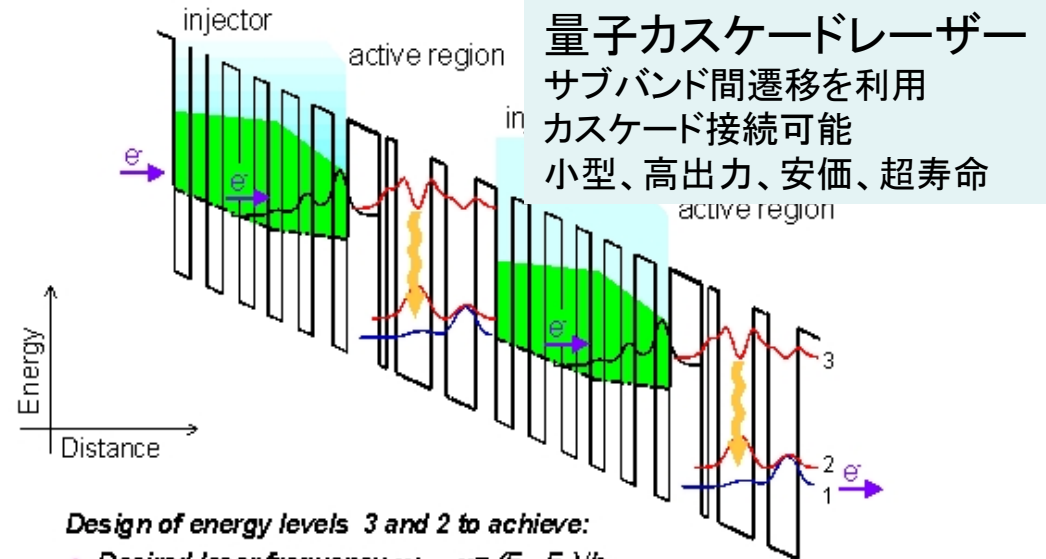


Mg(20ML)/Si(111)の
量子井戸電子状態
松田和久、武田さくら

ナノテクにおける2次元電子状態
トランジスタ、超格子、2次元電子ガス、薄膜磁性

Quantum design of QC-laser

J. Faist, F. Capasso, C. Sirtori, D. L. Sivco, J. N. Baillargeon, A. L. Hutchinson, S. N. G. Chu, and A. Y. Cho, *Appl. Phys. Lett.* **68**, pp. 3680-3682 (1996).

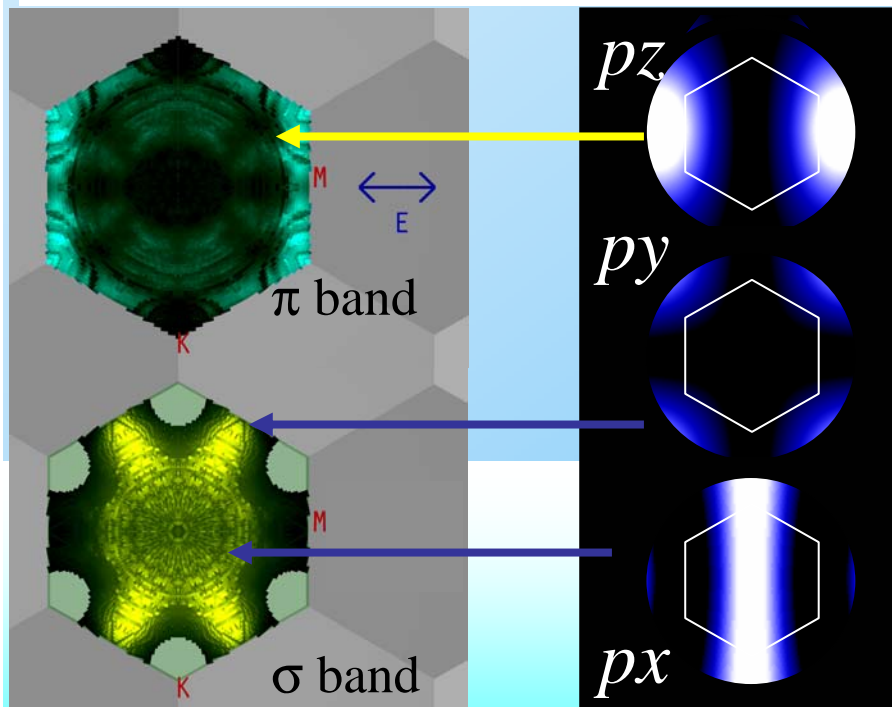
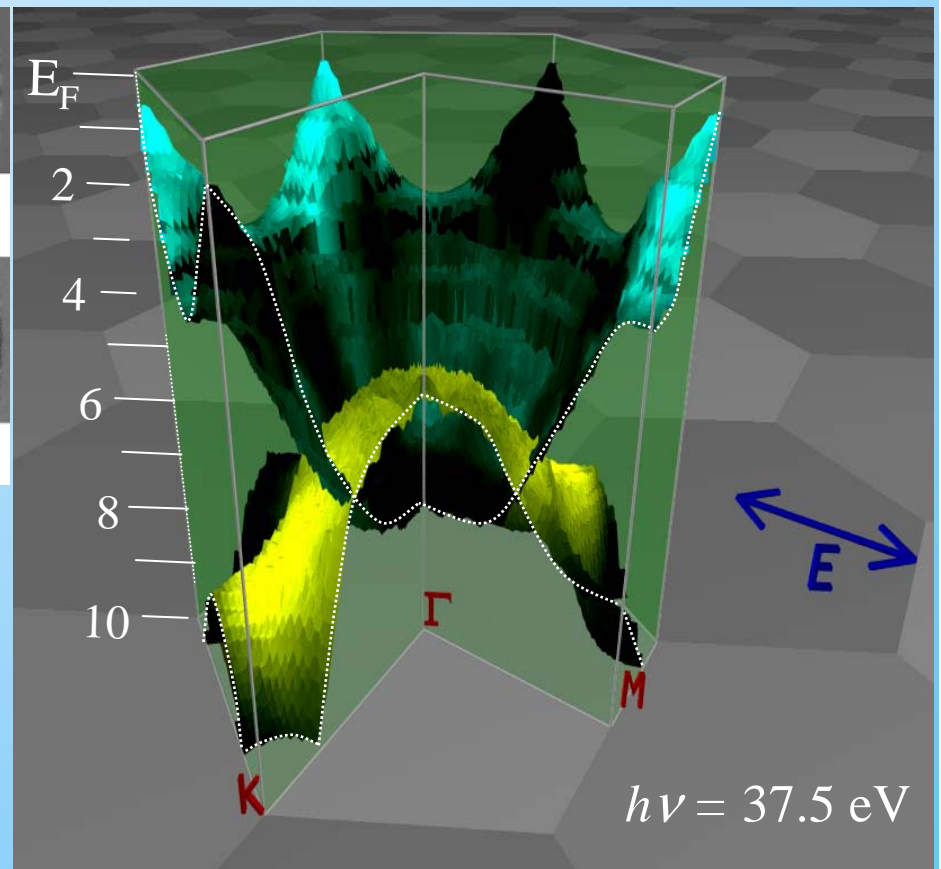
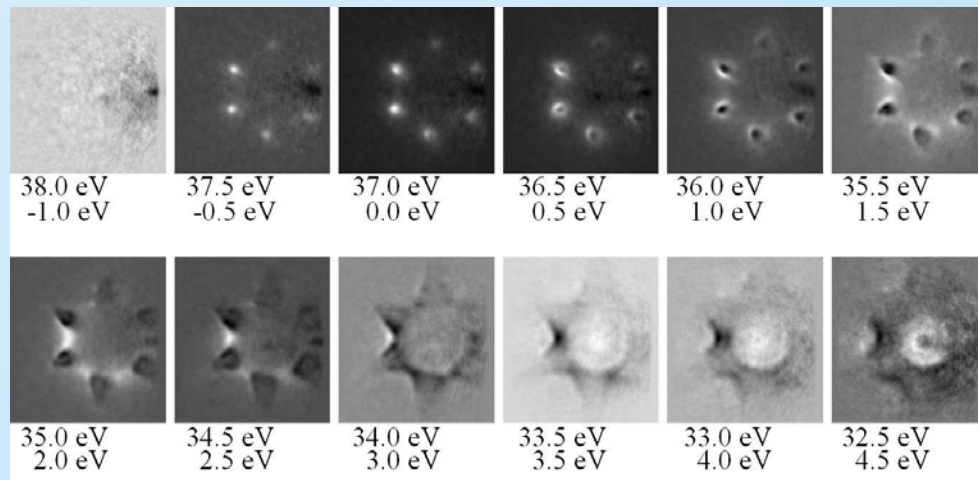


量子カスケードレーザー
サブバンド間遷移を利用
カスケード接続可能
小型、高出力、安価、超寿命

Design of energy levels 3 and 2 to achieve:

- ◆ Desired laser frequency ν : $\nu = (E_3 - E_2)/h$
- ◆ Light amplification: level 3 full of electrons; level 2 empty of electrons

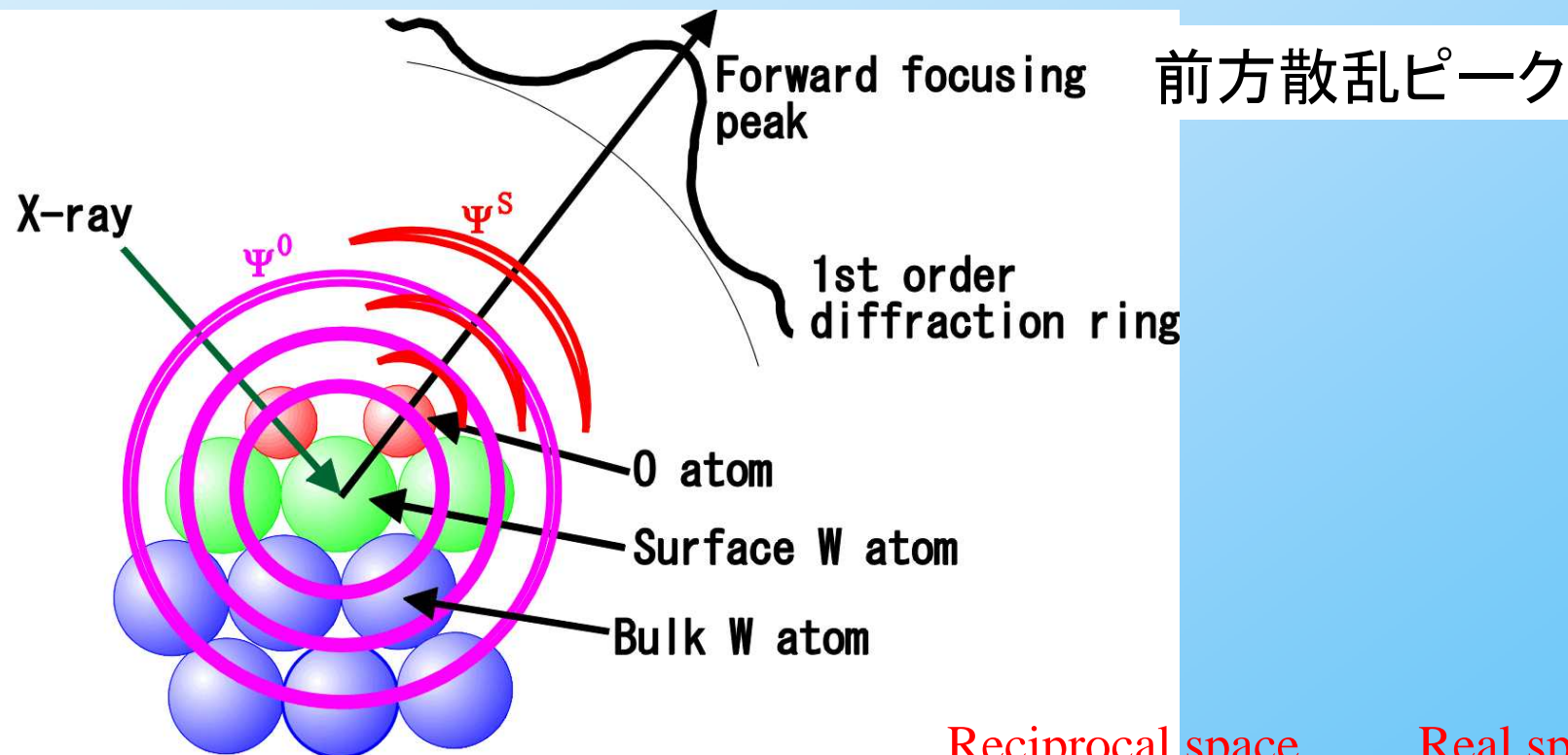
1.2 3D Valence band dispersion of Graphite



F. Matsui *et al.*, Appl. Phys. Lett. **81** (2002) 2556.

3次元エネルギーバンドと、
構成する原子軌道が解析できる

X線励起光電子の放出角度分布

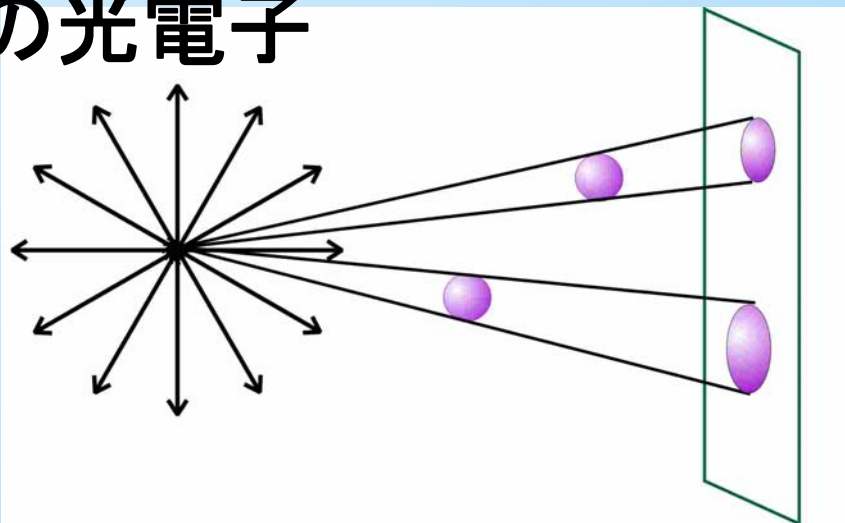


$$(\text{PEAD}) = \underbrace{|\Psi^0|^2 + \Psi^0 \Psi^{S*} + \Psi^{0*} \Psi^S}_{\text{Interference Diffraction}} + \underbrace{|\Psi^S|^2}_{\text{Forward Focusing Peak}}$$

Reciprocal space Real space

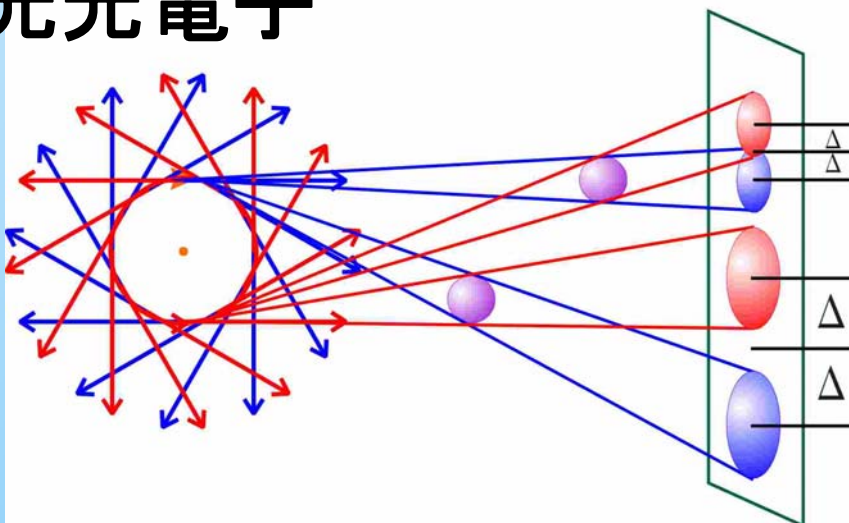
円偏光光電子でできる原子の影の視差角

通常的光電子



原子の
投影写真

円偏光光電子

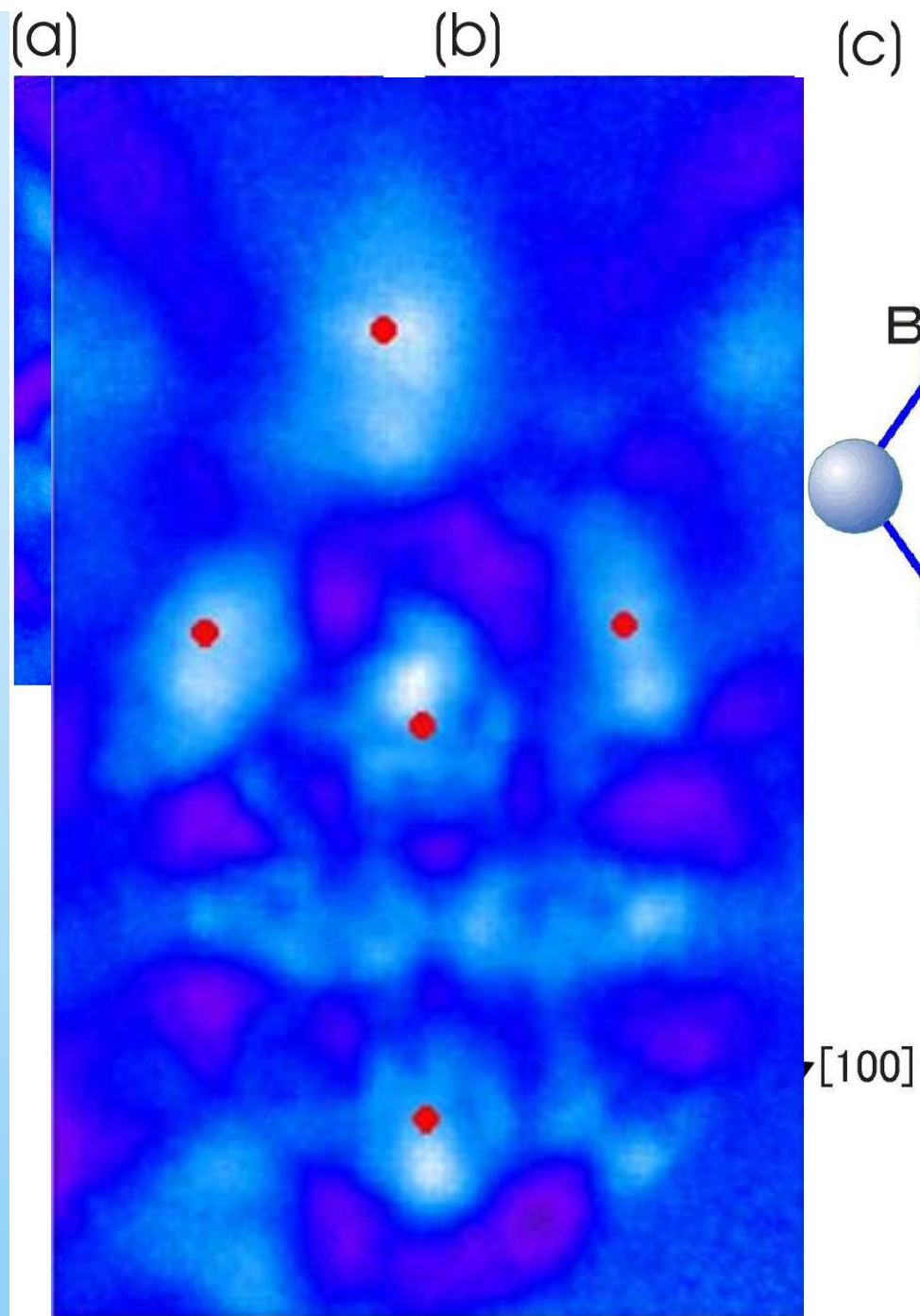


原子の影
の視差角

我々が立体視するときの
視差角と同じ関係

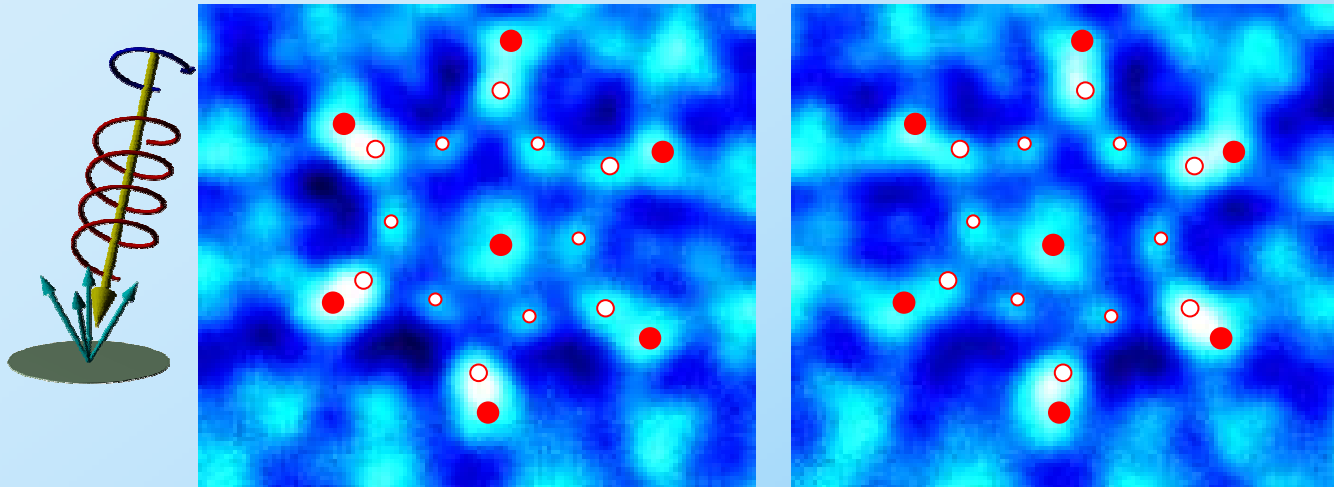
W(110)

H. Daimon,
Phys. Rev. Lett. 86,
(2001) 2034

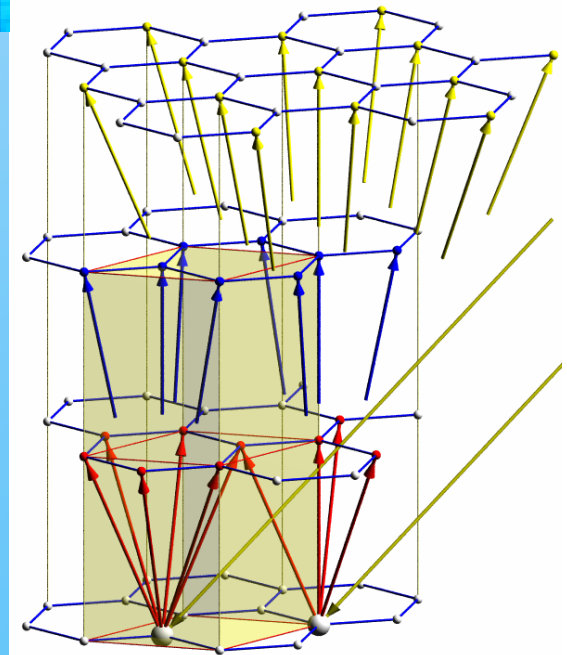


Atomic stereogram of graphite

a



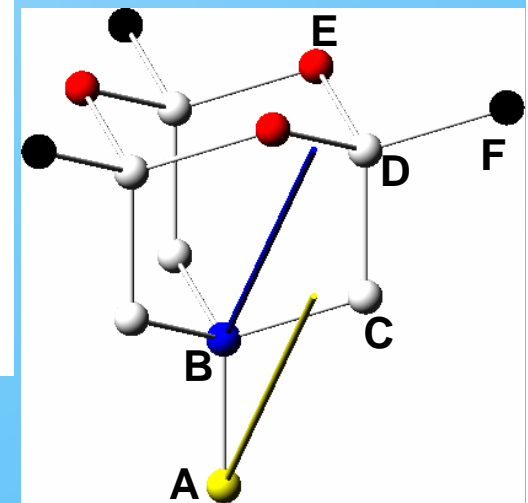
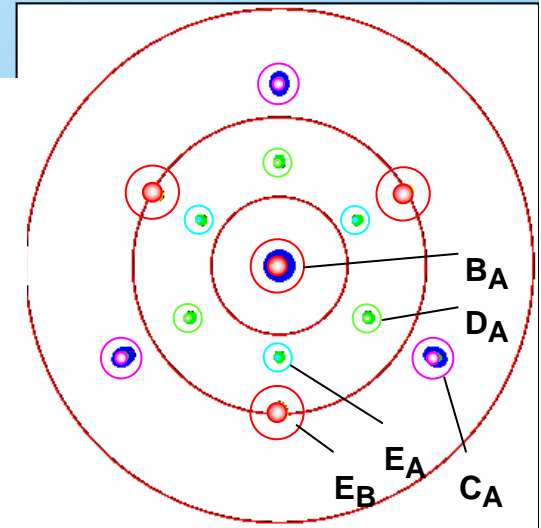
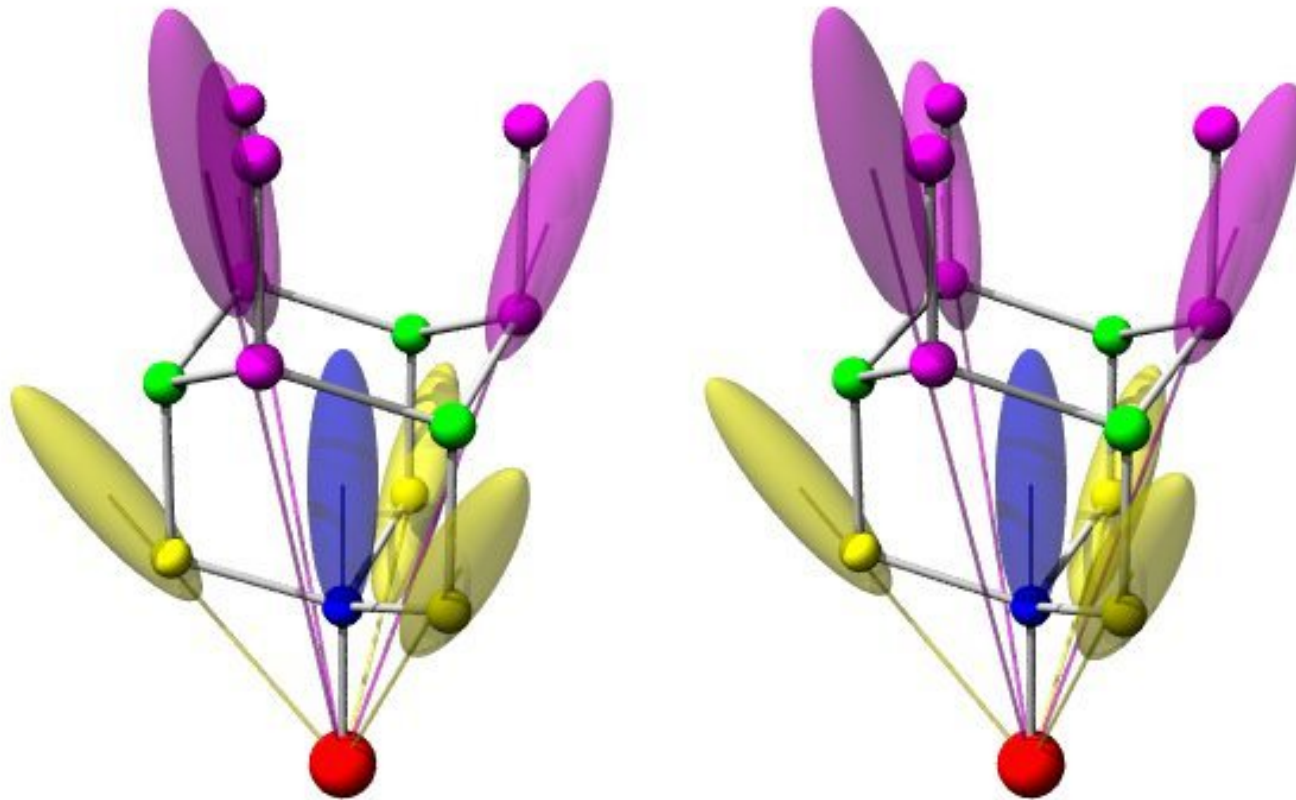
b



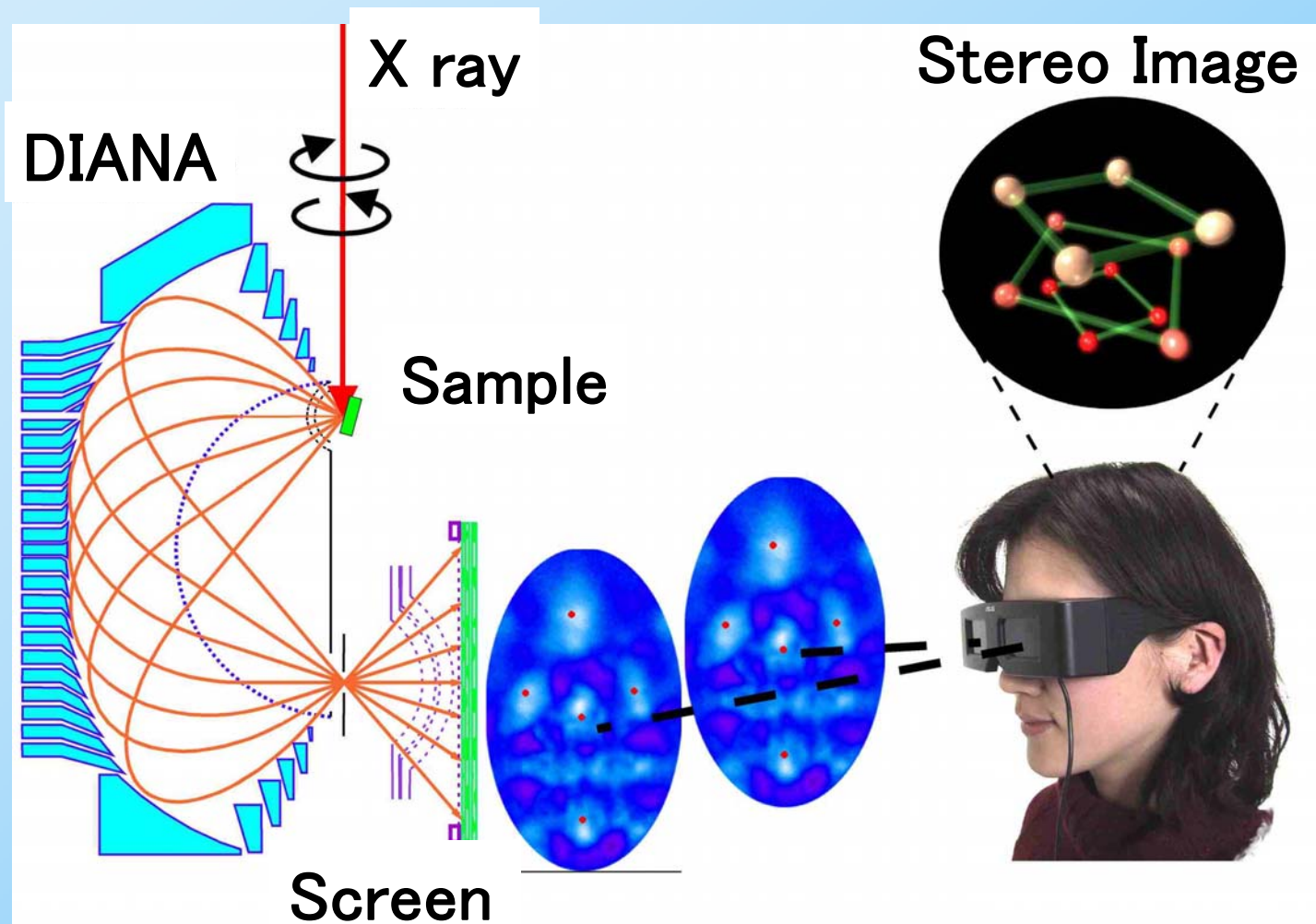
グラファイト結晶表面からの立体原子写真

B-dope Diamond(111)

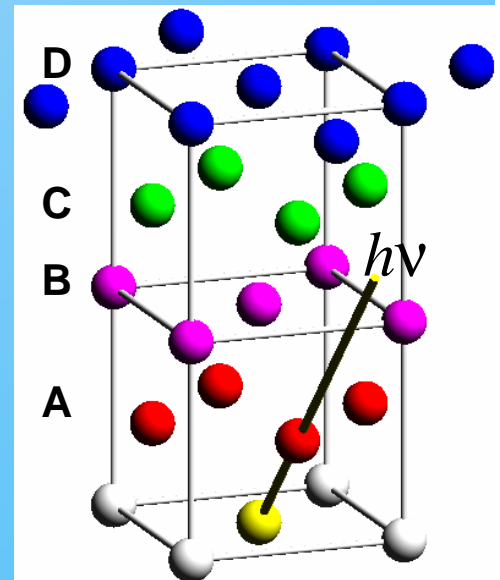
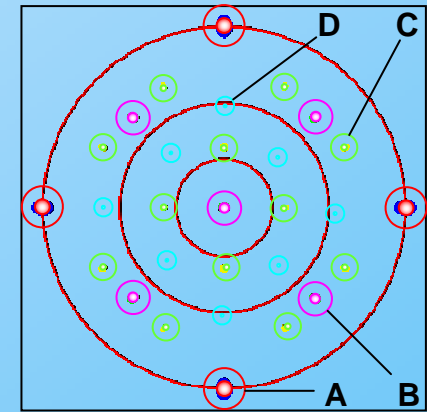
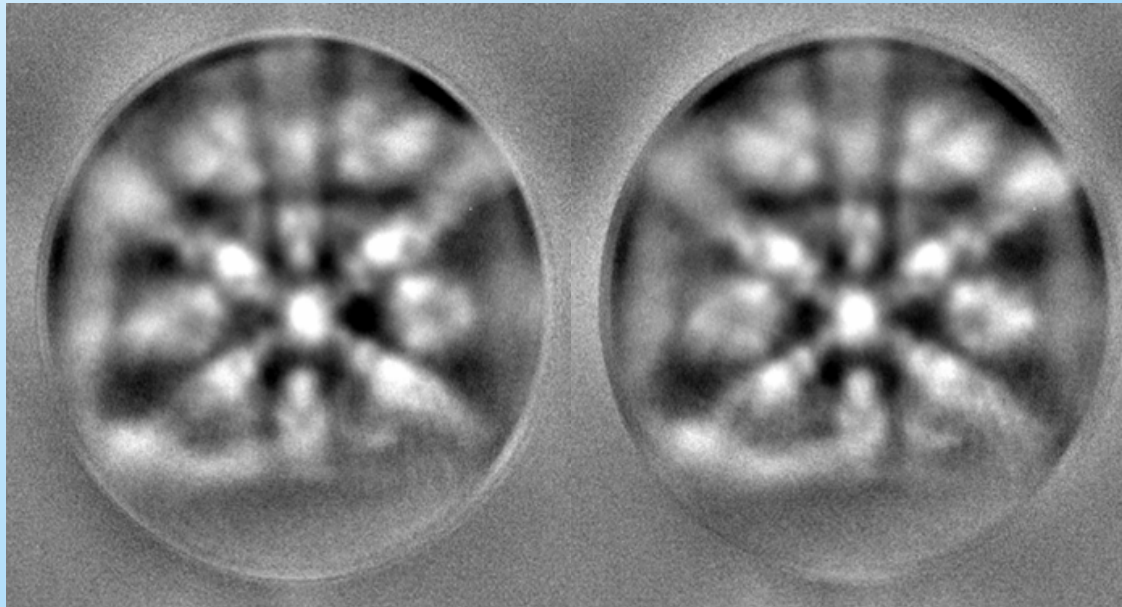
Superconductor



3次元原子配列のリアルタイム観察



Cu stereo photograph



立体原子配列光電子顕微鏡 (Stereo-PEEM) JST-CREST

•PEEM

$$\Delta x \sim 1 \mu\text{m}$$

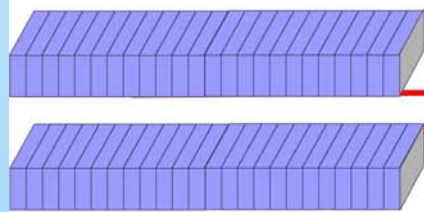
$$\Delta E = 0.1\%$$

•立体原子顕微鏡像

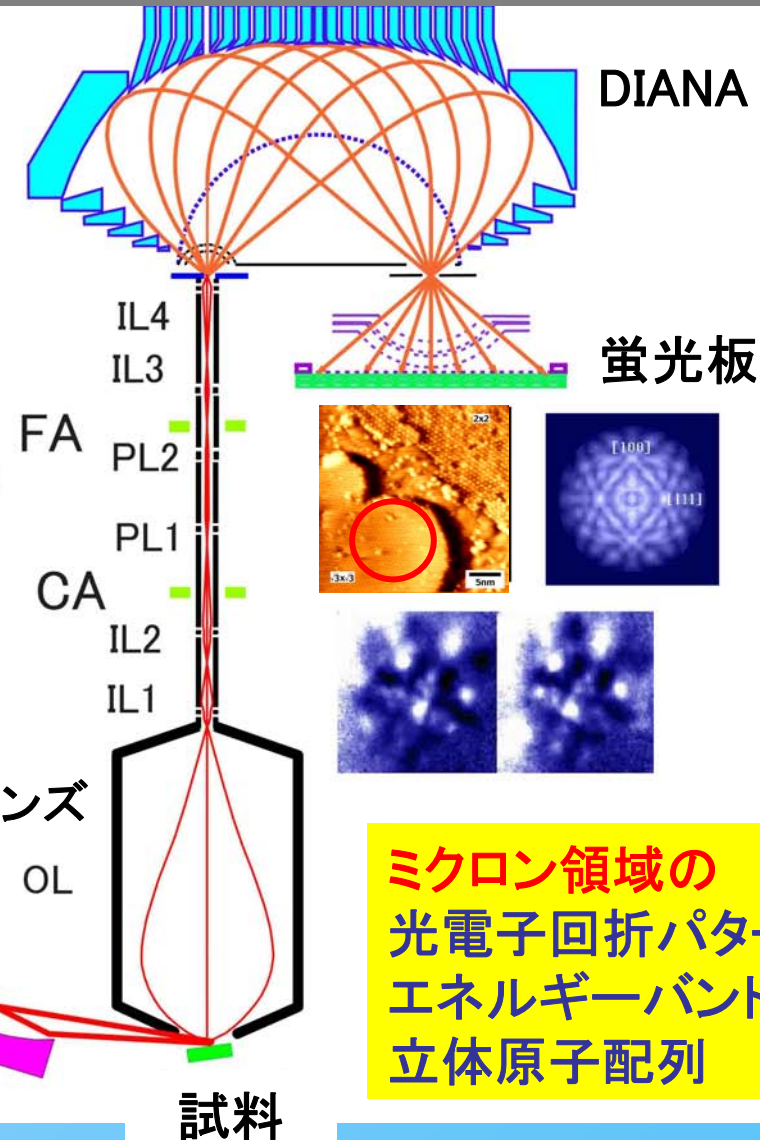
$$\Delta x = 0.02\text{nm}$$

$$\Theta = \pm 50^\circ$$

円偏光X線発生器
Helical Undulator

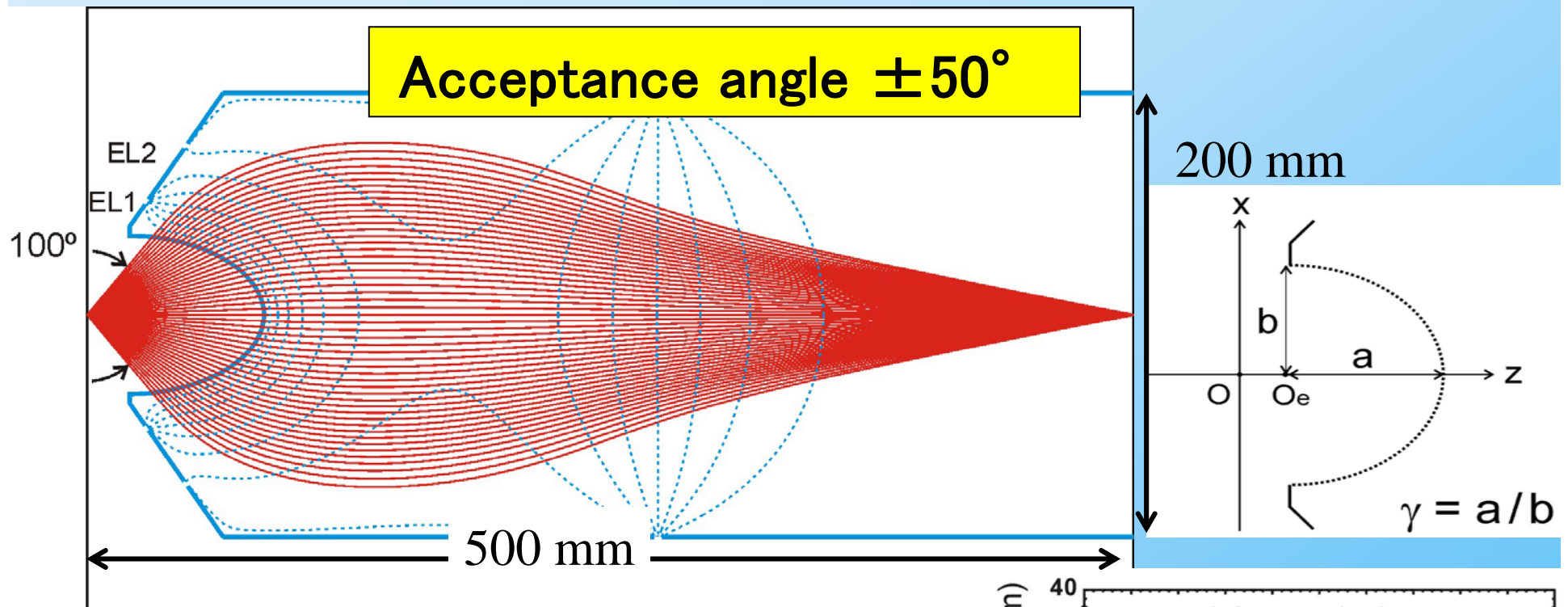


拡大レンズ
Lens System



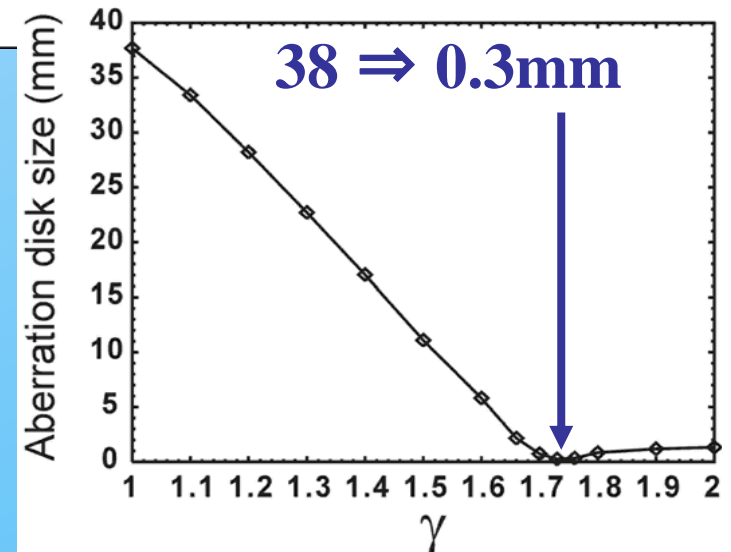
ミクロン領域の
光電子回折パターン
エネルギーバンド
立体原子配列

Wide-angle ellipsoidal-mesh lens



回転楕円面メッシュを用いることにより
 $\pm 50^\circ$ の取り込み角が可能になる。

- [1] H. Matsuda, H. Daimon, M. Kato and M. Kudo,
Phys. Rev. E 71, 066503 (2005)
- [2] patent: PCT/jp2004/016602, Japan 2004-208926



まとめ

- 2次元光電子分光により、

- 電子状態解析---3次元バンドマッピング

- 原子構造解析---立体原子写真、光電子回折、ホログラフィー

- リアルタイム観測も

- 顕微鏡機能を付加して

「ナノ領域の構造と電子状態を解析する立体原子顕微鏡」を開発

- 回転楕円面のメッシュを用いた $\pm 50^\circ$ 静電型広角レンズ

球面収差ゼロ、大角度分布の分析器(実施検討中)

テスト実験で5倍の像を確認(分解能25ミクロン)

全体の製作、拡大率と分解能の向上を図る