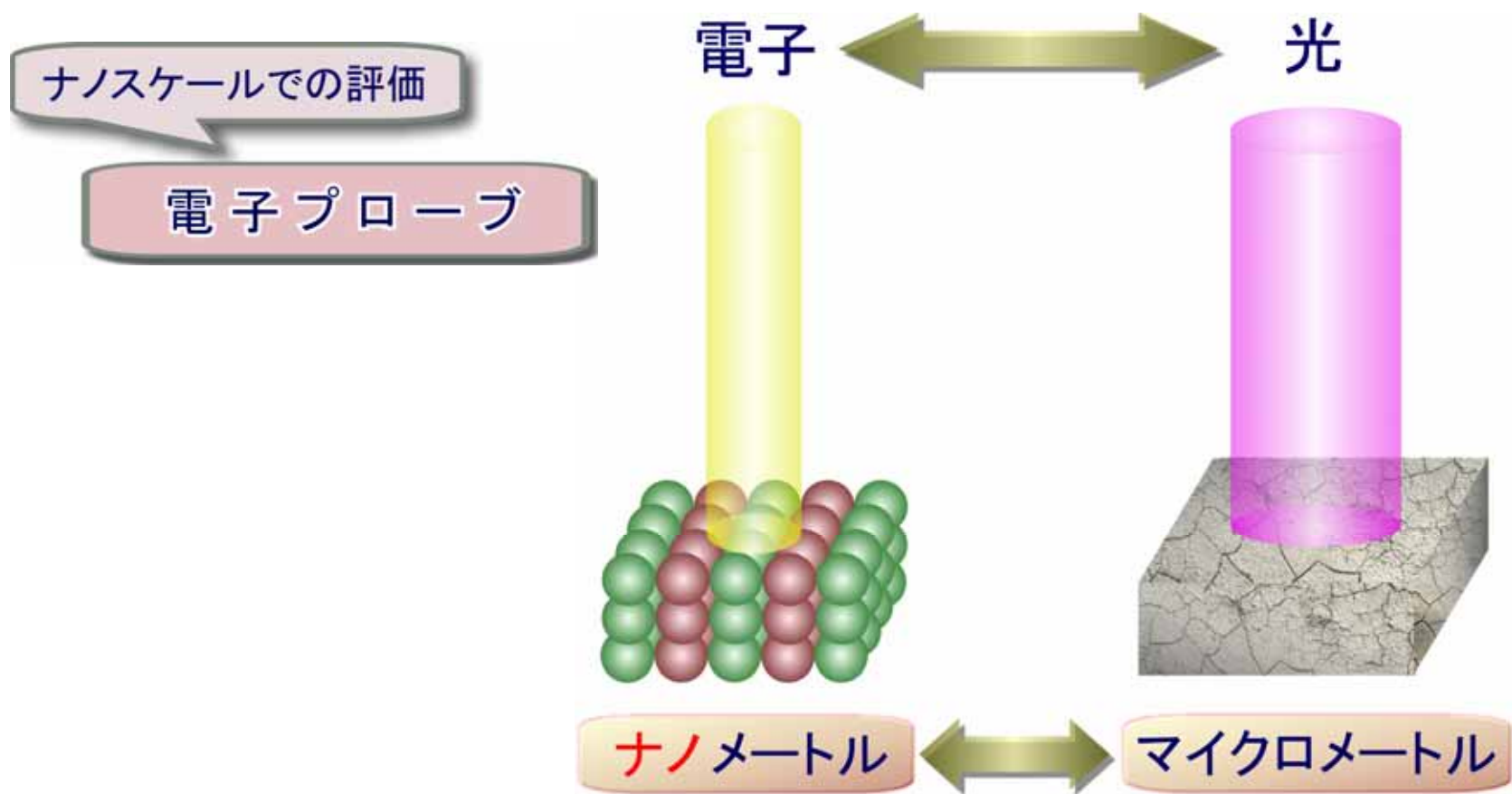


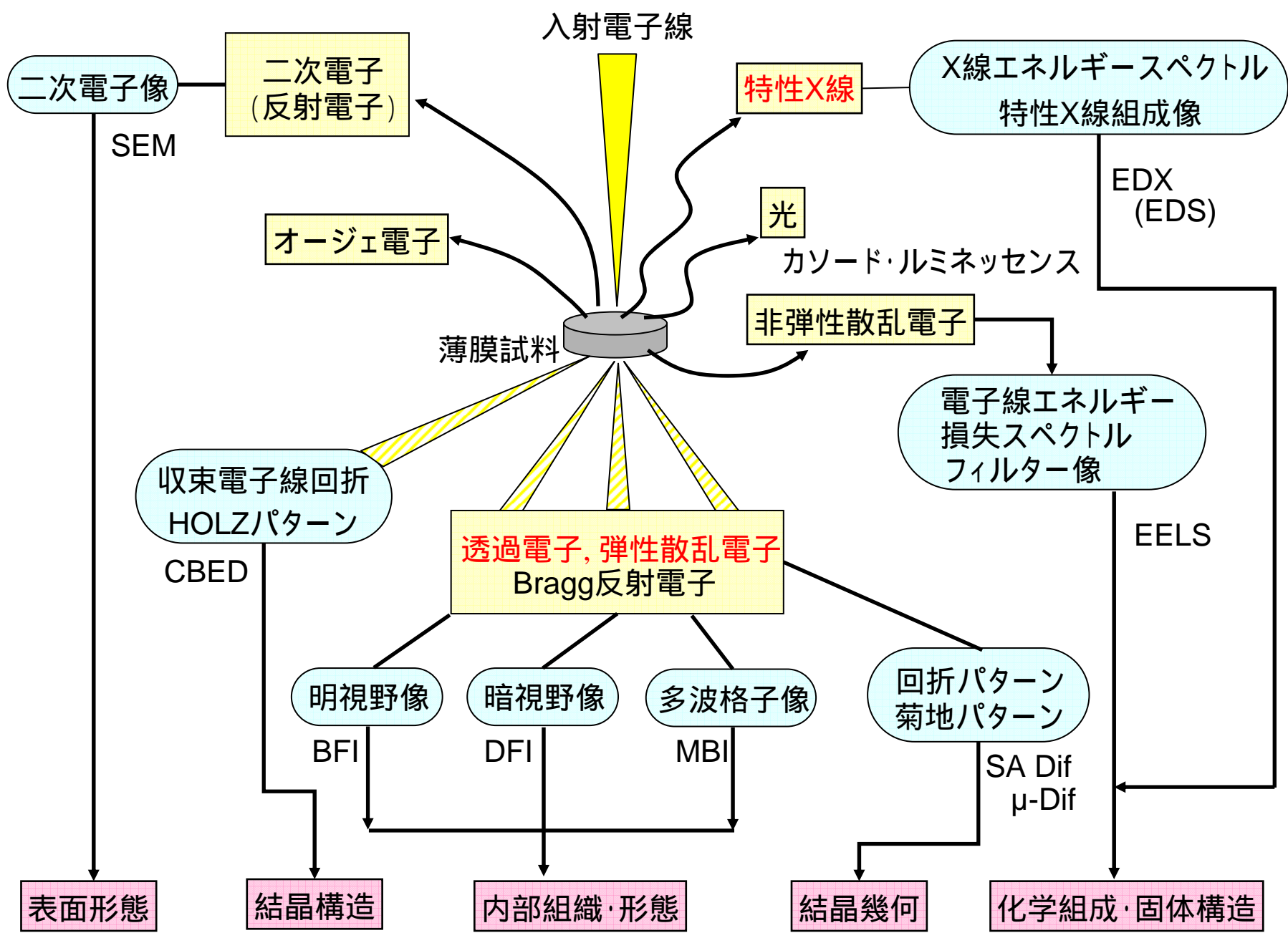
第4回工学体験ラボ

# ナノテクノロジーの世界ー透過電子顕微鏡法ー

東京大学総合研究機構  
幾原 雄一

# 材料評価の2大プローブ





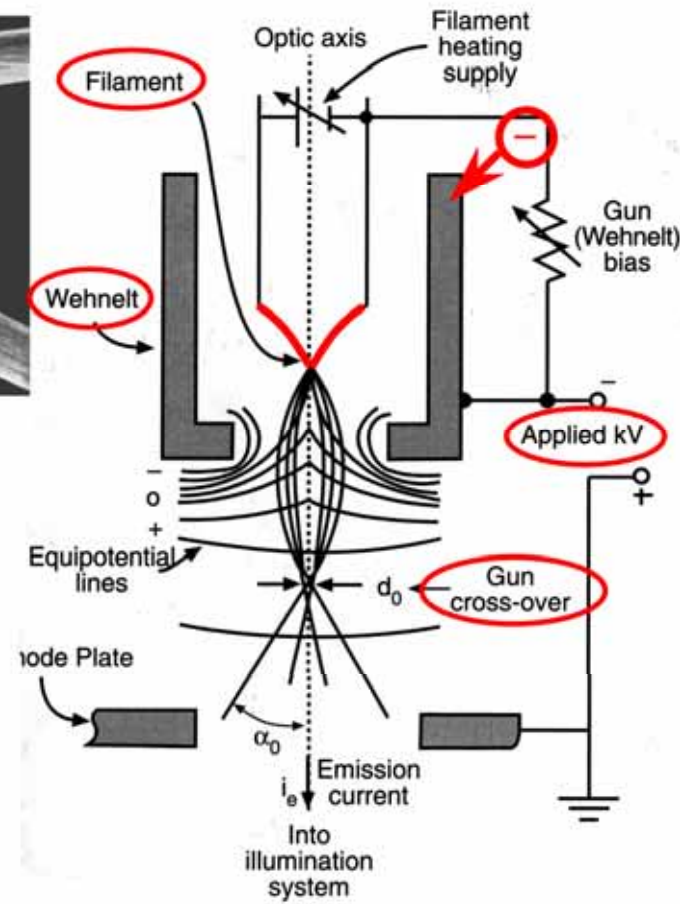
# 電子銃

- 熱電子型 (T.E)
- 電界放射型 (F.E.)

## W-フィラメント

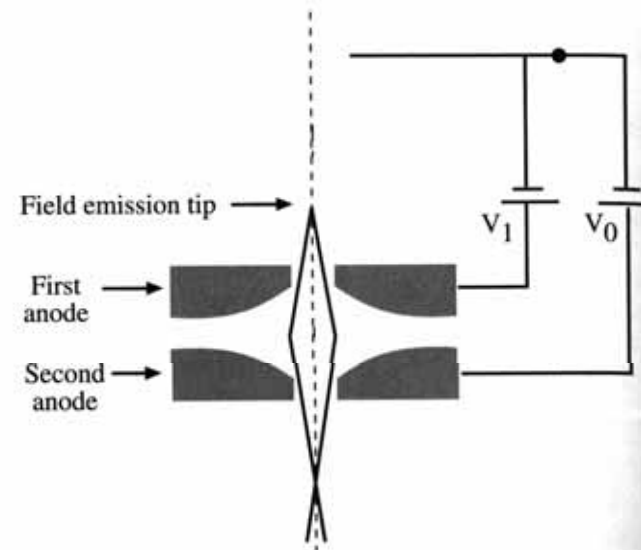
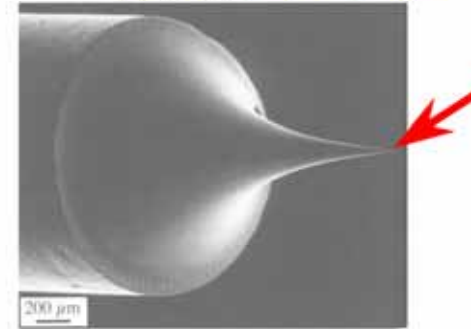


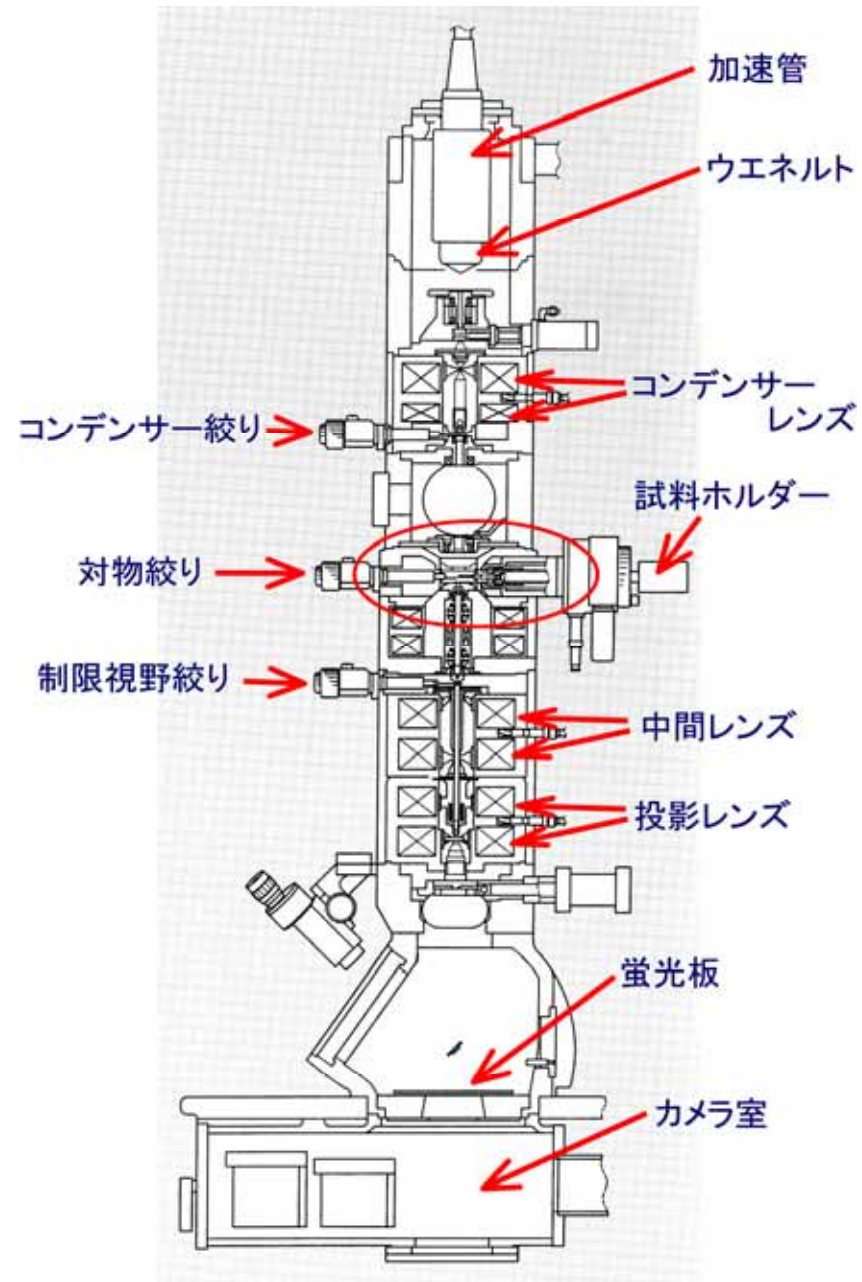
## LaB6-フィラメント

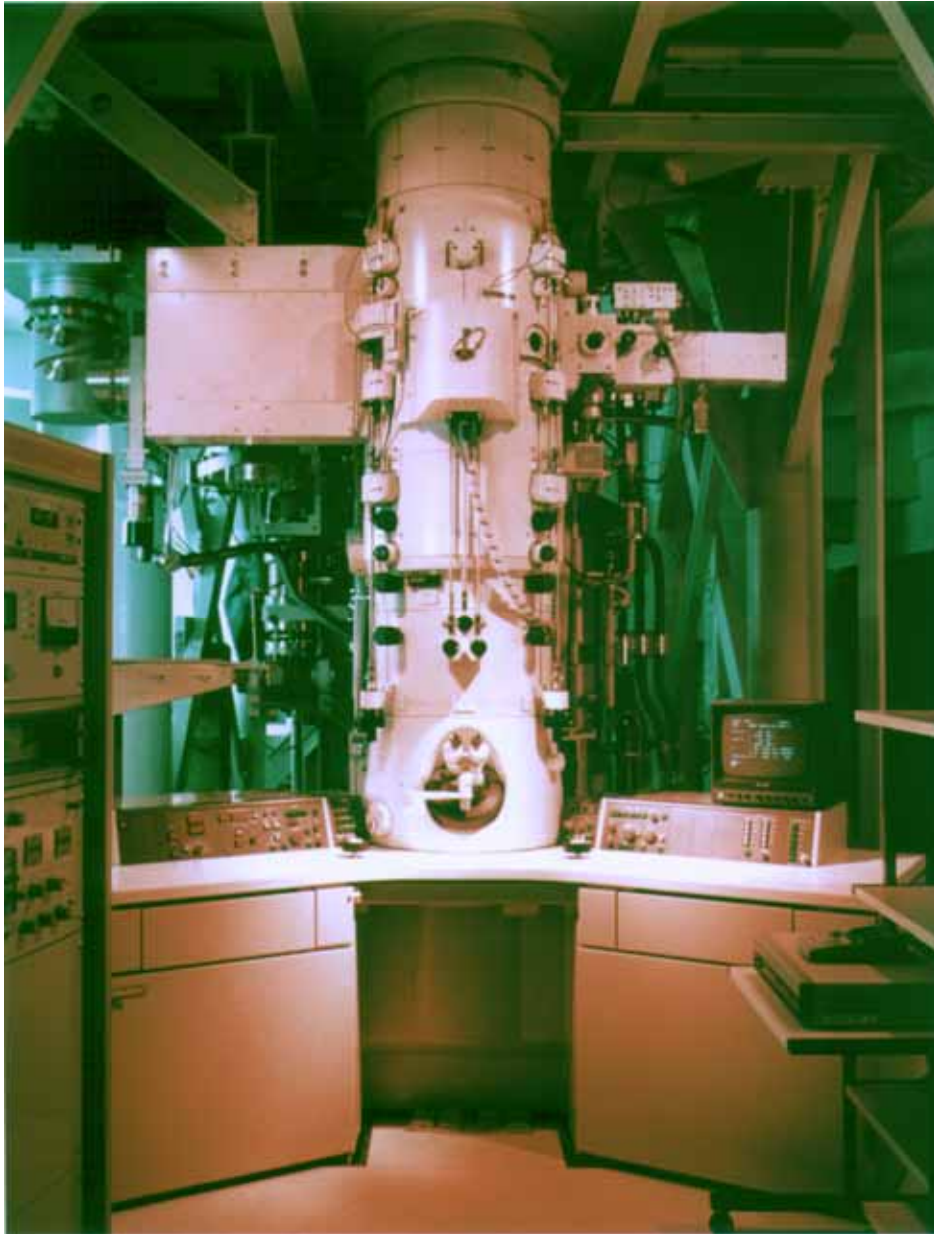


## FE-チップ

- ・光源が小さい
- ・輝度が高い
- ・電子線量は少ない







## ARM-HVEM

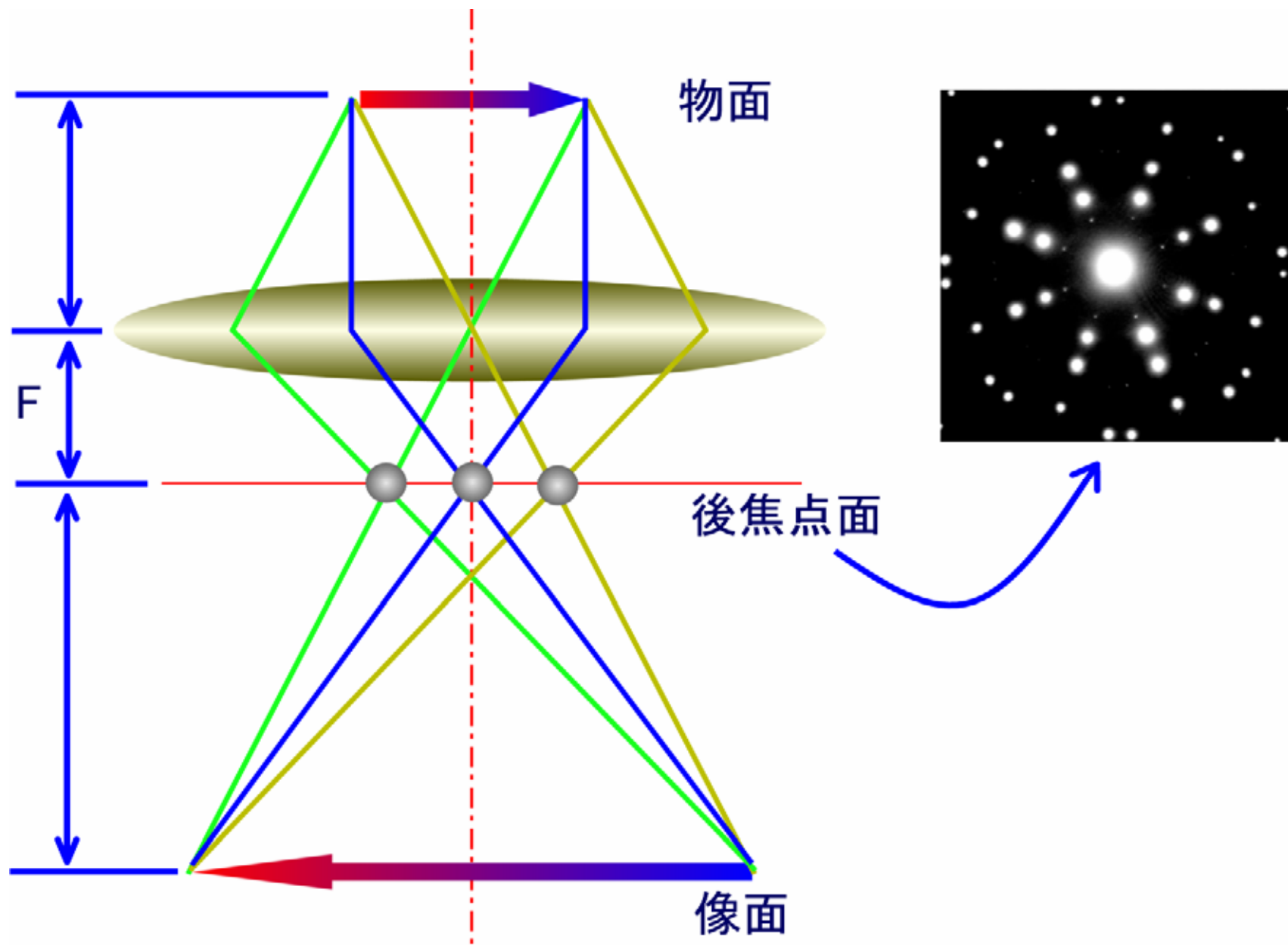
JEM-ARM1250

1250kV

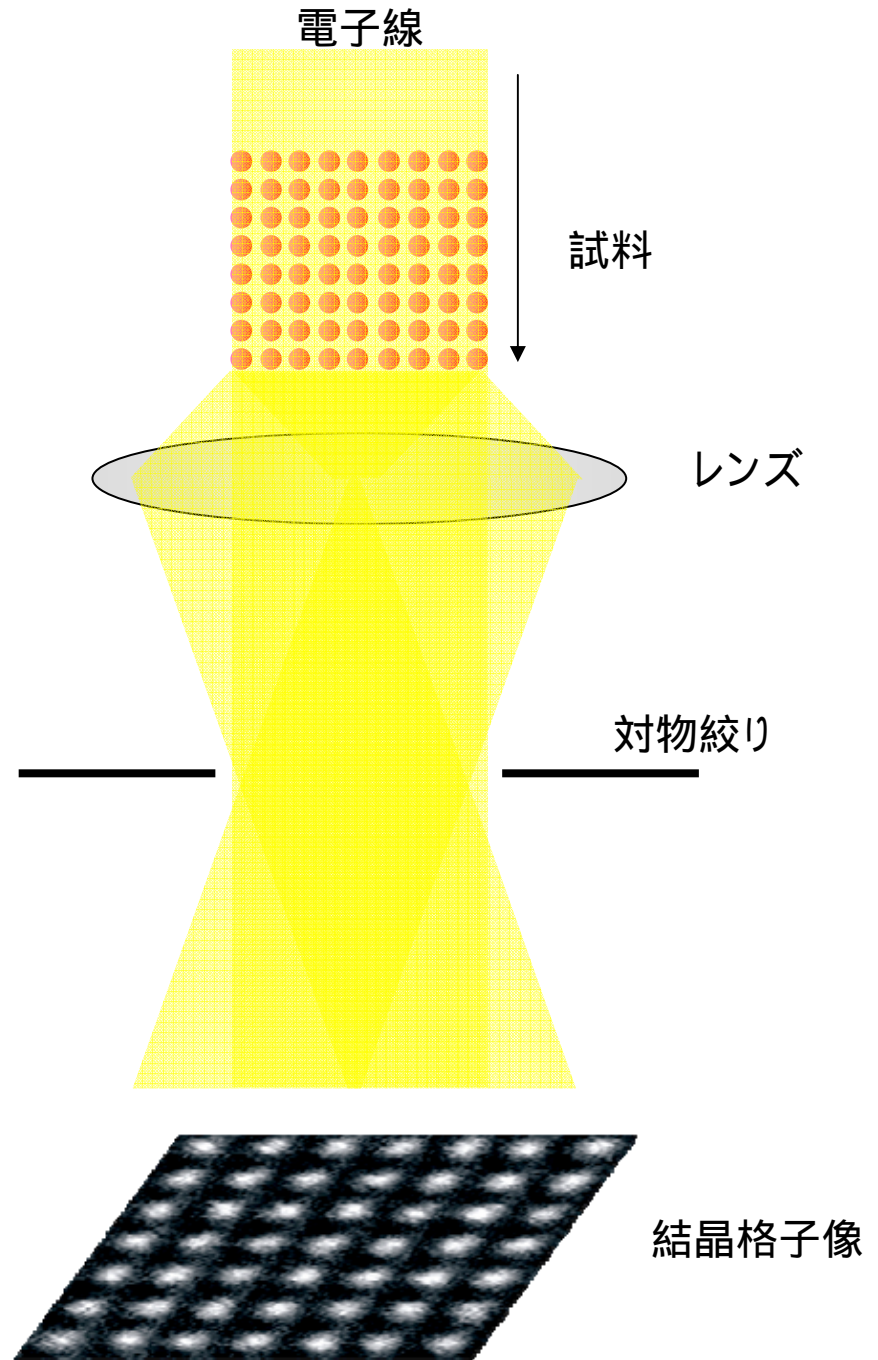
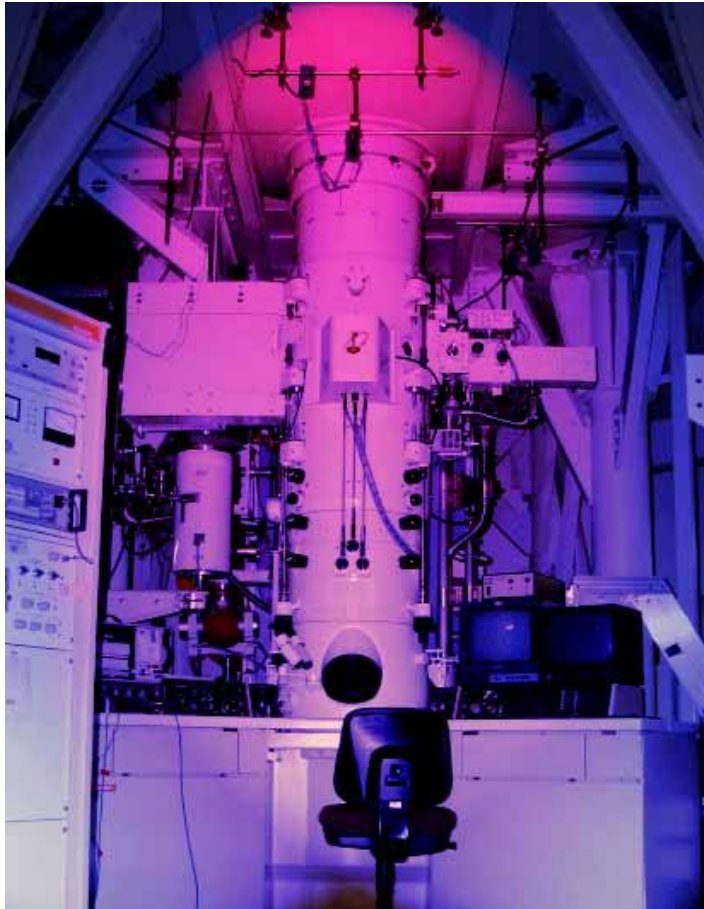
Resolution < 0.1nm

Cs=1.4mm, Cc=2.4mm



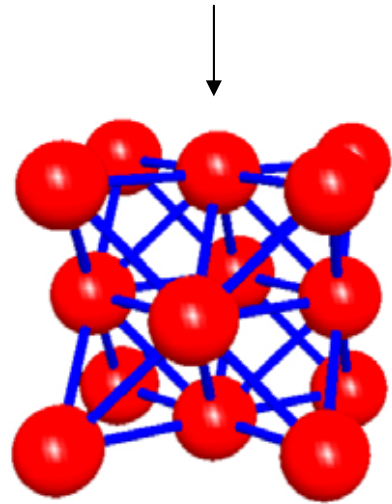


# 高分解能電子顕微鏡 (HRTEM)

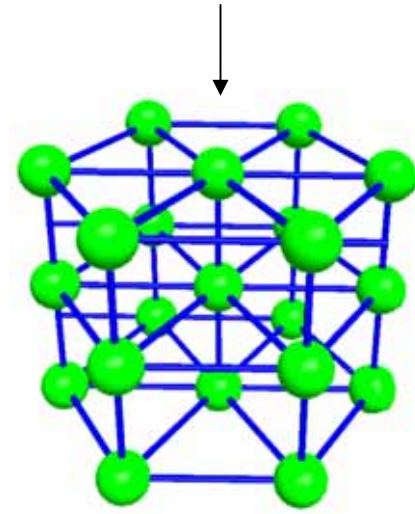




# 原子構造とHRTEM像

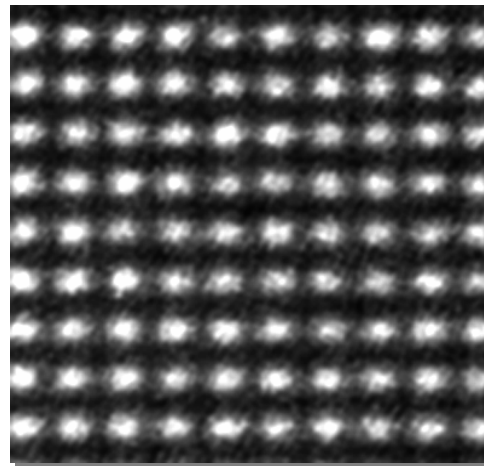


面心立方構造



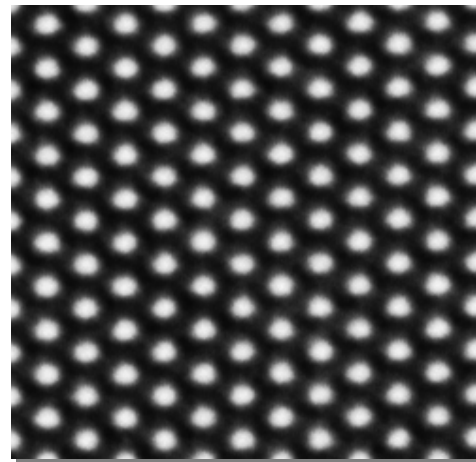
六方最密構造

Al



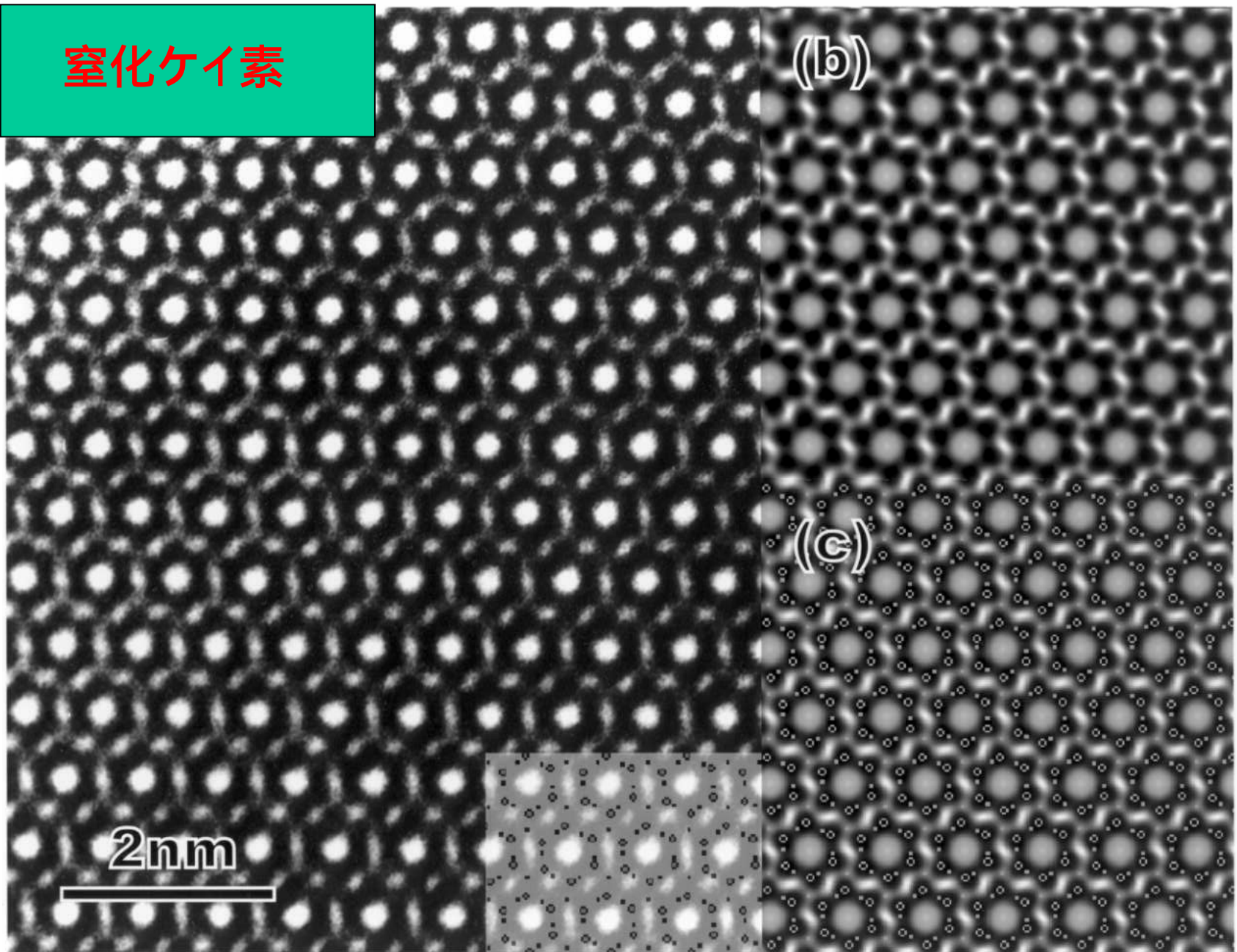
[001]軸入射

Mg



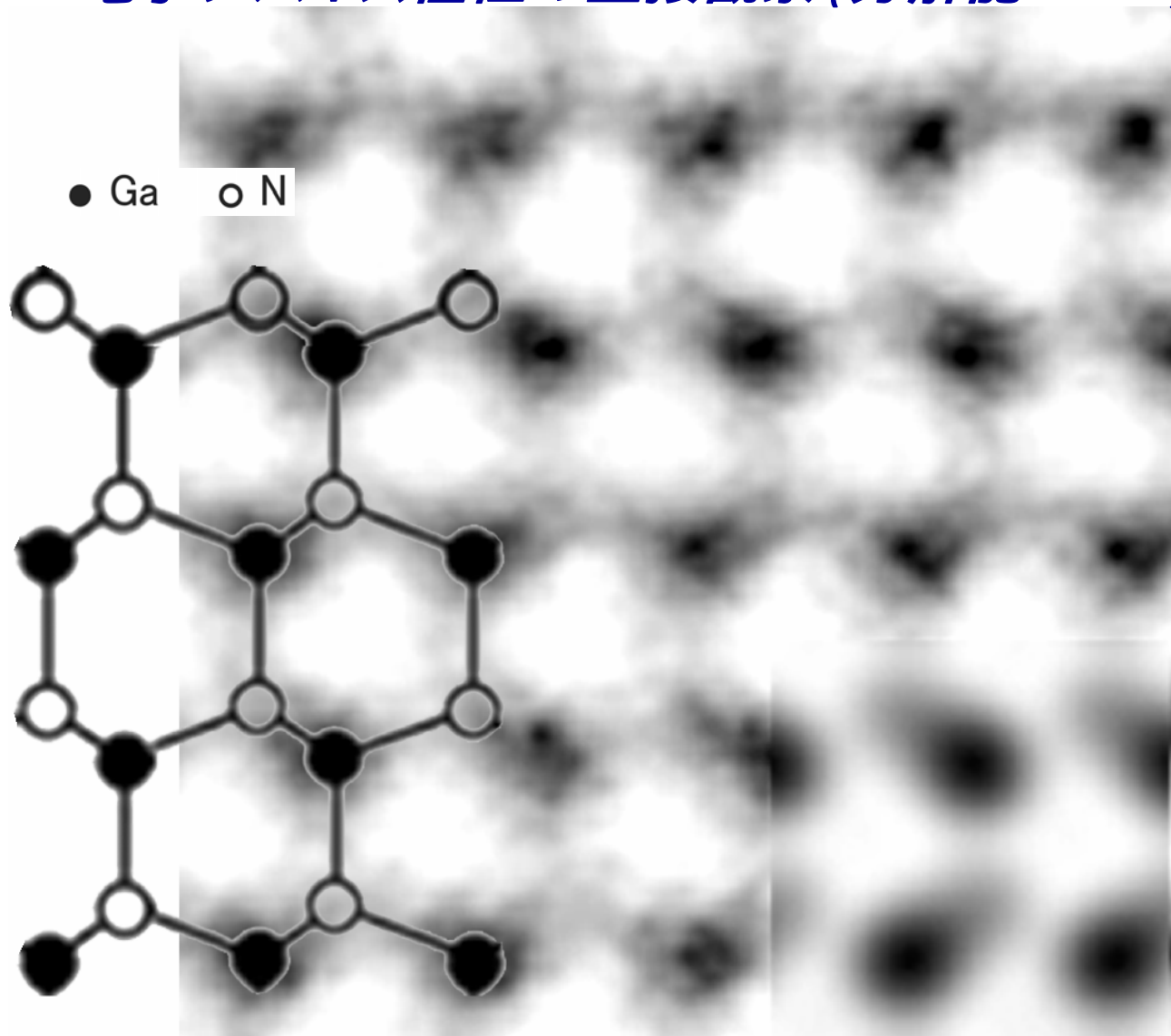
[0001]軸入射

窒化ケイ素





# 電子デバイス極性の直接観察(分解能0.1nm)(窒化ガリウム)

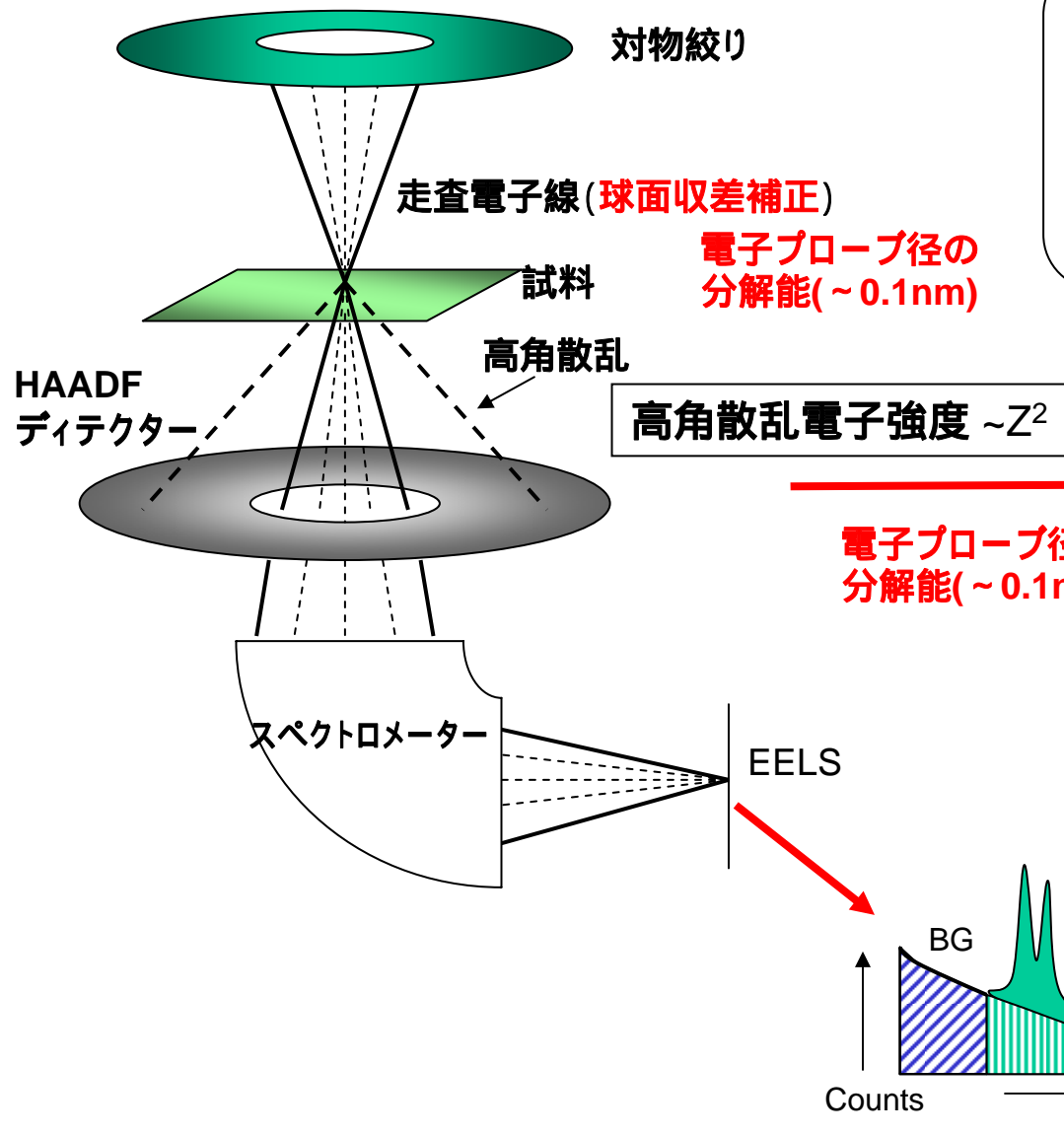


窒素が見える！

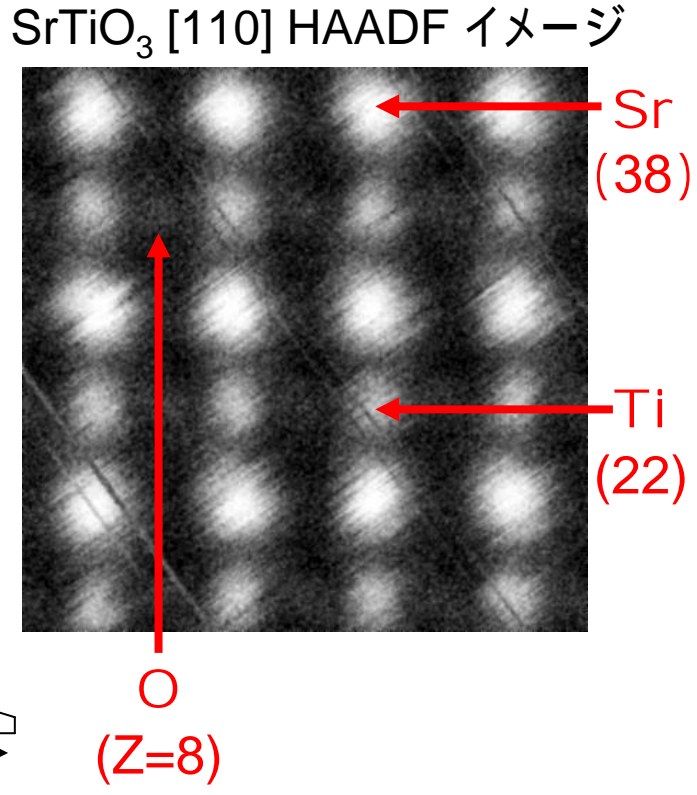
Defocus: -35 nm; Thickness: 2 nm [APL \(2002\)](#)



# 走査透過電子顕微鏡 (STEM) Z-コントラスト法 (画期的技術—材料解析のブレークスルー)



- ・分解能 = プロブ径
- ・Z-コントラスト  $\sim Z^2$
- ・直接的イメージ
- ・同時計測EELS





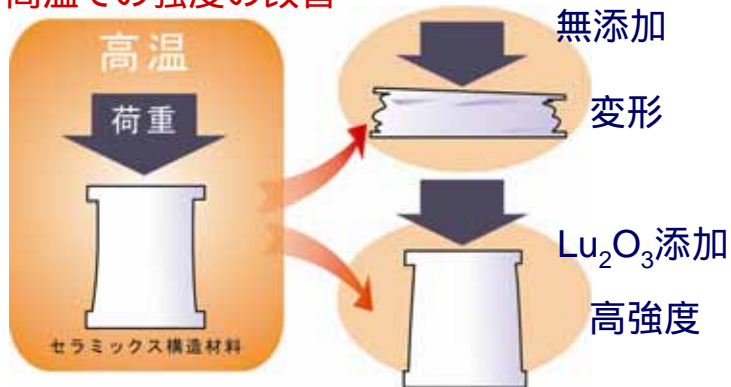
# アルミナ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) セラミックスの例

～ ICチップ基板、送電線用碍子、触媒担体などに使用される構造用セラミックス～



広範囲に実用に用いられている構造用セラミックス

高温での強度の改善

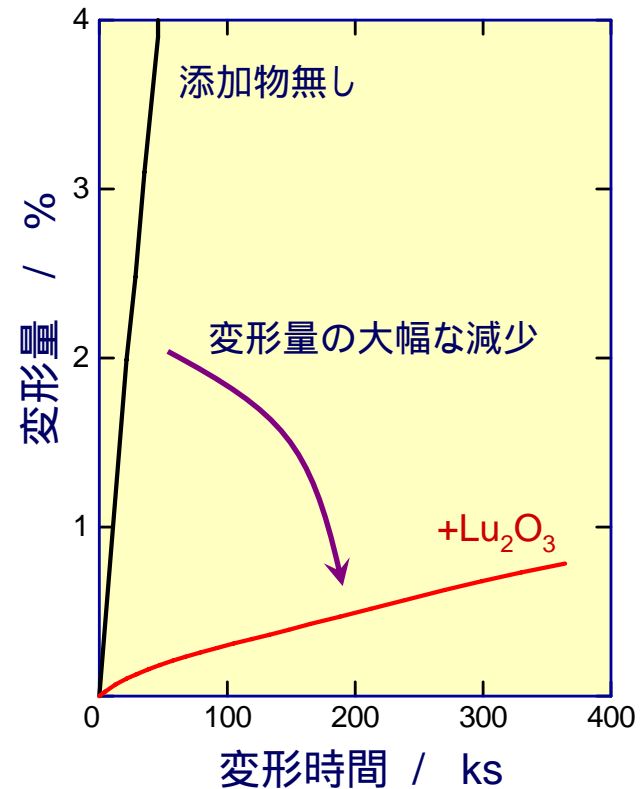


0.05mol%程度の希土類酸化物

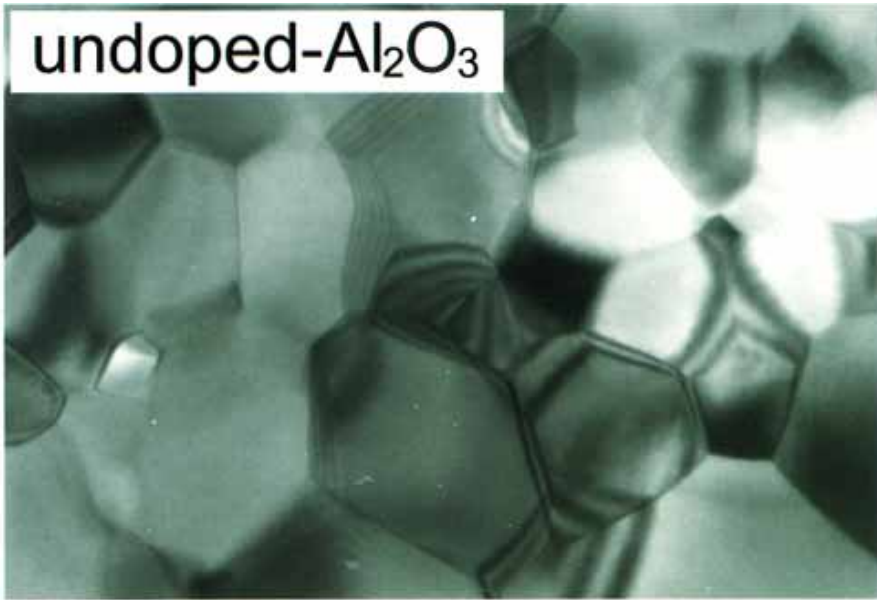


Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>添加で高温強度が100倍以上向上

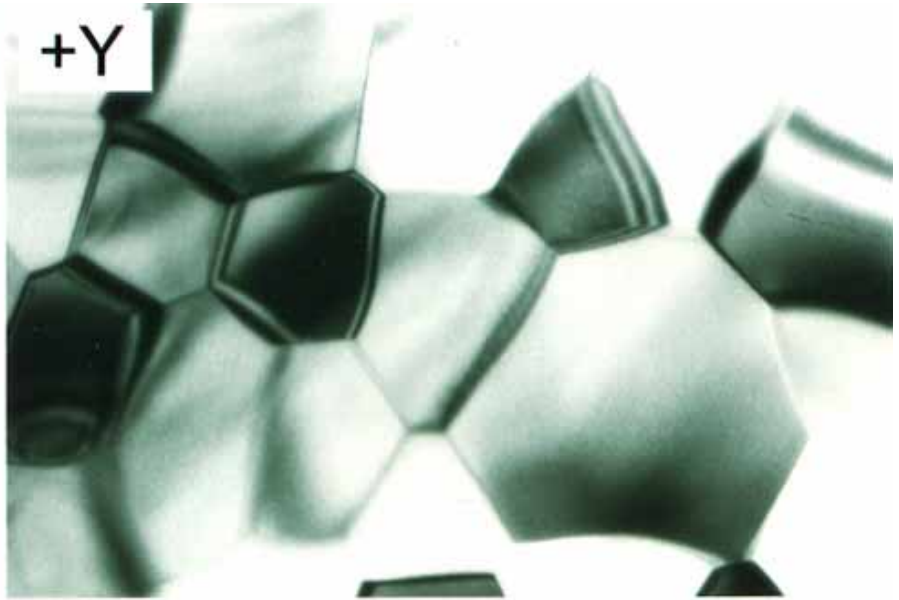
クリープ曲線、1250℃、50MPa



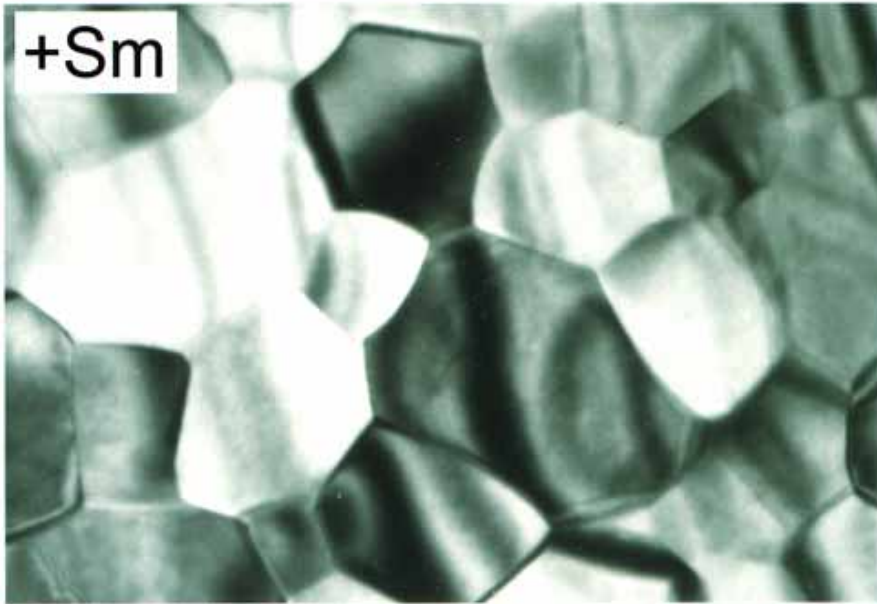
undoped- $\text{Al}_2\text{O}_3$



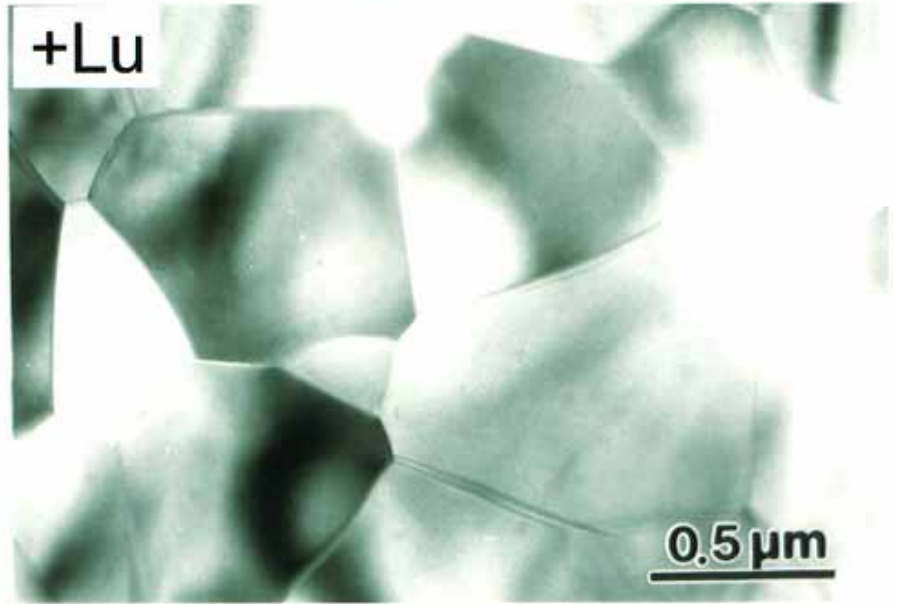
+Y



+Sm

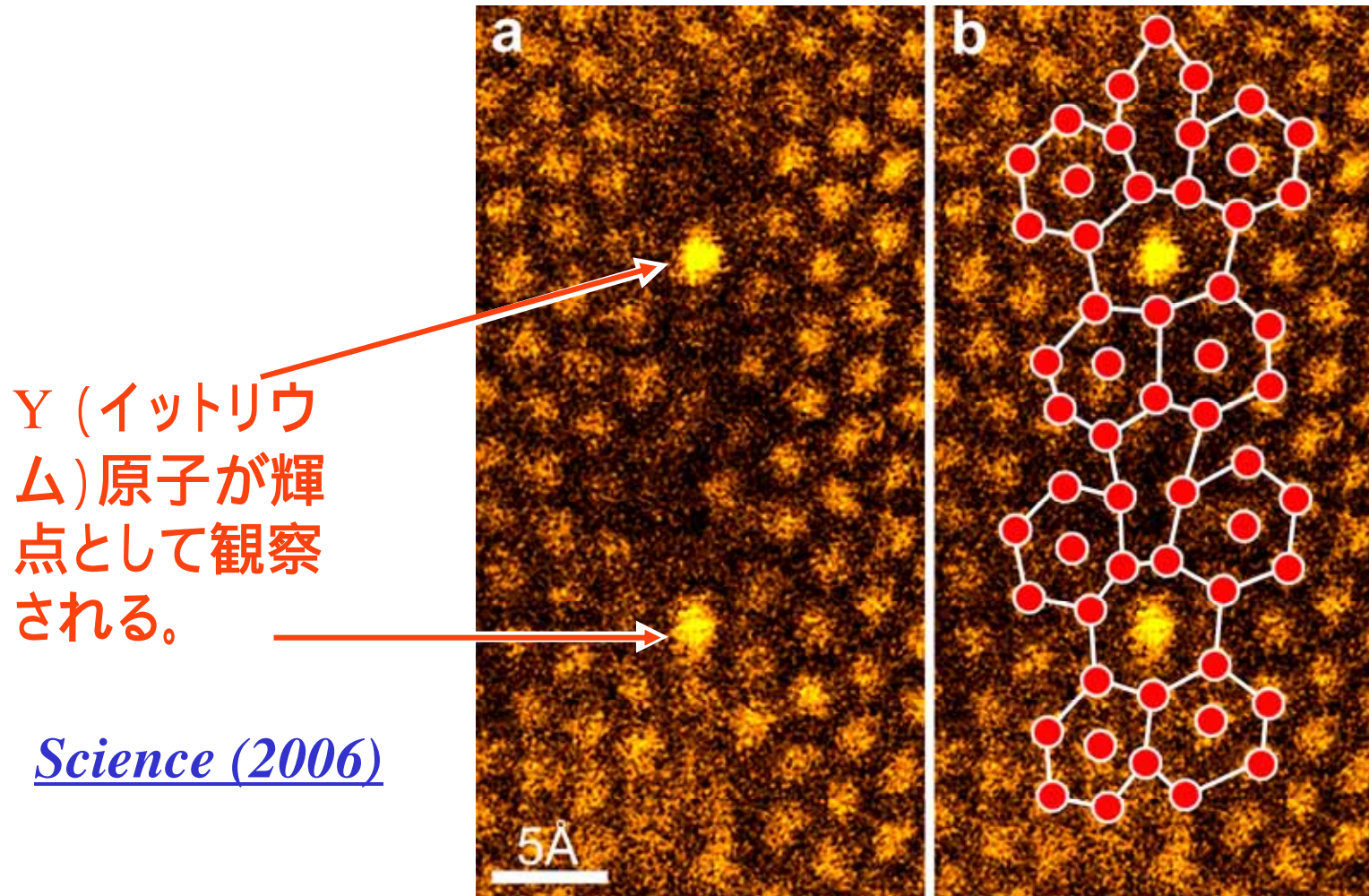


+Lu





## Z-コントラスト (イットリウム添加アルミナ粒界)



アルミナ粒界におけるイットリウム原子の位置が明確に観察される

# ZnO(酸化亜鉛)バリスタセラミックスの例

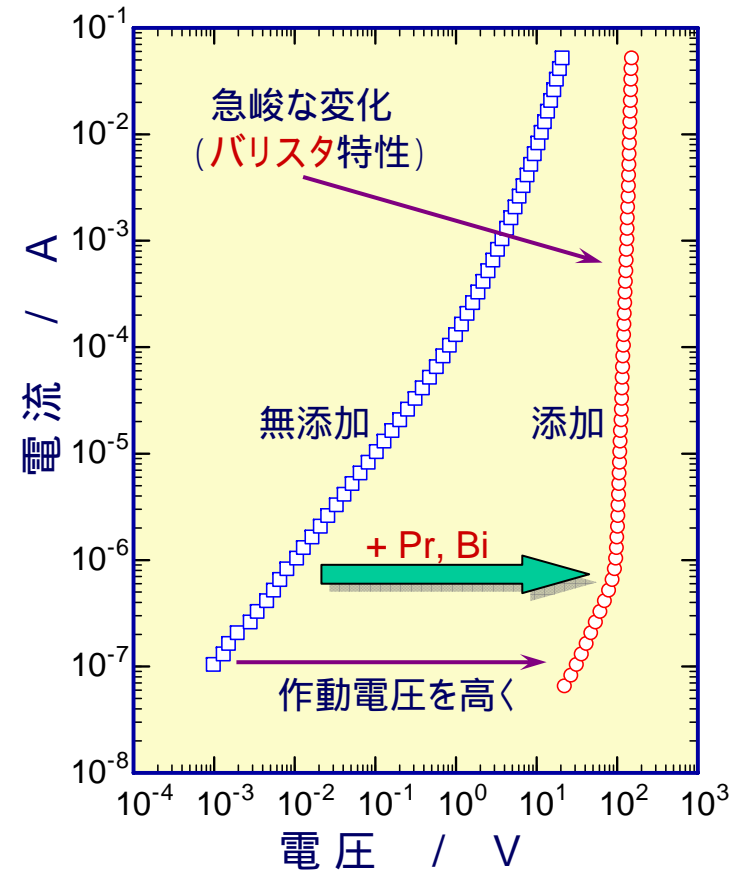
~ 静電気、落下時の衝撃などから電子機器を保護する素子 ~



0.2mol%程度のPr, Biの添加



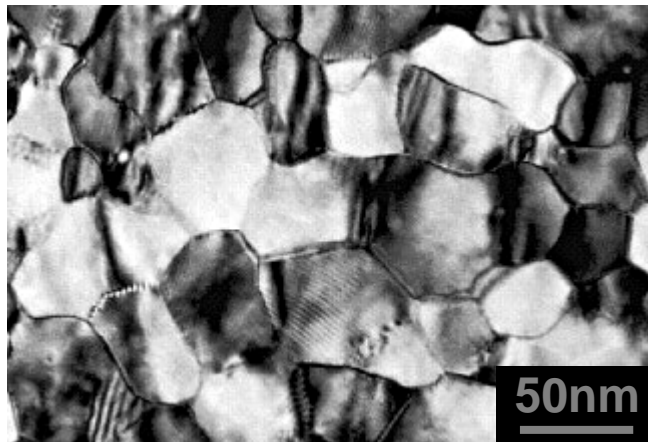
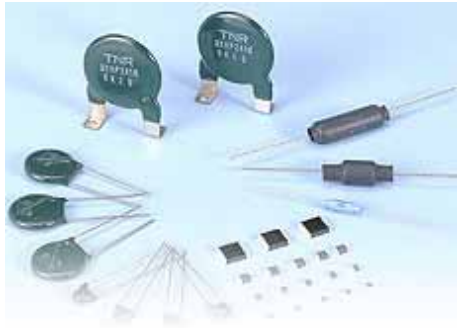
バリスタ特性が10倍以上向上





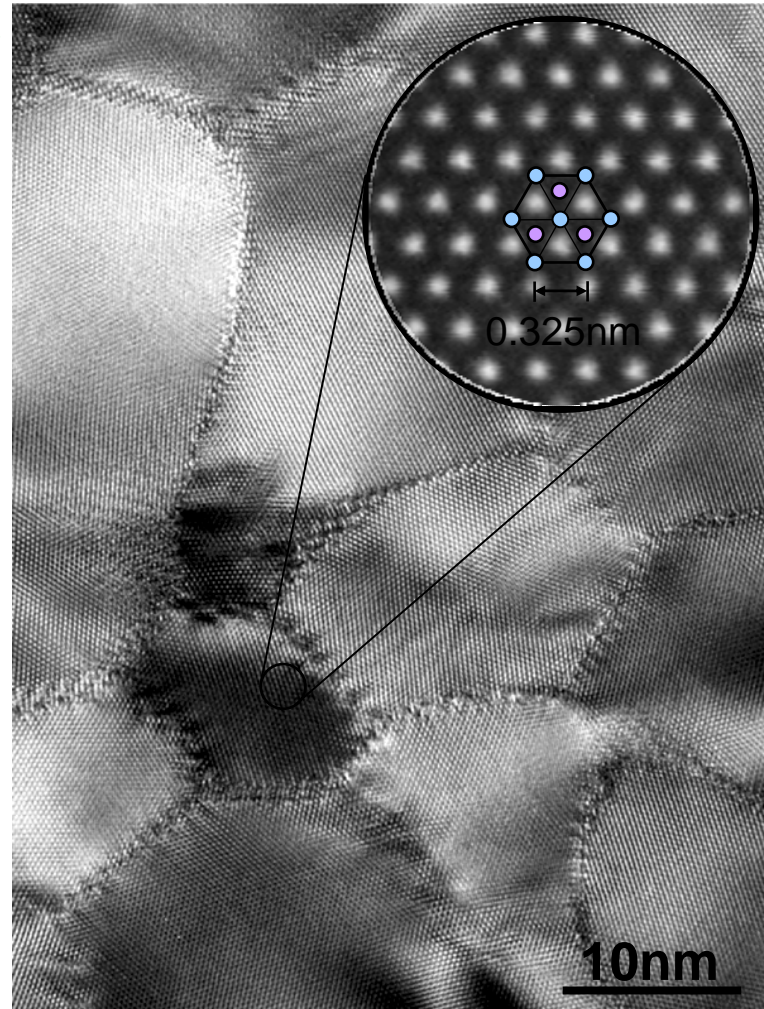
# 電子デバイスの電気特性向上

ZnOセラミックス



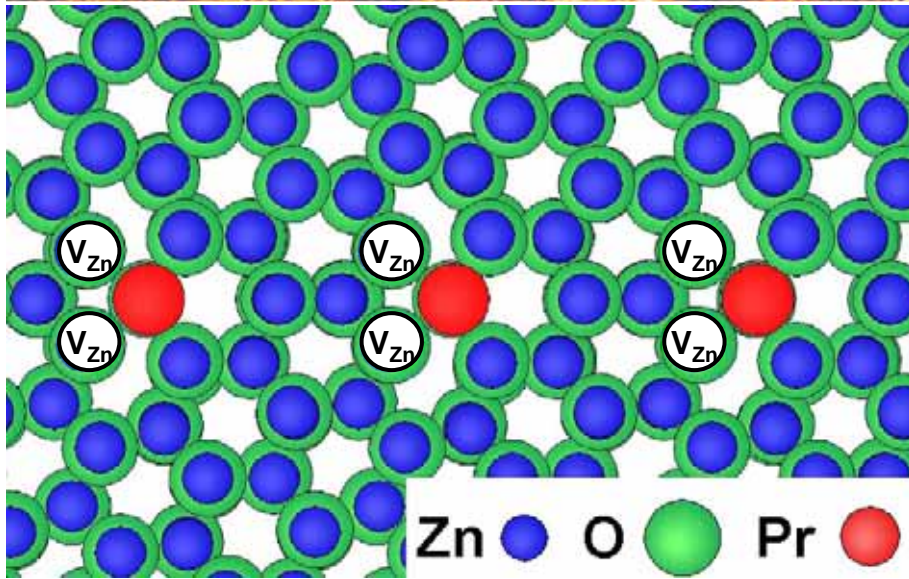
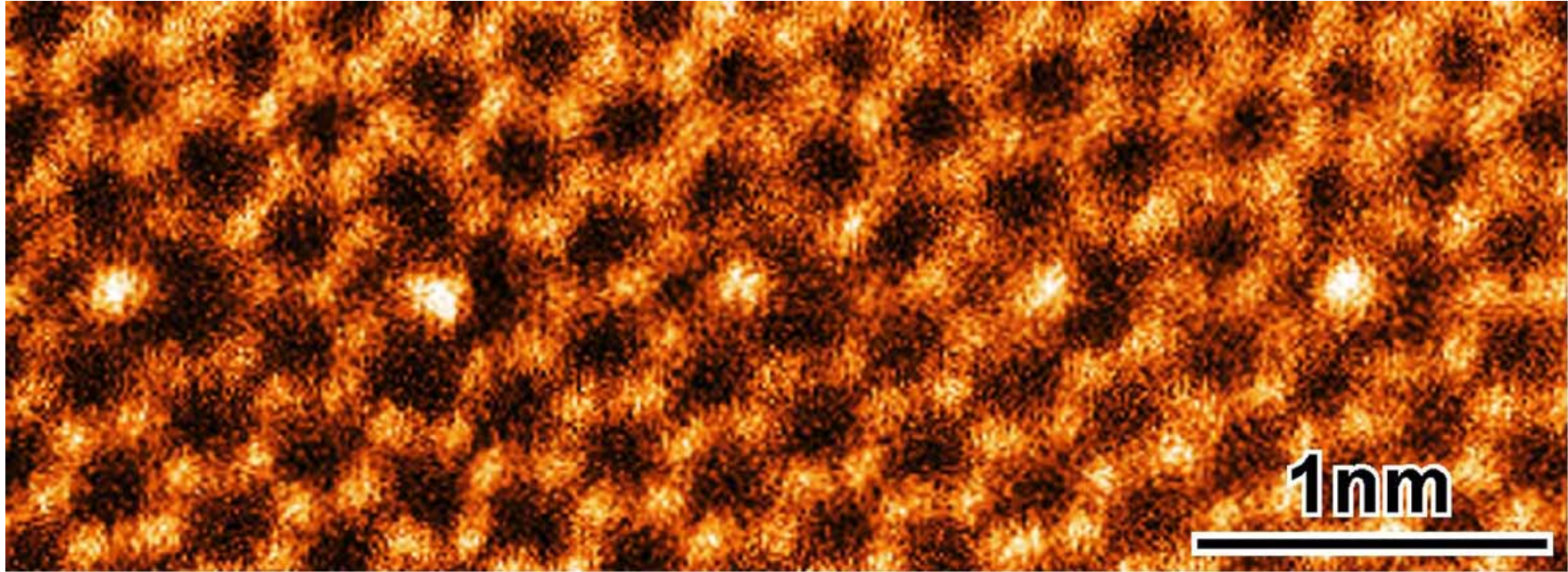
結晶粒界が電気特性を支配

PRB, 2004



ZnO結晶粒界のHRTEM像





第一原理計算によるPrの役割解明

電子顕微鏡・第一原理計算  
による包括的研究



電気特性の起源解明

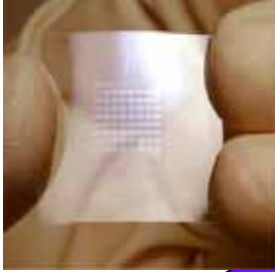


高性能電子材料の設計指針

*[PRL \(2006\)](#)*

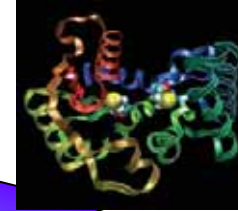
# 界面原子・電子構造計測—新たな展開

次世代ディスプレイの開発



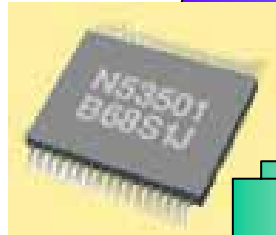
材料ゲノム  
革新的材料設計

新規材料の開発



超高分解能化

原子スケール設計



TEM/STEMの新しい展開  
計算材料学との融合

燃料電池の実用化

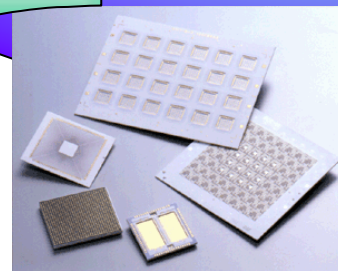


定量化

その場観察

材料設計指針

機能発現機構の解明



デバイス特性向上



触媒機能の向上

材料信頼性

表面構造解析

