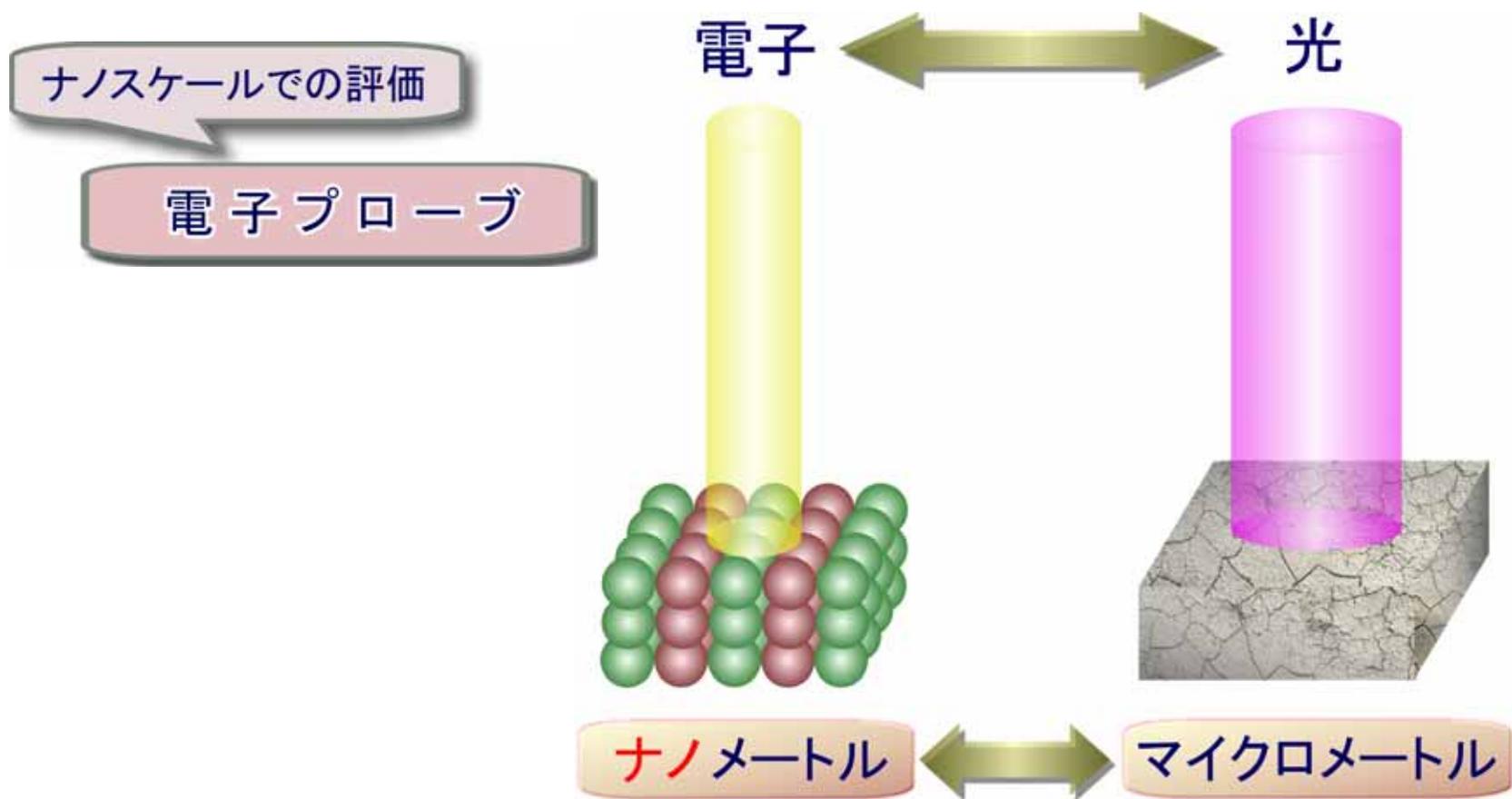


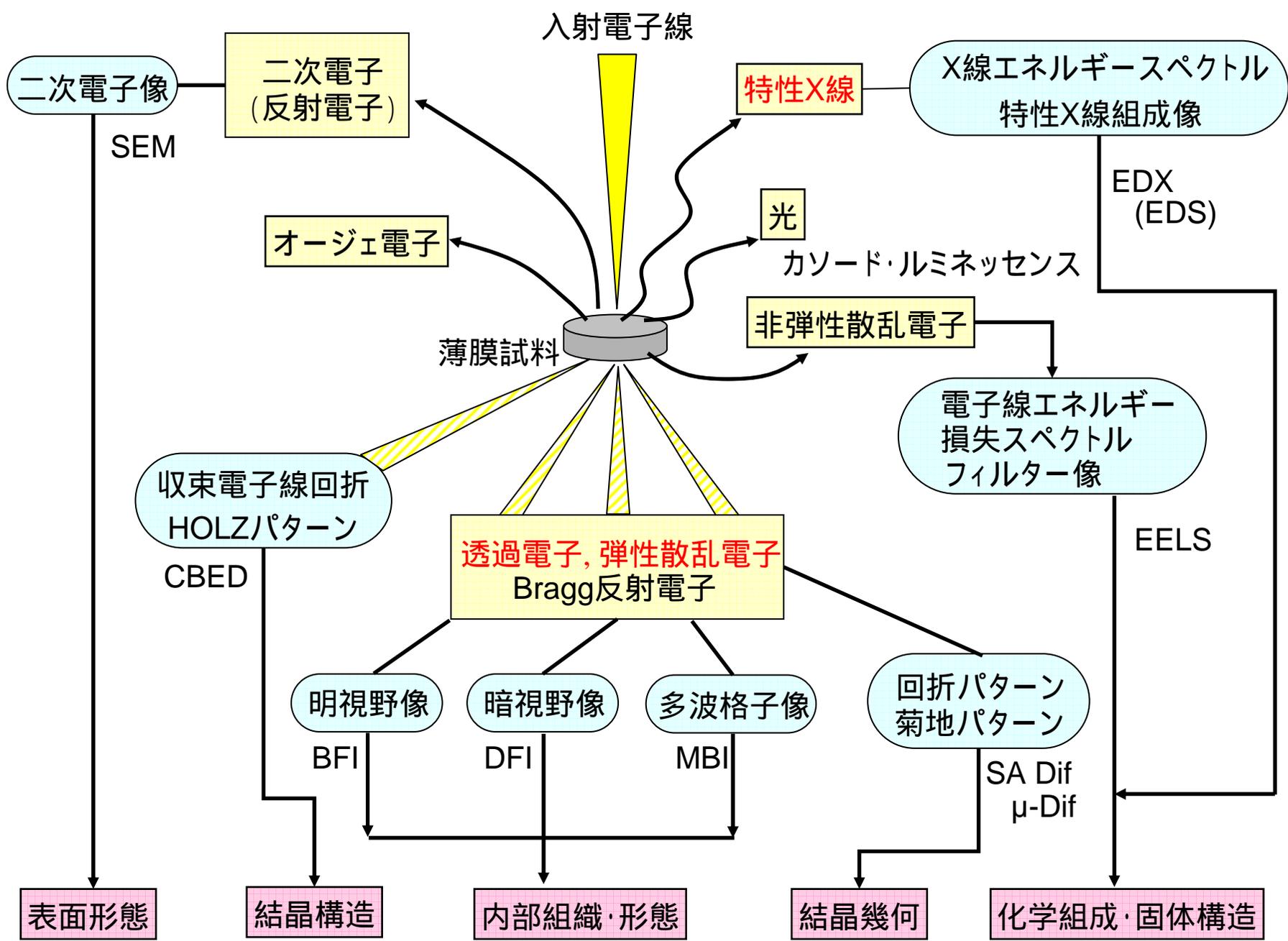
第4回工学体験ラボ

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





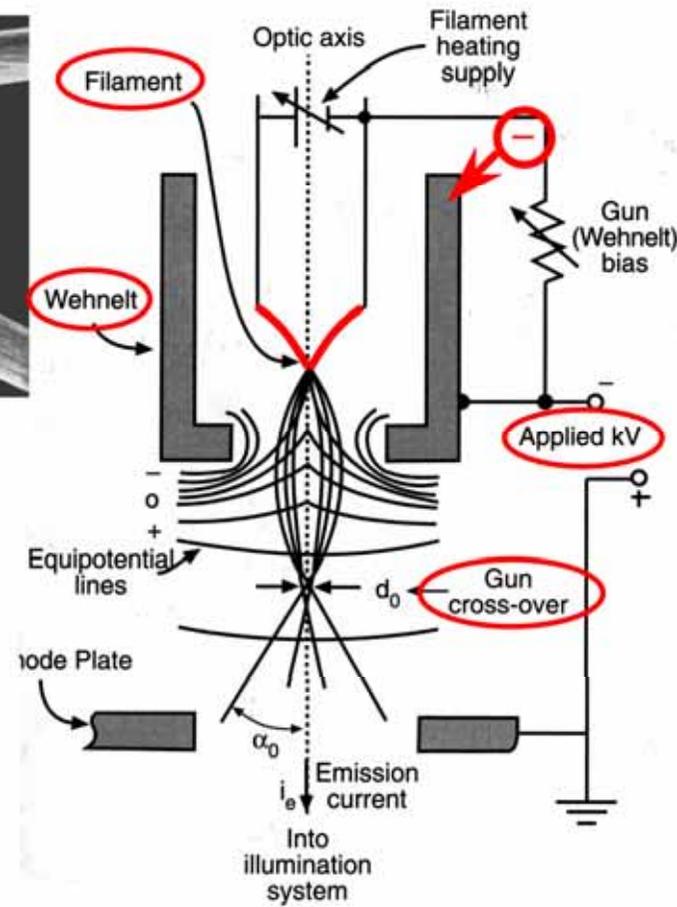
電子銃

- 熱電子型 (T.E)
- 電界放射型 (F.E.)

W-フィラメント

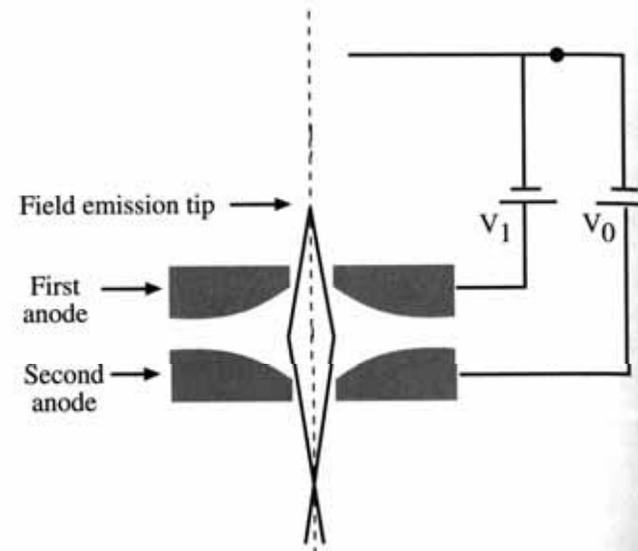
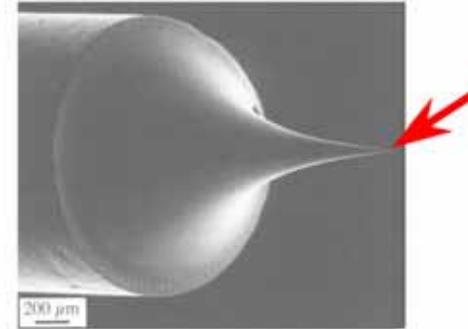


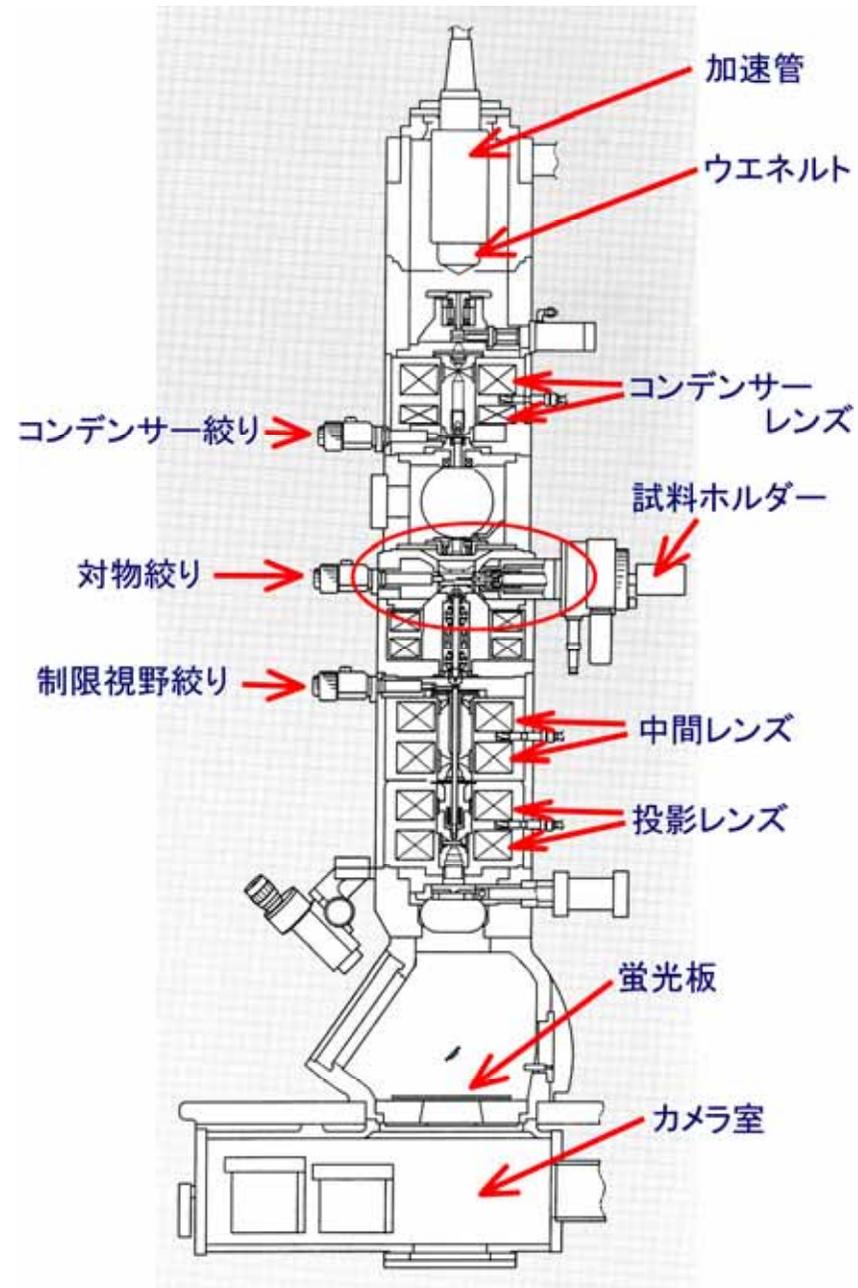
LaB6-フィラメント

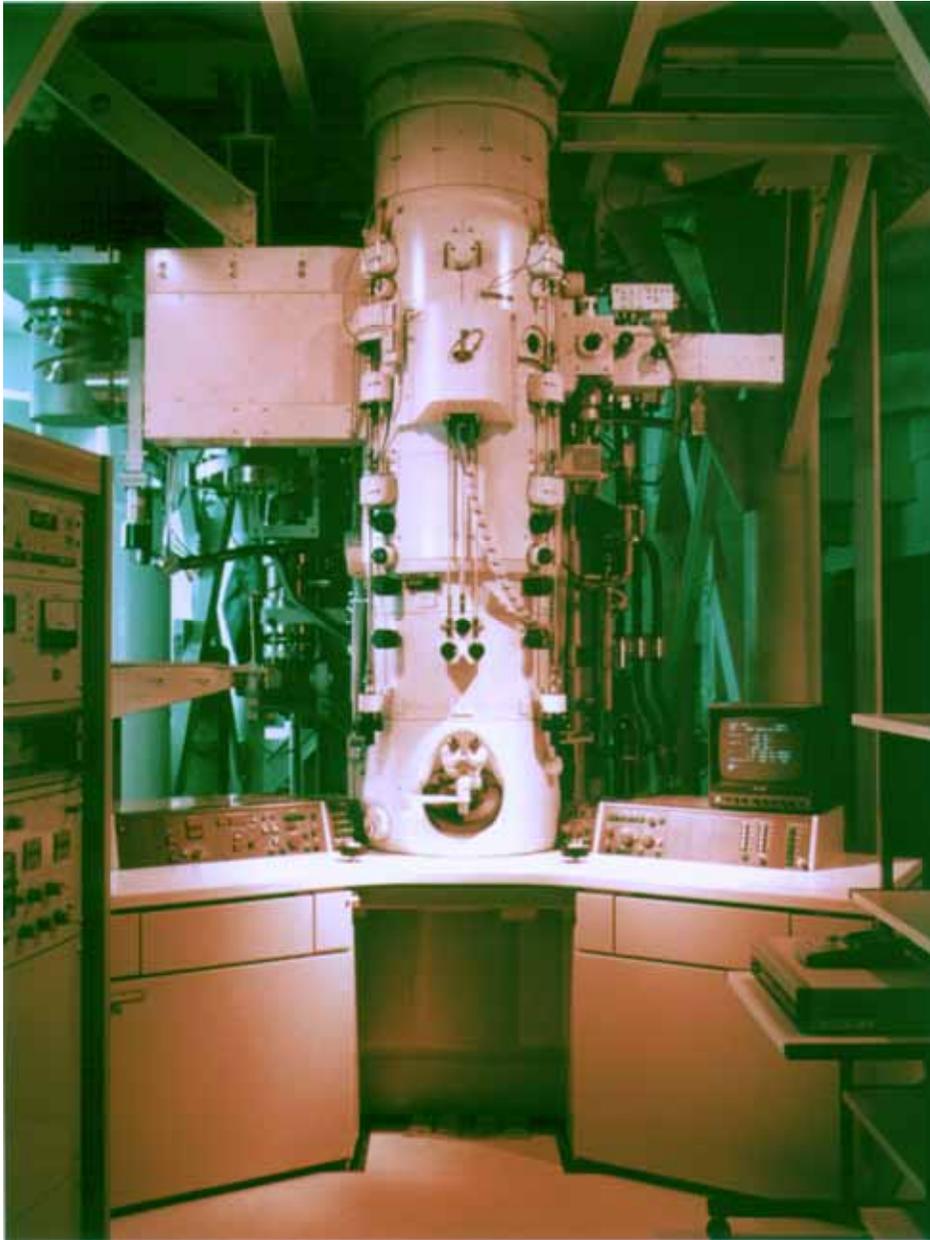


FE-チップ

- ・光源が小さい
- ・輝度が高い
- ・電子線量は少ない







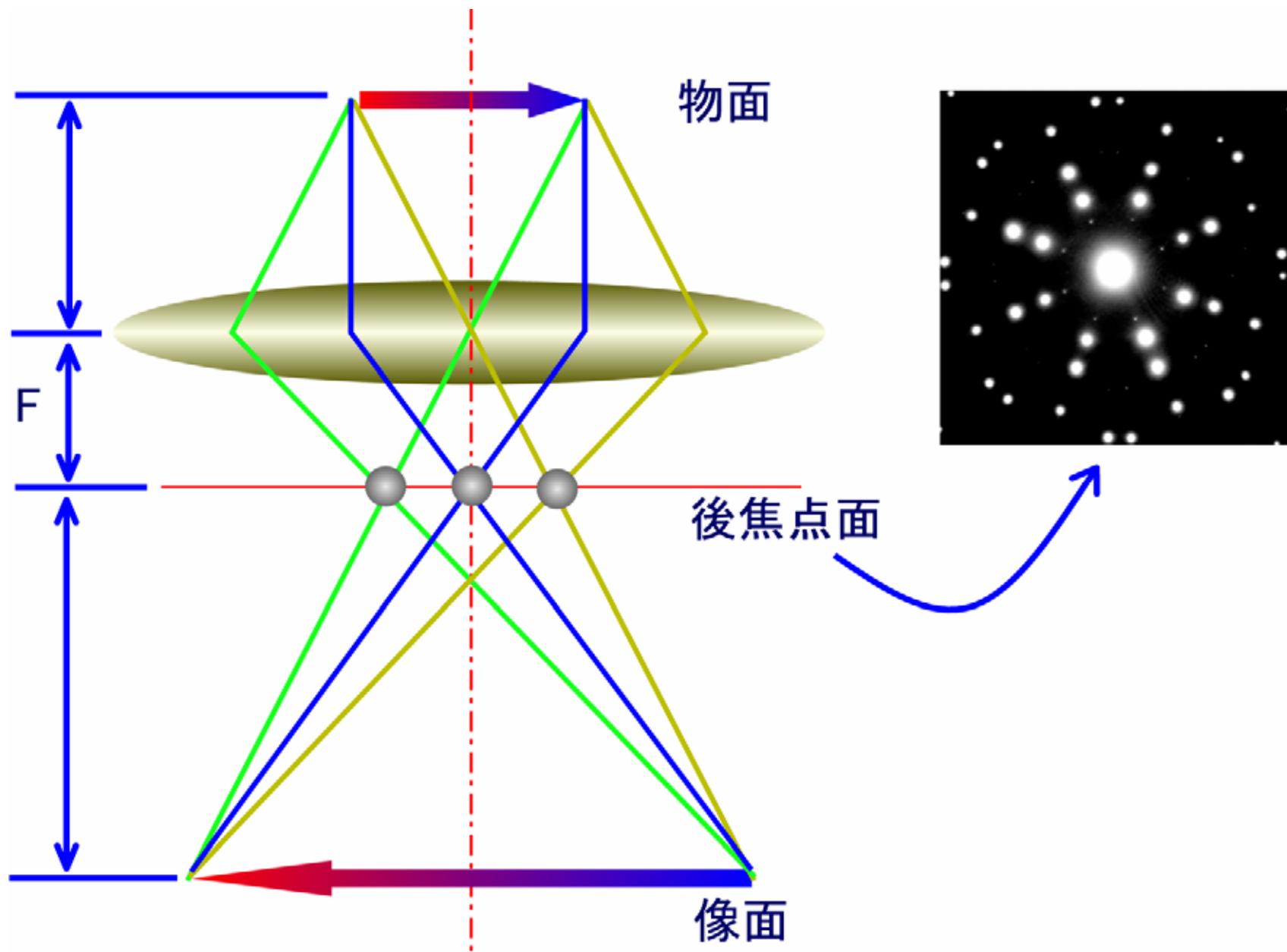
ARM-HVEM

JEM-ARM1250

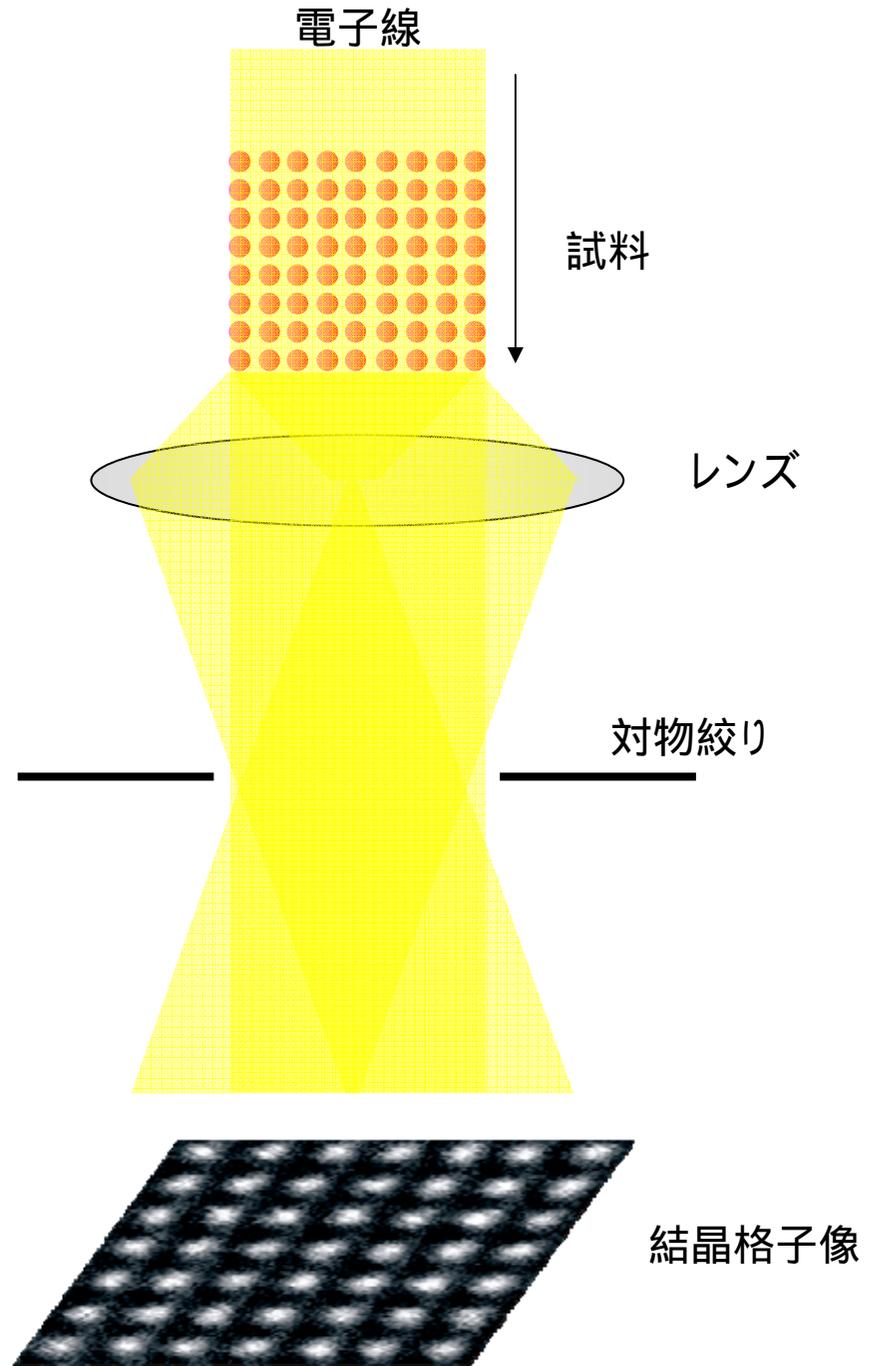
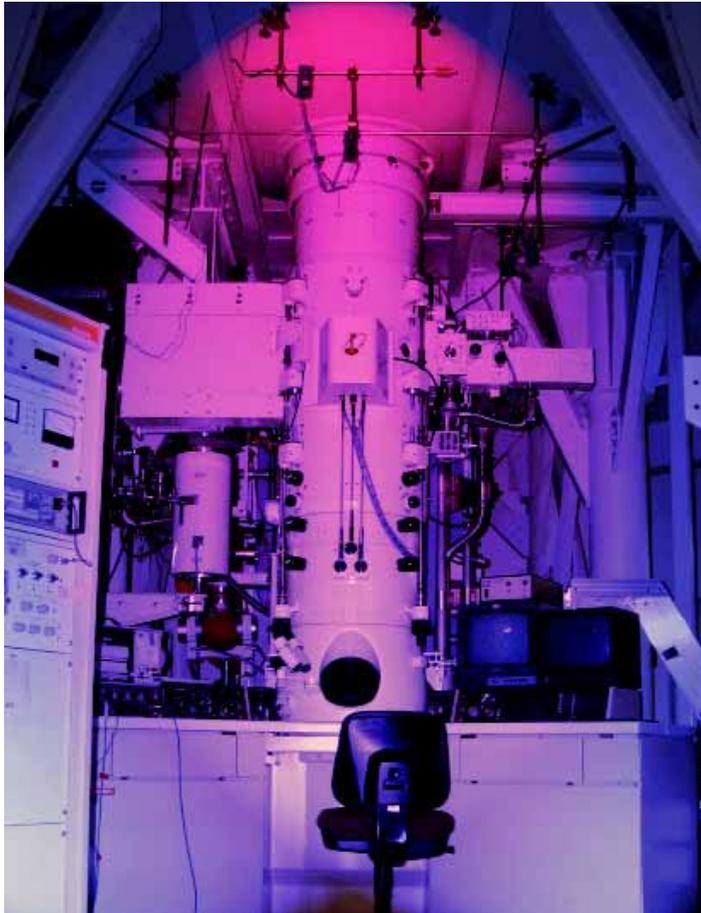
1250kV

Resolution $<0.1\text{nm}$

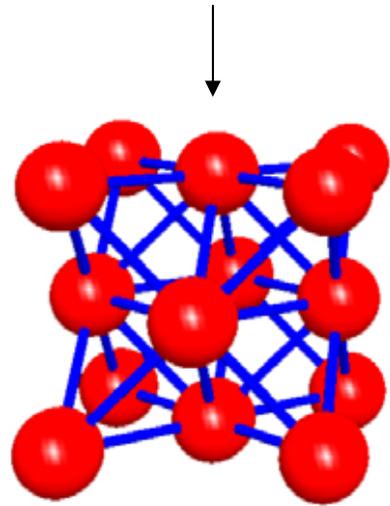
Cs=1.4mm, Cc=2.4mm



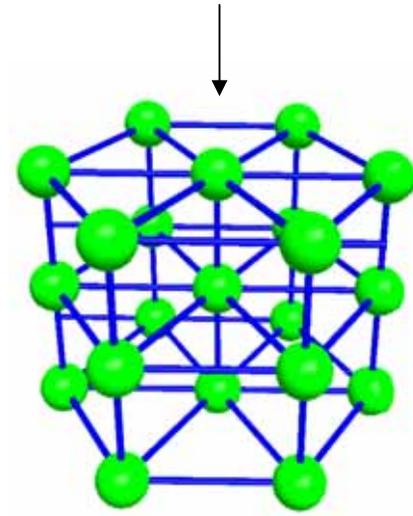
高分解能電子顕微鏡 (HRTEM)



原子構造とHRTEM像

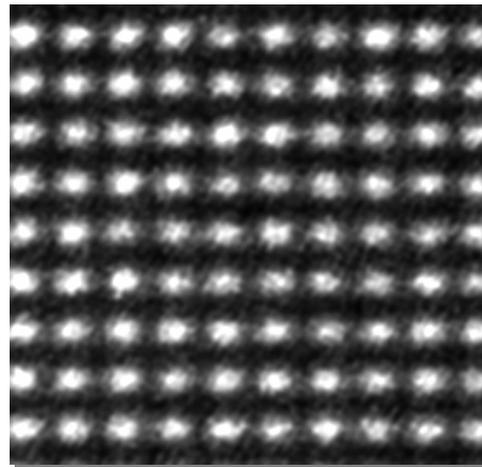


面心立方構造



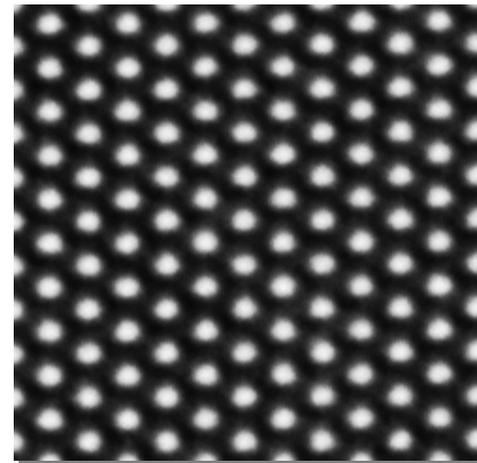
六方最密構造

Al



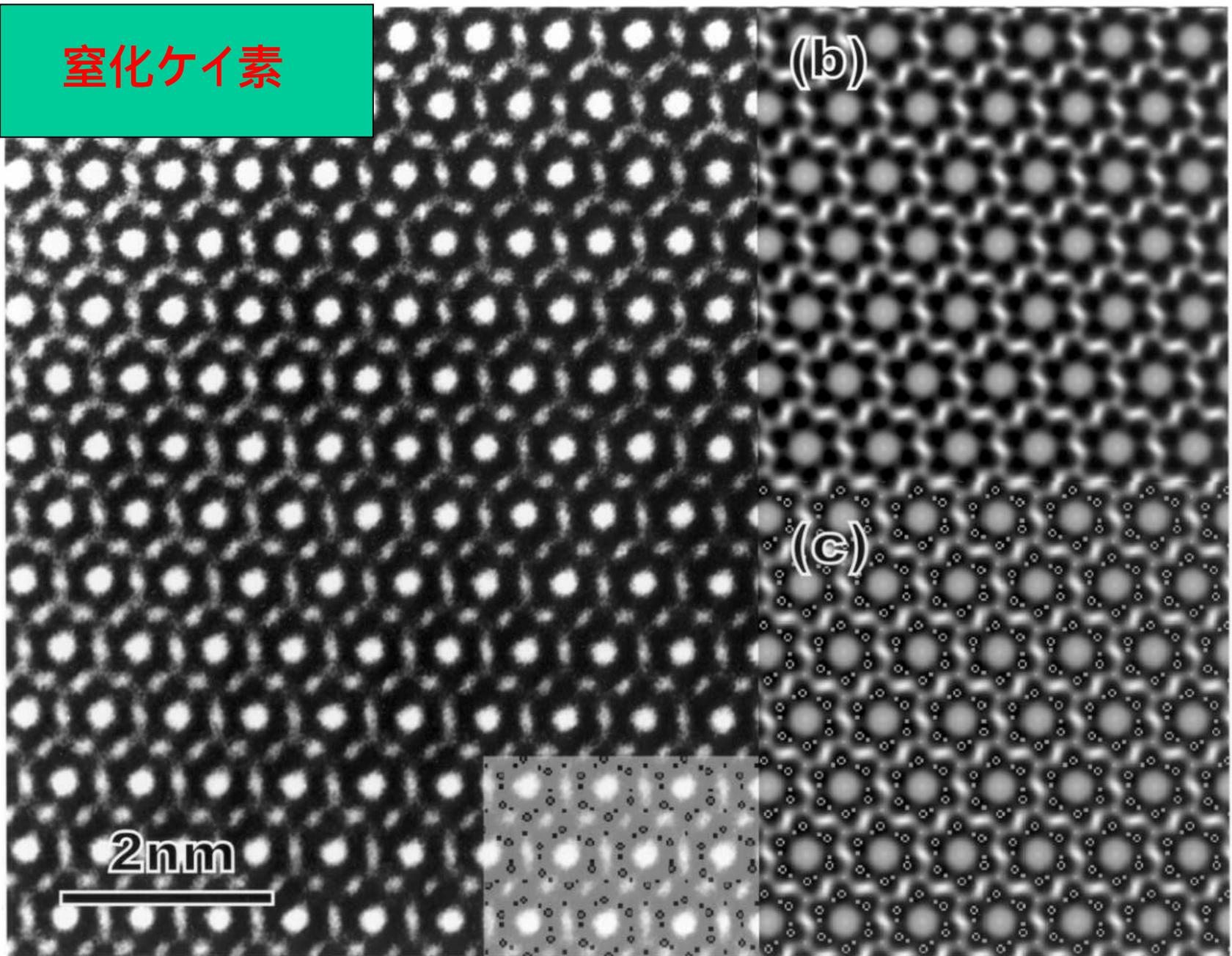
[001]軸入射

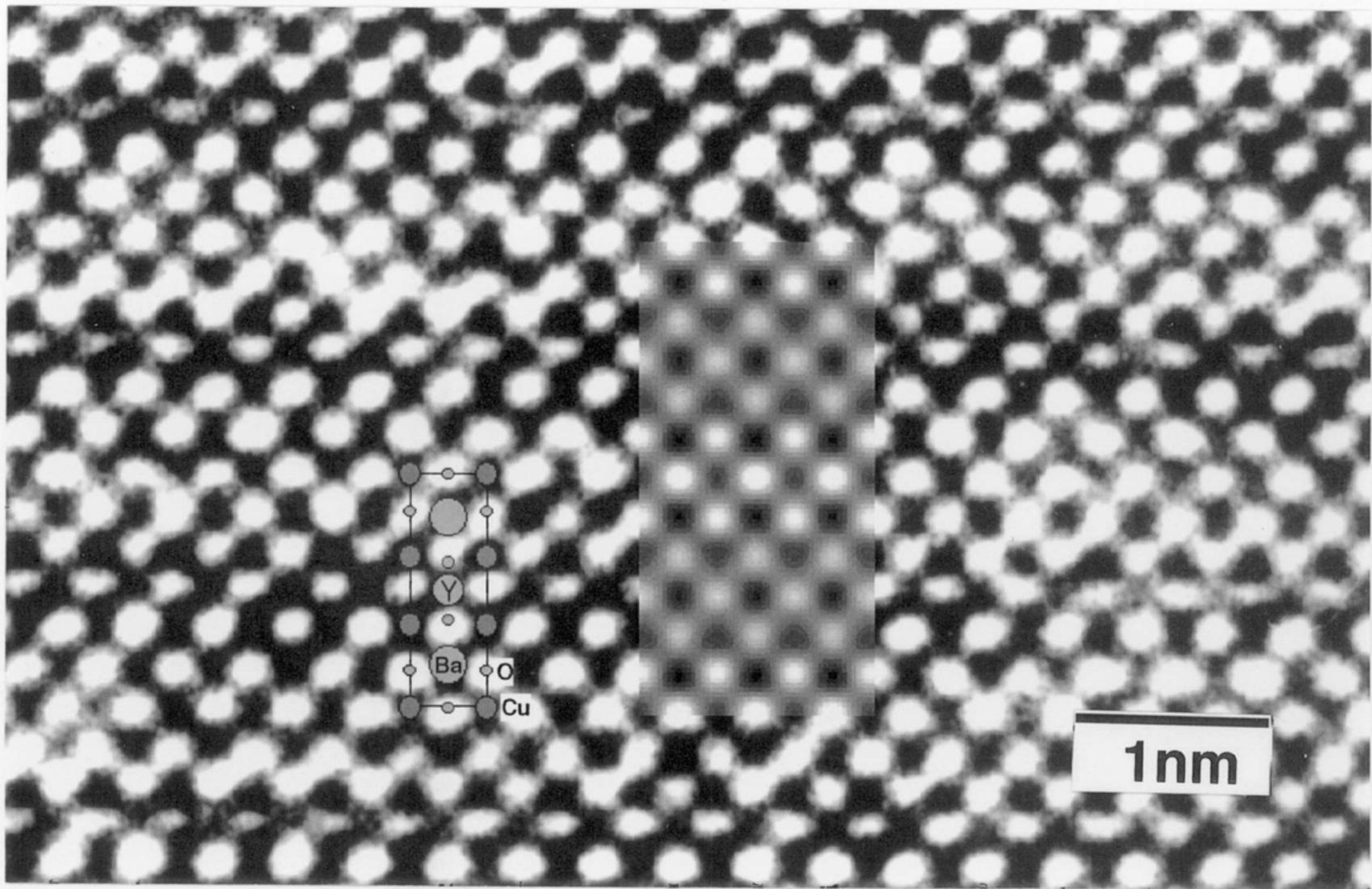
Mg



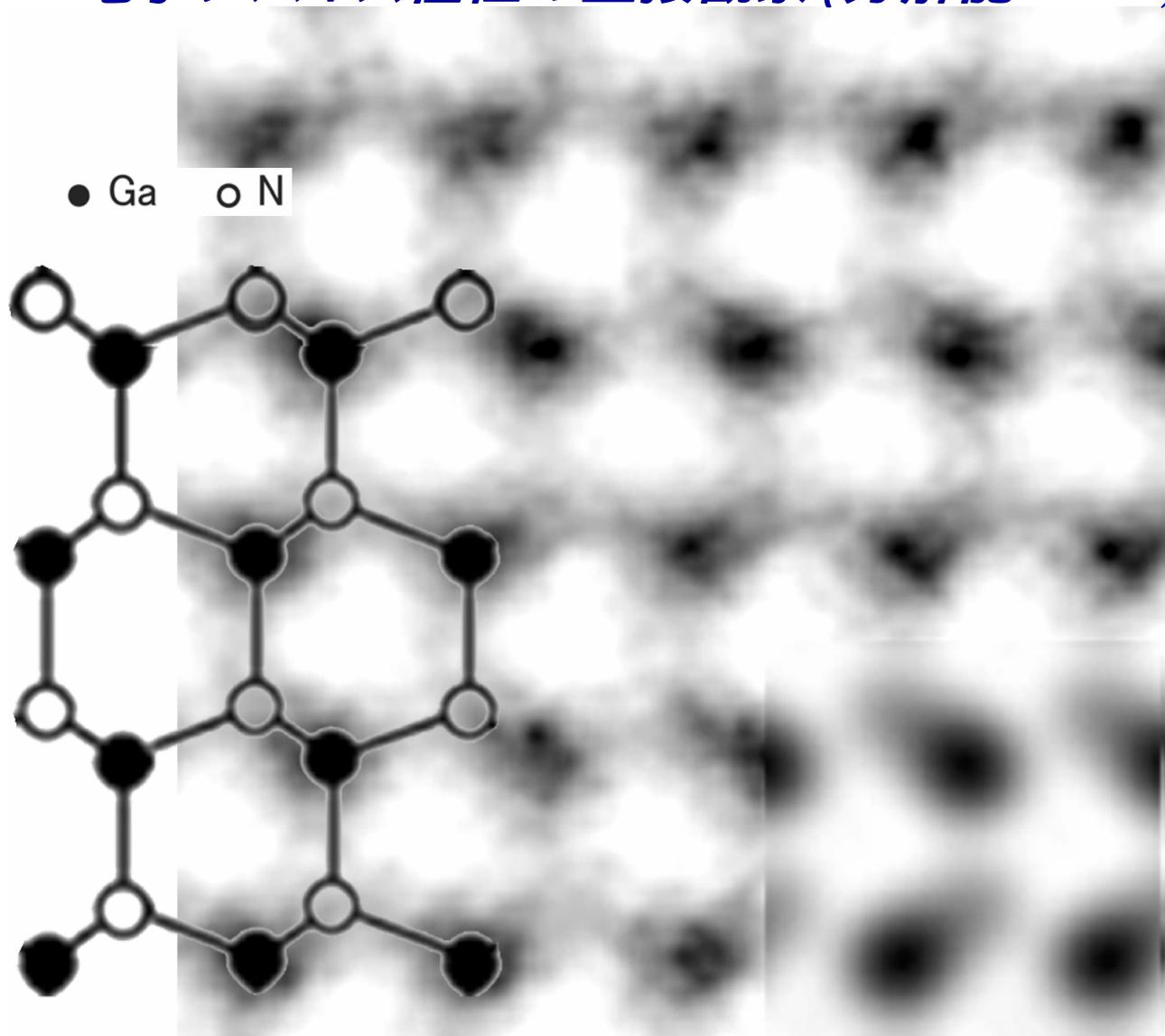
[0001]軸入射

窒化ケイ素





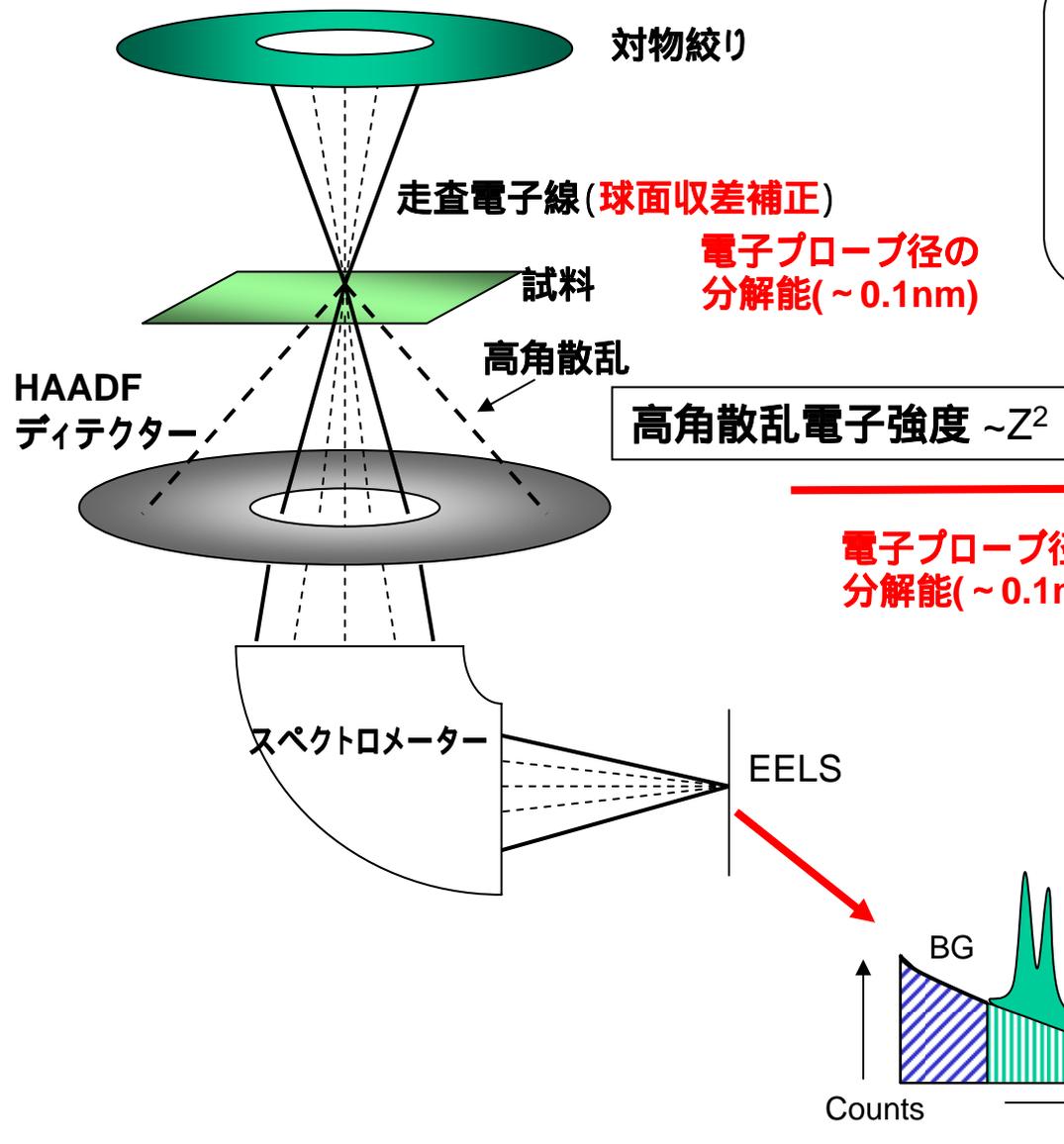
電子デバイス極性の直接観察(分解能0.1nm)(窒化ガリウム)



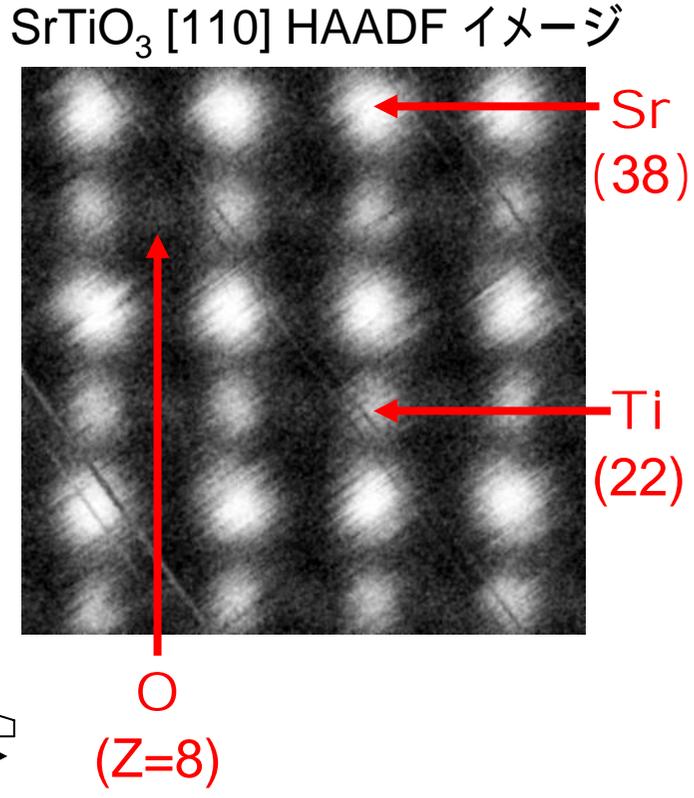
窒素が見える！

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



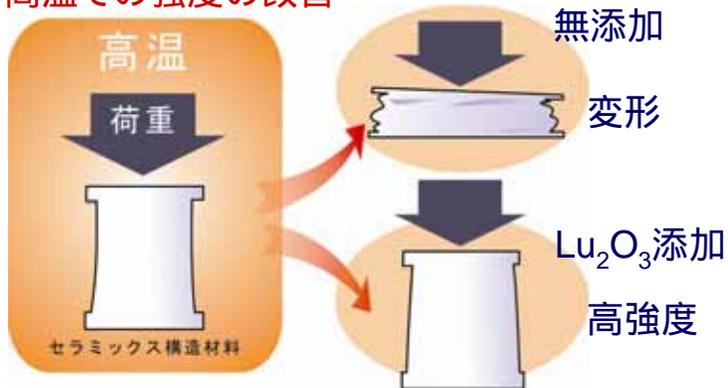
アルミナ (Al₂O₃) セラミックスの例

～ 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

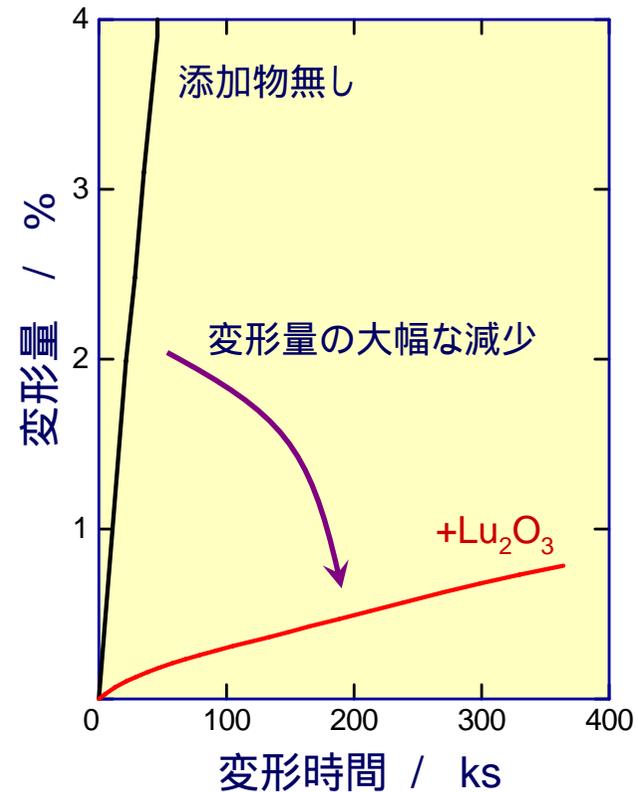


0.05mol%程度の希土類酸化物

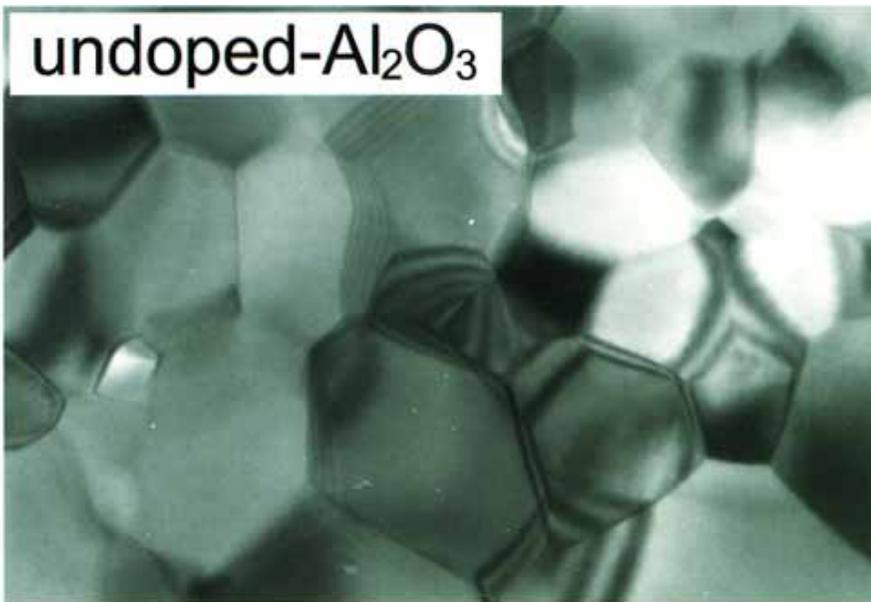


Lu₂O₃添加で高温強度が100倍以上向上

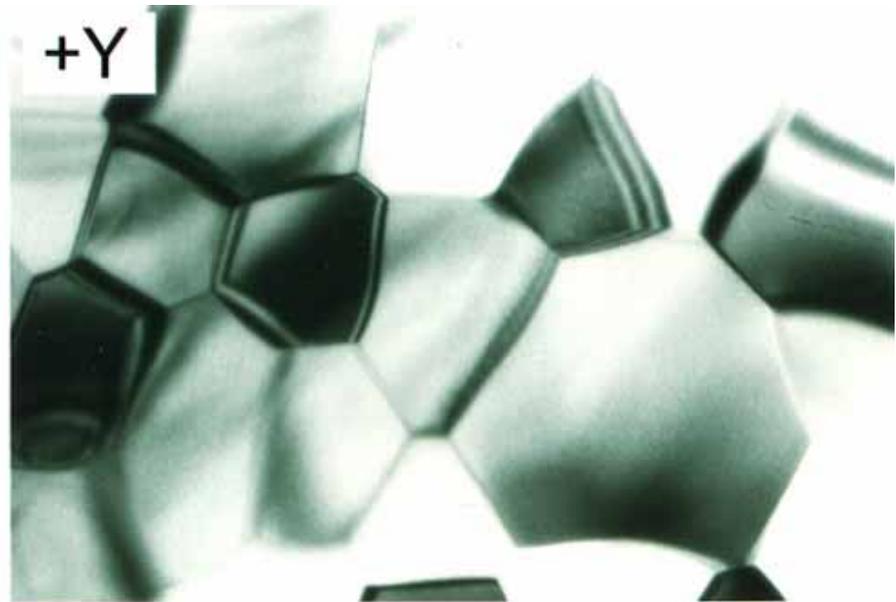
クリープ曲線、1250℃、50MPa



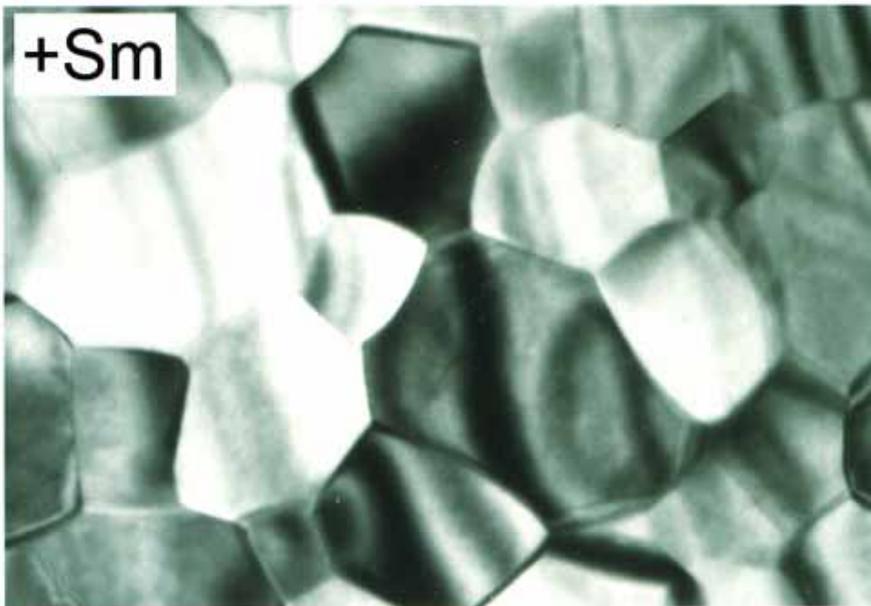
undoped- Al_2O_3



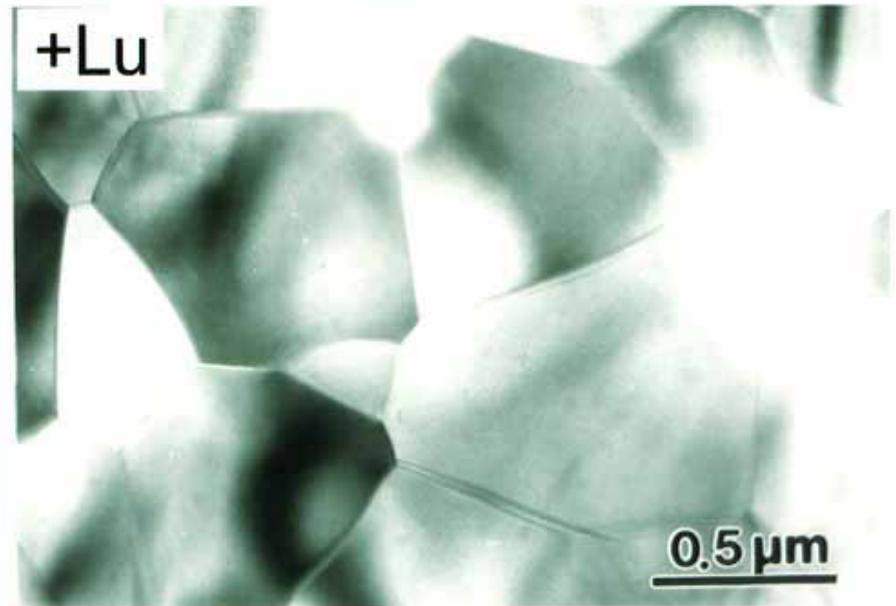
+Y



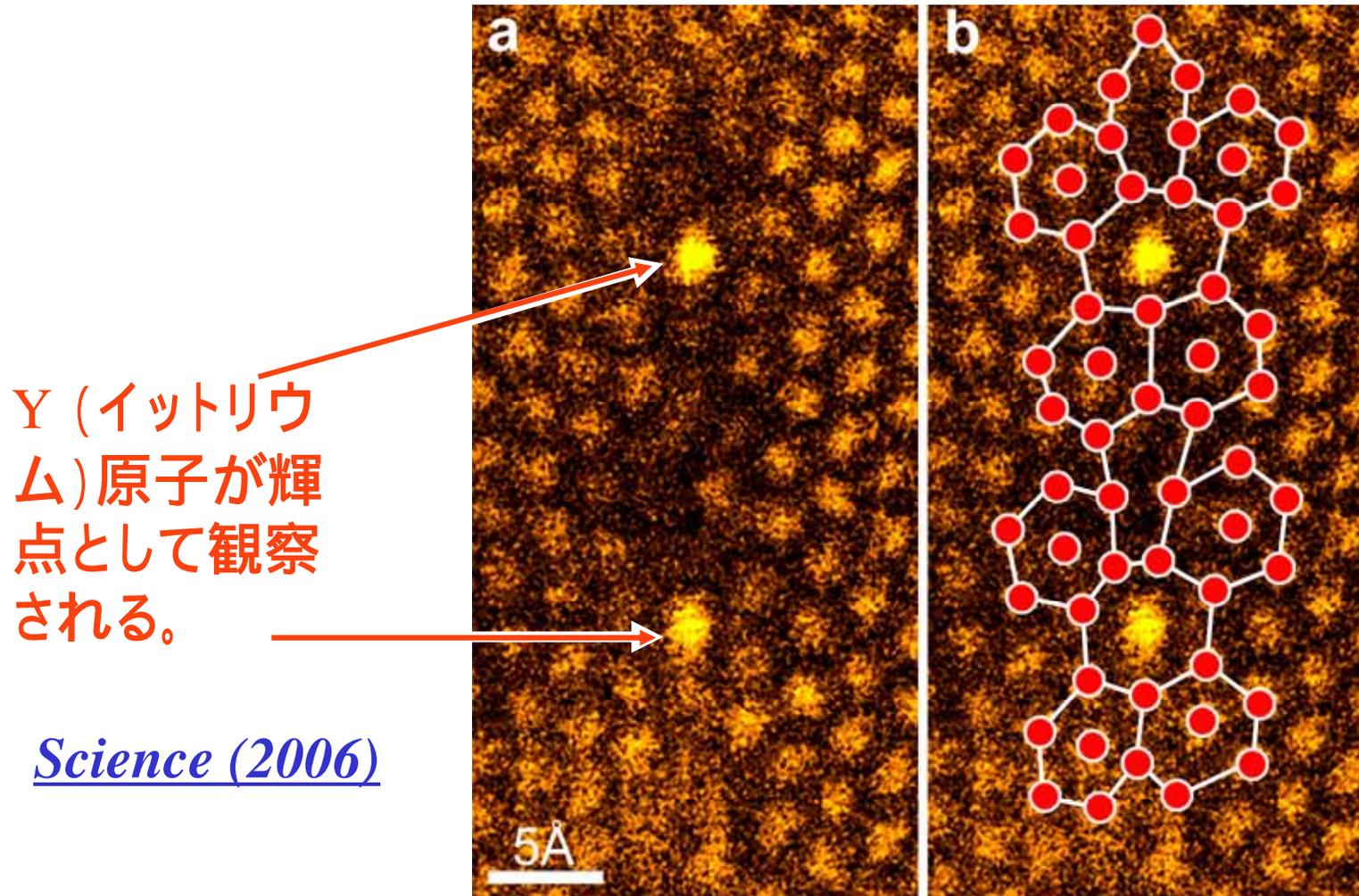
+Sm



+Lu



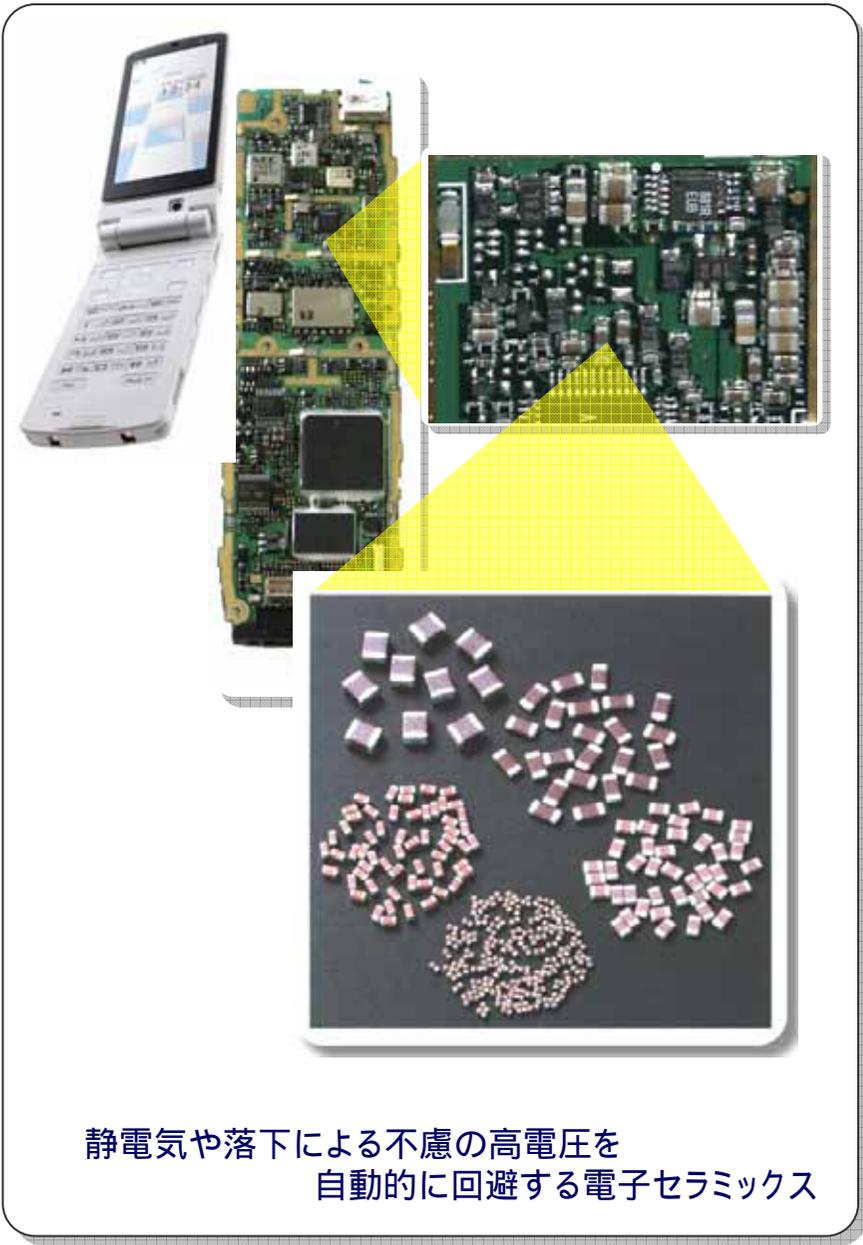
Z-コントラスト (イットリウム添加アルミナ粒界)



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

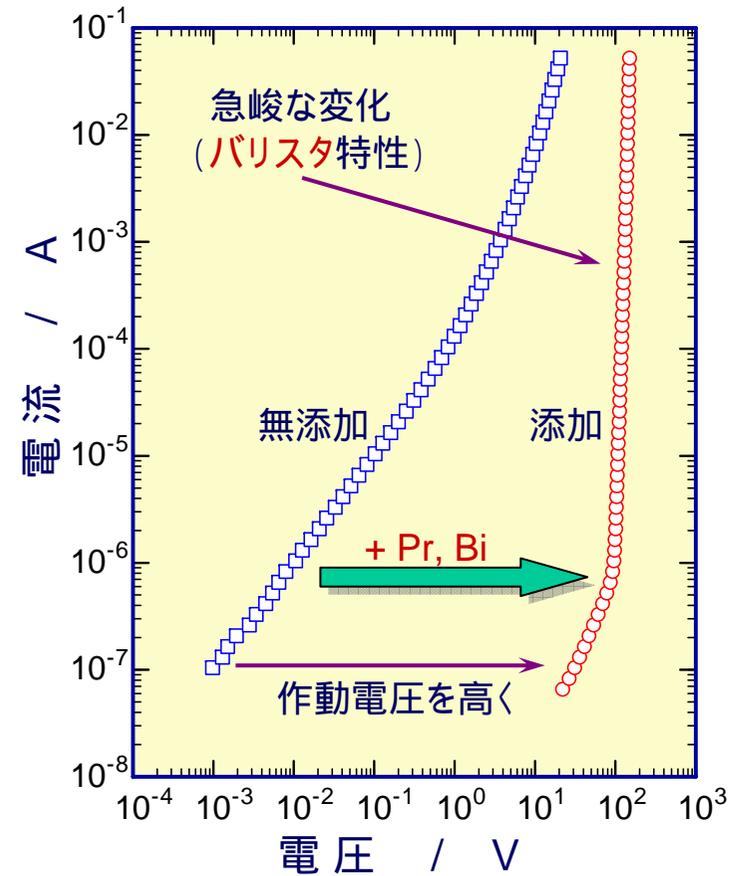
~ 静電気、落下時の衝撃などから電子機器を保護する素子 ~



0.2mol%程度のPr, Biの添加

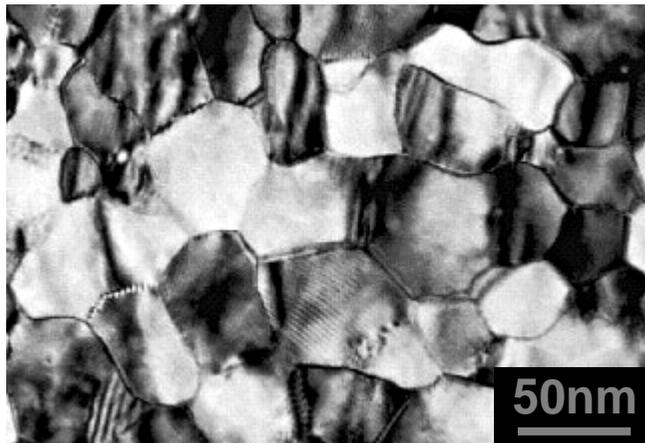
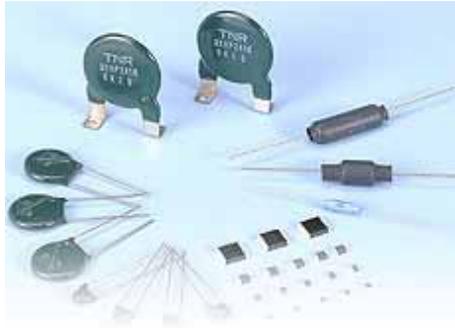


バリスタ特性が10倍以上向上



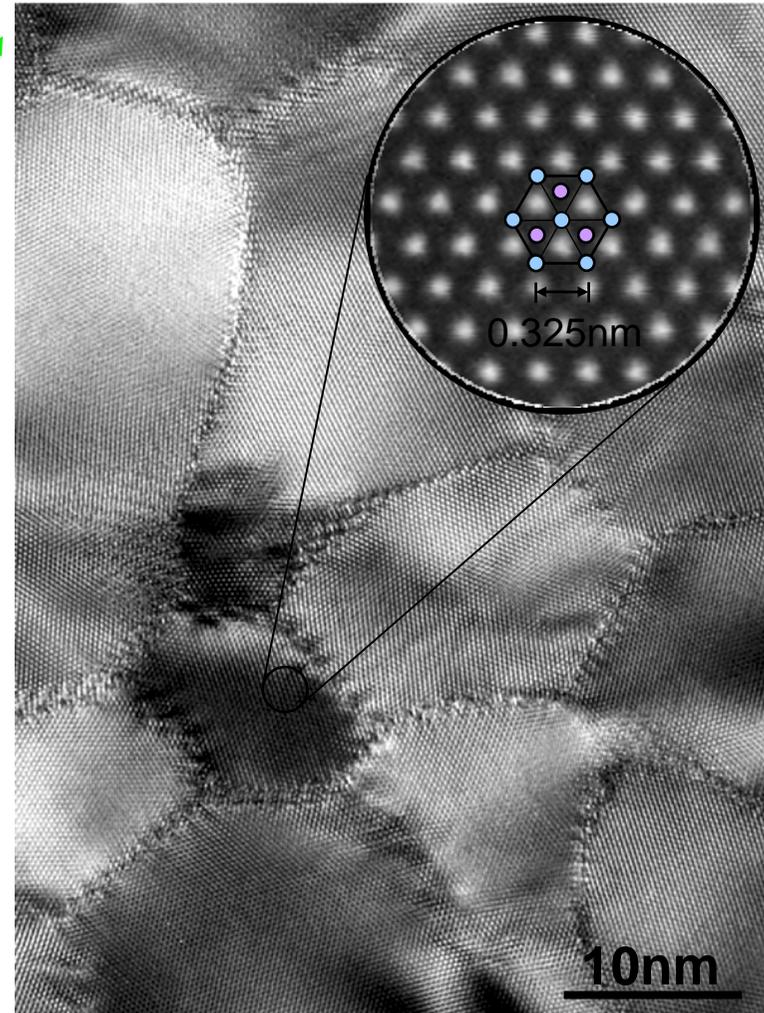
電子デバイスの電気特性向上

ZnOセラミックス

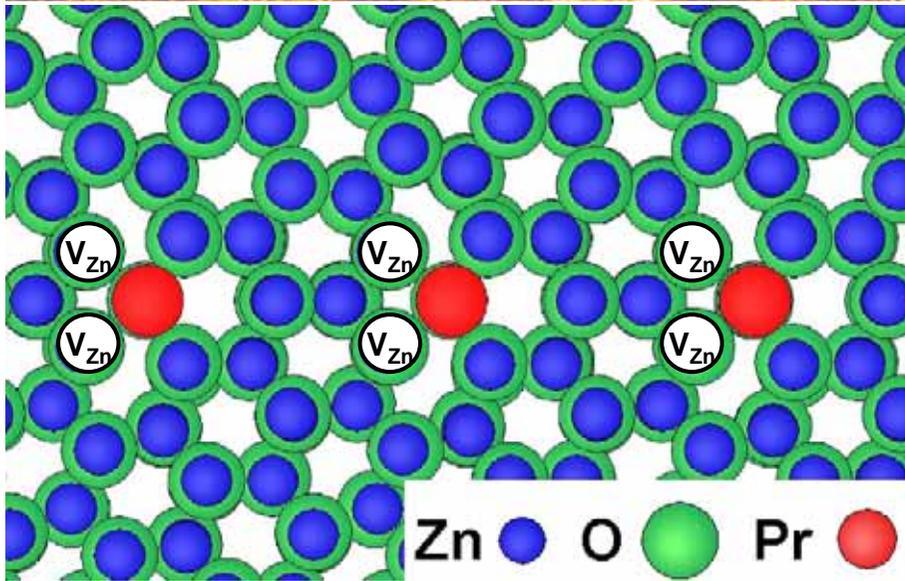
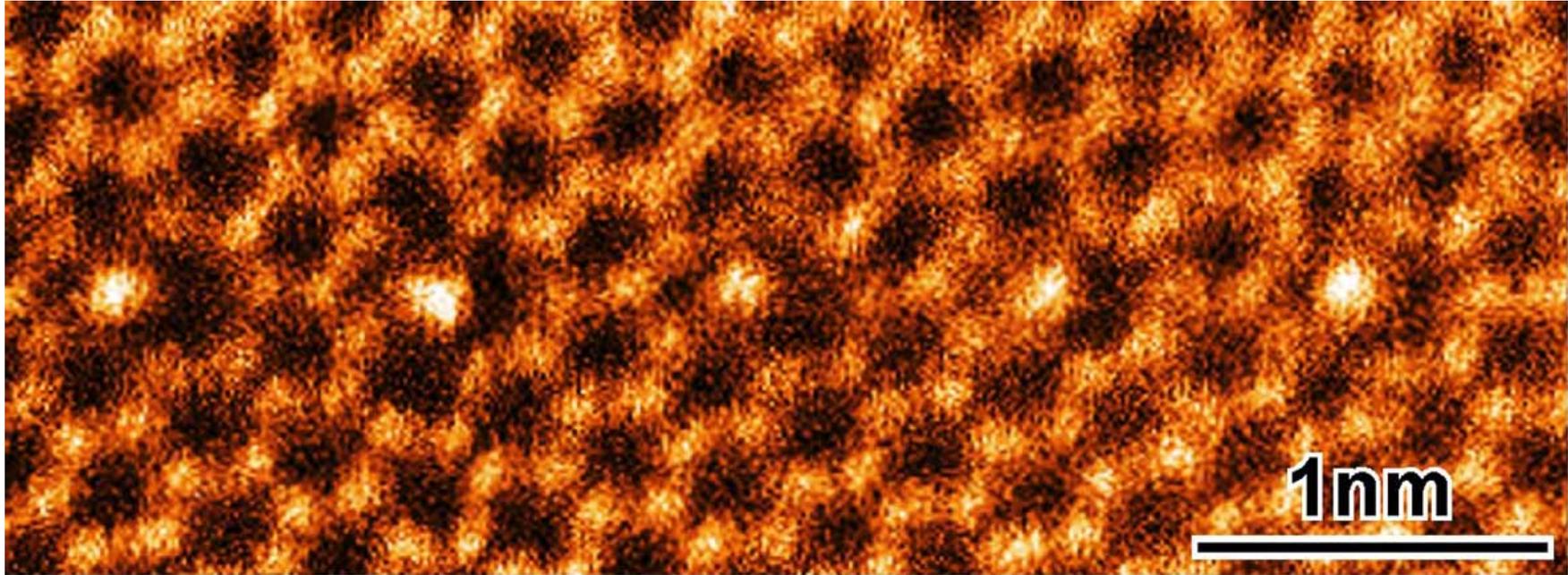


結晶粒界が電気特性を支配

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

