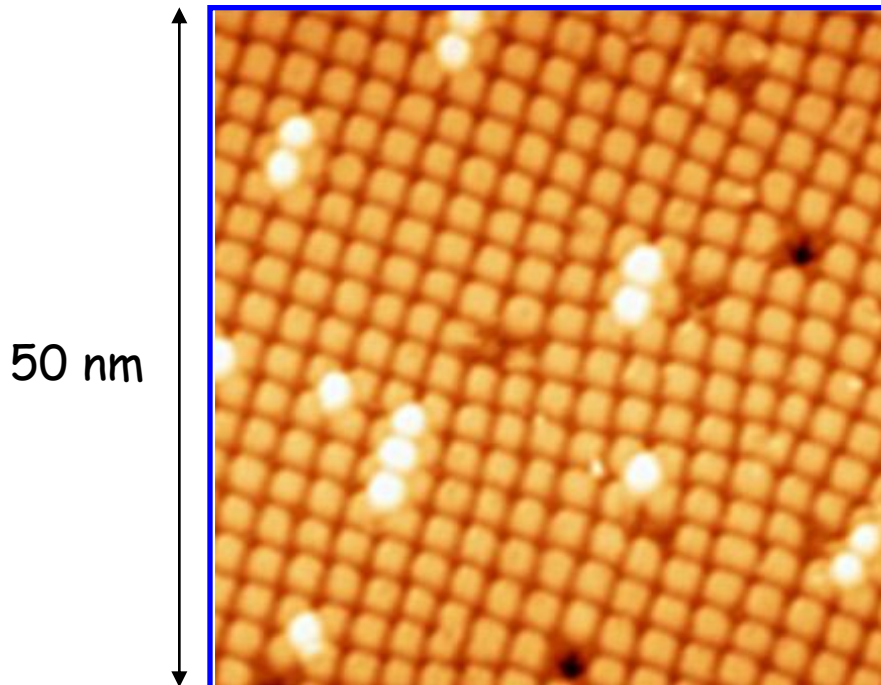


# 表面ナノ構造の作成と磁性

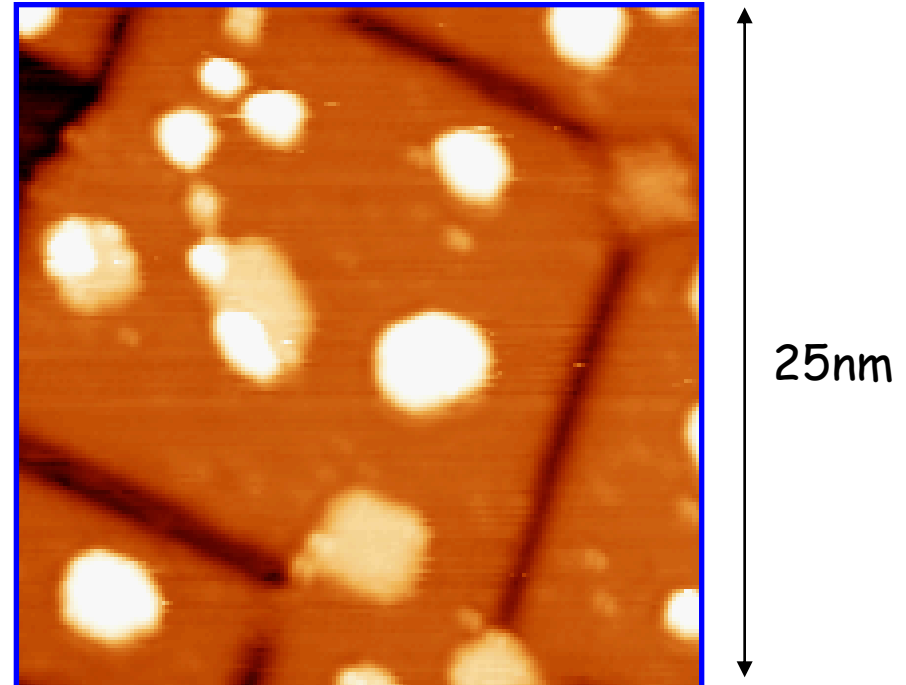
東京大学物性研究所

小森文夫、中辻寛

MnN/Cu(001)



Co/N/Cu(001)



# ナノ磁性体の電子状態

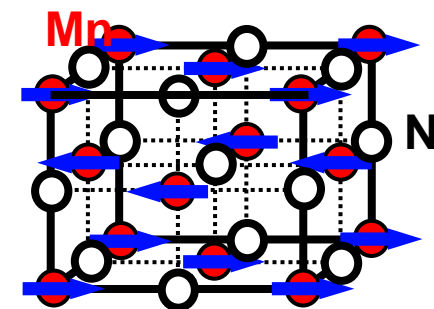
## 1. Cu(001)上のMnNナノドット配列 化合物磁性ナノ構造

\* 磁性への興味 ⇒ MCD, MLD

バルクMnN: 強磁性Mn<sub>4</sub>N、反強磁性MnN

1層では? 界面? ナノ構造では?

+ GaN 磁性半導体

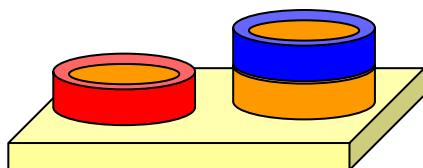


\* 原子構造と、成長のメカニズム ⇒ STM, XPS

## 2. 3d遷移金属磁性体のサイズ効果

N/Cu(001)上のCoナノドット 急峻な界面

3dの配位数が低下 ⇒



3dバンド幅の減少

(電子相関効果の増大

⇒ XES

⇒ XAS )

# 共同研究者

MnN/Cu(001)

東大物性研

XiangDong Liu (**STM**)、Bin Lu (**XPS**)、

飯盛拓嗣、富松宏太、柳生数馬、橋本陽一郎、小森文夫

分子研 (**XMCD @BL4B**) 高木康多、中川剛志、横山利彦

**KEK-PF (XAS /MLD @BL7A)** 雨宮健太

Co/N/Cu(001)

東大物性研

飯盛拓嗣、関場大一郎 (**XPS**)、土肥俊介 (**STM**)、柳生数馬、

高木康多、大野真也、宮岡秀治、山田正理、富松宏太、矢治光一郎、

小森文夫

吉本芳英 (**第一原理計算**)

東大理 (**XAS @BL7A, 11A**) 雨宮健太、松村大樹、太田俊明

理研/SPring-8 (**XES @BL27SU**)

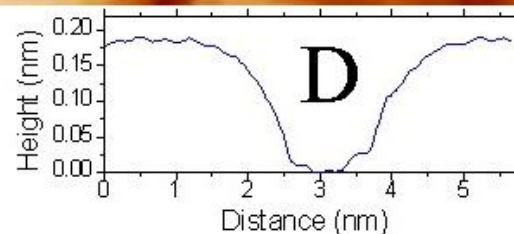
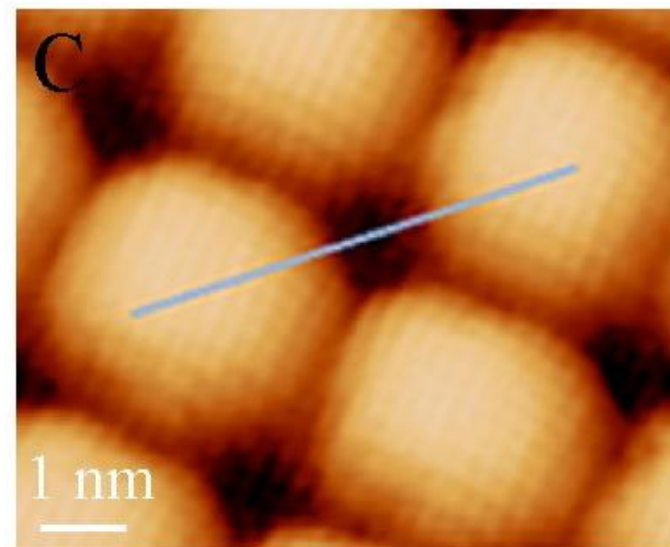
高木康多、原田慈久、徳島高、竹内智之、高田恭孝、

辛埴、石川哲也

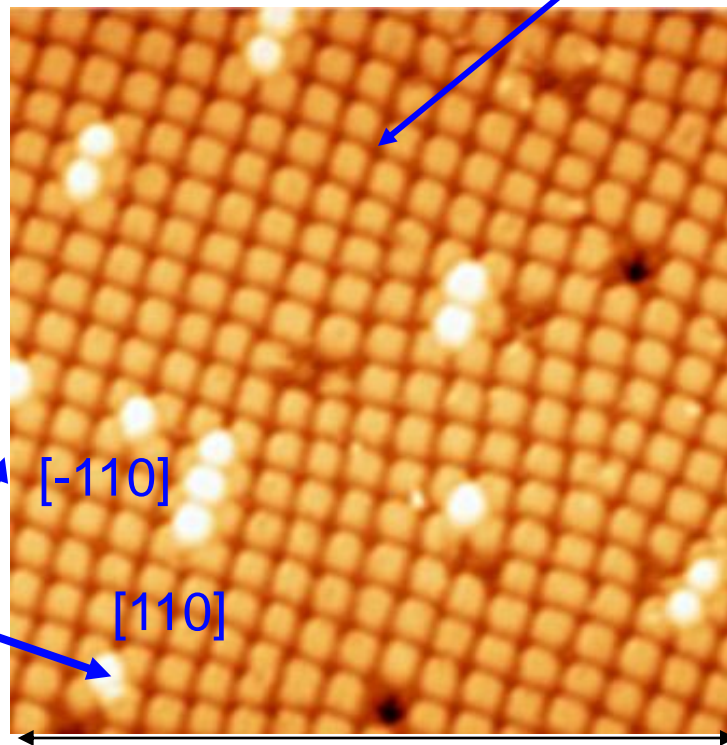
# 作成手順と超格子構造

1. 室温にてMn蒸着:  $\sim 1\text{ML}/\text{clean Cu}(001)$
2.  $\text{N}^+$  (30 eV)
3. 600 Kまで、数十分かけてアニール

\*  $3.5 \times 3.5 \text{ nm}^2$ , 1 nmのトレンチ



trenchにも  $1 \times 1$  構造

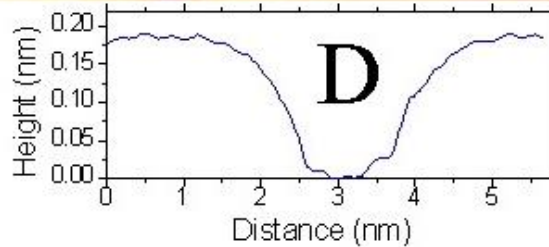
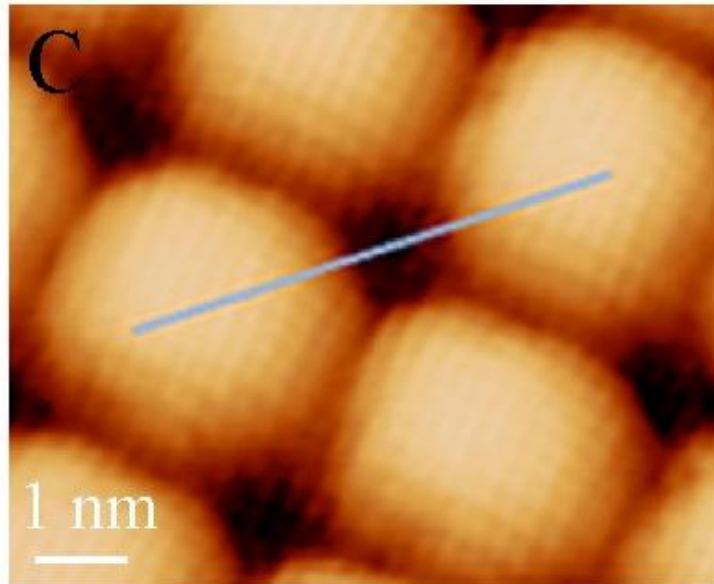


50 nm

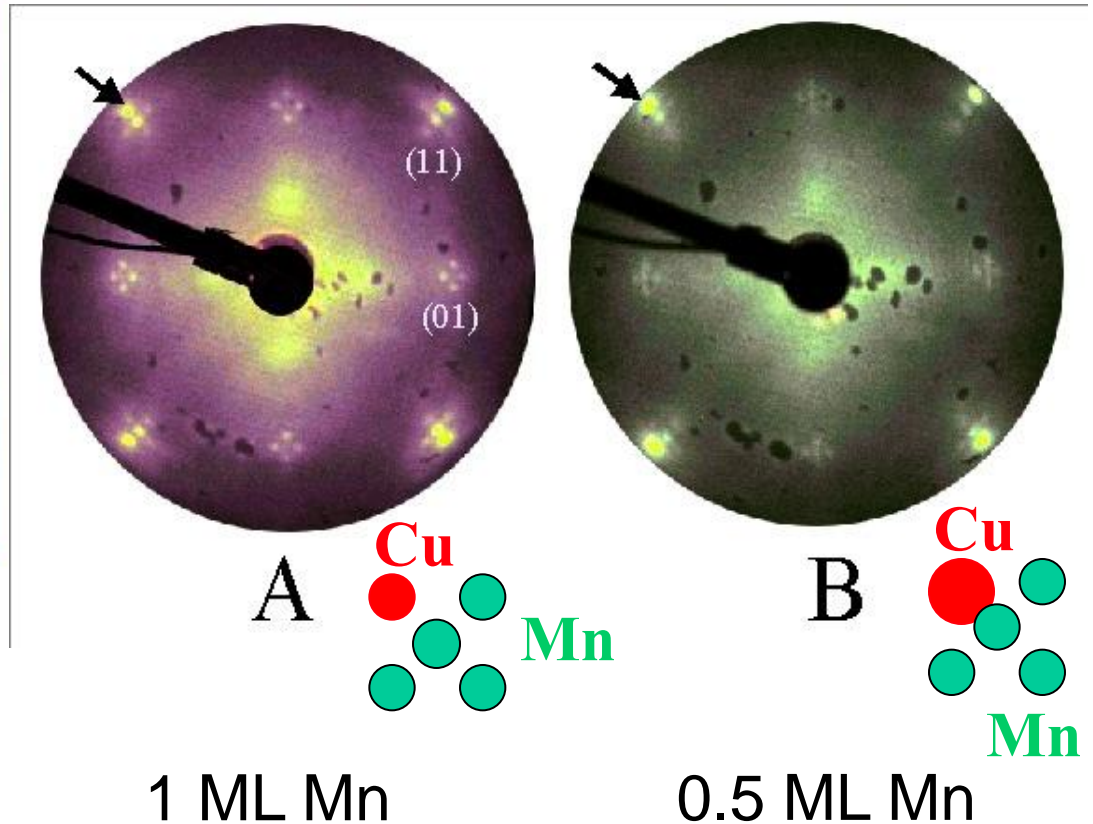
X.-D. Liu *et al.*, PRL 98 (2007) 066103.

# STM原子像とLEEDパターン

trenchにも  $1 \times 1$ 構造



13 倍周期, 外側のスポットは  $1 \times 1$  Cu



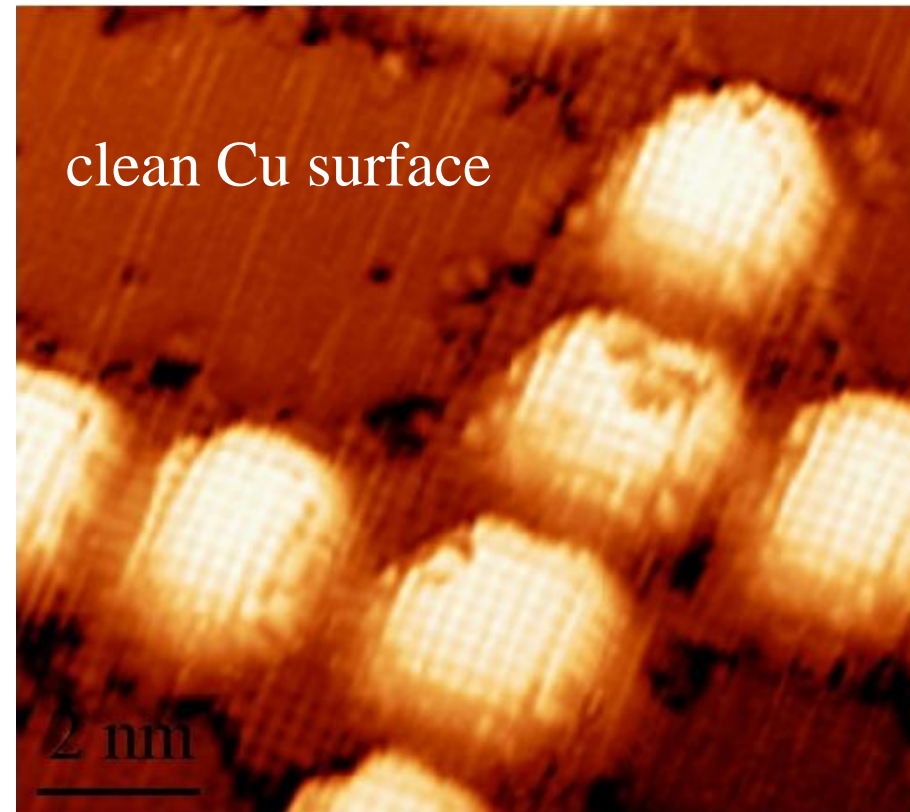
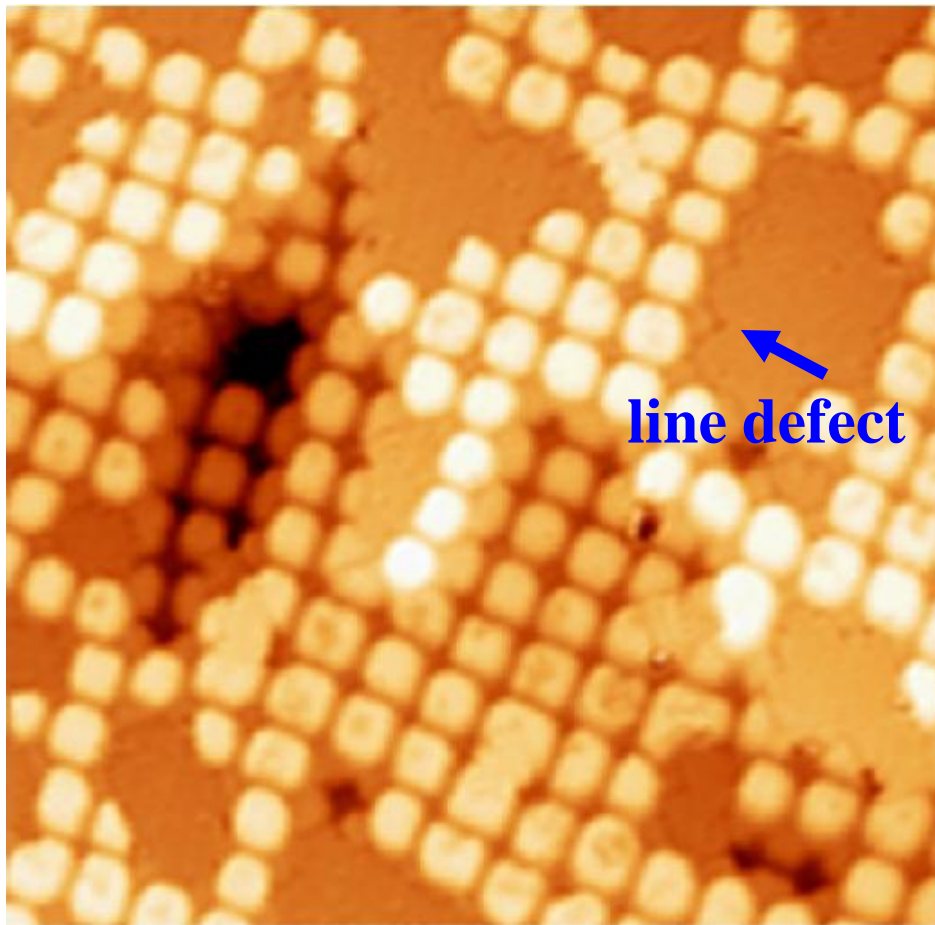
表面の格子 ( $a = 0.39 \text{ nm}$ ) > Cuの格子 ( $a = 0.36 \text{ nm}$ )



# At smaller coverage ...

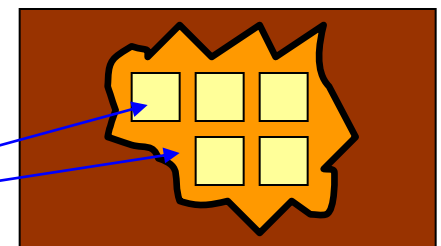
- \* Assembled islands
- \* Line defects adjacent to islands

- \* 1x1 square lattice on islands
- \* 1x1 square lattice near islands
- \* Defects at the boundary



clean Cu

1x1 MnN



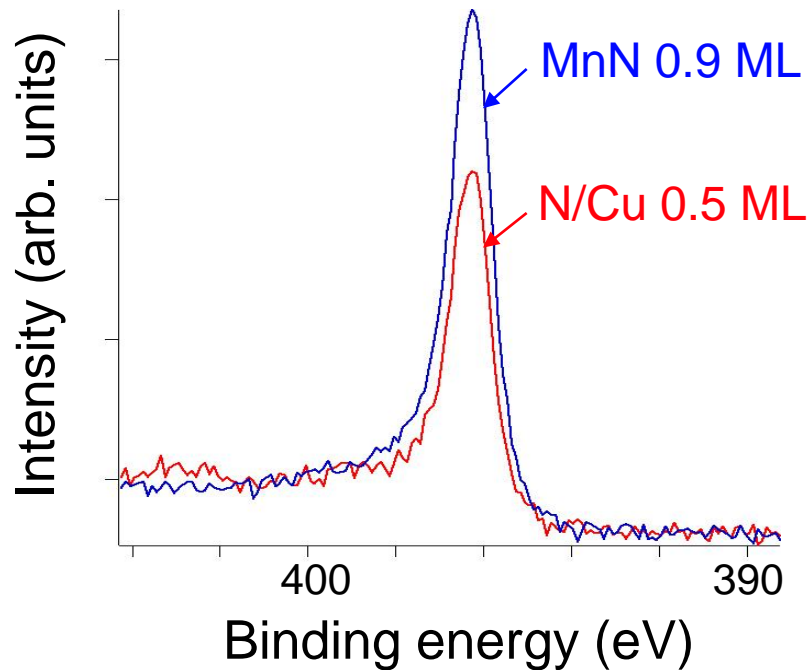
# 窒化物の組成

N(N 1s XPS) : N-飽和 Cu(001)-c(2 × 2)N = 0.5 ML

N/ 0.5 ML Mn/ Cu(001) ~ 0.5 ML

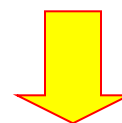
N/ 0.9 ML Mn/ Cu(001) ~ 0.9 ML

N/ 1.5 ML Mn/ Cu(001) ~ 0.9 ML

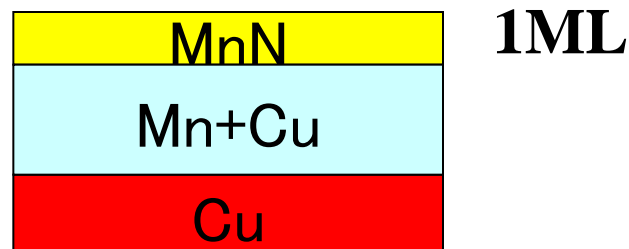


\* Mn:N = 1:1

\* 0.9 ML < Mn < 5 ML では、  
同じ超構造



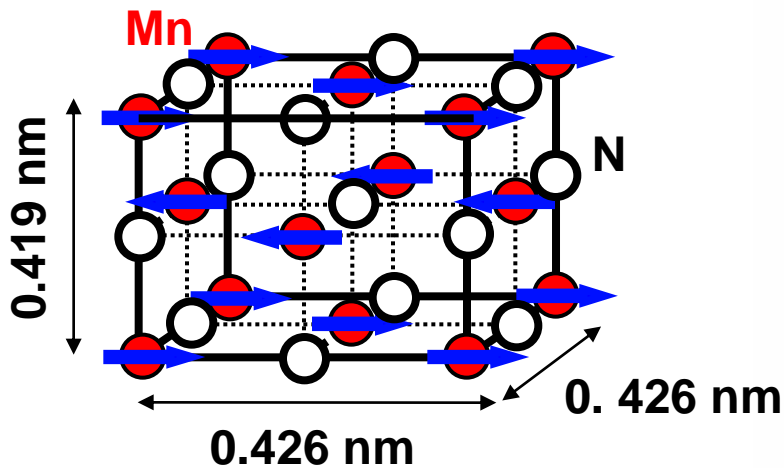
常に1層のMnNができる



# 超格子構造の原子配列

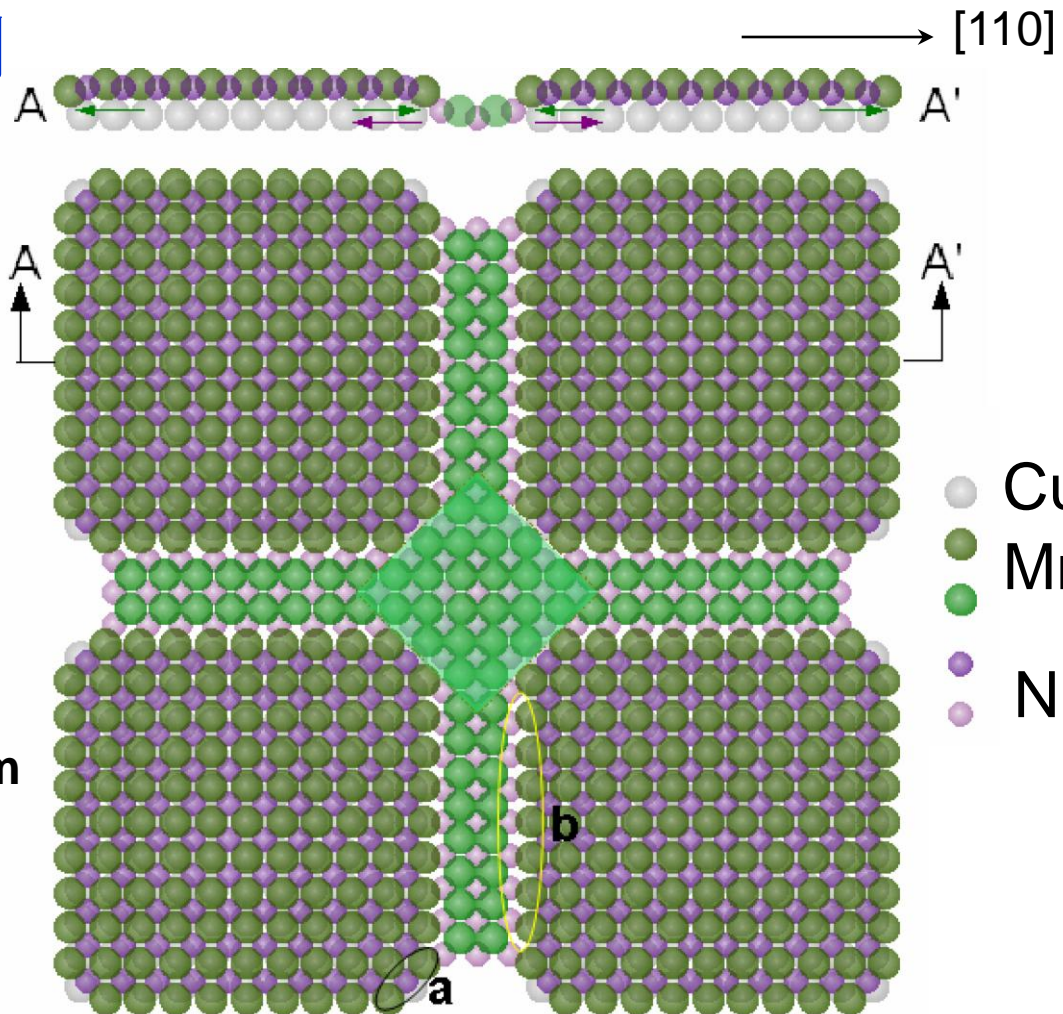
## Bulk MnN

K. Suzuki *et al.*, JPSJ 70 (2001) 1084.



NaCl-type  
anti-ferromagnetic  
( $T_N = 650$  K)

0.39 nm (MnN)  $\times$  13  
~ 0.36 nm (Cu)  $\times$  14



- \* NaCl-type (面内)
- \* 正方格子状に配列
- \* 13個のMnN単位胞 / 14個のCu単位胞

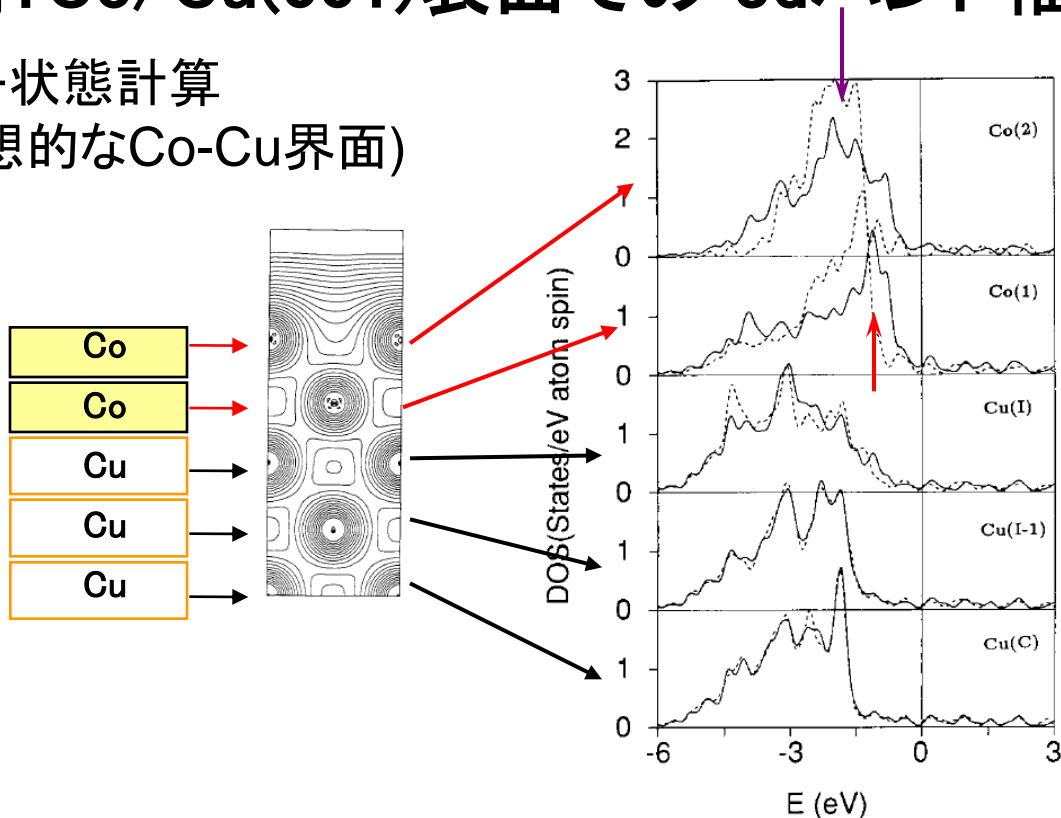
B. Lu *et al.*, PRB 76 (2007) 245433.



# Co薄膜の3dバンド幅

## 理論: Co/Cu(001)表面での 3dバンド幅の減少

電子状態計算  
(理想的なCo-Cu界面)



2層目のCo

1層目のCo

↓  
幅が狭く、  
高エネルギー側

J.J. de Miguel *et al.* J. Magn. Magn. Mater. **116** 202 (1992).

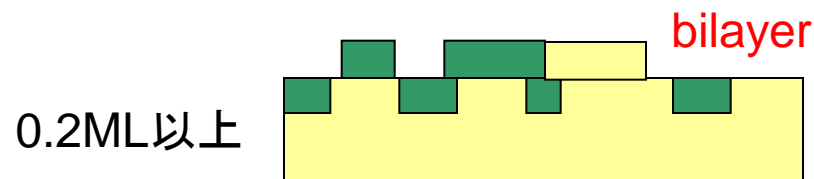
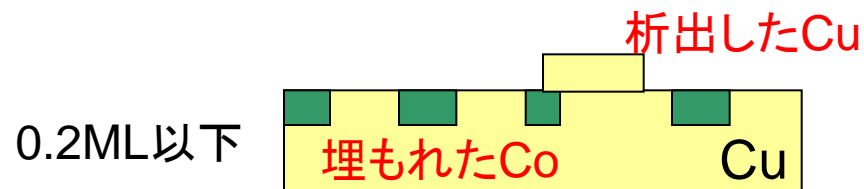
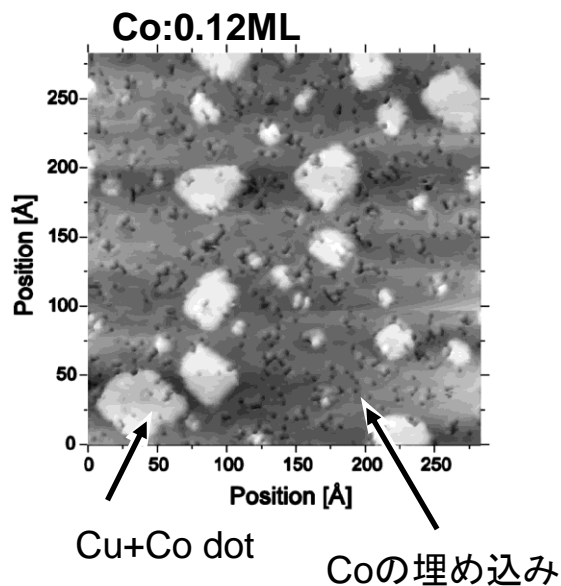
実験的にきちんと見ていない

# Co/Cu(001)表面の初期成長

初期成長( $\theta < 2\text{ML}$ )

- ・Co原子とCu基板の置換
- ・bilayer 成長

J.Fassbender *et al.* Surf. Sci. **383** L742 (1997)  
F.Nouvertne *et al.* Phys. Rev. B **60** 14382 (1999)

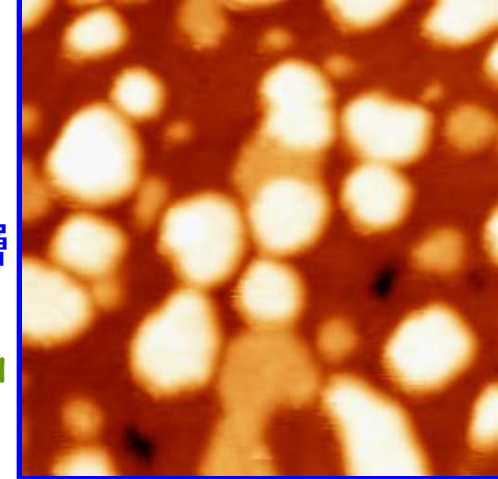
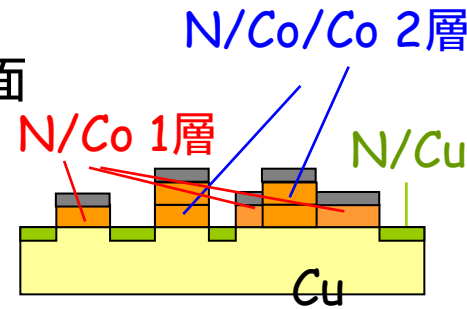


室温では、シャープなCo-Cu界面が形成されない  
界面のモデルとしては扱いにくい

# XESによるCo 3d状態の測定

## N/Cu(001)上のCo薄膜

- ・インターミキシングが少ない界面
- ・N原子の析出



25 × 25 nm<sup>2</sup> 0.8 ML

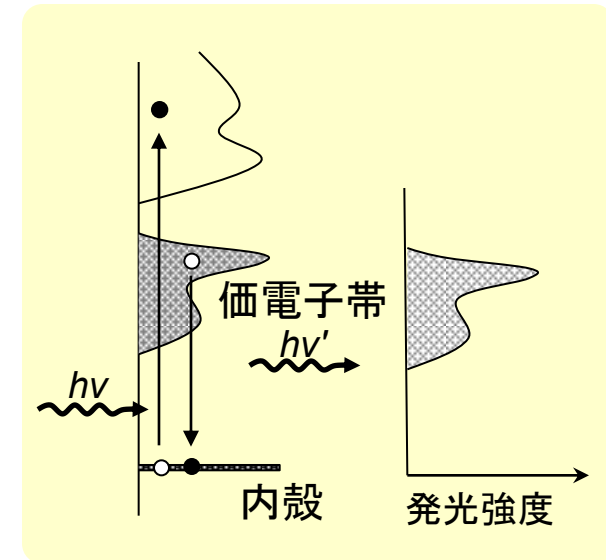
## 良質な界面を持ったCo/Cu(001)薄膜



## 軟X線発光分光 (XES) による測定

- ・ **元素選択的**, Co L<sub>3</sub> (3d 4s - 2p)

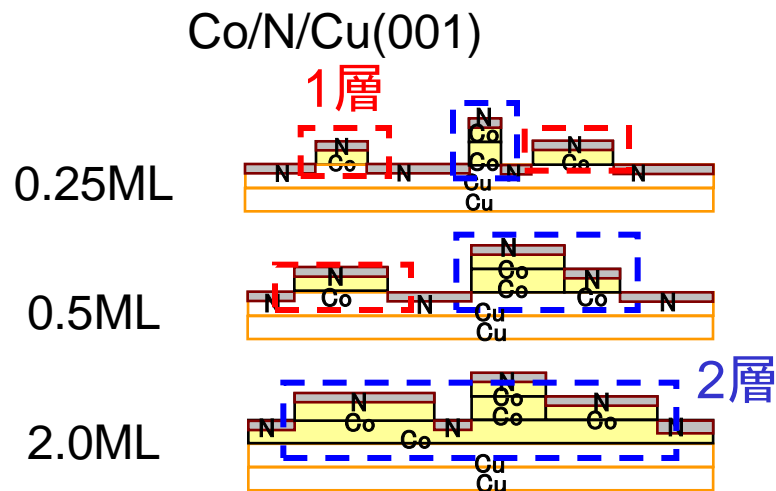
## Coの部分電子状態密度を測定



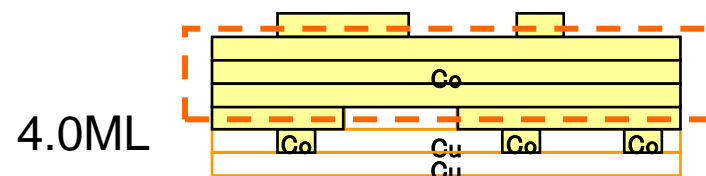
Coの形状と電子状態との相関を明らかにする  
第一原理計算による部分電子状態密度との比較

# 試料 & 測定条件 (XES測定)

## 基板および蒸着量



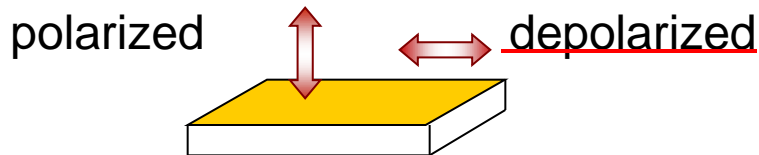
## Co/Cu(001)



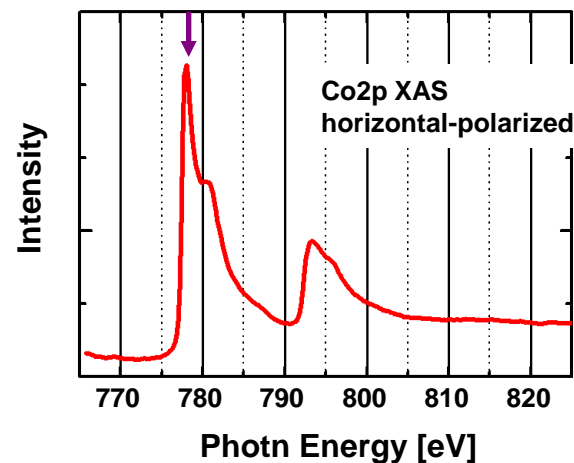
## 入射光のエネルギーおよび偏光方向

SPring-8 BL27SU C3ステーション

777.5eV (Co 2p-3d RXES)

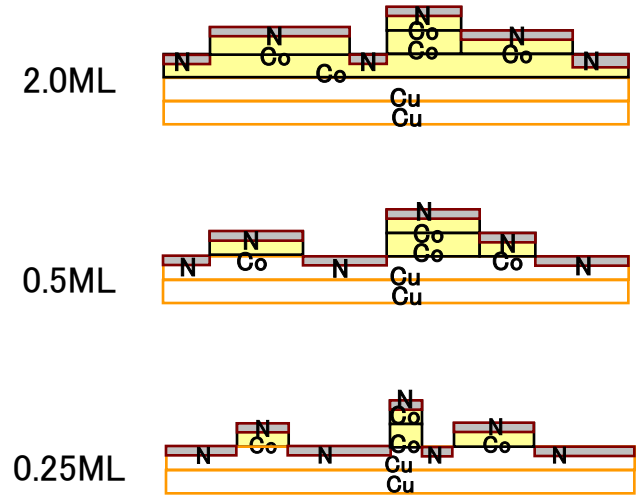
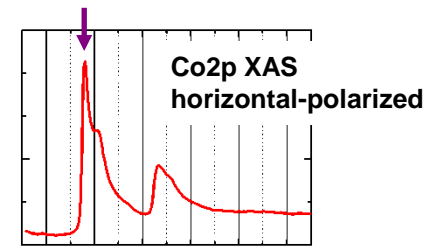
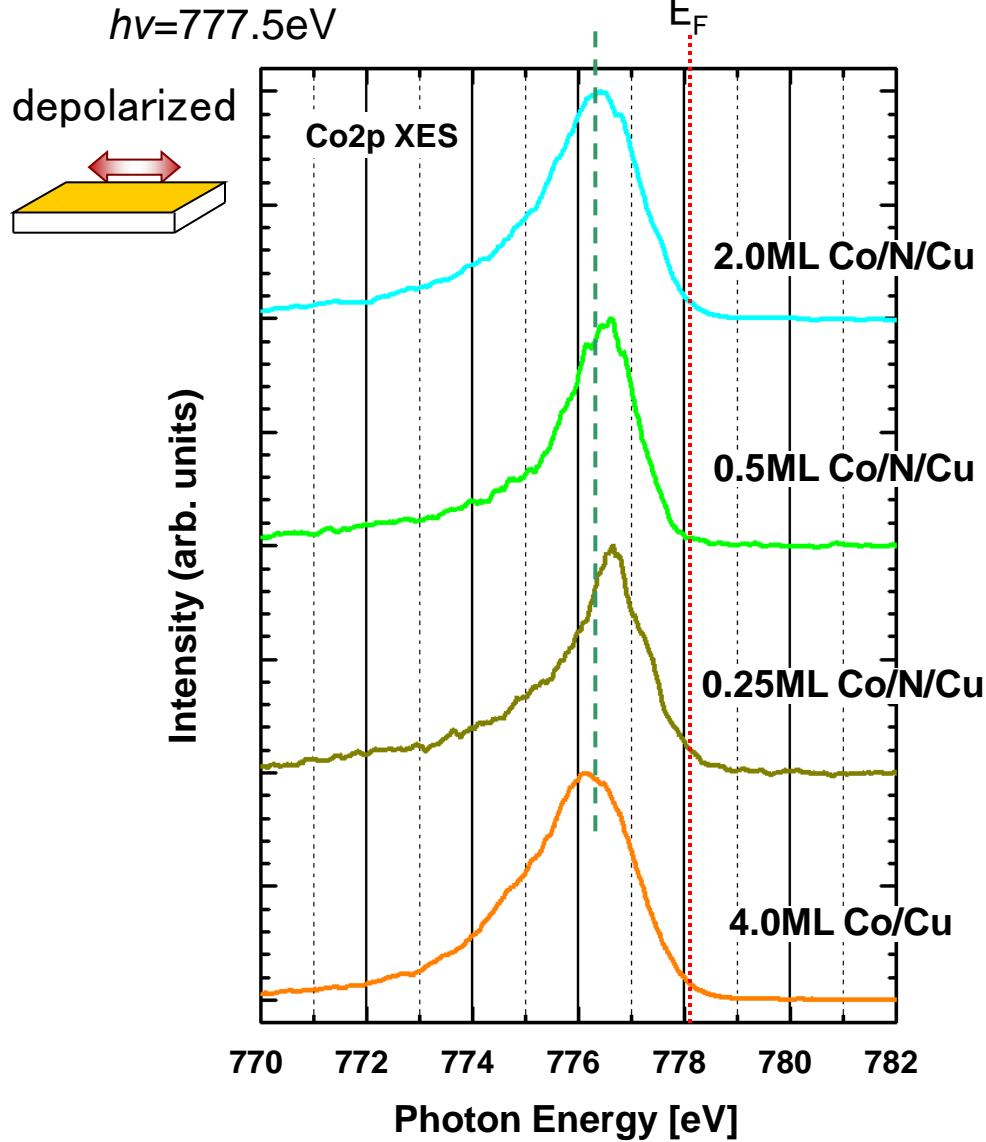


0.25ML Co/N/Cu(001) Co 2p XAS





# Co/N/Cu(001)のXES



Coがsub-MLのとき  
・高エネルギー側にシフト

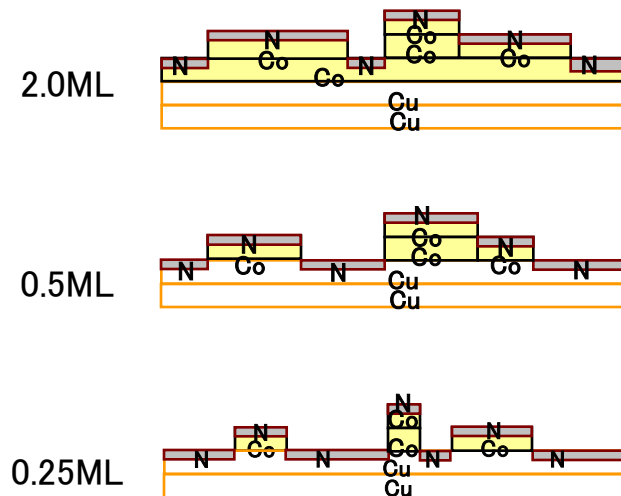
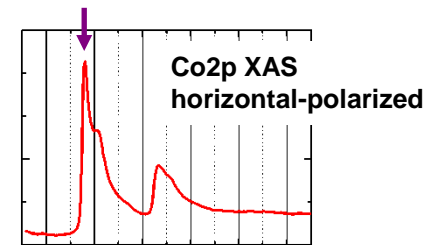
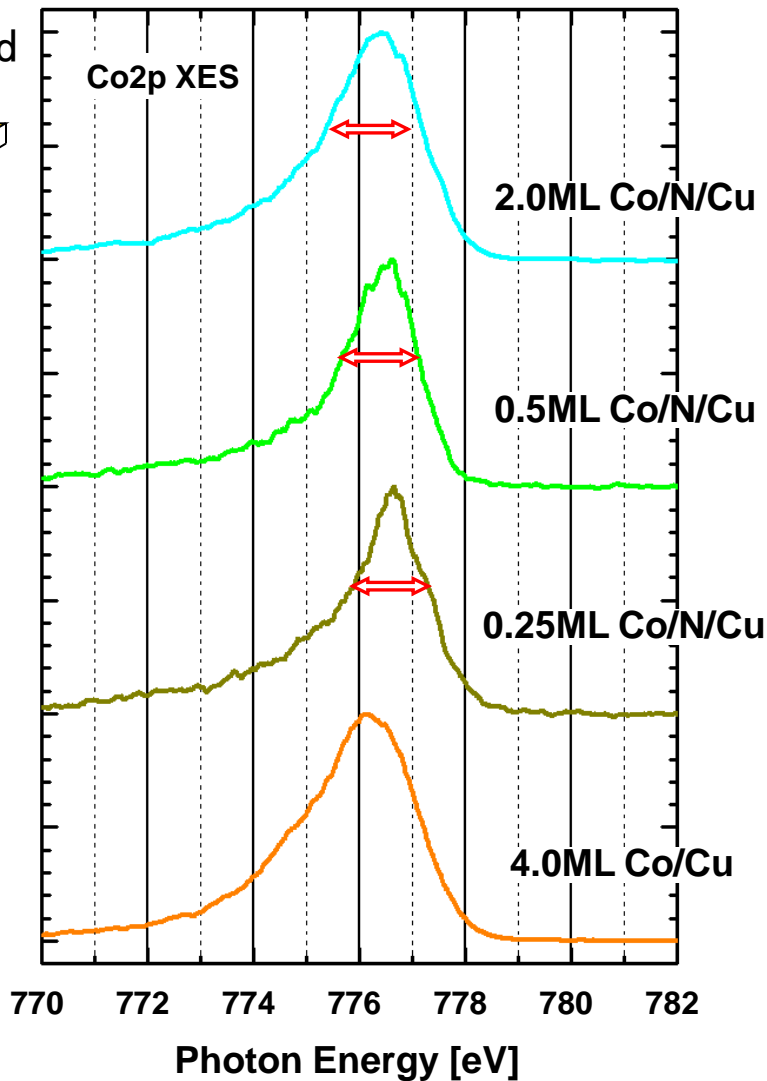
# Co/N/Cu(001)のXES

$h\nu=777.5\text{eV}$

depolarized



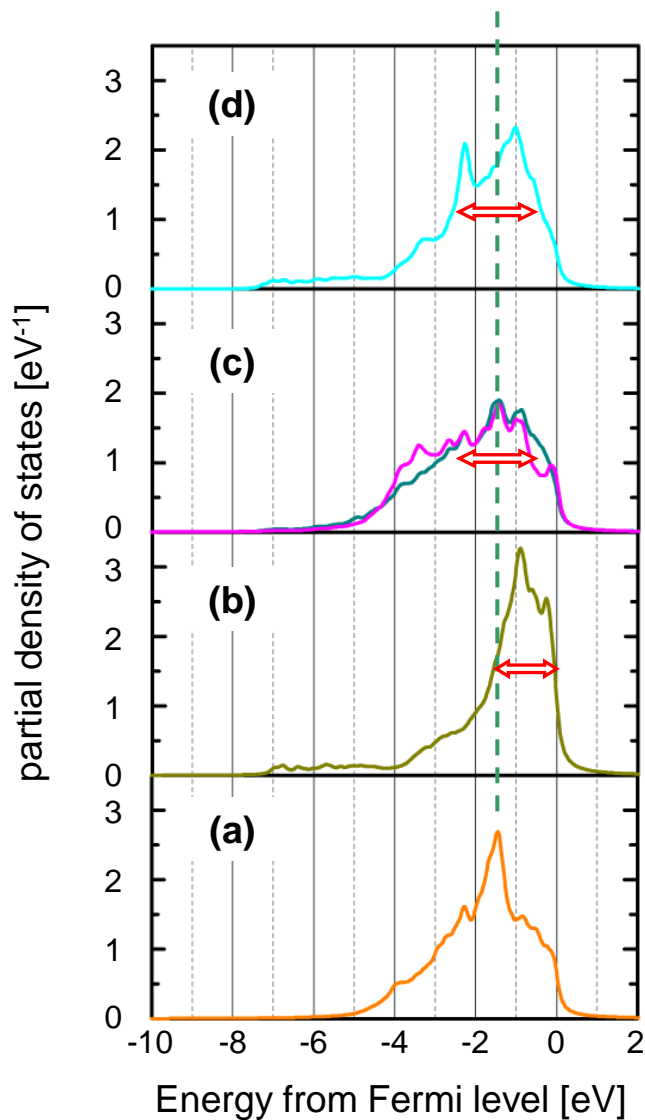
Intensity (arb. units)



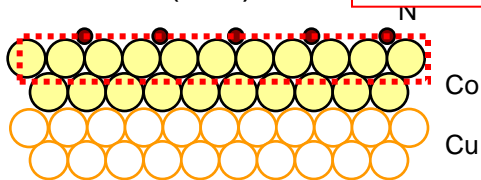
- Coがsub-MLのとき
- ・高エネルギー側にシフト
  - ・線幅が減少

# Co薄膜の電子状態密度の計算

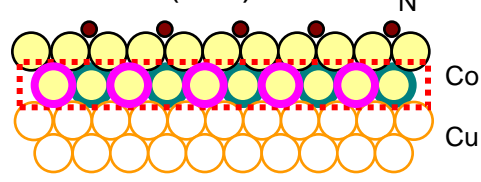
- ・エネルギー位置
  - ・線幅の変化
- } ピークの特徴  
実験結果と良く一致



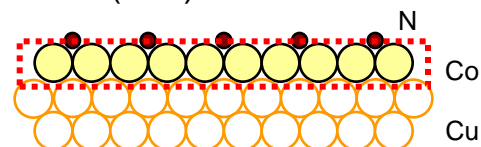
N/Co/Co/Cu(001)



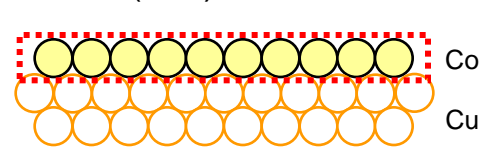
N/Co/Co/Cu(001)



N/Co/Cu(001)



fcc Co/Cu(001)



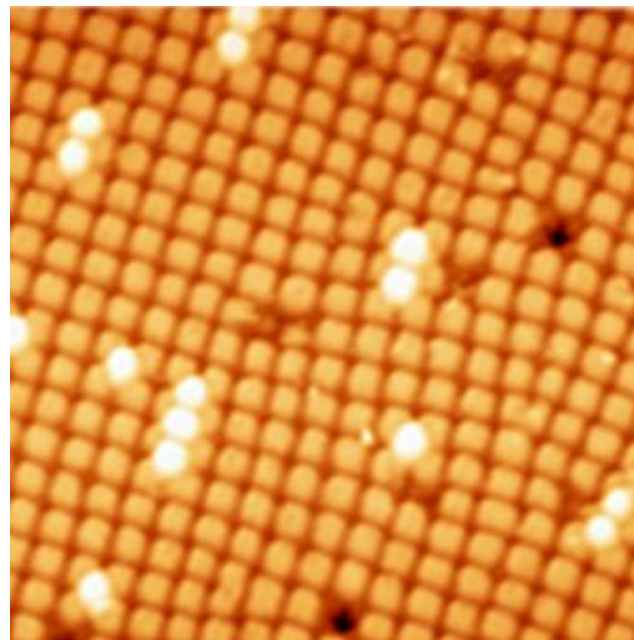
1層のCoは  
dバンドが狭い

# まとめ

## MnNの電子状態

1. MnN1層だけ形成し、Mn は2価
2. 5Kで 強磁性ではない。
3. XAS大きな入射偏光依存性あり

→ 電子状態の異方性、  
または反強磁性秩序に伴うXMLD



## Co超薄膜のdバンド幅

1. Co 2p XES: 1層と2層のCo由来のピークに分離  
→ 1層のCoにおけるCo 3d バンド幅が減少

磁性は？

