

圧力・電場で誘起される  
 $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$ のMott転移

広島大学 先端物質科学研究科  
中村 文彦

雷神

共同研究者

風神

坂木麻里子, 山内洋平 (広島)

山岸達哉, 米澤進吾, 前野 悦輝 (京都大)

# Mott絶縁体Ca<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> 期(21年度)の計画

## 1. 電場誘起される様々な量子現象探索とその機構解明

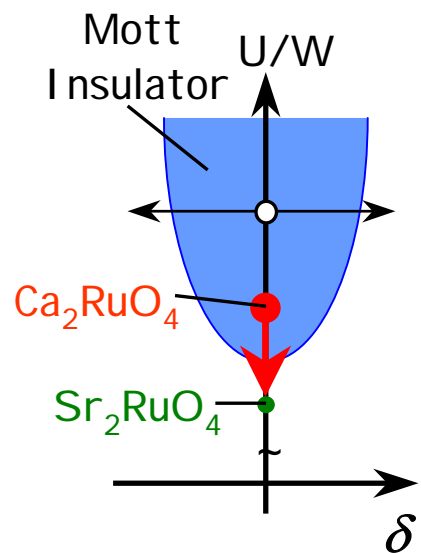
- (1) 絶縁破壊電場が極めて小さい理由を明らかにする。  
 $E_{th}$ の温度依存性, 温度変化などを明らかにする。
- (2) 電場誘起金属相での“電流の役割”を調べる。  
また, 基底状態の強磁性の特性を圧力下のそれと比較する。
- (3) 付随する構造相転移の詳細を調べ, 圧力下のMott転移と比較を行う。
- (4) Mott転移を誘起するその他の外場(光など)の効果を探査

## 2. 多彩な圧力相図とフェルミ面との関係

高圧下で, モット転移, 異方性の大きな遍歴電子強磁性, 強磁性消失(量子相転移)が見られる。強磁性消失近傍で超伝導相の有無を確かめる。

- (1) 静水圧下の圧力 - 温度 - 磁場相図の完成  
Mott転移は軌道依存型か?  
強磁性消失の過程, 超伝導相の確認 に注目する。
- (2) 同じ2D-Fermi金属でも基底状態は反強磁性, 強磁性, 超伝導と異なる。  
その原因をFermi面形状の違いから明らかにする。

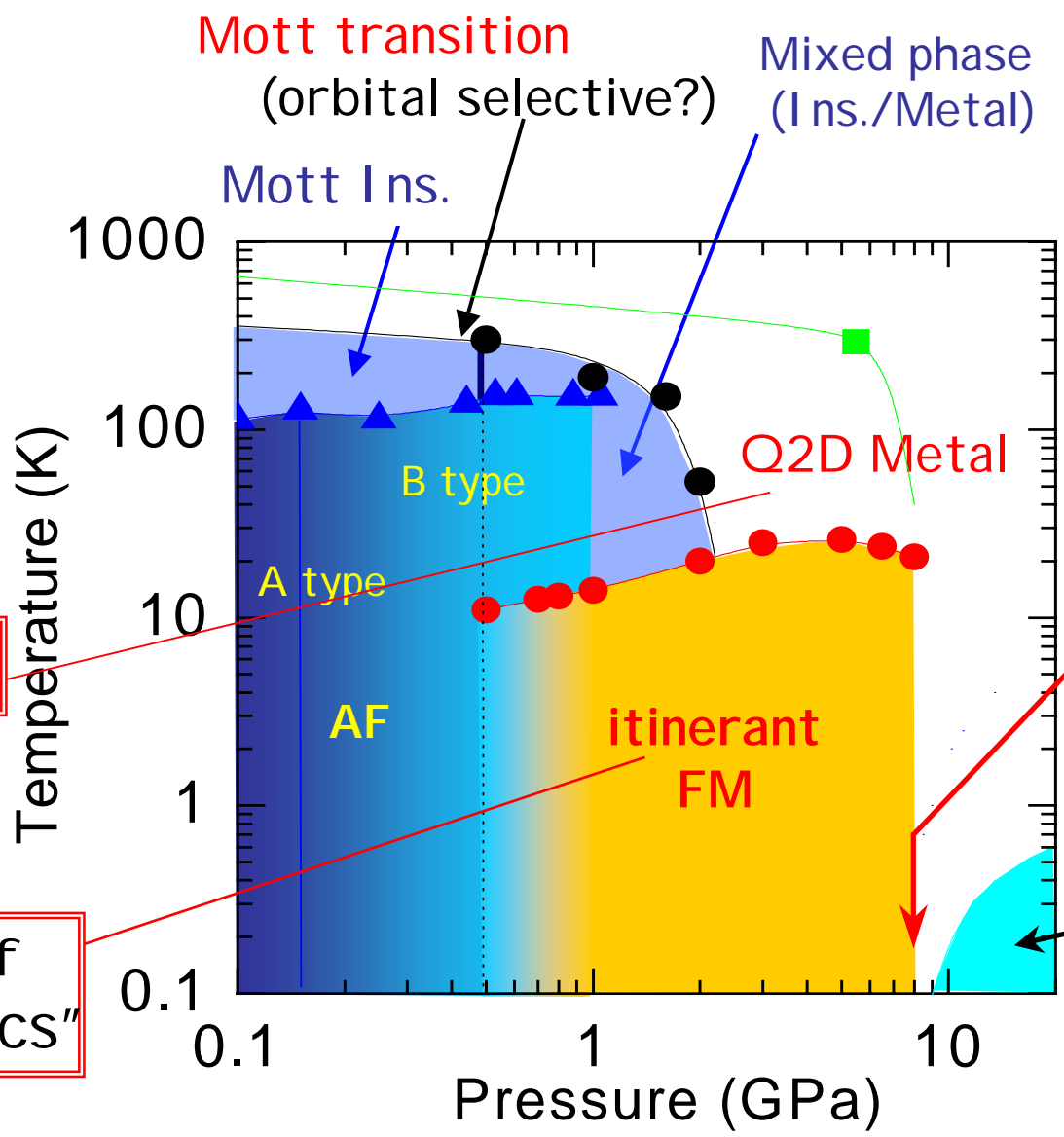
# Rich variety of phase transitions in "pressurised $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$ "



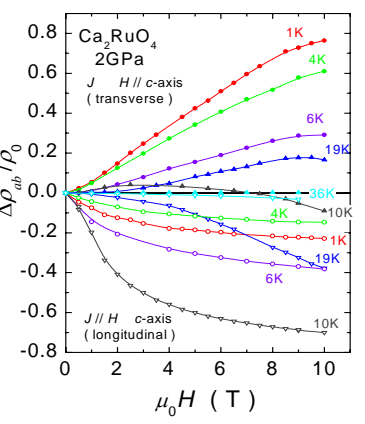
Role of 2D FL

Importance of "orbital physics"

anisotropic FM



## Anisotropic GMR



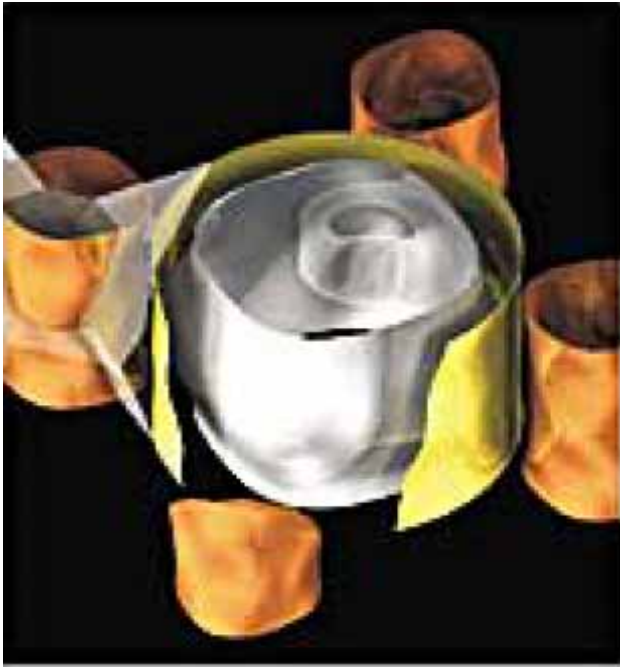
Quantum phase transition ?

expected SC

# Ru124 has 2D Fermi surface, but ...?

1.  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  : *p-wave*SC

2. pressurised  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$  : FM



Y.Maeno, et al.,  
Physics Today, January 2001.

# Mott絶縁体 $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$ の多彩な圧力相図と フェルミ面の变形との関係



多重極端条件

18T, 50mK, 10GPa

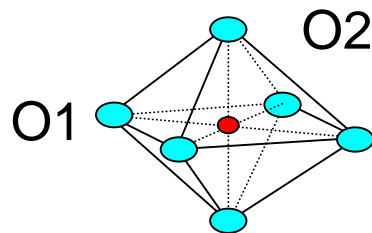
under

construction

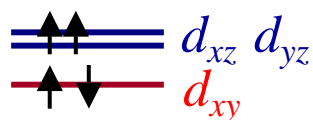
# How to induce Mott transition in $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$

1. Substitution ( $(\text{Sr}/\text{Ca})_2\text{RuO}_4$ )
2. Heating (temperature)
3. Pressure
4. "Electric field"

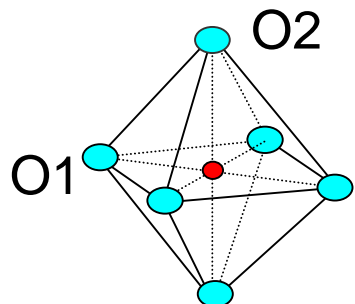
Insulator ( S-Pbca **flatted** )



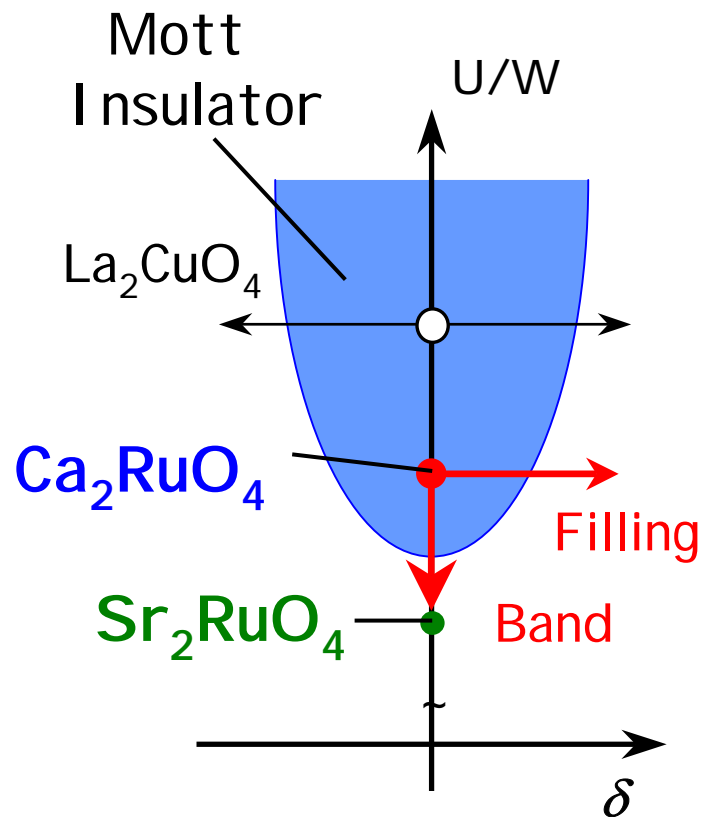
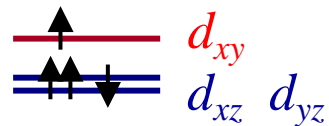
(Ru-O2 < Ru-O1)



Metal ( L-Pbca )



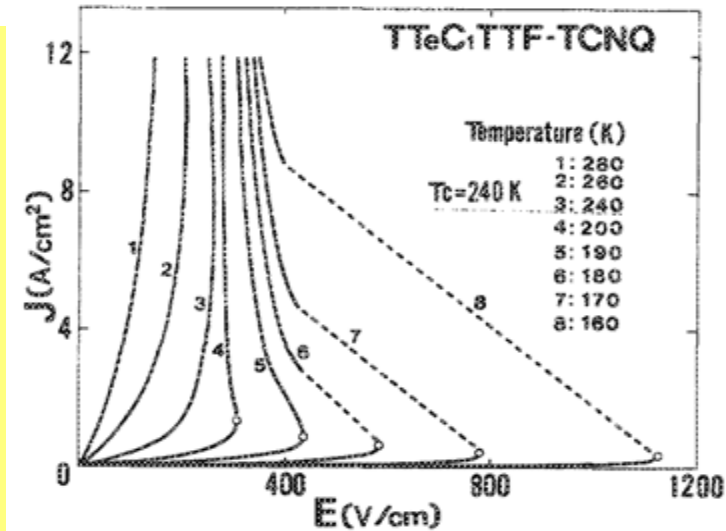
(Ru-O1 < Ru-O2)



# Dielectric breakdown in Mott insulators

Reported breakdown in Mott insulator

$\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_4$	1~10 kV/cm
$\text{Sr}_2\text{CuO}_3$	1~3 kV/cm
$\text{SrCuO}_2$	0.3~1 kV/cm
(TTeC1TTF)-TCNQ	0.3~1.2 kV/cm



Y. Iwasa *et al.*, APL. 39, 10441 (1989).

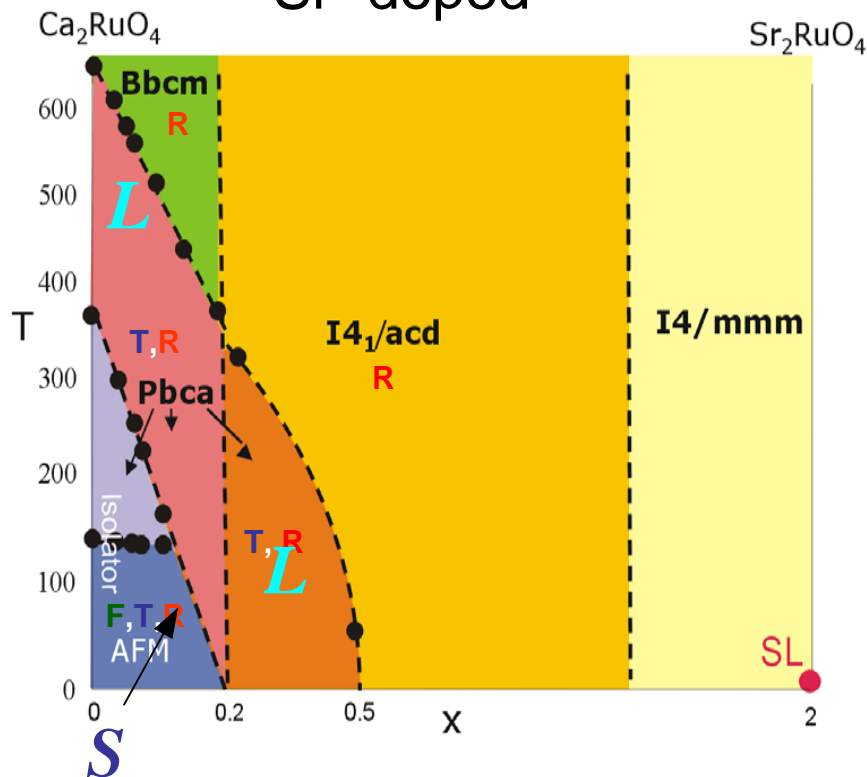
How about DB in 4d Mott ins.  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$  ?

Mott gap  $\sim 0.2\text{eV}$  ( activation energy )

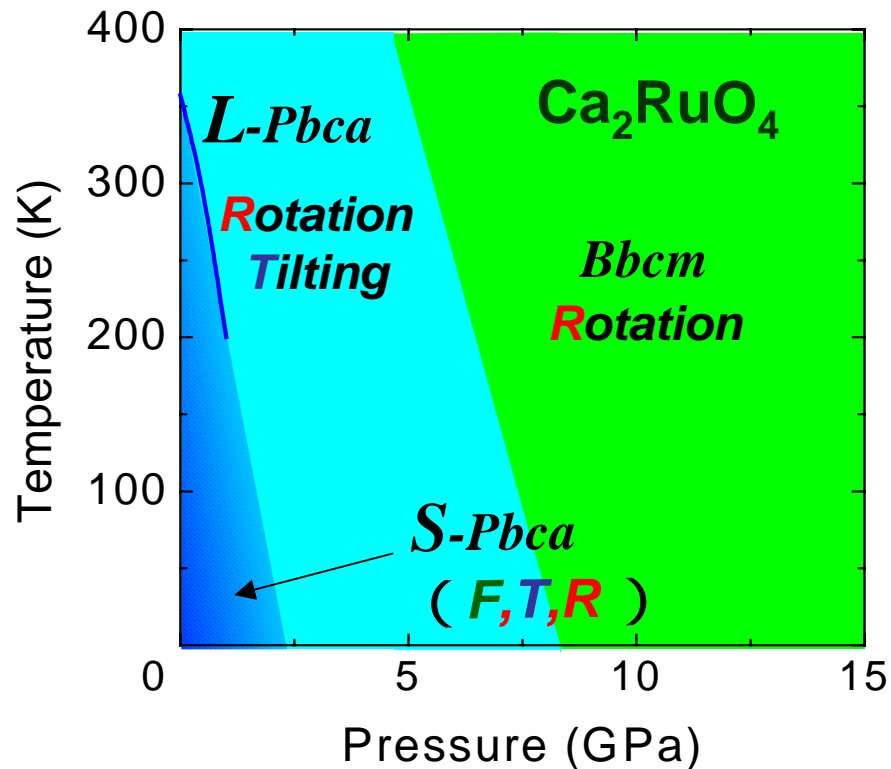
$\sim 5\text{meV}$  at 300K ( $T_{MI} \sim 357\text{K}$ )

# Structural phase (by P.Steffens, M.Braden)

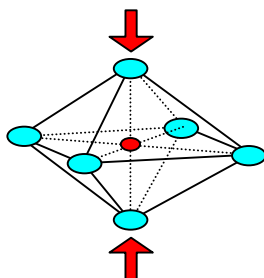
Sr- doped



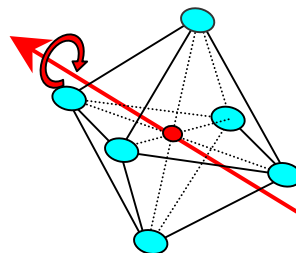
Pressurised  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$



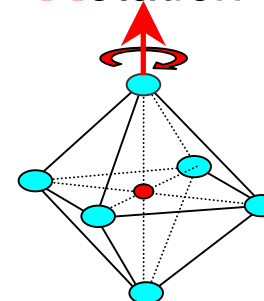
**Flatting**



**Tilting**



**Rotation**



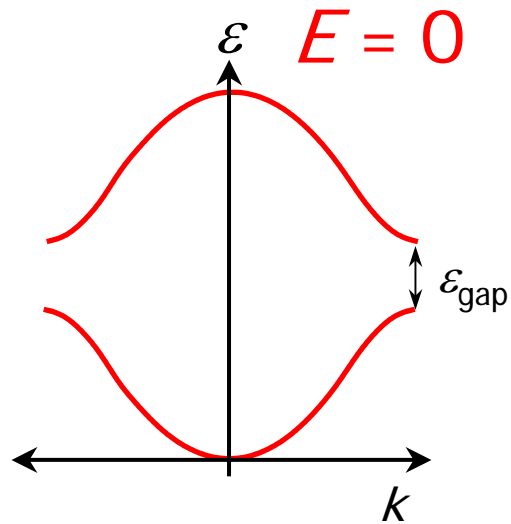


## Summary of Experiment

“ Effect of electric field on 4d Mott ins.  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$  ”

1. > In Mott insulator  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$ , dielectric breakdown can be induced by surprisingly weak voltage of  $E_{\text{th}} \sim 40\text{V/cm}$  at room temperature.
  - > The dielectric breakdown is accompanying with the structural transition from S to L-Pbca phase.
2. In the  $E$  induced metal, FM occurs below  $\sim 10\text{K}$ .

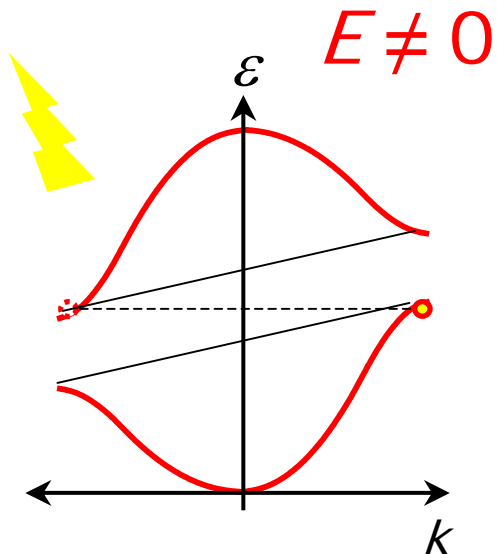
# How about Zener breakdown model in Dielectric breakdown of $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$ .



$$E > \frac{\epsilon_{\text{gap}}^2}{e\epsilon_0 a}$$

$$\epsilon_0 \sim \epsilon_{\text{F}} = \frac{\hbar^2 k_{\text{F}}^2}{2m^*}$$

$a$  : lattice spacing



Breakdown in  $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$

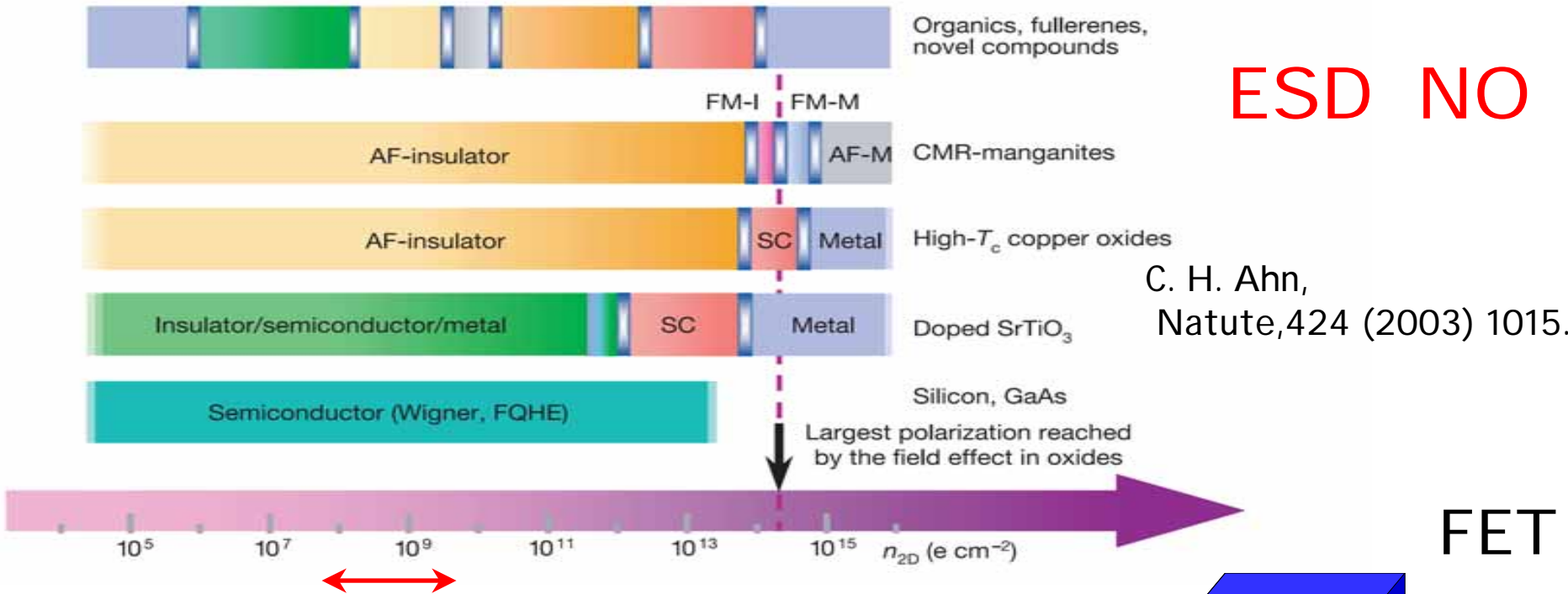
$$\epsilon_{\text{gap}} \sim 5\text{meV}$$

$$\epsilon_{\text{F}} \sim 12\text{eV} \quad (\text{too large!!})$$

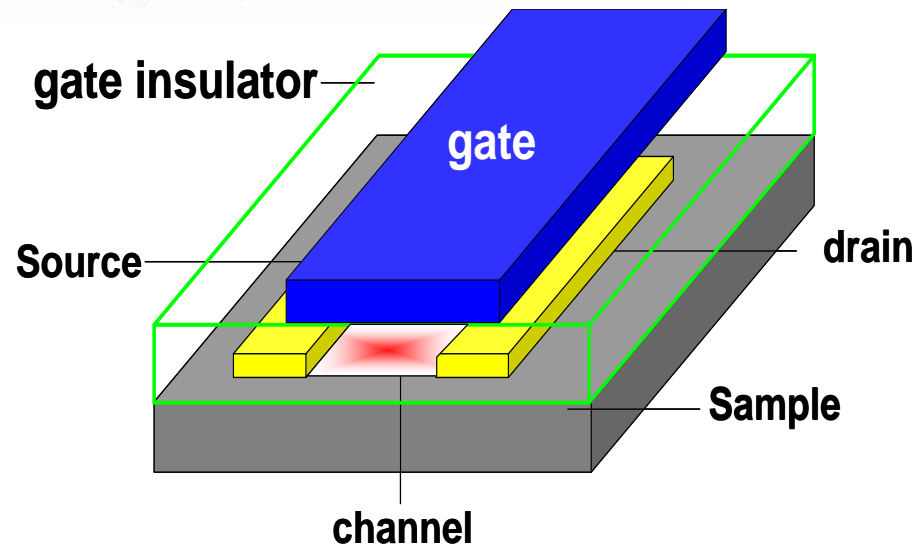
$$\{ \epsilon_{\text{F}} \sim 0.2\text{eV} \text{ for } \gamma \text{ of SRO} \}$$

**Zener breakdown NO**

# How about Electrostatic carrier doping: ESD



To achieve Filling control,  
 much higher voltage  
 ( $=10^{13} \sim 10^{15} e/\text{cm}^2$ )  
 is required.



# How about possible mechanism for Dielectric breakdown of $\text{Ca}_2\text{RuO}_4$ ?

Change of the internal charge distribution.

Enough amount of charge for the metalisation is internally stored in the apical oxygen (O2) of  $\text{CrO}_4$ , and then it can be poured into the  $\text{RuO}_2$  plane only by quite weak field .

