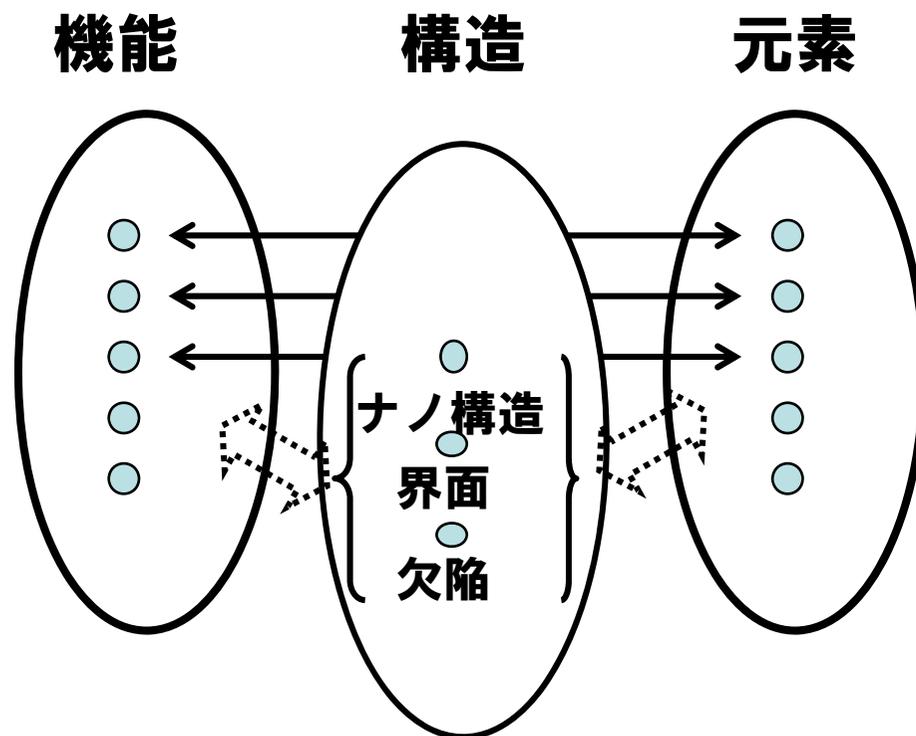
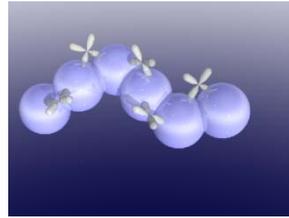


ワクワクする材料研究



東京工業大学
フロンティア研究センター&応用セラミックス研究所
細野 秀雄

3大素材(鉄、セメント、ガラス)から生まれた電子機能材料

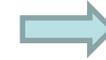


透明アモルファス酸化物半導体の提案(1995)

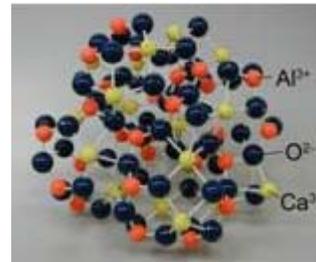


透明トランジスタの試作(2004、Nature)

ガラスから高性能透明トランジスタ



12インチ有機ELディスプレイの駆動に応用(2008,サムスン)

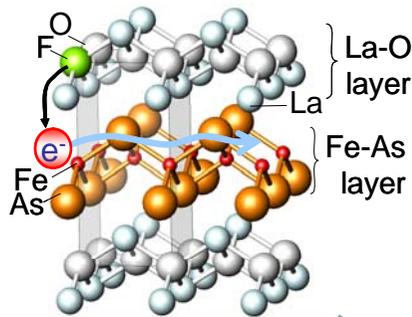


C12A7のナノ構造に注目(1999)

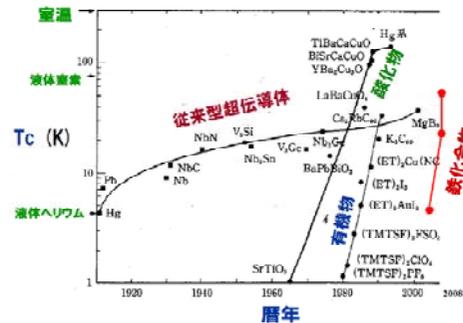
セメントから透明金属



透明金属に変身。ITO代替物質。(2004年 Science)



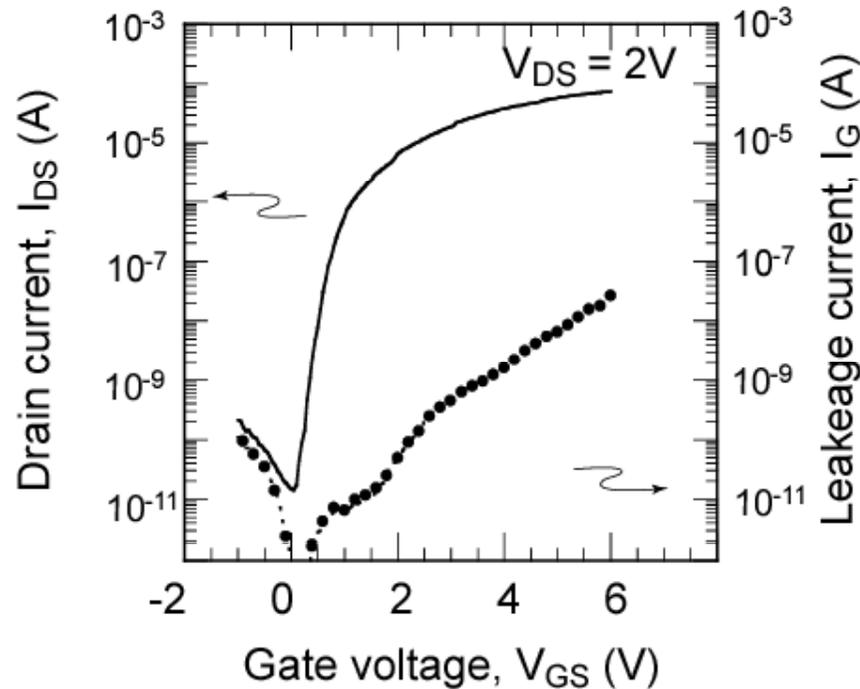
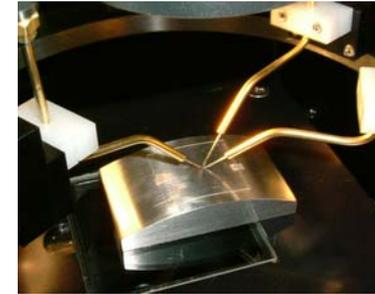
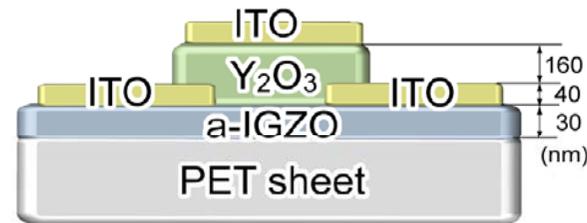
鉄の化合物は超電導にならないという常識を破る(2006)



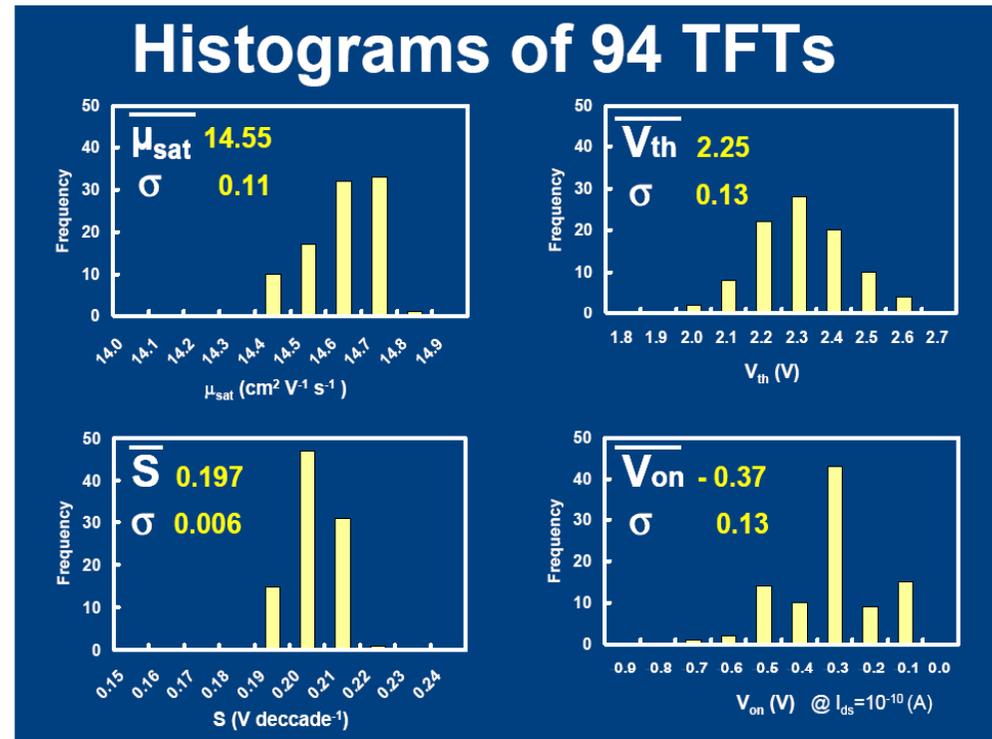
20年ぶりの高温超電導物質の発見
銅酸化物を除くと最高のTCを実現。世界的ブーム(2008年, Nature)

室温でPETフィルム上に作製した薄膜トランジスタ

電界効果移動度 μ
 $= 12 \text{ cm}^2(\text{Vs})^{-1}$



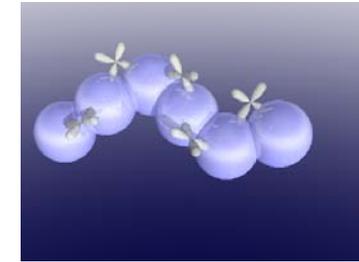
Cf. 水素化アモルファスシリコン
 $\mu = \sim 1 \text{ cm}^2(\text{Vs})^{-1}$



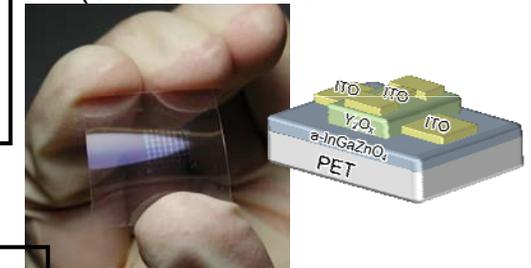
透明アモルファス酸化物半導体の提案と進展

細野グループ

- 1995 透明アモルファス酸化物半導体の提案 @ICANS-16
- 1996 透明N型物質探索指針 (*J.Non-Cryst.Sol*)
- 2002 特徴的電子輸送特性の解明 (*Phys.Rev.B*)
- 2003 P型物質の発見とPN接合ダイオードの室温形成 (*Adv.Materials*)
- 2004 酸化物半導体単結晶薄膜を用いた高性能透明トランジスタ(*Science*)
- 2004 AOSを用いた曲がる高性能トランジスタ(*Nature*)
- 2008 世界初のPチャンネル酸化物TFT(*Appl.Phys.Lett*)



(物質設計、東工大)



(透明で曲がるTFT,東工大)

国際動向

- 2005.9 アモルファス酸化物半導体(AOS) がメインピックスとして採用@ICAN21(2005.9)
- 2005.12 10 papers @ MRS(ボストン)
- 2006.4 キヤノン スパッターで高性能TAOS-TFTを発表 @E-MRS(ニース)
- 2006.12 凸版印刷、新型電子ペーパーを提案@IDW(大津)
- 2007.5 透明酸化物半導体TFT@SID(カリフォルニア)
- 2007.8 AOSが全論文の15%に@ICANS22(コロラド)
- 2007.8 Samsung, LG がOLEDを試作発表@IMIS(韓国)
- 2008.5 サムソン電子AOS-TFT駆動12インチOLED, 15インチLCD発表 @SID(US)
- 2008.12 日立 TAOS-TFTで1.5V動作を実現、フレキシブル・デバイスに道 @国際電子デバイス会議(IEDM)



(電子ペーパー、凸版印刷)

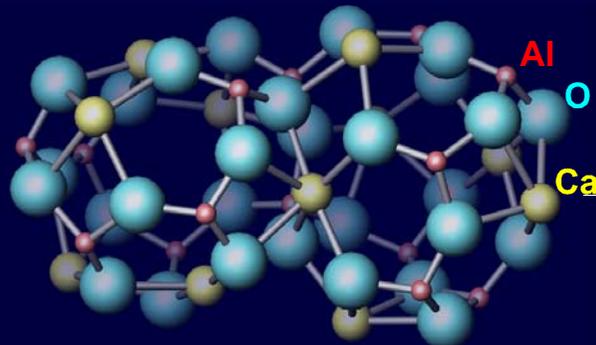
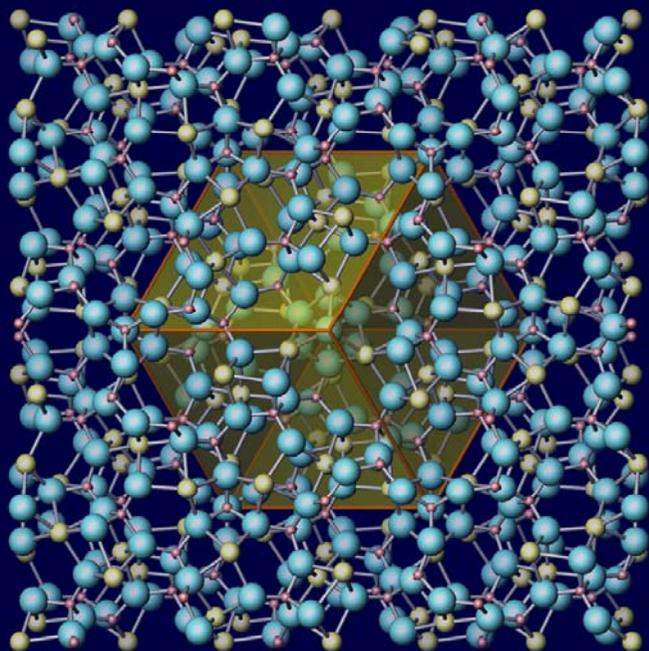


(有機EL, LG電子)

12CaO·7Al₂O₃ (C12A7) 結晶



- ★クラーク数トップ1, 3, 5位の元素から構成
- ★実用アルミナ・セメントの構成成分



結晶格子の特徴:

1単位格子(1.199 nm)あたり、12個の籠状構造(直径: ~ 0.4 nm)

C₆₀のような構造とナノ空間



フリー酸素イオン

アプローチ ナノ構造 + 活性アニオン

包接可能な陰イオン:

OH⁻ (水酸基イオン)

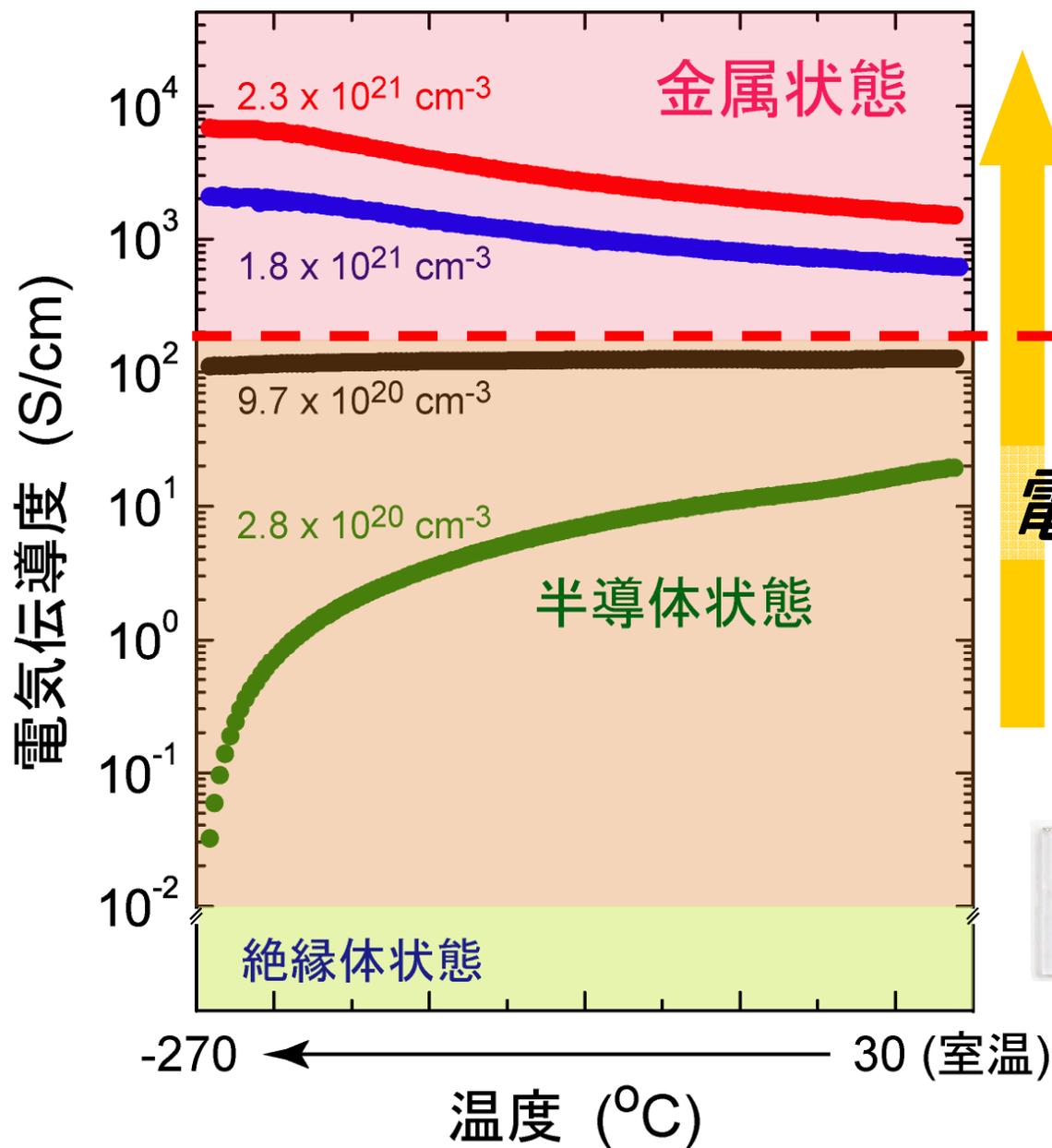
F⁻, Cl⁻ (ハロゲンイオン)

O₂⁻, O⁻ (活性酸素)

H⁻ (水素化物イオン),

電子(エレクトライド)

C12A7のかごの中に電子を入れると



金属 バンド伝導

金属-絶縁体転移が起きる
電子濃度,
 $N_c = \sim 1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$

電子濃度

半導体

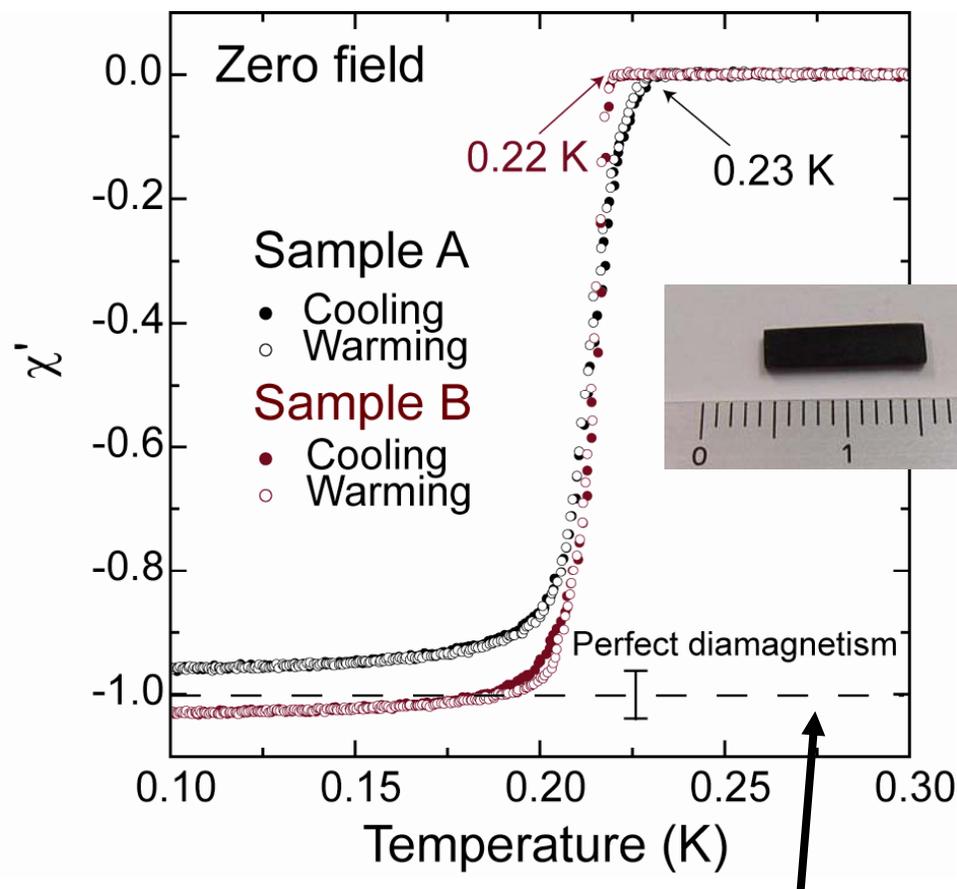
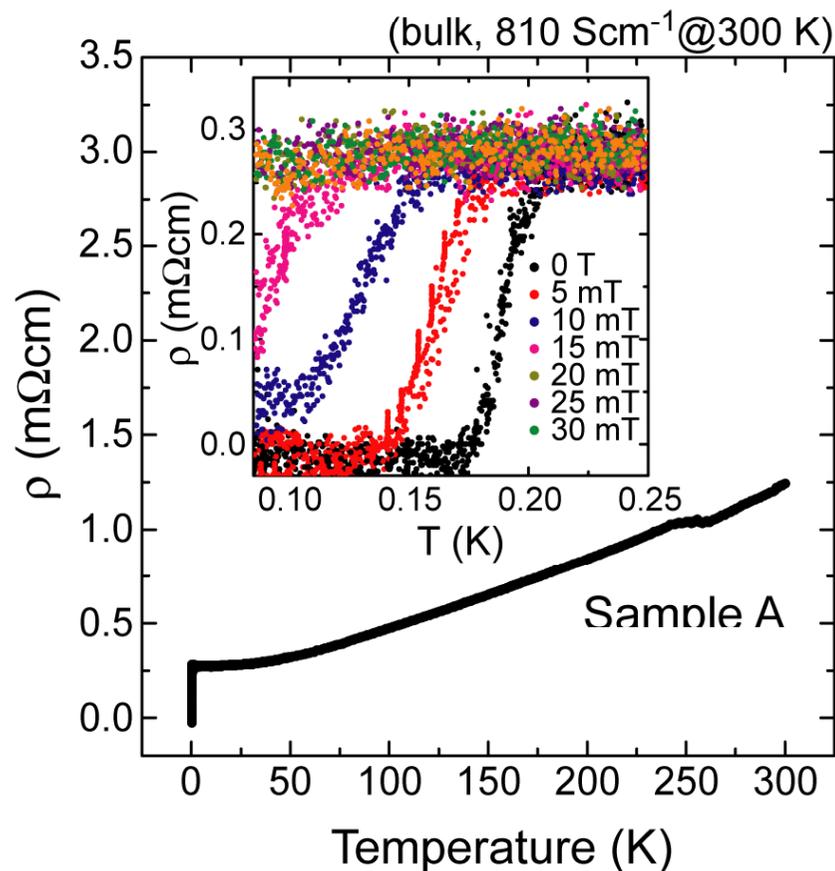
ホッピング伝導

電子濃度



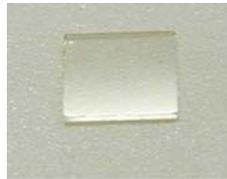
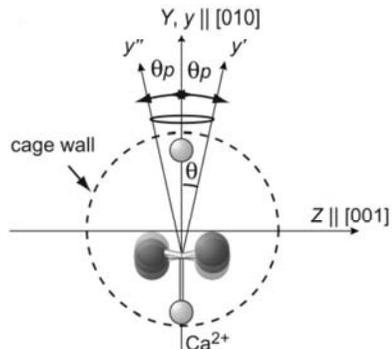
(3mm厚)

電気が流れるようになったC12A7を冷やすと

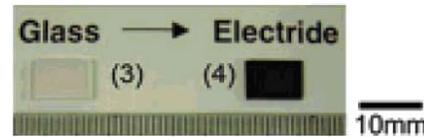


100% 超伝導になった時

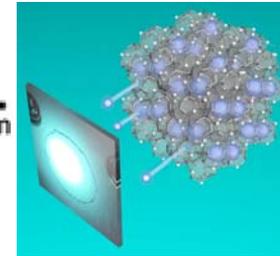
C12A7機能化の進展(俯瞰図)



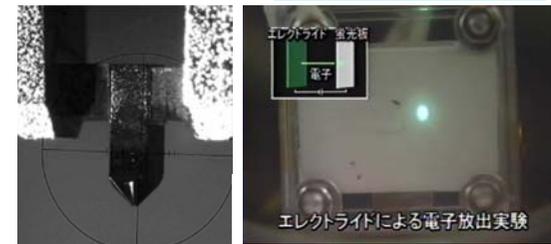
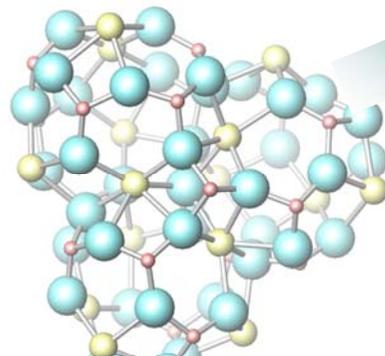
● C12A7単結晶



- メルト・ガラス相を利用した大量合成法
- エレクトライド生成の熱力学



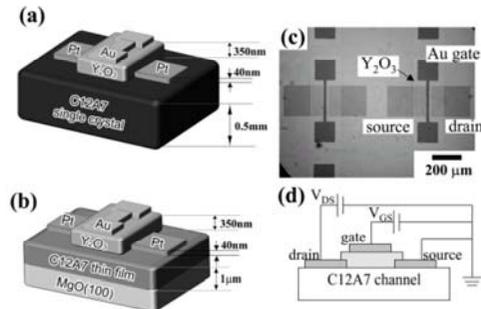
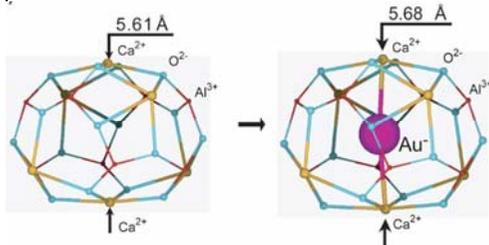
- 電子スピン共鳴によるO₂のダイナミクス
- MD計算によるケージ構造再現と柔構造
- Oラジカルの熱力学・熱物性
- 低温比熱測定による包接酸素イオンの状態分布



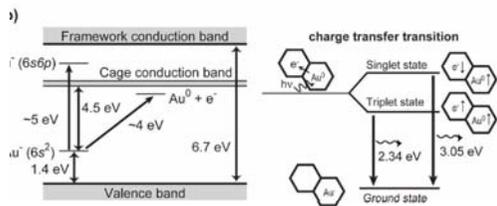
- 熱電界電子放出
- 冷陰極電子放出



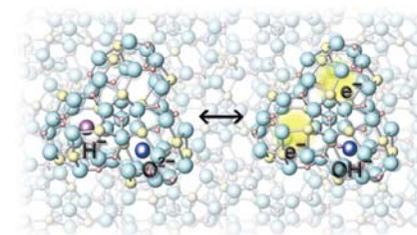
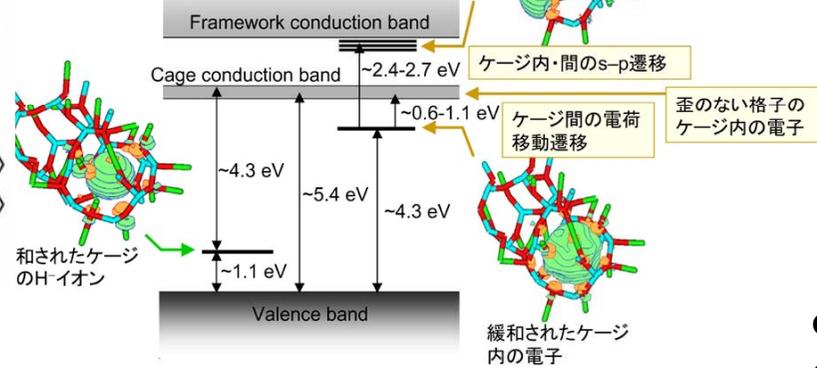
- 埋めこみクラスターによる計算とUPSによる“ケージ伝導帯”



- 電界効果型トランジスタ



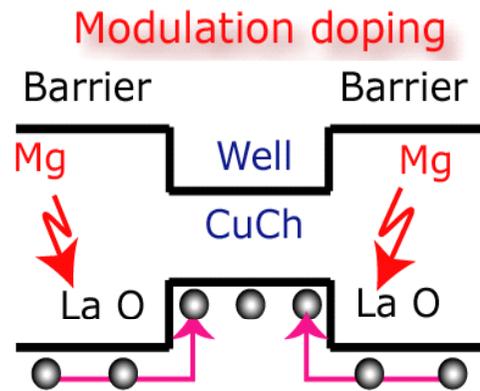
- Au⁻生成と特異的蛍光特性



- 電子線による絶縁体-導電体変換
- Hからの光・熱による伝導電子生成

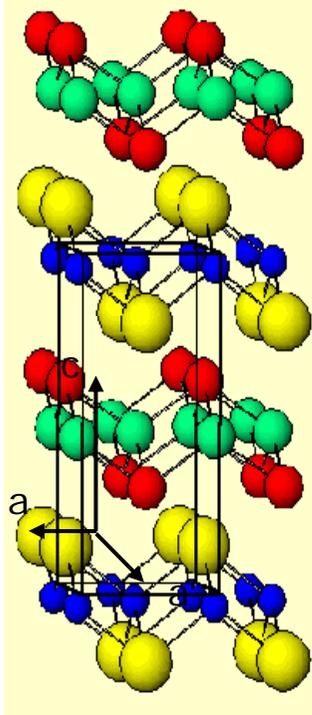
新しいP型透明半導体のユニークな物性

- Transparent p-type degenerate semicon.



$$N = 4 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$$

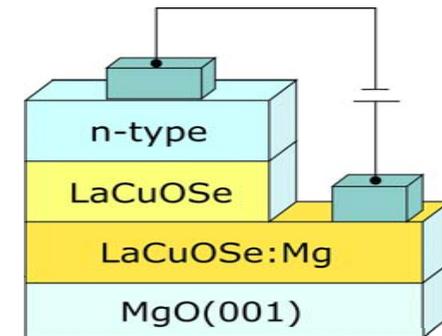
$$\sigma = 140 \text{ Scm}^{-1}$$



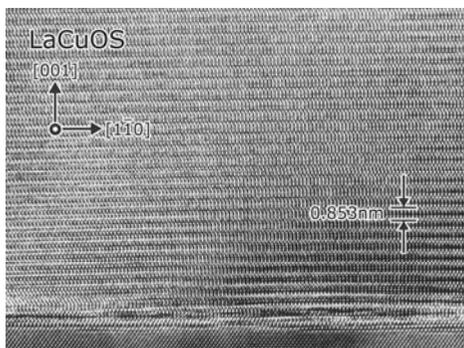
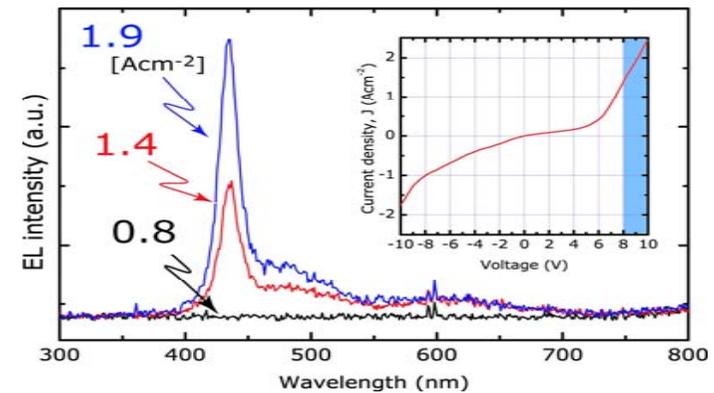
$(\text{La}_2\text{O}_2)^{2+}$ layer

$(\text{Cu}_2\text{S}_2)^{2-}$ layer

- Blue LED

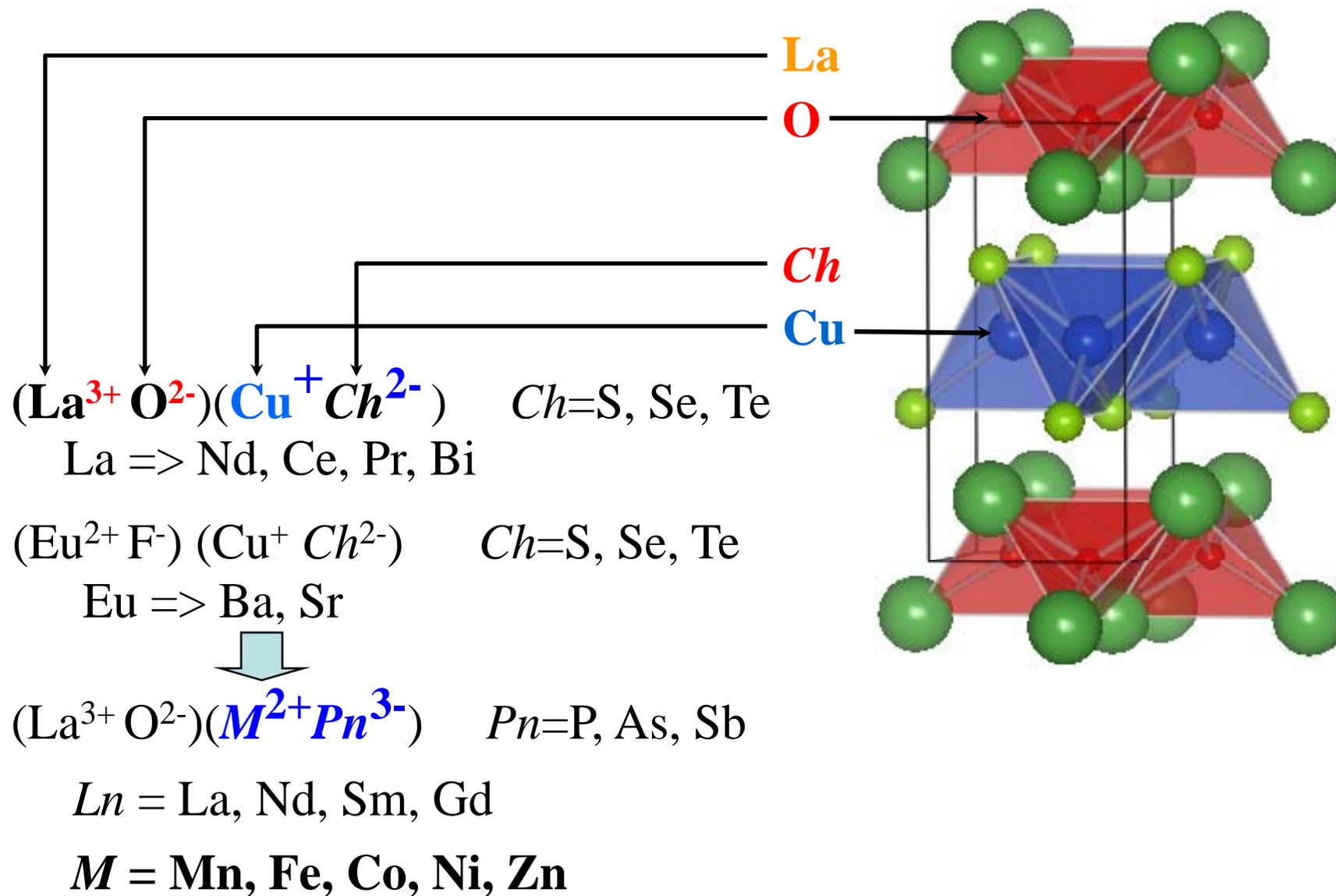


- RT-stable exciton
- Large NLO

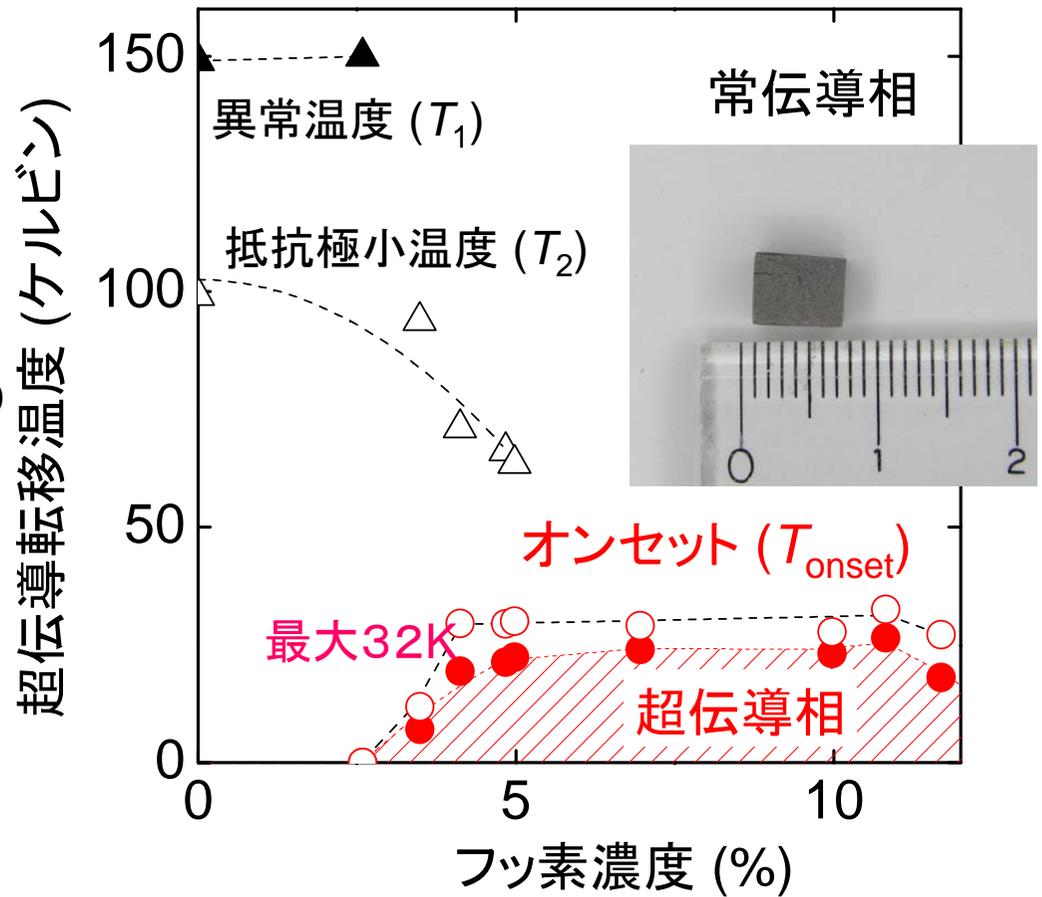
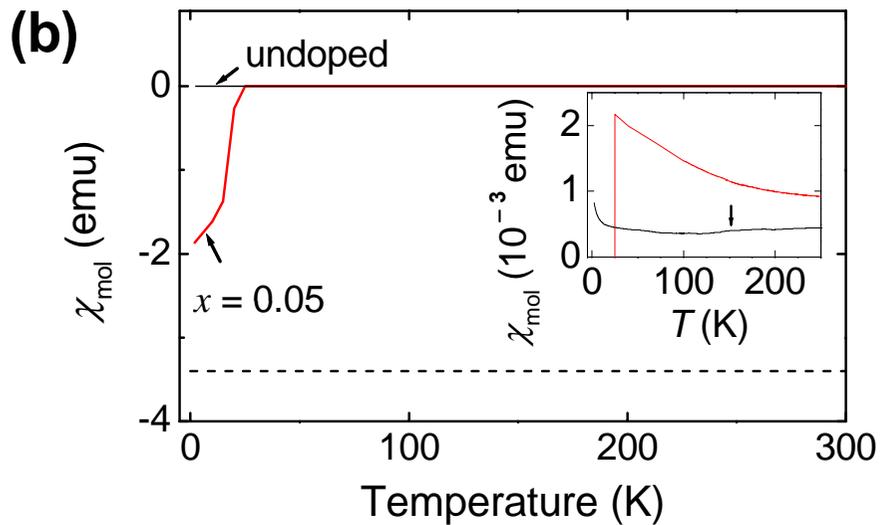
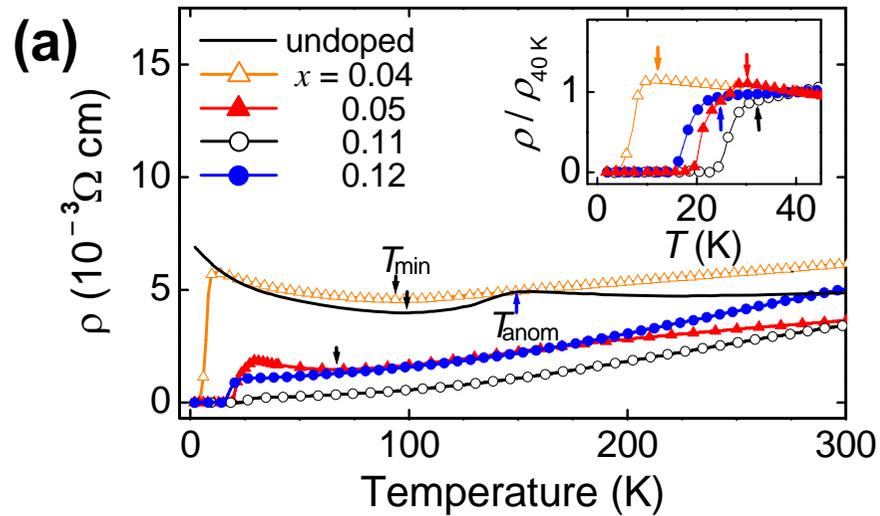


APL(2002), PRB(2003), OPL(2003), APL(2005)

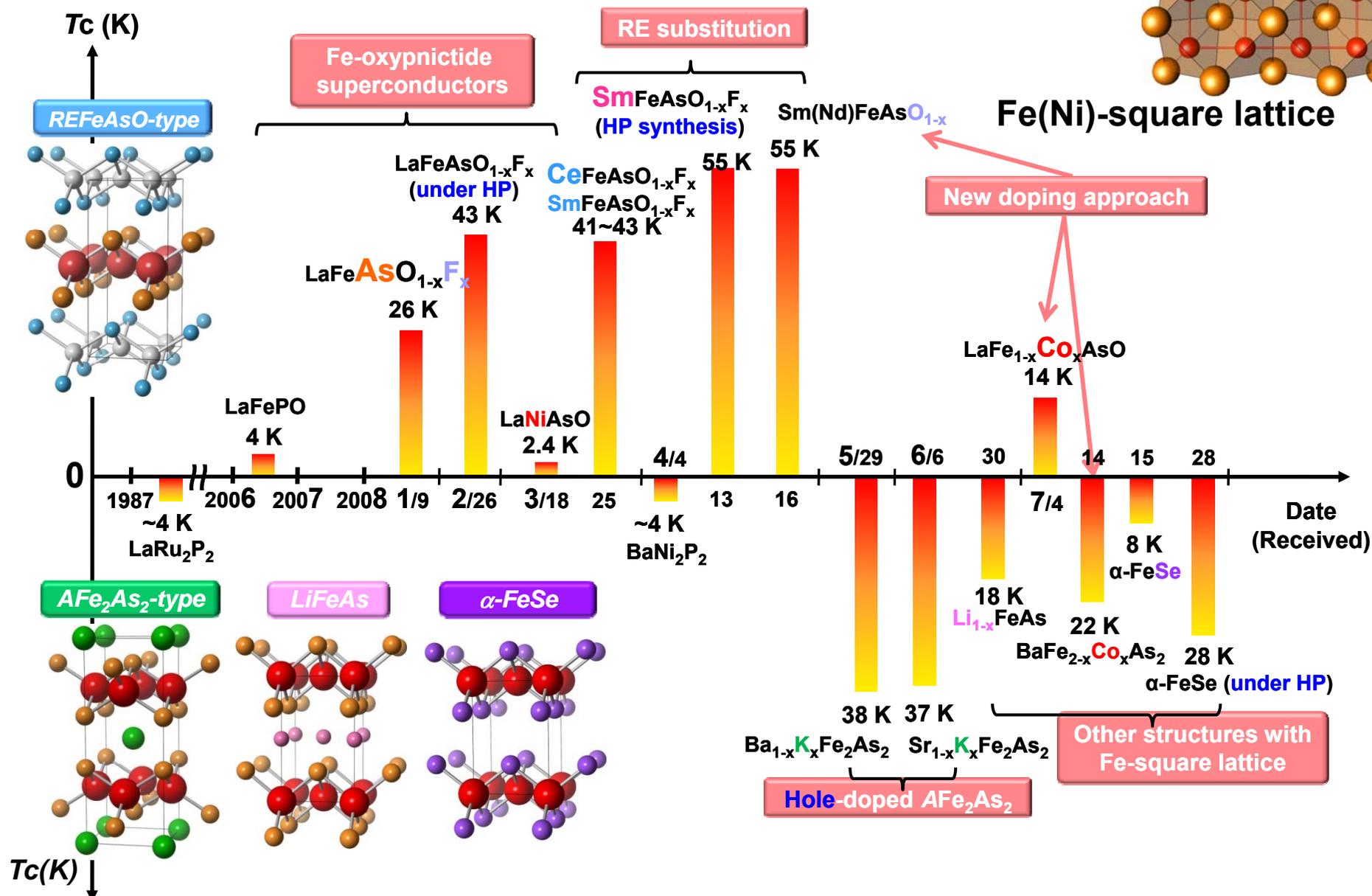
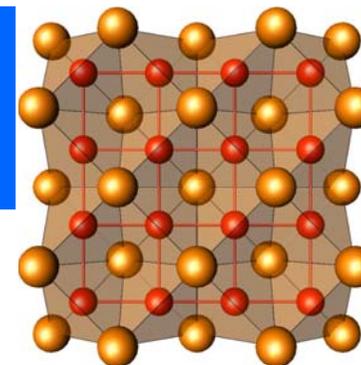
透明半導体から磁性半導体を狙う



新しい高温超電導体の鉍脈の発見:鉄系統



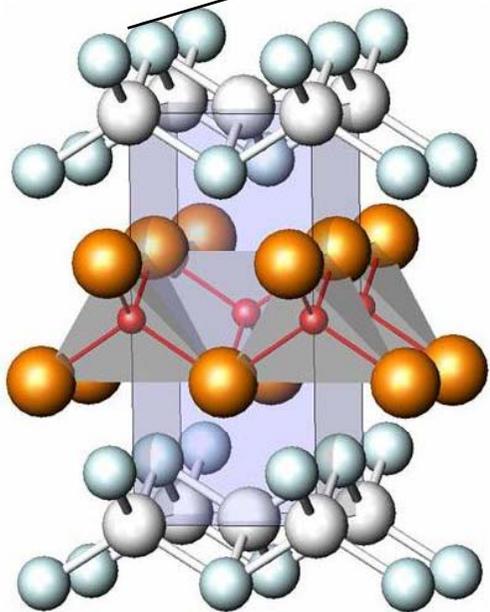
鉄系高温超電導体の急速な進展



鉄は熱いうちに打て



- 2006.8 LaFePO($T_c=4\text{K}$)を発見 (JACS)
- 2008.3 LaFeAsO_{1-x}F_x ($T_c=32\text{K}$)の発見 (JACS)
- 2008.4 上記物質を高圧下で $T_c=43\text{K}$ に (Nature)
- 2008.9 初めてのエピタキシャル薄膜 (APEX)



2008.6月以降毎月1回以上のペースで
国際会議

2008.12 鉄系超伝導の発見が米科学誌
「サイエンス」2008年科学のブレークスルー
Top10にランクイン

2009.3 鉄系超伝導の論文(JACS 2008)が
2008年の引用回数世界No.1に

材料ユビキタス元素戦略 (*Innovative* Materials Science)

