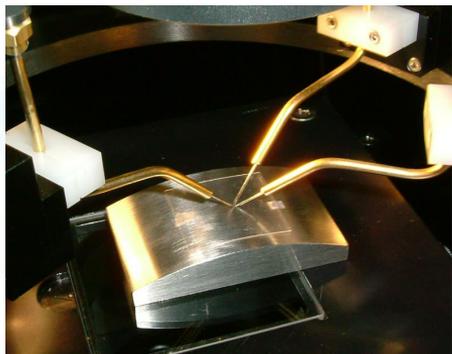


新材料研究はどのように社会を変えるか

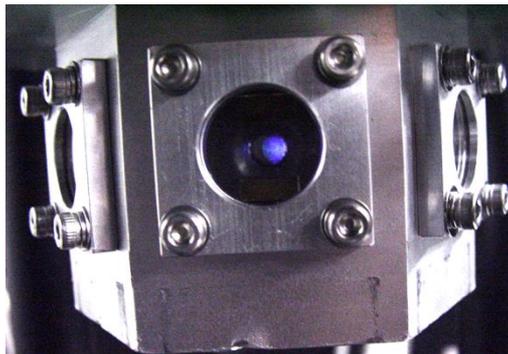


神谷利夫
東京工業大学 すすかけ台キャンパス
応用セラミックス研究所

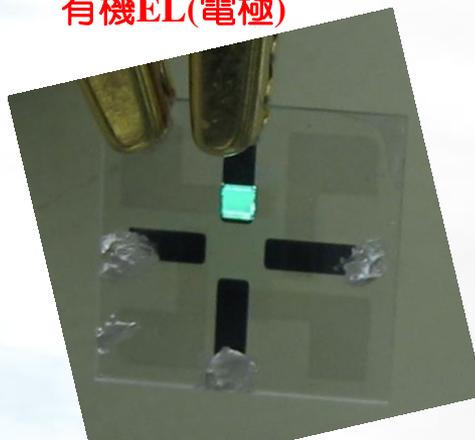
アモルファス酸化物
フレキシブル透明TFT



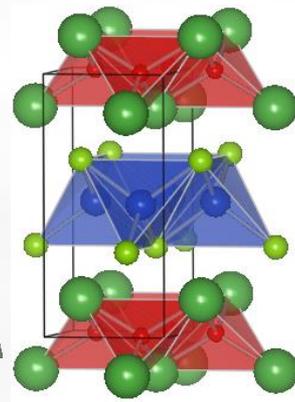
LaCuOSe
P型半導体の室温励起子



C12A7:e⁻
有機EL(電極)



LaFeAsO
新高温超伝導体



参考図書：透明金属が拓く脅威の世界

透明金属が拓く 驚異の世界

不可能に挑む
ナノテクノロジーの錬金術

細野秀雄・神谷利夫

science:  サイエンス・アイ新書

SoftBank Creative

文科省「元素戦略」の切り札!

シリコン・光ファイバーを超える

透明酸化物半導体の
すべてを凝縮 日本のナノテクは
ここまで来た

科学とITの

仕組み 理論 テクノロジー が

図解でよくわかる

サイエンス・アイ新書

創刊!

第1章 プロローグ：材料研究が持つ可能性

第2章 透明金属の用途

第3章 透明ってどういうこと？
金属と絶縁体の違いは何？

第4章 電気を流すもの、流さないもの

第5章 色と電気伝導度の関係

第6章 新しい透明金属と応用

第7章 ガラスが高性能の
透明トランジスタに変身

第8章 セメントを透明な半導体、
さらに金属に変身させる

第9章 エピローグ：材料科学への誘い

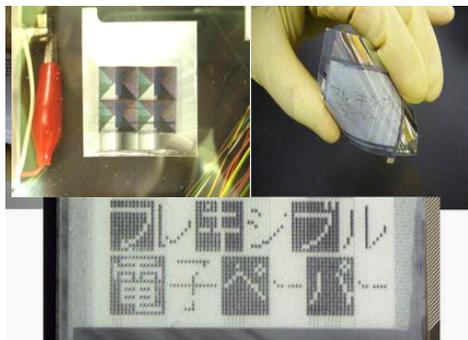
伝統的酸化物が新機能材料に

- **ガラスの革新 (アモルファス酸化物半導体:AOS): 有機ELディスプレイ**
 ‘ガラス’に水素イオンを注入することで高性能半導体・トランジスタを実現

凸版印刷: 電子ペーパー LG電子: フレキシブル有機EL

Samsung SDI:
12.1型 有機EL

サムスン電子:
15型液晶



- **セメントの革新 (C12A7)**

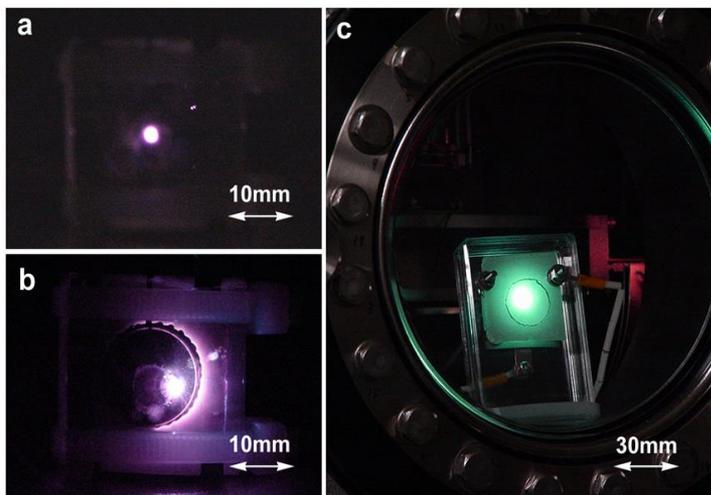
‘セメント’にアルゴン・水素イオンを注入することで高機能金属を実現

電界放射型発光素子(電子銃)

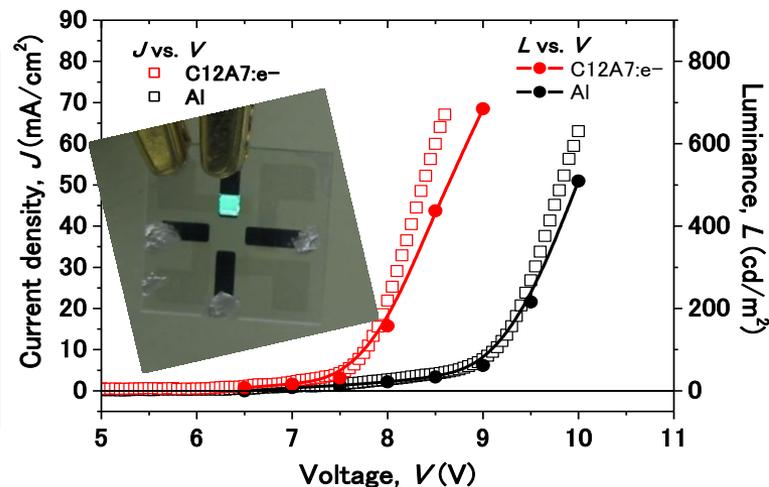
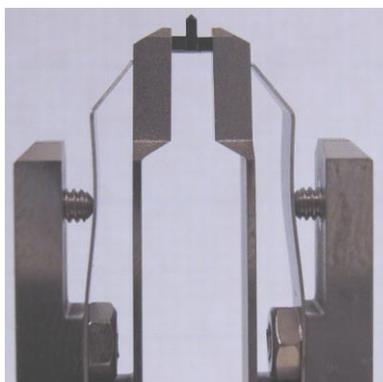
有機EL素子



- **鉄の革新: 高温超伝導**



電子銃



シャープ AQUOS Phone Zeta SH-02E

IGZO



InGaZnO₄

2000 材料発見

2004 トランジスタ
動作



内容

新しい機能材料を創る

1. 身のまわりのセラミックス
2. 材料の不思議と可能性
同じ原料から全然違う材料ができる
3. なぜ半導体がすごいのか
4. なぜ透明半導体が先端研究なのか
5. 新材料開発の例
鉄系超電導体の発見まで
6. 先端ディスプレイに必要な材料
7. 最先端ディスプレイと酸化物

内容

1. 身のまわりのセラミックス

2. 材料の不思議と可能性

同じ原料から全然違う材料ができる

3. なぜ半導体がすごいのか

4. なぜ透明半導体が先端研究なのか

5. 新材料開発の例

鉄系超電導体の発見まで

6. 先端ディスプレイに必要な材料

7. 最先端ディスプレイと酸化物

酸化物材料はどこに？

化学I、数件出版、平成14年3月検定

5

化学の役割

身のまわりの生活の中にある化学と関連したものをさがしてみよう。



水道 (水)



台所用品



コップ類 (ガラス)



カップ、皿 (陶磁器)



容器 (プラスチック)



鍋、包丁、食器 (金属)



ガス器具 (ガス)



私たちの生活を支える製品には、化学の成果が生かされている。



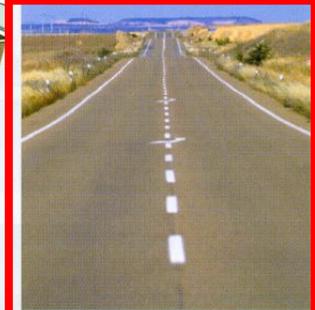
電線、鉄塔 (金属)



電車・レール (金属)



建物 (コンクリート)



道路 (アスファルト)



光ケーブル (石英ガラス)

化学品製造工場

自動車用排ガス浄化装置の触媒



レンズ付きフィルム (フィルム、電池)



身のまわりにある化学

化学I、数件出版、平成14年3月検定

15

身のまわりにある化学

Na ナトリウム灯



Ne ネオンサイン



ナトリウムやネオンの気体を封入した放電管の発光する色や光が利用されている。

K, N, P 肥料



カリウム、窒素、リンは、3大肥料の成分。

Ca 建築物



セメントの主成分はカルシウム化合物である。

Cu + Sn 銅像



青銅製の銅像。

Cu + Zn トランペット



黄銅は、さびにくいので、楽器の材料に用いられる。

Fe 磁性材料



鉄の酸化物は磁性をもつので、カーボンなどの記録用に用いられる。

Ag 写真フィルム



臭化銀は、感光材料として写真フィルムに用いられる。

Zn 絵の具



酸化亜鉛は、白色顔料として用いられる。

Hg 体温計



水銀は熱伝導がよく、熱膨張率が広い温度範囲でほぼ一定なので、体温計・温度計に用いられる。

身のまわりにある化学

16

Al 新幹線の車体



CD



1円貨幣



Si 半導体

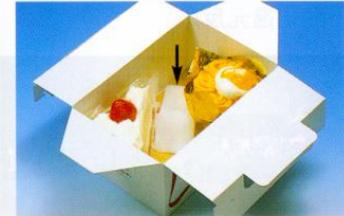


集積回路 (IC)



太陽電池
発光ダイオード

C ドライアイス CO₂



ドライアイスは、二酸化炭素の固体。

Fe + Sn プリキ



プリキは、缶詰の容器に用いられる。

Fe + Zn トタン



トタンは、水まわり用品や屋外使用の製品に用いられる。

Pb 鉛板



鉛は、放射線を通しにくいので、遮蔽板に用いられる。

P マッチ



赤リンは、マッチ箱の側面に用いられている。

S 硫黄の析出 (北海道、硫黄山)



火山ガスに含まれている二酸化硫黄と硫化水素が反応し、硫黄が析出している。

Cl 漂白剤



塩素系の漂白剤は、次亜塩素酸塩が主成分。

材料の区分の仕方の一例

1. 構造材料

- ・ 製品の形態をつくる (広義では、これも「機能」であるが・・・)
コンクリート、鉄骨、ガラス

2. 機能材料

- ・ 形態をつくるだけでなく、**付加的な機能**(電気・磁気・光)を持つ

受動機能素子: 電気を流す、電気をためる、光を通すなど、それ自体では新しい作用を引き起こさない (主役は別にいる)

- ・ 電線、静電容量、電気絶縁体、透明材料

能動機能素子: 新しい作用を引き起こす機能 (その素子自体が主役)

- ・ 半導体、トランジスタ、太陽電池、センサ

周期表：私たちが使っている元素

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H 1																	He 2
2	Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
3	Na 11	Mg 12	遷移金属元素										Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
4	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
5	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
6	Cs 55	Ba 56	*	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86

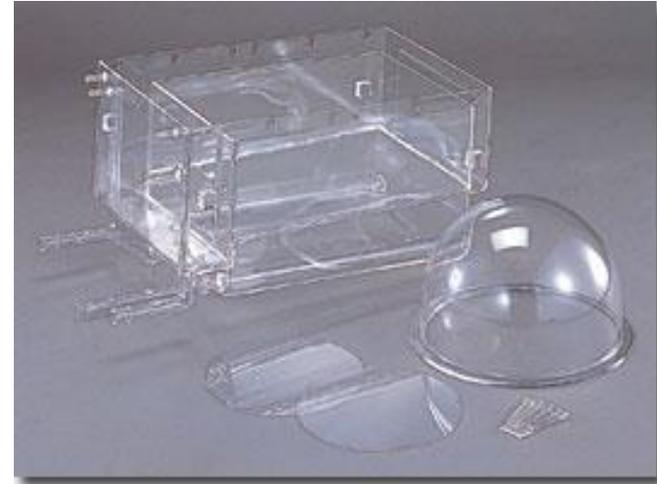
*	ランタノイド	La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
---	--------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

- 使える元素は83個程度
- 縦に並んだ元素は性質が似ている
- 近くの元素は大きさが近い

原料は同じ (シリコンの例)



株式会社 新陽
<http://www.sinyo.jp/prod.html>

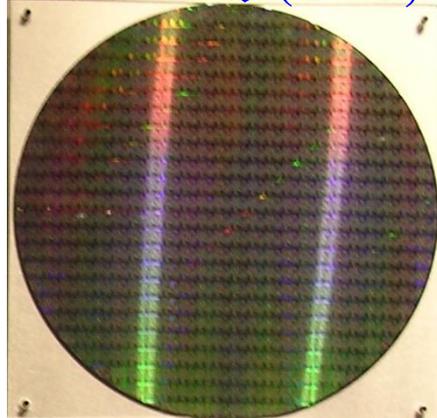


株式会社 新陽
<http://www.sinyo.jp/prod.html>

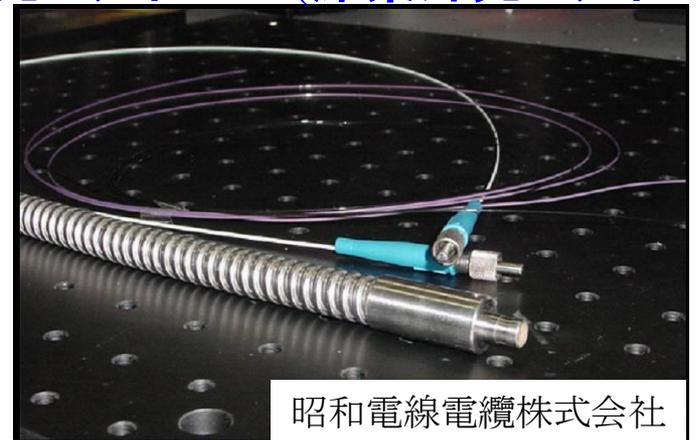
窓ガラス、食器、装飾品

光ファイバー (深紫外光ファイバー)

コンピュータ(CPU,メモリー)



インテル博物館



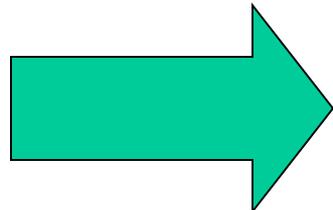
昭和電線電纜株式会社

主構成元素は同じだが..

ニューセラミックス、坂野久夫著、パワー社



ボーキサイト鉱石
(主成分 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)



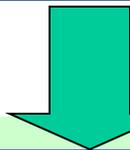
$+\text{NaOH} \Rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3$
融解塩電解

化学I、数件出版、平成14年3月検定



アルミニウム(Al)

アルミニウム
アルミニウム化合物



$+\text{O}_2$
高温加熱

酸化アルミニウム



粉末

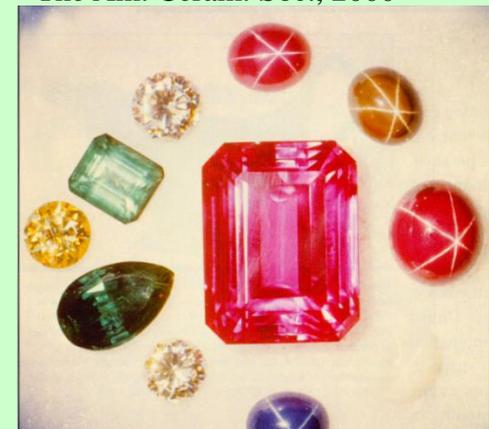


焼結体

The Magic of Ceramics, D.W. Richerson,
The Am. Ceram. Soc., 2000



単結晶酸化アルミニウム



人工宝石

中央：ルビー

周囲：ルビー5個

エメラルド2個

擬似ダイヤモンド3個

“SAPPAL”透光性アルミナ
東芝セラミックス

<http://www.tocera.co.jp/ja/products/semicon/sapphal.html>

ニューセラミックス、
坂野久夫著、パワー社

宝石の多くも酸化物

The Magic of Ceramics, D.W. Richerson,
The Am. Ceram. Soc., 2000

人工宝石

C

ダイヤモンド: 無色透明

$\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ (緑柱石, beryl)

エメラルド: 海緑色

アクアマリン: 淡青色

Al_2O_3

ルビー: Cr^{3+} 0.01~3mol%

赤色(紅玉)

サファイア:

無色透明、他(鋼玉)

$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

オパール: 蛋白石、蛋白光

人造宝石

ZrO_2

キュービックジルコニア



Figure 3-32. Synthetic gemstones. Synthetic ruby weighing 120 carats and surrounded by five synthetic star rubies and sapphires, two synthetic emeralds, and three diamond imitations. (Courtesy of Karl Nassau, author of the book Gems Made by Man, Chilton Book Co., Radnor, PA.)

人工宝石

中央: ルビー

周囲: ルビー5個

エメラルド2個

擬似ダイヤモンド3個

銅の化合物



銅 Cu



酸化銅(I)
 Cu_2O



酸化銅(II)
 CuO



銅藍
 Cu_2S



輝銅鉱
 Cu_2S

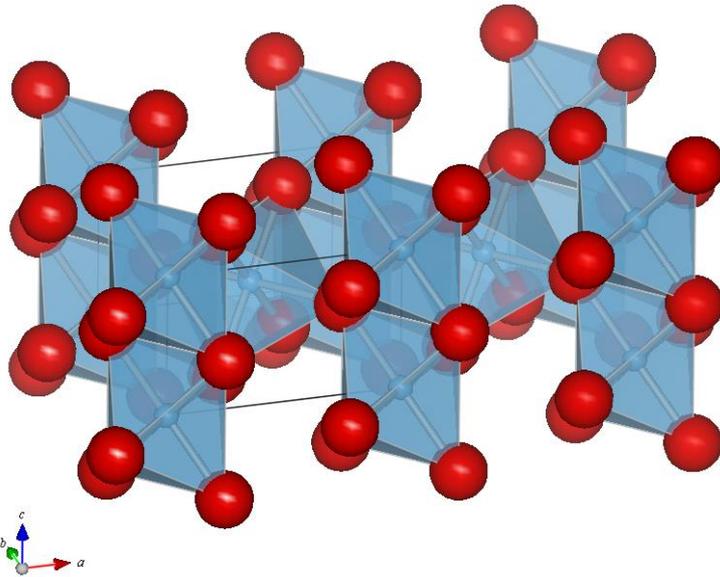


黄銅鉱
 CuFeS_2

二酸化チタン TiO_2 の結晶構造

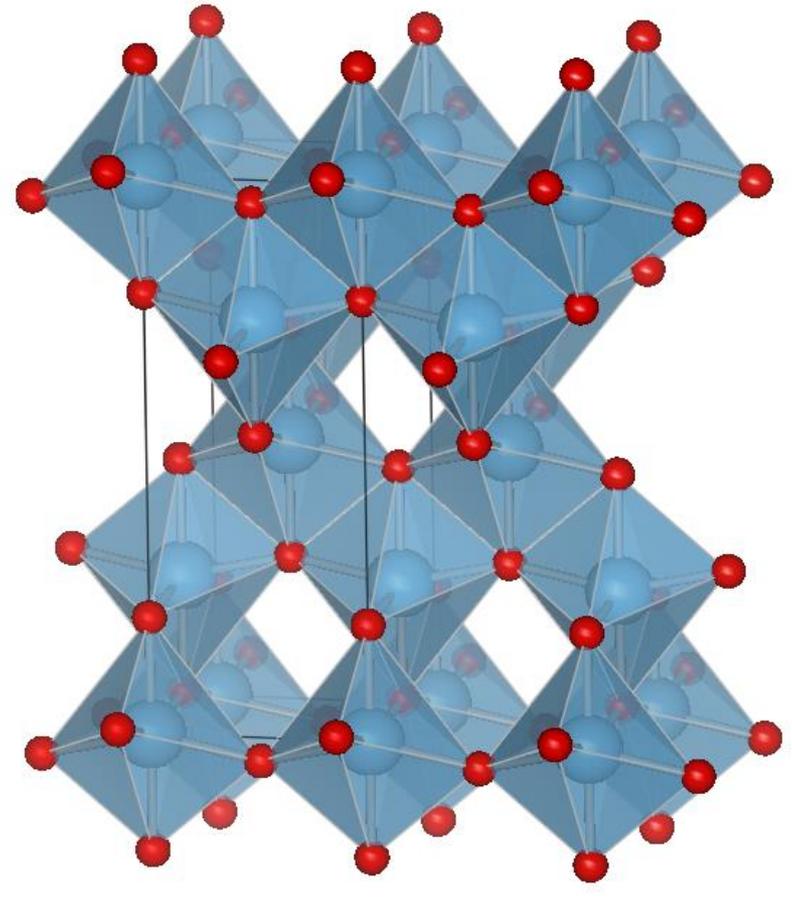
ルチル

誘電体(セラミックスコンデンサー)



アナターゼ

光触媒



光触媒：アナターゼ (TiO₂)

ハイドロテクト (東陶機器) http://www.toto.co.jp/hydro/hydro_2.htm

- 雨水で汚れが落ちる
 - 排気ガスで分解・浄化する
 - カビが生えるのを抑える
 - イヤな臭いを抑える
- セルフクリーニング効果
大気浄化効果
抗菌効果
防臭効果



タイル



外装コーティング材



ガラスコーティング材



インテリアタイル・
建材



生活用品



カー用品

材料の不思議と可能性

1. 主構成元素が同じなのに、物性が全く違う
SiとSiO₂
AlとAl₂O₃ => 化学組成
2. 構成元素が同じでも、構造によって物性が全く変わる
結晶シリコンとアモルファスシリコン
TiO₂: ルチルとアナターゼ => 結晶構造
3. 組成・結晶構造が同じでも、物性(透明性)が違う
アルミナセラミックス、透光性アルミナ
単結晶アルミナ => 微構造
4. 同じ単結晶でも色・機能が違う
サファイアとルビー => 不純物・添加物
5. 同じ元素でも色が違う => イオン価数、構造

内容

1. 身のまわりのセラミックス

2. 材料の不思議と可能性

同じ原料から全然違う材料ができる

3. なぜ半導体がすごいのか

4. なぜ透明半導体が先端研究なのか

5. 新材料開発の例

鉄系超電導体の発見まで

6. 先端ディスプレイに必要な材料

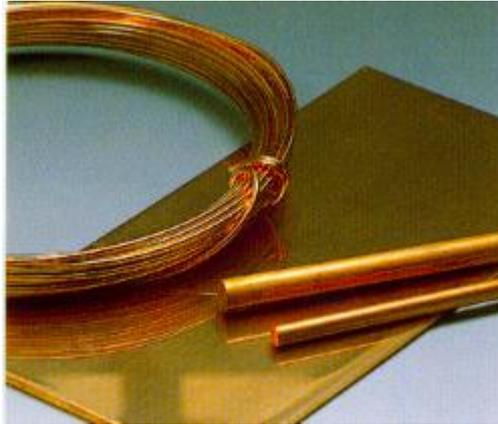
7. 最先端ディスプレイと酸化物

金属

アルミニウム



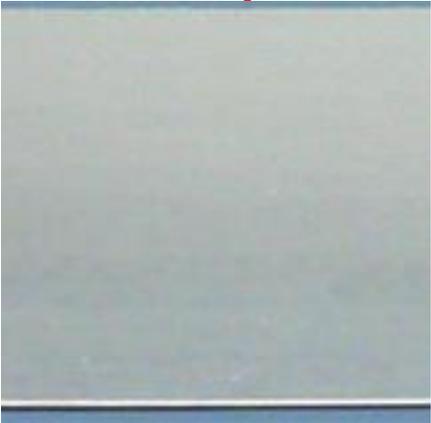
銅



金



亜鉛



インジウム



鉛



絶縁体

酸化アルミニウム



硫黄



酸化シリコン



アクリル

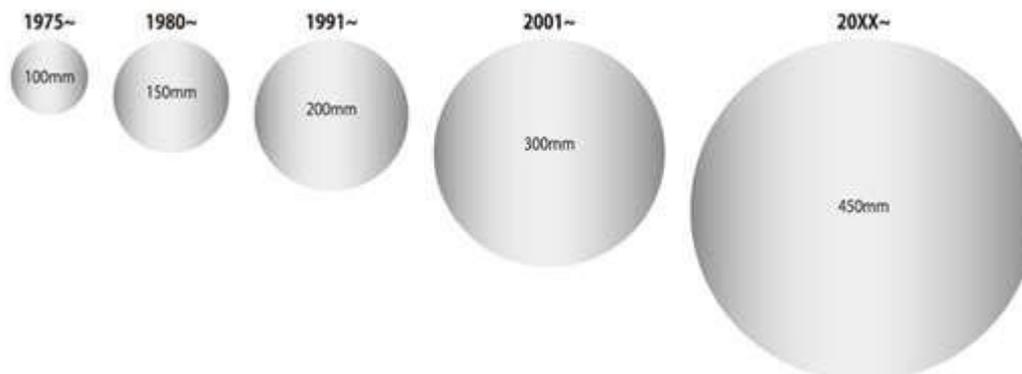


シリコンウェハー

http://semicon.jeita.or.jp/exposition/topics_03.html



http://www.sumcosi.com/products/next_generation/large_diameter.html



多くの機能デバイスが半導体を使って作られている

ダイオード

トランジスタ (CPU, メモリーetc.)

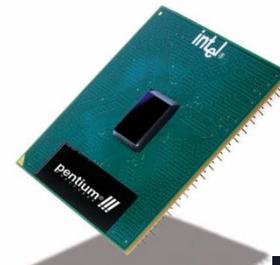
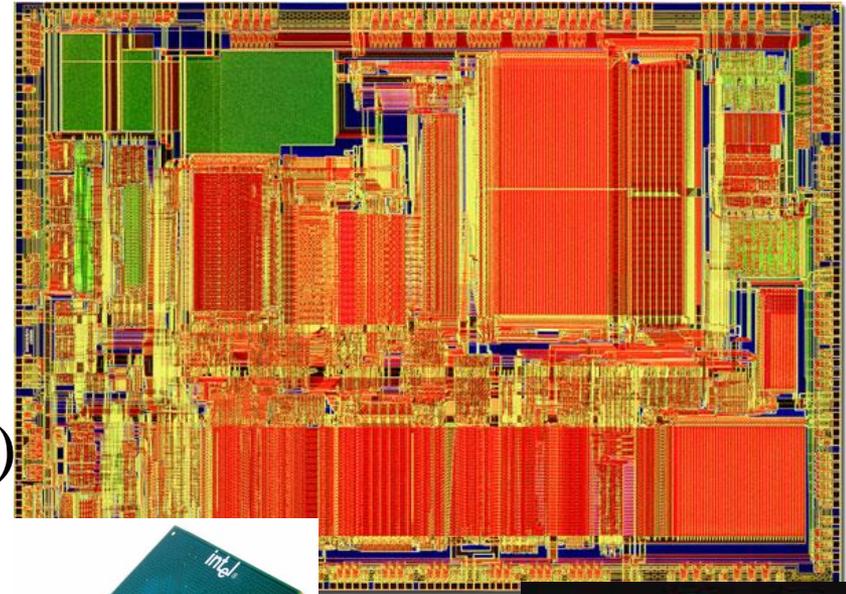
発光素子

光センサー

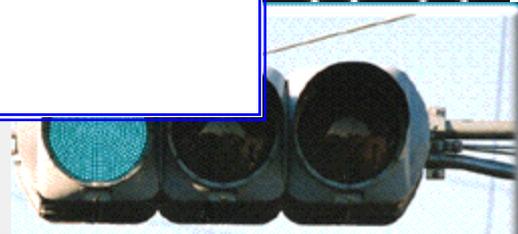
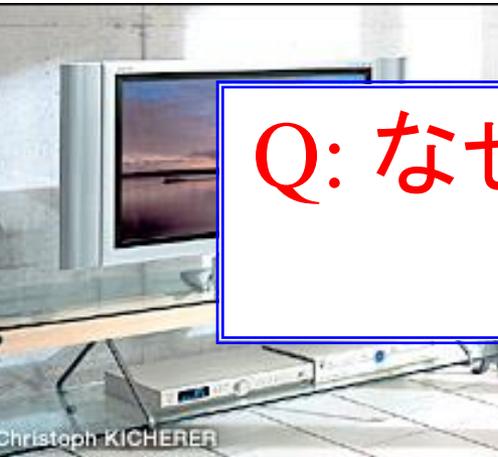
熱電素子 (発電、温度センサー)

太陽電池

光触媒

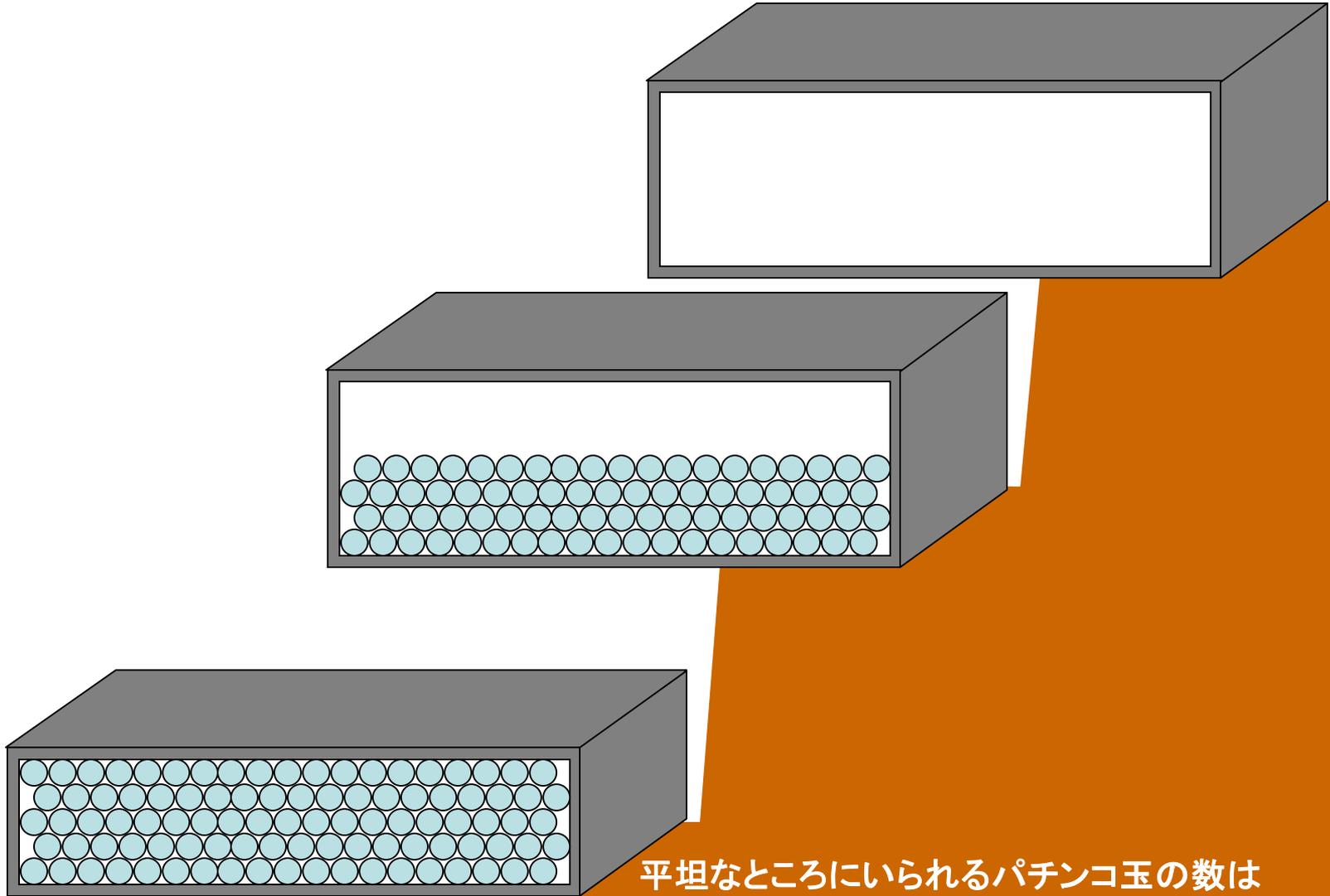


Q: なぜ半導体がさまざまな機能をもてるのか？



固体中の電子(横から見た図)

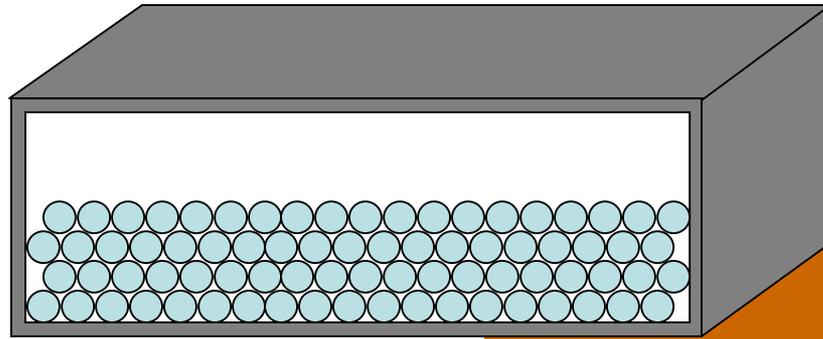
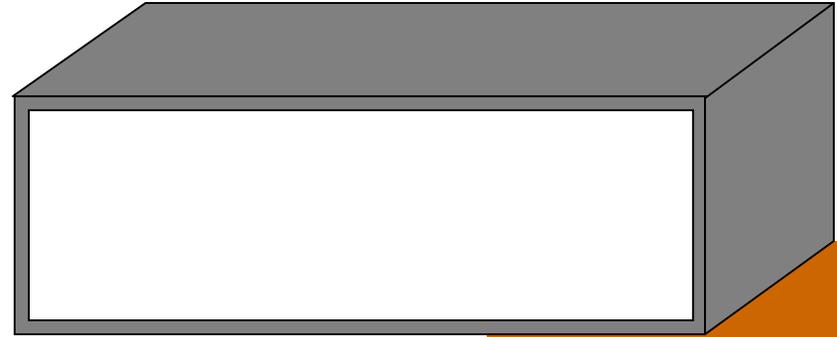
上方向(電子のエネルギー)



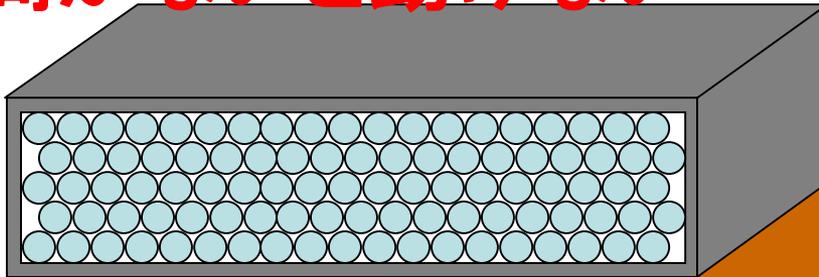
平坦なところにいられるパチンコ玉の数は
限りがある
下の箱に隙間があったら、すぐに落ちる

金属の中の電子

隙間があるとよく動く
=> 電気を流す“金属”

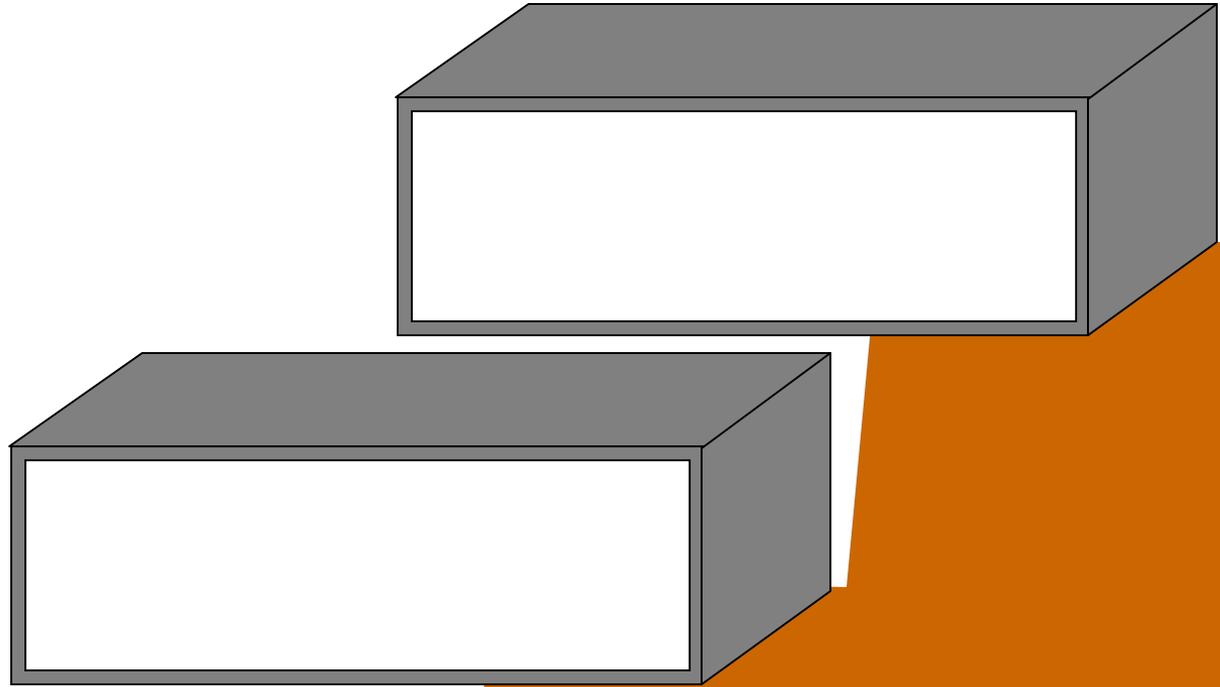


隙間がないと動けない

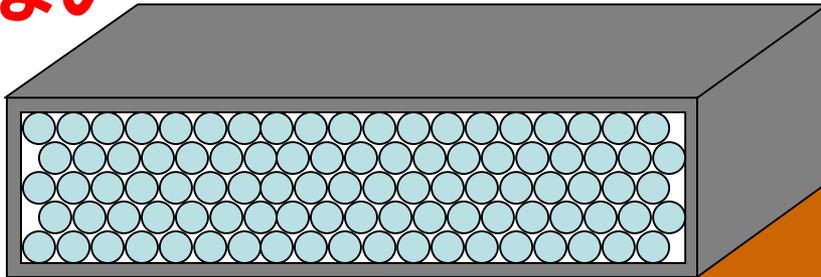


絶縁体の中の電子

電子がない



隙間がない

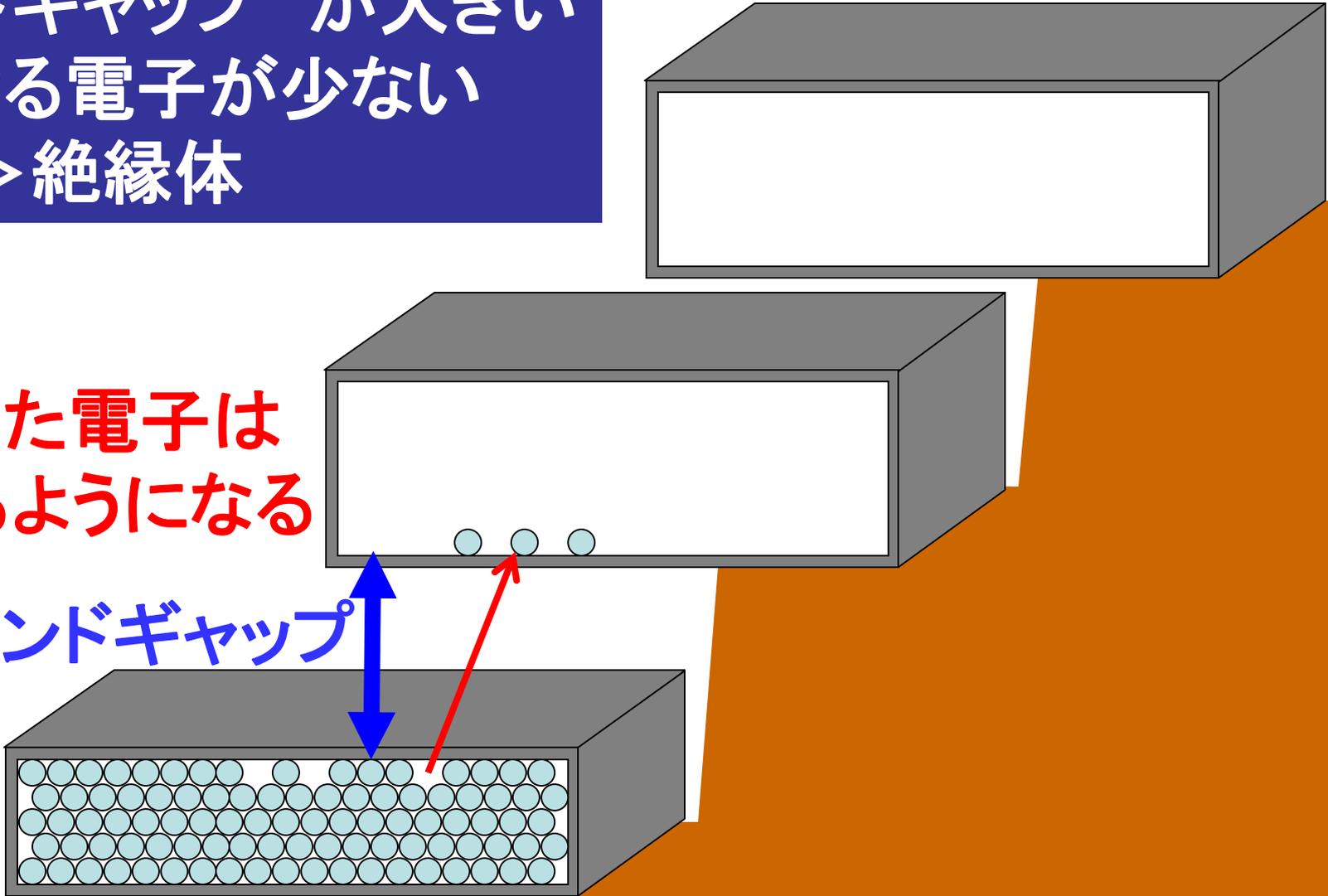


半導体の中の電子

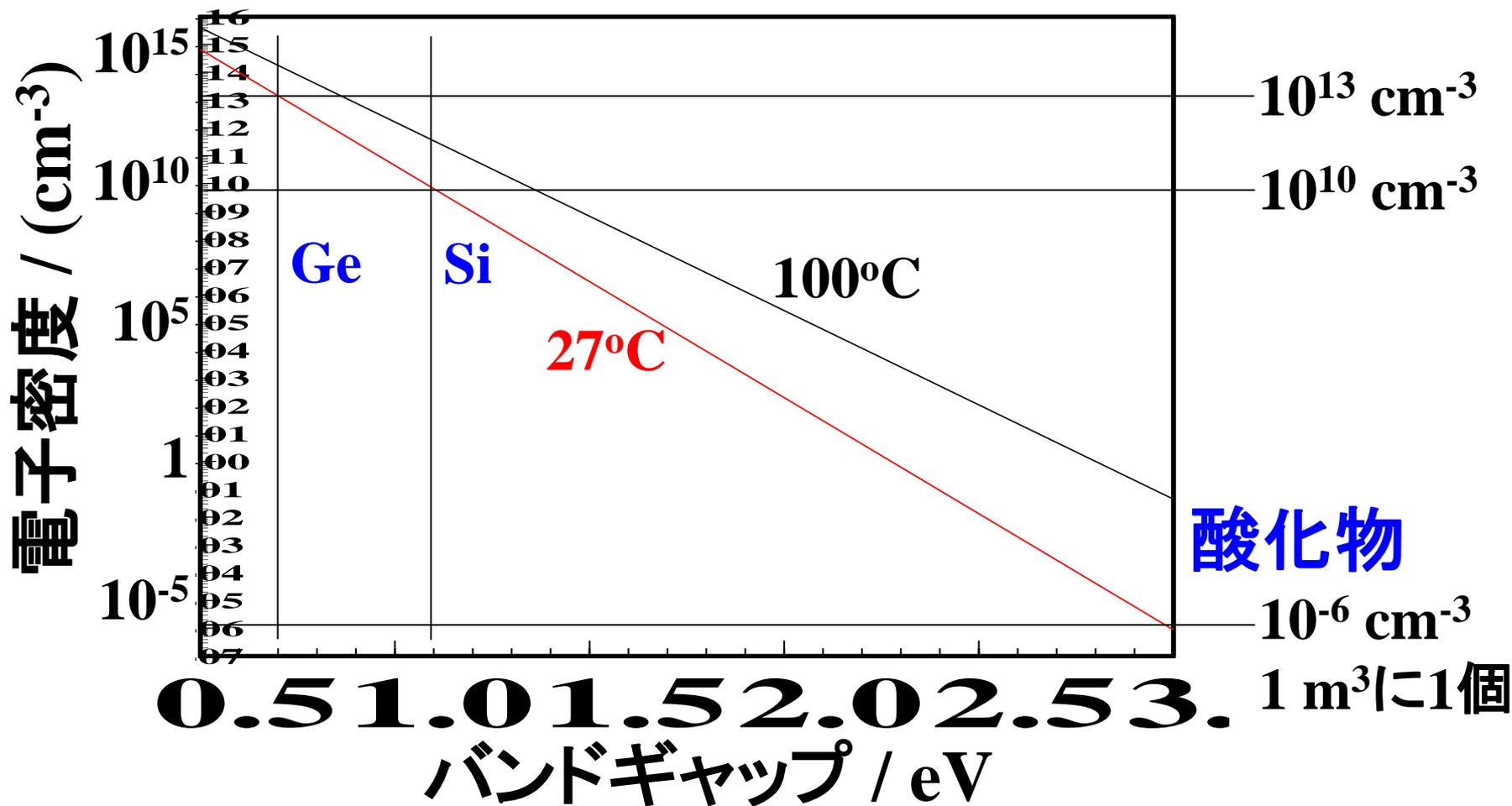
“バンドギャップ”が大きい
* 動ける電子が少ない
=> 絶縁体

温まった電子は
動けるようになる

バンドギャップ



なぜ半導体がいろいろな機能を持つのか



内容

1. 身のまわりのセラミックス

2. 材料の不思議と可能性

同じ原料から全然違う材料ができる

3. なぜ半導体がすごいのか

4. **なぜ透明半導体が先端研究なのか**

5. 新材料開発の例

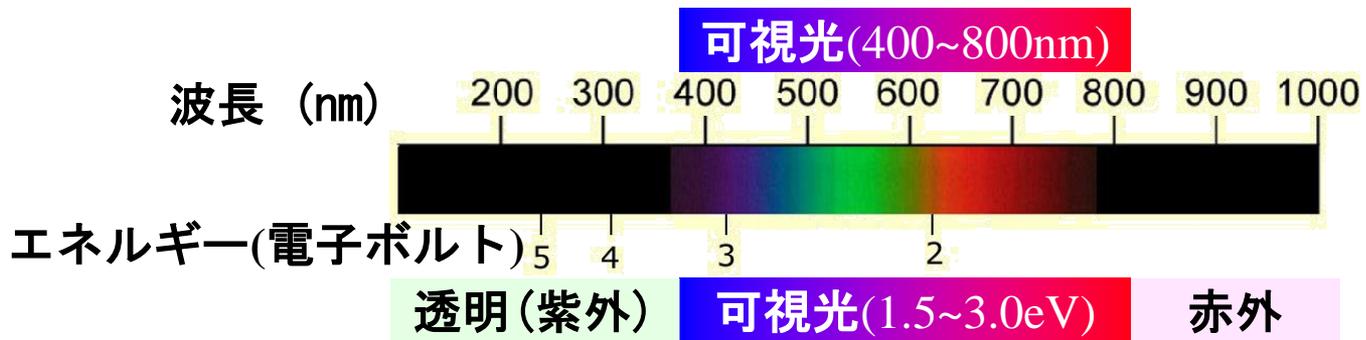
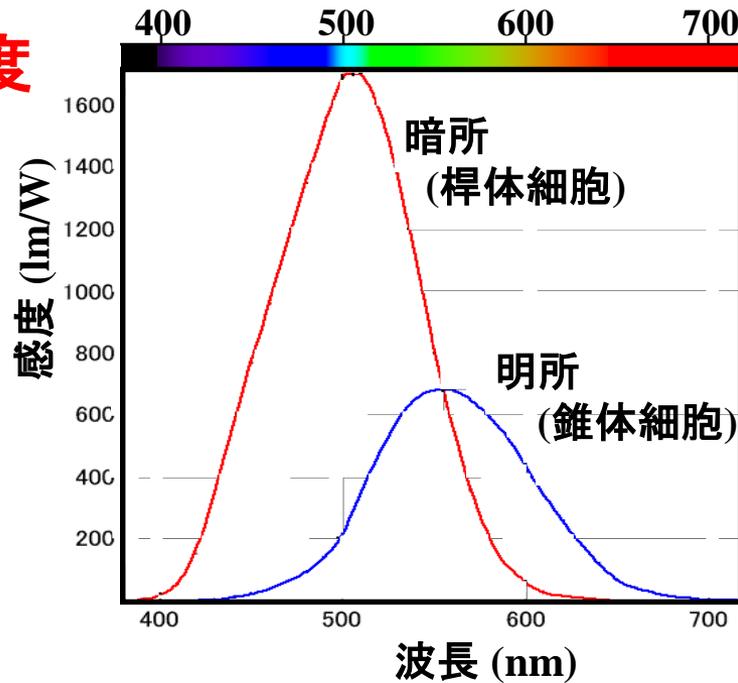
鉄系超電導体の発見まで

6. 先端ディスプレイに必要な材料

7. 最先端ディスプレイと酸化物

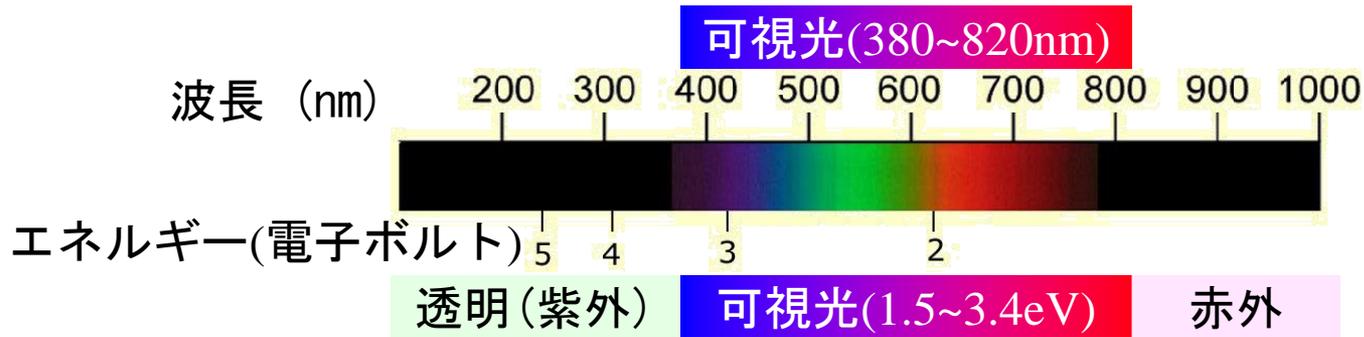
透明とはどういうことか？

視感度



透明: 400~800 nmの波長の光を吸収・反射しない

透明とはどういうことか？

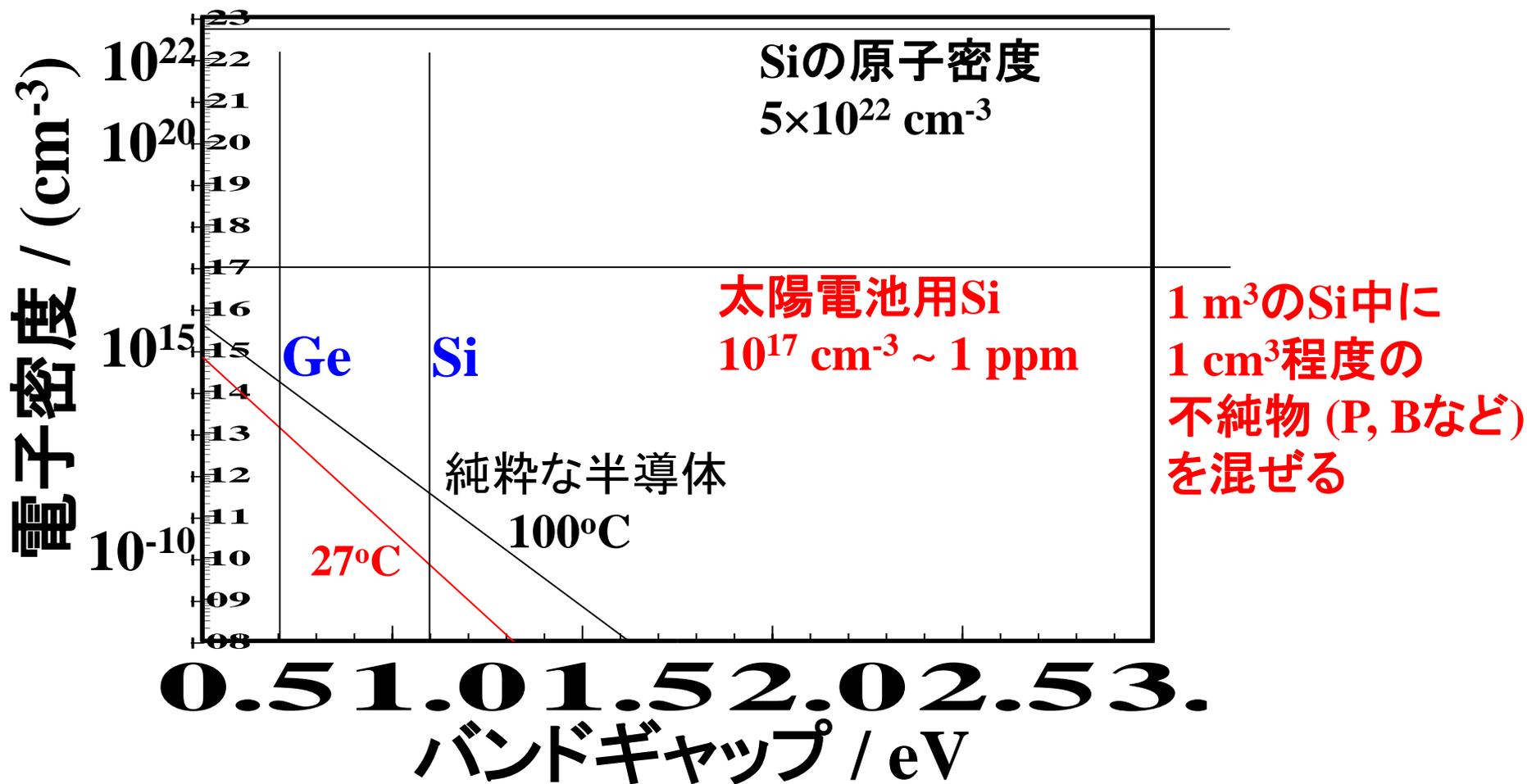


透明: **バンドギャップ**が 3電子ボルト以上

参考: シリコンのバンドギャップ 1.1電子ボルト

バンドギャップが大きいと電気が流れにくい？

なぜ半導体がいろいろな機能を持つのか

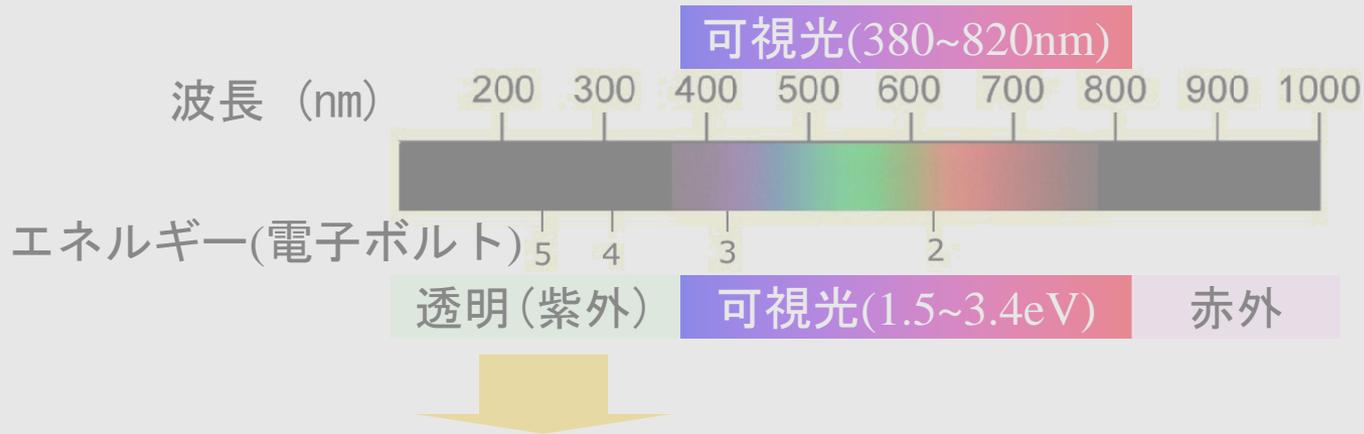


動ける電子の数

シリコン	1 m ³ に 10 ¹⁶ 個
酸化物	1 m ³ に 1 個

酸化物なんて
半導体になるはずがない！！

透明とはどういうことか？



透明: **バンドギャップ**が 3電子ボルト以上

参考: シリコンのバンドギャップ 1.1電子ボルト

バンドギャップが大きいと電気が流れにくい？

そんなことはない

なぜ透明半導体の研究をするのか？

材料科学への挑戦

新しい技術の開発: 透明エレクトロニクス

実はシリコンをしのぐ可能性があった

酸化物の特徴は？

セラミックス: セメント、ガラス、茶碗

1. 脆い
2. 電気を流さない
3. 構造材料としてしか使えない

酸化物の特徴は？

1. 脆い

曲がる酸化物はたくさんある

2. 電気を流さない

電気を流す酸化物はたくさんある

3. 構造材料としてしか使えない

使い方によってはSiよりも優れた半導体デバイスを作れる

逆張りの発想

1. 電気を流すのが難しい

絶縁体に電流を流せる電極になる

2. 半導体技術の保守本流からは無視された材料

研究されてこなかった中に宝が眠っている

- ・室温でも作っても動く
- ・アモルファス(非結晶)中でも高性能

な半導体デバイス

酸化物も曲がる

長崎ポッペン



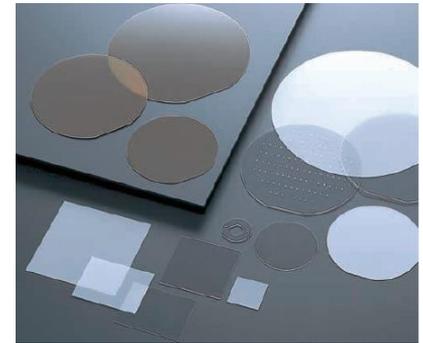
<http://www.idemitsu.co.jp/moconet/archives/spot/gangu/line2.html>

セラフレックス (ZrO₂)
(日本ファインセラミックス)

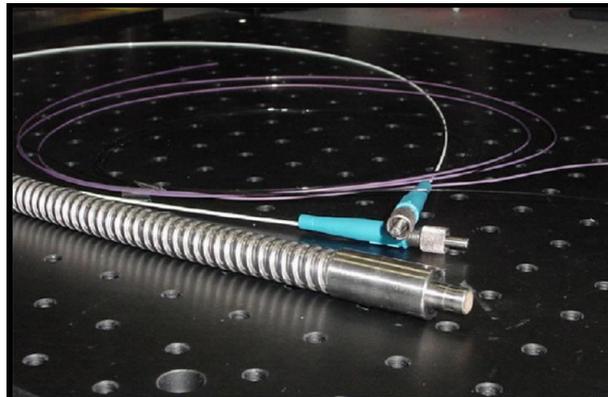


http://www.japan-fc.co.jp/products/pro_4.html

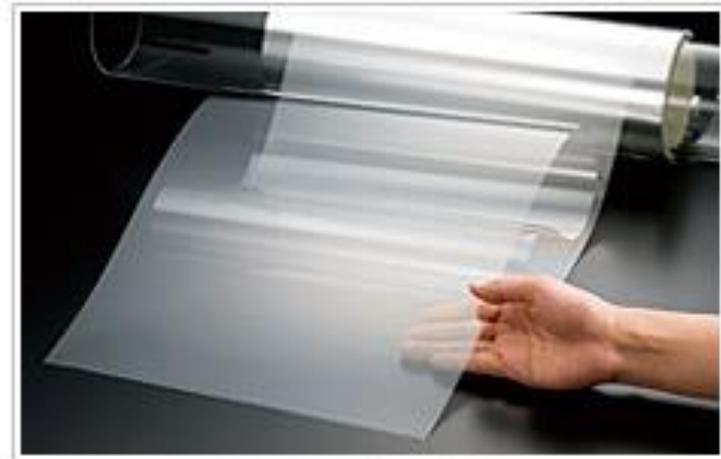
単結晶サファイア
(京セラ)



ガラスファイバー



フレキシブルガラス
(日本電気硝子)

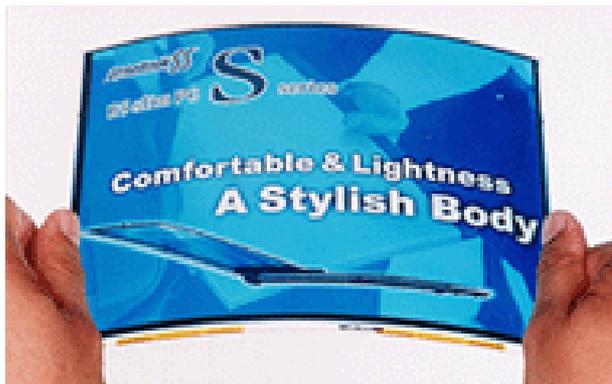


曲がっている液晶ディスプレイ

東芝 (2002/5/21)

<http://pc.watch.impress.co.jp/docs/2002/0521/to-shiba.htm>

**R = 20 cm, 8.4" 800x600
(SVGA)**



エプソン (2003/10/29)

<http://techon.nikkeibp.co.jp/members/01db/200310/1012838/>

**50 μm厚ガラス
R=50mm, 3.8" 212ppi**



AUO (2008/5/21, 6/6)

<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20080521/152049/>

<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20080606/152960/?ref=RL3>

R=100mm



三菱電機

タッチパネル付湾曲LCD

東京モーターショー2011

週刊アスキー 2011/12/20号

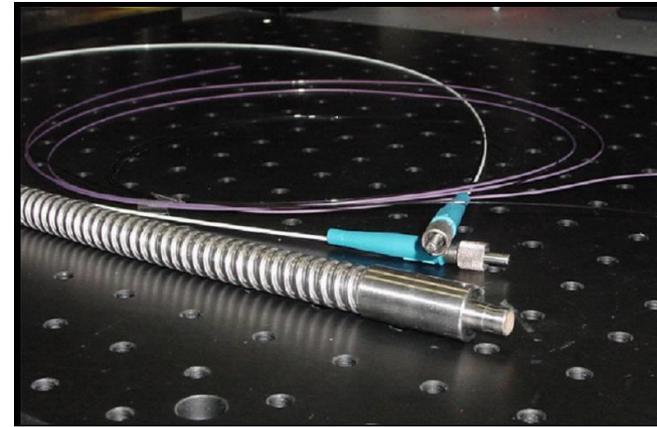


新しいガラス

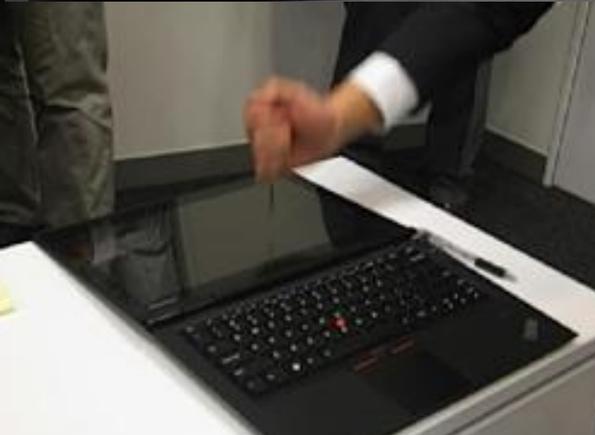
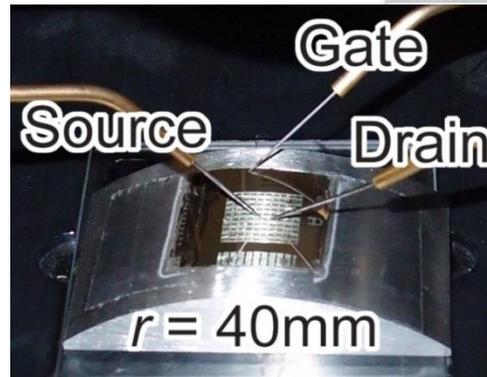
ガラスファイバー

コーニング ゴリラガラス

イオン交換処理によって表面に圧縮応力を形成して靱性を上げた化学強化ガラス
プラスチックの20倍の剛性、30倍の硬度



日本電気硝子
無アルカリ アルミノボロシリケートガラス
破壊半径~50mm (100mm厚)



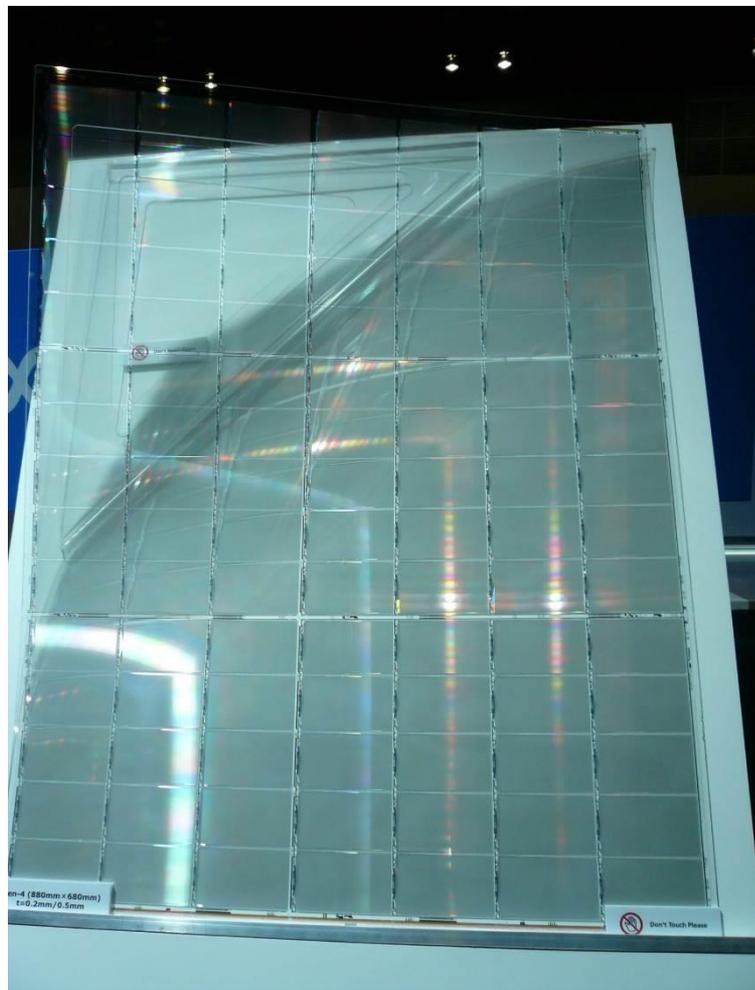
ドライバーで突ついても傷ひとつつかない
「ThinkPad X11」

<http://www.zakzak.co.jp/economy/ecn-news/photos/20110603/ecn1106031541002-p2.htm>

液晶TV用ガラス (旭ガラス)

880 × 680 × 0.2 mm³ (現在は0.7~0.5 mm厚、2.2 × 2.5 m²など)

薄膜トランジスタ(a-Si)形成後



カラーフィルター形成後



透明酸化物が使われている電子機器

平面テレビ(液晶, 有機EL)

タッチパネル



薄膜太陽電池

産総研, メガソーラータウン

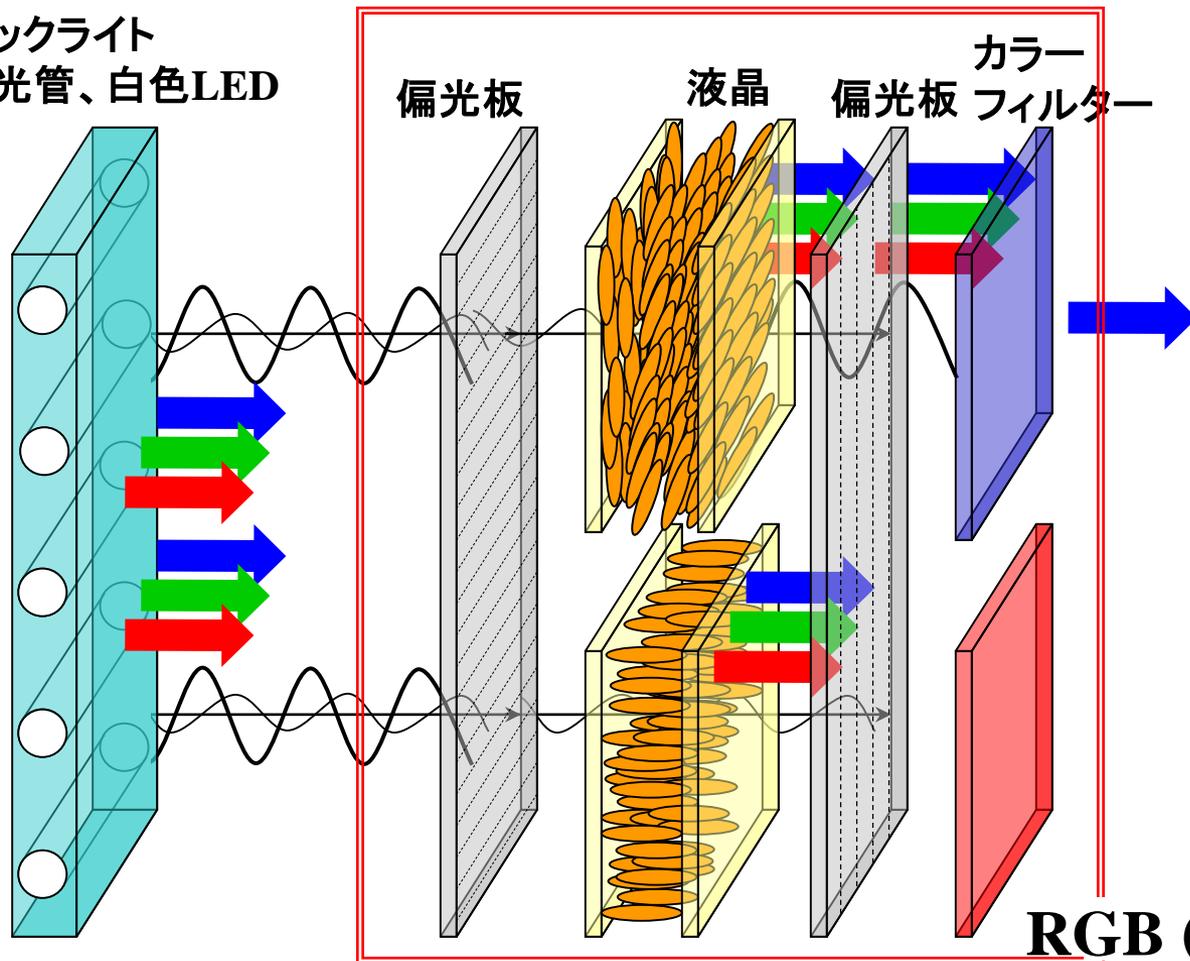


三菱重工
 $a\text{-Si:H}$

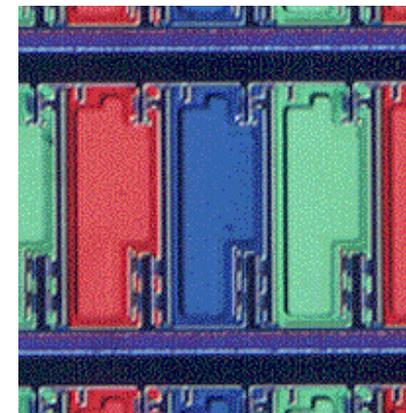
東急電鉄 すずかけ台駅

液晶TVは非常に効率が悪い

バックライト
蛍光管、白色LED



シャープ
<http://www.sharp.co.jp/corporate/rd/28/28-3-2a.html>



RGB (赤・緑・青) ピクセル

透過率

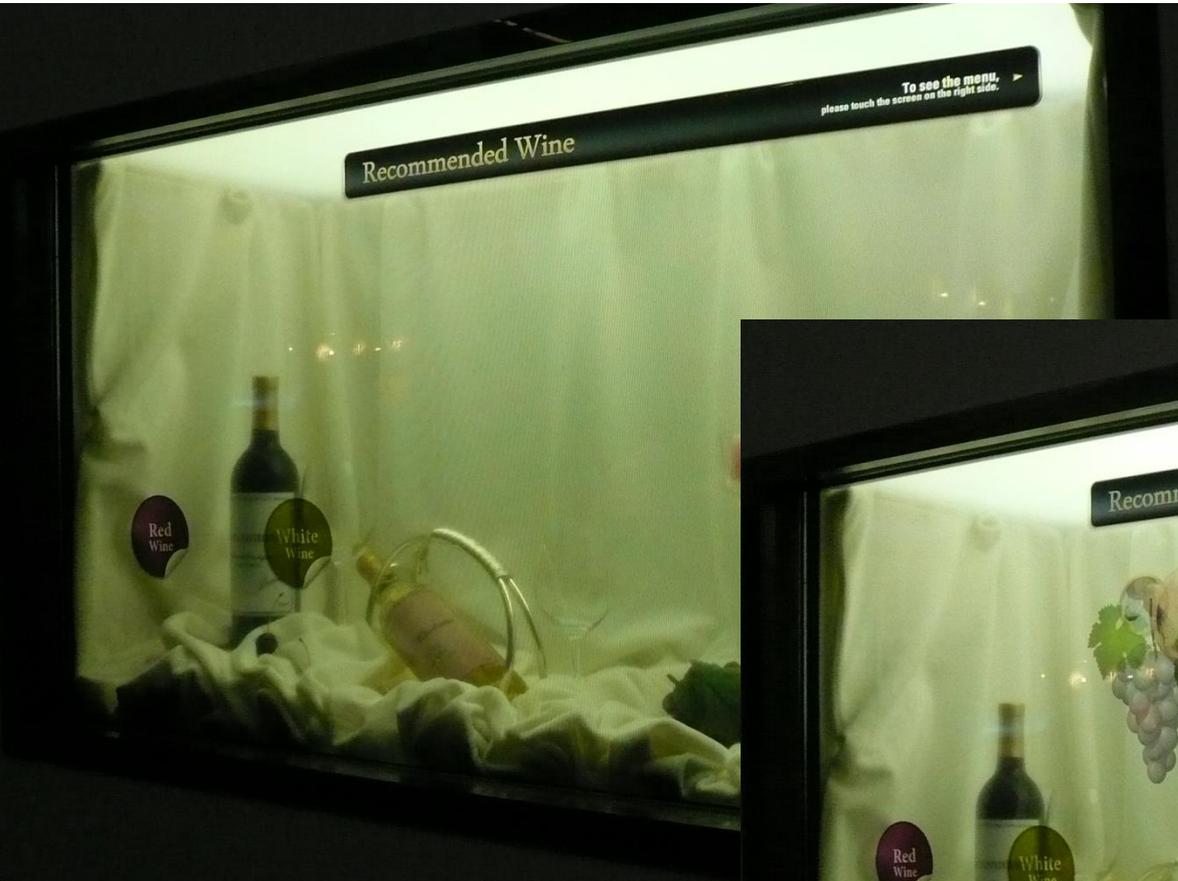
偏光版 2枚 ~1/2 カラーフィルター 1/3 その他 => <10%

透明液晶ディスプレイ (タッチパネル内蔵)

サムソンLCD(韓国)

SID2010

46型液晶
透過率 ~6%



2011年3月から22型の
量産を開始

将来のディスプレイは透明になる？

ヘッドアップディスプレイ



F/A-18C Hornet
Wikipedia, Japanese
<http://ja.wikipedia.org/>



Defi-Link VSD CONCEPT
Nippon Seiki Co. Ltd.
<http://www.nippon-seiki.co.jp/defi/>

未来の姿？

Time Machine, 2002, Dreamworks



Minority Report, 2002, 20Century Fox



透明窓ディスプレイ



内容

1. 身のまわりのセラミックス

2. 材料の不思議と可能性

同じ原料から全然違う材料ができる

3. なぜ半導体がすごいのか

4. なぜ透明半導体が先端研究なのか

5. 新材料開発の例

鉄系超電導体の発見まで

6. 先端ディスプレイに必要な材料

7. 最先端ディスプレイと酸化物

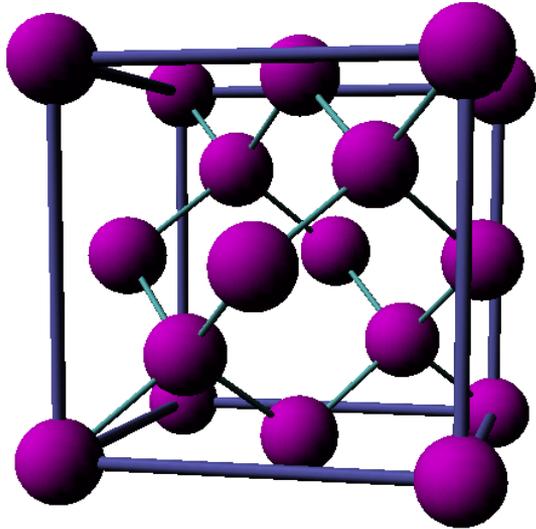
半導体の結晶構造

ダイヤモンド構造

Si

Ge

C (ダイヤモンド)



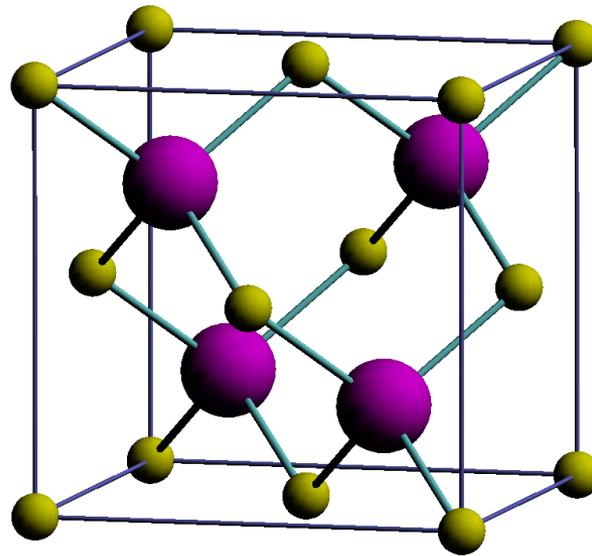
閃亜鉛鉱構造

GaAs (高速半導体)

InP

(ZnSe)

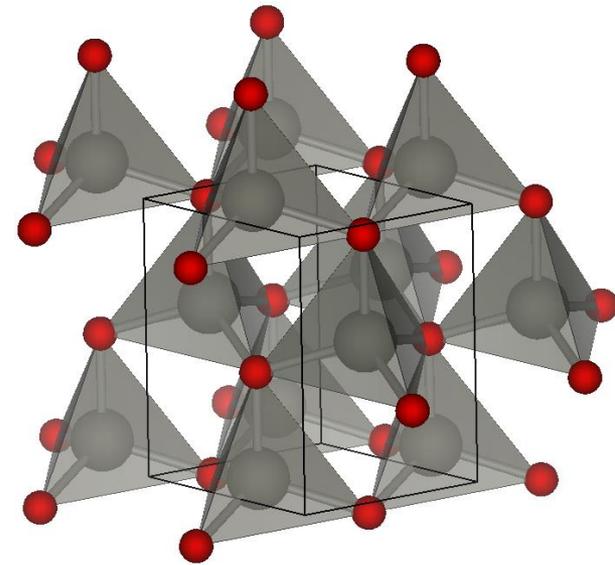
(GaN)



ウルツ鉱構造

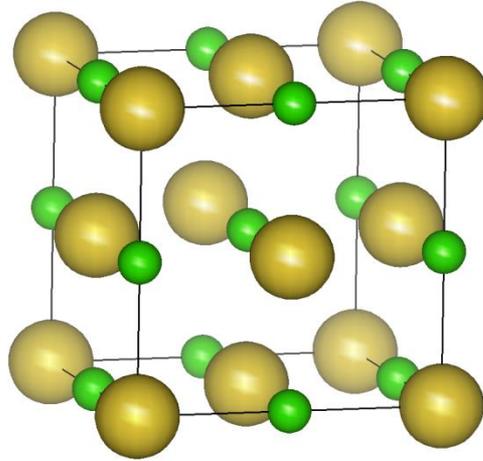
GaN (青色LED)

ZnO

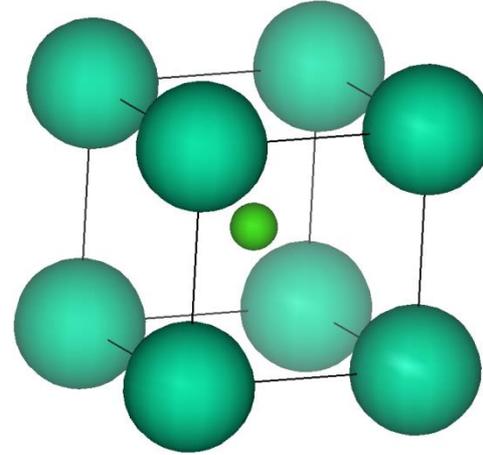


無機結晶の結晶構造

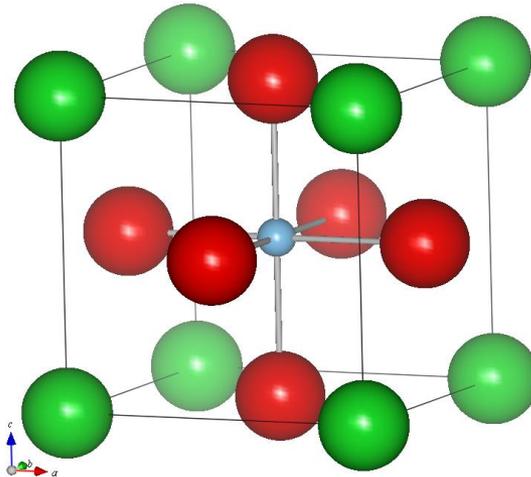
NaCl(塩)



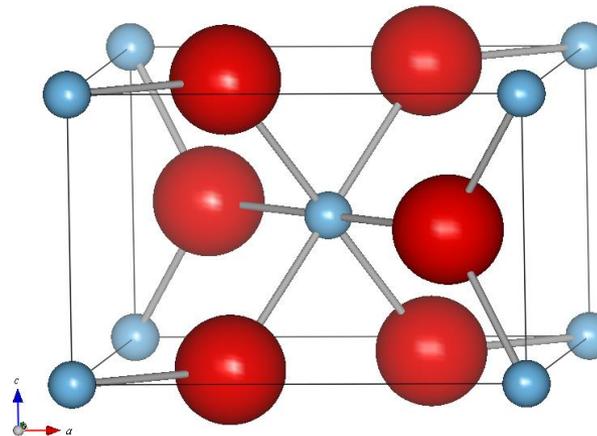
CsCl(塩)



BaTiO₃(強誘電体)

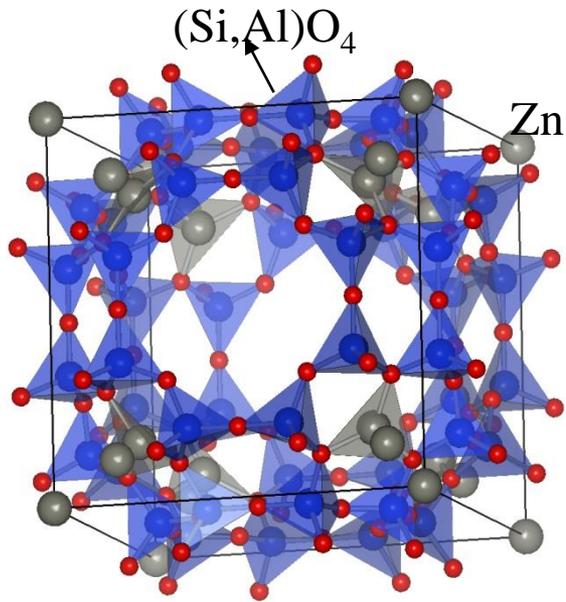


SnO₂(透明導電体)

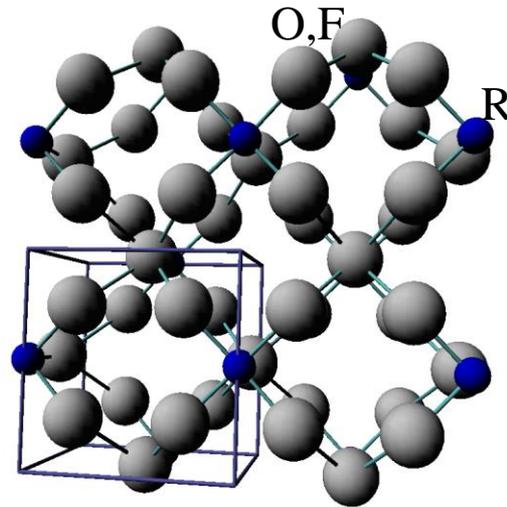


複雑な構造を持つ無機結晶

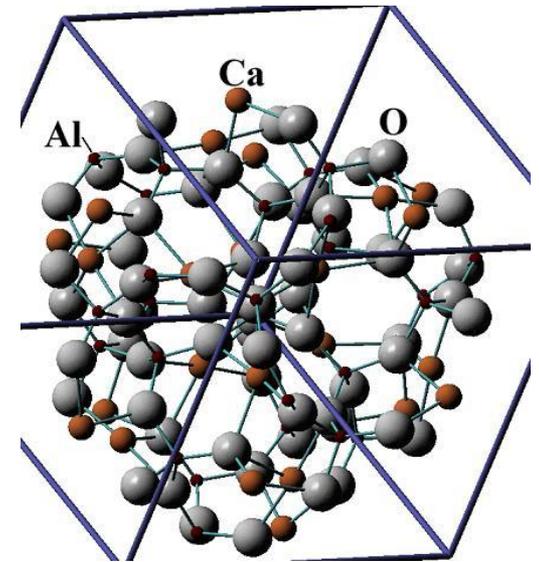
ゼオライト



WO_3



C12A7



高性能透明半導体をつくるには...

電子は陽イオンの上を流れる

1. 大きい陽イオンを使う

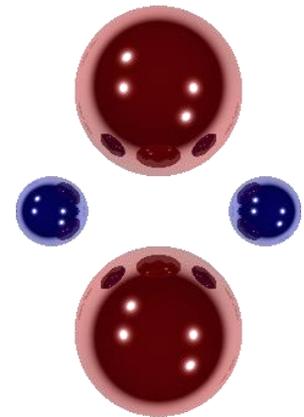
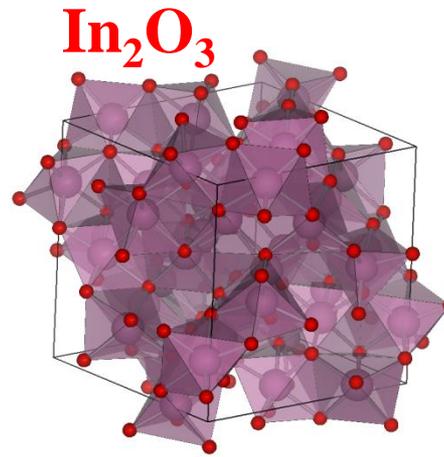
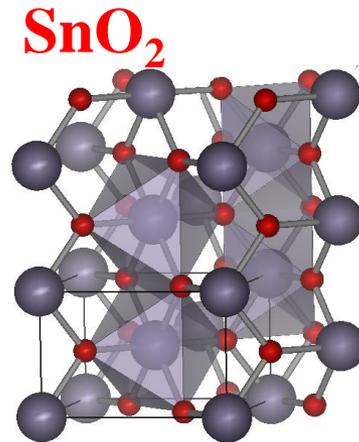
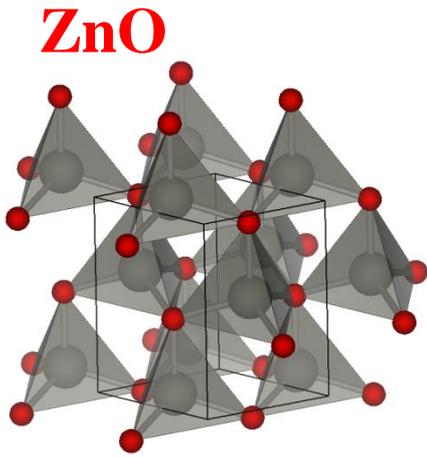
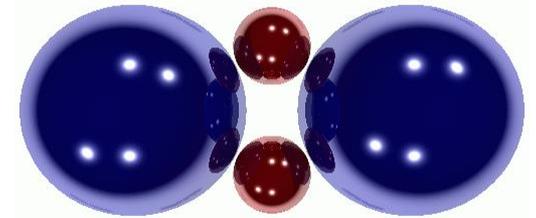
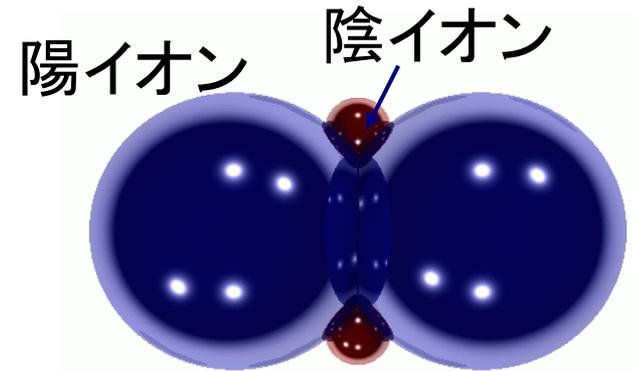
Sn, In, Cdなど

2. 陽イオン間の軌道を近づける

SnO_2 , In_2O_3

3. 陰イオンも大きくする

透明p型酸化物の発見: CuAlO_2

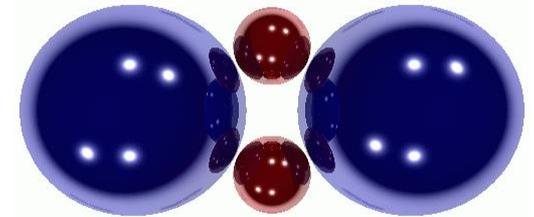
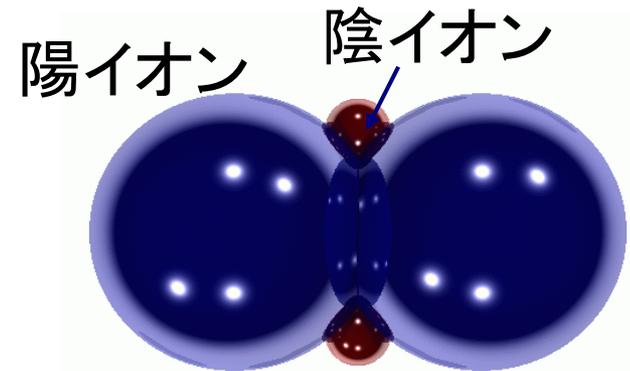


高性能透明半導体をつくるには・・・

電子は陽イオンの上を流れる

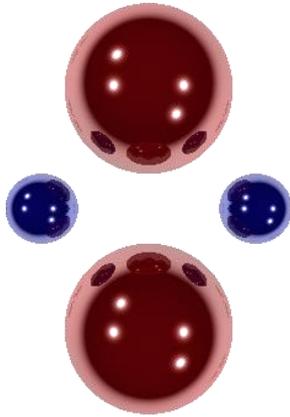
1. 大きい陽イオンを使う
Sn, In, Cdなど

2. 陽イオン間の軌道を近づける
SnO₂, In₂O₃



p型透明酸化物半導体の設計

- ・陽イオンも使う
- ・可視光領域に吸収がない



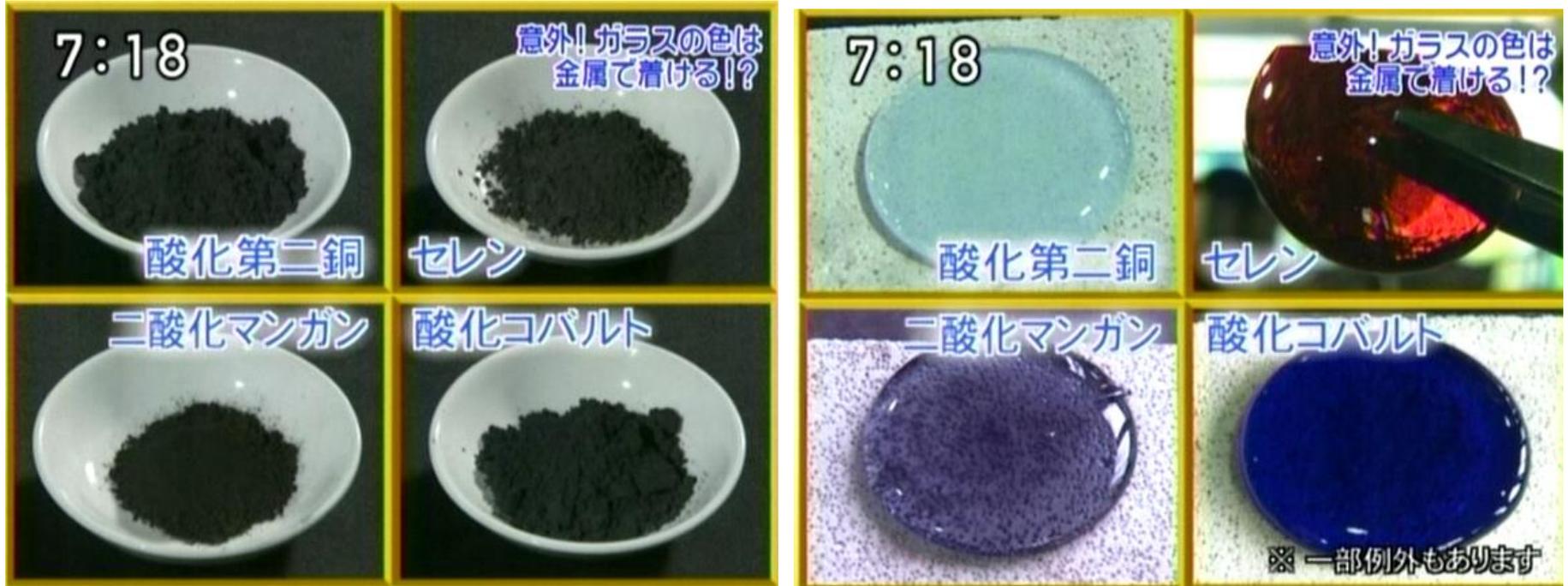
周期表

遷移金属

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H 1																	He 2
2	Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
3	Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
4	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
5	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
6	Cs 55	Ba 56	* 57	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86

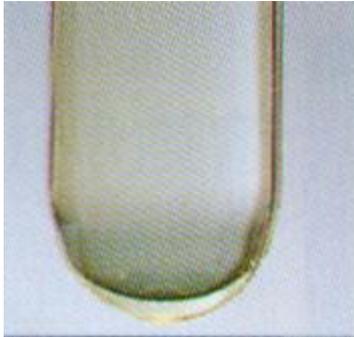
* ランタノイド	La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
-------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

ガラスの色



所さんの目がテン!

イオンの色



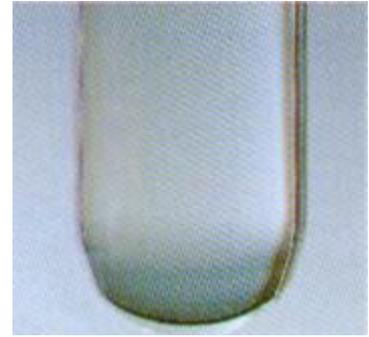
Ag^+ (無色)



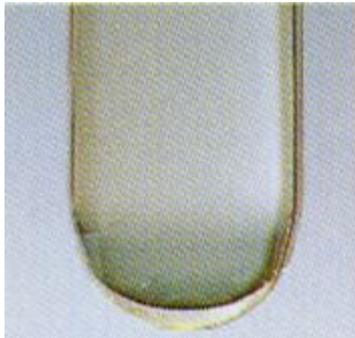
Cu^{2+} (青色)



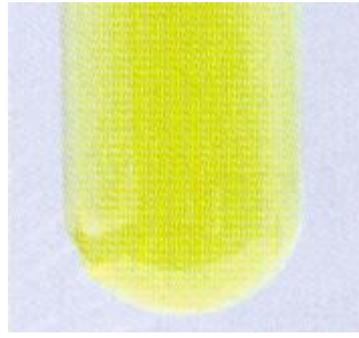
Pb^{2+} (無色)



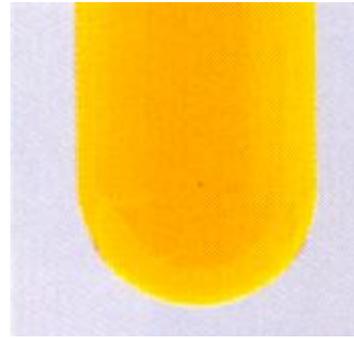
Zn^{2+} (無色)



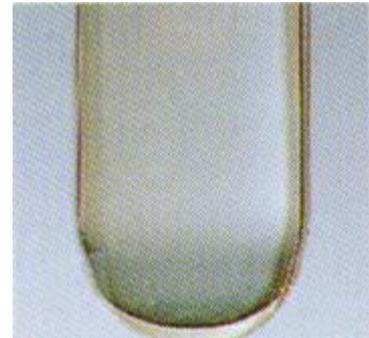
Al^{3+} (無色)



Fe^{2+} (淡緑色)



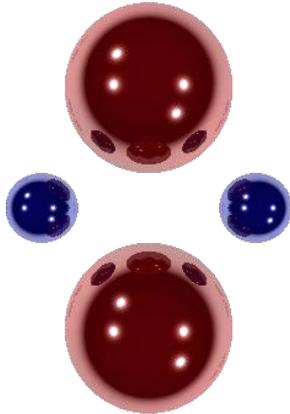
Fe^{3+} (黄褐色)



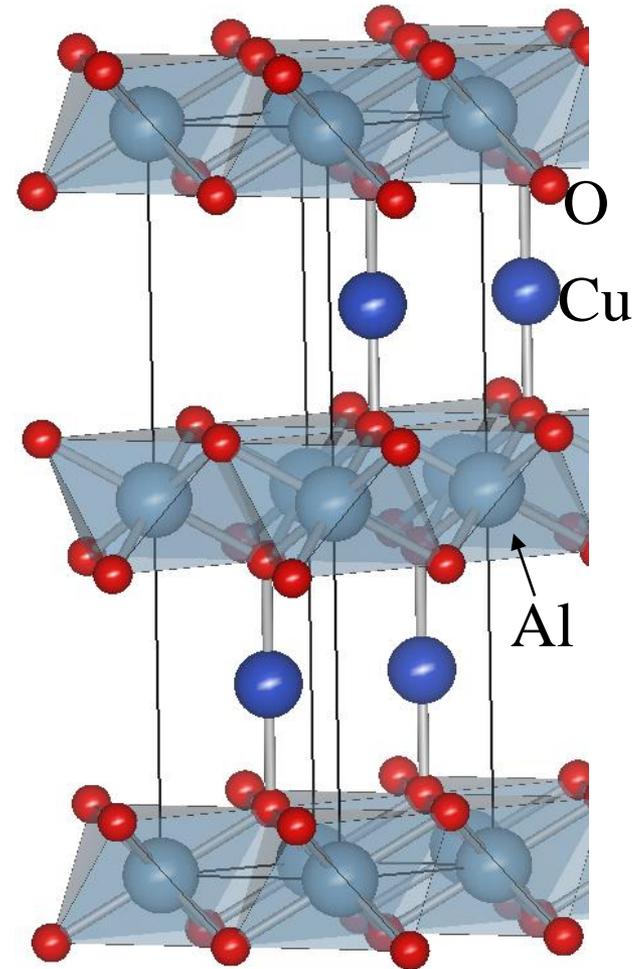
Cd^{2+} (無色)

p型透明酸化物半導体の設計

- ・陰イオンも大きくする
- ・可視光領域に吸収がない
Ag⁺, Cu⁺の溶液は無色透明

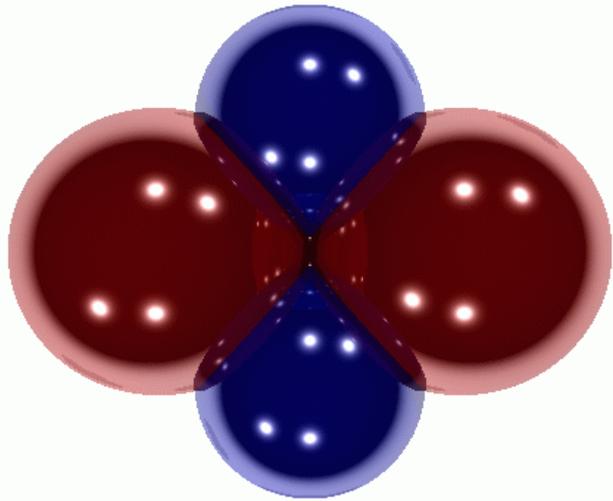


CuAlO₂, SrCu₂O₂

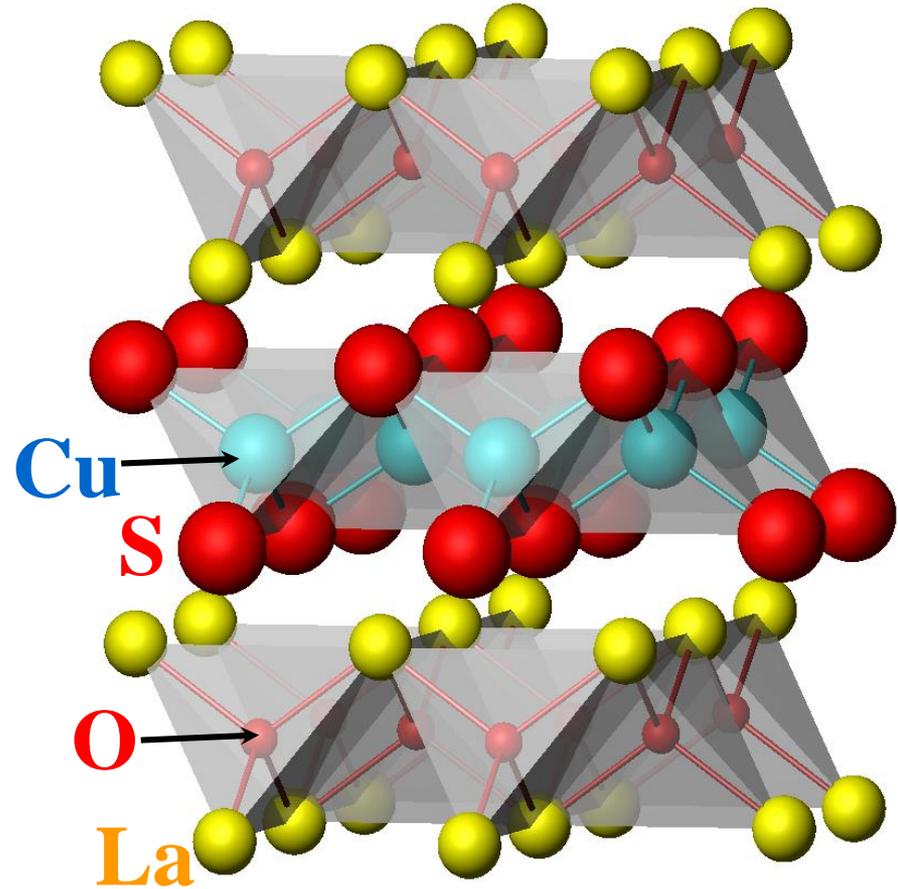


よりよいp型酸化物の探索

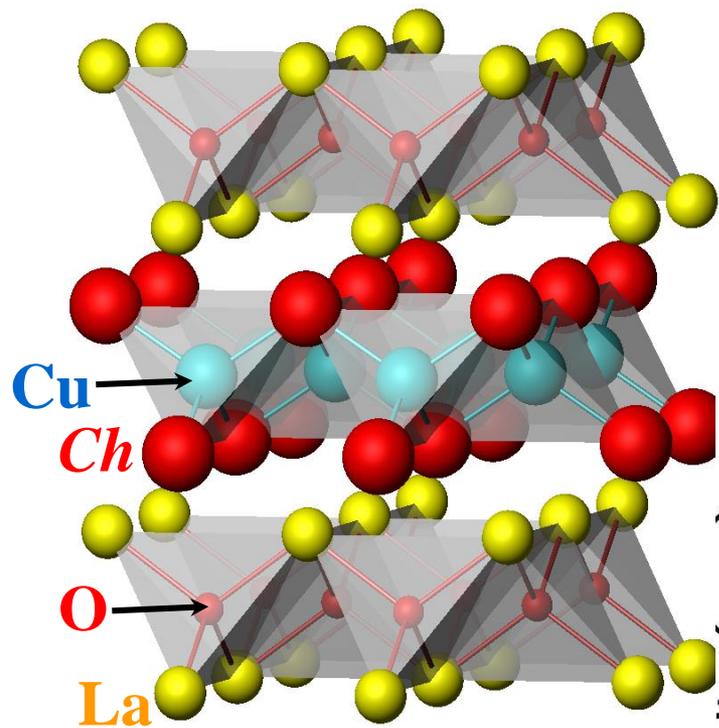
酸素より大きい陰イオンを
利用



LaCuOS

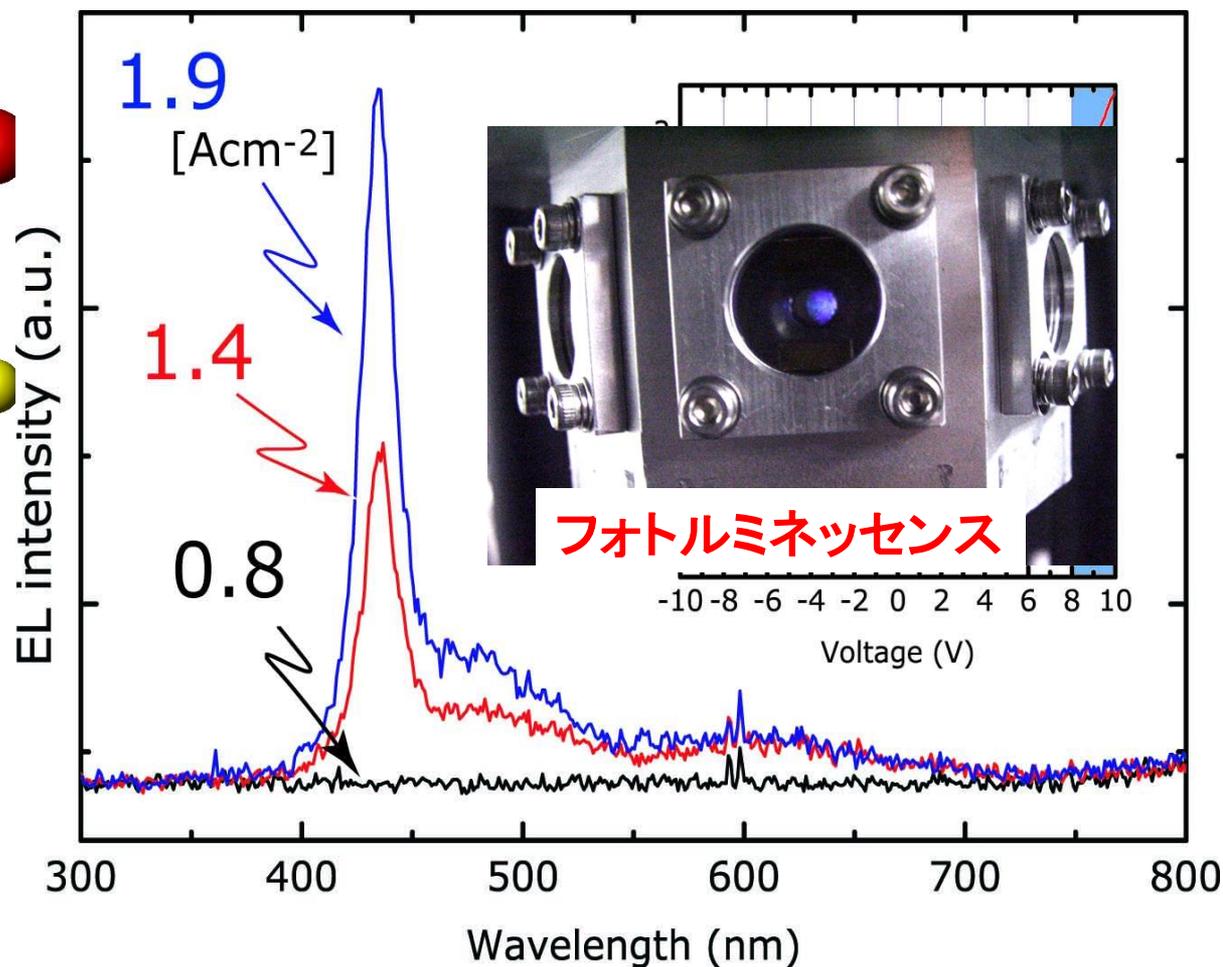


新しいp型半導体が青く光る: $\text{LaCuO}(\text{S,Se})$



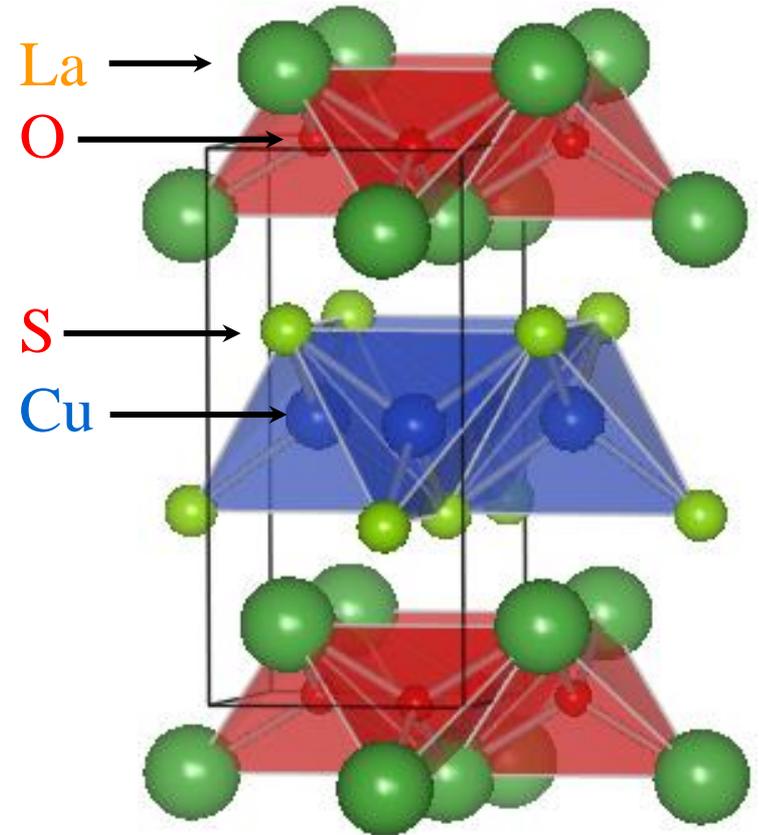
エレクトロミネッセンス

@RT



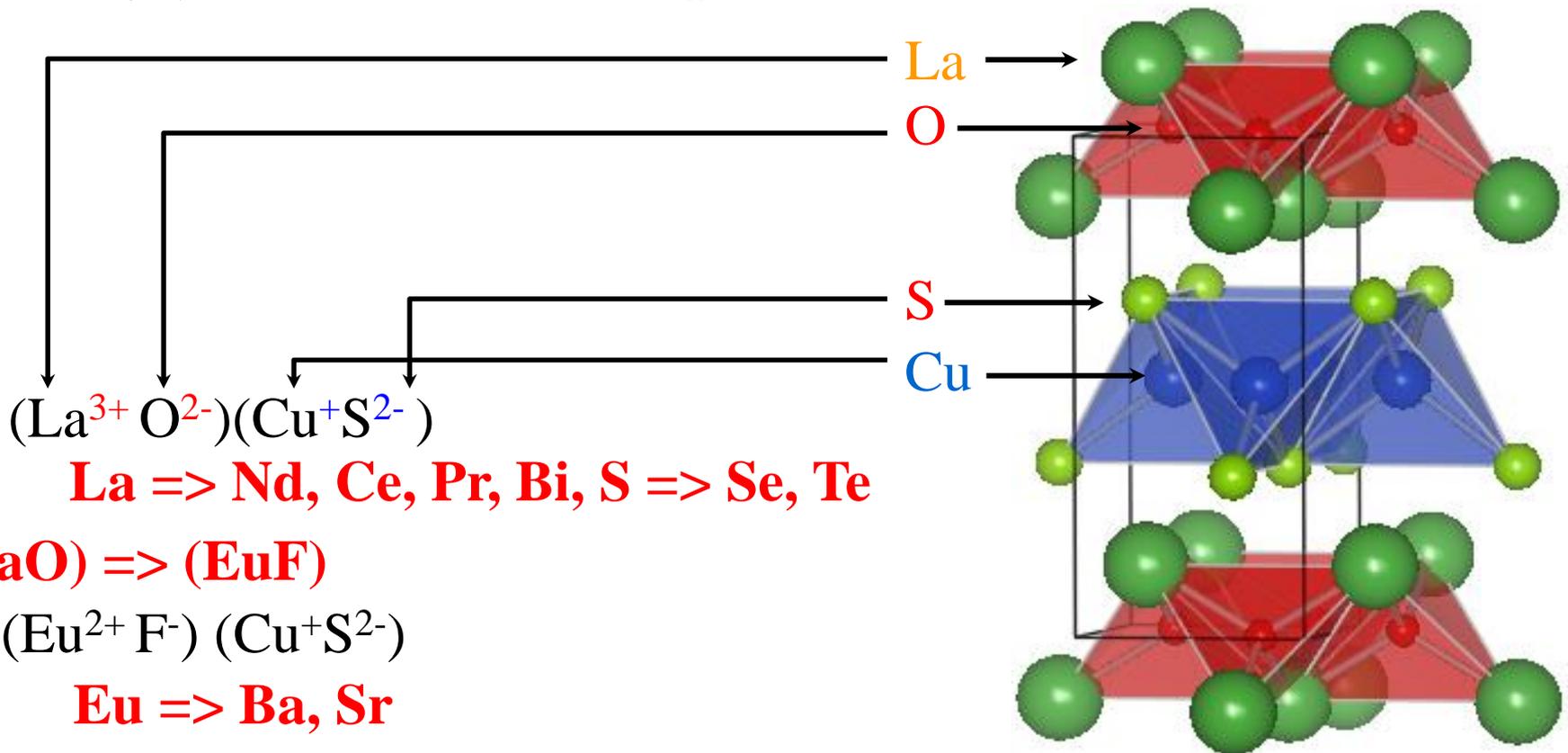
同じ結晶構造でイオンを変えてみる

同じ価数、大きさのイオンは交換しやすい

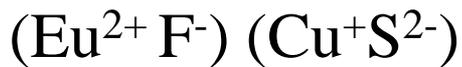
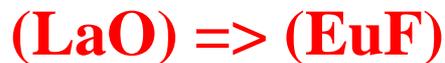


同じ結晶構造でイオンを変えてみる

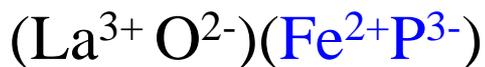
同じ価数、大きさのイオンは交換しやすい



La => Nd, Ce, Pr, Bi, S => Se, Te



Eu => Ba, Sr



La => Nd, Sm, Gd

Mn => Fe, Co, Ni, Zn

周期表

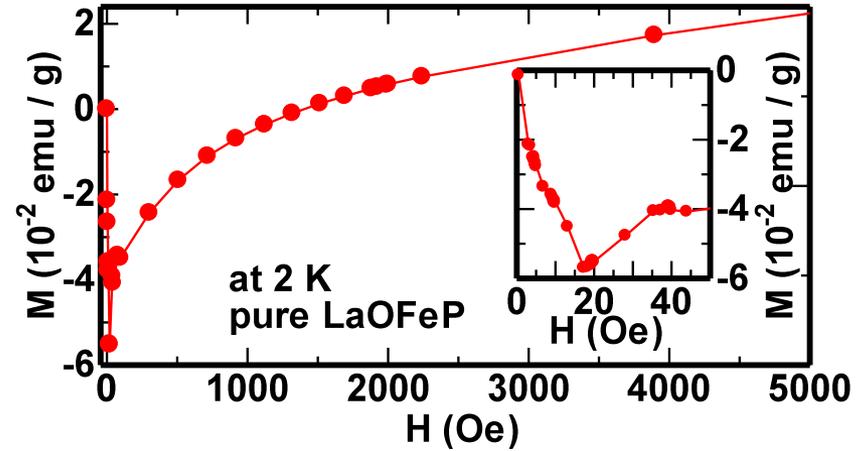
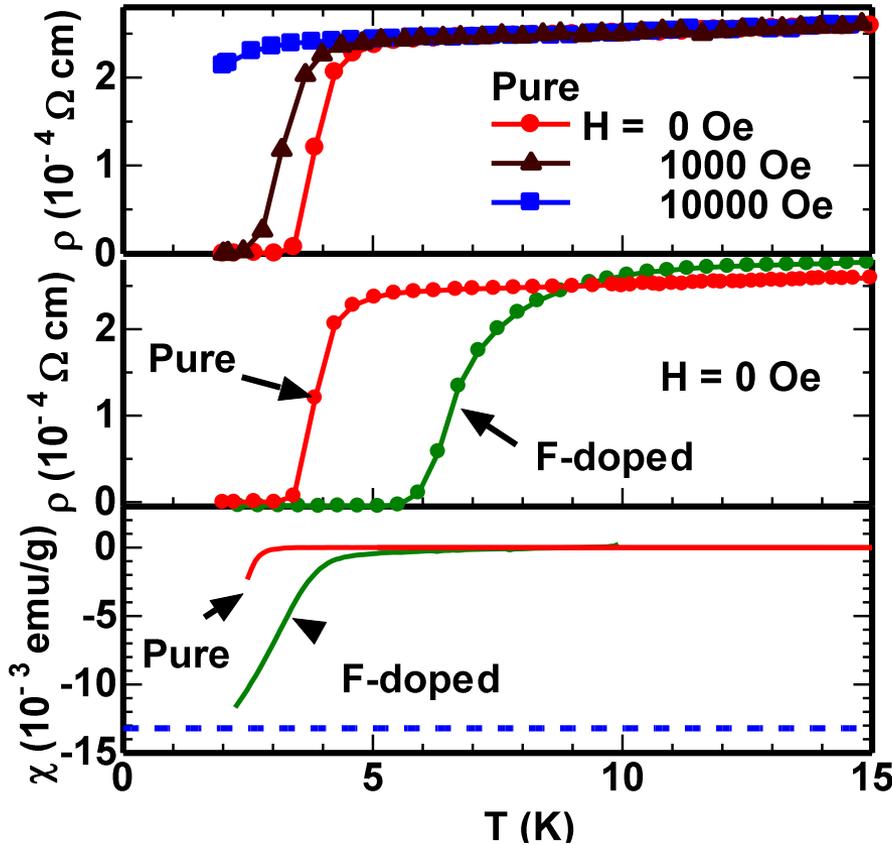
遷移金属

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H 1																	He 2
2	Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
3	Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
4	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
5	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
6	Cs 55	Ba 56	* 72	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86

* ランタノイド	La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
-------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

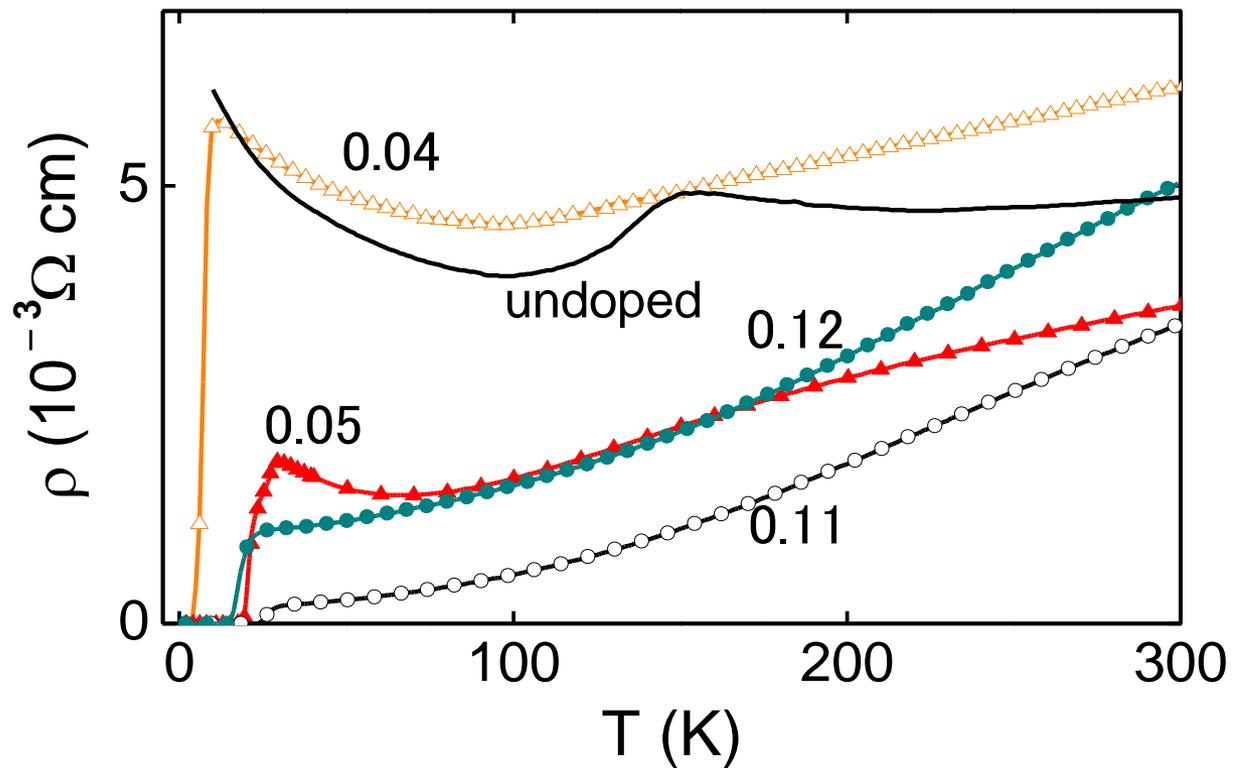
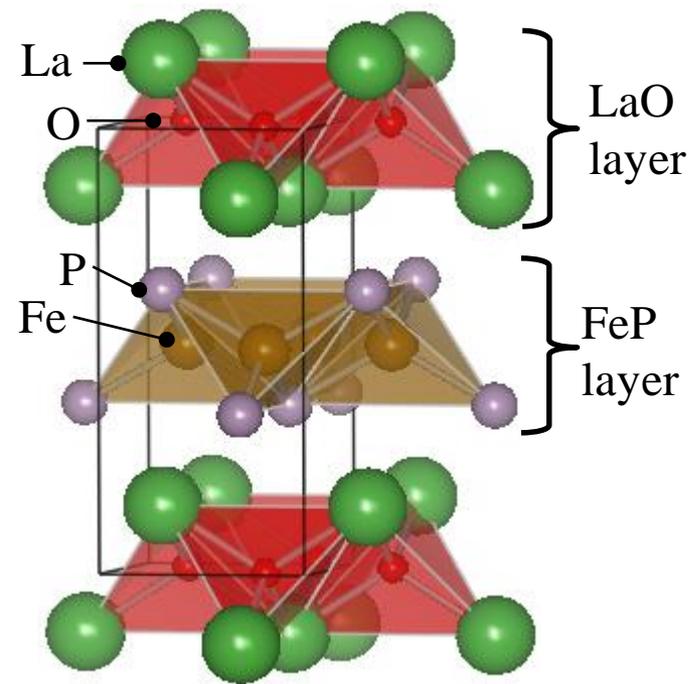
希土類

LaCuOSe => EuCuFSe => LaMnOP
=> LaOFeP

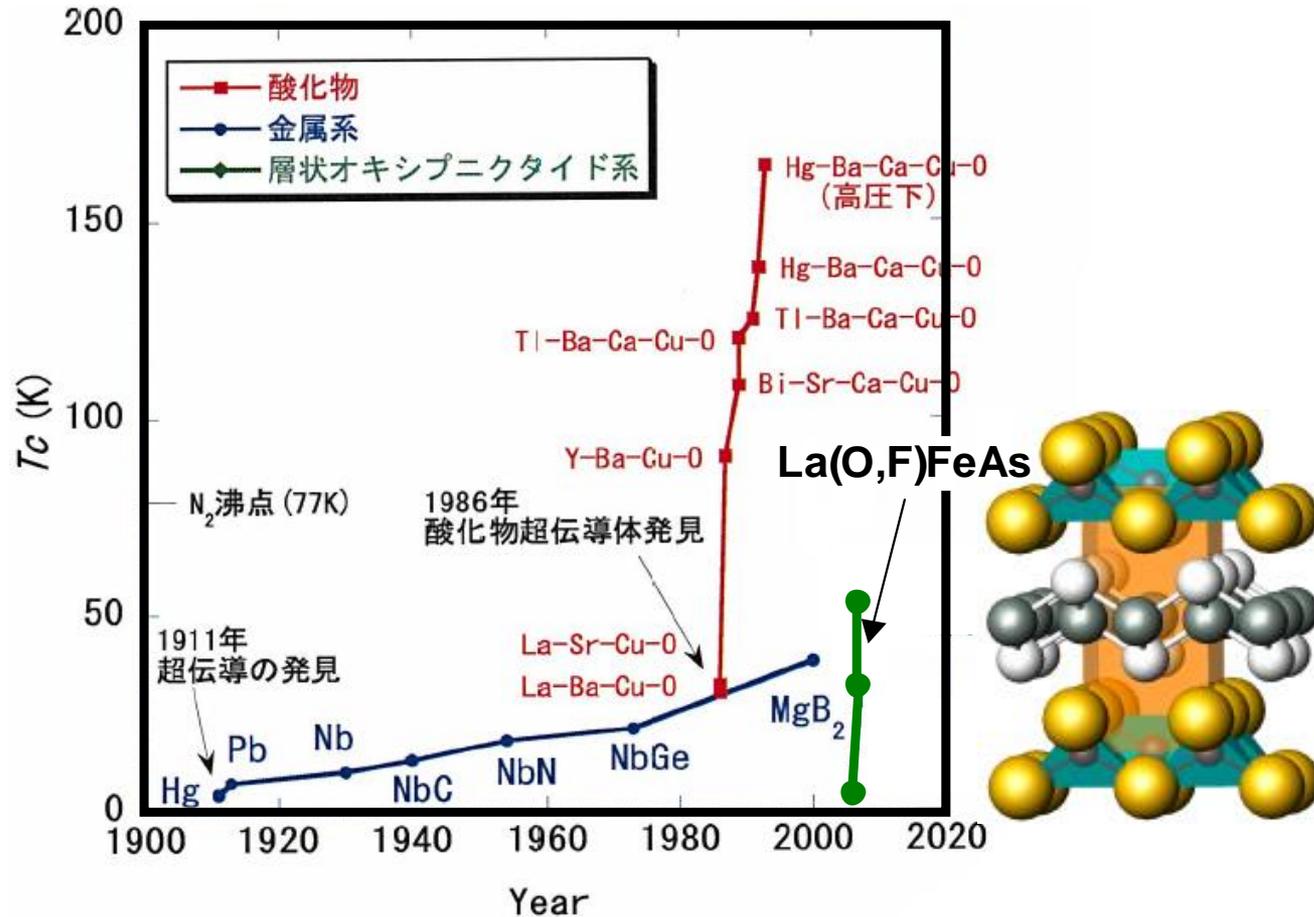


磁性半導体の測定: 低温電気伝導度・磁化率
超伝導と同じ評価
超伝導転移 $T_c \sim 6 \text{ K}$

Fをドーピングしてできた新高温超電導体 LaOFeAs



新しい高温超電導体



$T_c(4\text{GPa}) = 43\text{K}$ with $\text{La}(\text{O},\text{F})\text{FeAs}$

H. Takahashi, K. Igawa, K. Arii, Y. Kamihara, M. Hirano, H. Hosono, Nature 453, 376 (2008)

$T_c(\text{onset}) = 55\text{K}$ with $\text{Sm}(\text{O},\text{F})\text{FeAs}$

R.-A. Ren, W. Lu, J. Yang, W. Yi, X.-L. Shen, Z.-Cai Li, G.-G. Che, X.-L. Dong, L.-L. Sun, F. Zhou, Z.-X. Zhao, R. Zhi-An, L. Wei, Y. Jie, Chin. Phys. Lett. 25, 2215(2008)

内容

1. 身のまわりのセラミックス

2. 材料の不思議と可能性

同じ原料から全然違う材料ができる

3. なぜ半導体がすごいのか

4. なぜ透明半導体が先端研究なのか

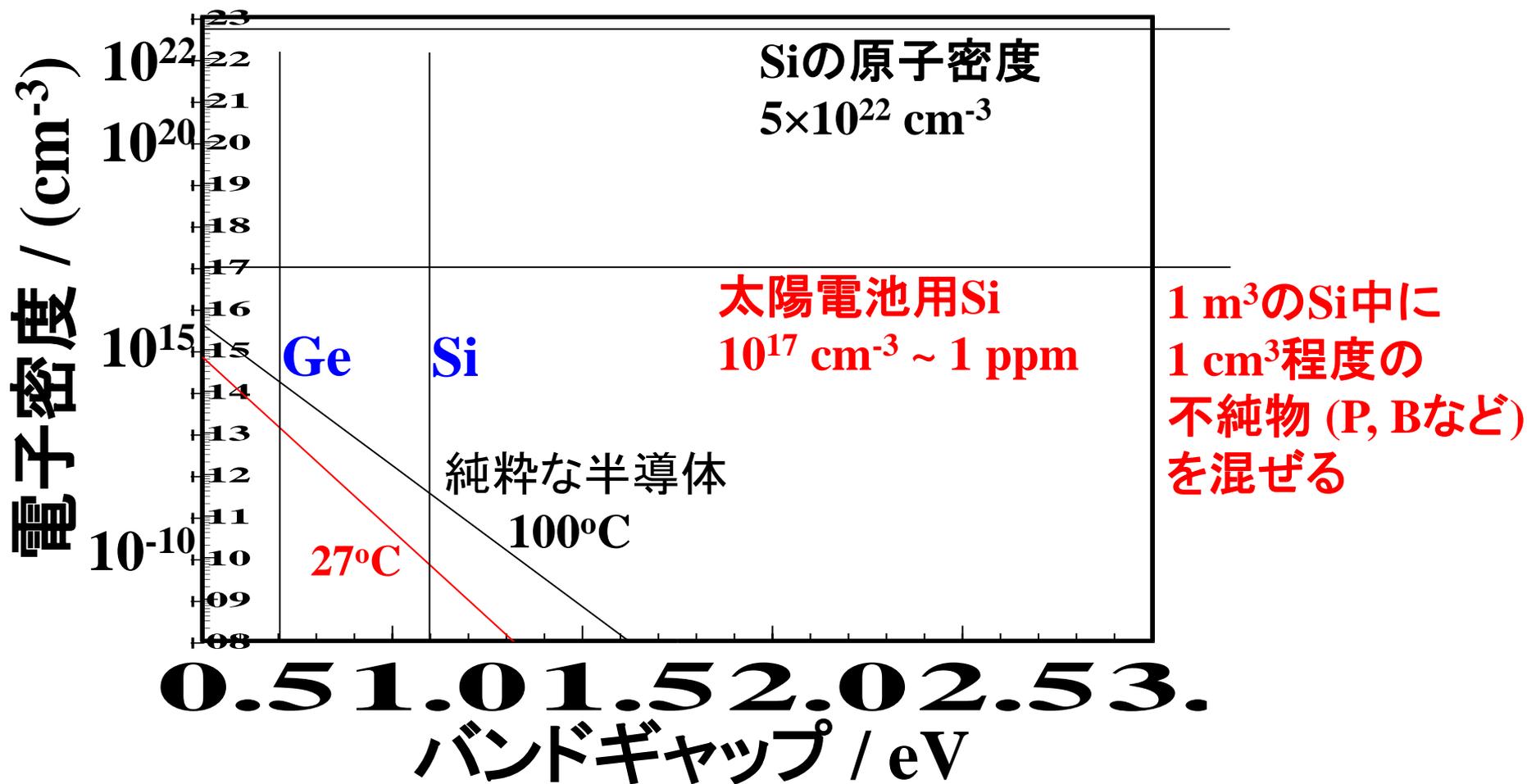
5. 新材料開発の例

鉄系超電導体の発見まで

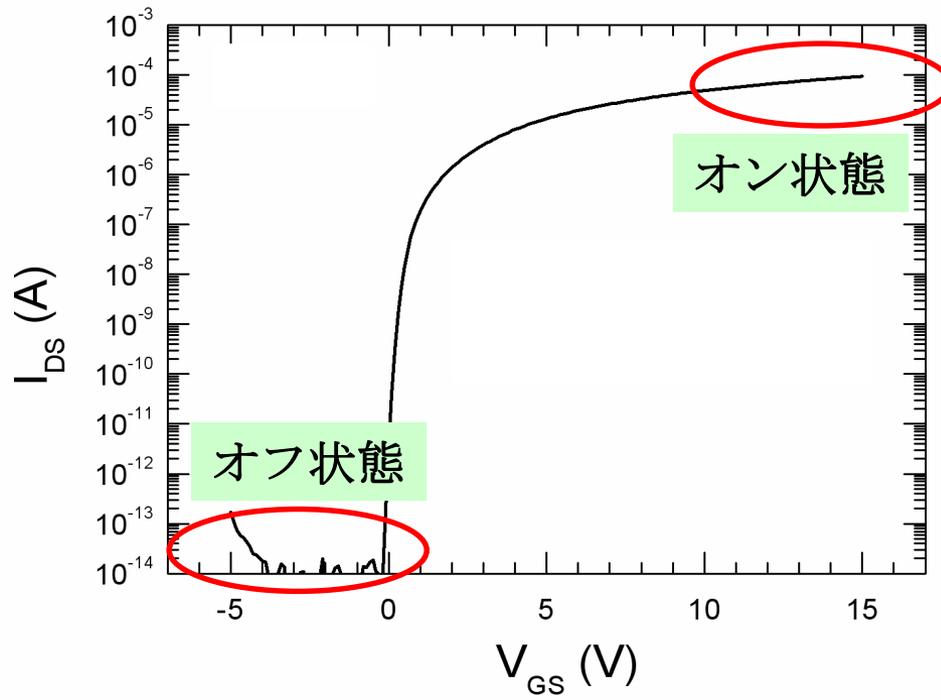
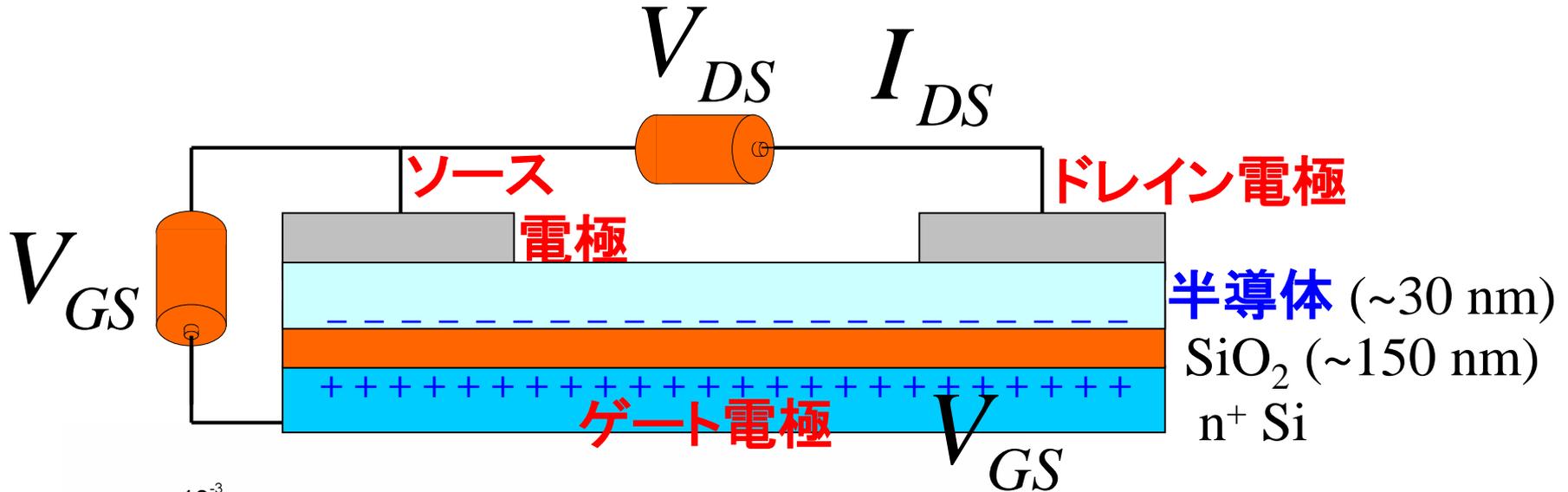
6. 先端ディスプレイに必要な材料

7. 最先端ディスプレイと酸化物

なぜ半導体がいろいろな機能を持つのか

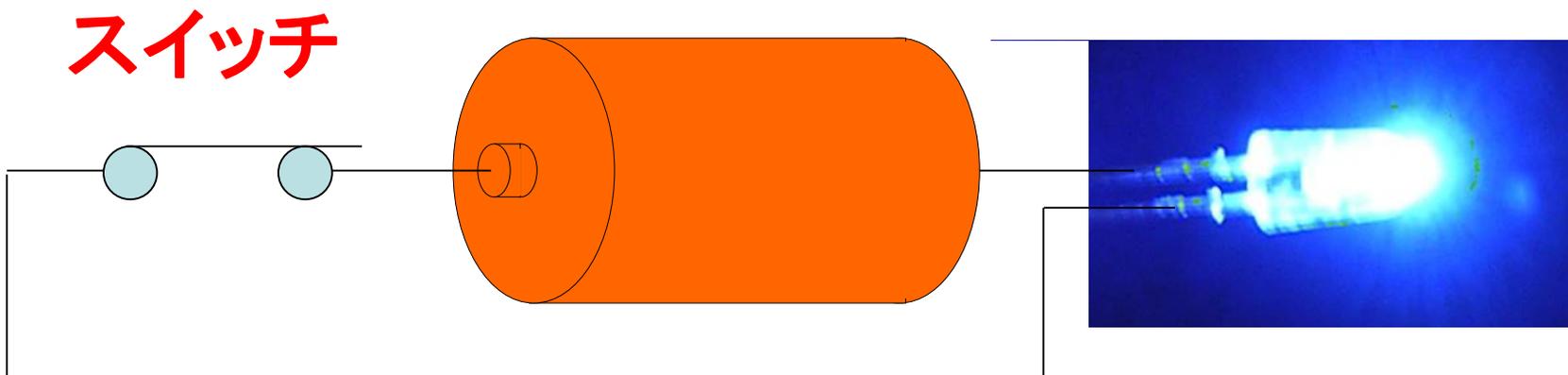
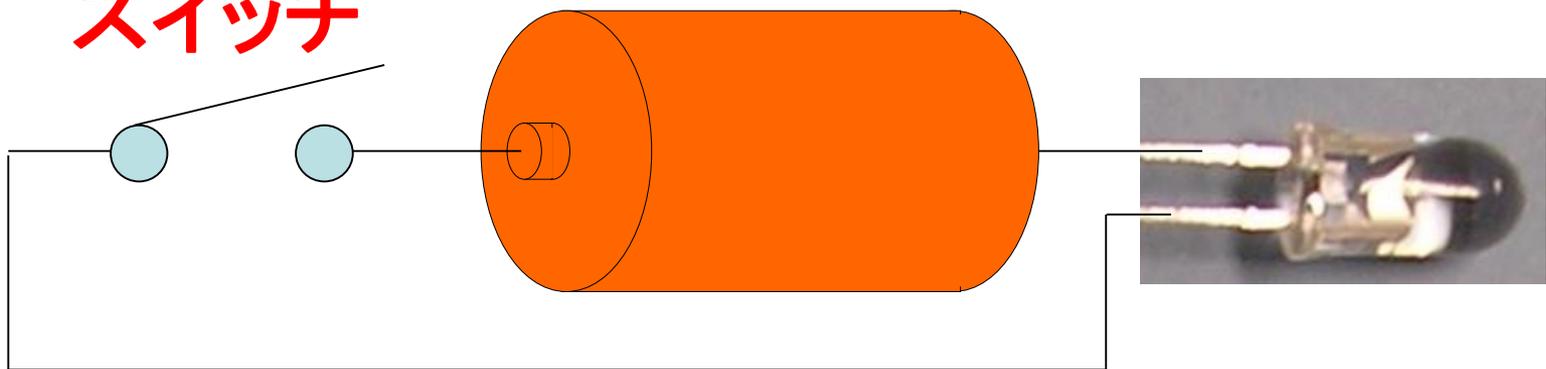


薄膜トランジスタの構造と動作



ゲート電圧 V_{GS} で
電流 I_{DS} が10桁も変わる!!

トランジスタ 電気でオン・オフを切り替えるスイッチ スイッチ



夜警

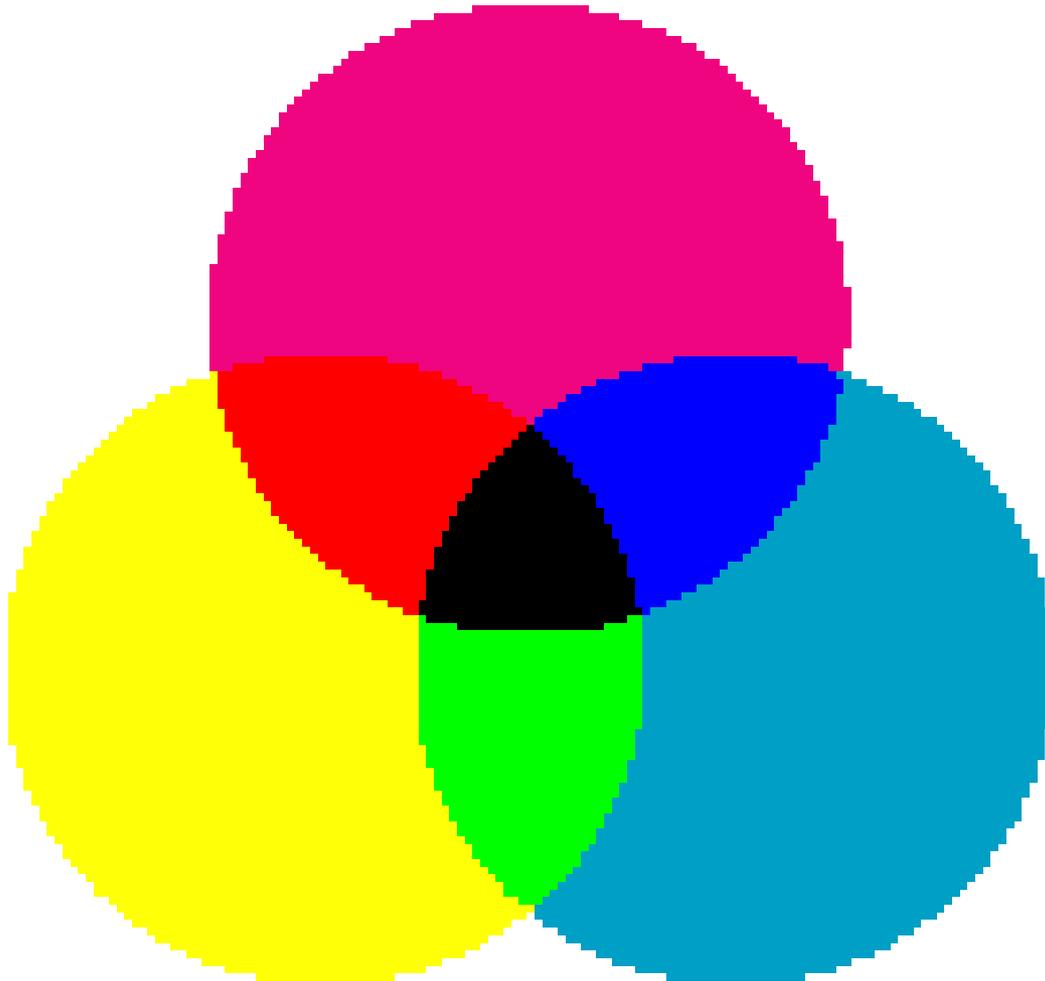
(フランス・バニング・コック隊長とウィレム・ファン・ラウテンブルフ副隊長の市民隊)

レンブラント (1606~1669) 「光と影の魔術師」

作品は1642年頃



絵の具をまぜると…

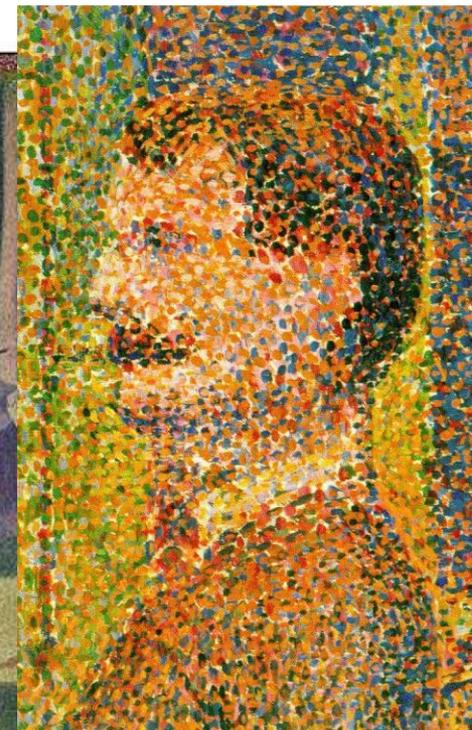
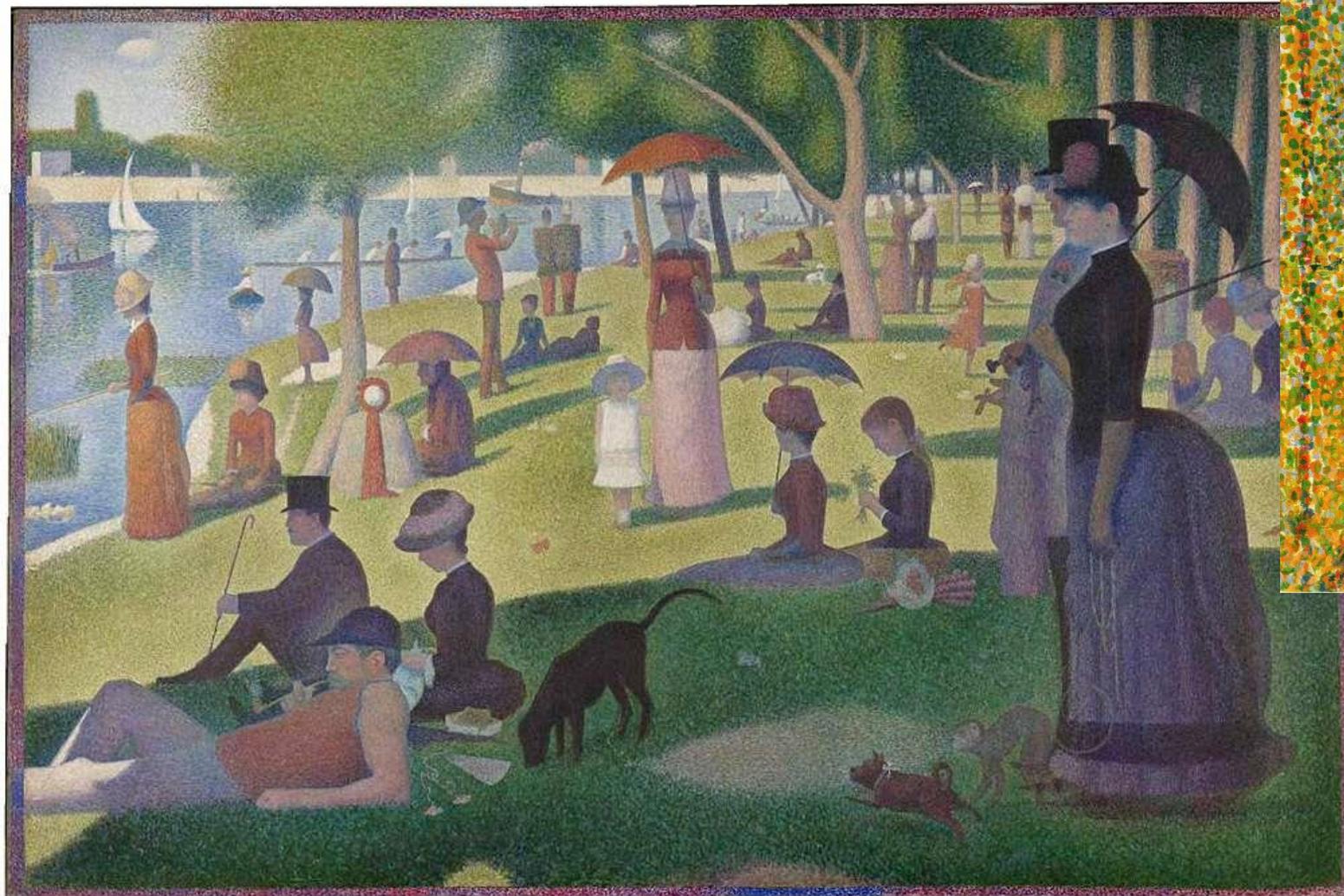


M(マゼンダ)・Y(イエロー)・C(シアン)
赤紫 ・黄色 ・青緑
(色の三原色)

グランド・ジャット島の日曜日の午後

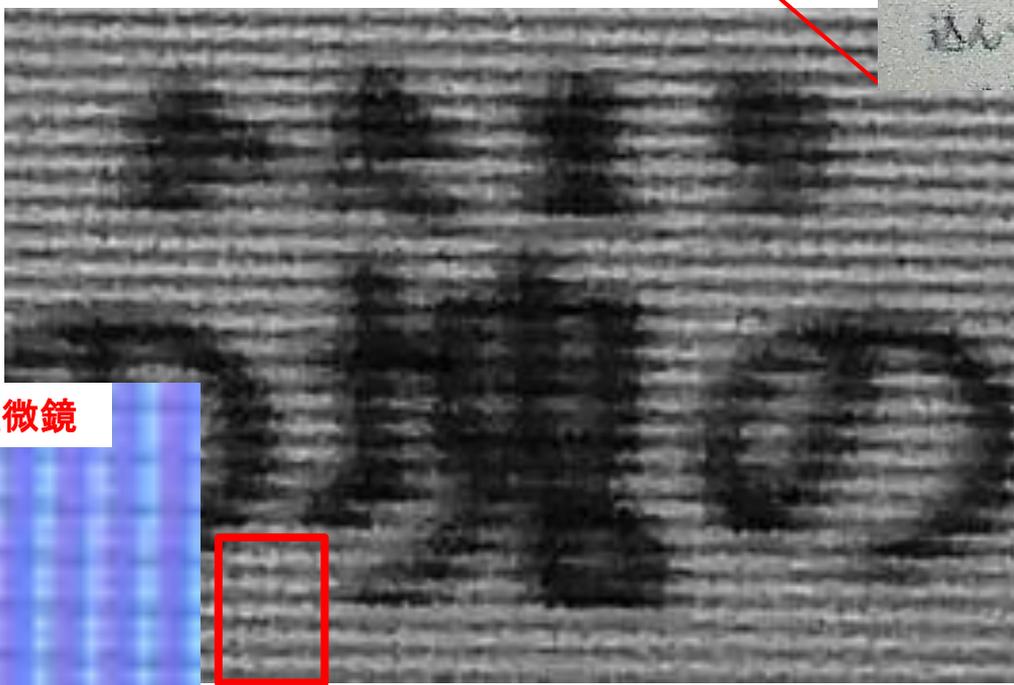
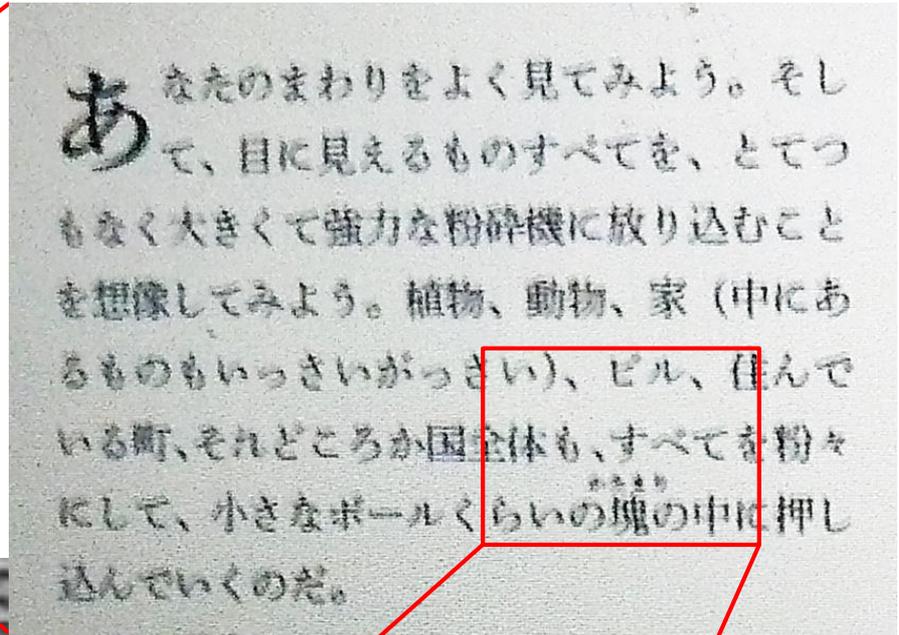
1884~1886年

スーラ (1859~1891) 点描法



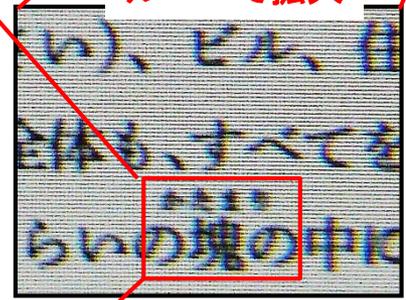
AQUOS Pad SH-08E
(7", 1,920×1,200)

超高解像度ディスプレイを拡大する



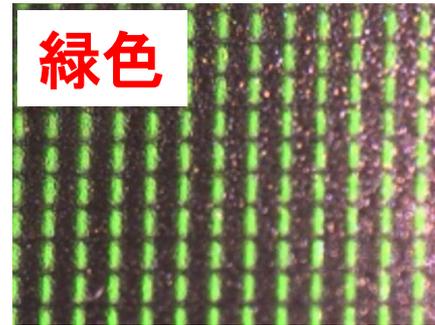
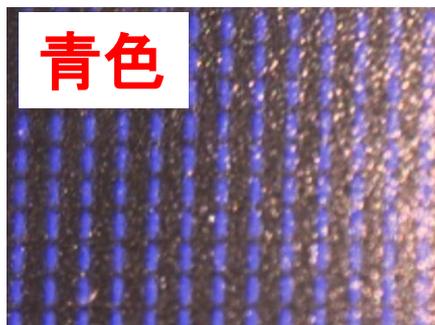
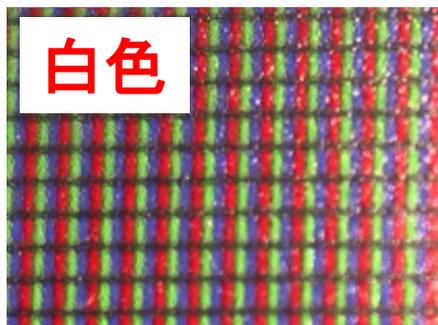
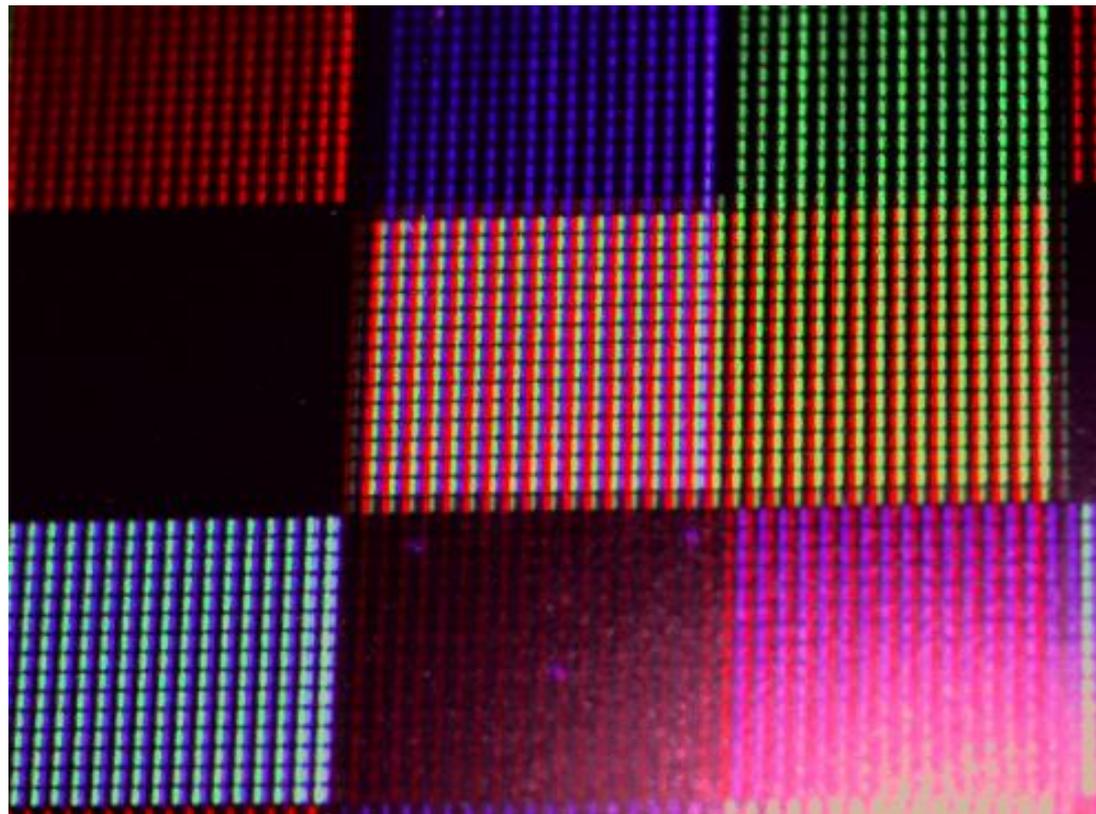
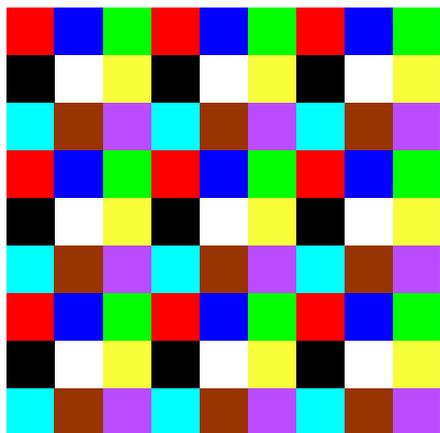
顕微鏡

ルーペで拡大

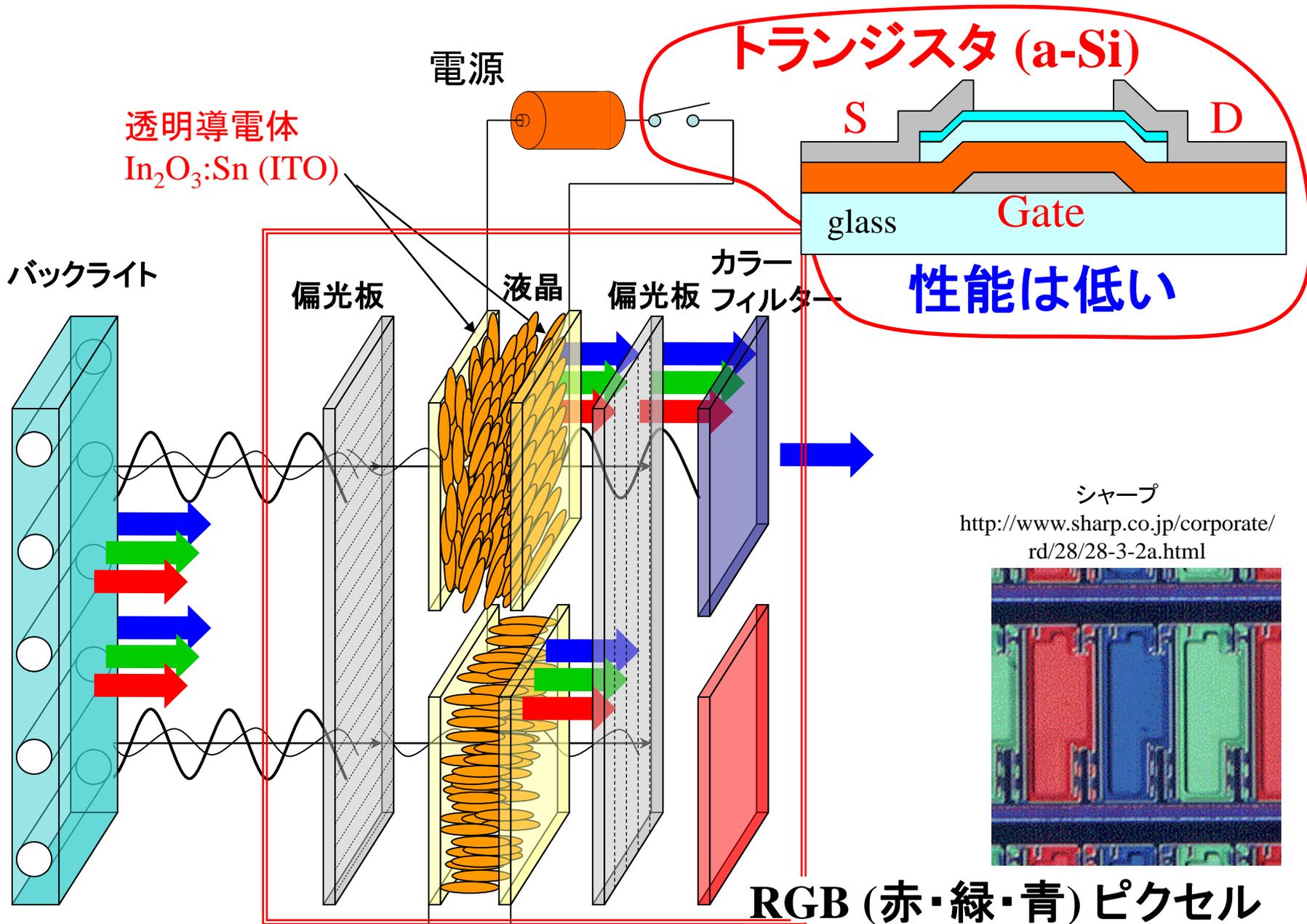


大文字 1.1 mm/323 ppi = 14 pixels
ルビ 6 pixels

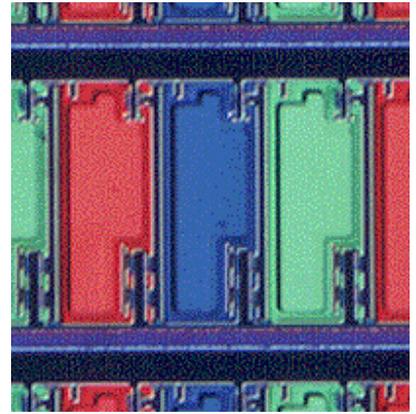
液晶TVを拡大すると・・・



液晶TVの構造



シャープ
<http://www.sharp.co.jp/corporate/rd/28/28-3-2a.html>



液晶TV用ガラスサイズはどんどん大きくなる

G11 3.00×3.32 m²

G10 2.88×3.13

G8.5 2.20×2.50

G8 2.16×2.46

G7.5 1.95×2.25

G7 1.87×2.2

G6 1.50×1.85

G5 1.10×1.30

G4 0.73×0.92

G3.5 0.68×0.88

G3 0.55×0.65

G2 0.37×0.47

G1 0.30×0.40



なぜ大型ガラス基板を使う？

第10世代 ガラス基板 2.88 m × 3.13 m

72型

156 cm × 96 cm

第3世代: 550×650

12.1型6面取り

第5世代: 1000 × 1200

40型2面取り

第6世代: 1500 × 1800

40型3面取り

テレビに使用開始したころ

第7世代: 1870 × 2200

40型6面取り

ディスプレイには結晶ではなく アモルファス半導体が必要

結晶

- ・高性能
- ・単結晶は大きくできない・高価
- ・多結晶は低性能、不透明

アモルファス

- ・均一性が高い
- ・ガラス基板が使える
- ・大面積で作れる
- ・性能は低い???

単結晶、多結晶、アモルファス

単結晶シリコン太陽電池



<http://www.alibaba.co.jp/pdetail-free/5053167.htm>

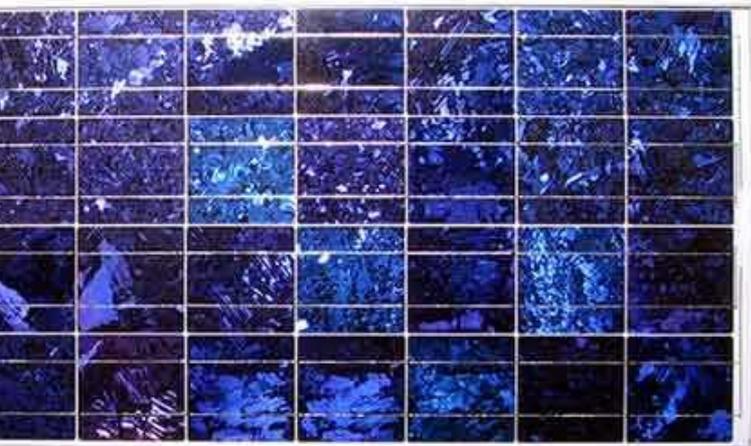


<http://www.gintechenergy.com/jp/index.php/products/douro-series/douro-monocrystalline-silicon-solar-cell>



http://semicon.jeita.or.jp/exposition/topics_03.html

多結晶シリコン太陽電池



<http://plaza.rakuten.co.jp/breadvan/2005>



http://www.kyocera.co.jp/inamori/library/2_11.html

アモルファスシリコン太陽電池



INC-SOLAR AG

出典:「(株)カネカのアモルファスシリコン太陽電池」海外カタログ

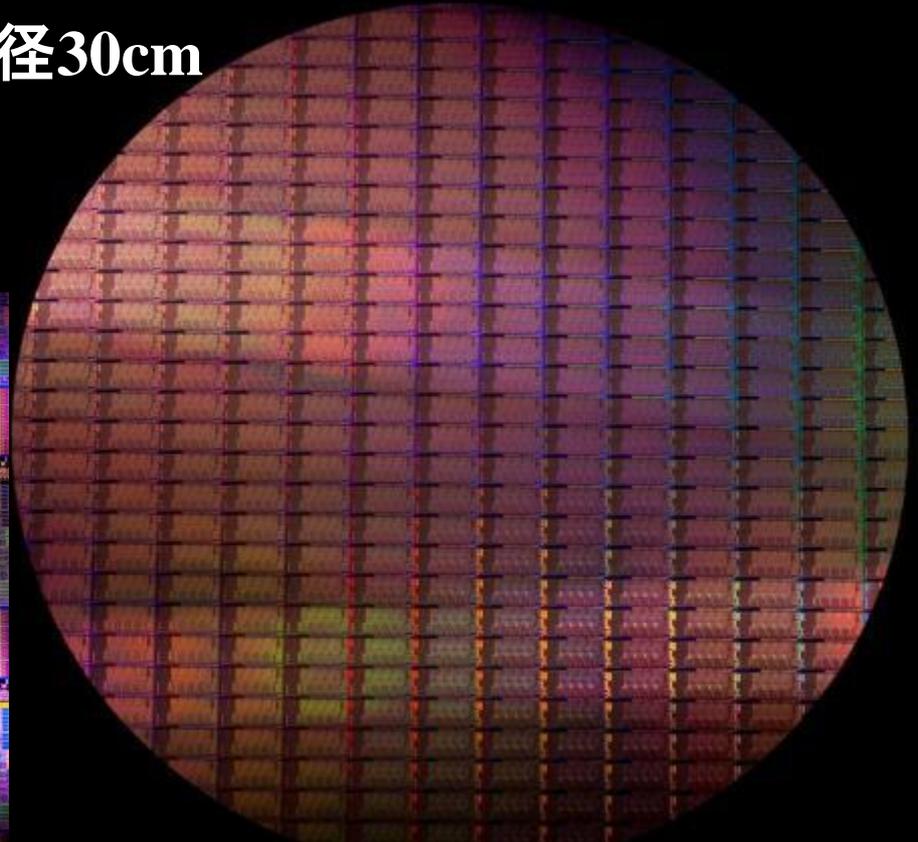
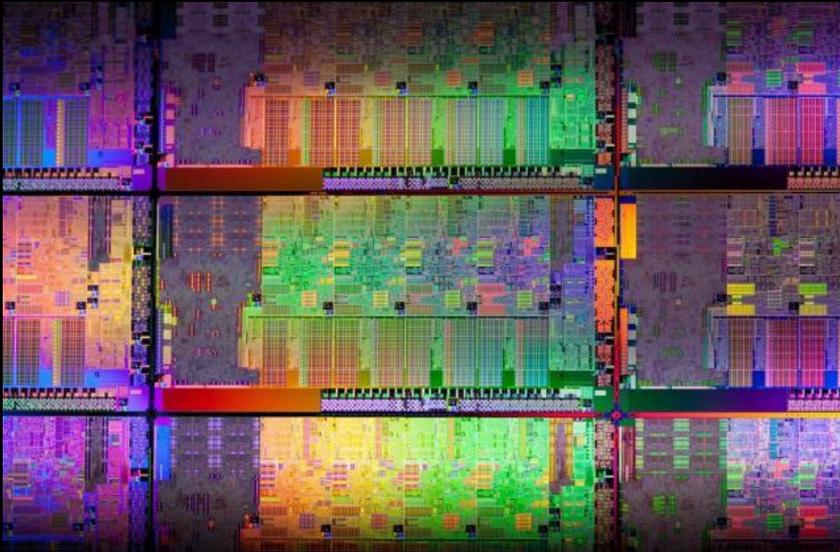
単結晶シリコンは~30cm程度



インテル Core i7

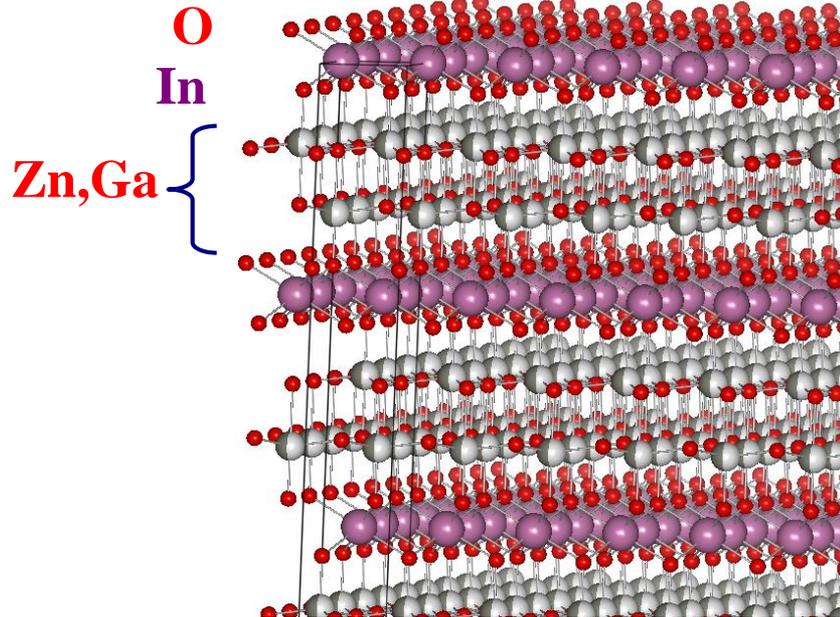
<http://www.pcgameshardware.de/aid,638219/Faszination-CPU-Wallpaper-Die-Shots-und-Wafer-von-Intel-CPU-Update-Sandy-Bridge/Wallpaper/Download/bildergalerie/?iid=1435859>

直径30cm

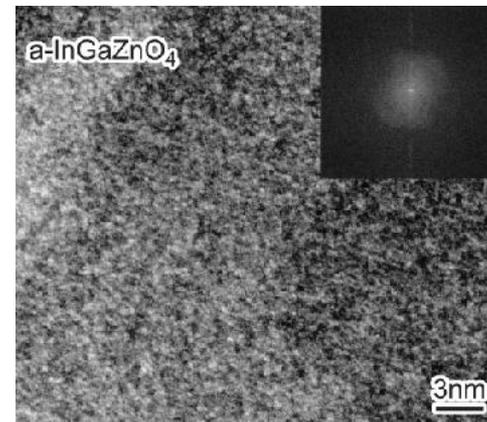
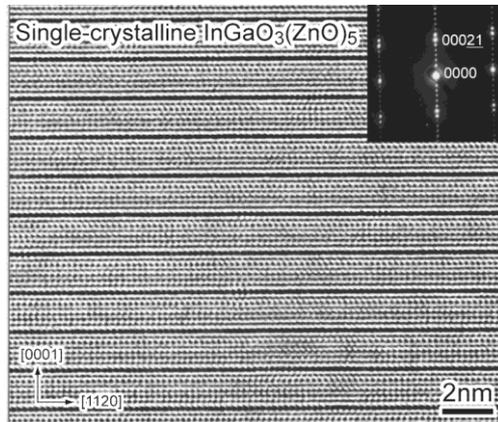
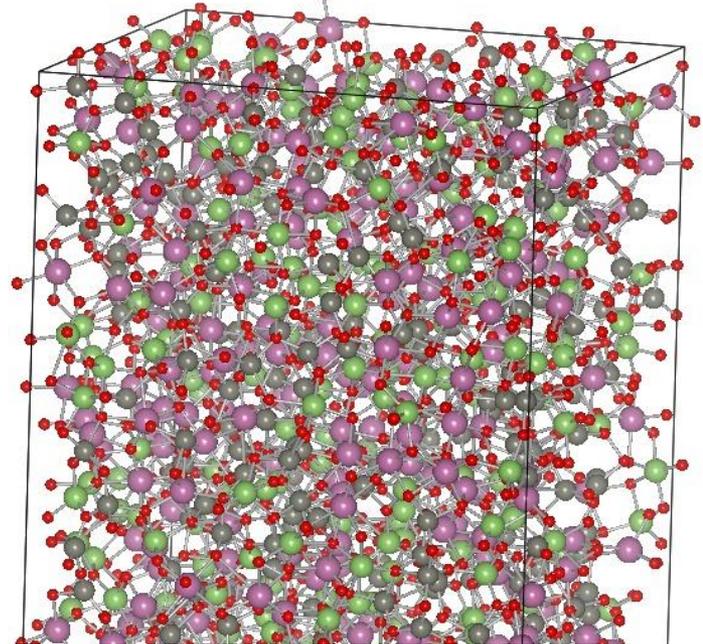


結晶とアモルファス

結晶



アモルファス



アモルファス（非結晶）材料は特性が悪い？

アモルファスシリコン (a-Si)

- ・欠陥が多い
- ・性能（“移動度”）が低い
単結晶Si の 1/1000 以下

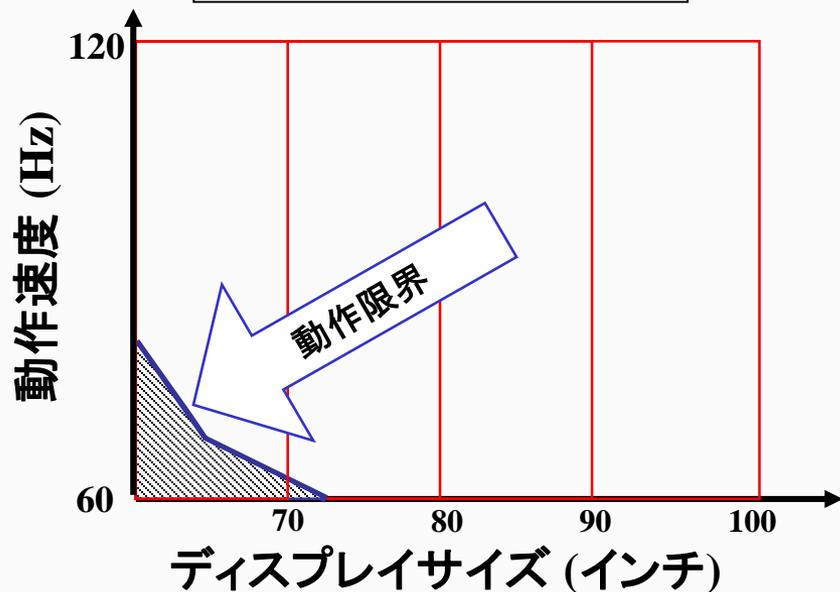
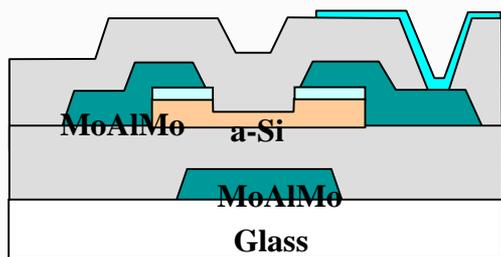
誤解：すべてのアモルファスは特性が悪い

酸化物：アモルファスでも
高性能の材料は見つかる！

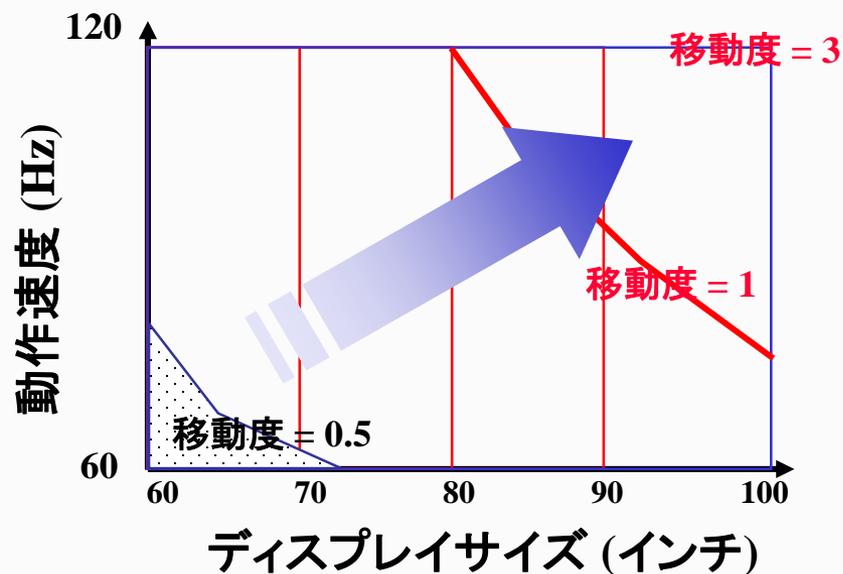
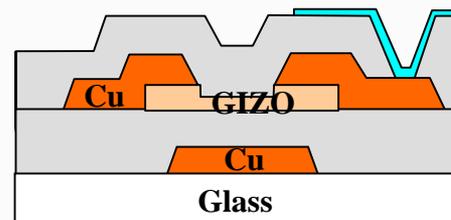
液晶TVが大型化するとシリコンは使えない

出典: Jang Yeon Kwon (SAIT), IDW 2007

現在のアモルファスSiトランジスタ



高性能トランジスタ



内容

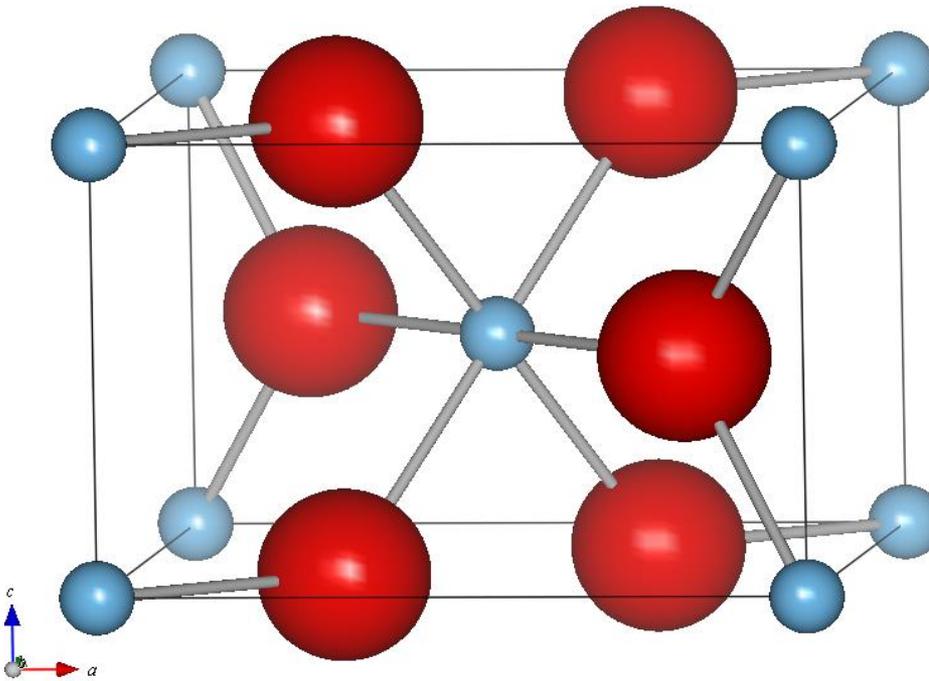
1. 身のまわりのセラミックス
2. 材料の不思議と可能性
同じ原料から全然違う材料ができる
3. 身のまわりの新材料
4. なぜ半導体がすごいのか
5. なぜ透明半導体が先端研究なのか
6. 先端ディスプレイに必要な材料
7. **最先端ディスプレイと酸化物**
8. 半導体研究が鉄系超電導体を見つけた

無機結晶の構造

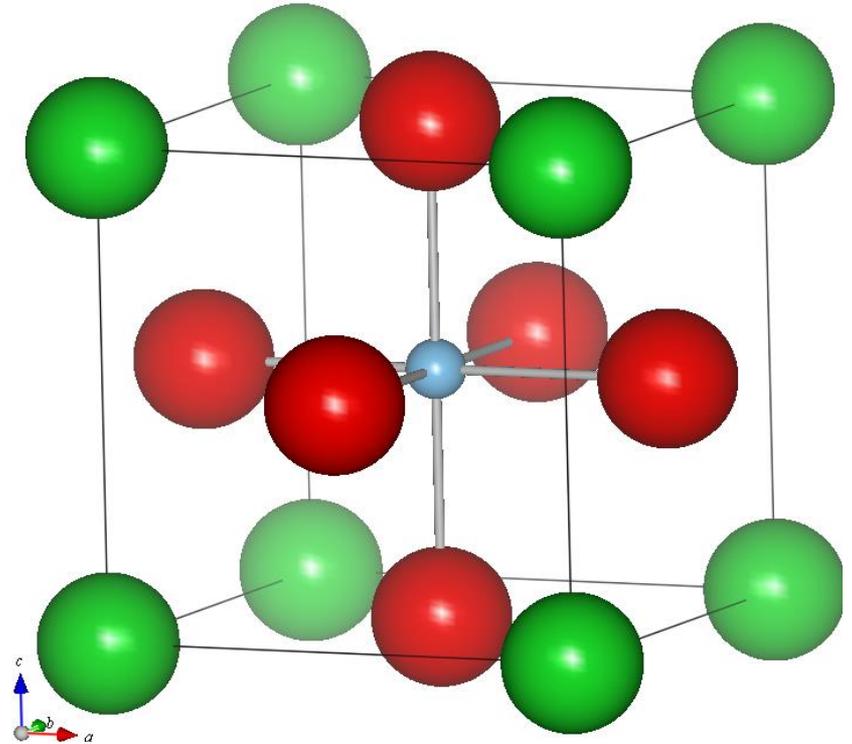
酸化物 = 陽イオン (金属イオン) + 酸素イオン



SnO_2 (透明導電体)



BaTiO_3 (強誘電体)



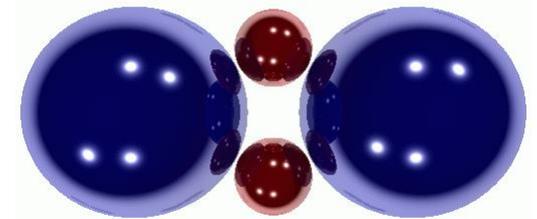
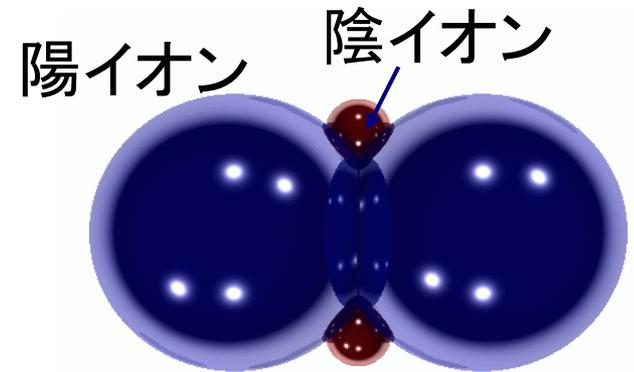
高性能透明半導体をつくるには…

酸化物 = 陽イオン (金属イオン) + 酸素イオン

電子は陽イオンの上を流れる

1. 大きい陽イオンを使う

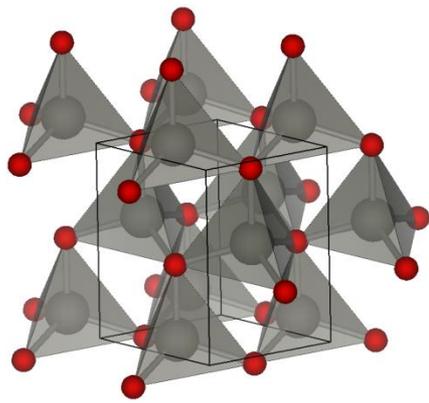
2. 陽イオン間の軌道を近づける



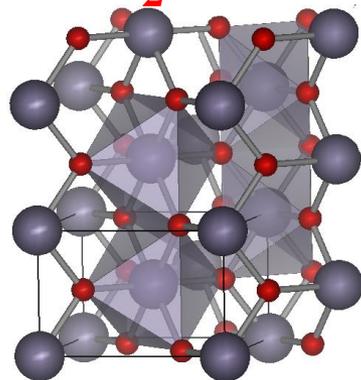
周期表：透明半導体に使われる元素

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
1	H 1												M	透明酸化物					
2	Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9		
3	Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17		
4	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35		
5	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53		

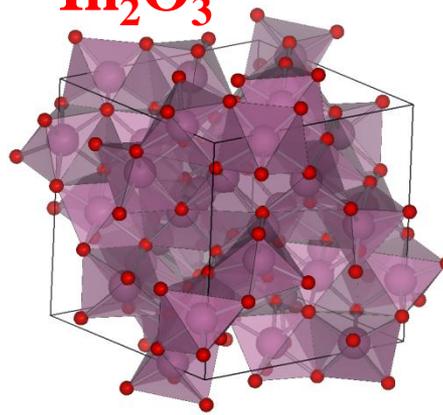
ZnO



SnO₂



In₂O₃

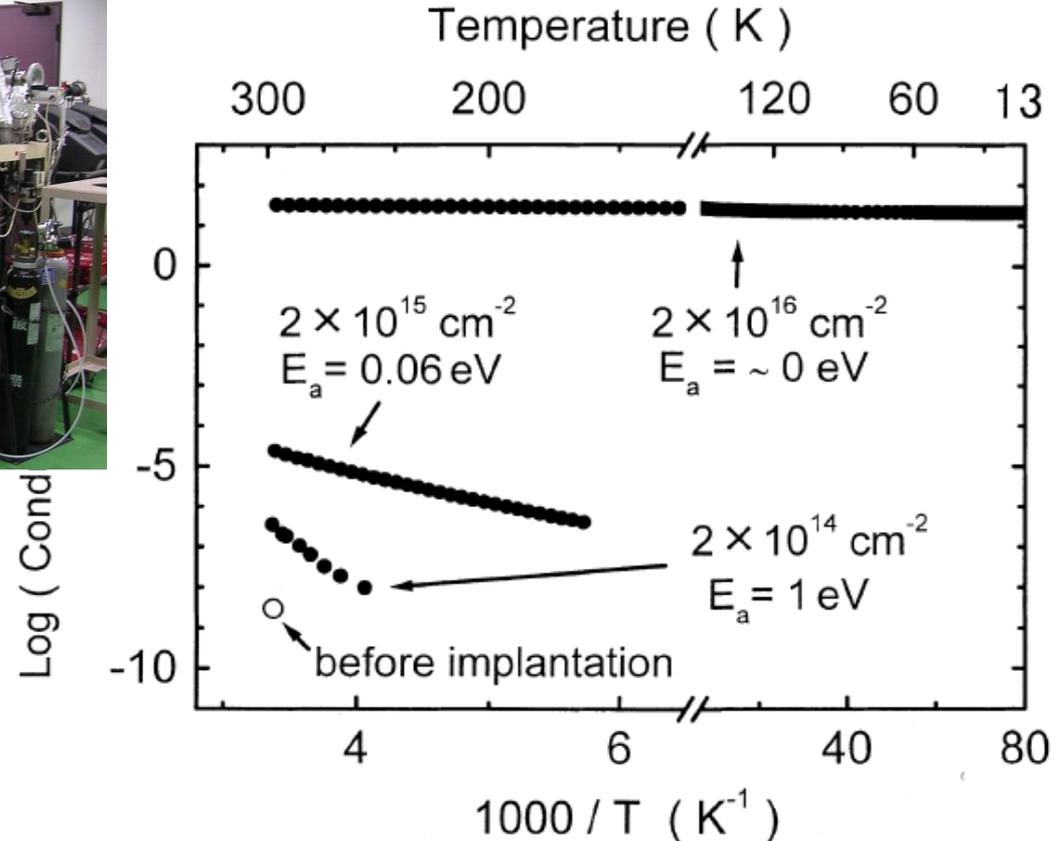
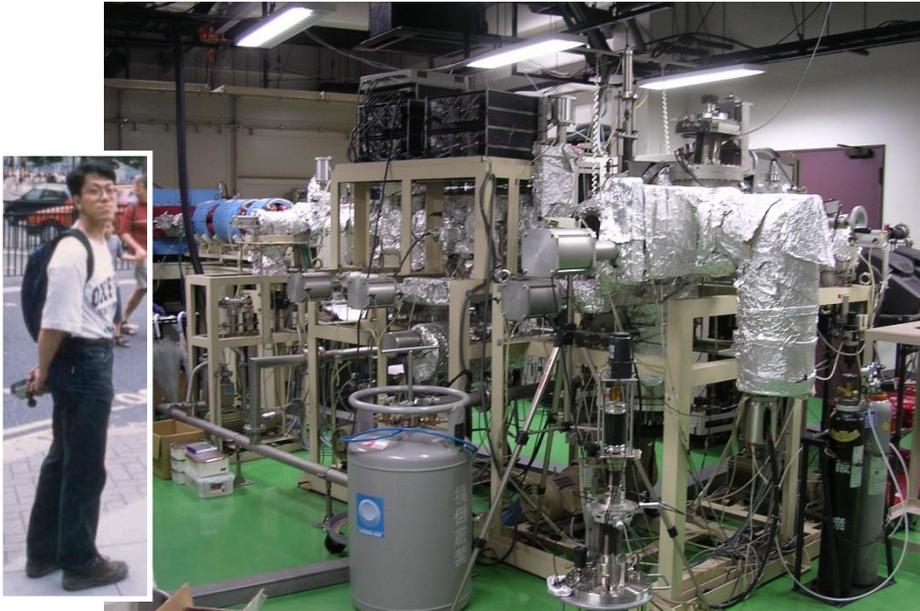


1995年: アモルファス酸化物で高性能材料

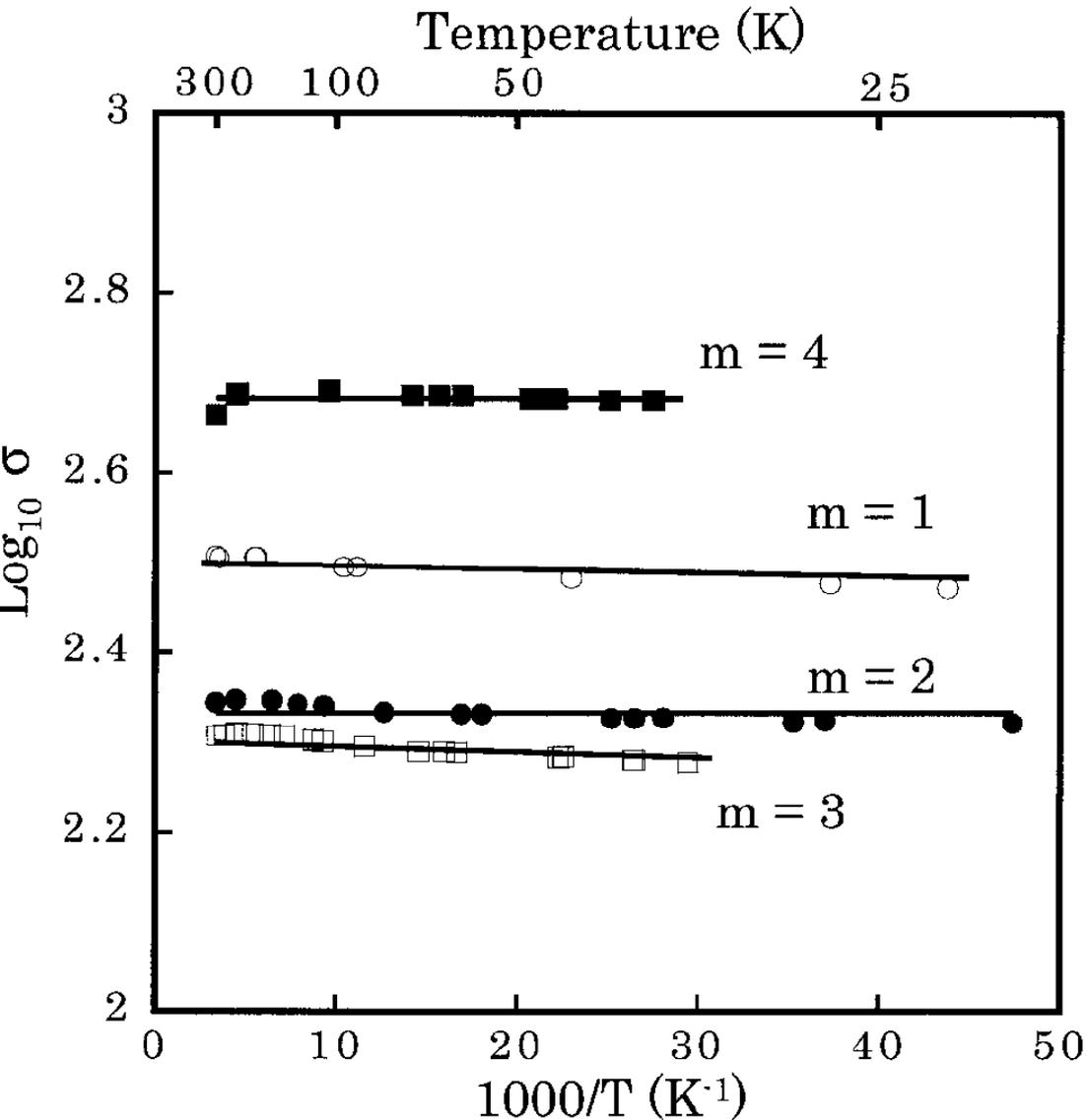
アモルファス $2\text{CdO}\cdot\text{GeO}_2$

水素を強制的に注入

移動度 $\sim 10 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$



2000年: a-IGZOの発見



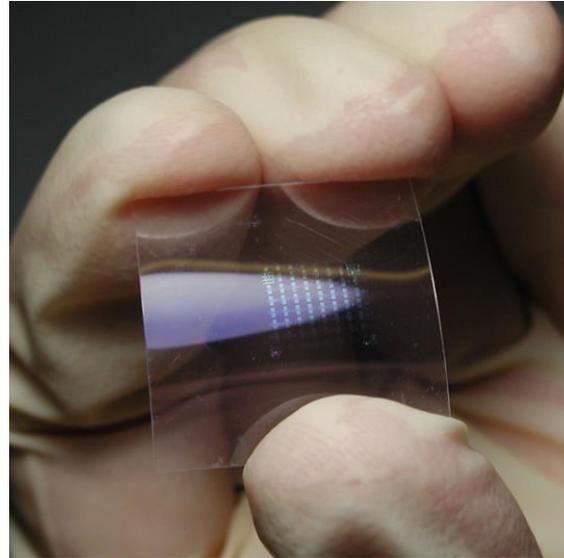
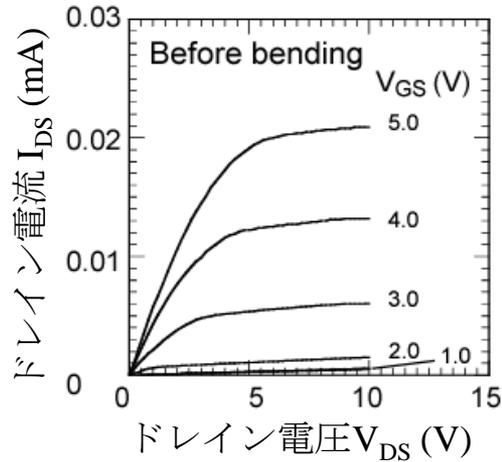
$\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_m$

移動度 12 – 20 cm^2/Vs

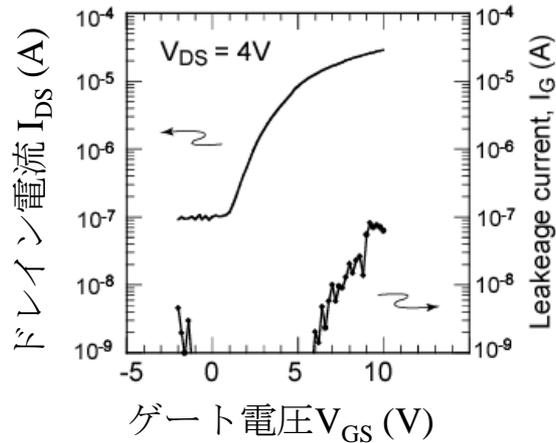
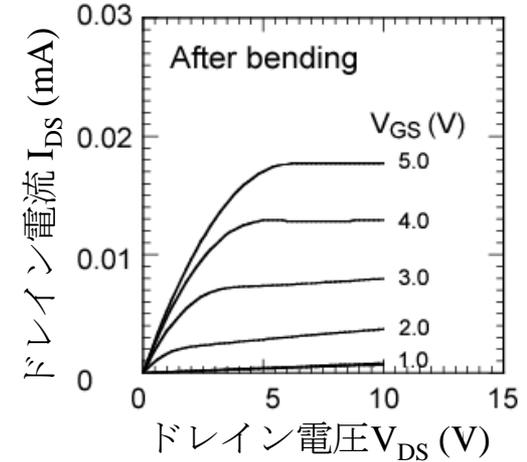
透明・フレキシブル・高性能トランジスタ

PLD, $L/W = 50 \mu\text{m} / 200 \mu\text{m}$

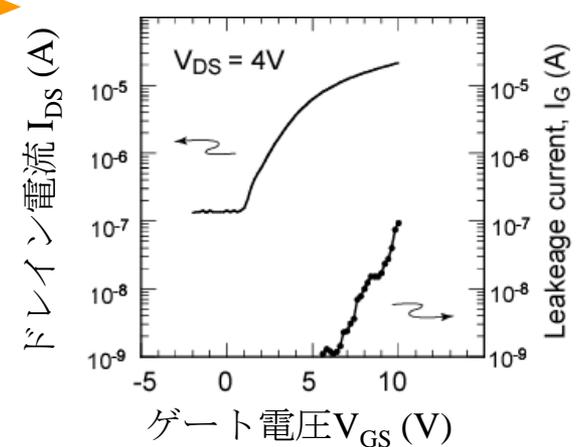
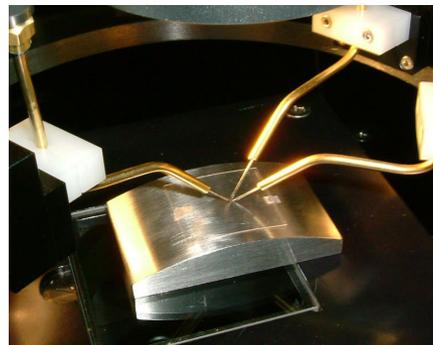
曲げる前



曲げた後



R=30mm



移動度 $8.3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

移動度 $7 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

すでに市販されているIGZO TFT製品

新iPadのレティナディスプレイ
9.7型, 2,048×1,536, 264ppi
(シャープ, 2012/3-4?)



AQUOS PHONE ZETA
SH-02E
4.9型, 720×1,280 LCD
(シャープ, 2012/11/29)



AQUOS PAD SHT-21
7型, 800×1,280 LCD
(シャープ, 2012/12/7)



AQUOS PHONE ZETA
SH-06E
4.8型, 1,080×1,920 LCD
(シャープ, 2013/5)



AQUOS PAD SH-08D
7型, 1,200×1,920 LCD
(シャープ, 2013/7)



PN-K321
32型, 3,840×2,160 LCD
(シャープ, 2013/2/15)



UH90/L
14型, 3,200×1,800 LCD
(シャープ/富士通, 2013/6/28)



LGの曲がった有機EL TV @ 濟州・金浦空港

55" 曲がった有機EL TV, 1,920×1,080
(LG, 2013/15, 濟州空港)

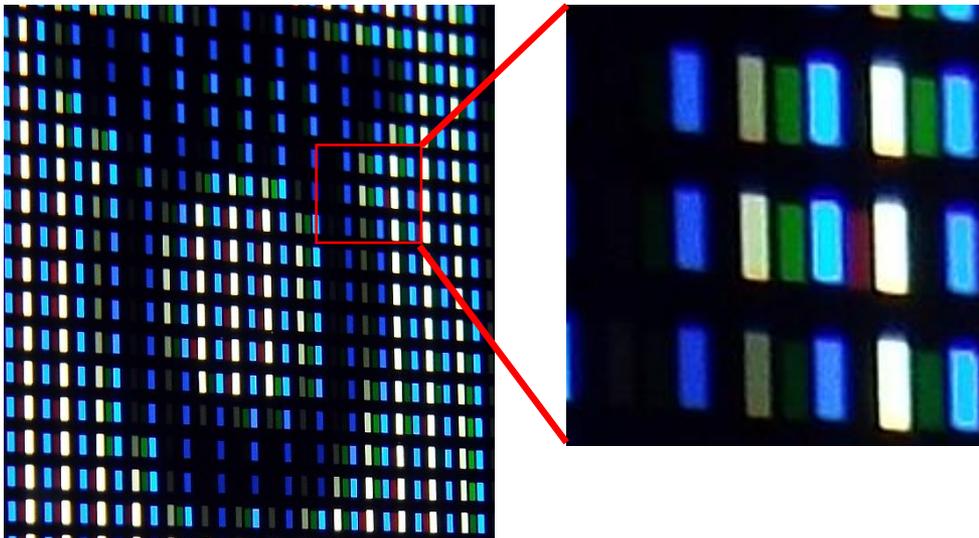


LG IPS Smart TV

Samsung LED TV



WRGB OLED



IGZO? (未公開)

77" 曲がった有機EL TV
3,840×2,160 (LGD, IFA2013)



透明酸化物IGZOを使った製品

LIFEBOOK SH90/M
13.3型, 2,560×1,440
(富士通, 2013/10/18発売予定)



Mebius Pad
10.1型, 2,560×1,600 LCD
(シャープ, 2014予定)



ASUS Pad
10.1型, 2,560×1,600 LCD
(ASUS, 2013/10発売予定)



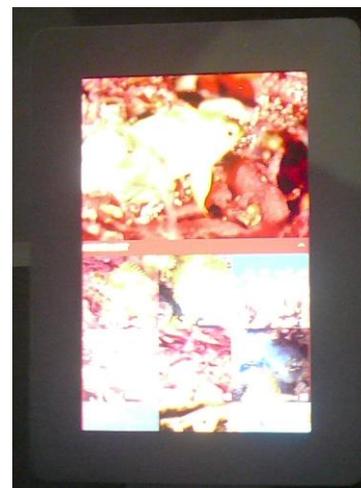
フレームレスディスプレイ
46型
(シャープ, CEATEC2013)



32型, 4K2K Touch
(シャープ, CEATEC2013)



Qualcomm/Pixtronix
7型, 800×1,280 M0EMS
(シャープ, CEATEC2013)

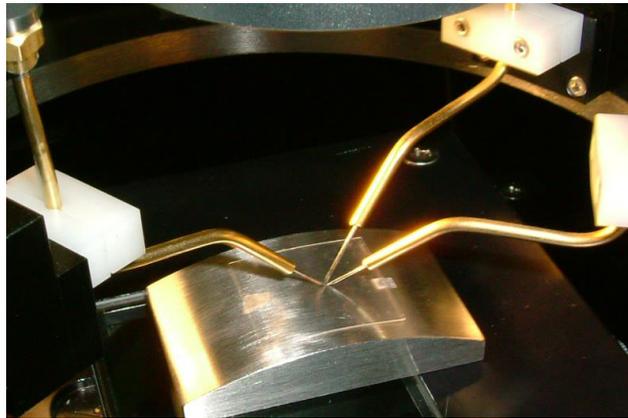


15.6型, 3,840×2,160 LCD
(282ppi) for note PC
(シャープ, CEATEC2013)

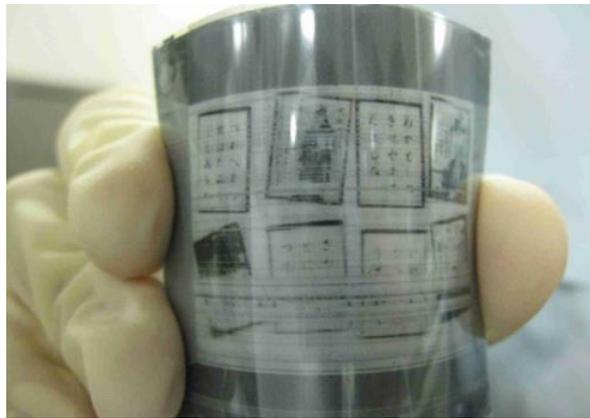


酸化物トランジスタを使ったフレキシブルデバイス

透明・フレキシブルTFT
(東工大, 2004年11月)



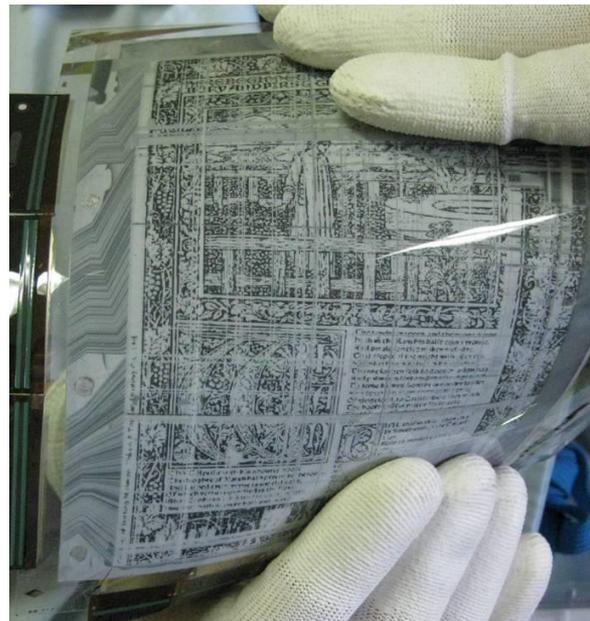
フレキシブル白黒電子ペーパー
2型, 80×60, 50ppi (2005)
2型, VGA, 400ppi (2009) (凸版印刷)



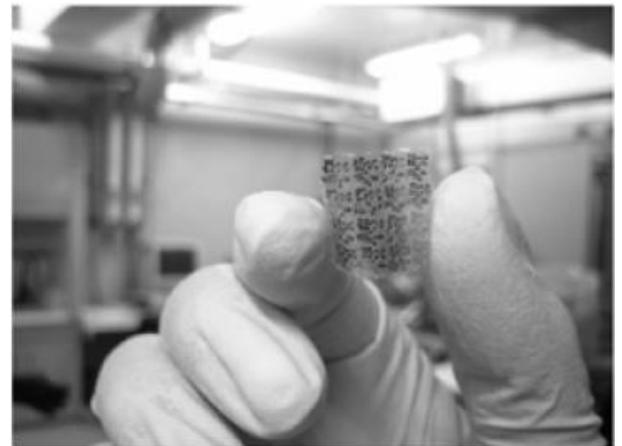
フレキシブル有機EL
3.5型, 176×220
(LG電子, 2007)



フレキシブル有機EL
6.5型, 160×272
(サムスンモバイルディスプレイ, 2009)

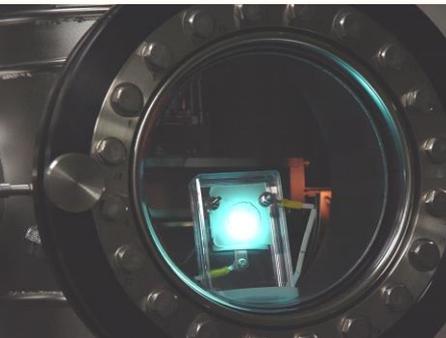
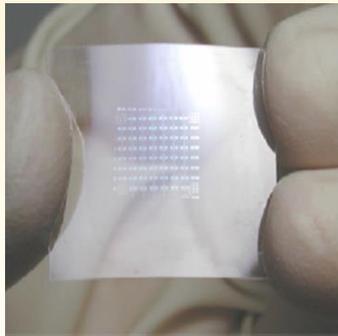
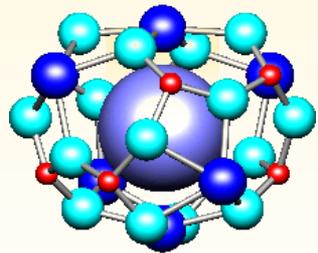
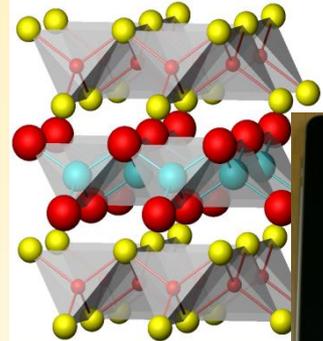
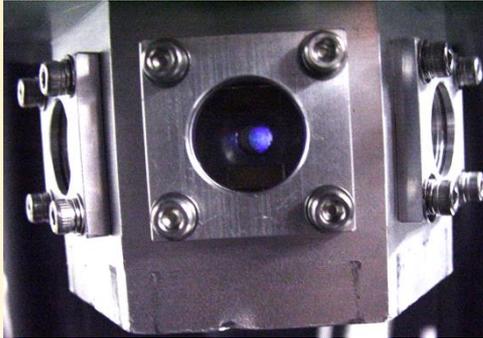


フレキシブル集積回路
310 kHz
(台湾国立大学, 2008)



まとめ

材料研究はおもしろい



トップ (English)

◆ 最近のニュース New

◆ 大学院入学希望の方へ New

- ◆ 研究内容 (パンフレット)
- ◆ 教育方針、奨学金
- ◆ 学生ががんばりました New (論文 New)
- ◆ 視察先一覧
- ◆ 研究設備

◆ 研究内容 (パンフレット)

ビデオギャラリー
La(O)FeAsの合成法

新半導体材料・デバイス

研究成果

2011

- ◆ 講演資料
- ◆ 公開出版物
- ◆ ポンパー
- ◆ アクセス

◆ 国際会議情報

- ◆ 講演会など
- ◆ OBC会・卒業生教授会のお知らせ
- ◆ リンク

- ◆ 2011/4/4
Tokyo Tech BullのVideo Interviewに細野教授が登場! (link)
- ◆ 2011/3/25
D3の李 敬美さん、D1の李 棟熙君がTOEO7のPoster Awardに選ばれました(link)
- ◆ 2011/4/1
平松秀典先生が准教授として着任しました
- ◆ 2010/10/16
C12A7の低エネルギーPES論文がJPSJの注目論文に選ばれました(link)
- ◆ 2010/9/8
D2の片瀬君、ポスドクの平松さんたちが書いた論文がSuST誌のFeature Articleに選ばれました(link)

有機EL

ナノ構造
環境材料

新材料探索

研究テーマ

フレキシブル
ディスプレイ

透明半導体・
デバイス

光機能材料

写真: 凸版印刷

写真: キヤノン

167627
since 2003/12/12

- ◆ 2010/8/31
「酸化半導体と鉄系超伝導」がCMC出版から発売されました(link)
- ◆ 2010/5/10
昨年までポスドクをしていた宮川君の書いた論文が表面科学会誌賞に選ばれました。
- ◆ 2010/4/6
D2の片瀬君が発表したBaFe₂As₂ジョセフソン接合が、

- ◆ 2010/11/8
TCO HandbookがSpringer社から出版されました (専門家向)



- ◆ 2010/3/20
細野教授の本「好きなことにバカになる」が出版されました (link) (一般向)



- ◆ 2006/11/24
透明酸化物の本が出版されました(link) (専門家向)



- ◆ 2009/07/29
透明酸化物の本 第2刷が出版されました(link) (学生、専門家向)



- ◆ 2006/12/20
透明酸化物の本が出版されました(link) (専門家、技術者向)

