

物理システム工学科3年次  
物性工学概論  
第1回講義

東京農工大学副学長  
佐藤勝昭

# 物性工学概論シラバス

## (1) 授業概要

- 物性というのは物質の物理的性質を学ぶ学問で、物質科学とも呼ばれる。この「物性工学概論」という科目は、物質の性質を知ってそれを制御し応用する力を付けるために設けられた。
- この講義では、主としてエレクトロニクスに用いられる材料につき、その不思議を解き明かし、実際にどのように応用されるかに重点を置き、各種材料の光物性と光エレクトロニクスを中心にその物理的概念と考え方を学ぶ。
- 対象となる材料は、金属材料、半導体材料、誘電材料、光エレクトロニクス材料、磁性材料等である。これらの材料を通じて、光物性を中心に、半導体物性や磁性などの諸物性について、およその概念を学ぶとともに、固体物理学などの学習のための動機付けとしたい。

# 物性工学概論シラバス

## (2) 授業内容

- 2006.04.11 第1回「物性」とは何？
- 2006.04.18 第2回金属[1]金属とは何か
- 2006.04.25 第3回金属[2]金はなぜ金ぴかか
- 2006.05.09 第4回半導体[1]半導体の色
- 2006.05.16 第5回ミニテスト(1)
- 2006.05.23 第6回半導体[2]光る半導体
- 2006.05.31 第7回半導体[3]光を電気に変える
- 2006.06.06 第8回光エレクトロニクス(1) 光ファイバー通信
- 2006.06.13 第9回ミニテスト(2)
- 2006.06.20 第10回光エレクトロニクス(2)半導体レーザーの原理と応用
- 2005.06.27 第11回光エレクトロニクス(3)光ディスクと材料
- 2005.07.04 第12回光エレクトロニクス(4)有機化合物とディスプレイ
- 2005.06.11 第13回スピンエレクトロニクス(1)磁性基礎
- 2005.07.18 第14回スピンエレクトロニクス(2)磁性の起源・磁気記録
- 2005.07.25 第15回スピンエレクトロニクス(3)磁気抵抗効果とMRAM
- 2006.08.01 第16回期末テスト

日程は変更されることがあります。

## (2) 授業内容

- **2006.04.11 第1回「物性」とは何？**
- 2006.04.18 第2回金属[1]金属とは何か
- 2006.04.25 第3回金属[2]金はなぜ金ぴかか
- 2006.05.09 第4回半導体[1]半導体の色
- 2006.05.16 第5回ミニテスト(1)
- 2006.05.23 第6回半導体[2]光る半導体
- 2006.05.31 第7回半導体[3]光を電気に変える
- 2006.06.06 第8回光エレクトロニクス(1) 光ファイバー通信
- 2006.06.13 第9回ミニテスト(2)
- 2006.06.20 第10回光エレクトロニクス(2)半導体レーザーの原理と応用
- 2005.06.27 第11回光エレクトロニクス(3)光ディスクと材料
- 2005.07.04 第12回光エレクトロニクス(4)有機化合物とディスプレイ
- 2005.06.11 第13回スピンエレクトロニクス(1)磁性基礎
- 2005.07.18 第14回スピンエレクトロニクス(2)磁性の起源・磁気記録
- 2005.07.25 第15回スピンエレクトロニクス(3)磁気抵抗効果とMRAM
- 2006.08.01 第16回期末テスト

日程は変更されることがあります。

# 第1回「物性」とは何か

- 物性物理学とは、物質のもつさまざまな性質を物理学によって説明しようという学問です。原子物理学が究極の粒子にまで遡るのとは逆に、多数の原子からなる複雑な系をどう扱うかが重要です。
- 対象は、流体、固体に限らず、いろいろあります。
- この講義では、現実に使われているさまざまな材料をとりあげ、それらの性質や機能が物質のどのような物理的・化学的性質に由来するかを学びます。

# 物性→材料→デバイス→システム

## 携帯電話を例に

- 携帯電話はいくつかのデバイスからなるシステム
  - アンテナ・フィルタ・トランジスタ・デジタル回路・コンピュータ・画像表示(液晶)・音声入出力
- 各デバイスにはさまざまな材料が使われている
  - 電極用金属・透明電極・高周波用半導体(GaAlAs etc)・LSI用半導体(Si)・液晶駆動用半導体・誘電体(SiO<sub>2</sub>など)・液晶・発振器用水晶・SAWフィルタ用ニオブ酸リチウム
- 各材料は、それぞれの物理的機能に応じて用いられる
  - 金属:伝導性、加工性、光反射
  - 半導体:伝導制御可能性、高移動度、光電変換性
  - 誘電体:誘電率、絶縁性、分極制御性、透明性

# 携帯電話を分解

アンテナ



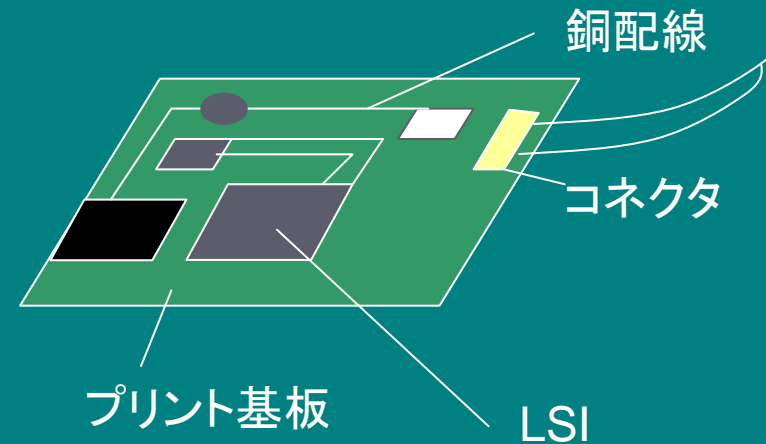
NEC製 N503i

<http://plusd.itmedia.co.jp/mobile/0105/01/bunkai.html>

- 回路基盤
  - さまざまな半導体素子、LSI、水晶振動子等が基板に装着されている
- キーボード
- LCD(液晶表示装置) および駆動回路
- リチウム電池

# 半導体回路

- プリント基板(ガラスエポキシ、ベークライトなどのプラスチックに銅配線がされ、部品を差し込む穴があげられている)にトランジスタ、LSI、抵抗、キャパシタなどが取り付けられている

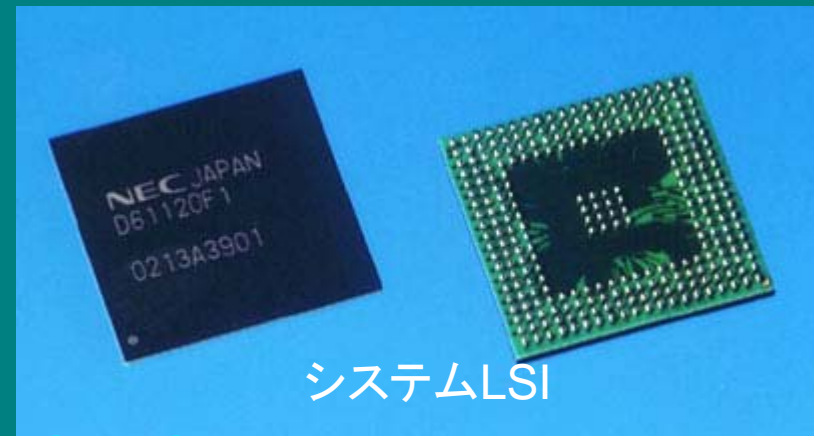
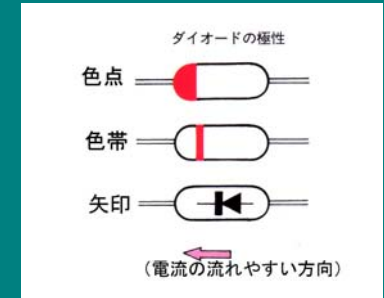


1GHz付近の周波数の微弱な電波をとらえ、増幅しデジタル信号を取り出している。また、逆に電話機から発信する信号で高周波を変調し発信する。

LSIでできたコンピュータが内蔵され、ソフトウェアにより多くの機能を制御している

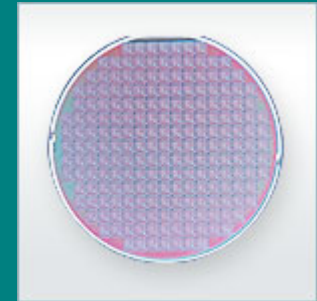
# 半導体デバイス

- トランジスタ、ダイオード(半導体 能動素子)
- IC(集積回路): 1つの基板上に 複数個の電子部品(トランジスタ、 抵抗器、キャパシタ、金属配線) などを作り込んだもの
- LSI(大規模集積回路): コンピュータのCPU、DRAMなどの ように数百万個におよぶ電子部 品から構成される素子



システムLSI

# 半導体プロセス



## レチクルステージ

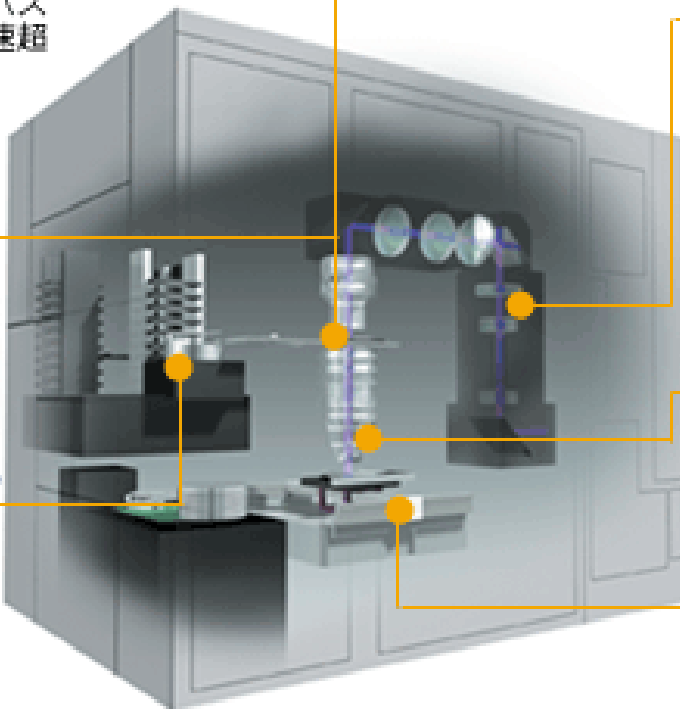
レチクルを載せて、ウエハステージと同期しながら高速超高精度で逐次移動します。

## レチクル

いわば原画です。レンズで縮小されてウエハ上に投影されます。

## レチクルチェンジャー

半導体を製造するためには投影→現像→処理の工程を数十回ほどこす必要があるため、その回数分レチクルが必要になります。



## 光源

極めて短い波長の (i 線、KrF/ArF エキシマレーザ等) 光を使用します。

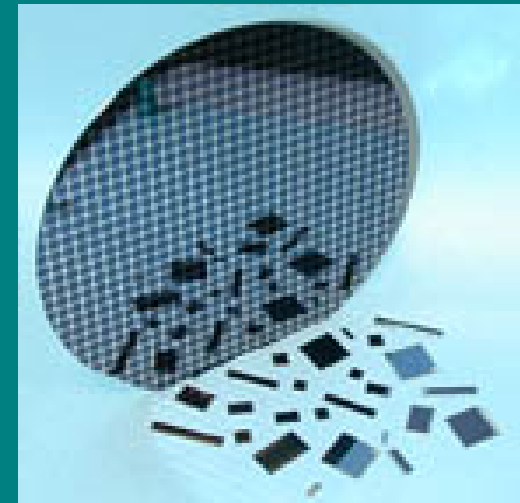
光	波長の長さ
i 線	365nm
KrF エキシマレーザ	248nm
ArF エキシマレーザ	193nm
F2	157nm

## レンズ

半導体露光装置の最も重要な部分で、カメラのレンズに比べると数千倍の精度が要求されます。

## ウエハステージ

ウエハを載せて、高速超高精度で逐次移動します。



# 液晶ディスプレイ



- 液晶を光スイッチとして使用
- 直交偏光板ではさんだ液晶内での偏光の伝搬
- 電界印加により液晶分子の配向を制御
- TFT(薄膜トランジスタで各画素のRGBを個別に選択制御): アモルファスSiから多結晶Siへ
- 利点: 薄型、省電力、高精細度、ちらつきがない
- 欠点: 視角依存性、バックライト必要、大画面に問題

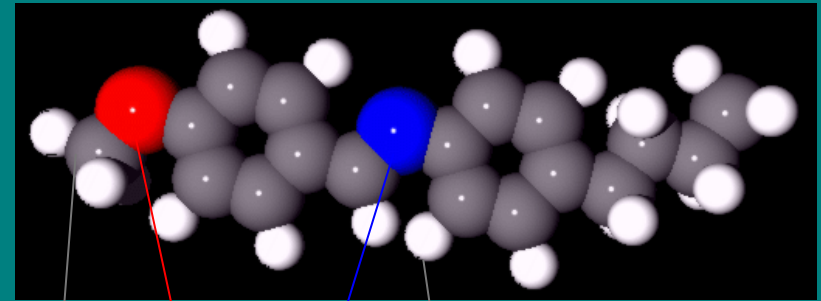
# 液晶

●液晶は、液体と固体の中間的物質

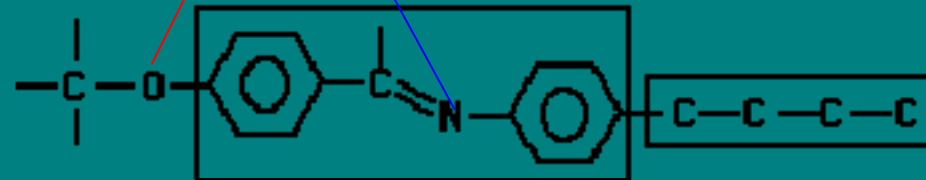
●1888年：液晶を発見：ライニツァー(オーストリアの植物学者)

●「液晶」とは、固体と液体の中間にある物質の状態(イカの墨や石鹸水など)を指す。

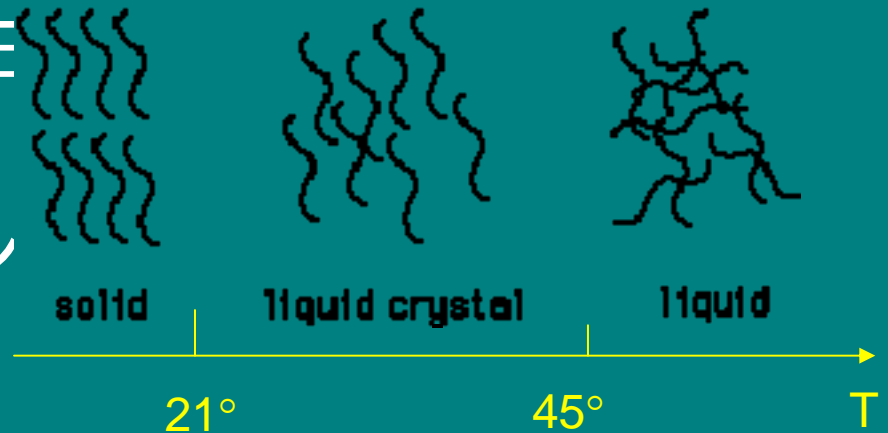
●液晶の理学は1968年頃、フランスの物理学者de Gennesによって確立された。



[www.bohlken.com/](http://www.bohlken.com/)

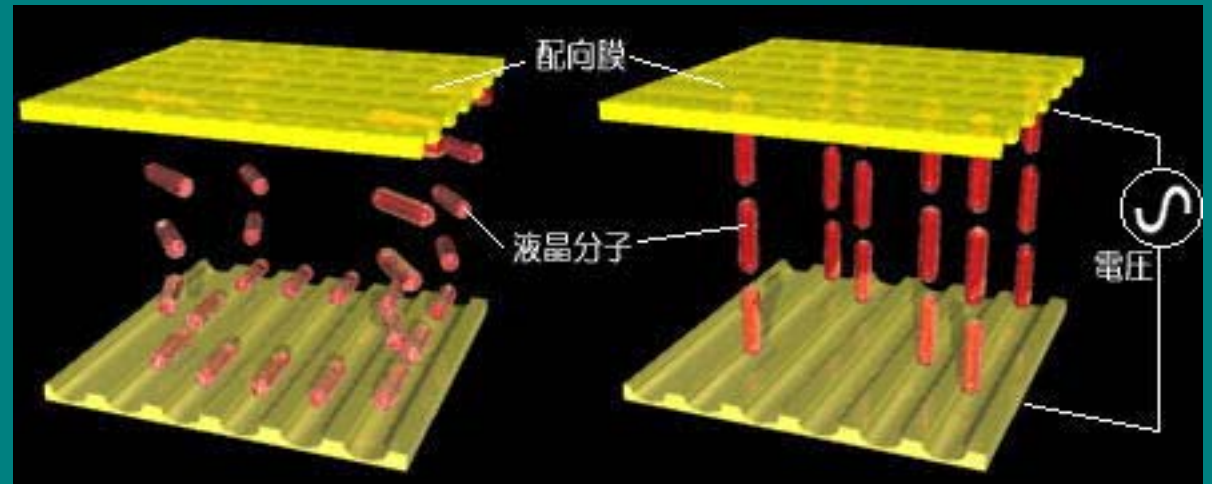


[www.chem.wisc.edu/](http://www.chem.wisc.edu/)



# 液晶分子の配向と電界制御

- 液晶分子の配向
  - 配向剤を塗布、ラビング。分子をラビング方向に配列
- 電界による配向制御(液晶分子は電気双極子)



# 暮らしの中の材料はいろいろ

- 暮らしの中にはいろいろな材料が使われている。
- 身の回りのものにどのような材料が使われているのか考えてみよう。
- たとえば、自動車
  - ボディーは？ブレーキは？エンジンは？制御用マイコンは？カーナビは？ダッシュボードは？ライトは？ETCは？タイヤは？ウィンドーは？

# 材料を分類してみよう

1. 材料の用途：構造材料と機能材料
2. 化学的分類：無機材料, 有機材料
3. 導電的分類：超伝導体, 金属(導体), 半導体, 絶縁体
4. 誘電的分類：高誘電率材料, 強誘電体
5. 磁気的分類：強磁性体, 常磁性体, 反磁性体
6. 光学的分類：透明材料, 複屈折材料, 非線形光学材料, 高反射率材料, 蛍光材料, 光電変換材料
7. 原子分子配列による分類：結晶, 非晶質, 準結晶, 超格子, 液晶

# 分類(1) 用途による分類

## 構造材料と機能材料

- 同じ鉄でも構造材料としての鉄と機能材料としての鉄がある。
- 構造材料としての鉄: 通常鋼が用いられる
  - 建造物・筐体・棚[建造物、車両、船舶](鉄骨、鉄筋、鋼板・鋼板、アングル)
  - 使われる物性: 硬さ、強靱性、弾性、塑性など
- 機能材料としての鉄: 通常合金、化合物を使用
  - 磁石、磁気記録、センサ、アクチュエータ
- 共通の特徴: 3d遷移元素であること

# 分類(2) 化学的分類[1]

## 無機材料と有機材料

- 無機材料(inorganic material)には、金属材料とセラミクス材料とがある。
  - 金属材料には、金属元素単体と、他の元素との合金とがある。
  - セラミクスには、珪素のような非金属の元素単体と、金属元素の酸化物、硫化物、窒化物などアニオンとの化合物がある。
- 有機材料(organic materials)は、炭素Cを構成元素とする物質
  - (ダイヤモンド、グラファイト、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、炭素塩、シアン化合物を除く。)
  - Cが特別な位置を占めている理由:Cのみがお互いにどんどん結合しあって、大きな化合物を作ることができるから

# 分類(2) 化学的分類[2]

## 結合による分類

- 共有結合: ダイヤモンド、シリコン、ガリウムヒ素、窒化ガリウム
- イオン結合: 塩化ナトリウム、酸化マグネシウム、硫化亜鉛、酸化亜鉛
- 金属結合: ナトリウム、カリウム、アルミニウム、鉄、銅
- ファンデアワールス結合: グラファイト

# 分類(3) 電気的分類

## 超伝導体, 金属, 半導体, 絶縁体

- 電気伝導性から分類
  - 大きく分けると導体、半導体、不導体(絶縁体)
  - 導体には、超伝導体と金属性導体がある
  - 半導体の導電率は、導体と不導体の中間に位置する
  - 絶縁体には、ウィルソン型とモット型がある
- 電気の運び手による分類
  - 電子伝導体
  - イオン伝導体

# 分類(4)誘電的分類

- 永久双極子の有無
  - 液晶分子は永久双極子をもつ、電界で配向する
  - 強誘電体は電気双極子が整列し自発分極をもつ
- 誘電体の用途
  - コンデンサ用誘電体(固体、液体)
  - 電子デバイス用誘電体膜(DRAMキャパシタ、ゲート絶縁膜)
  - 圧電材料(水晶振動子、高周波フィルタ、アクチュエータ)
  - 絶縁材料(碍子、層間絶縁、電線用被覆)
  - 光学的用途(光学多層膜、光ディスクのコントラスト増強膜)

# 分類(5) 磁気的分類

- 自発磁化の有無による分類
  - 自発磁化あり: 強磁性、フェリ磁性
  - 自発磁化なし: 反磁性、常磁性、反強磁性
- 強磁性体・フェリ磁性体の分類
  - 軟質磁性、硬質磁性、半硬質磁性
- 磁性の起源による分類
  - 局在電子磁性(原子に局在した電子による)
  - 遍歴電子磁性(結晶中に広がった電子による)

# 分類(6) 光学的分類

- レンズ材料(透明性、高屈折率)
  - カメラ用、光ディスク用光学ピックアップ、フトリソグラフィ用
- 偏光材料(偏光子、1/4波長板)
  - CD用偏光フィルム、MD用ピックアップ、  
光アイソレータ用偏光子、デジカメ用位相補償子
- 非線形光学材料
  - SHG用材料(赤外LDの波長を可視変換)
- 発光材料
  - CL発光材料(CRT、FED)、フォトルミ材料(蛍光灯、PDP)  
EL材料(無機、有機)、LED・LD材料
- 光電変換材料
  - 太陽電池材料、光導電材料

# 分類(7) 原子分子配列による分類

## 結晶・非晶質

- 結晶か非晶質(アモルファス)か
  - LSI、LEDなどには単結晶が使われる
  - LCD(液晶表示)用のTFT(薄膜トランジスタ)には、多結晶・非晶質が使われる
  - 太陽電池には多結晶、非晶質が使われる
  - ガラス、シリコン酸化膜
- 原子・分子配列の秩序
  - 結晶は原子または分子の長距離秩序あり
  - 非晶質は短距離秩序あるが、長距離秩序なし
  - 5角形では空間を埋め尽くせない(準結晶)

# 次回の予習課題

## 「金属とは何か」

- 元素の周期表をご覧ください
- 理科年表にでています
- このうち「金属に分類される物質にどんなものがあるか」調べてきてください
  - 通常金属にどんなものがあるか
  - 遷移金属は周期表のどの部分にあるか
  - 希土類は周期表のどの部分にあるか

# 元素の周期表

	IA																	0	
1	1 <b>H</b>	IIA																	2 <b>He</b>
2	3 <b>Li</b>	4 <b>Be</b>										5 <b>B</b>	6 <b>C</b>	7 <b>N</b>	8 <b>O</b>	9 <b>F</b>	10 <b>Ne</b>		
3	11 <b>Na</b>	12 <b>Mg</b>	IIIB	IYB	VB	YIB	YIIB	— VII —				IB	IB	13 <b>Al</b>	14 <b>Si</b>	15 <b>P</b>	16 <b>S</b>	17 <b>Cl</b>	18 <b>Ar</b>
4	19 <b>K</b>	20 <b>Ca</b>	21 <b>Sc</b>	22 <b>Ti</b>	23 <b>V</b>	24 <b>Cr</b>	25 <b>Mn</b>	26 <b>Fe</b>	27 <b>Co</b>	28 <b>Ni</b>	29 <b>Cu</b>	30 <b>Zn</b>	31 <b>Ga</b>	32 <b>Ge</b>	33 <b>As</b>	34 <b>Se</b>	35 <b>Br</b>	36 <b>Kr</b>	
5	37 <b>Rb</b>	38 <b>Sr</b>	39 <b>Y</b>	40 <b>Zr</b>	41 <b>Nb</b>	42 <b>Mo</b>	43 <b>Tc</b>	44 <b>Ru</b>	45 <b>Rh</b>	46 <b>Pd</b>	47 <b>Ag</b>	48 <b>Cd</b>	49 <b>In</b>	50 <b>Sn</b>	51 <b>Sb</b>	52 <b>Te</b>	53 <b>I</b>	54 <b>Xe</b>	
6	55 <b>Cs</b>	56 <b>Ba</b>	57 <b>*La</b>	72 <b>Hf</b>	73 <b>Ta</b>	74 <b>W</b>	75 <b>Re</b>	76 <b>Os</b>	77 <b>Ir</b>	78 <b>Pt</b>	79 <b>Au</b>	80 <b>Hg</b>	81 <b>Tl</b>	82 <b>Pb</b>	83 <b>Bi</b>	84 <b>Po</b>	85 <b>At</b>	86 <b>Rn</b>	
7	87 <b>Fr</b>	88 <b>Ra</b>	89 <b>+Ac</b>	104 <b>Rf</b>	105 <b>Ha</b>	106 <b>Sg</b>	107 <b>Ns</b>	108 <b>Hs</b>	109 <b>Mt</b>	110 <b>110</b>	111 <b>111</b>	112 <b>112</b>	113 <b>113</b>						

\* Lanthanide Series

58 <b>Ce</b>	59 <b>Pr</b>	60 <b>Nd</b>	61 <b>Pm</b>	62 <b>Sm</b>	63 <b>Eu</b>	64 <b>Gd</b>	65 <b>Tb</b>	66 <b>Dy</b>	67 <b>Ho</b>	68 <b>Er</b>	69 <b>Tm</b>	70 <b>Yb</b>	71 <b>Lu</b>
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

+ Actinide Series

90 <b>Th</b>	91 <b>Pa</b>	92 <b>U</b>	93 <b>Np</b>	94 <b>Pu</b>	95 <b>Am</b>	96 <b>Cm</b>	97 <b>Bk</b>	98 <b>Cf</b>	99 <b>Es</b>	100 <b>Fm</b>	101 <b>Md</b>	102 <b>No</b>	103 <b>Lr</b>
-----------------	-----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	------------------	------------------	------------------

# 金属の特徴

- 金属とは:

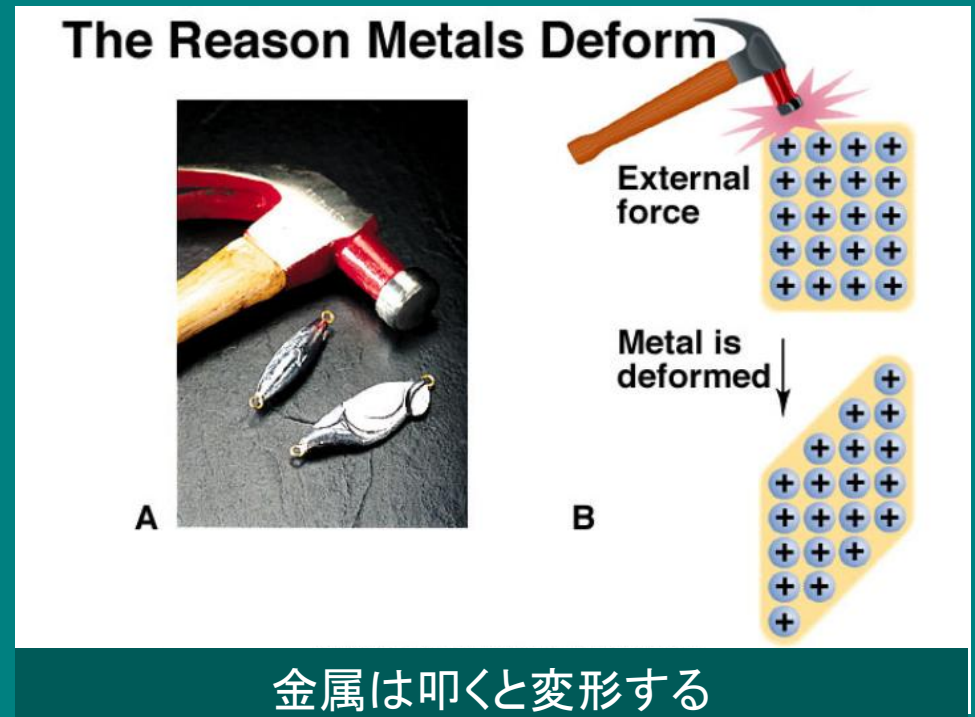
金属光沢を持ち、電気と熱をよく導き、固体状態では展性・延性に富む物質 (岩波・理化学辞典)

- 機械的性質

- 弾性と塑性
- 塑性:展性と延性
- 金属結合との関係

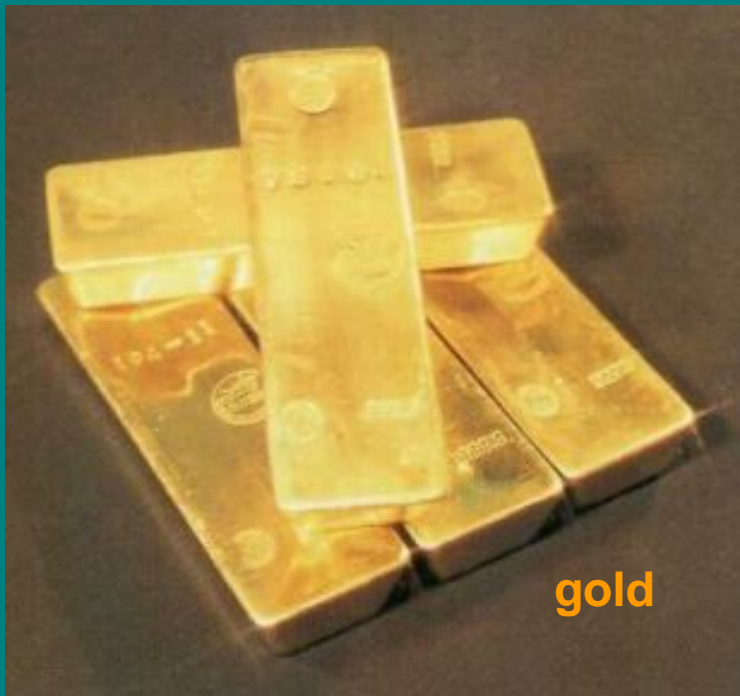
- 電氣的性質

- 良導体
- 導電率の温度変化
- 自由電子



# 金属の物性： 電気伝導・熱伝導・反射

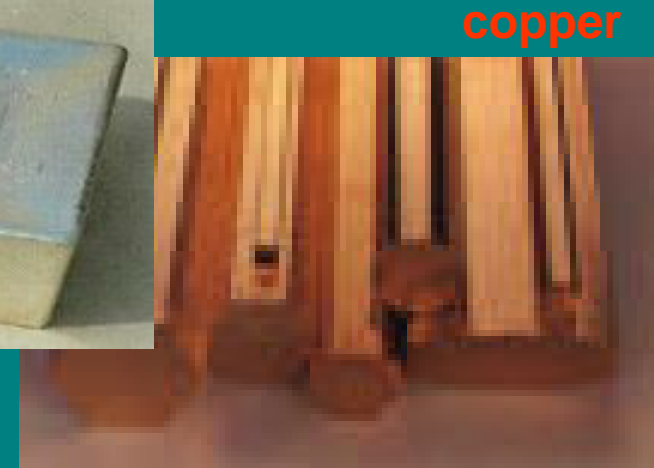
- 金属は、一般に反射率が高く、独特の色を示す。
- 貴金属の和名は色から来ている。



こがね(黄金)

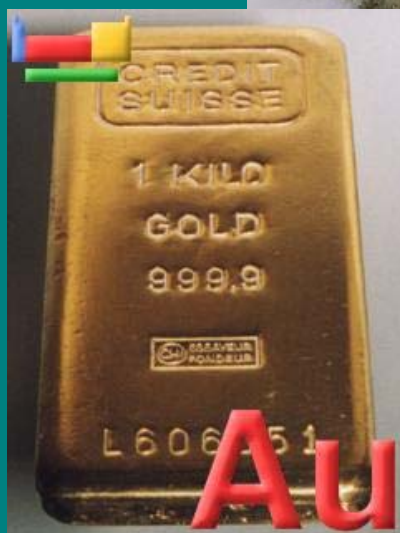


しろがね(銀)

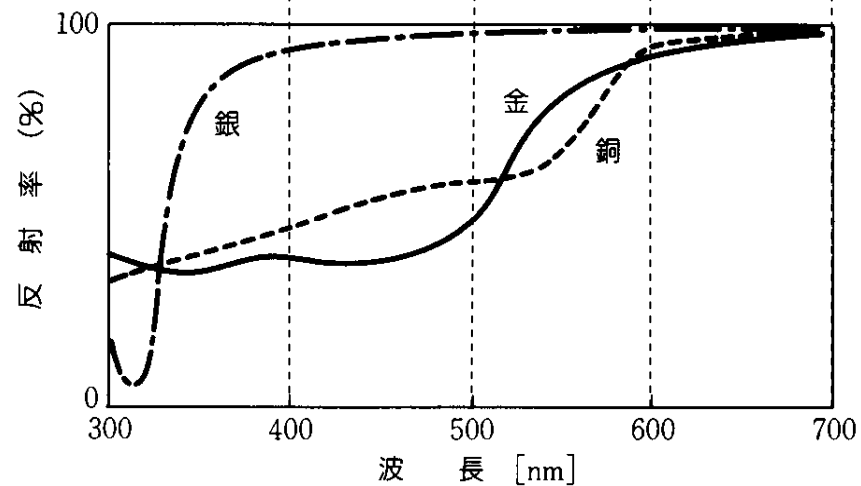
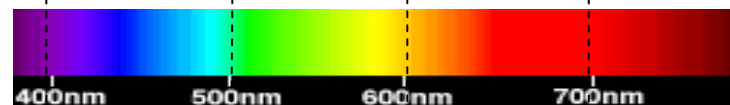
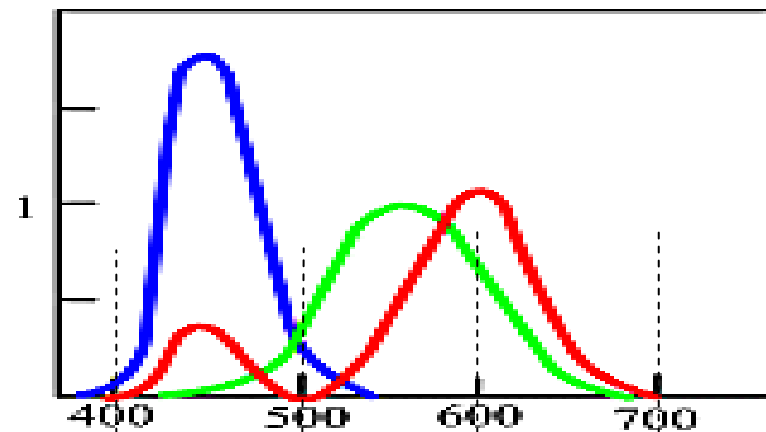


あかがね(銅)

# 金属の色



相対感度



# 第1回の課題

- 第1回の講義を聴いて
- 物性工学概論はどのような科目だと思いましたか
- もっと知りたいと思ったことは何ですか
- これまで学んだ物理学や化学などとのつながりを感じましたか
- 3年で学ぶことへのきっかけになりそうですか