



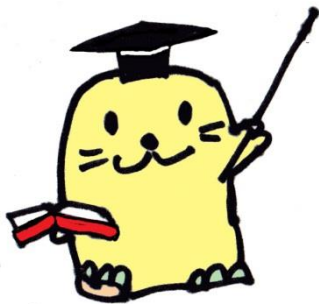
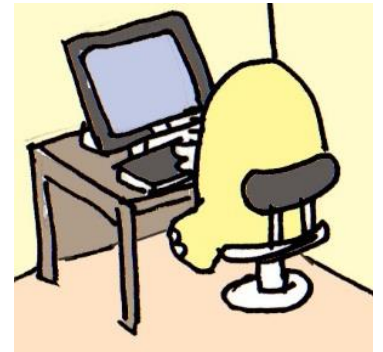
# 科学する力

## 一身の回りの科学

工学博士 佐藤勝昭

東京農工大学名誉教授

科学技術振興機構



# はじめに

- 私は、現在、科学技術振興機構(JST)に勤める佐藤勝昭です。私は1966年京大大学院を修了しNHKに勤め放送技術の研究をし、1984年に東京農工大学工学部の教員になりました。2007に退職するまで2年間副学長をしていました。

- 私はホームページで「物性なんでもQ&A」というサイトを作っていますが、先日サイエンス部化学班のAさんが質問を下さいました。それは「卑弥呼の鏡をつくる」というプロジェクトです。私は、これに巻き込まれてお手伝いをしたことから、O先生、M先生、K先生とお知り合いになりました。

- こうしたご縁で、K先生のお膳立てで、皆さんの前でお話することになったのです。



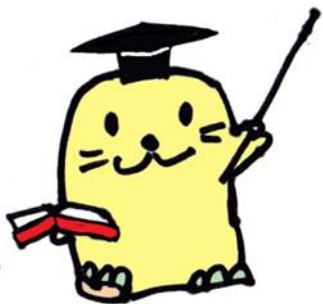
# 今日のお話の内容

- キミたちは卒業後、科学者を目指す？
- 科学者と技術者、どっちが偉い？
- 技術革新の裏には科学がある
  - 暮らしの中の光を例に
- 科学する力で日本を元気に



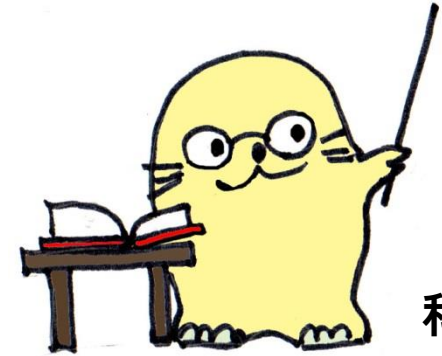
# キミたちは卒業後、科学者をめざすか？

- K先生から最初に頂いたお題は  
「科学者を目指す高校生に向けて」（理科数学の研究の進め方と高校時代にすべきこと）でした。
- 私は次のようにお答えしました。
  - 理数科のみんながみんな科学の研究者になる訳ではありませんよね。
  - むしろ、フツーに会社や工場に勤めるほうが多いのではないのでしょうか。
  - 高校では、「技術者」「技術研究」のバックにいか「科学」が基礎として息づいているかを教えないのではないのでしょうか？そのため、工学部を目指す人が少なくなり、産業界は、将来の技術者不足を危惧しています。
  - わたしは「科学者」でなくても科学が活かせる職業に就けることのほうが大切ではないかと思うのです。
  - そのためには、身の回りのものを科学する態度こそ、重要ではないかと思うのです。

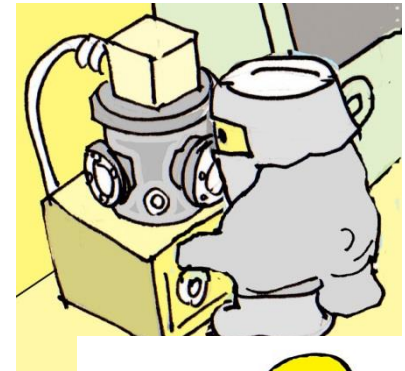


# 科学者と技術者、どっちが偉い？

- 「科学者が原理を発見して、技術者が原理を応用して製品を作る」と思っていないませんか？
- 光電池の原理を発見し実証したのは科学者でした。実用的な太陽電池にしたのは技術者でした。
- もっとたくさんの電力を取り出すには、技術だけでは限界が来ます。すると科学に戻ります。
- 技術がなければ科学が発展しないし、科学がなければ技術が発展しないのです。



科学者



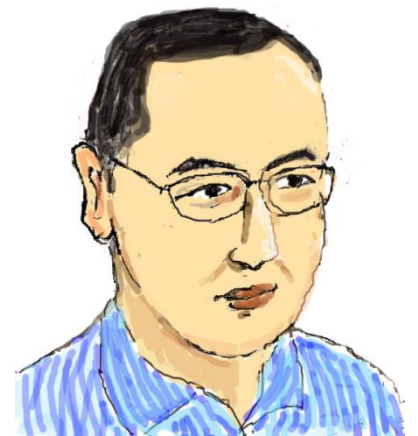
技術者



どっちも偉い

# 科学と医療

- 山中 伸弥先生によるiPS細胞の発見は、「細胞を分化前の状態に戻せれば・・・」という願いからでした。山中先生は元は整形外科のお医者様で、はじめから科学者であった訳ではありません。
- 科学がiPS細胞の発見を産み、新たな医療技術の道が開かれようとしています。
- 科学と技術は互いに行き来して発展するのです。



# 技術革新の裏には科学がある

- 皆さんは、日常的に使っている身の回りのグッズがどのような仕掛けになっているのか、どのような原理で働くのか考えたことがあるでしょうか？
- スマホもケータイもパソコンも蛍光灯もLEDもDVDもハードディスクも太陽電池も冷蔵庫も電子レンジもどのような原理で働くかを知りたいと思ったことはありませんか？
- 一般ピープルはともかく、理数科の皆さんはブラックボックス化してはいけません。これらの裏には、科学がいっぱい隠れているのですから…
- 以下では、暮らしの中の光を取り上げて「科学する力」を磨きましょう。



講義資料1



# 暮らしの中の光



# こんなところにも光が






- 照明・光通信・光記録・ディスプレイ・光電池・光センサ多くの光を用いたしかけ（光デバイス）が暮らしのなかで用いられています。これらの光デバイスには光に関わる物理や化学が活かされています。
- ここでは、暮らしのなかの光デバイスの仕組みに光のもつどのような性質が使われているのか、今学習している物理や化学とどのように結びついているのかについて、一緒に考え、理解を深めましょう。

# 光の発生

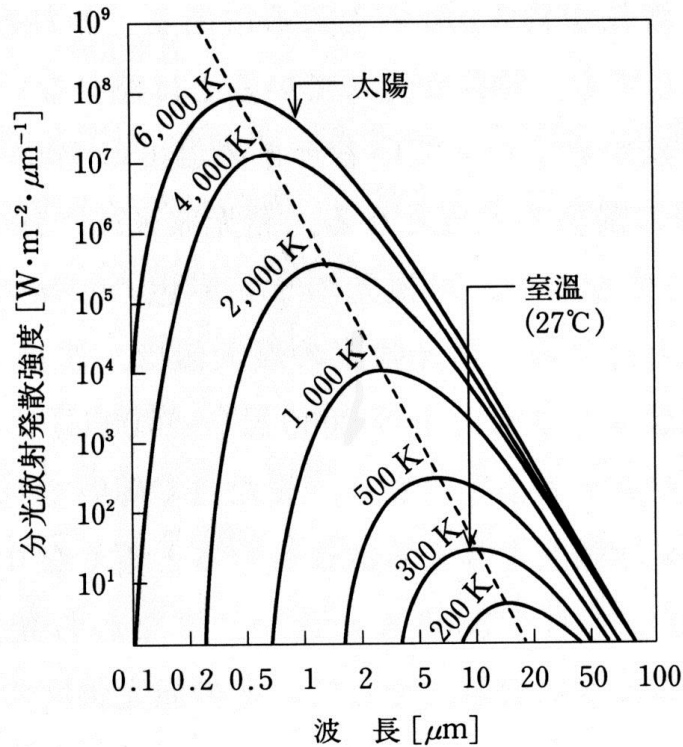
## 1) 熱して光を出す

- ものを燃やすと明るくなります。
- ガスバーナーにたくさん空気を送り込むと赤かった炎が次第に青くなります。
- 温度の高い物体が光を出すことは「黒体放射」として知られます。
- その分光放射強度はプランクの法則で表されます。

炎の色

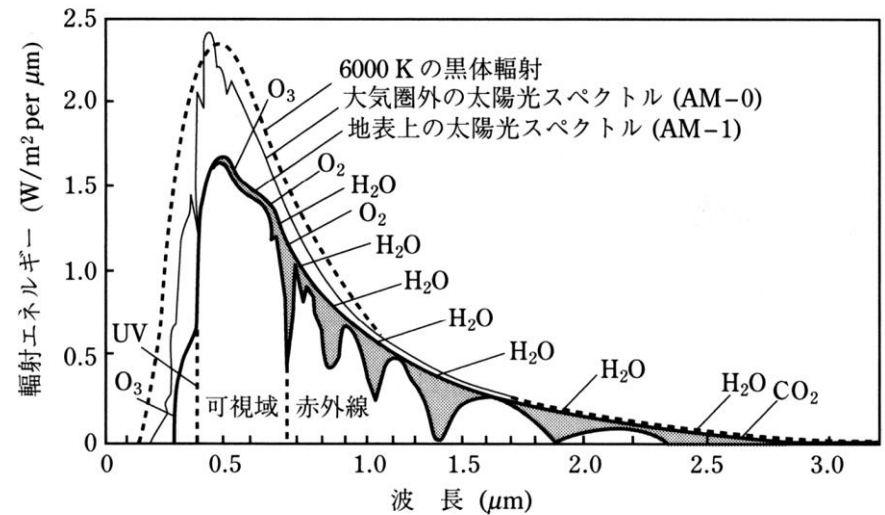
1	ガス > エア	
2	ガス > エア	
3	ガス = エア	
4	ガス < エア	
5	ガス < エア	

# プランクの法則



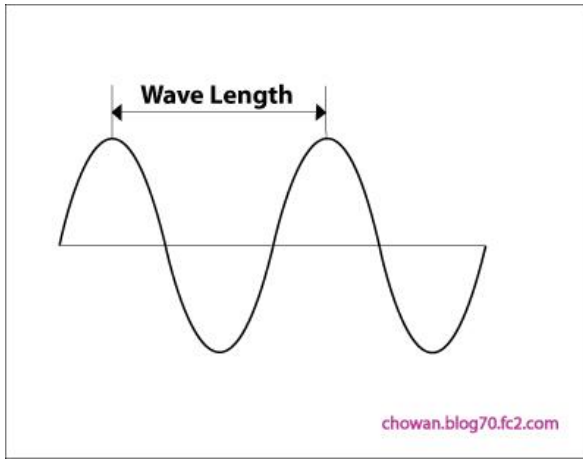
対数目盛

## 太陽光の分光放射強度



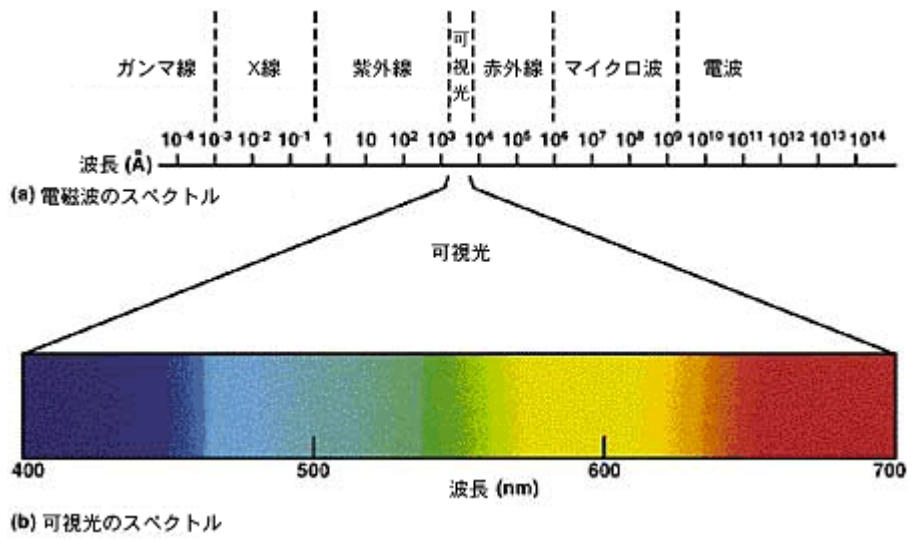
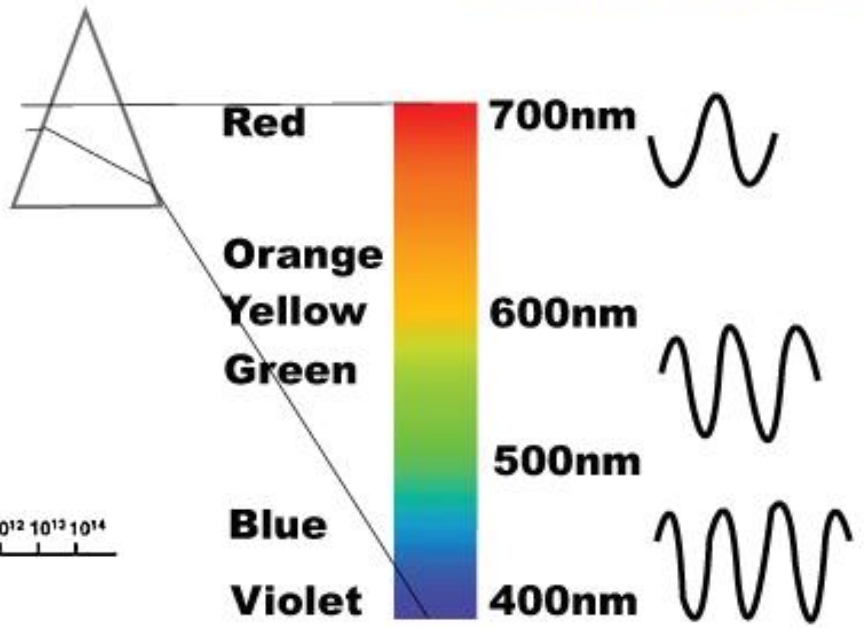
リニア目盛

# 光の波長と色



chowan.blog70.fc2.com

chowan.blog70.fc2.com

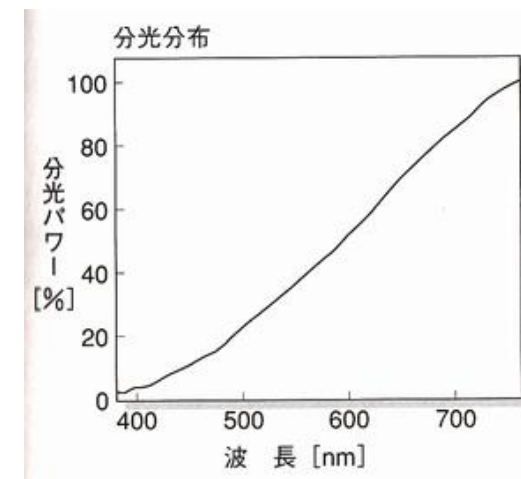
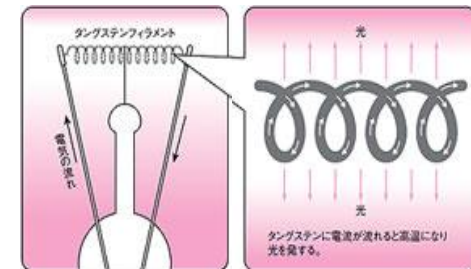
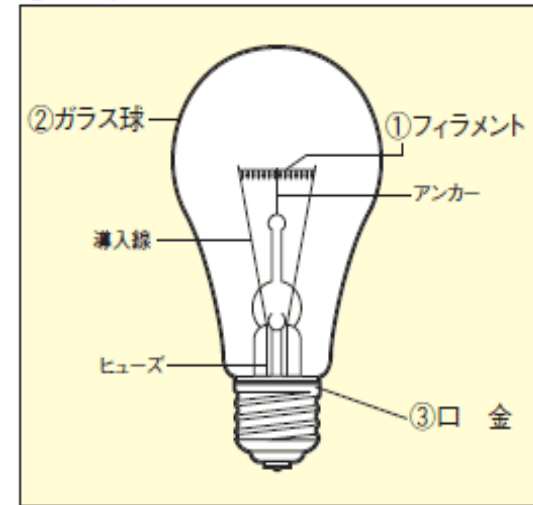


# 白熱電球

- 電球の中には導入線によって、フィラメントが固定されています。
- フィラメントは高温に強いタングステンという金属で作られ、電流を流すと電気抵抗により2000~3000°Cの高温になり、白熱化してプランクの法則に従って、暖かみのある白色光を発生します。
- ガラス球の中は真空のものや不活性ガスを封入したものがあり、高温になるフィラメントの燃焼（酸化）や蒸発を防いでいます。

[http://www.akaricenter.com/mame/hakunetsu\\_denkyu.htm](http://www.akaricenter.com/mame/hakunetsu_denkyu.htm)

電球の構造図



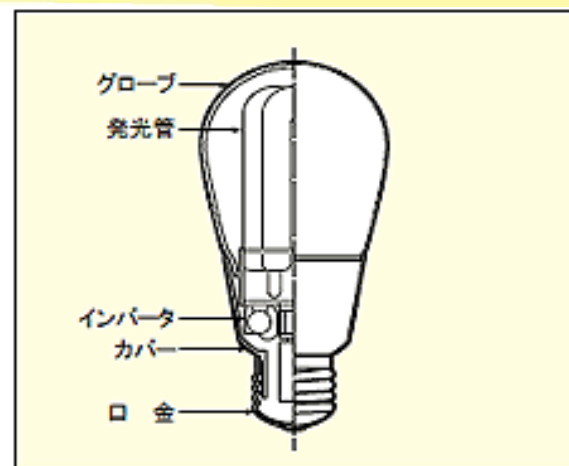
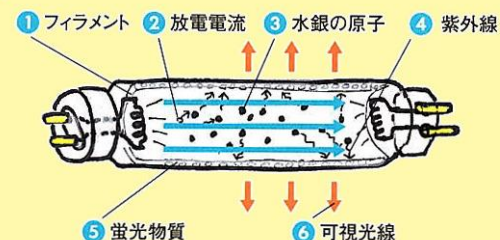
# 光の発生

## 2) 蛍光物質から光を出す

- 白い蛍光物質にブラックライトを使って紫外線を当てると、可視光線が出ます。この現象を蛍光と呼びます。
- 蛍光灯の中では、放電により水銀から紫外線を発生させ、蛍光物質が紫外線を受けて発光します。
- 電球型蛍光灯は、コンパクトに屈曲した発光管と点灯回路を一体化し、電球と同じ口金をつけた蛍光ランプです。

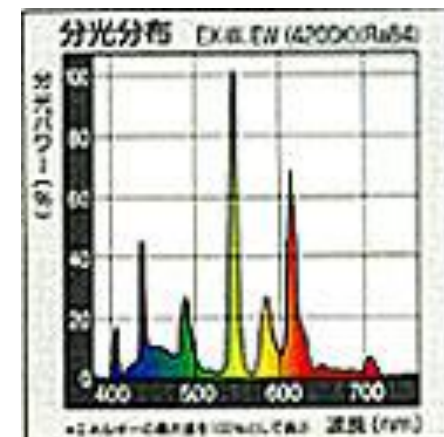
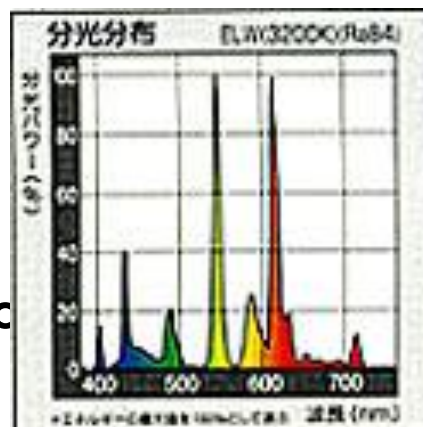


図 蛍光灯の発光のしくみ



# 蛍光ランプの光の色

- 蛍光ランプは蛍光物質が光を出しています。
- スペクトルは線状ですが赤・黄・緑・青の光が出ているので目には白く見えます。
- 赤の発光線を強くすると温かい色になります。



# 光の発生

## 3)半導体に電流を流して光を出す

- LEDとはlight emitting diode（光を発するダイオード）の略です。
- ダイオードとは、一方方向にのみ電気が流れる半導体のしかけです。

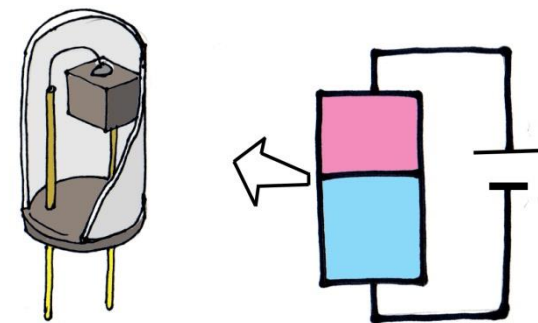


図2 半導体のダイオードの外観と電流-電圧特性

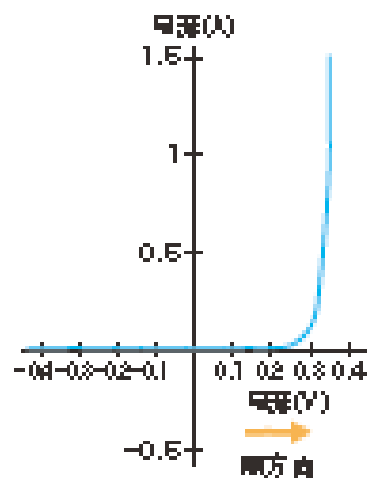
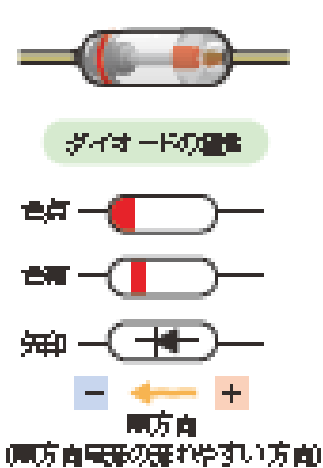


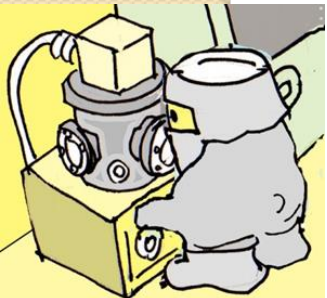
図3 ダイオードの光特性を利用したデバイス是非常に多い





# 青色LED開発物語

- いまではあたり前になっている青色LED（発光ダイオード）ですが、LEDが発明されてから何年もの間、赤と黄色、緑にかぎられ、青色のLEDをつくることはできませんでした。
- 半導体の発光色はバンドギャップで決まっているので、短い波長の光をだすには、バンドギャップの大きな半導体でLEDをつくれればよいはずなのです。大きなバンドギャップをもつ半導体としては、酸化亜鉛、硫化亜鉛、セレン化亜鉛などⅡ - VI族半導体が研究されました。これらの材料では、p型やn型を自由に制御することができませんでした。窒化ガリウムもその候補の1つだったのですが、品質のよい結晶が得られないので、あきらめていました。
- 当時、名古屋大学の赤崎勇先生は、この物質に注目して、地道な基礎研究を重ね、1989年に青色LEDの試作品をつくりました。その後、1993年に日亜化学の中村修二氏の発明をきっかけとして青色LEDが製品化され、大量に市場にでまわることとなりました。
- それまで、世界中の大企業の半導体研究者が挑んで成功しなかった青色LED、さらには青色LDに、日本の研究者が突破口を開いて製品化したことは、特筆すべきことです。



# 白色LEDの仕組み

## 1.青色LEDにより、黄色蛍光体を光らせる

3方式のなかで一番発光効率が高い方式です。

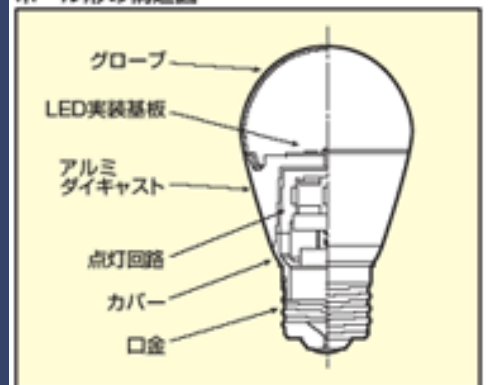
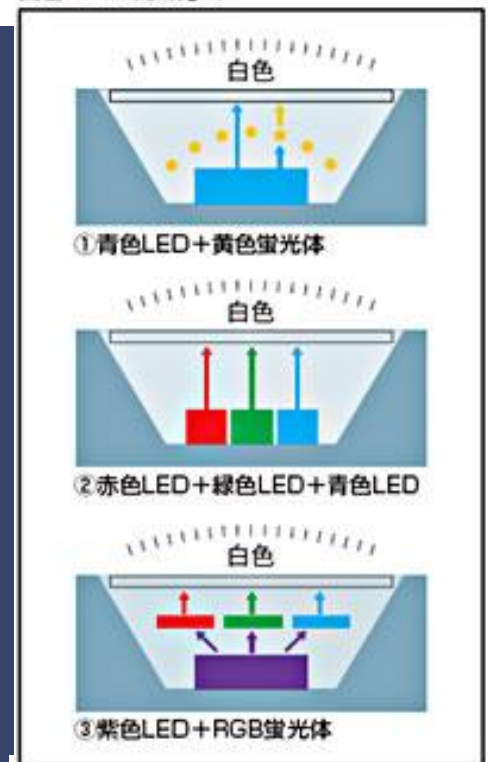
LEDの青色光と、その光で励起される補色の黄色を発光する蛍光体の組み合わせで白色を作り出しています。赤色領域の不足を指摘されていますが、不足しがちな赤色や青緑成分を補った改良型も近年開発されています。

## 2.光の3原色のLED（赤色・緑色・青色）を組み合わせる

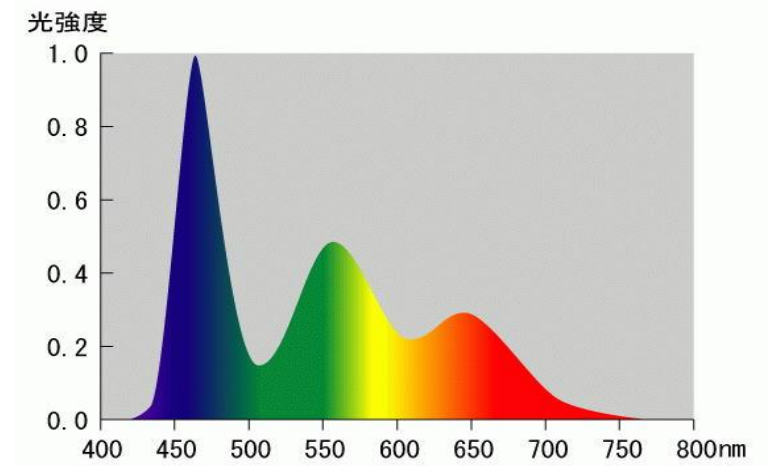
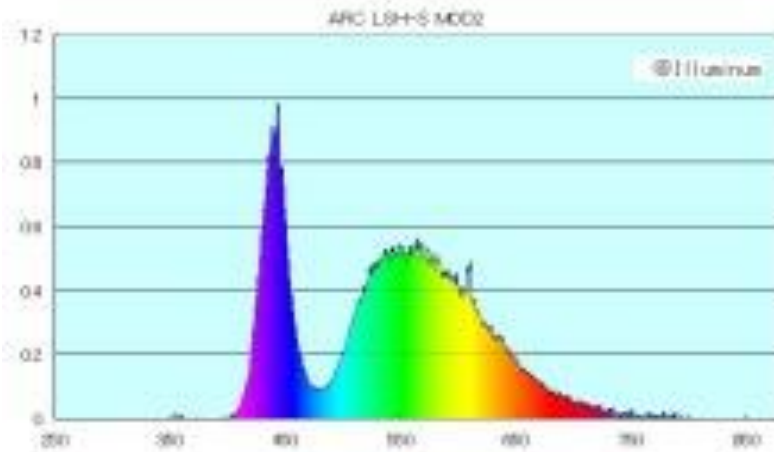
見た目には白色光が得られますが、放射エネルギーのない波長域があるために、物の見え方が不自然になることもあります。一般的には品物を照らす照明ではなく、光を直接見せるディスプレイや、大型映像装置などに使われます。

3.近紫外または紫色LEDにより、赤色・緑色・青色の蛍光体を光らせる。3波長形蛍光ランプと同じ発光形式で、青色よりも波長の短いLED光源で、赤・緑・青の蛍光体を励起させます。きれいな白色が得られる特長がある反面、発光効率の向上が課題です。

白色LEDの発光方式



# 白色LEDのスペクトル



# 人が色を感じる仕組み

- 色のことを論じる前に、人間が色を感じる仕組みについて述べておきます。カラーテレビでは、全ての色を赤（R）、緑（G）、青（B）の光の3原色で表しています。なぜ色を3原色で表せるのでしょうか。
- 網膜には桿体と呼ばれる光を感じる細胞と錐体と呼ばれる色を感じる細胞があり、錐体にはR,G,Bを感じる3種類のものがあります。これらの三種の錐体の送り出す信号の強さの違いによりさまざまな色を感じることができるのです。

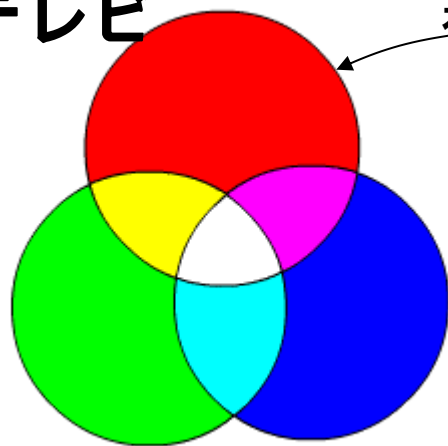
# 三原色



- 光の3原色（加法混色）
- 各色の強さを変えて混ぜ合わせると、いろいろな色の光になる。赤い光、緑の光、青い光を同じ強さで混ぜ合わせると、白い光になる。

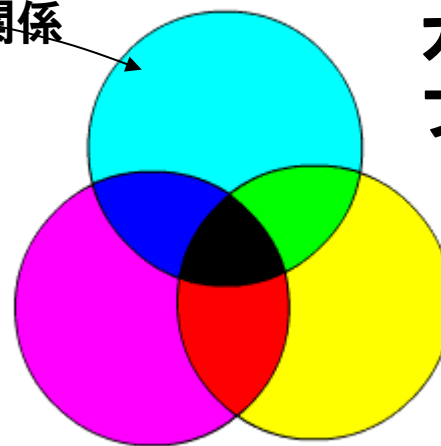
- 色の3原色（減法混色）
- 各色を混ぜ合わせると、いろいろな色ができる。マゼンタ・シアン・イエローを同じ割合で混ぜると黒になる。

カラーテレビ



赤、R(red)  
緑、G(green)  
青、B(blue)

補色の関係

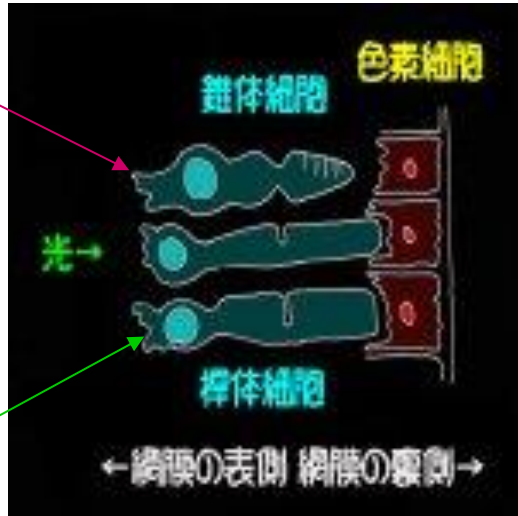


カラーフィルム  
カラーフィルタ  
プリンタ

マゼンタ, M(magenta)  
シアン, C(cyan)  
イエロー, Y(yellow)

# 色を感じる細胞

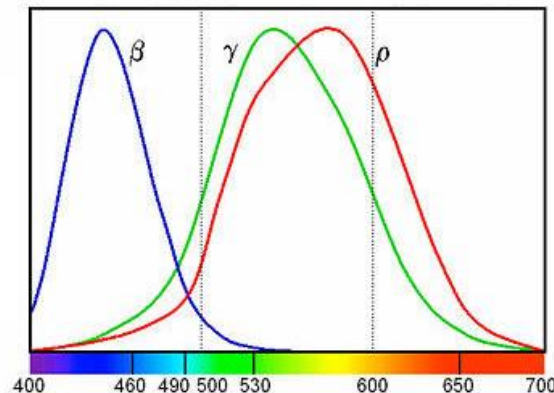
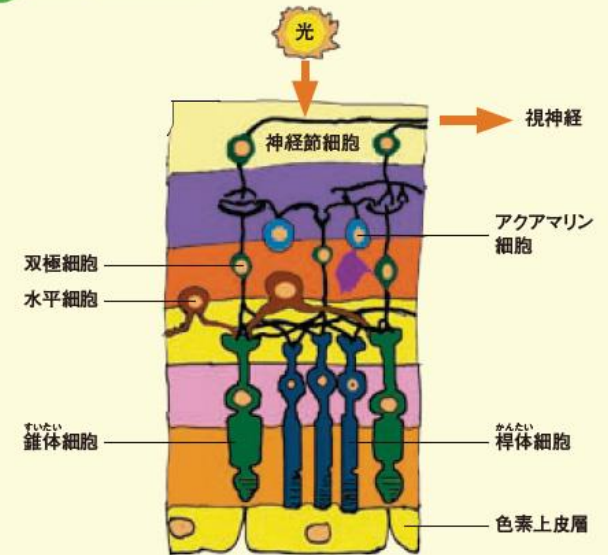
色を感じる



光を感じる

なぜ3原色で表せるのでしょうか。それは人間の色を感じる細胞が3種類あるからです。これらの細胞は錐体（すいたい）と呼ばれ、三種の錐体の送り出す信号の強さの違いによりさまざまな色を感じることができます。

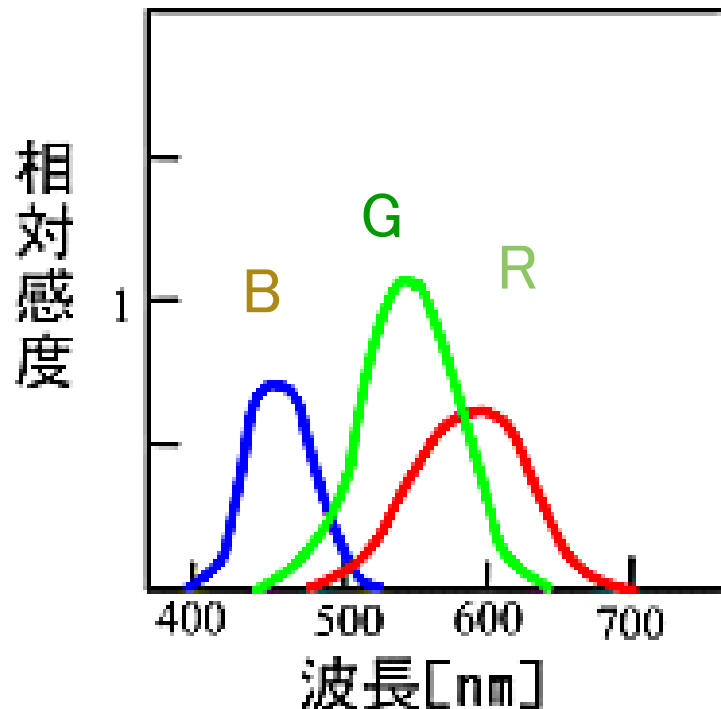
図1 網膜の細胞構成



3桿体は、ギリシャ文字のベータ ( $\beta$ )、ガンマ ( $\gamma$ )、ロー ( $\rho$ ) で表されるような相対感度のスペクトルをもっています。これらはほぼ青B、緑G、赤Rの感

# 色の数値化（1）：RGB感度曲線

- RGBを感じる細胞の3色の感度曲線をRGB感度曲線といいます。

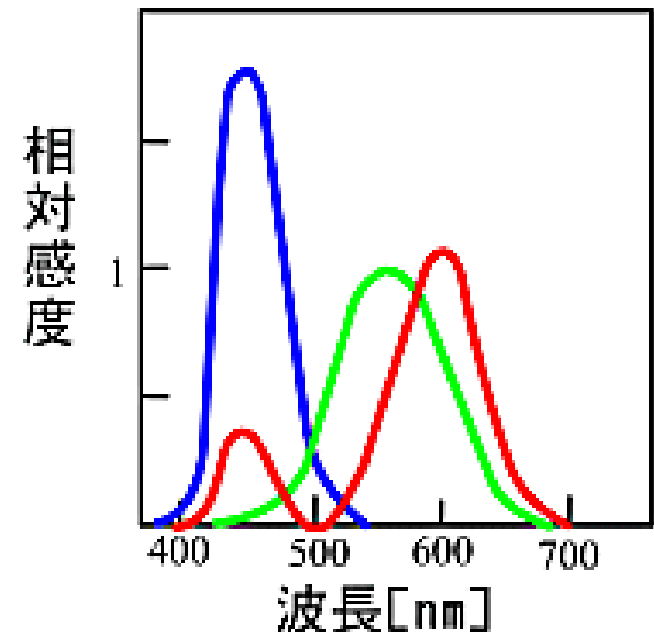


- RGB感度曲線は、特徴的な波長（R,G,B）で一つのピークをもつ曲線になります。
- 人間の眼では、主に感度領域の中央（緑色の光）で明るさを捉え、感度領域の両端（青や赤）で色合いを決めているのです

# 色の数値化（2）：XYZ等色曲線

- 実際には感覚的な3原色RGBだけでは表せない色もあるので、機械による測色、表色、目の波長感度特性を詳しく調べて数値化した“表色上の3原色”である3刺激値XYZを使います。

■ XYZ等色曲線は3つの刺激値X,Y,Zを使って表す表色系で、これだとXは赤・青2つのピークをもち、Zは青の領域にピークをもつため、XとZを使って紫を表現できます。この等色関数は1931年CIE(国際照明委員会)で定められ、現在にいたるまで使われています。すべての色はXYZの3刺激値で与えられます。





## 講義資料 2

# さまざまな光ディスクとその原理



# 光ディスクのポイント

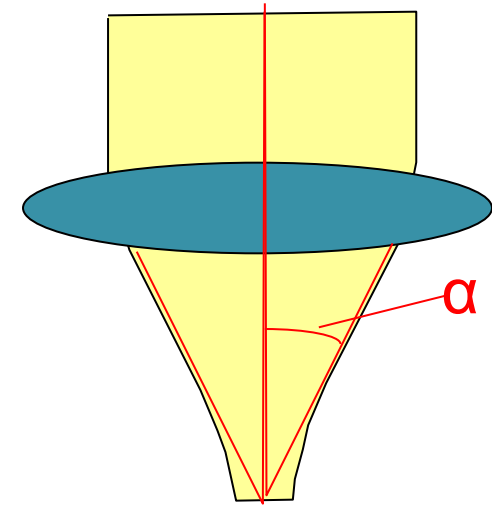
- 読み出しは、レーザー光を絞ったときに回折限界で決まるスポットサイズで制限されるため、波長が短いほど高密度に記録される。
- 光ストレージには、読み出し(再生)専用のもの、1度だけ書き込み(記録)できるもの、繰り返し記録・再生できるものの3種類がある。
- 記録には、さまざまな物理現象が使われている。

# 光記録の分類

- **光ディスク**
  - **再生(読み出し)専用のもの**
    - CD, CD-ROM, DVD-ROM
  - **記録(書き込み)可能なもの**
    - **追記型(1回だけ記録できるもの)**
      - CD-R, DVD-R
    - **書換型(繰り返し消去・記録できるもの)**
      - 光相変化 CD-RW, DVD-RAM, DVD-RW, DVD+RW, BD
      - 光磁気: MO, GIGAMO, MD, Hi-MD, AS-MO, iD-Photo
- **ホログラフィックメモリ、ホールバーニングメモリ**

# 記録密度を決めるもの 光スポットサイズ

- $d=0.6\lambda/NA$ 
  - $\lambda$ は光の波長
  - $NA$ はレンズの開口数
    - $NA=n\sin\alpha$
- CD-ROM:  $NA=0.6$   
CD-ROM:  $\lambda=780\text{nm} \rightarrow d=780\text{nm}$   
DVD:  $\lambda=650\text{nm} \rightarrow d=650\text{nm}$   
BD:  $NA=0.85$   
 $\lambda=405\text{nm} \rightarrow d=285\text{nm}$



スポット径  $d$



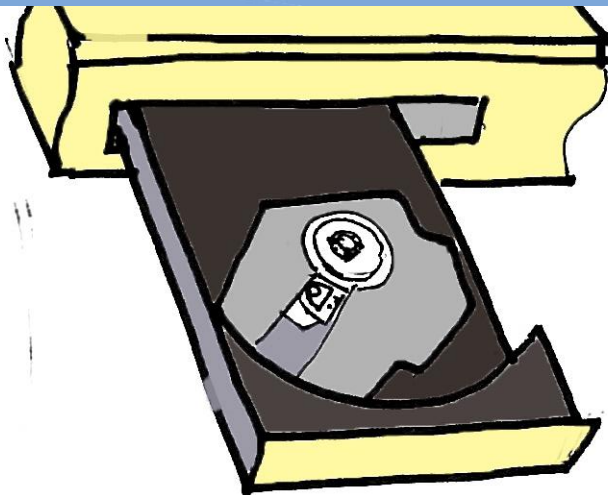
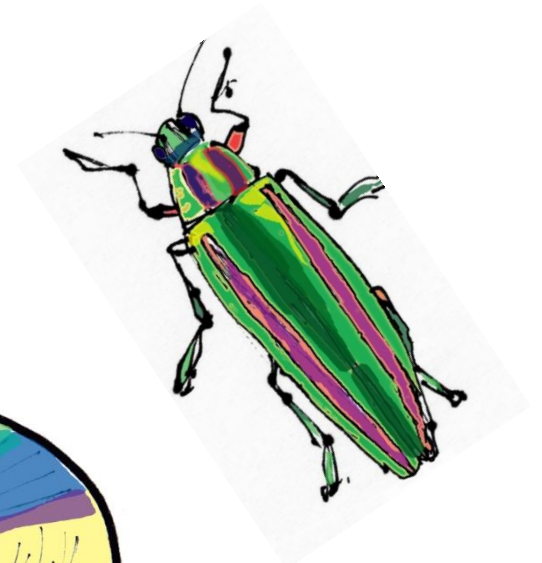
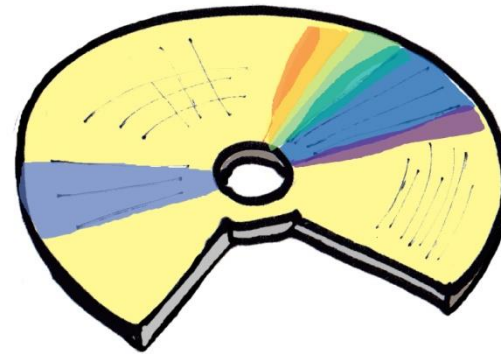
# 光記録に利用する物理・化学現象

- CD=compact disk, DVD=digital versatile disk, BD=bluray disk
- CD-ROM, DVD-ROM: ROM=read only memory
  - **ピット形成**
- CD-R, DVD-R: R=recordable
  - **有機色素の化学変化と基板の熱変形**
- CD-RW, DVD-RW, BDR: RW=rewritable
  - **アモルファスと結晶の相変化**
- MO, MD, GIGAMO, AS-MO, iD-Photo:
  - **強磁性・常磁性相転移**
- **ホログラフィックメモリ**：フォトリフラクティブ効果
- **ホールバーニングメモリ**：不均一吸収帯

# 光ディスクの特徴

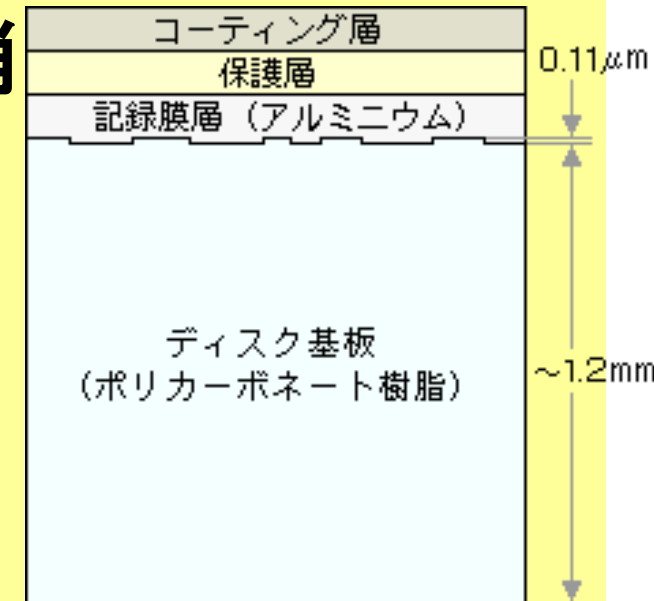
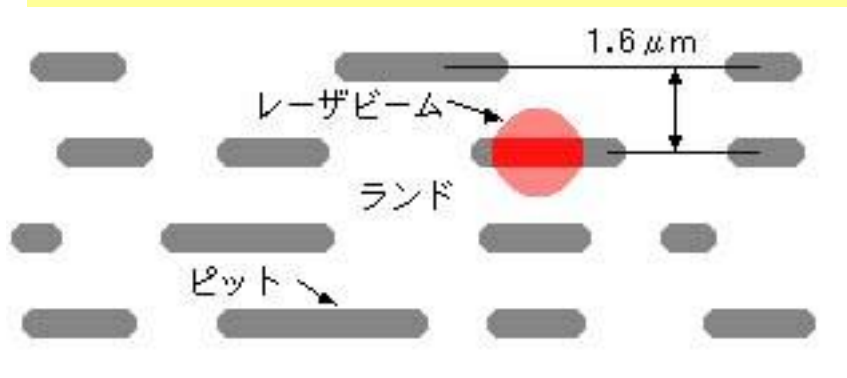
- リムーバブル(とりはずして持ち運べる)
- 大容量・高密度
  - BD 100Gb/in<sup>2</sup> : ハードディスク(500Gbit/in<sup>2</sup>)に及ばない
  - 超解像,短波長,近接場を利用してもっと高密度に
- ランダムアクセス
  - 磁気テープに比し圧倒的に有利 ;  
カセットテープ→MD, VTR→DVD
  - ハードディスクに比べるとシーク時間が長い
- 高信頼性
  - ハードディスクに比し、ヘッドの浮上量大きい

# CD-ROM



# CD-ROM : 光の干渉を利用

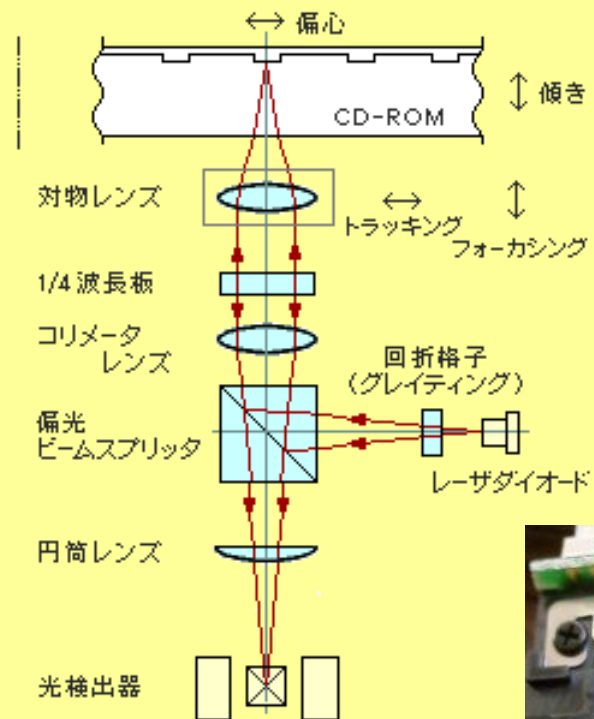
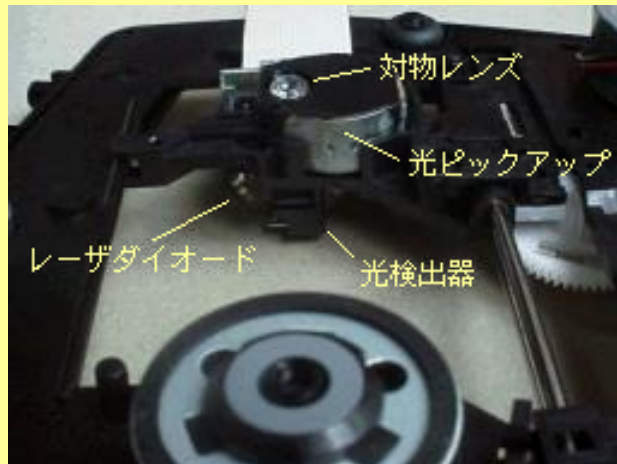
- ポリカーボネート基板 :  $n=1.55$
- $\lambda = 780\text{nm} \rightarrow$  基板中の波長  $\lambda' = 503\text{nm}$
- ピットの深さ :  $110\text{nm} \sim \frac{1}{4}$ 波長
- 反射光の位相差  $\pi$  : 打ち消





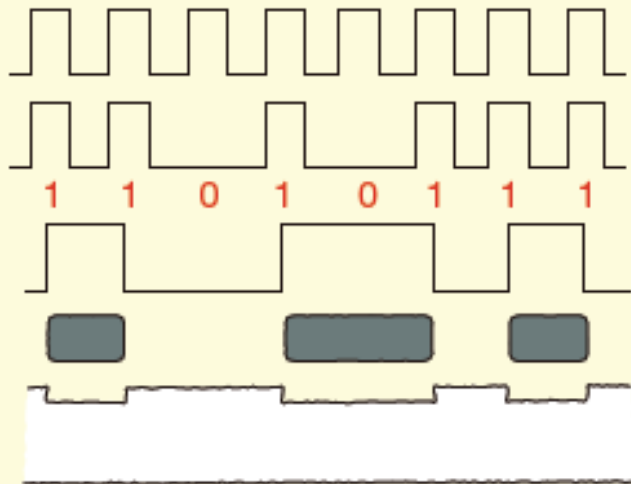
# CD-ROMドライブ

- フォーカスサーボ
- トラッキングサーボ
- 光ピックアップ



# CDはどうやって情報を読み出すのか？

## 図 CDの読み出し原理



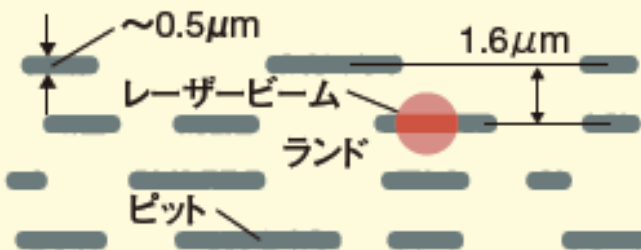
a クロックパルス

b デジタル信号

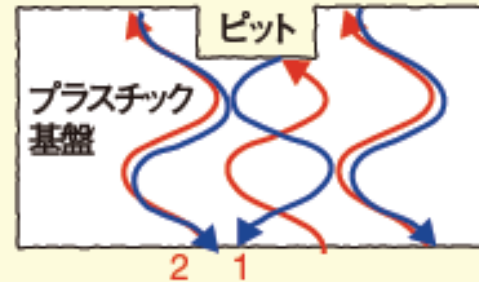
c NRZ信号

d ピット列

e ピットをつけた  
プラスチック基盤



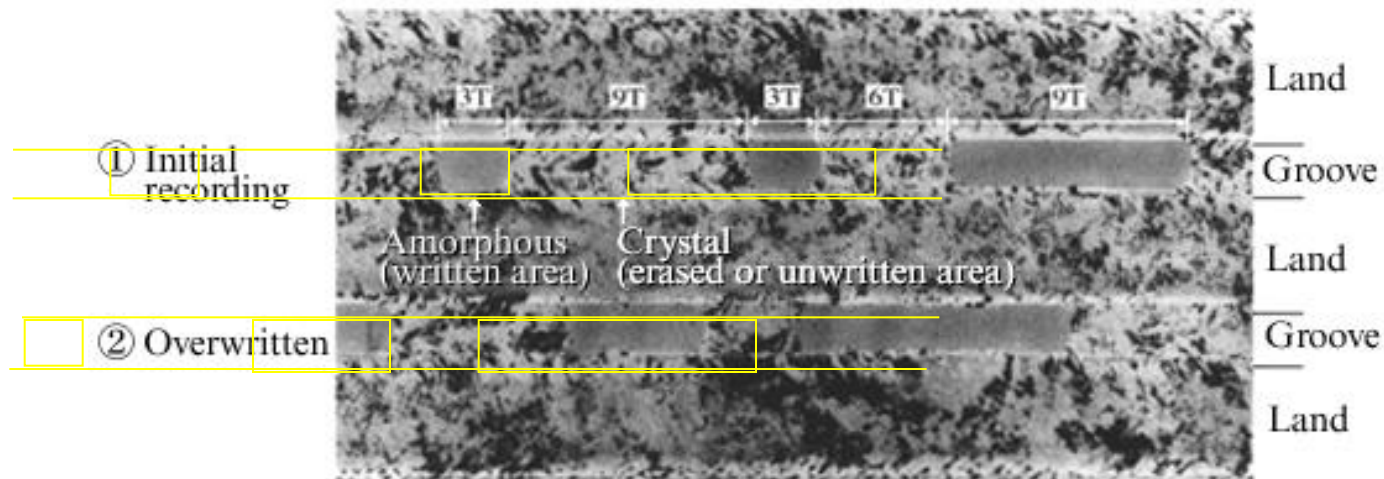
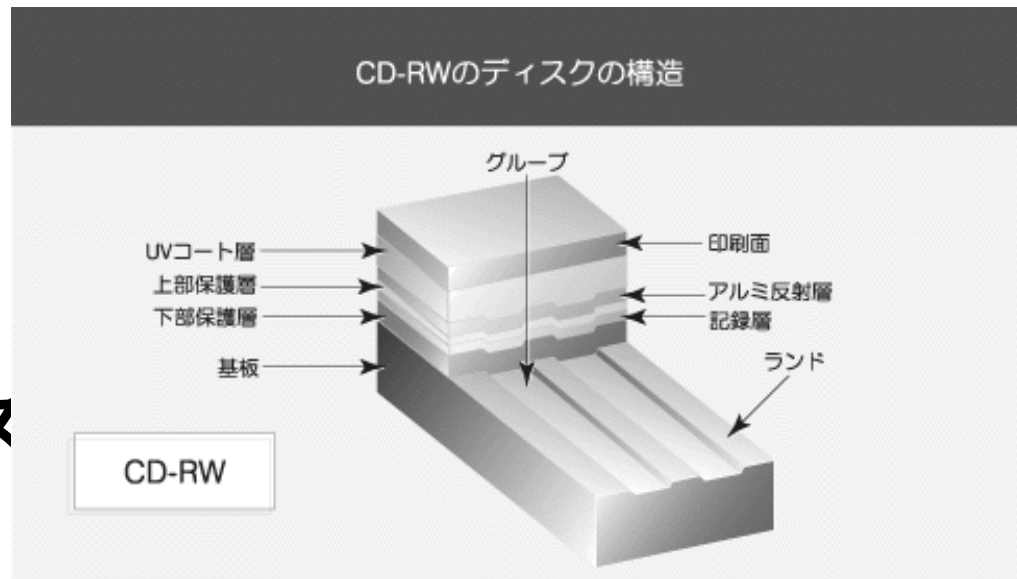
f レーザスポットの直径は  
ピットの横幅より大きい



g ピットからの反射光と  
平坦部からの反射光とは  
打ち消す

# CD-RW

- 光相変化ディスク
- 結晶とアモルファス間の相変化を利用

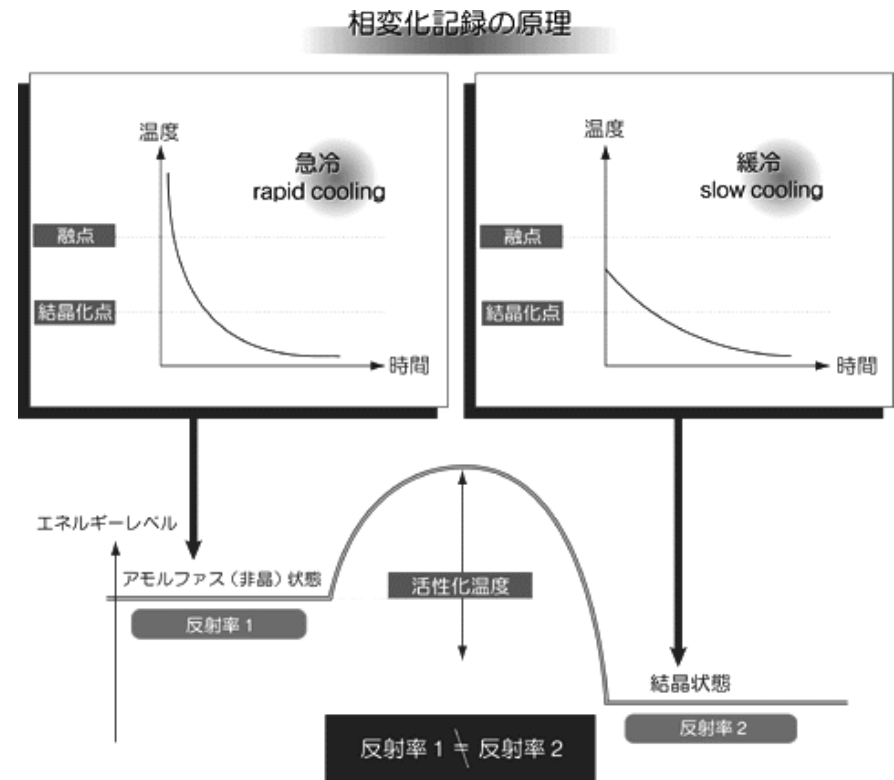


# 光相変化記録

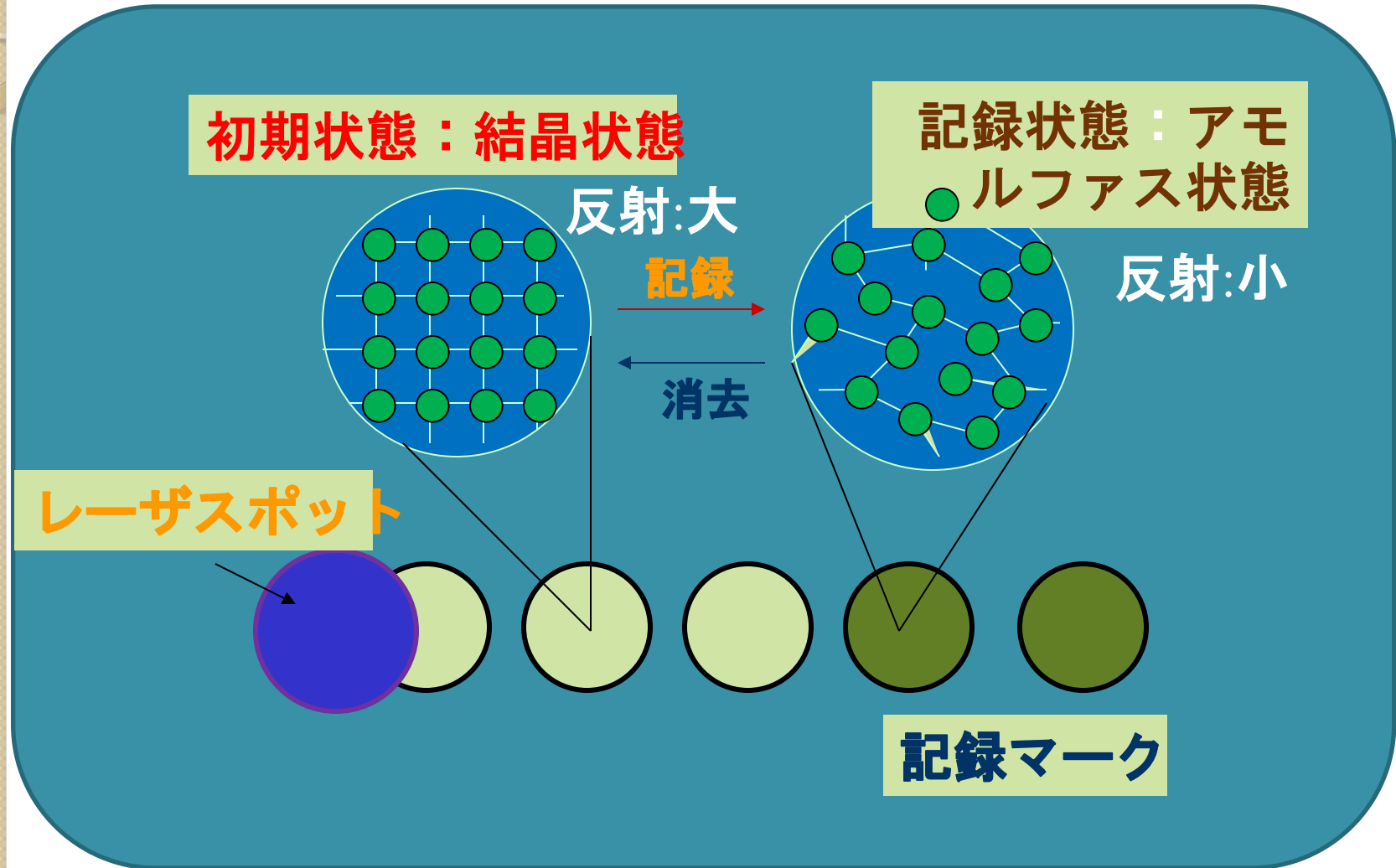
- アモルファス/結晶の相変化を利用
  - 書換可能型 成膜初期状態のアモルファスを熱処理により結晶状態に初期化しておきレーザー光照射により融点 $T_m$  ( $600^\circ\text{C}$ )以上に加熱後急冷させアモルファスとして記録。消去は結晶化温度 $T_{cr}$  ( $400^\circ\text{C}$ )以下の加熱緩冷して結晶化。
    - Highレベル： $T_m$ 以上に加熱→急冷→アモルファス
    - Lowレベル： $T_{cr}$ 以上に加熱→緩冷→結晶化
- DVD-RAM: GeSbTe系  
DVD±RW: Ag-InSbTe系

# 相変化ディスクの記録と消去

- 融点以上から急冷：  
アモルファス  
→ 低反射率
- 融点以下、結晶化  
温度以上で徐冷：  
結晶化  
→ 高反射率



# 相変化と反射率



# アモルファスとはなにか

- Amorphous aは否定の接頭辞morphは形
  - 非晶質と訳される
  - 近距離秩序はあるが、結晶のような長距離秩序がない
  - 液体の原子配列が凍結した状態に近い
  - 液体の急冷により生じる準安定な状態
  - 金属合金系、カルコゲナイドガラス系、テトラヘドラル系、酸化物ガラス系などがある
  - 金属合金系の場合DRPHS (dense random packing of hard spheres)モデルで説明できる

# アモルファスの特徴

- 結晶ではないので結晶粒界がなく連続
  - 大面積を均一に作れる。
  - 光の散乱が少ない
- 結晶と違って整数比でない広範な組成比が実現：特性を最適化しやすい
- 低温成膜可能なので、プラスチック基板でもOK



# CD-R：有機色素の利用



- 有機色素を用いた光記録
- 光による熱で色素が分解
- 気体の圧力により加熱された基板が変形
- ピットとして働く

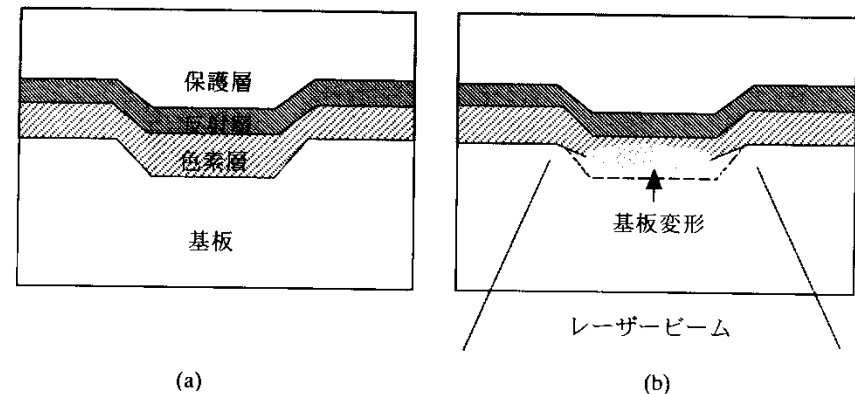
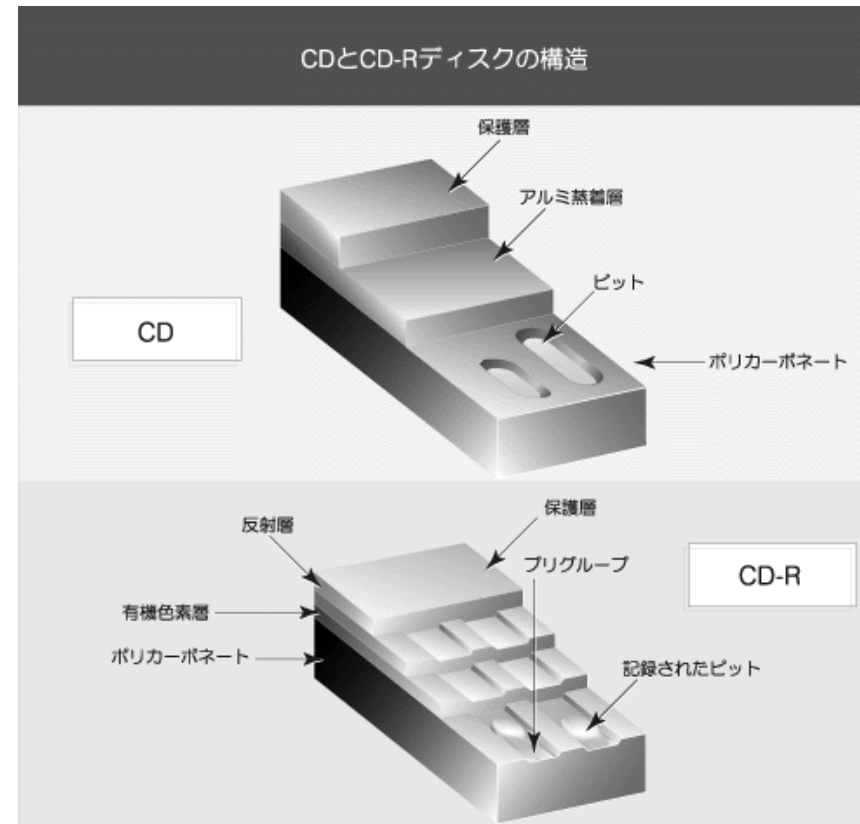


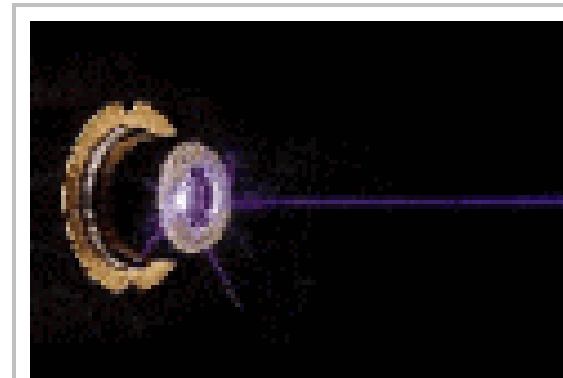
図1 未記録状態(a)、記録状態(b)を示す模式図

# DVDファミリー

	DVD-ROM	DVD-R	DVD-RAM	DVD-RW	DVD+RW
容量(GB)	4.7 / 9.4 2層8.54	3.95 / 7.9	4.7 / 9.4	4.7/9.4	4.7/9.4
形状	disk	disk	cartridge	disk	disk
マーク形成材料	ピット形成 1層 R=45-85 2層 R=18-30	熱変形型 有機色素 R=45-85%	相変化型 GeSbTe系 R=18-30%	相変化型 AgInSbTe系 R=18-30%	相変化型 AgInSbTe系 R=18-30%
レーザー波長 レンズNA	650/635 0.6	650/635 0.6	650 0.6	638/650 0.6	650 0.65
最短マーク長	1層:0.4 2層:0.44	0.4	0.41-0.43	0.4	0.4
トラック幅	0.74	0.8 Wobbled Land pre-bit	0.74 Wobbled L/G	0.74 Wobbled Land pre-bit	0.74 HF Wobbled groove
書き換え可能回数	—	—	10 <sup>5</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup>

# BDはなぜ高密度化

- 我が国で開発された青紫色レーザーは、最近になって複数の会社から安定供給できるようになり、これを用いた光ディスクが登場した。
- 光ディスクの面密度は原理的に $1/\lambda^2$ で決まるので、波長が従来の650nmから405nmに変わることにより、原理的に2.6倍の高密度化が可能になった。
- NAの大きなレンズを使用しているので絞り込める。  
BD:0.85    DVD: 0.65
- 記録層が表面から0.1mmと浅い。  
DVDでは表面から0.6mmと深い



# BDの規格

規格	
容量(片面1層)	23.3/25/27 GB
容量(片面2層)	46.6/50/54 GB
転送速度	36Mbps
ディスク厚み	1.2mm 保護層0.1mm
記録層	記録層1.1 $\mu$ m
レーザー波長	405nm
レンズ開口数	0.85
トラックピッチ	0.32 $\mu$ m
トラック構造	グループ
映像圧縮方式	MPEG-2 Video

講義資料3

# 液晶ディスプレイ



# 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（イカの墨や石鹼水など）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。

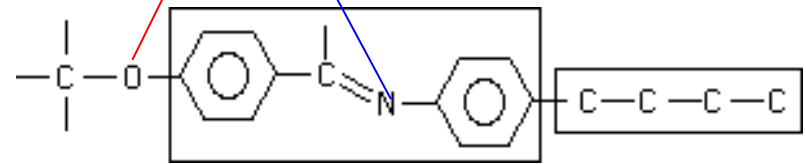
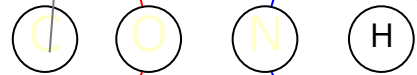
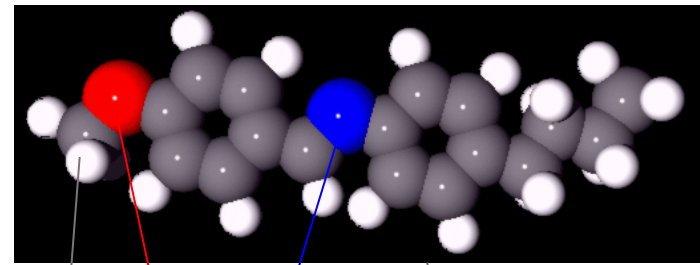
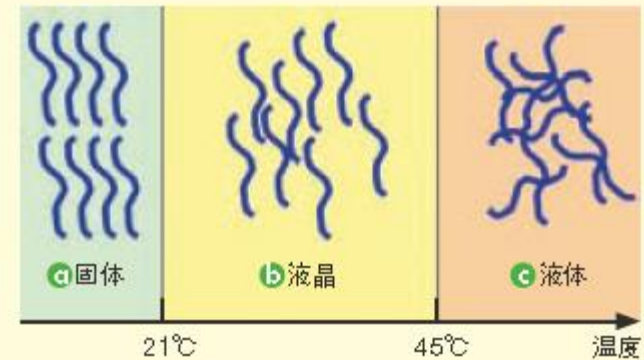


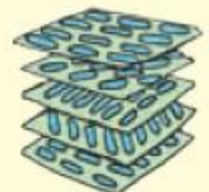
図 液晶の構造と物性



ネマティック液晶



スメクティック液晶



コレステリック液晶

# 液晶のディスプレイへの応用

- ディスプレイへの応用：1963年ウィリアムズ (RCA社)、液晶に電氣的な刺激を与えると、光の透過が変わることを発見。
- 1968年：ハイルマイヤーら(RCA)、この性質を応用した表示装置を試作→液晶ディスプレイの始まり。  
ディスプレイの材料としては不安定で商用として問題あり
- 1973年：シャープより電卓(EL-805)の表示として世界で初めてLCDを応用。
- 1976年：グレイ教授（英国ハル大学）が安定な液晶材料（ビフェニール系）を発見。



# 液晶ってイカからつくられると聞きました、本当ですか？



液晶研究の最初のころ、イカの肝臓から「コレステリック液晶」をつくりました。液晶テレビに使うネマティック液晶は、化学合成したものです。

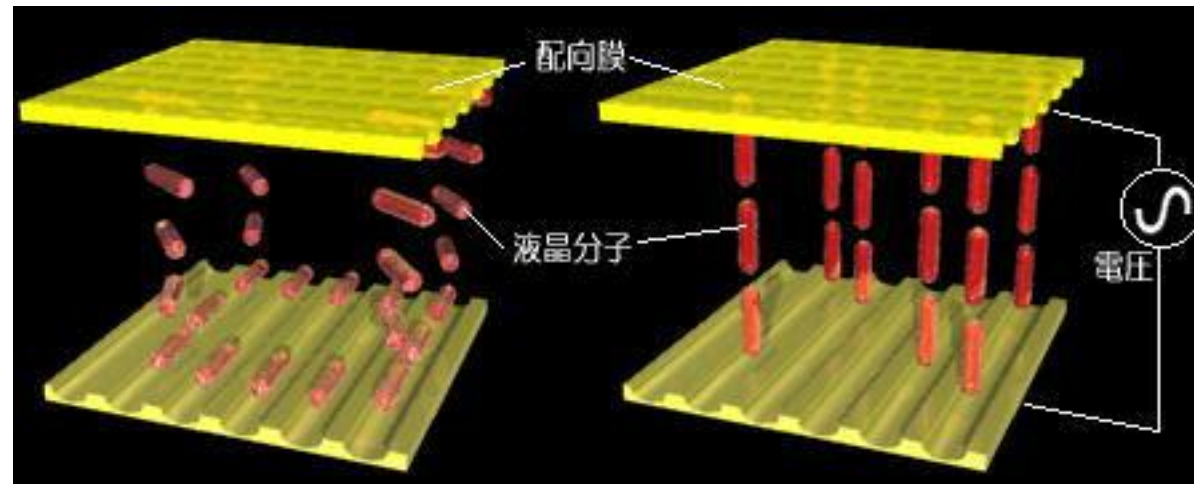
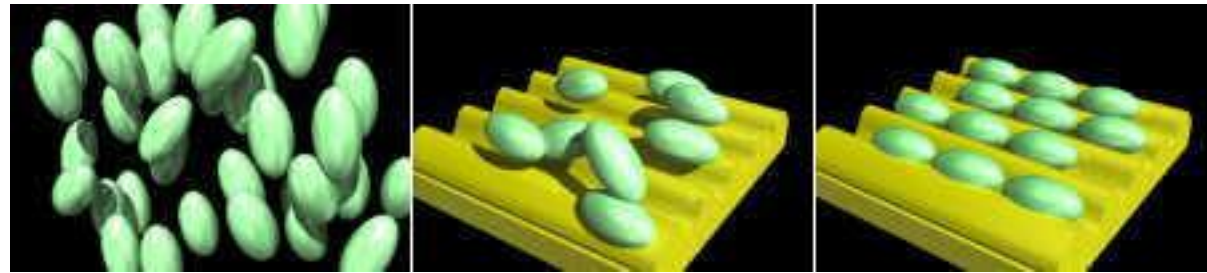
液晶は初期のころ、イカの肝臓からとったコレステロールと安息香酸のエステル化合物を加熱することによって、つくられました。これがコレステリック液晶です。液晶テレビに使うネマティック液晶は、化学合成したものです。

イカの肝臓からつくったのは昔のことで、いまは工場で化学合成しているのです



# 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)

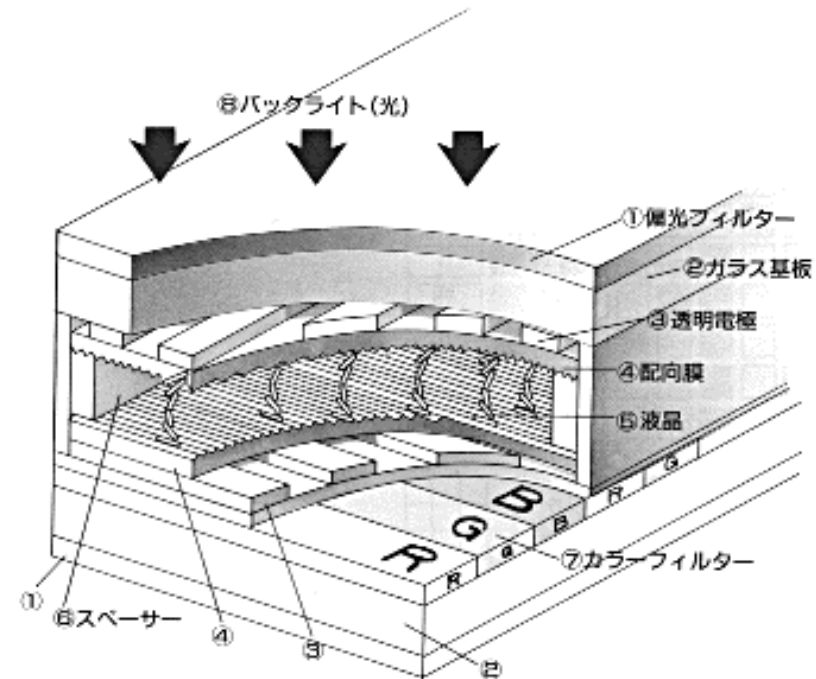


<http://www.nanoelectronics.jp/kaitai/lcd/index>

# 液晶ディスプレイの構造

カラー液晶ディスプレイの構造は、構成要素が層状になっている。

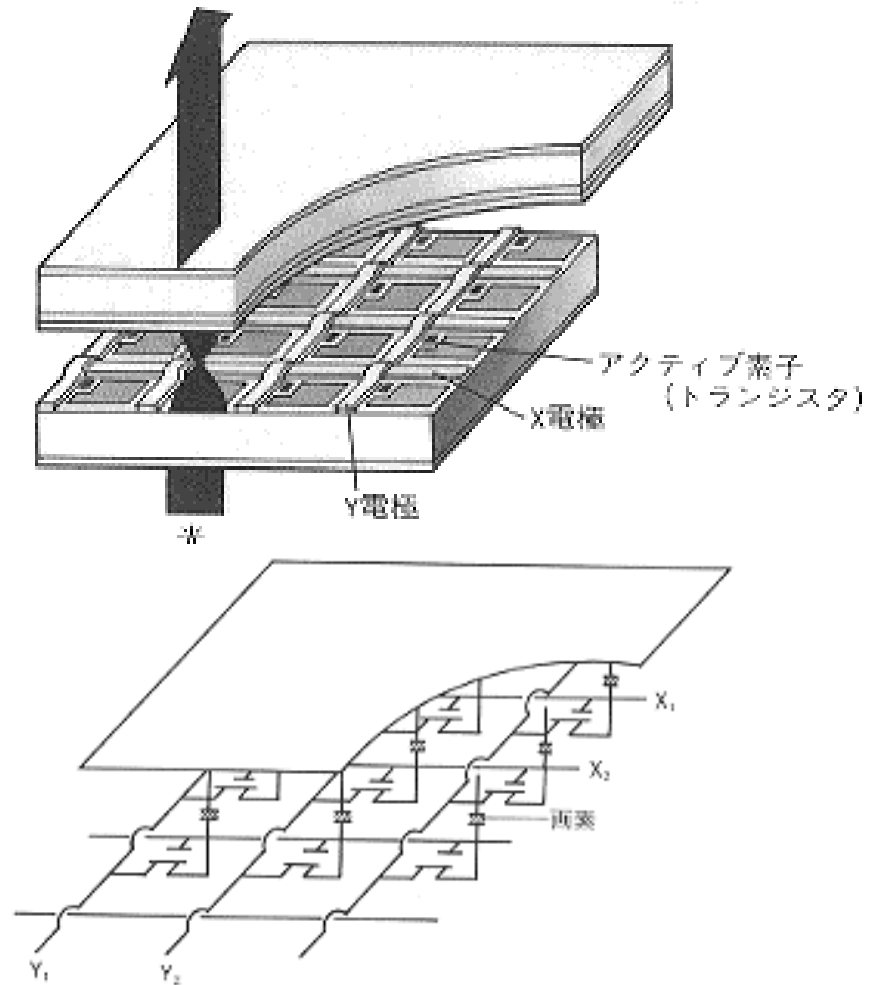
- 1-偏光フィルター：偏光を選択する。
- 2-ガラス基板：電極部からの電気がほかの部分に漏れないようにする。
- 3-透明電極：液晶ディスプレイを駆動するための電極。表示の妨げにならないよう透明度の高い材料を使う。
- 4-配向膜：液晶の分子を一定方向に並べるための膜。
- 5-液晶：ネマティック液晶
- 6-スペーサー：液晶をはさむ2枚のガラス基板間のスペースを均一に確保。
- 7-カラーフィルター：白色光からR,G,Bを選択。



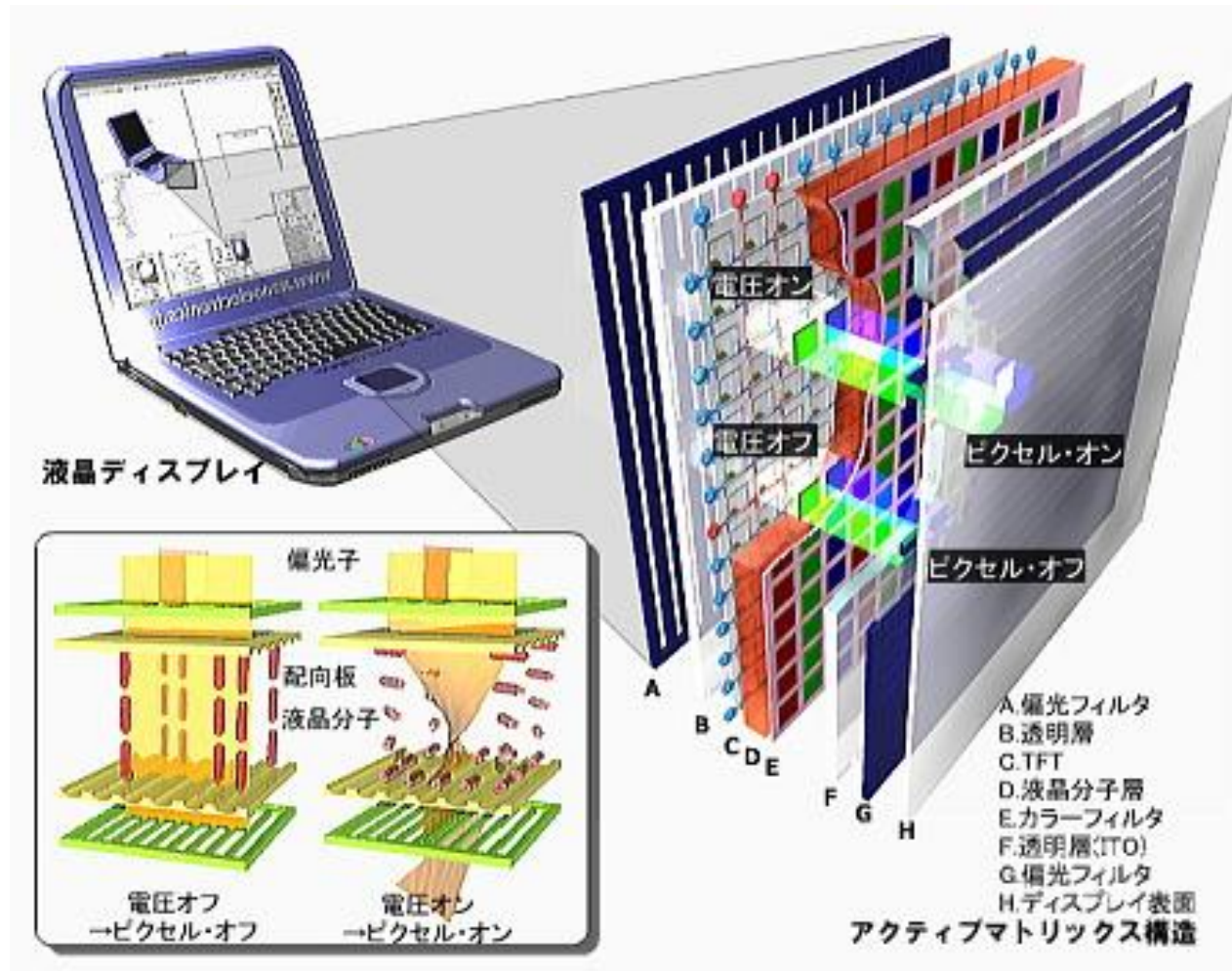
シャープのホームページより  
[http://www.sharp.co.jp/products/lcd/tech/s2\\_3.html#2](http://www.sharp.co.jp/products/lcd/tech/s2_3.html#2)

# アクティブ・マトリックス

1. X電極が、各画素に付いたアクティブ素子をON/OFFする。
2. ON状態にあるアクティブ素子は、そのままの電圧を保ち、Y電極と通じることができる。
3. Y電極に電圧をかけ、ON状態にある目的の画素を点灯させる。



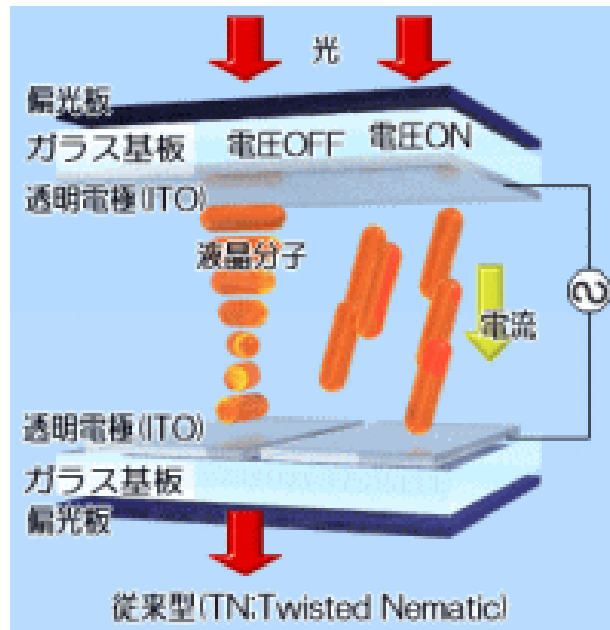
# TFTアクティブマトリクスLCD



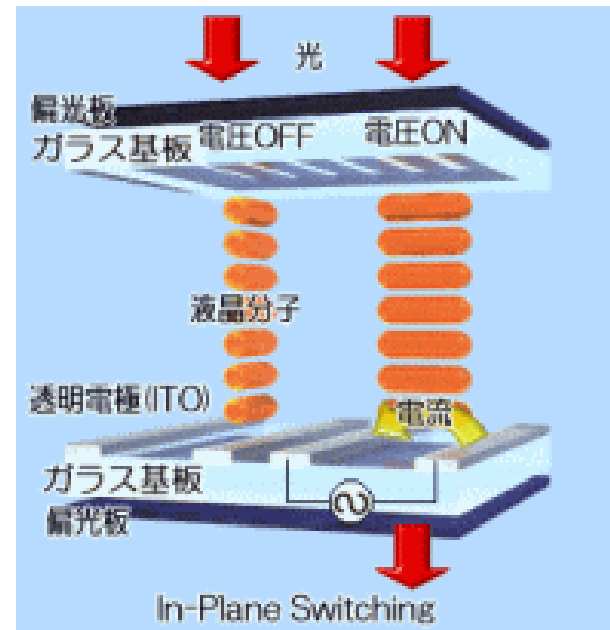
# 新しい液晶によるスイッチング

- IPS (in-plane switching)  
面内でスイッチすることで視野角依存性を減らす

## 従来型



## IPS型



○ **好奇心こそ科学する力の原動力**

# 金はなぜ金ぴかか

- 弥栄高校のサイエンス部化学班が「卑弥呼の鏡」を作ろうと青銅の研究をしました。
- 青銅というのは銅CuとスズSnの合金です。
- 銅は赤色ですがスズを少し混ぜると金色になり10%以上混ぜると銀色になります。
- 昔から金はこがね(黄金)、銀はしろがね、銅はあかがね、鉄はくろがねという風に金属を色で呼んでいました。なぜ色が付くのでしょうか？





# 貴金属の分光反射率

- 3つの貴金属である金、銀、銅の分光反射率（反射スペクトル）を示します。

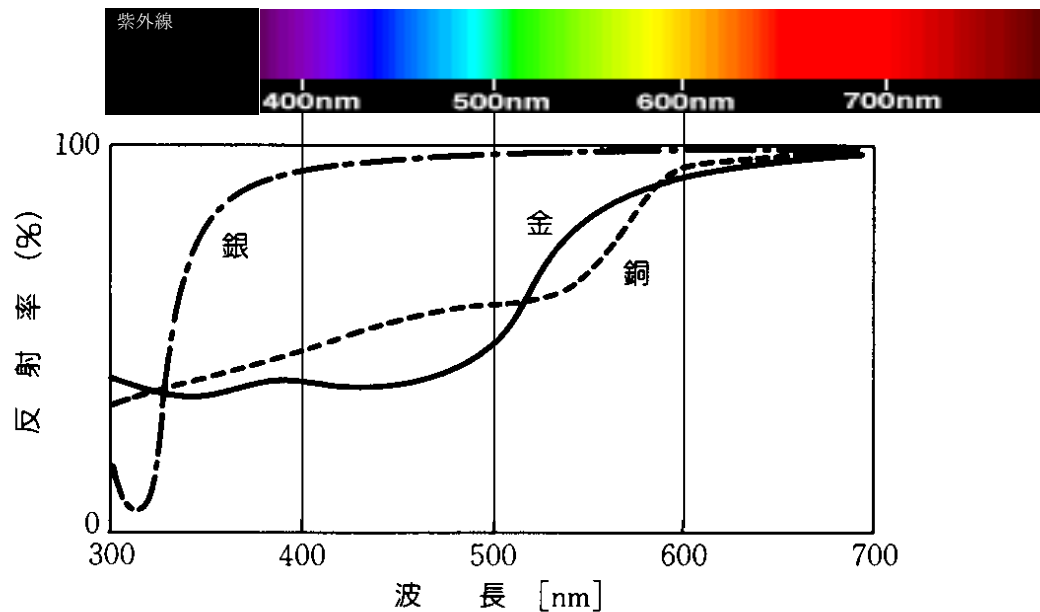
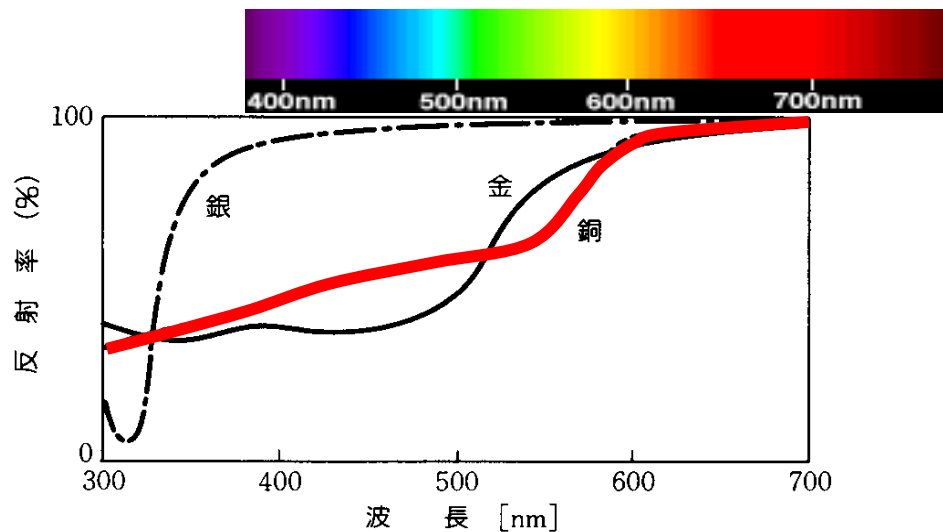


図3 金、銀、銅の反射スペクトルと各波長の色

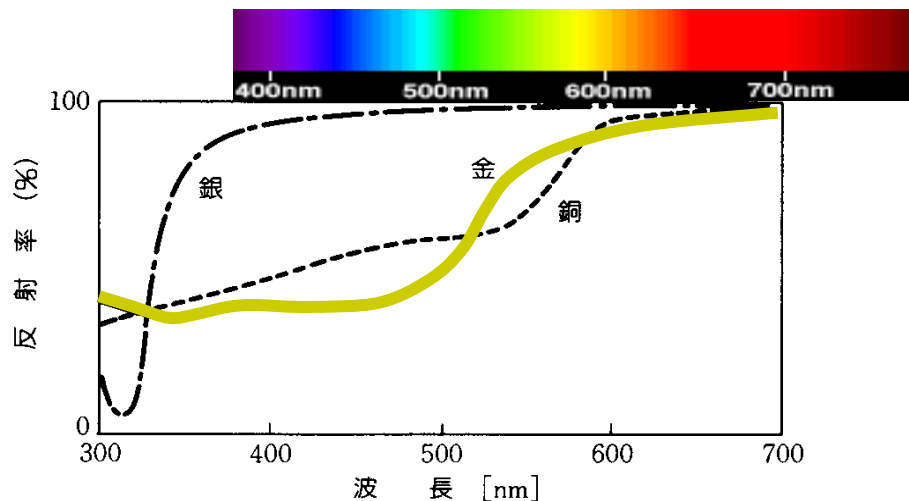
# 銅の色

- 銅は600nmより波長の長い光（橙、赤）はよく反射しますが、600nm付近で急落し、550nmより短い光の反射率は低くなります。それで、銅は赤色を選択反射しますが、青から緑の光も50%程度反射するので、白っぽい赤色を示すのです。



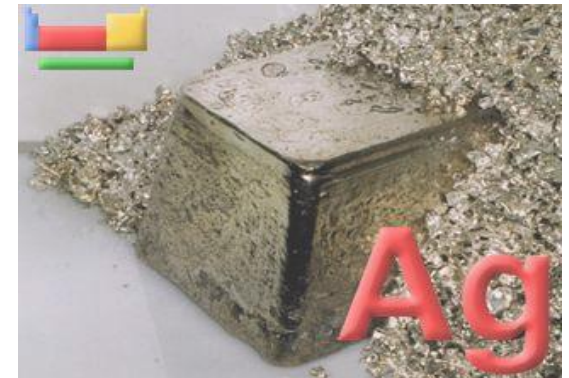
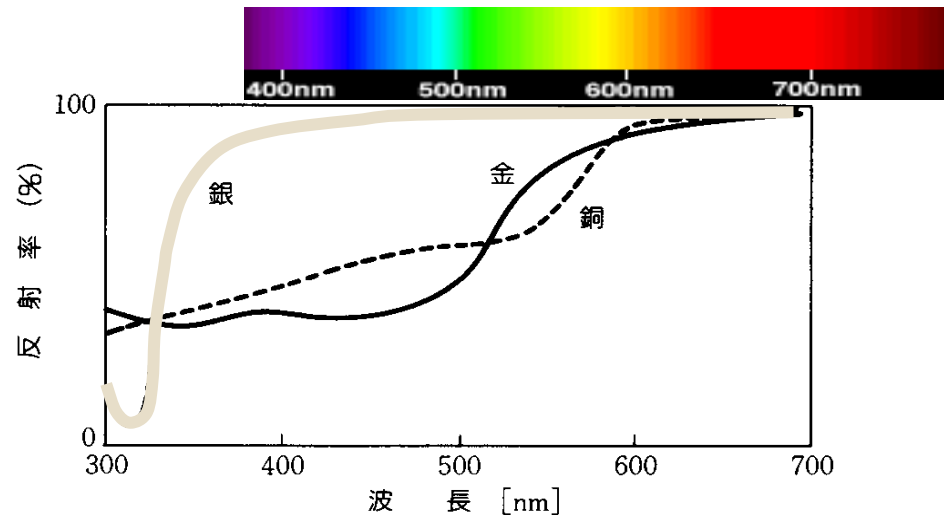
# 金の色

- 金は、550nmより長波長で高い反射率をもち、520nm付近で急落します。青から紫にかけての反射率は40%程度に下がっており、この結果、赤・橙・黄・黄緑の光を強く反射し、青緑・青・紫の光はあまり反射しません。従って、XとYが同程度刺激され反射光は黄色に見えるのです。



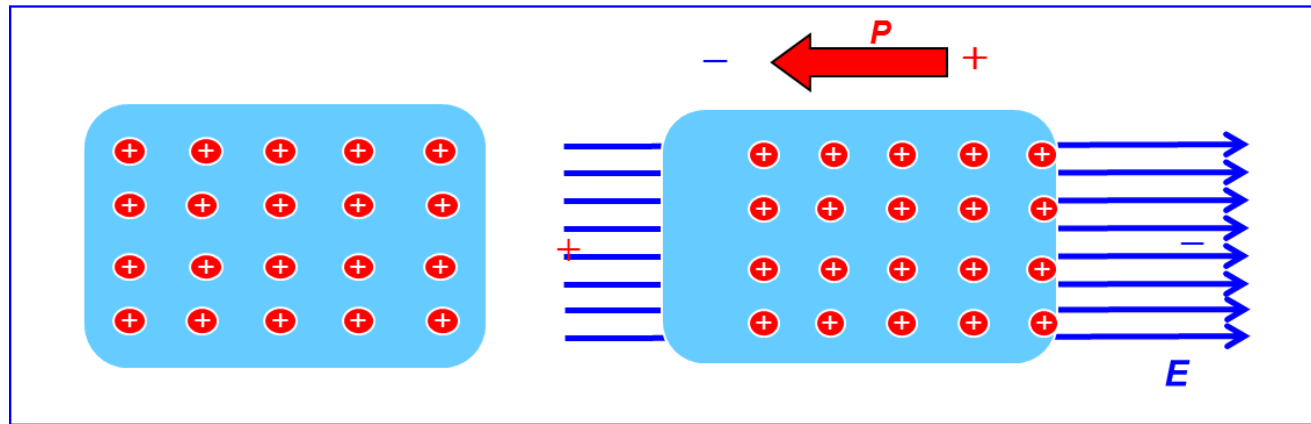
# 銀の色

- 銀は、可視光全ての波長領域において高い反射率を示し、X,Y,Z全てが等しく刺激されるため反射光は着色せず、単なる鏡の面となるのです。



# 金属の高い反射率は自由電子のせい

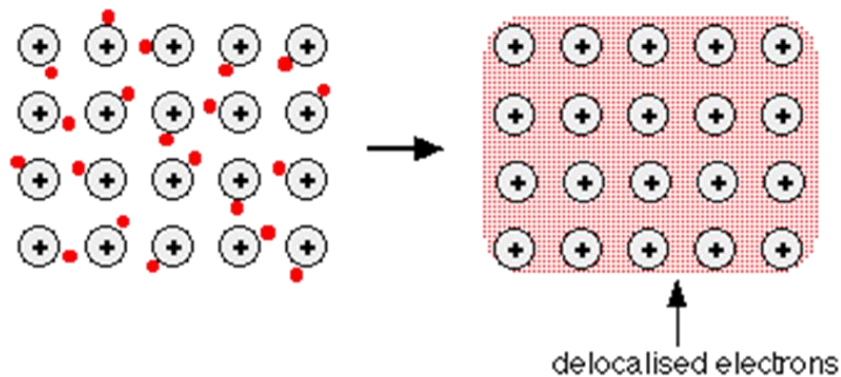
- 光は電磁波の一種です。つまりテレビやラジオの電波と同じように電界と磁界が振動しながら伝わっていきます。
- 金属中に光がはいると金属中に振動電界ができます。この電界を受けて自由電子が加速され集団的に動きます。
- 電子は負の電荷を持っているので、電位の高い方に引き寄せられます。その結果電位の高い方に負の電荷がたまり、電位の低い側にプラスの電荷がたまって、逆極性の電気分極が起きます。
- このため、光の電界が打ち消されて中に入れず、反射するのです。



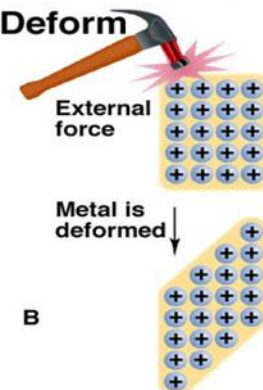
高校生にはむずかしい？あたりまえです。電磁気学の力が必要なので大学3年生に教えていました。

# 金属の諸性質は自由電子が決める

- 金属では、自由電子が結晶全体に広がり、自由電子の海に原子核が浮かんでいます。原子間の結合は自由電子によるのです。
- 金属の展性（箔のように広げられる）・延性（線に伸ばせる）、高い導電率（電気をよく伝える）、高い熱伝導率（熱を善く伝える）、そして、高い反射率（光をよく反射する）の原因となっているのです。

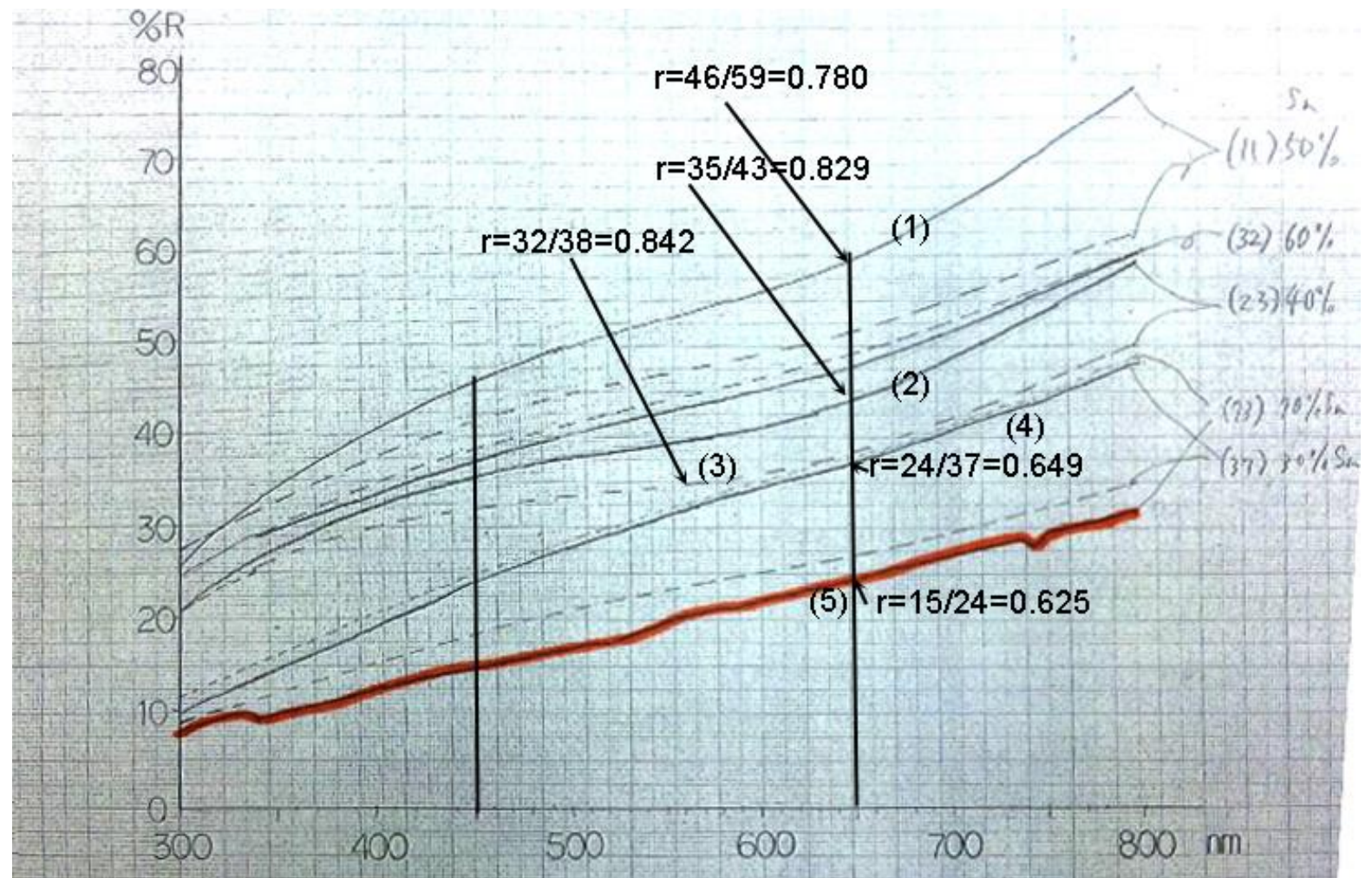


The Reason Metals Deform



金属は叩くと変形する

# 理科部の青銅の分光反射率



科学する力で日本を元気に





# 好奇心こそ科学する力を育む

- 日本は資源がなく、ものづくりによって国を支えてきました。
- 科学技術の力がなければ、豊かな国民生活は保証できません。
- 科学技術がますますブラックボックス化して、中身が見えなくなっています。
- もっと科学技術に向き合って、ブラックボックスを開けて見る好奇心を持ってください。