

結晶と光の世界

—有機物質で光と電気をあやつる—

大学院理学研究科物質理学専攻
(理学部化学科)
高等研究院院友

関 一彦

「有機半導体」との出会い



赤松秀雄先生
東大理化



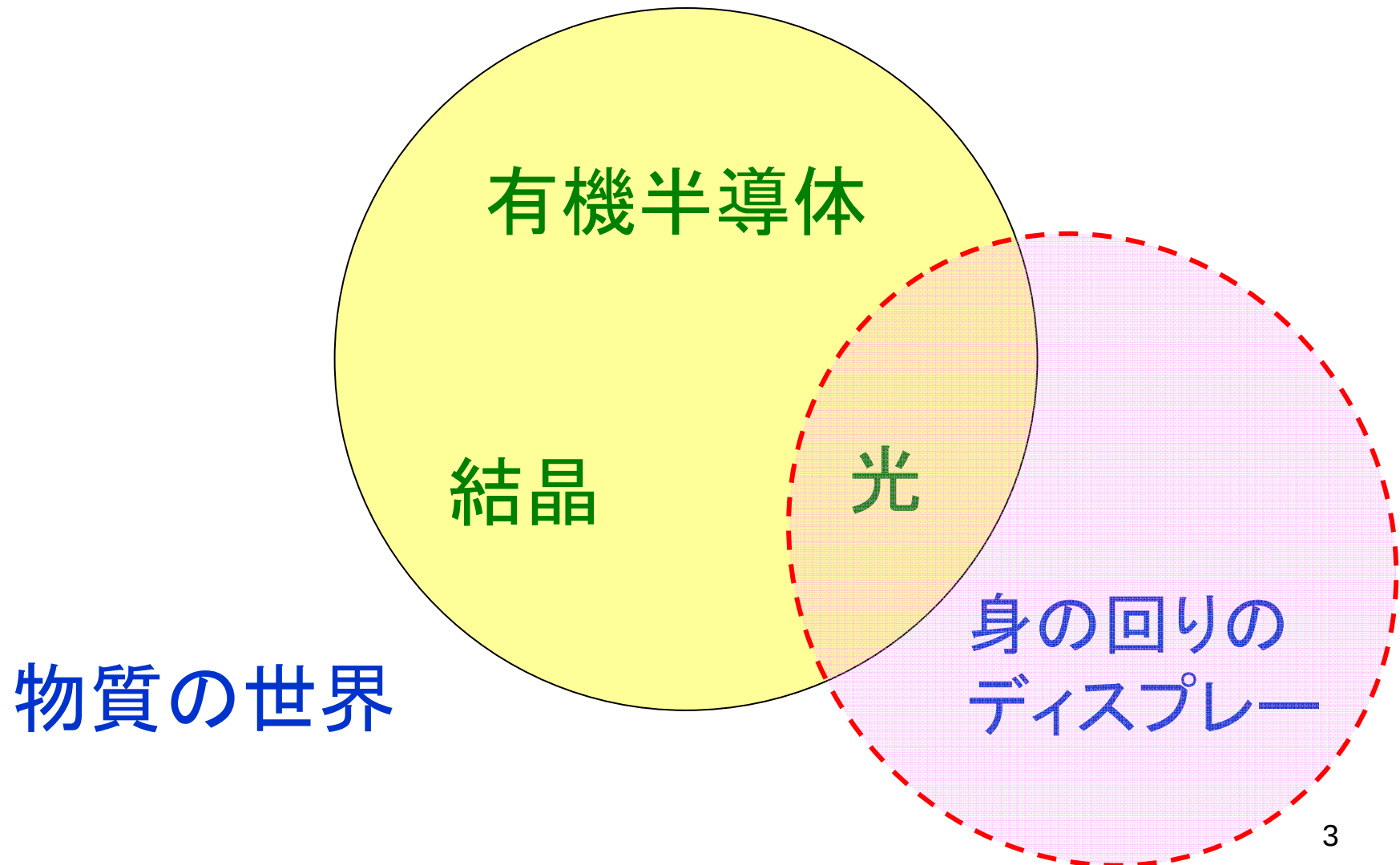
黒田晴雄先生



井口洋夫先生
東大物性研究所
分子科学研究所

三題噺

私の研究



身の回りのディスプレイ

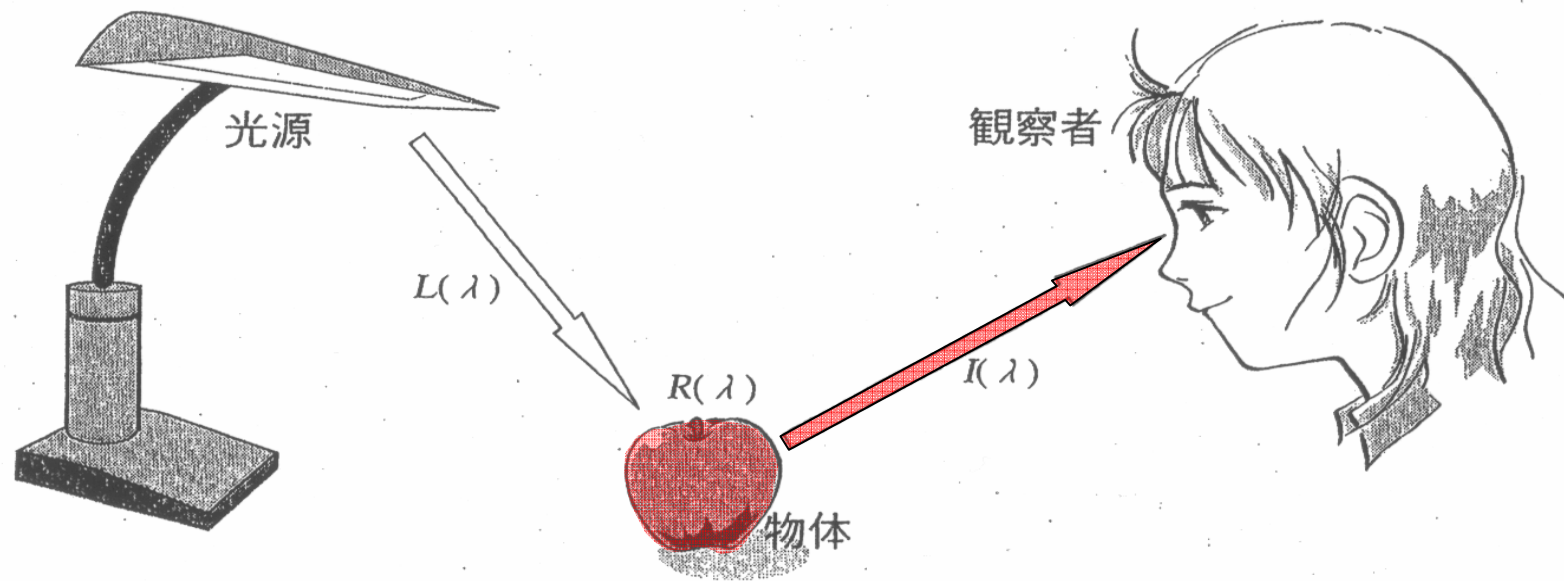


Plate 11. Automobile dashboard with liquid crystal display. (Courtesy of General Motors Corporation)

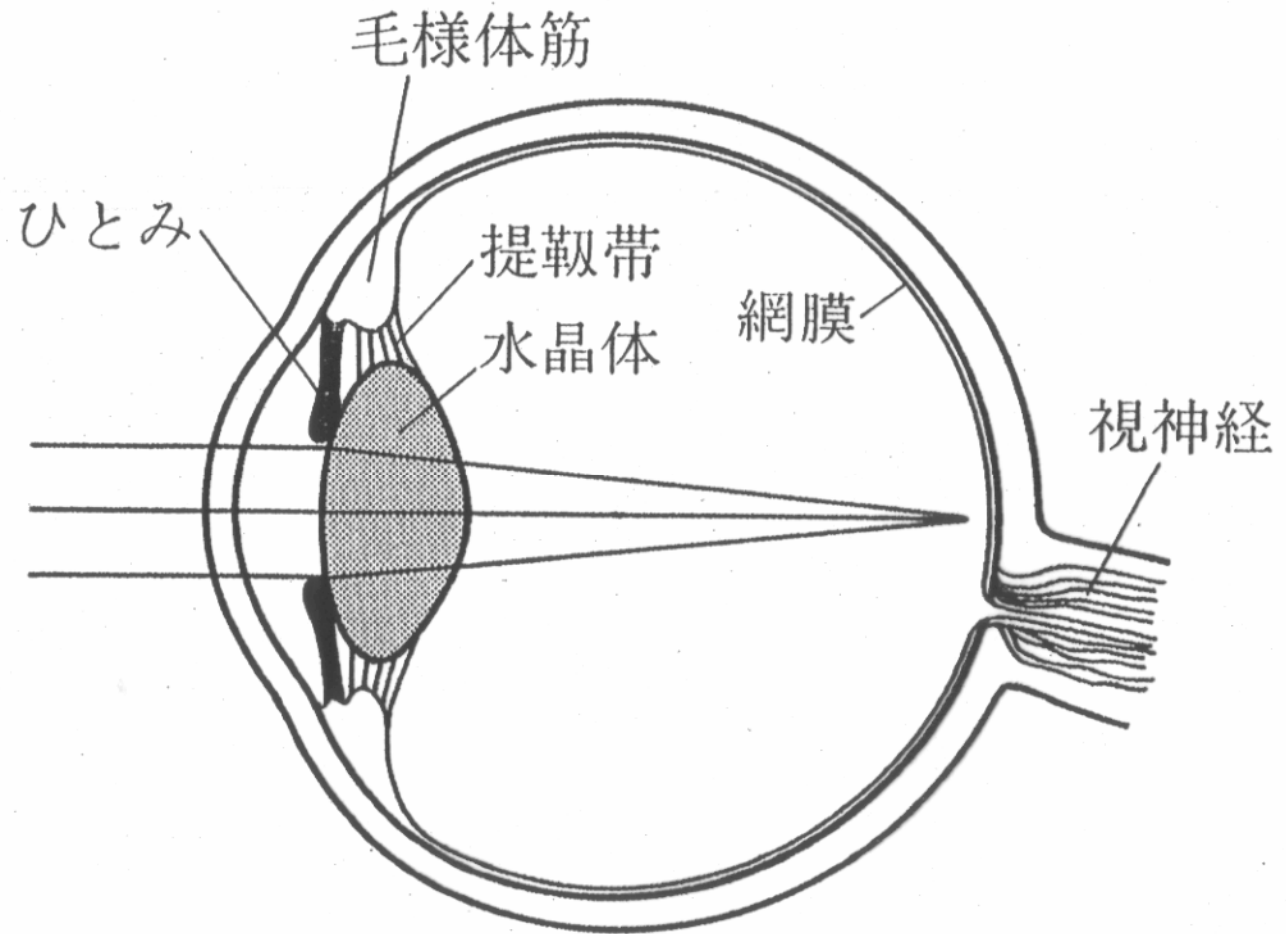


<http://www.akami.co.jp/lisa/japan/results/nagy.html>

目に見える光



人間の眼



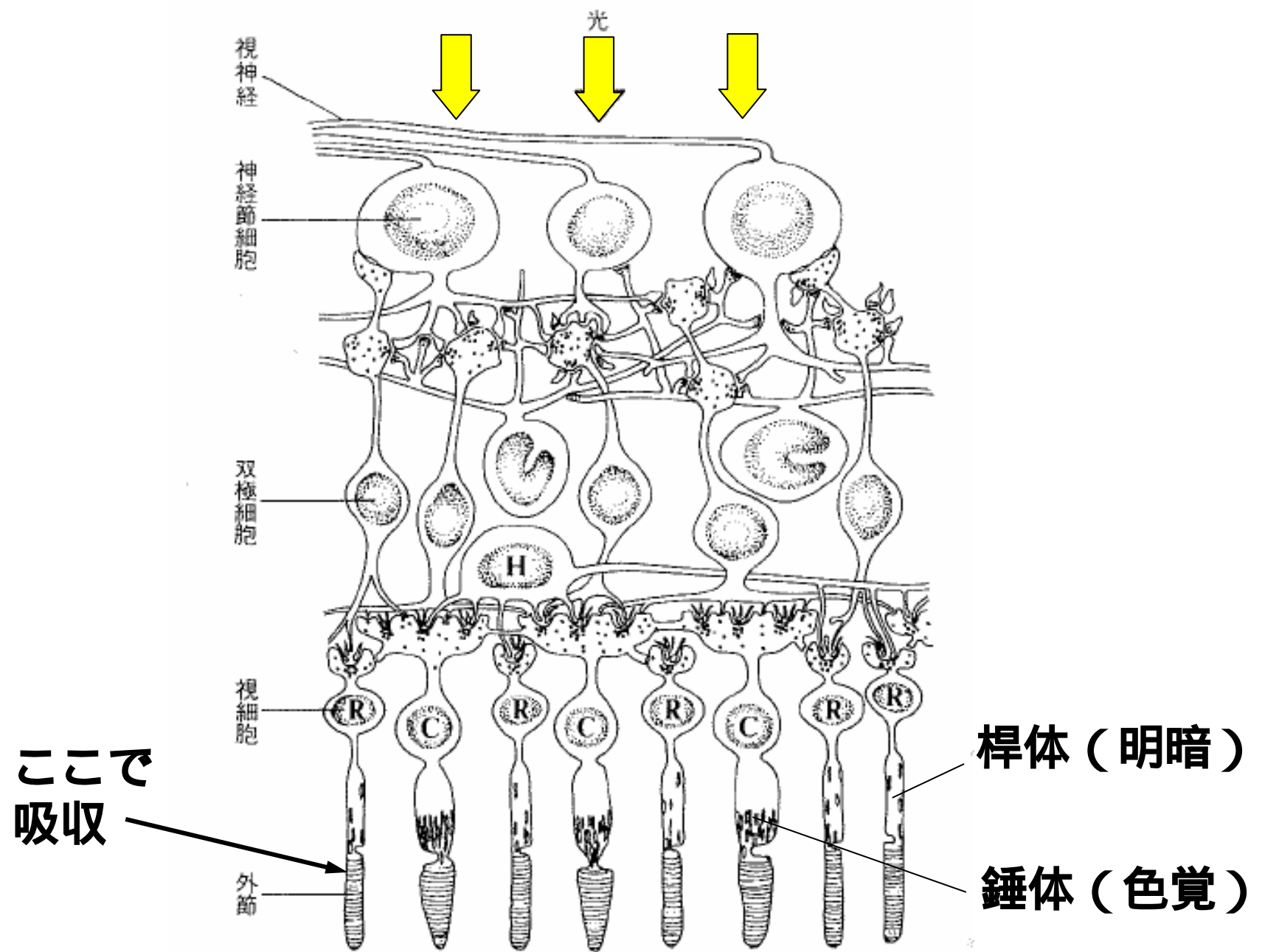


図61 網膜の細胞のつながり

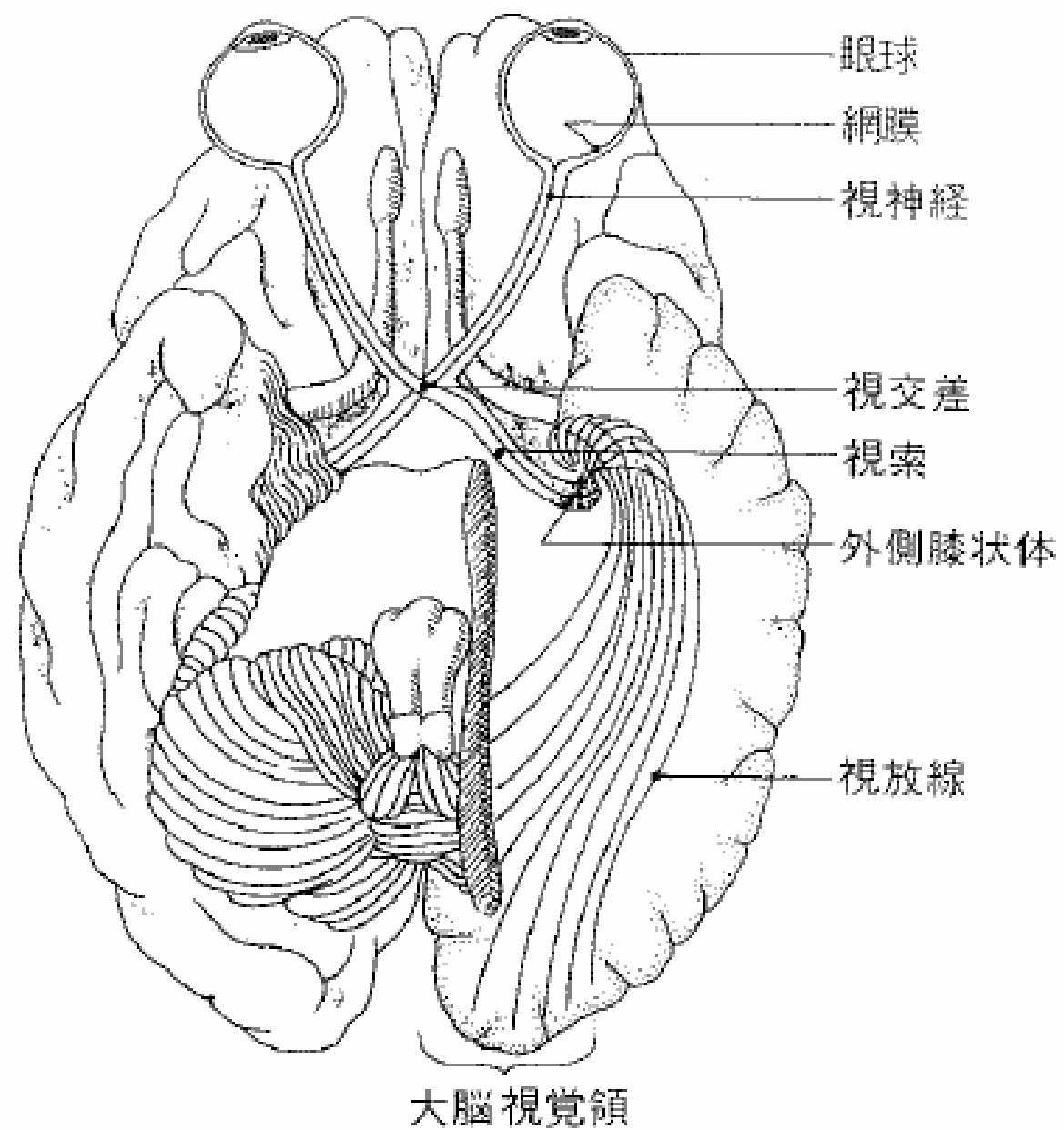
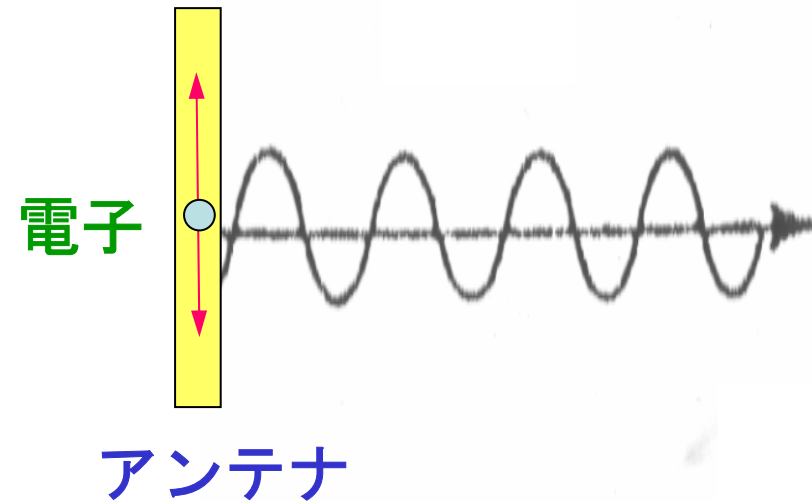
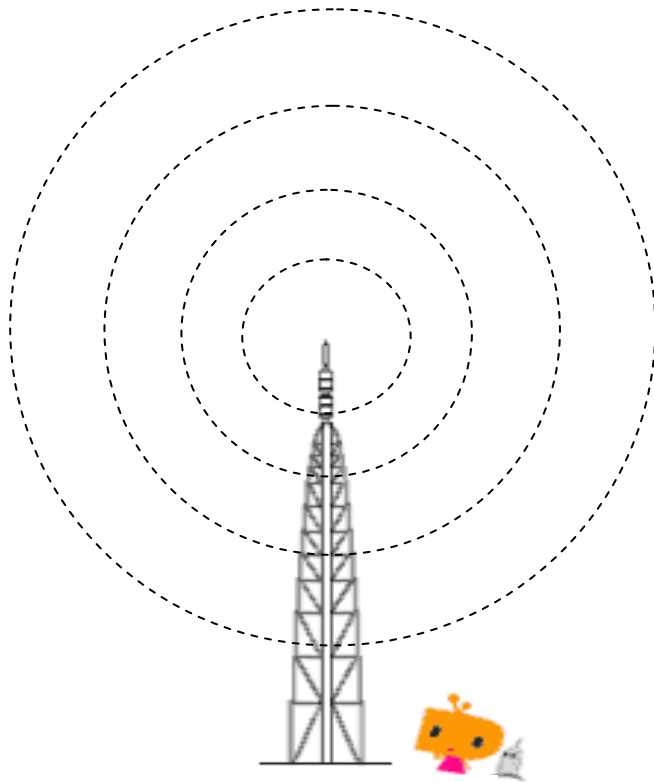


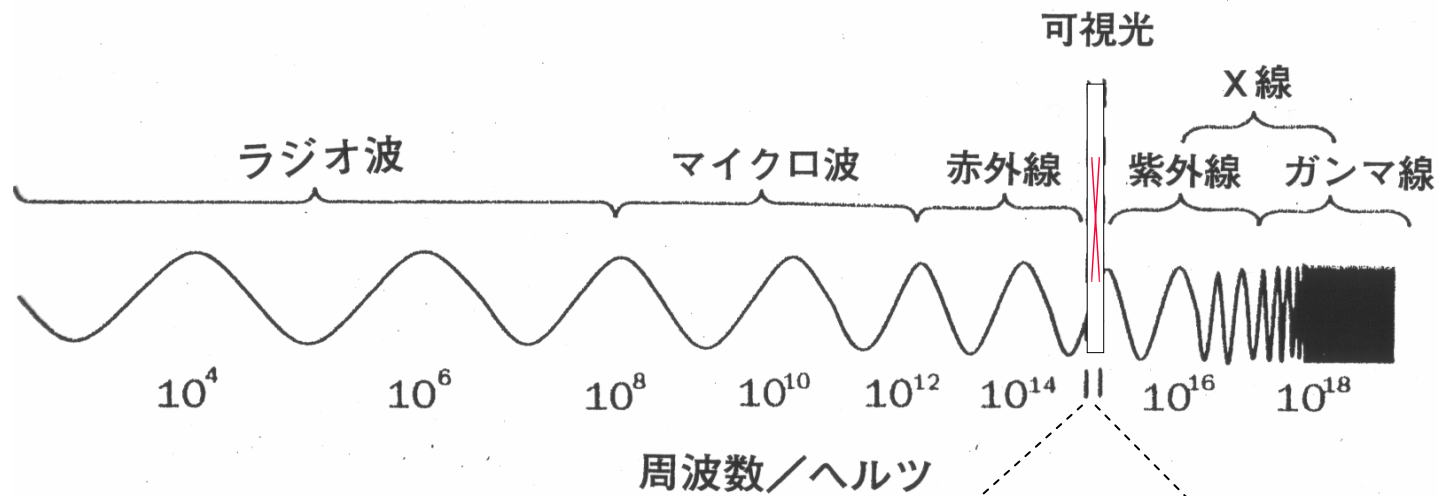
図55 視覚系の全体

光と電磁波



揺すぶってみよう！

可視光の波長

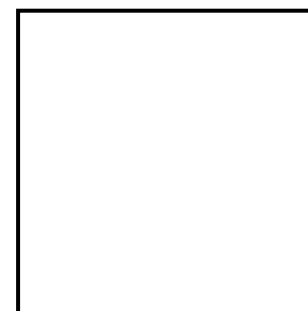


色とは

光の刺激で人間が受ける感覚である。

白と黒

白：すべての波長の光がいっしょに
目に入ったときに感じる色



黒：どんな光も目に入らないときに
感じる色



ディスプレイの種類

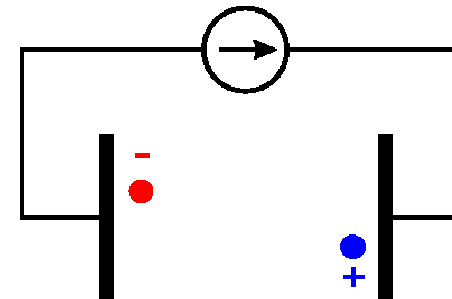
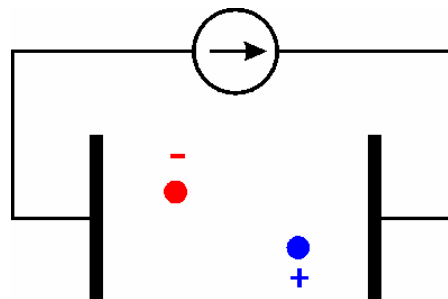
白黒と
フルカラー



小画面か
大画面か



静止画か
動画か



色の付けかた



(1) 波を曲げる

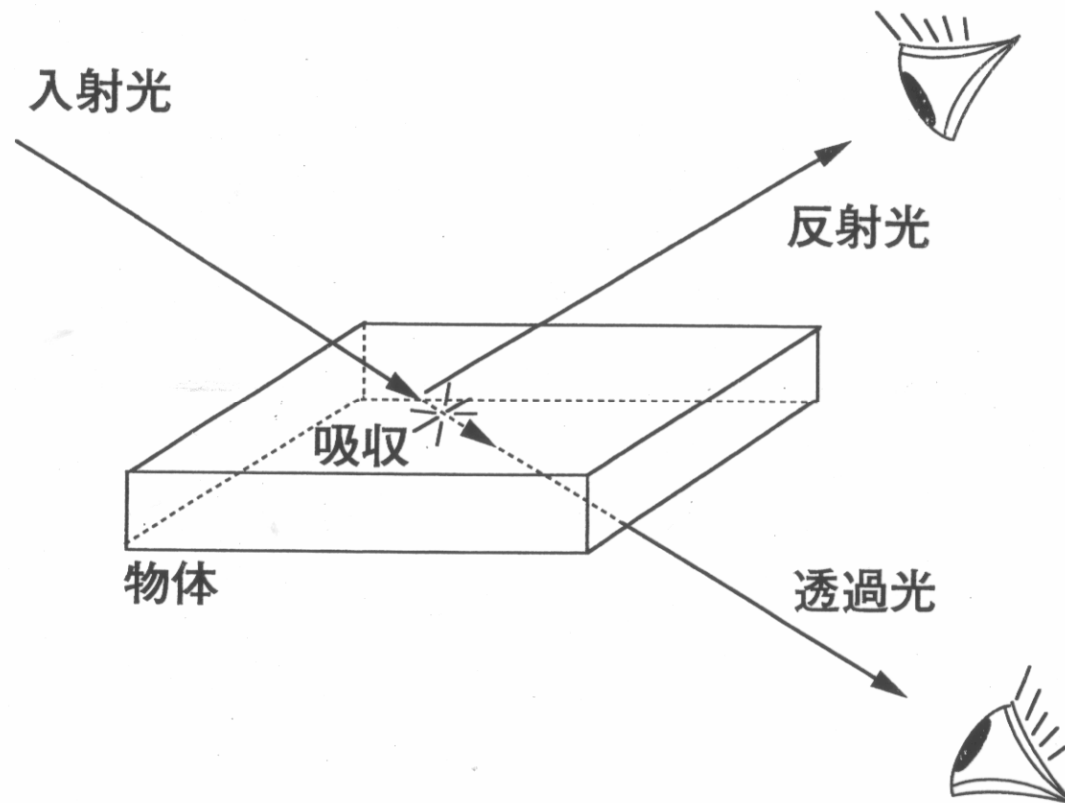
(2) 波を重ねる

(3) 波をひねる

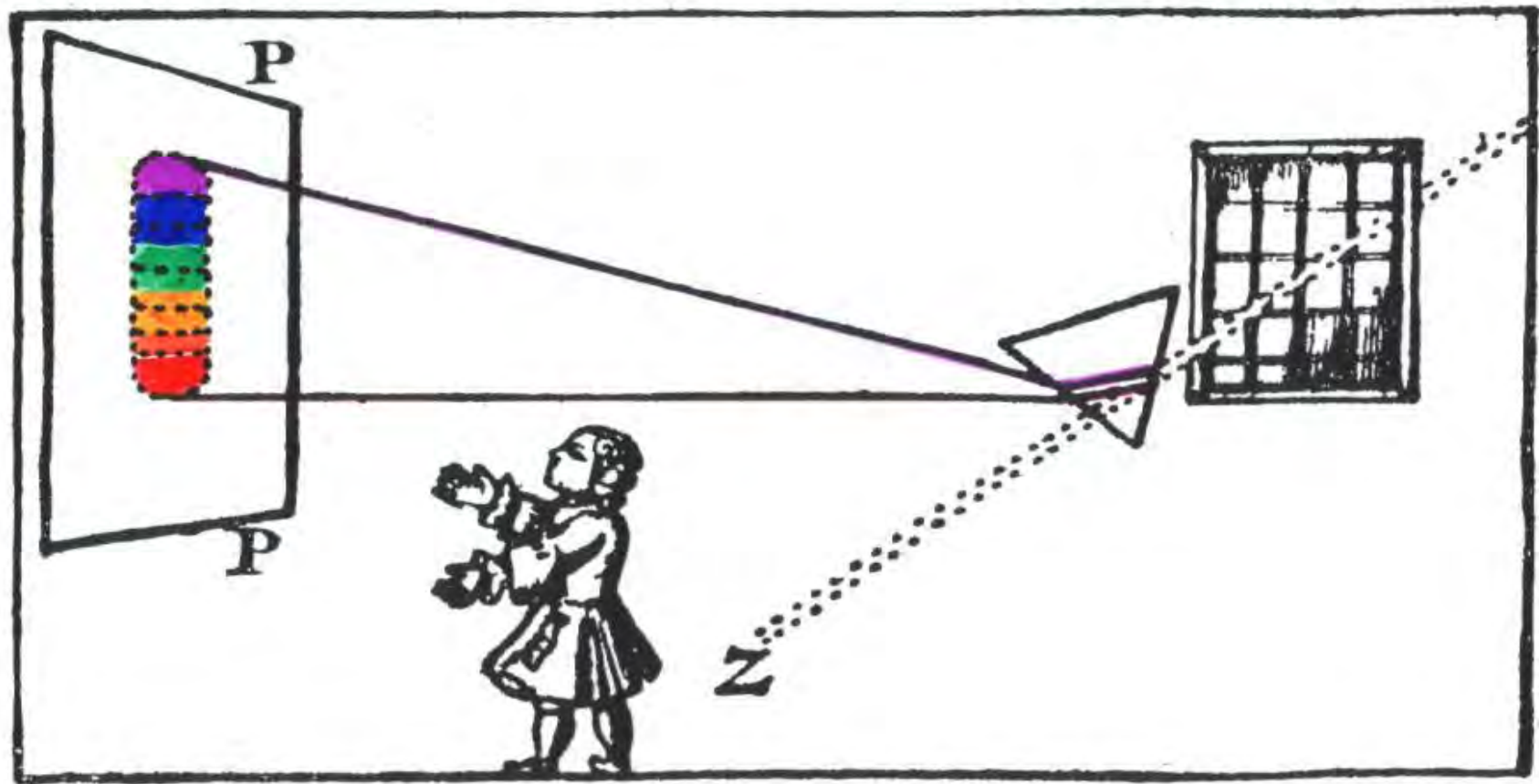
(4) 電子のジャンプ

1. 波を曲げる

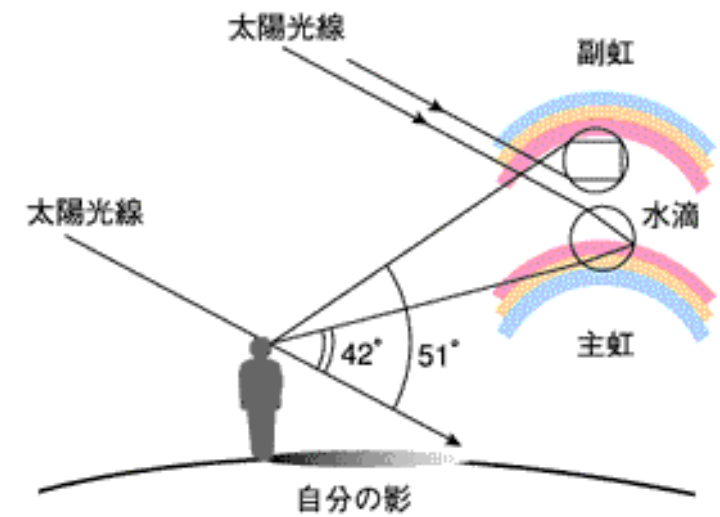
反射、吸收、透過



ニュートン、太陽光をプリズムで分ける



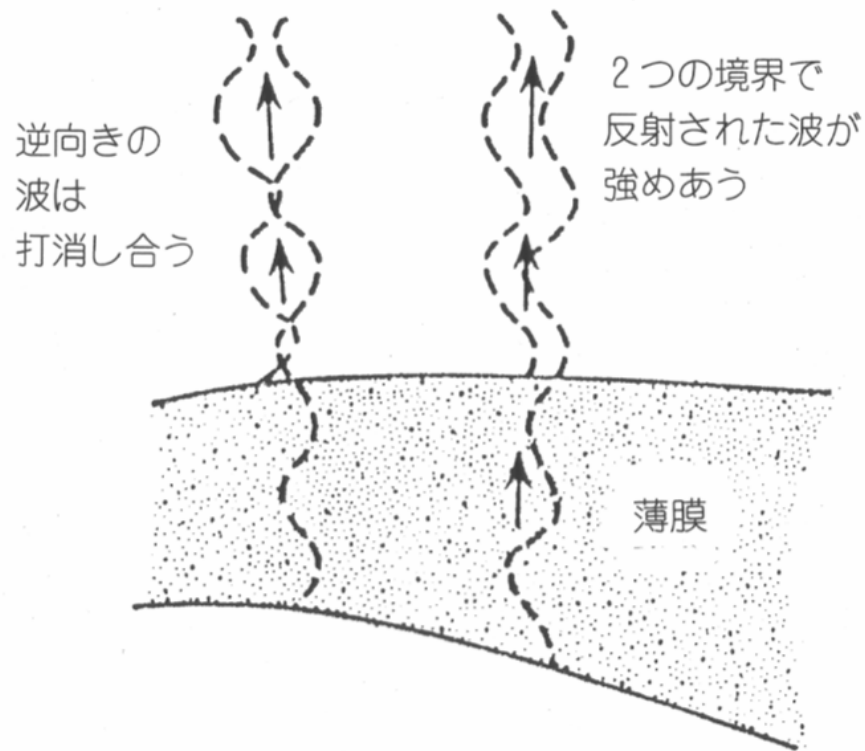
虹



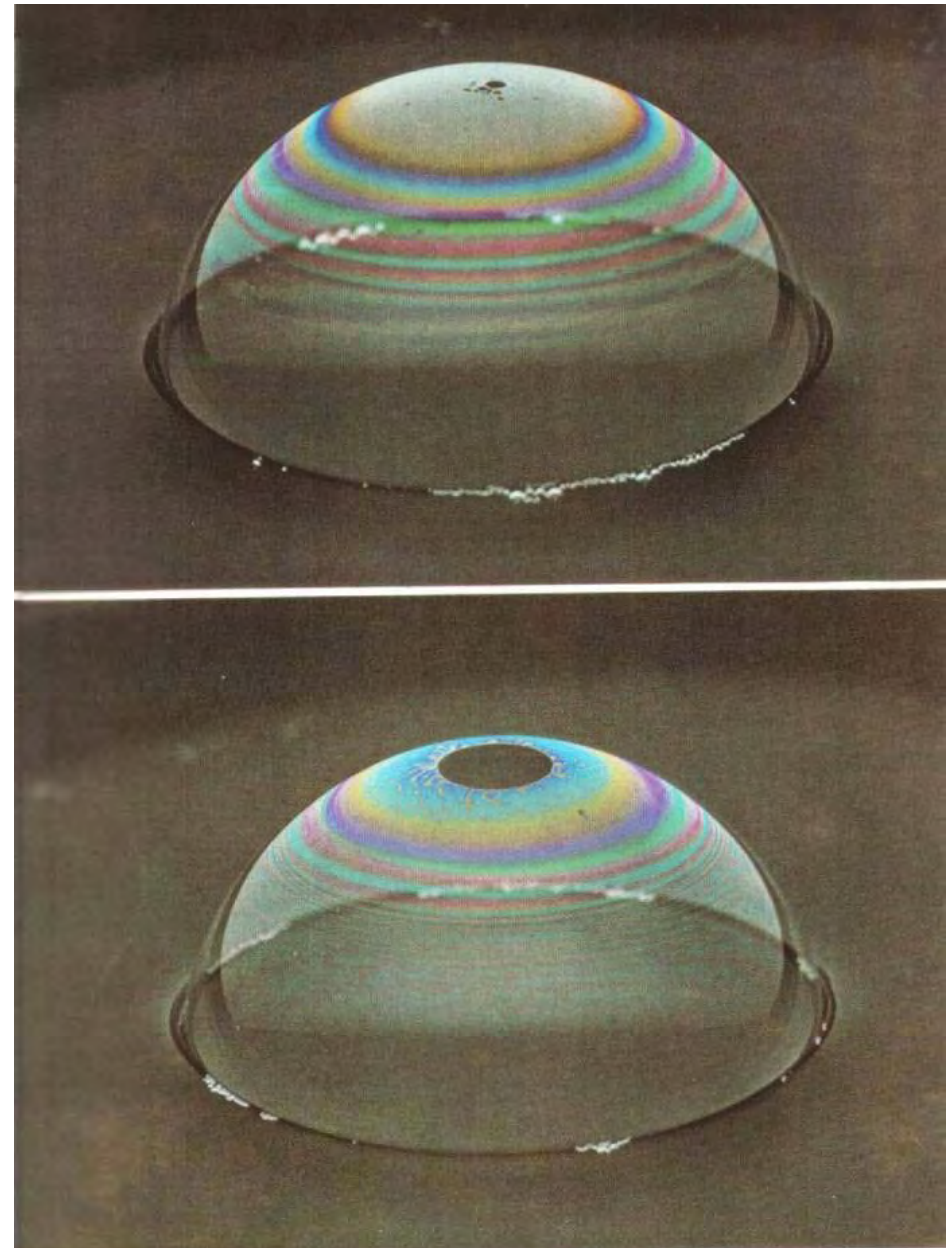
<http://www.omsolar.co.jp/m/d102.shtml>

2. 波を重ねる

しゃぼん玉



2つの波が重なる



しゃぼん玉の黒い膜の観察 台所用の液体洗剤を少し水でうすめ、黒っぽい色皿に入れる。これをストローで吹いて、液面にしゃぼん玉を一つ浮かべる。しゃぼん玉は、はじめは無色であるが、やがて頂上に突然小さな黒点が生じ(上)、そのまわりを赤青の縞がとりかこむ。黒点は次第に拡大し、黒い膜となって膜面を下降していき(下)、間もなくしゃぼん玉は破裂する(図9とも菊池俊吉氏撮影)

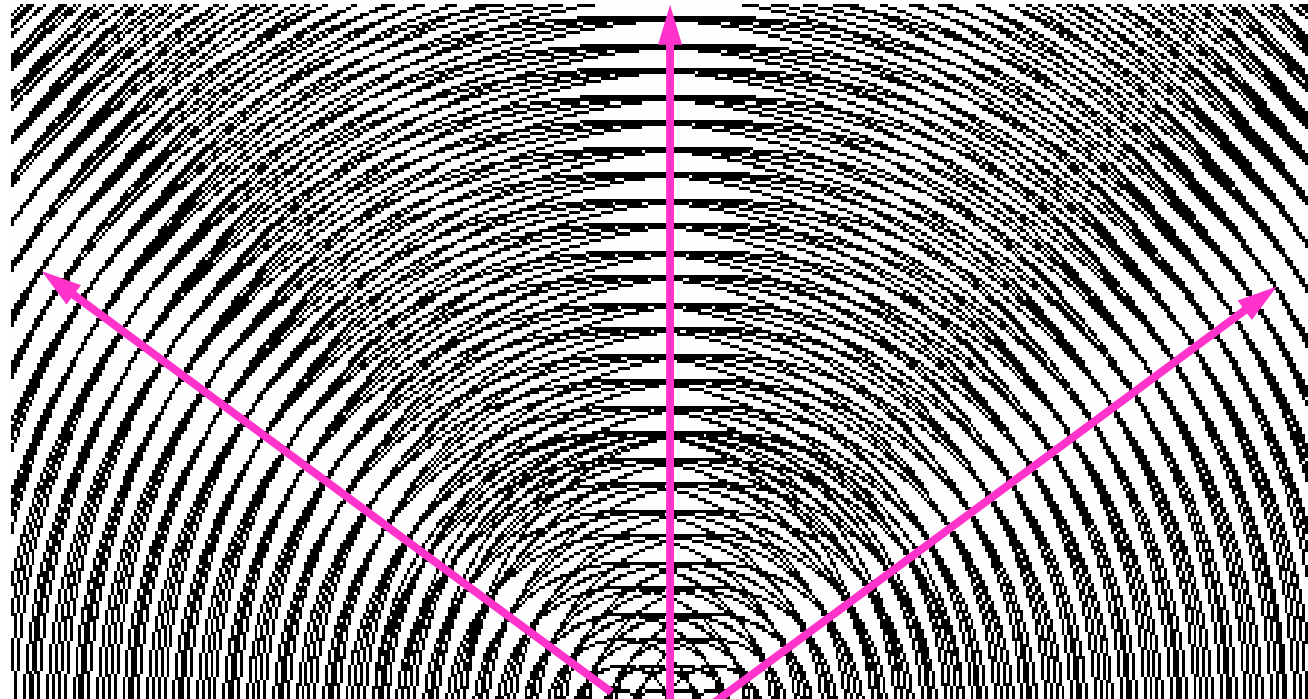
(本文32ページ参照)

池の杭



回折

<http://www-press.hep.phen.mie-u.ac.jp/mievu/ryoushinami/kaisetsu.html>



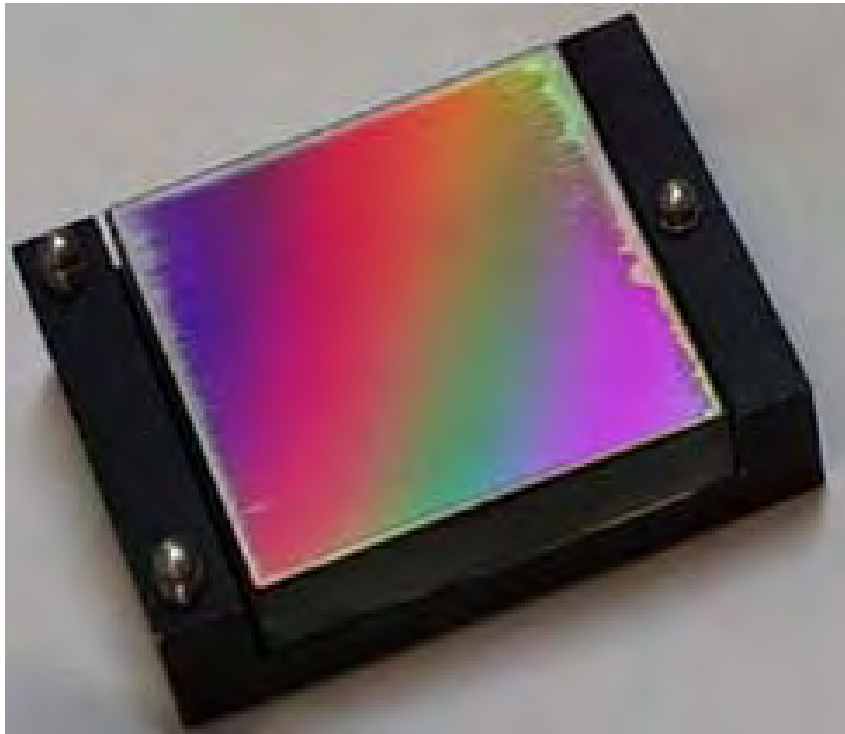
規則正しい配列に波が当たると、

たくさんの波の重なりで、

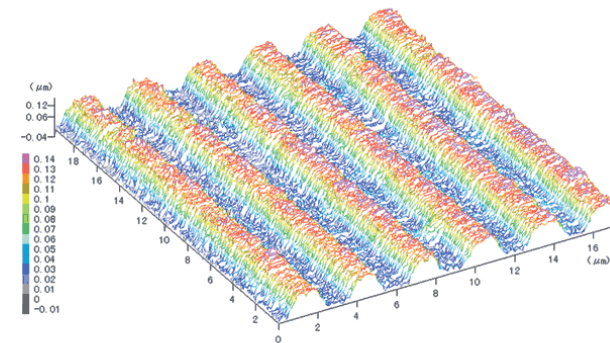
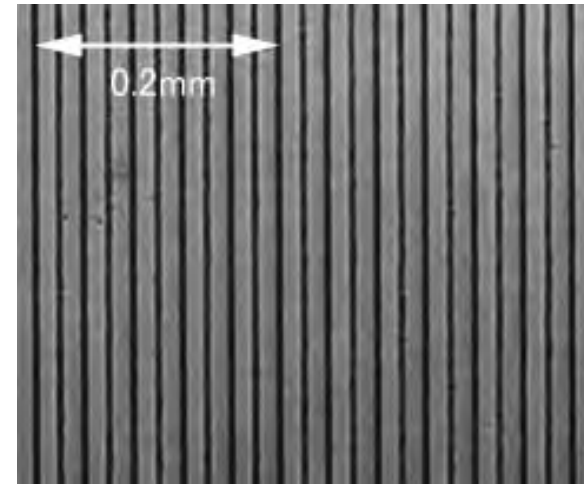
特定の方向に波が分かれる。

別れ方は波長(色)によって違う。

回折格子



0.2 mm



<http://galaxy.cc.osaka-kyoiku.ac.jp/cd-rom/scope/graph/grating.htm>

オパール

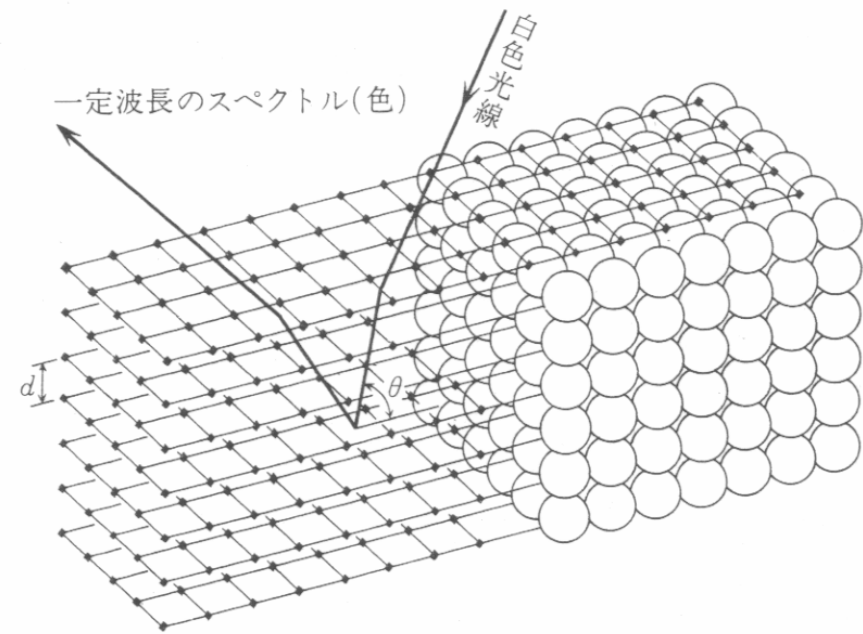
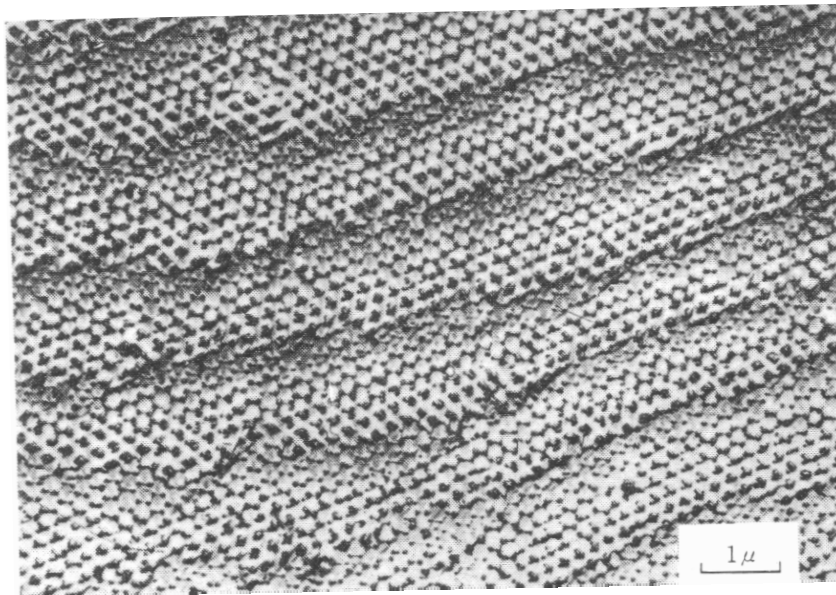


<http://list.bidders.co.jp/pitem/13771365>



<http://www.easyseek.net/item/14706398/> 25

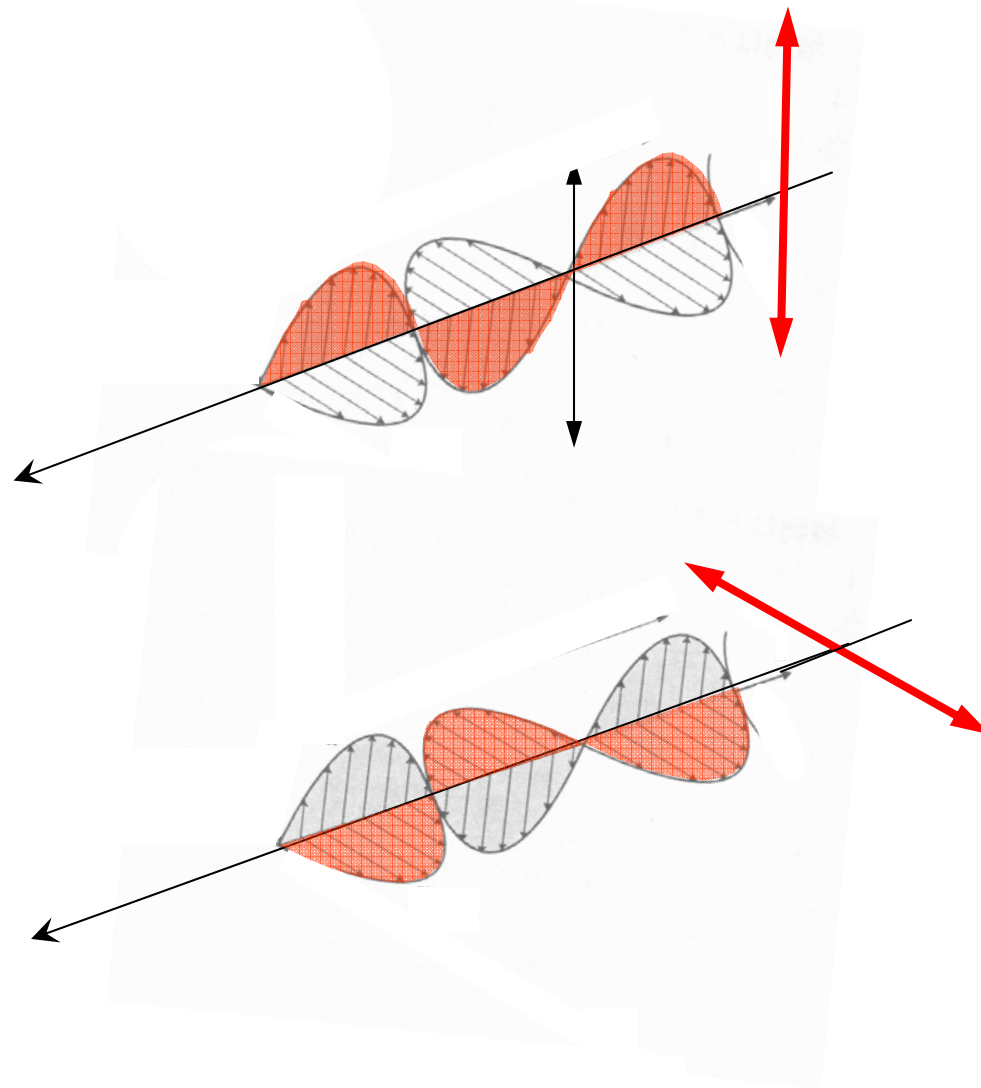
オパールの子電子顕微鏡写真



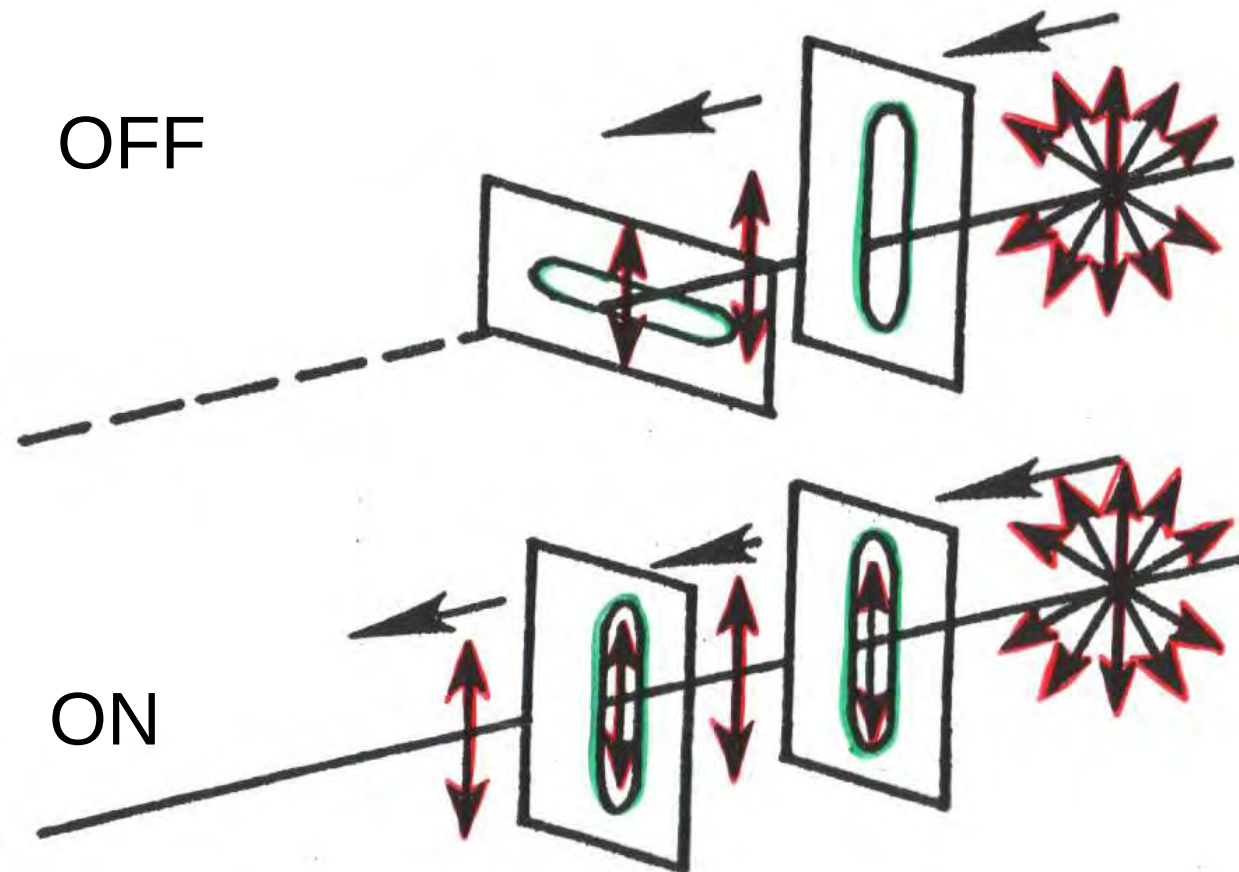
オパールは天然の回折格子！

3. 波をひねる

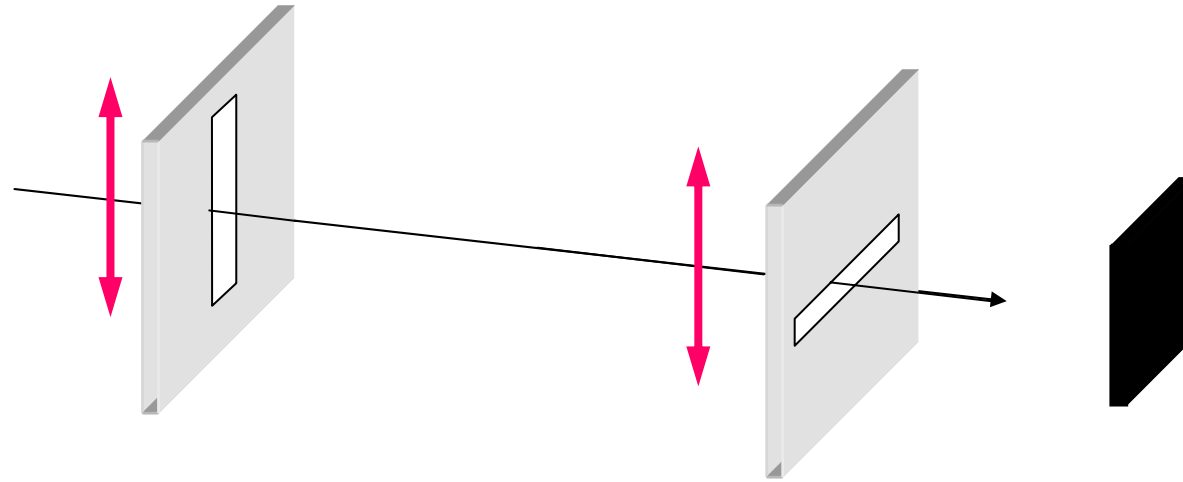
偏光と非偏光



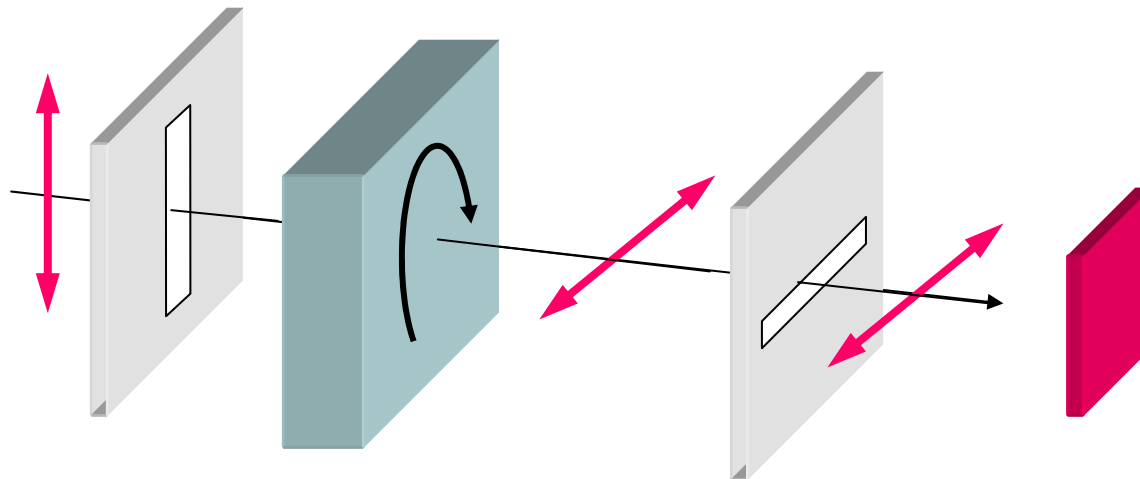
偏光板を使った光スイッチ



偏光を回すものを挟むと？

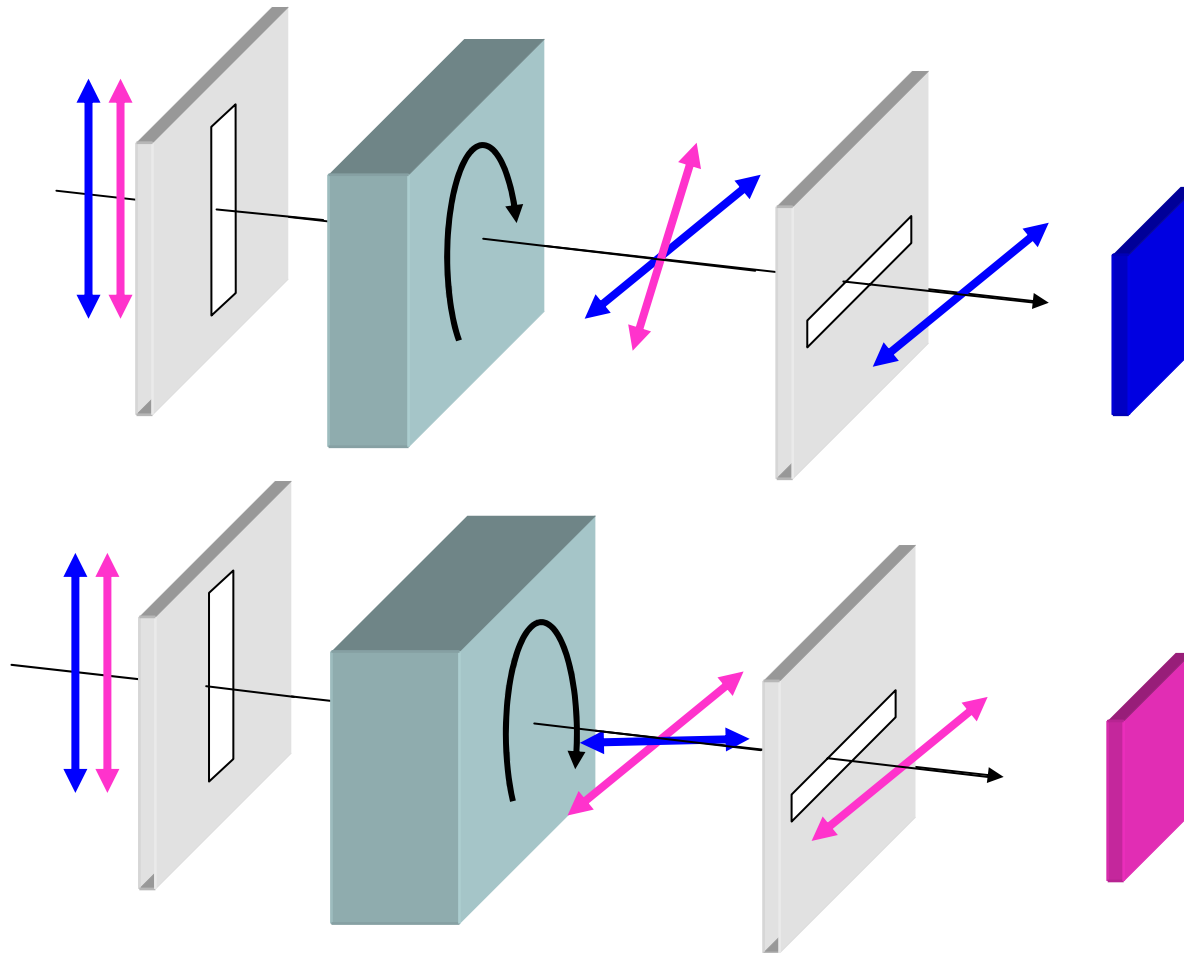


- ・ 第二の偏光板は通れない



- ・ 90 度回れば
第二の偏光板も
通り抜けられる

偏光を回すものを挟むと？



- ・波長（色）で回転がちがう

→ 特定色の光が通過。

→ 偏光板を回すと色が変わる。

- ・回転角は厚さに比例

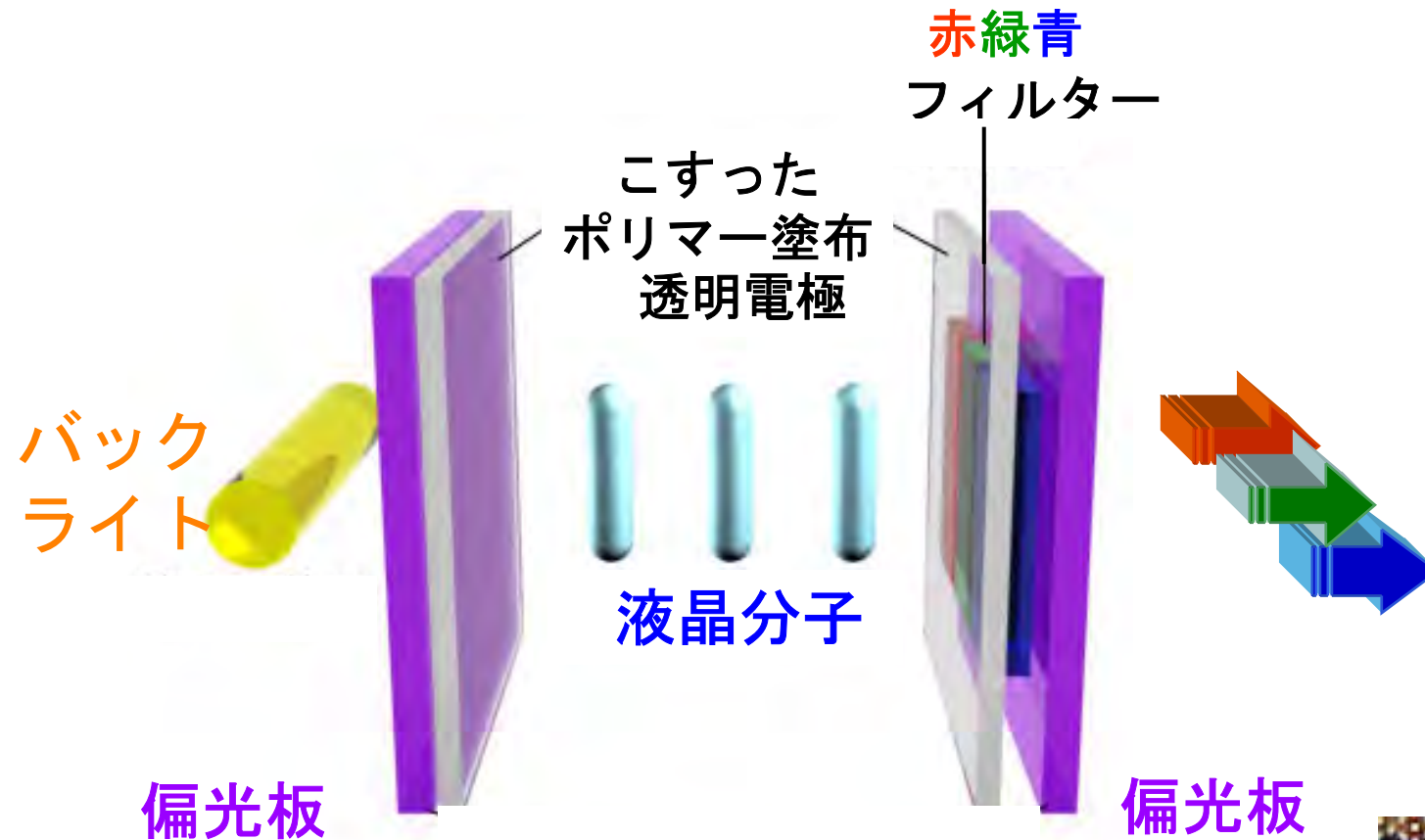
→ 厚さで色が変わる。

セロテープと猫

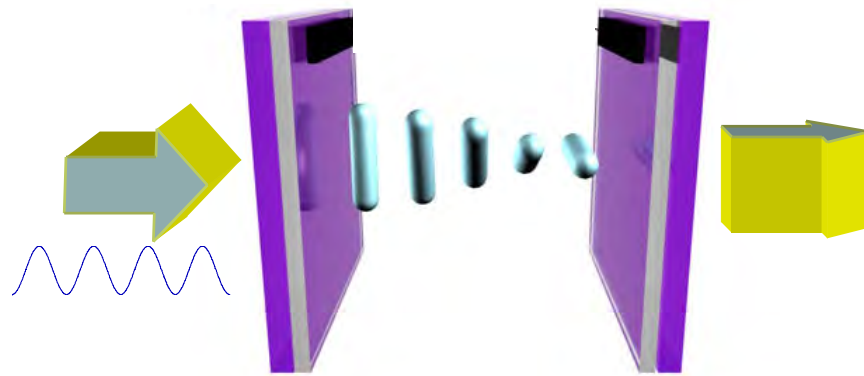
液晶表示素子の原理



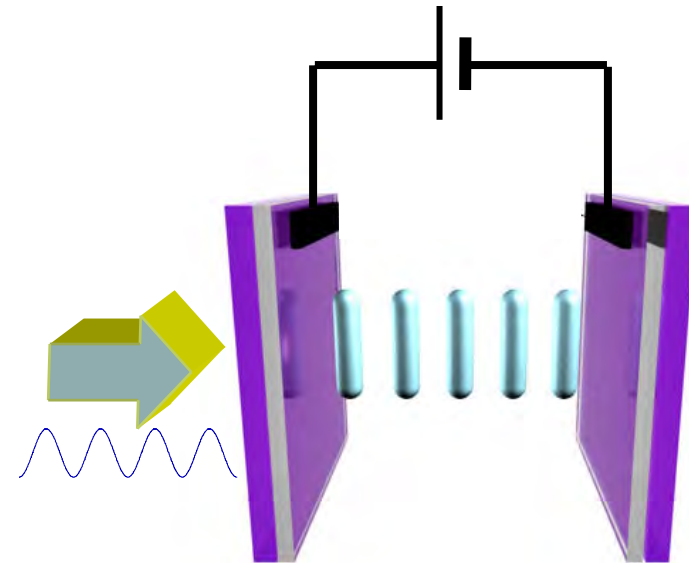
液晶表示素子の構造



液晶表示素子のはたらき



透過



透過せず

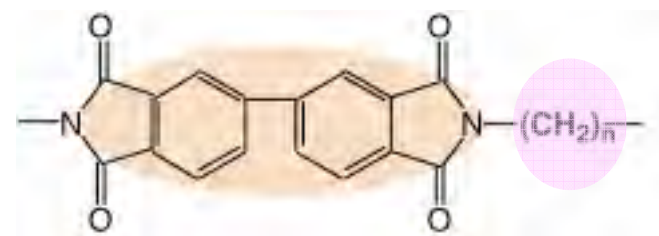
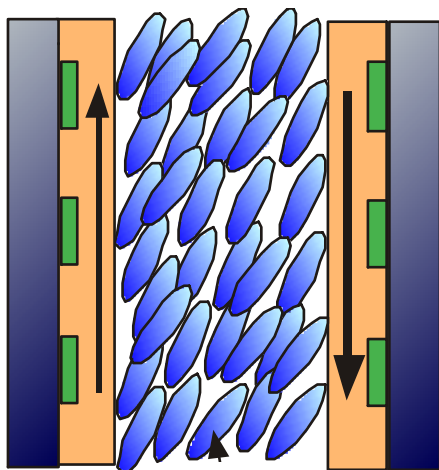
液晶による 光スイッチ



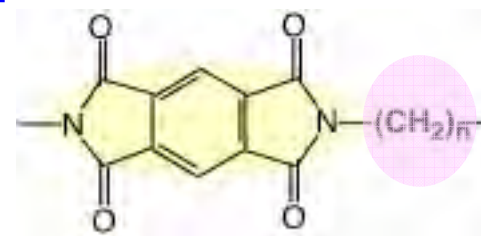
Plate 9. Switchable light panels. The middle panel is in the opaque state, while the two outside panels are in the clear state. (Courtesy of Taliq Corporation)

液晶と電極の界面

こすった界面のようす



ポリイミド



液晶分子

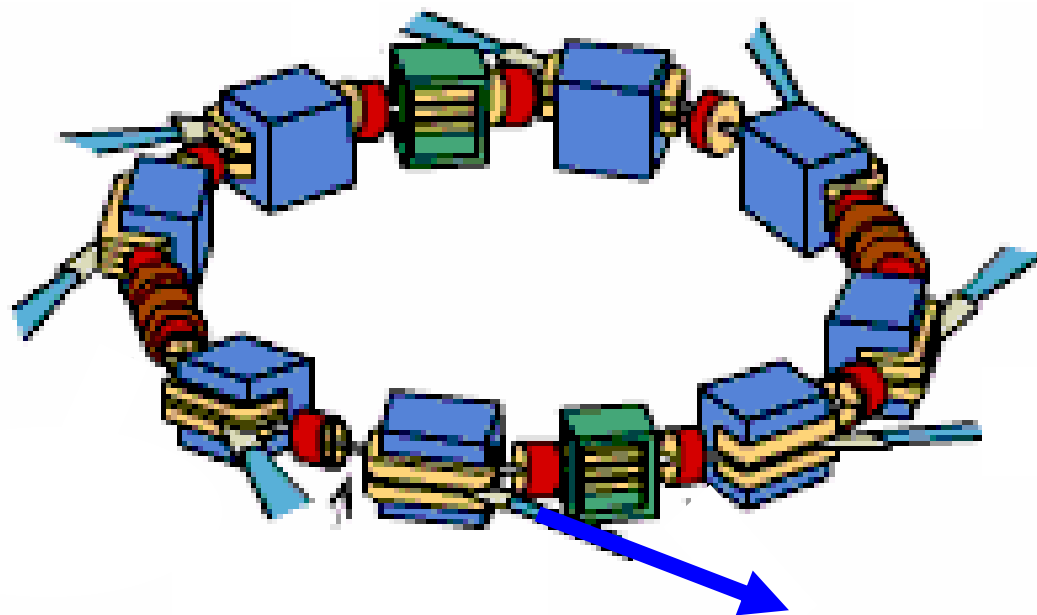


ドーナツを回る電子が光を出す

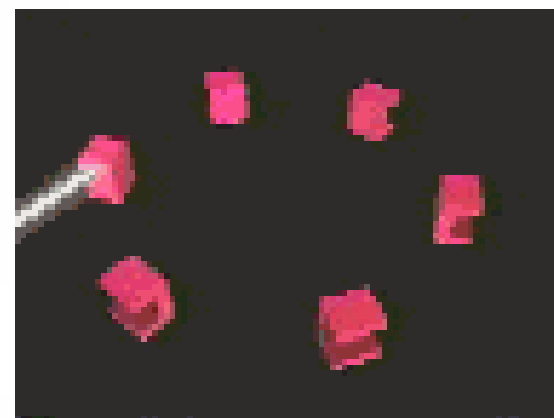
シンクロトロン放射光

放射光で液晶界面をさぐる (1)

光速に近い電子からの光



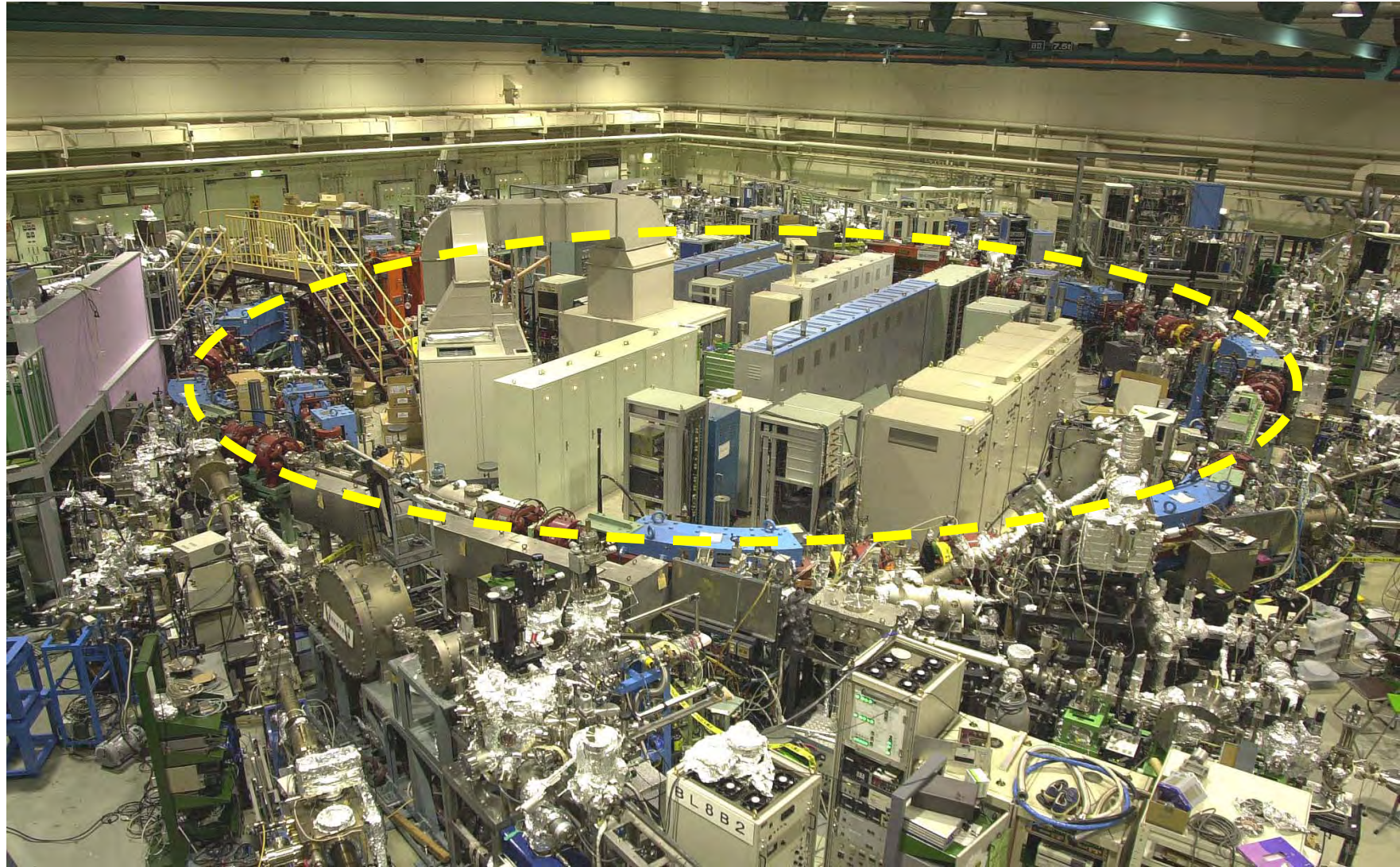
シンクロトロン
放射光



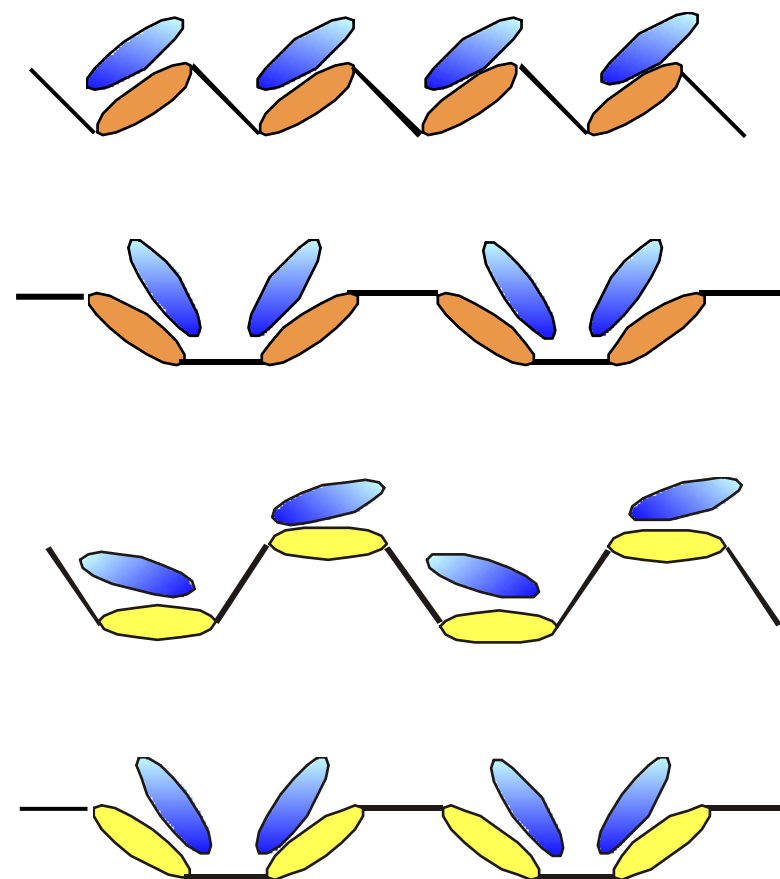
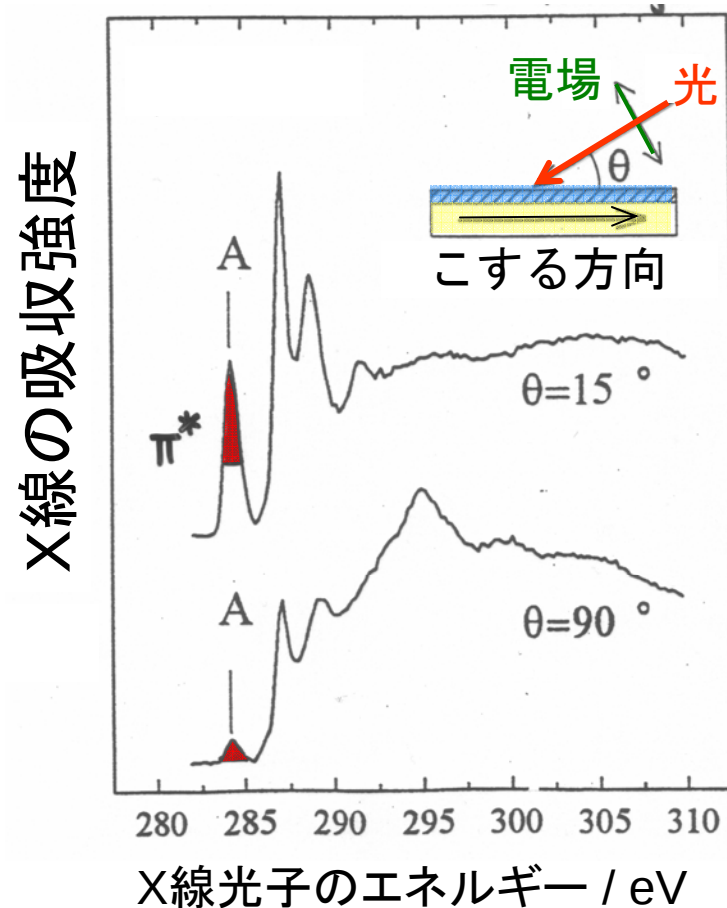
筑波山と 高エネルギー物理学研究機構



分子研 UVSOR 施設



放射光で液晶界面をさぐる (2)



色の付けかた

(1) 波を曲げる

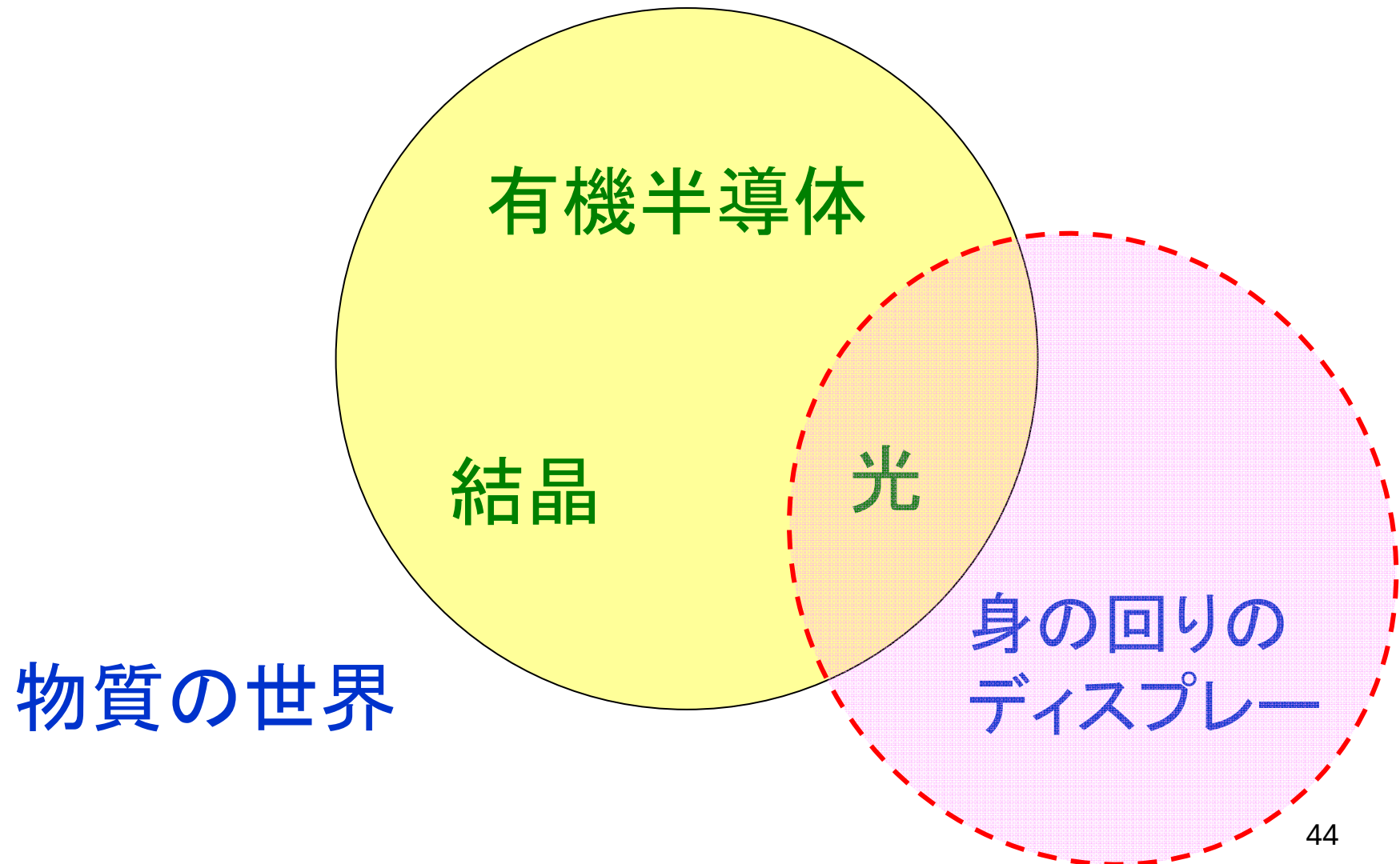
(2) 波を重ねる

(3) 波をひねる

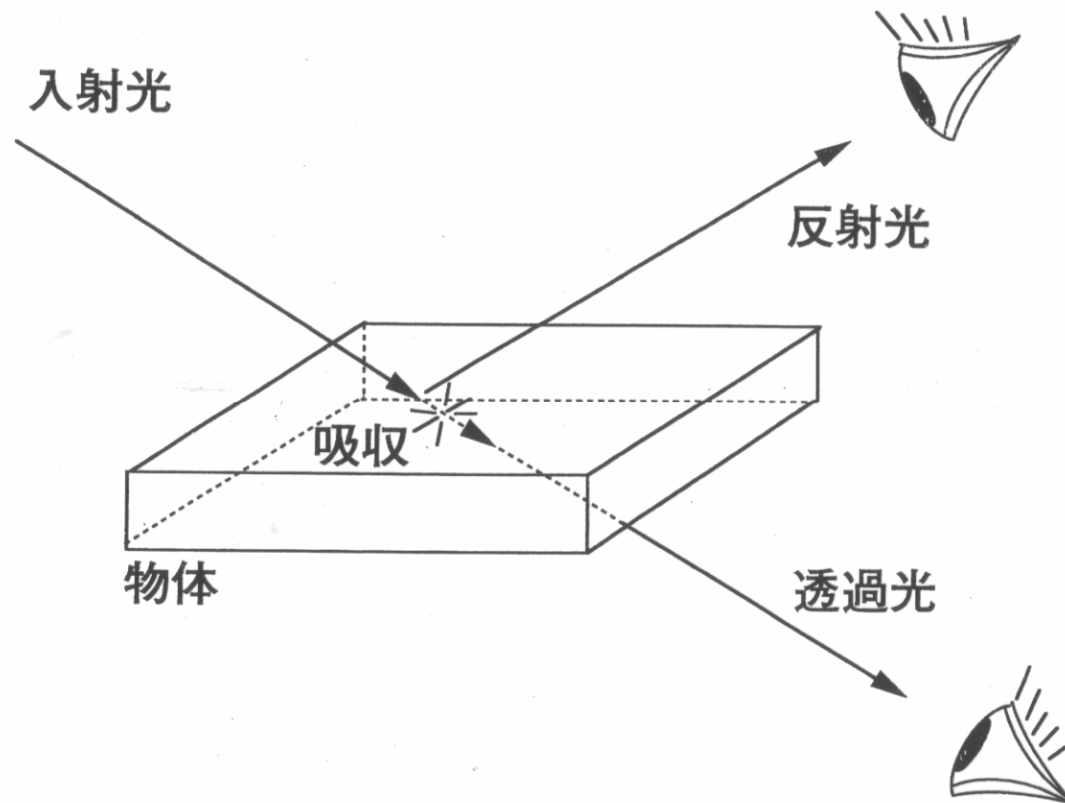
(4) 電子のジャンプ

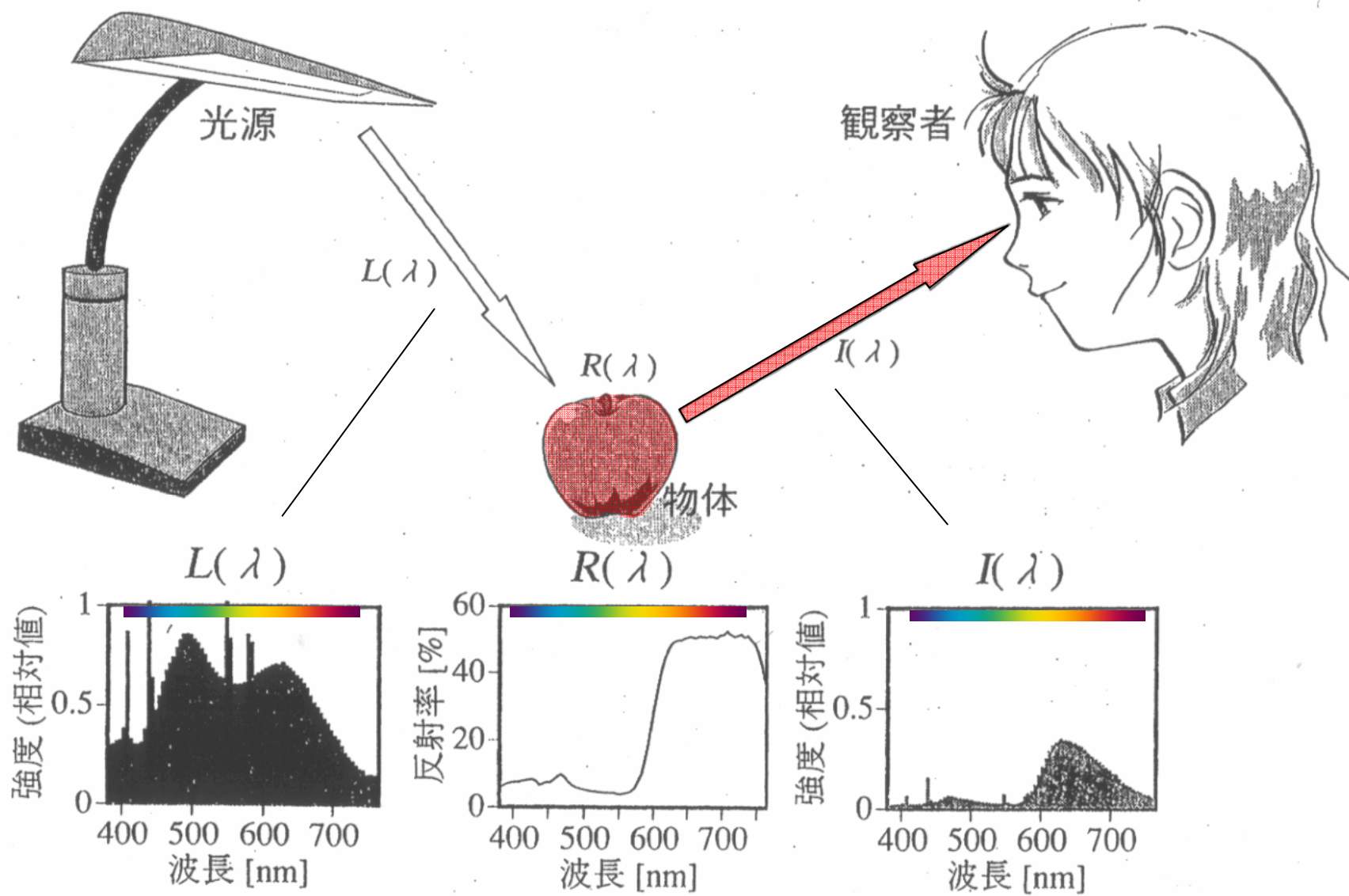
三題噺

私の研究



反射、吸收、透過





観察者が光源で照明された物体の色を見る状況。

透過による着色：ルビーとエメラルド



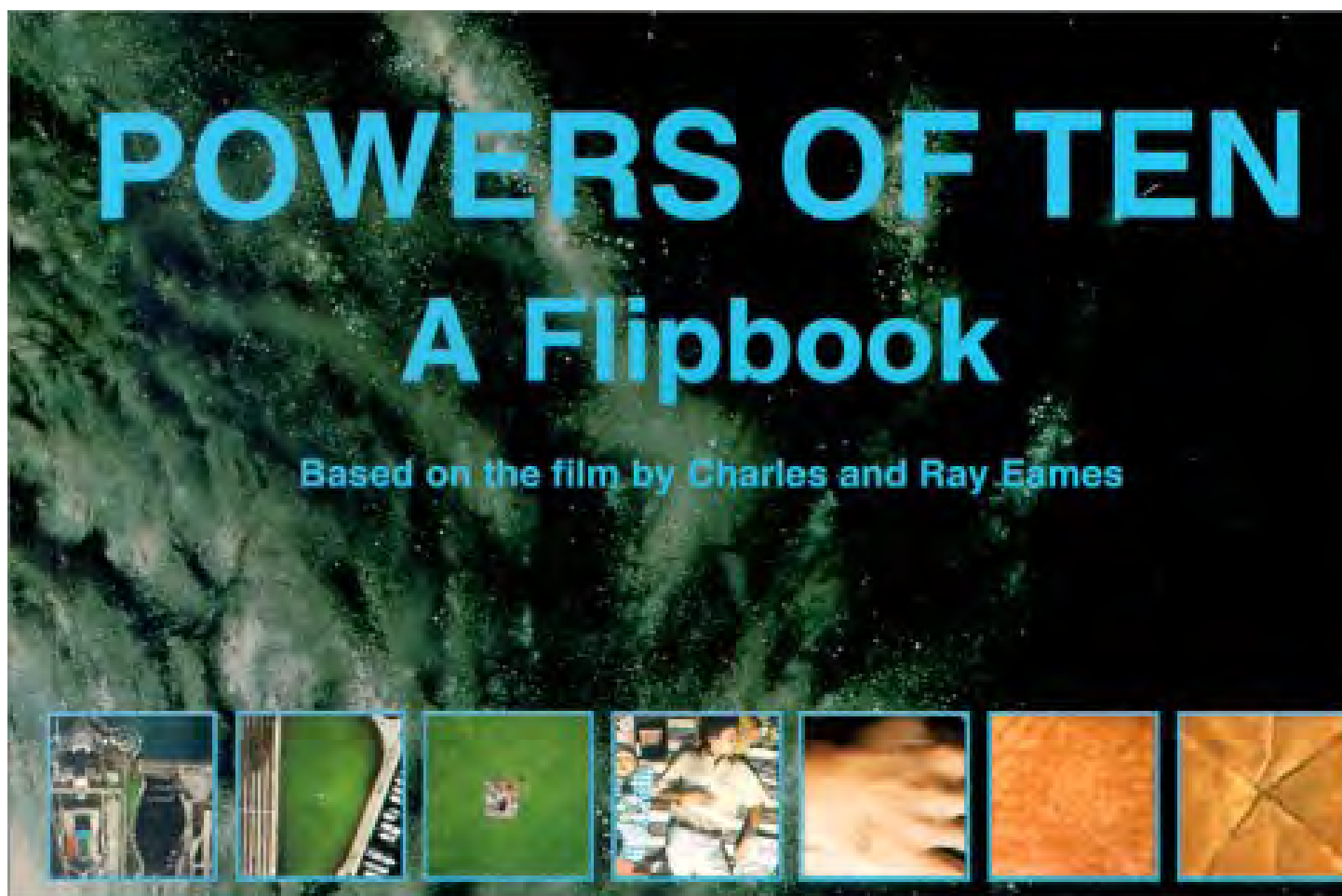
13

ルビー



エメラルド

10のべき乗



結晶の3つの特徴

1. 決まった外形を持つ

水晶（石英）、ミョウバン、雪

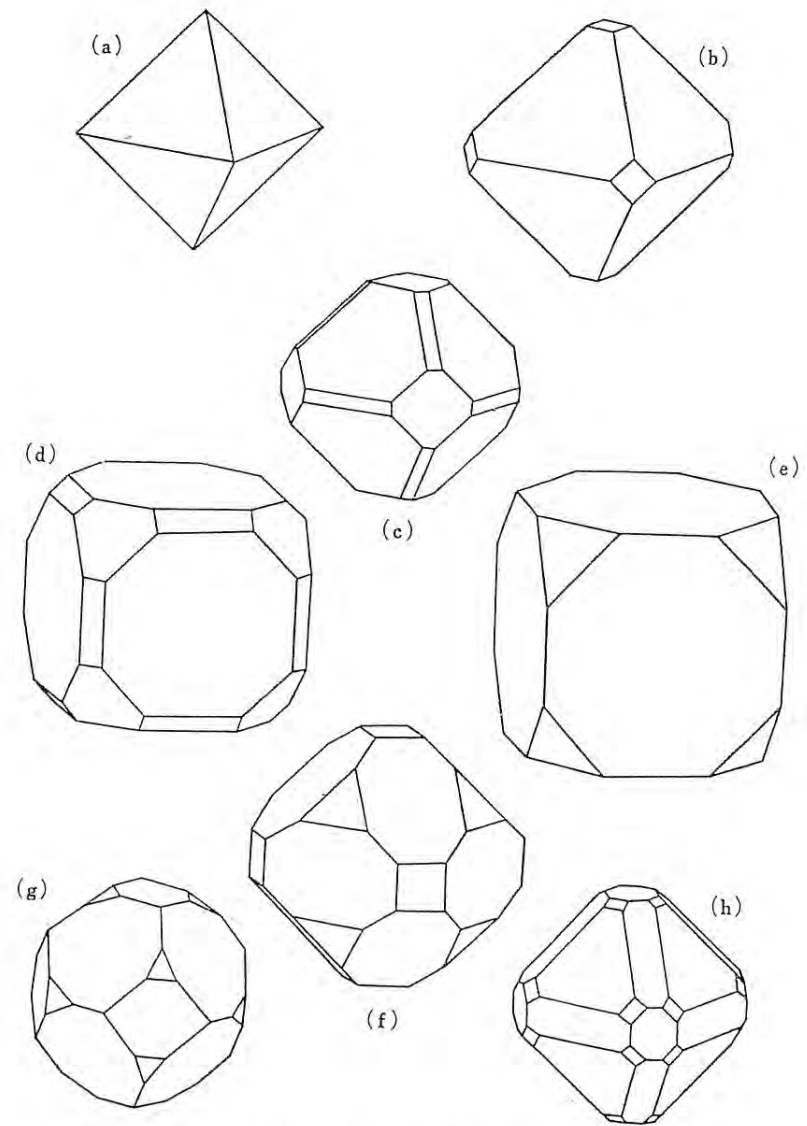
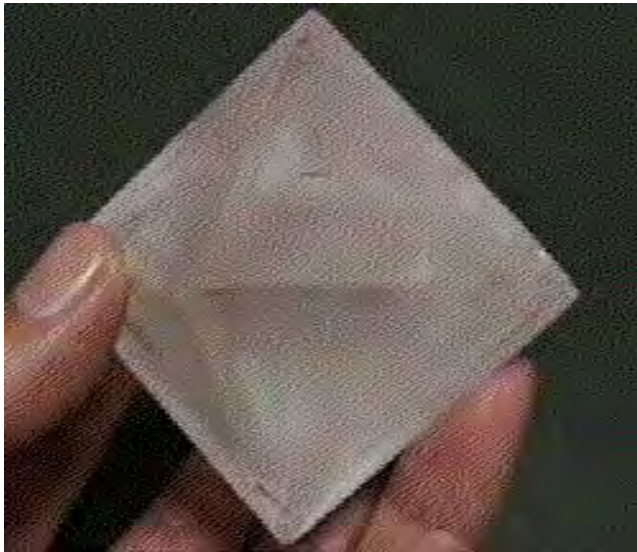
2. ある温度で全体が一斉に融けて液体になる

氷から水、ハンダ（Cf. ガラス）

3. 決まった方向に割れる（劈開）

雲母、黒鉛、食塩

ミョウバンの結晶形



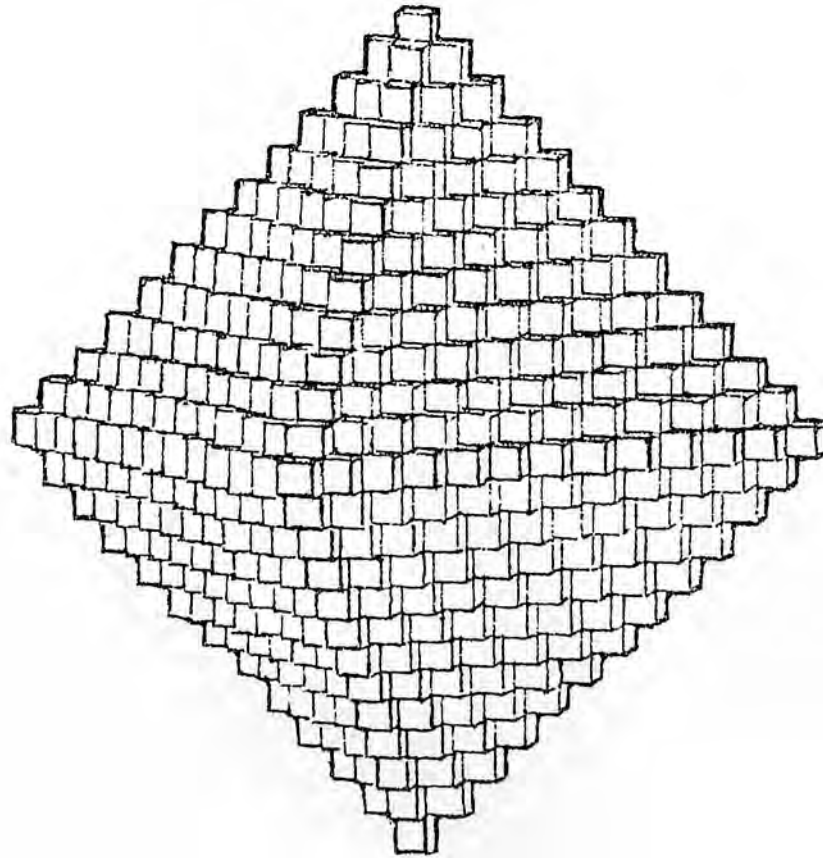
ミョウバンの結晶形 (a)~(h)

カリウムミョウバン $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

アユイのアイデア による正八面体結晶



(1743-1822)



正八面体の結晶

小さい立方体の集まったものと考えられる。

規則正しい配列に波が当たると、

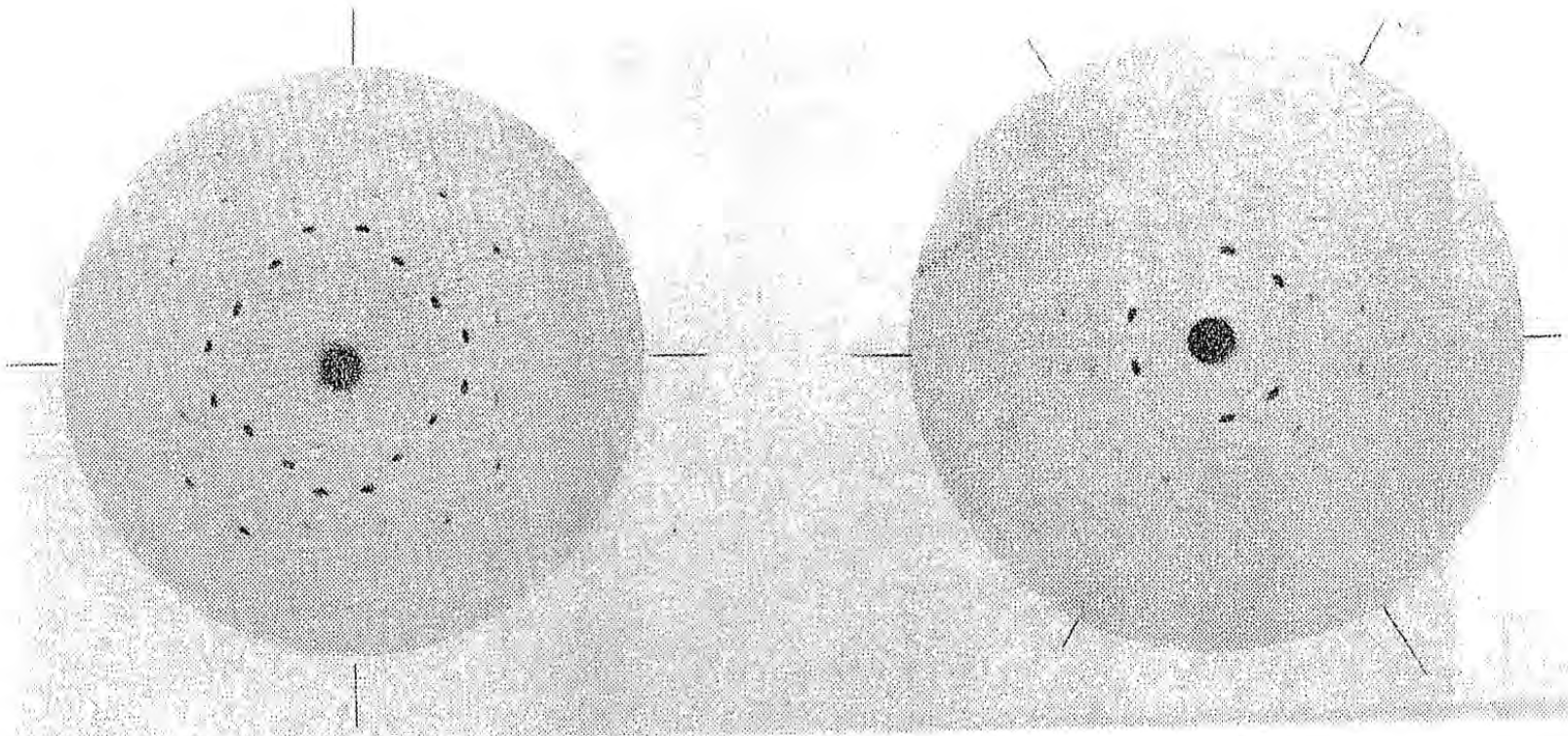
たくさんの波の重なりで、

特定の方向に波が分かれる。

別れ方は波長(色)によって違う。

セン亜鉛鉱 (ZnS) のX線回折

M. v. ラウエ
(1879-1960)



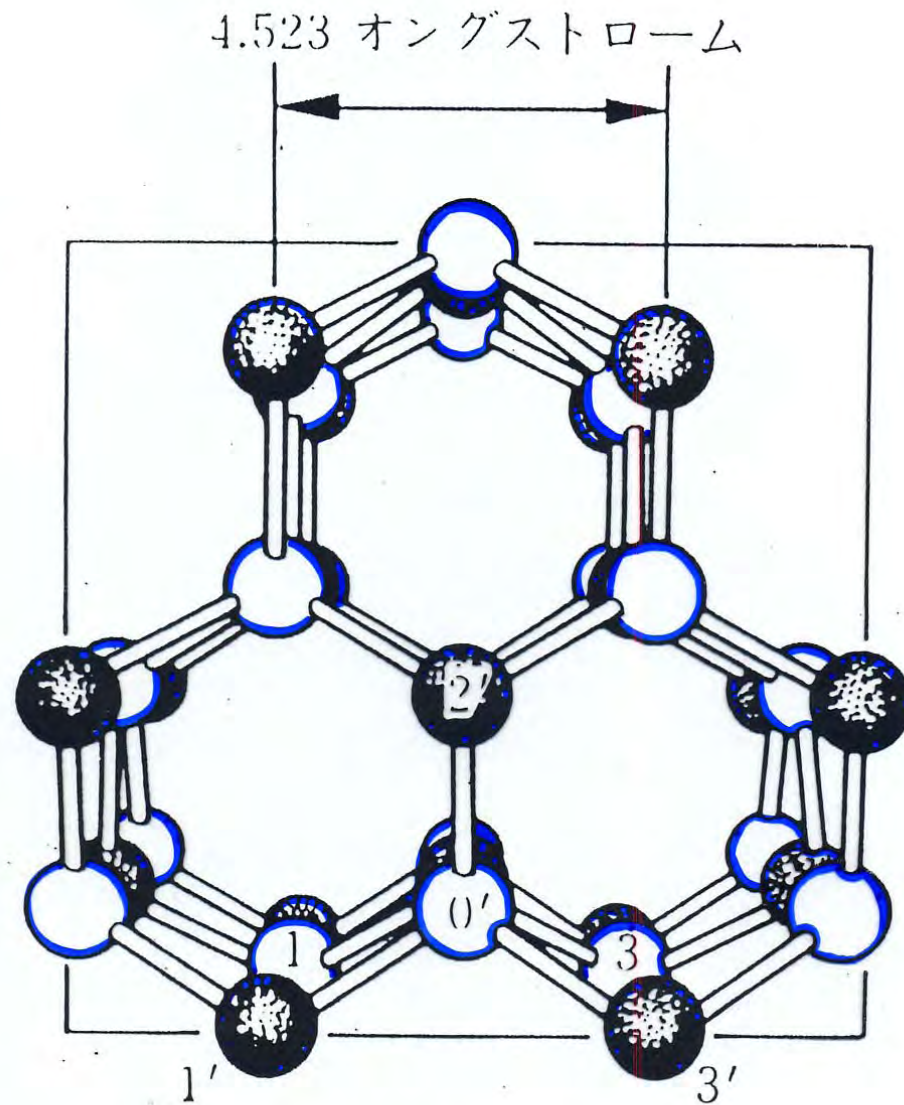
雪の結晶



中谷宇吉郎

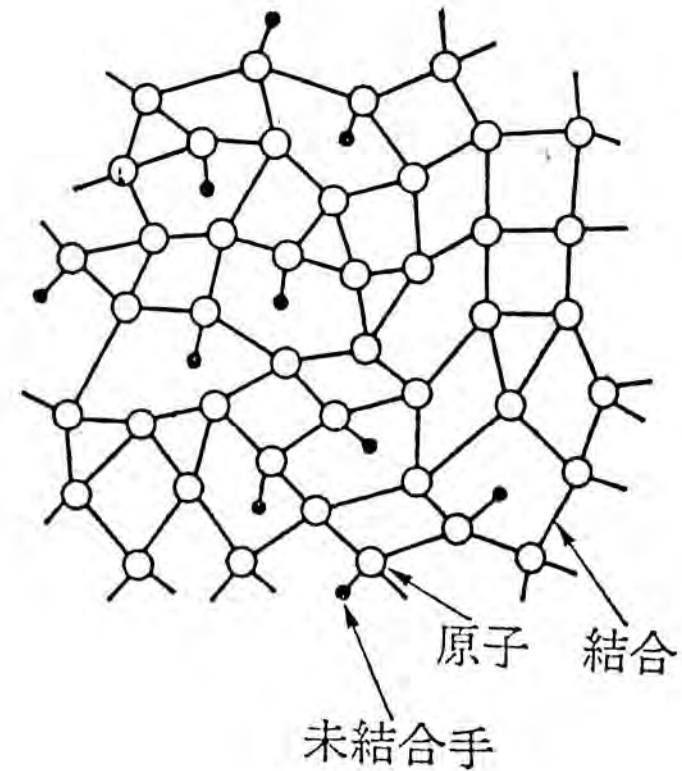
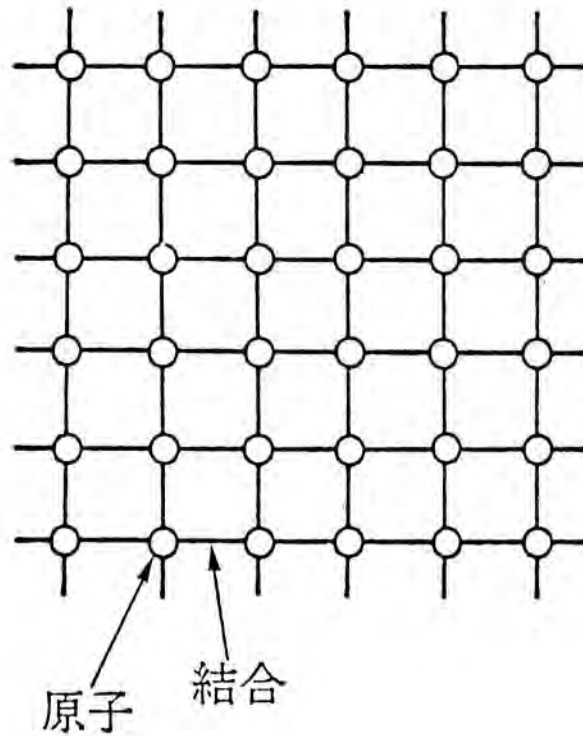


c 軸方向からみた 氷の結晶構造



c 軸方向から見た図

結晶と非晶質物質



ガラス・ゴム・
アモルファスシリコン

有機物質と無機物質

有機物質： 生命に関係した物質

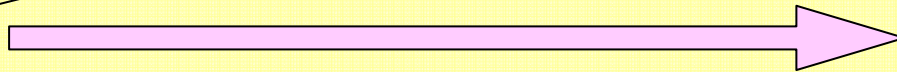
→ 炭素原子が骨格を作る物質

無機物質： 有機物質以外の物質

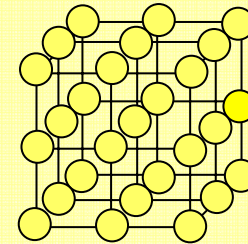
有機物質では、何が特別か？

無機物質と有機物質

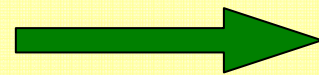
原子



無機物質

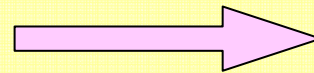
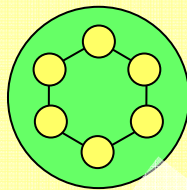


(炭素) 原子

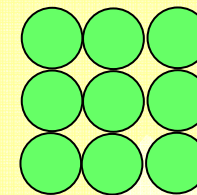


有機合成

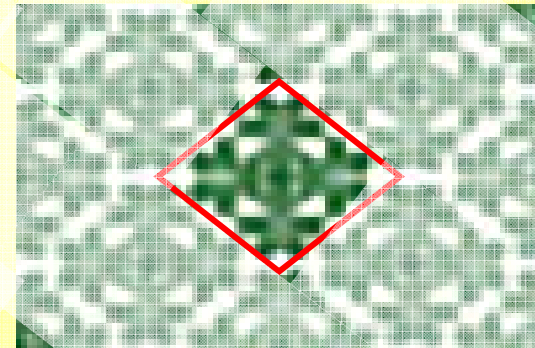
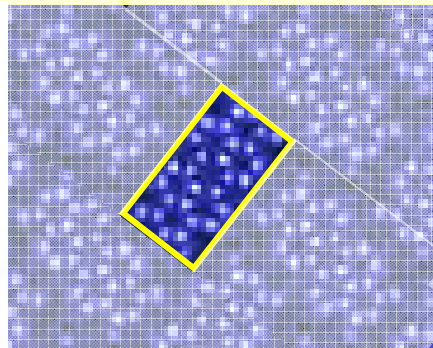
中間単位 (分子)



有機物質



軽量、
柔軟、
設計可能



「有機半導体」のパイオニア



赤松秀雄先生



井口洋夫先生

新しいディスプレイ

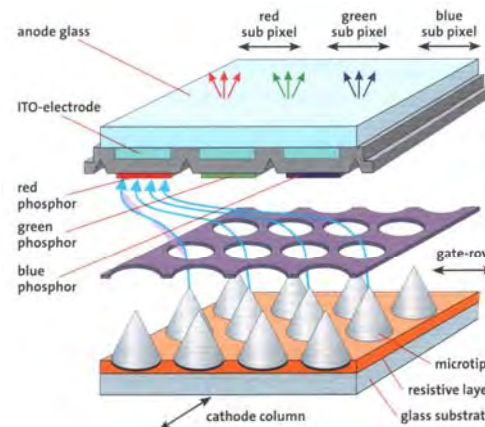
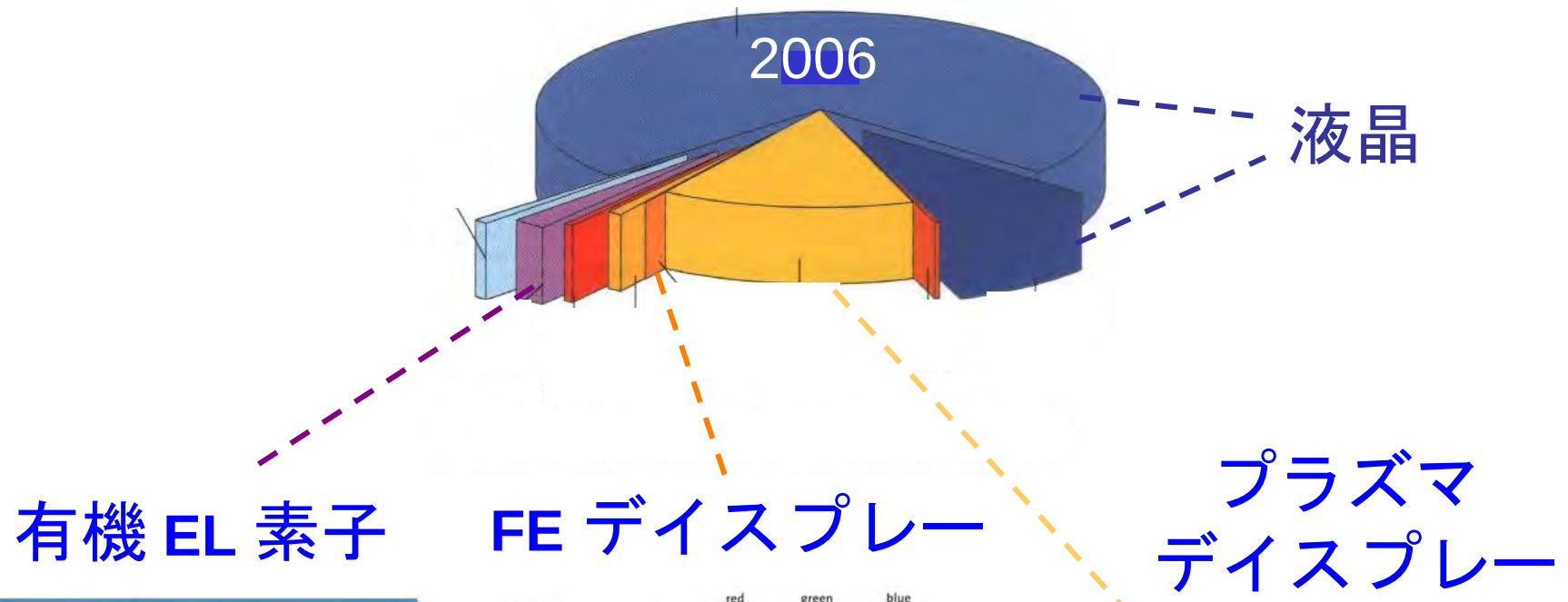


Fig. 12: Schematic cross-section of a Field Emission Display (shown here: microtip-FED). Dimensions not to scale. The stack of organic layers is about 150 nm thick. (Picture courtesy of IMM)



有機EL素子の実用化



東北パイオニア



Sanyo-Kodak



SONY

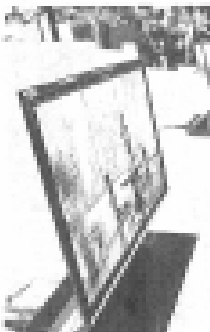
ボルチモア SID (米国電子ディスプレイ学会) 5/19-2
61

有機EL事業 本格展開

テレビ用普及見据える

本報大塚支店が主催の「有機EL」のイベントが、4月13日(土)に大塚市立大塚公民館で開かれた。会場には、有機ELテレビの展示や、有機ELの仕組みに関する説明が行われた。また、有機ELの今後の展開についても、関係者のコメントが聞かれた。

デジタル素材 優位維持狙う



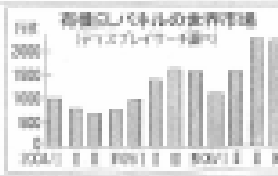
ソニーの有機ELテレビ。画質の優位性を維持する狙いがある。

ソニーは、有機ELテレビの普及を促進するため、デジタル素材の優位性を維持する狙いがある。また、有機ELの今後の展開についても、関係者のコメントが聞かれた。

住友化学、三井化学は、有機EL材料の増産を計画している。両社は、有機EL材料の増産を計画している。また、有機ELの今後の展開についても、関係者のコメントが聞かれた。

住友化学 三井化学 来年にもパネル 発光材料増産へ

住友化学、三井化学は、有機EL材料の増産を計画している。両社は、有機EL材料の増産を計画している。また、有機ELの今後の展開についても、関係者のコメントが聞かれた。



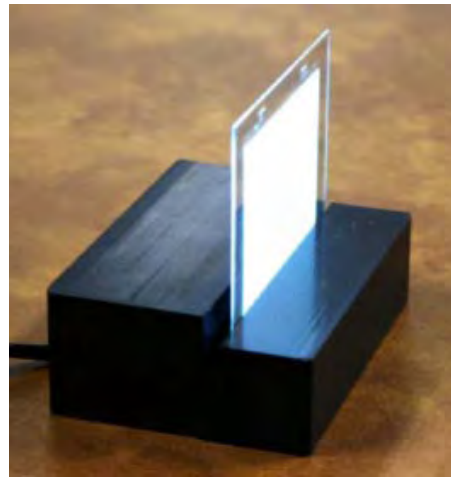
昭和電工



SONY



東芝松下

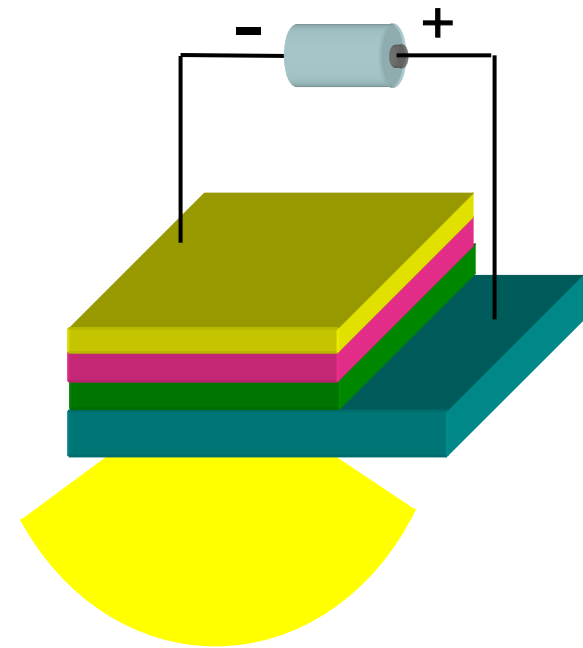
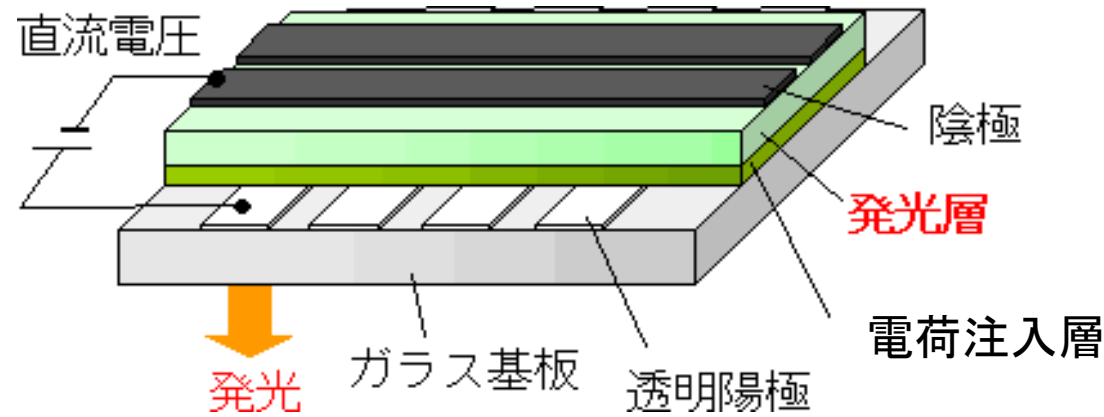


コニカ ミノルタ

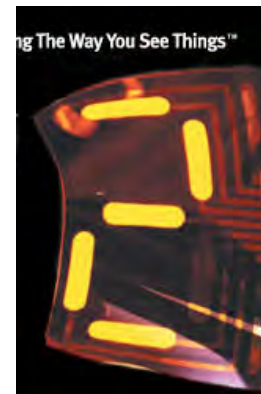


NTT ドコモ

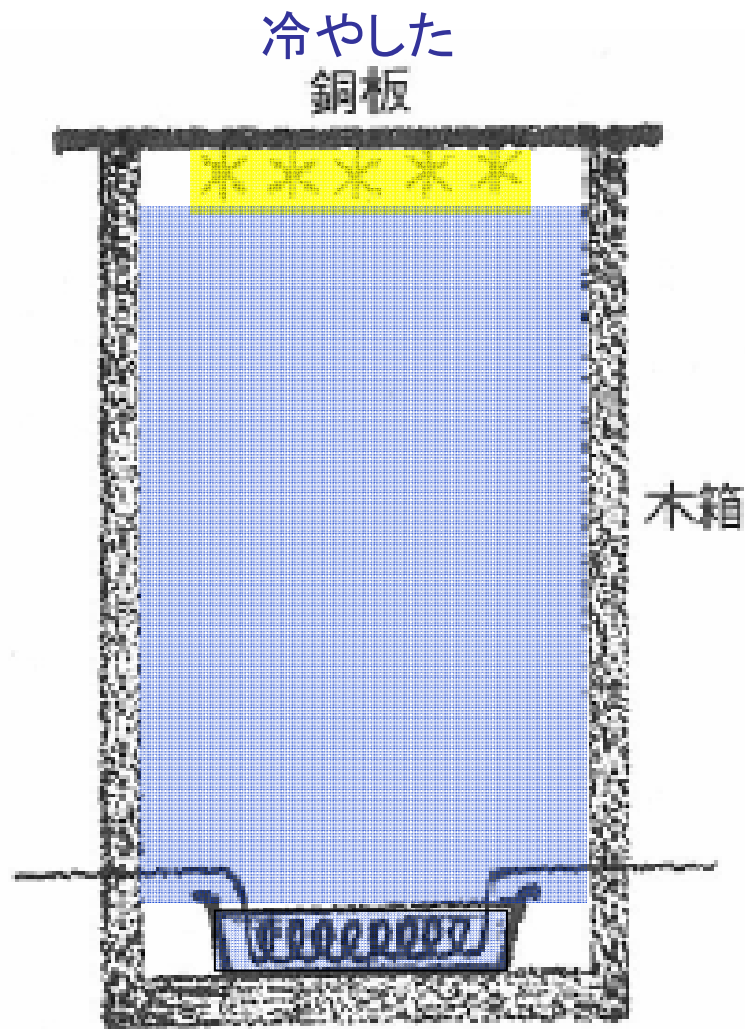
有機 EL 素子



自発光
軽量
低消費電力
柔軟性

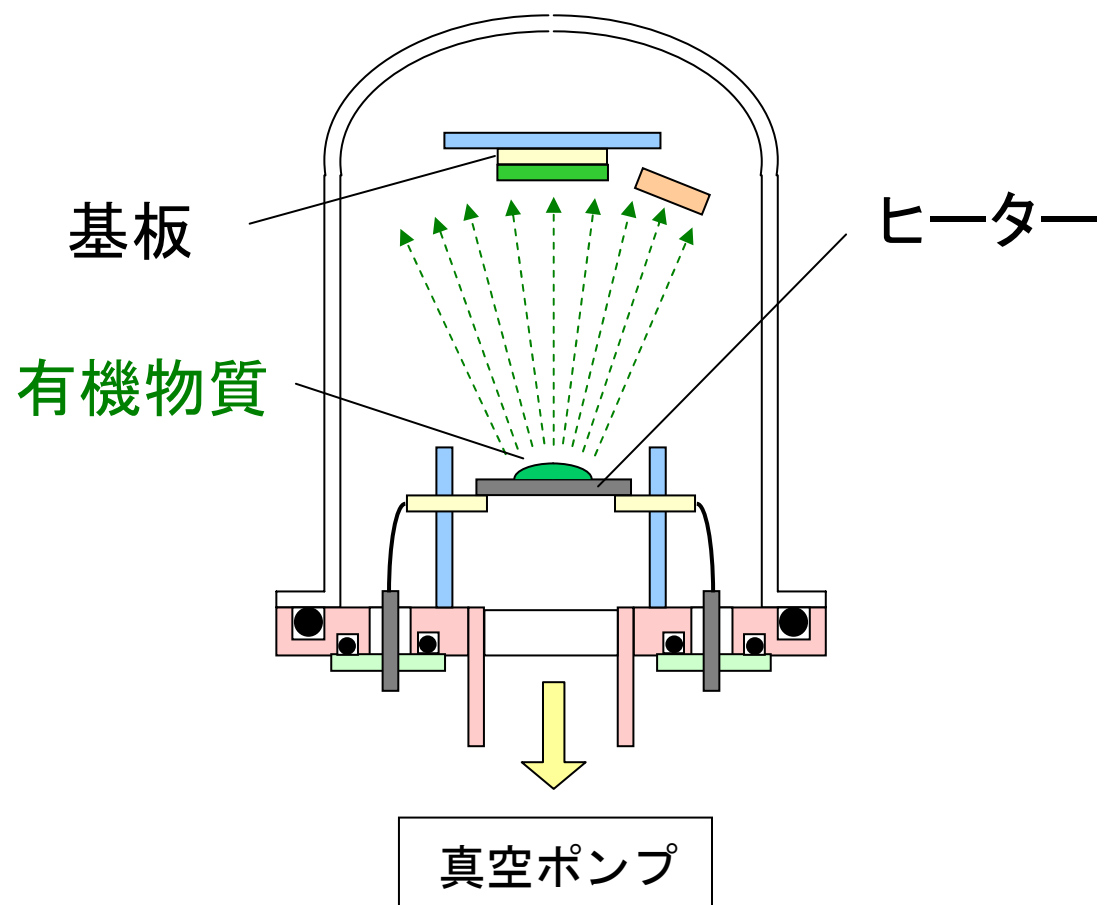


人工の霜

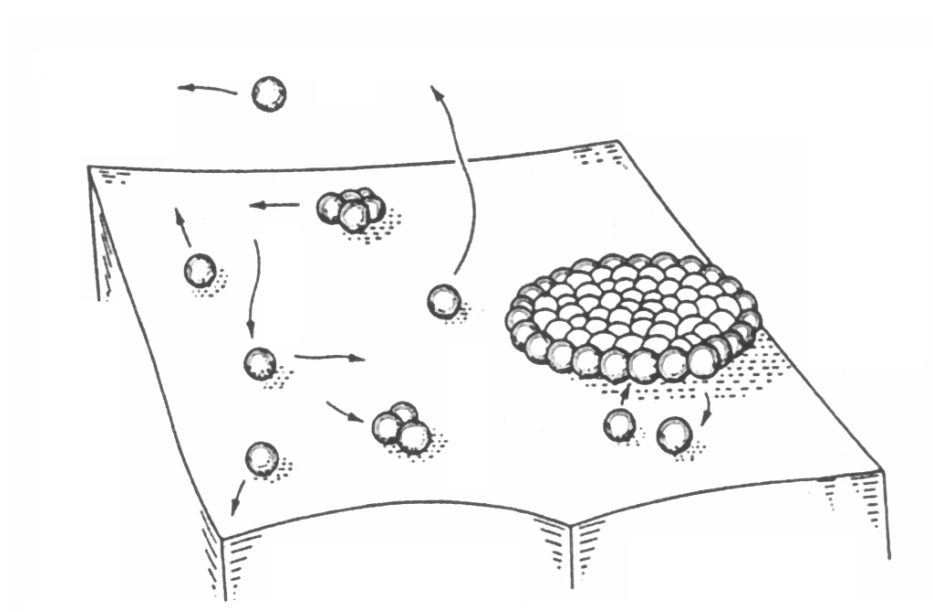


中谷の人工霜装置

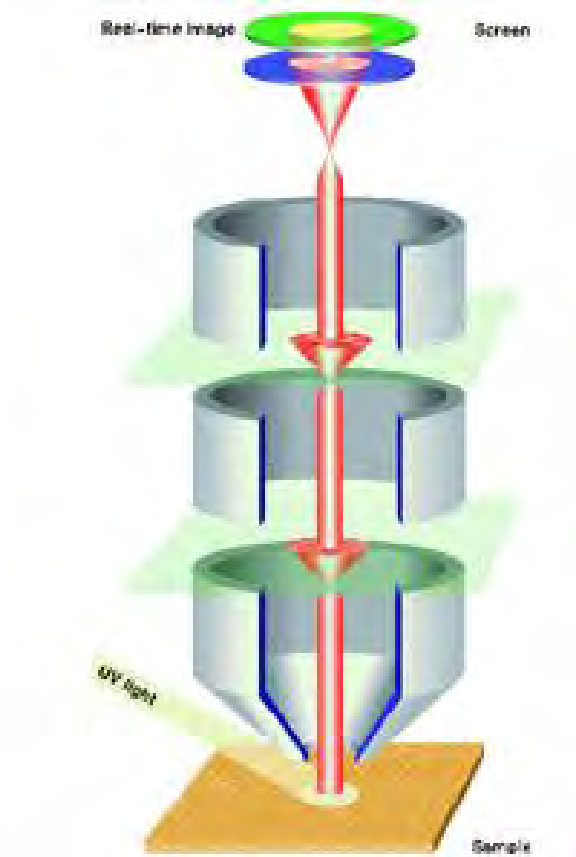
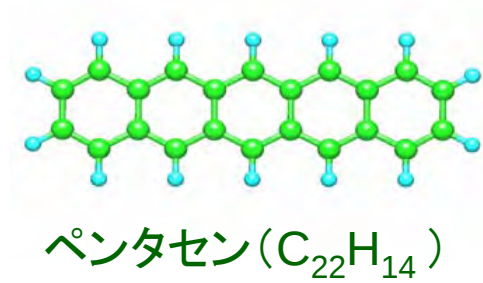
有機物の霜をつくる (真空蒸着)



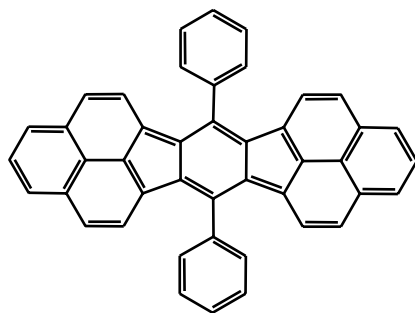
表面上での分子拡散



光電子顕微鏡による 蒸着膜形成過程観察



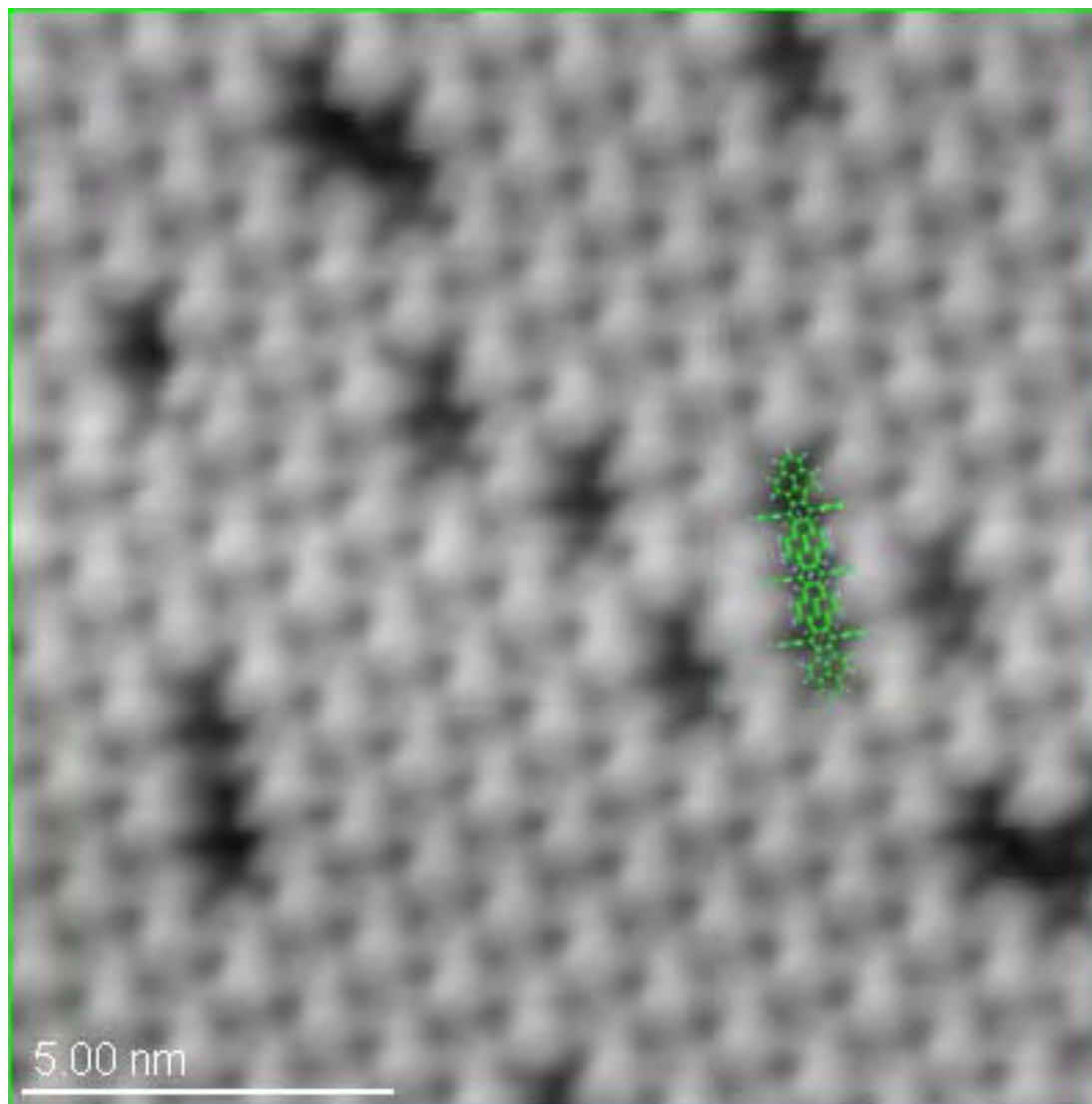
STM



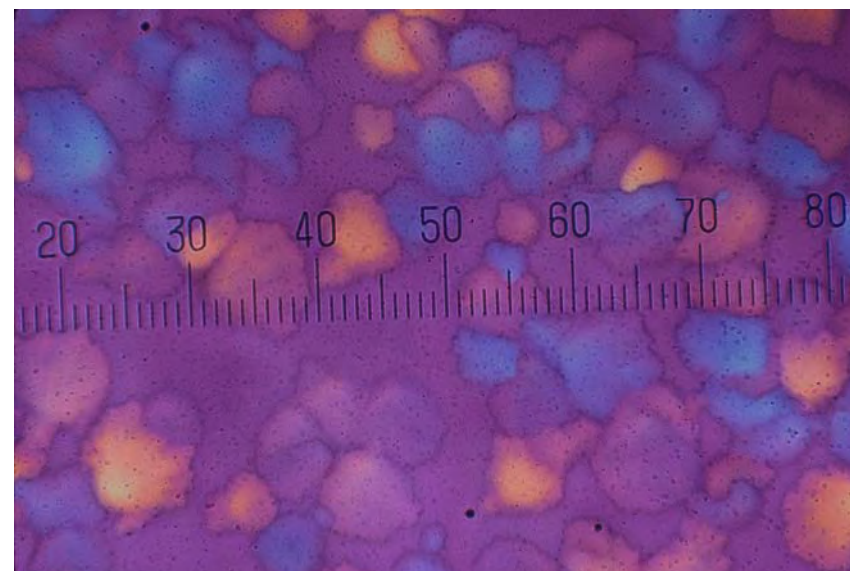
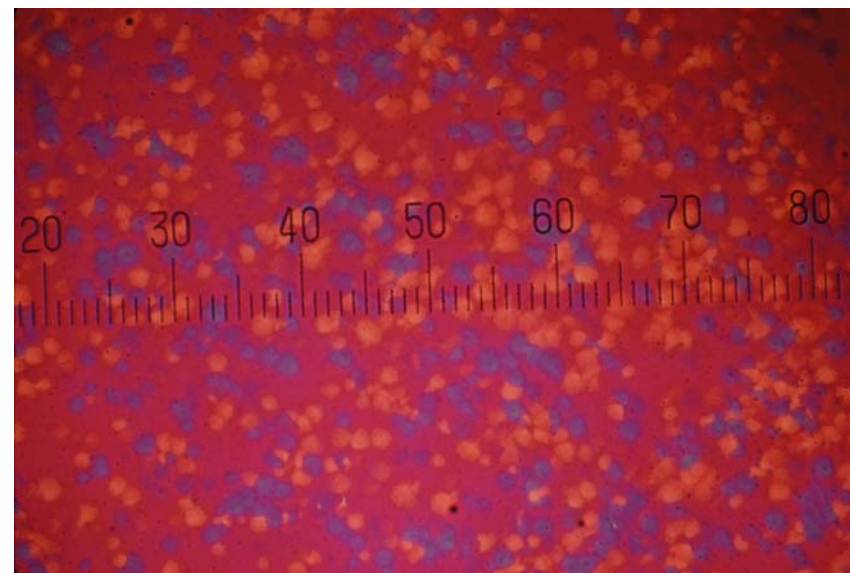
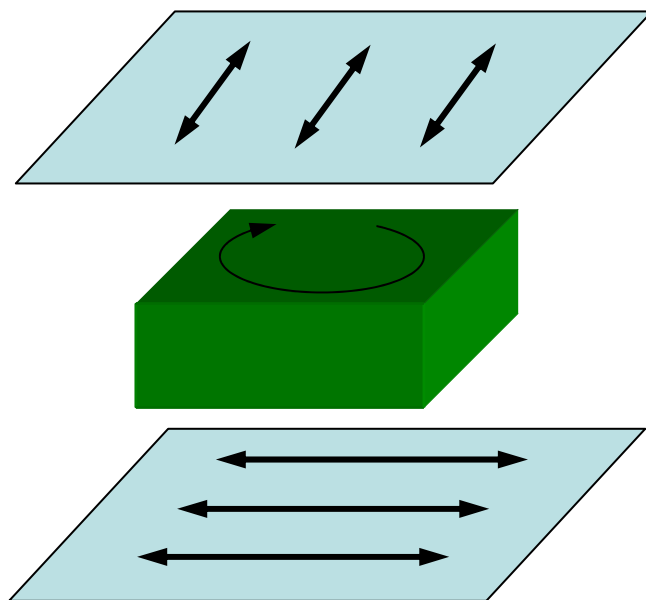
Ph₂-IDPL

久保・中筋（阪大院理）

-1.2 V, 0.1 nA : Occupied state
a: 1.77 nm (1.64 nm for crystal)
b: 1.37 nm

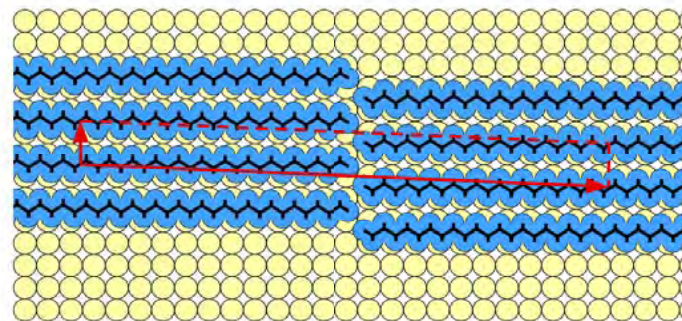
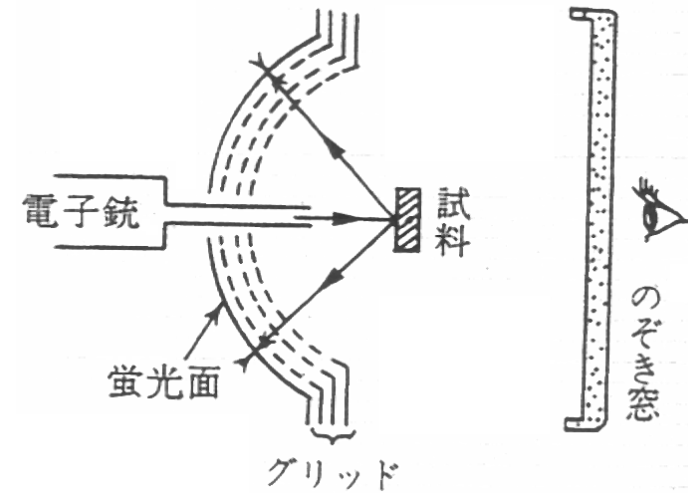


偏光顕微鏡でみた 結晶粒

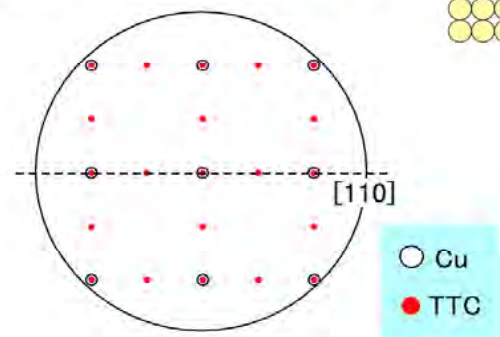


LEEDの例: アルカン

$n\text{-C}_{44}\text{H}_{90}$ (0.15 nm) / Cu(100)



flat-on



透過による着色：ルビーとエメラルド

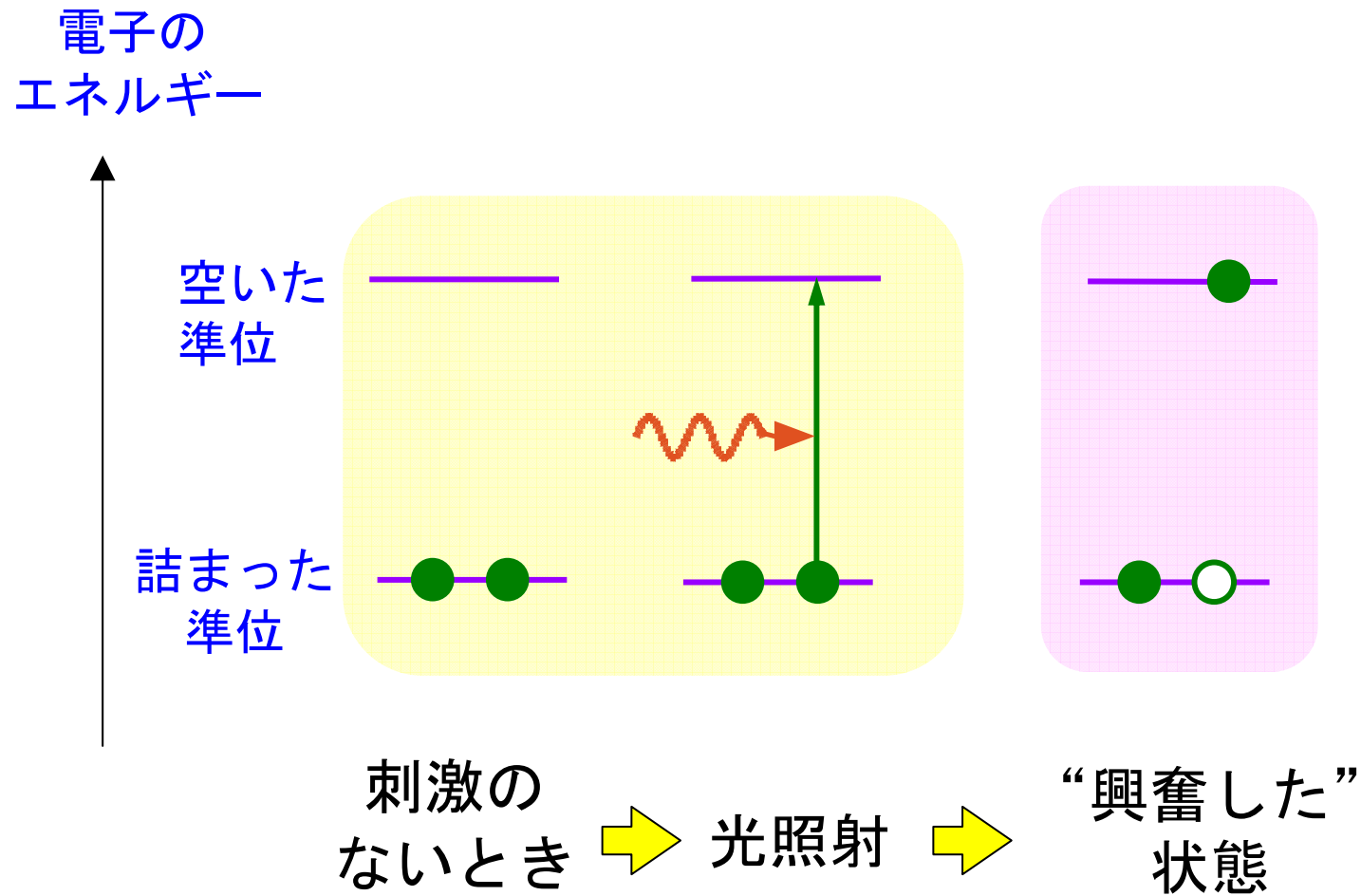


13 ルビー

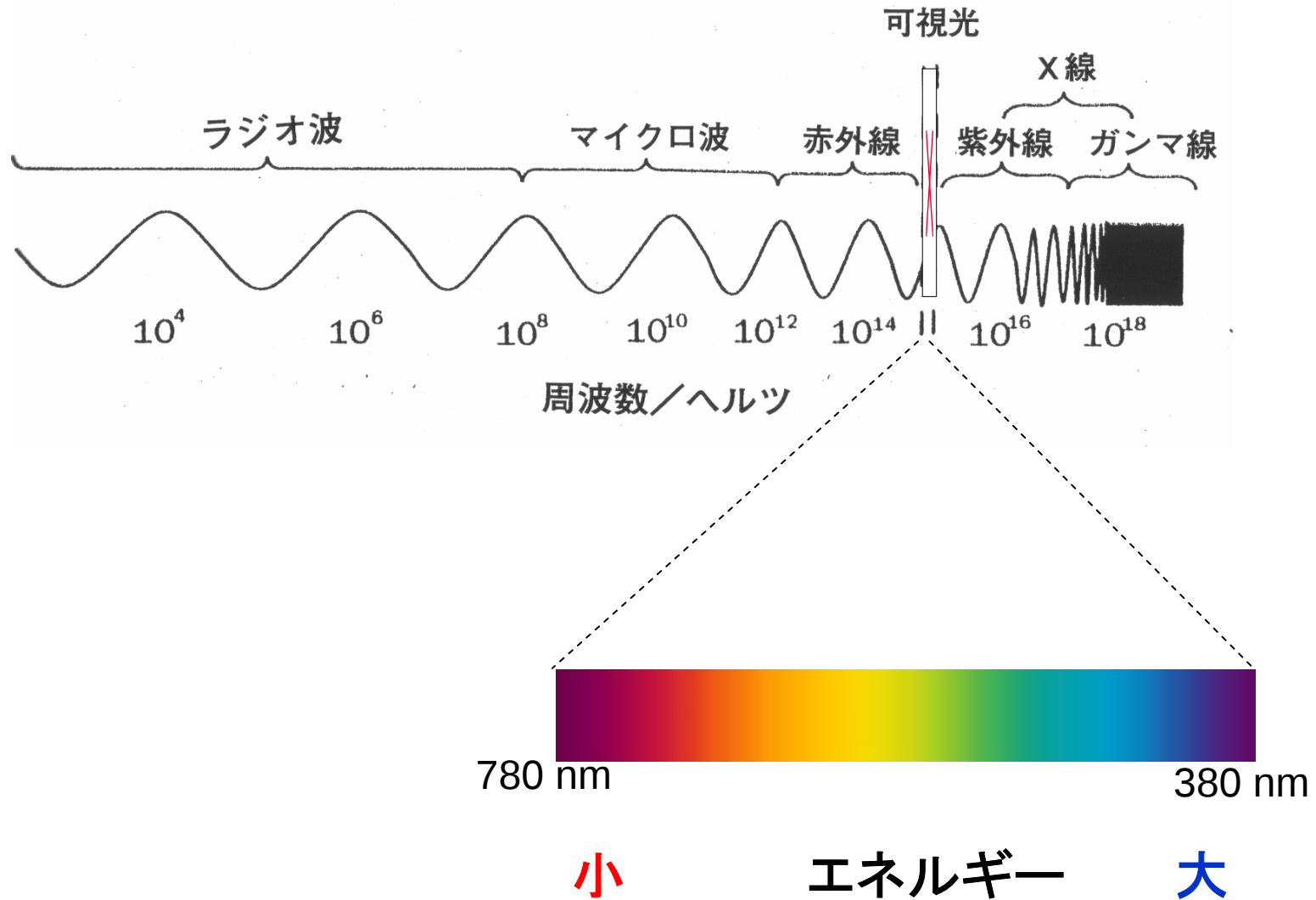


エメラルド

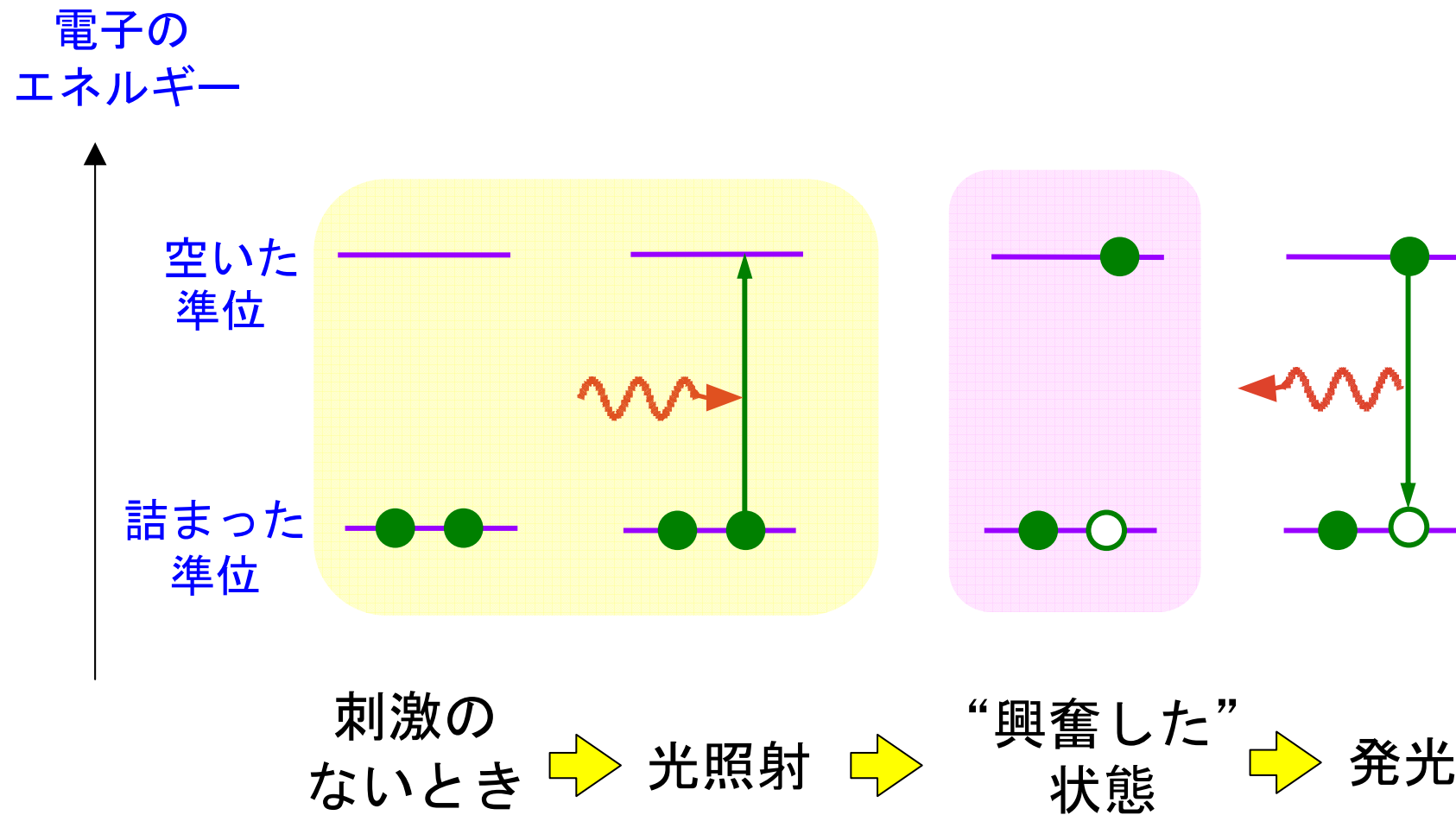
光を吸う電子のジャンプ



可視光によるジャンプのエネルギー

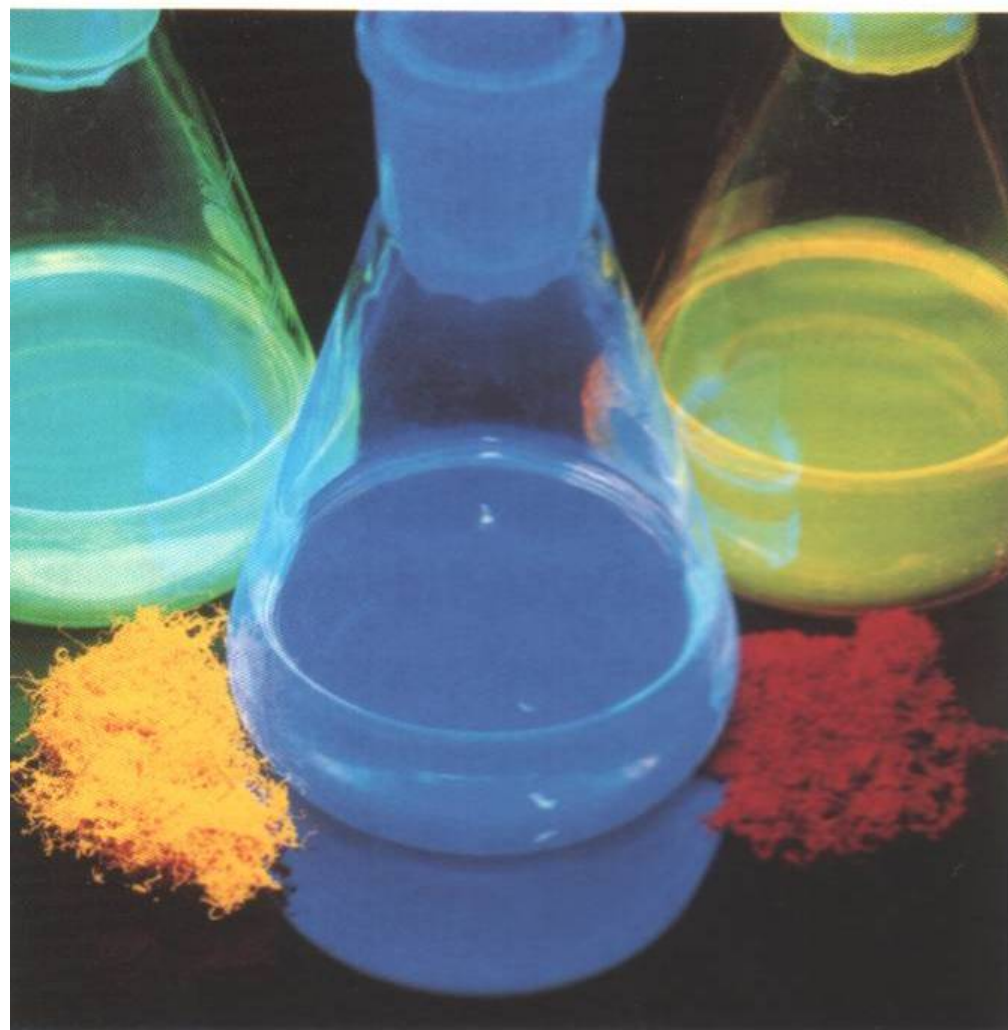


発光のしくみ

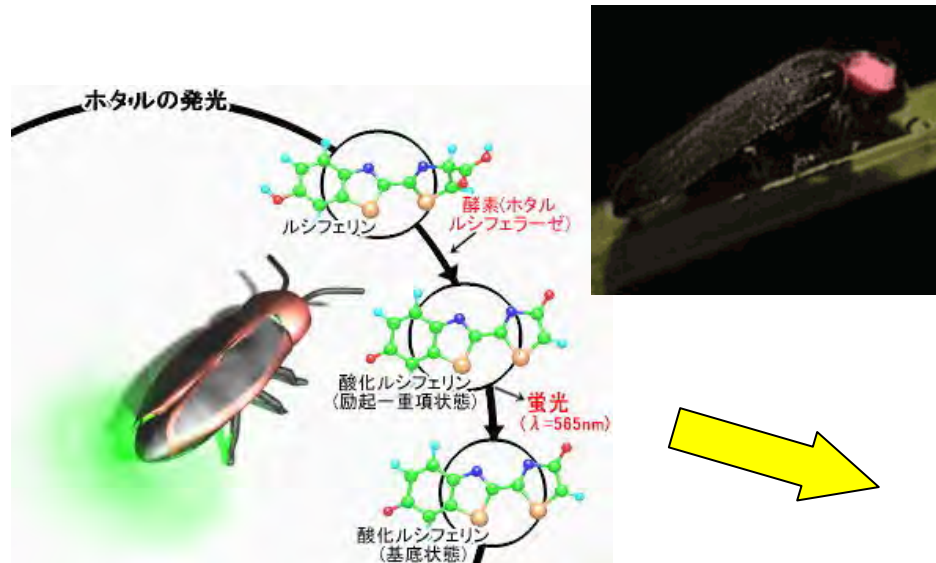


ブラックライトによる発光

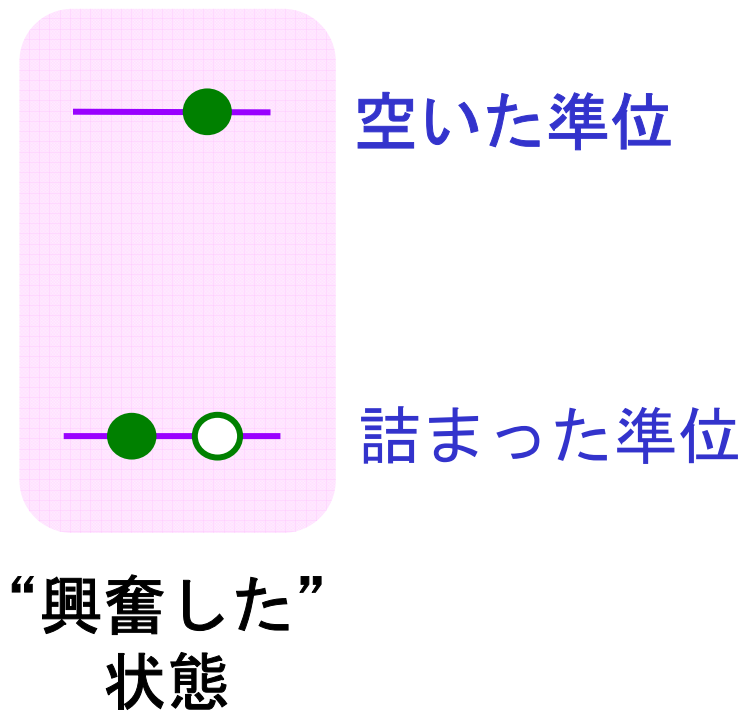
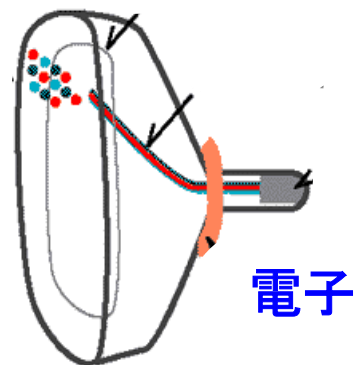
有機分子を使った蛍光



光をあてずに蛍光を出す

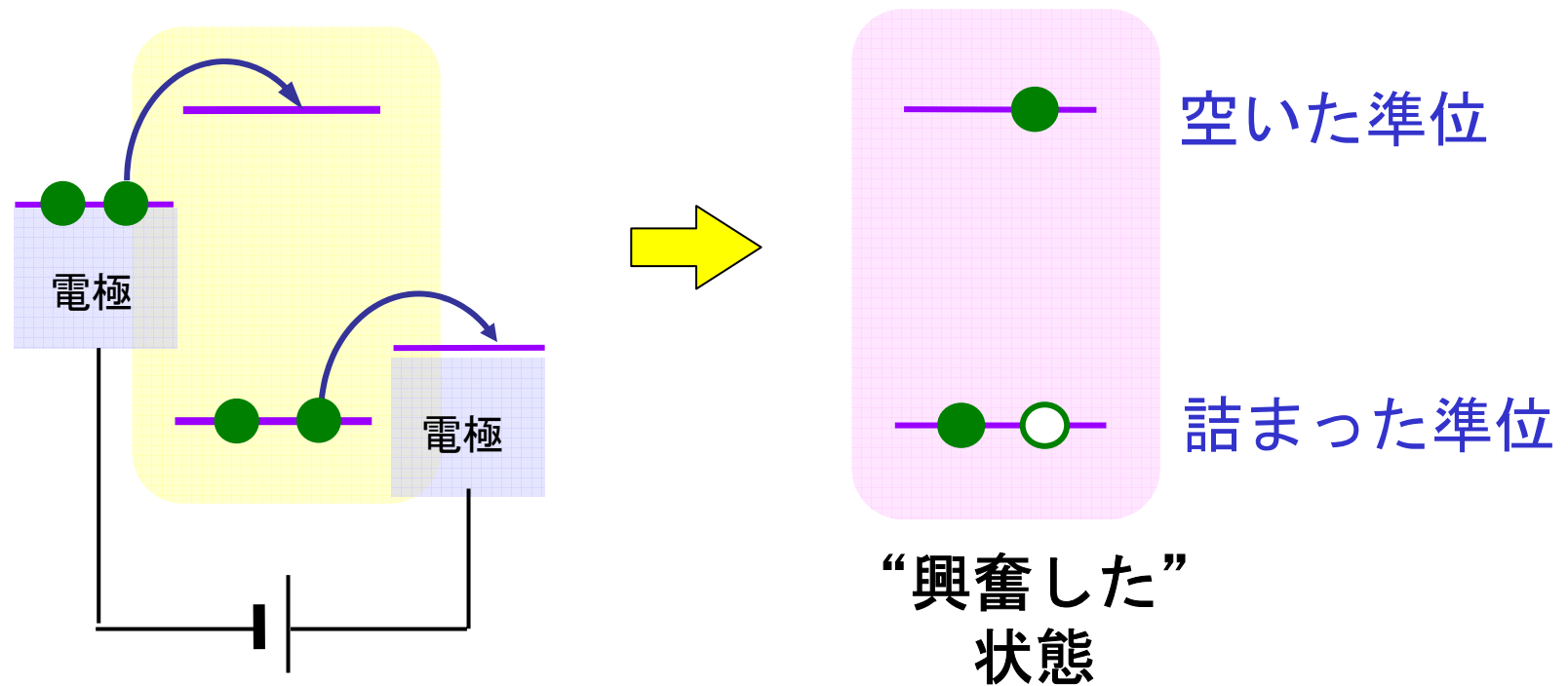


化学反応



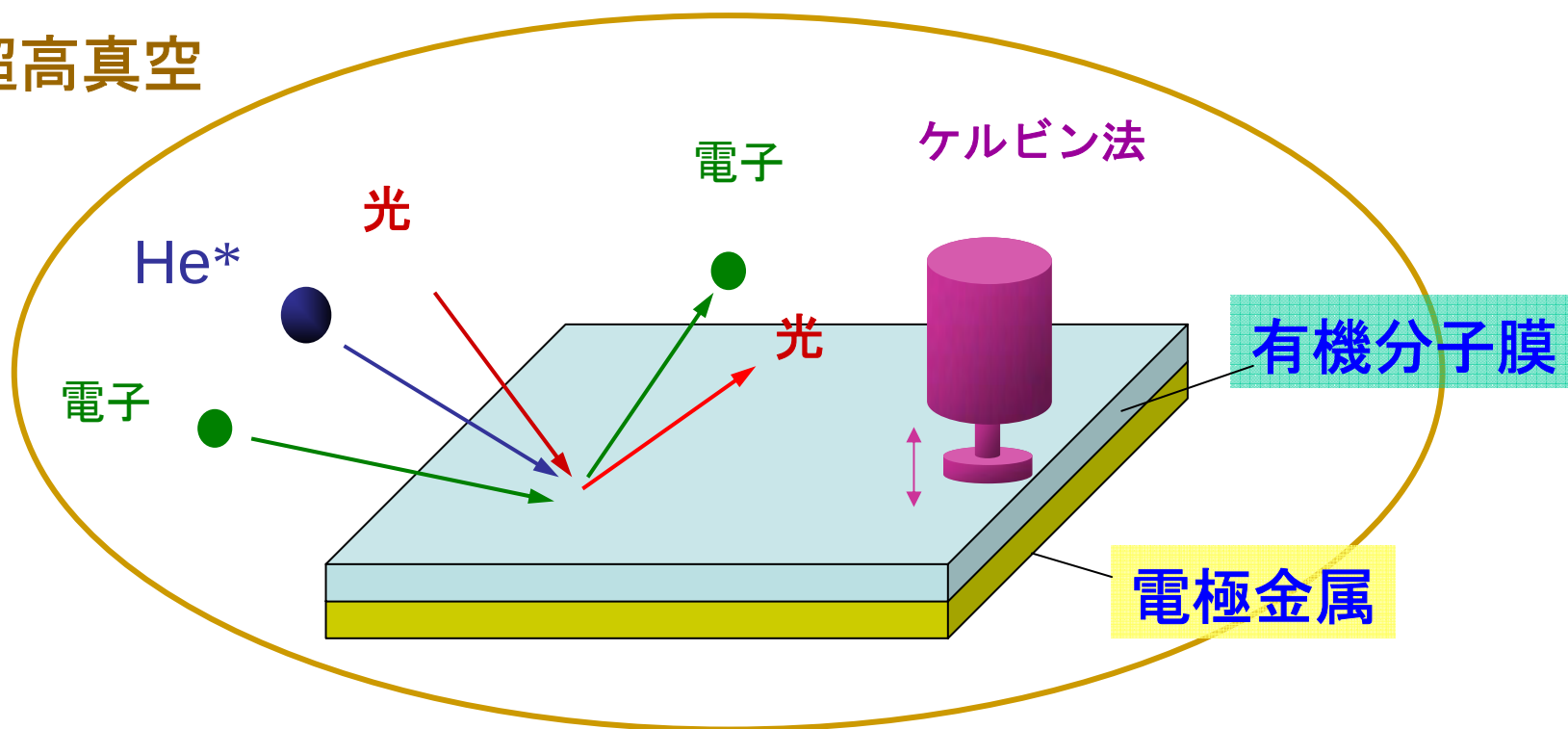
有機 EL素子では 直接電子を出し入れする

電極との電子の出入り

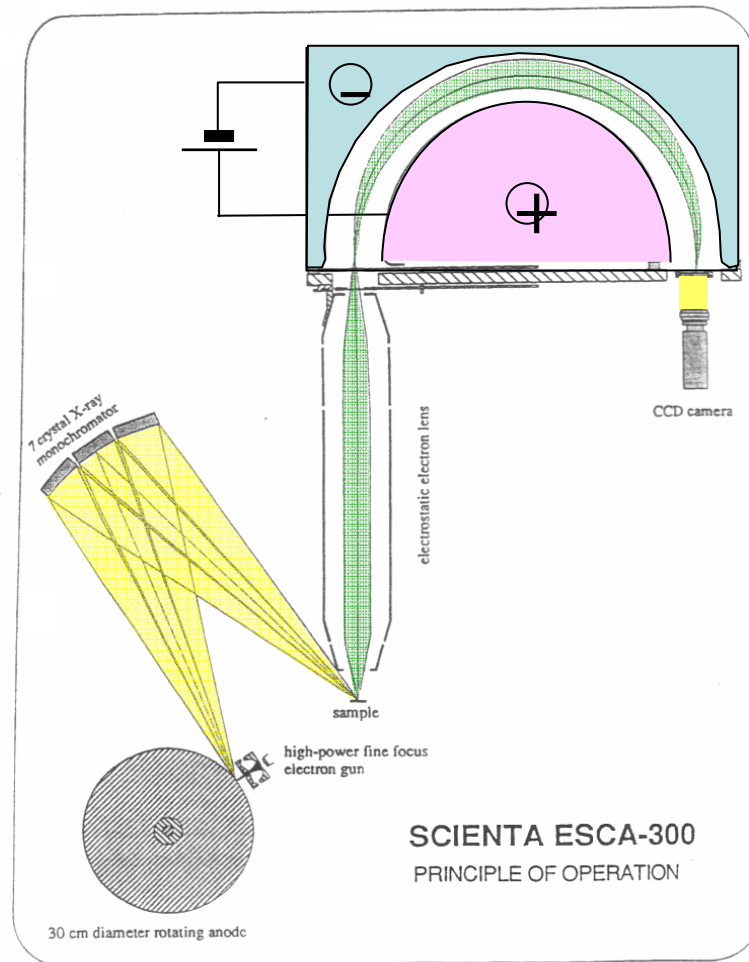
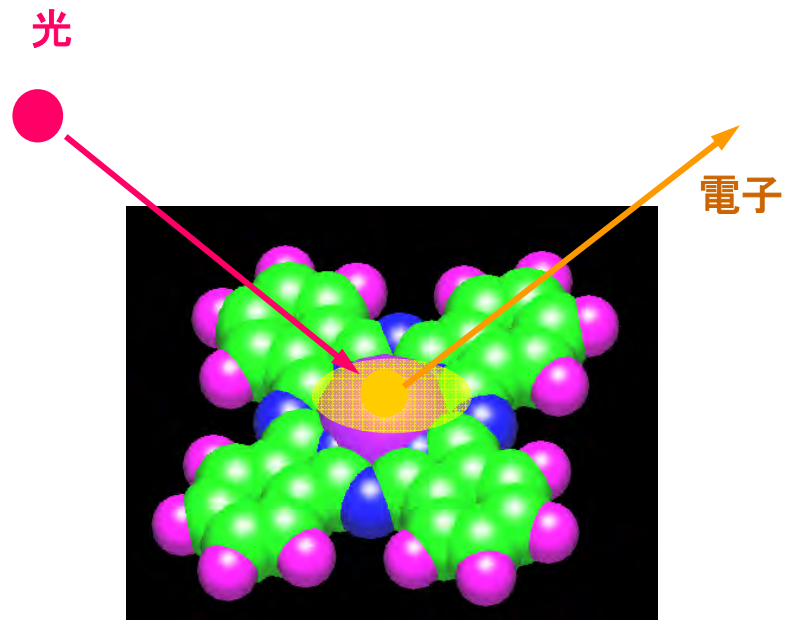


有機デバイス界面をさぐる

超高真空



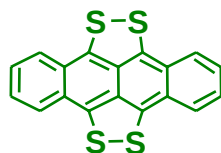
光で電子をキックアウトする



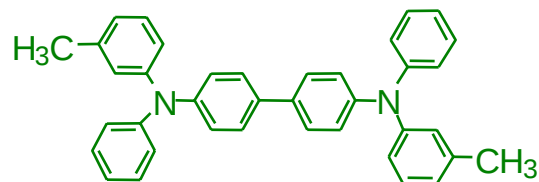
対象物質(小分子)

TTC

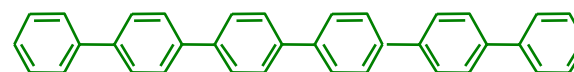
テトラチアナフタセン



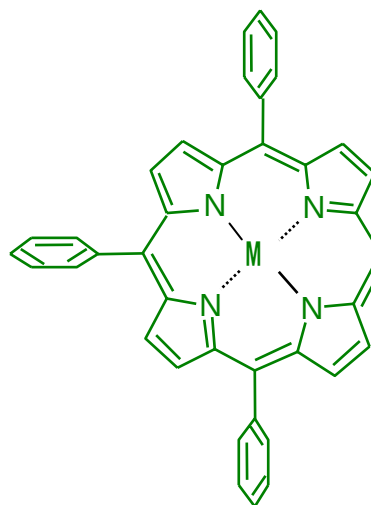
TPD



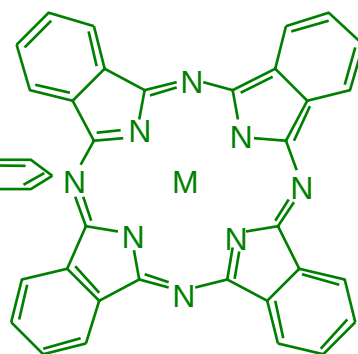
p-セクシフェニル (6P)



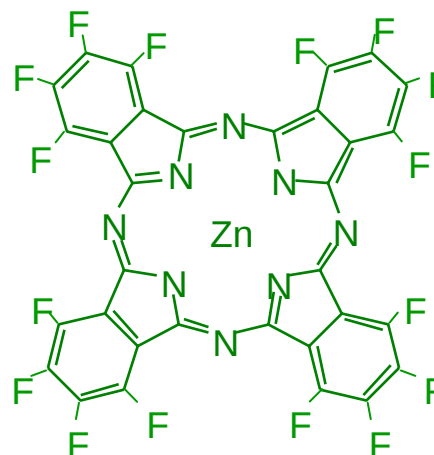
ポルフィリン



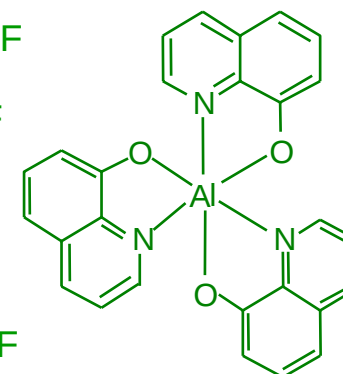
フタロシアニン



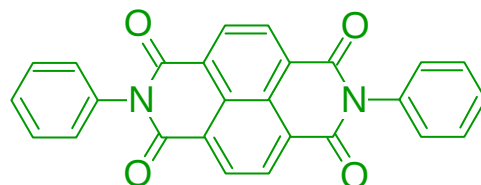
F₁₆ZnPc



Alq 3



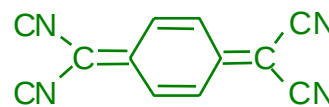
DP-NTCI



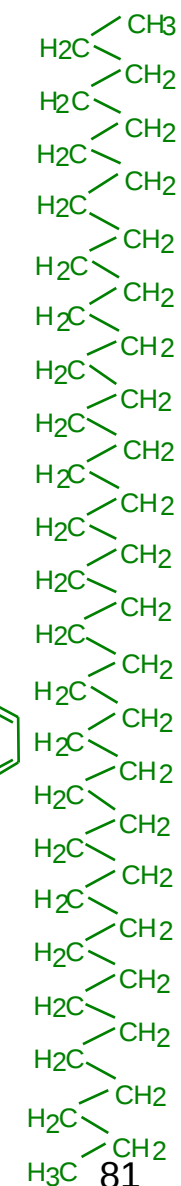
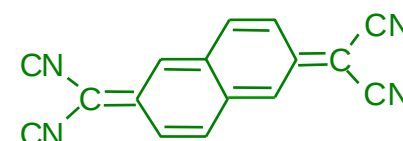
C 60



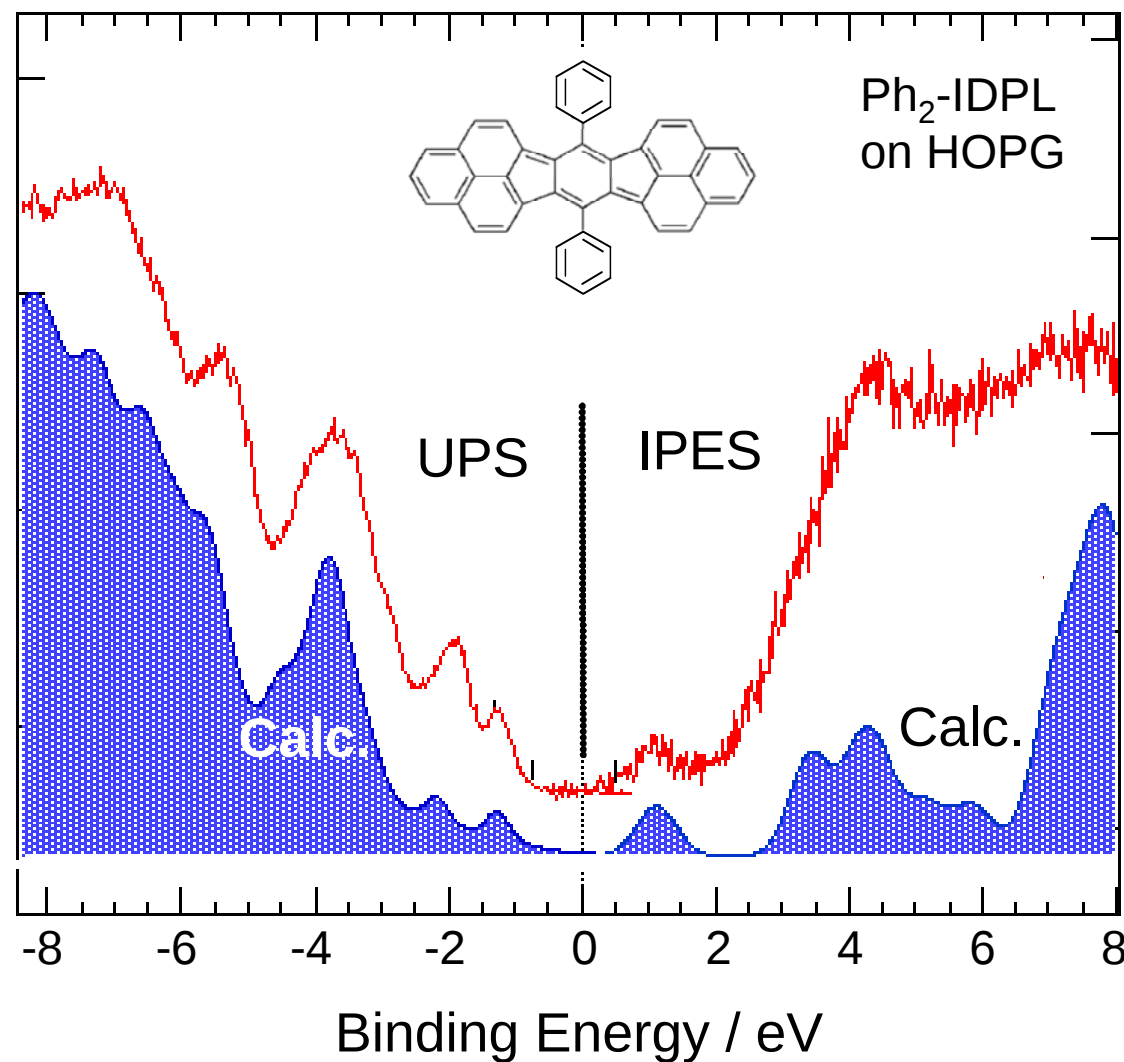
TCNQ



TNAP

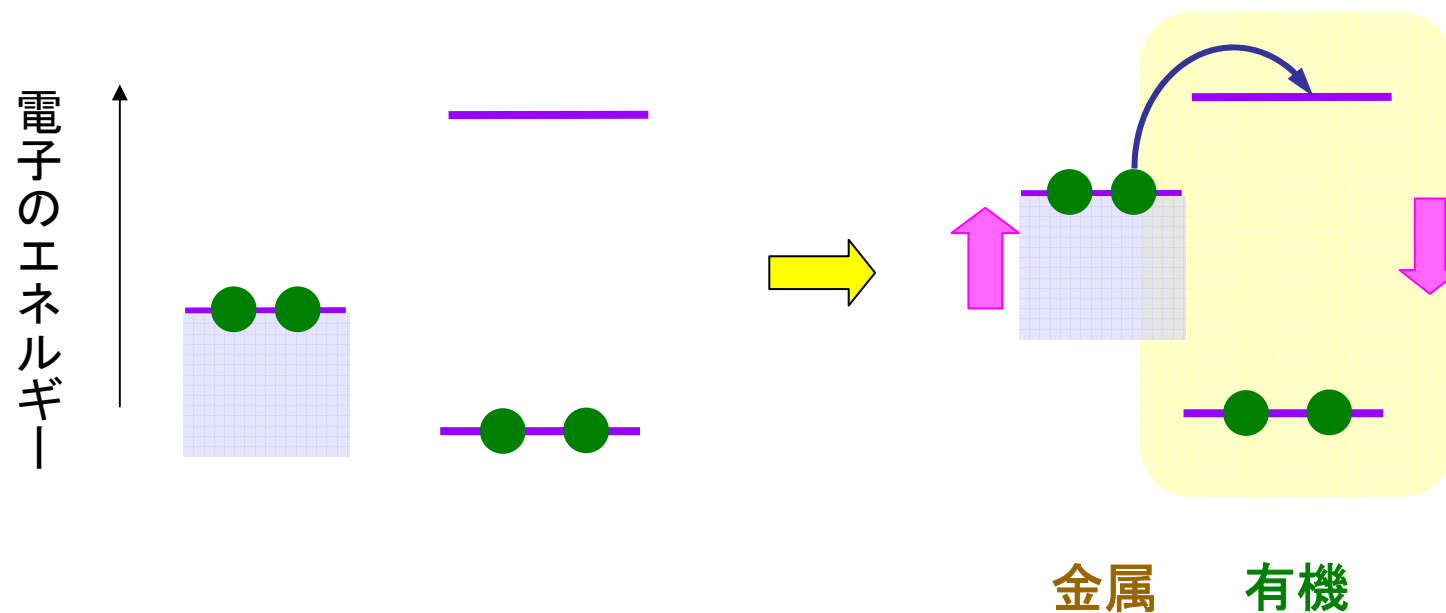
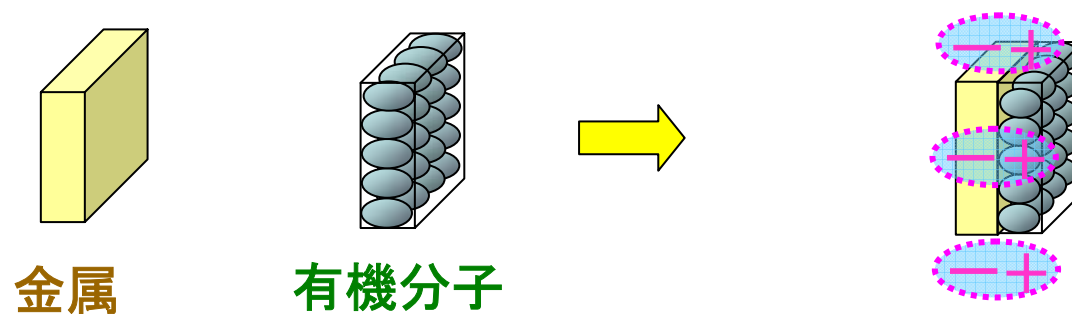


Ph₂-IDPLの詰まった準位と空いた準位



阪大
久保教授
中筋名誉教授

界面電気二重層の形成

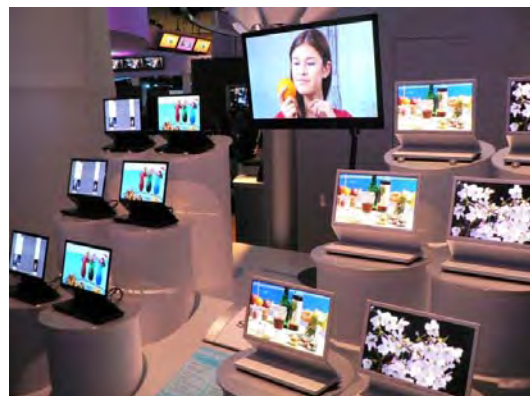


有機界面に新しい学術を拓く

- ・固体の表面に有機分子はどう並ぶか？
- ・電子の詰まり具合は？ 金属と有機分子の間にスムーズに電子がやりとりできるか？
- ・境目で化学反応が起こらないか？
- ・デバイスの寿命はどう決まり、どう改善できるか？

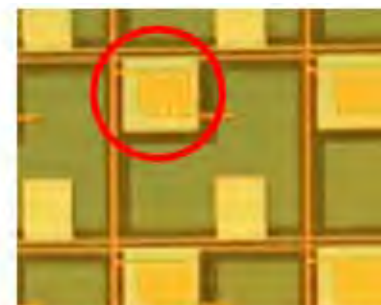
より広い有機エレクトロニクスへの展開

有機 EL 素子



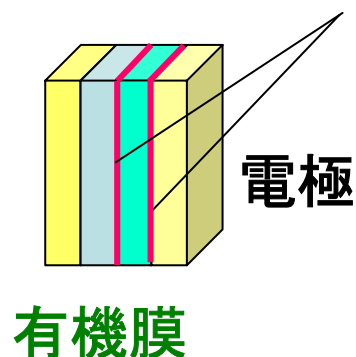
(SONY)

有機太陽電池 有機トランジスター



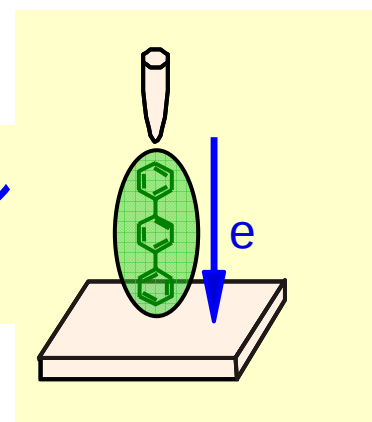
多層膜

電極



界面が重要

分子スケール
デバイス

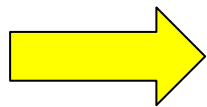


研究室メンバー



大学とは、考え方、知恵の習得の仕方を
学ぶところ。

理系・文系という区別は、受験対策にすぎない。
両方の健全な基礎知識が合理的思考を養い、
ニセ科学の横行などのない健全な社会をつくる。



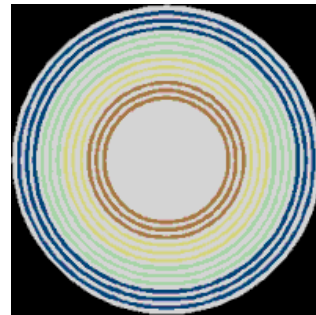
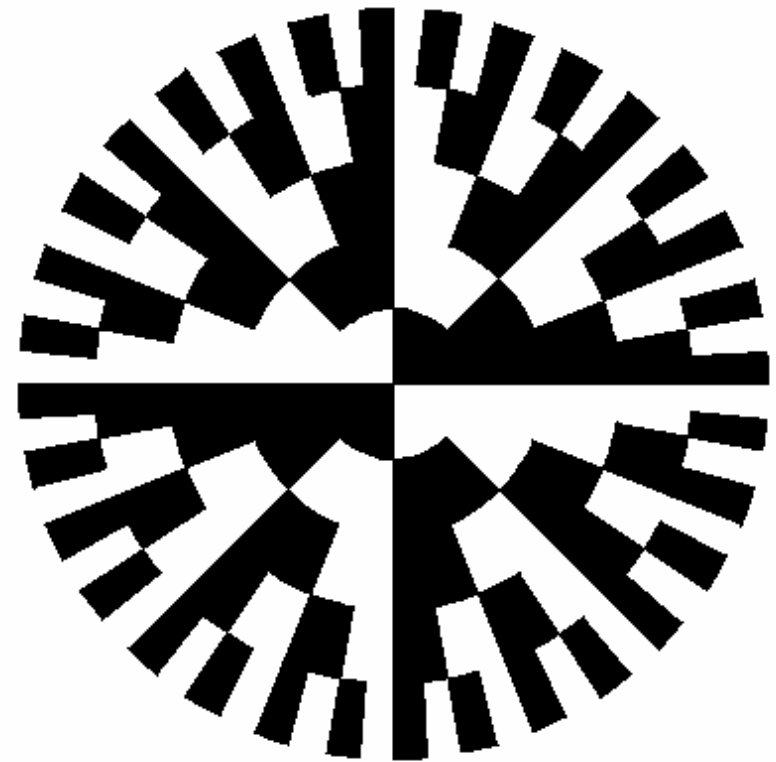
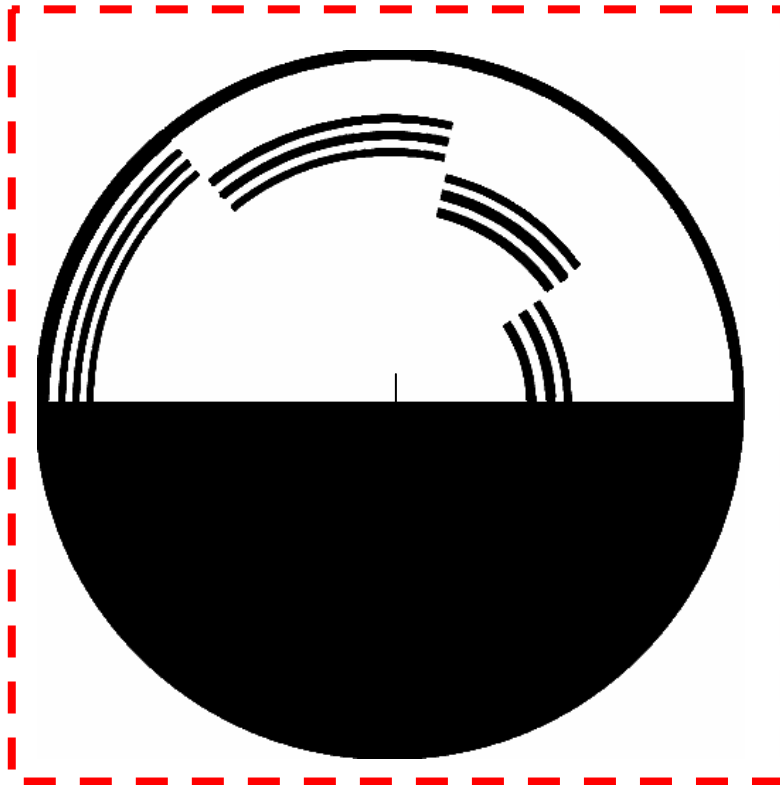
元村有希子氏(毎日新聞記者)
「文理の壁を超えて」

色とは

光の刺激で人間が受ける感覚である。

ベンハムのコマ、大魔王のコマ

Benham's Disk



<http://ww8.tiki.ne.jp/~takam/>

<http://www.procreo.jp/labo/labo1089ml>

コマの作り方

