

# 基礎から学ぶ光物性

第1回Introductory :

分析・計測・観察・評価の基礎としての「光物性」



東京農工大学特任教授  
佐藤勝昭

## この講義で学ぶこと

- 物質科学、生命科学などでは、対象とする物質や生体物質のcharacterizationや機器分析のために光技術、とりわけ、分光技術を用います。
- この講義では、光物性を専門分野としない大学院生や研究者のために、光を用いて何がわかるのかについて入門的なお話しをします。

## 例題（答えは1つではありません）

1. 半導体のバンドギャップを光学的に決めるにはどうすればよいでしょうか
2. 化合物の組成を光を使って決めるにはどうすればよいでしょうか
3. 光を使って物質の結合状態を調べるにはどうすればよいでしょう
4. 光を使って金属錯体における金属の価数を決めるにはどうすればよいでしょう。
5. 光を使って半導体中の欠陥の面分布を可視化するにはどうすればよいでしょうか。

## 第1回の講義で学ぶこと

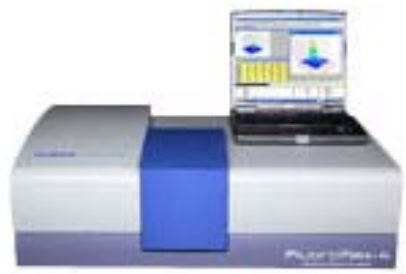
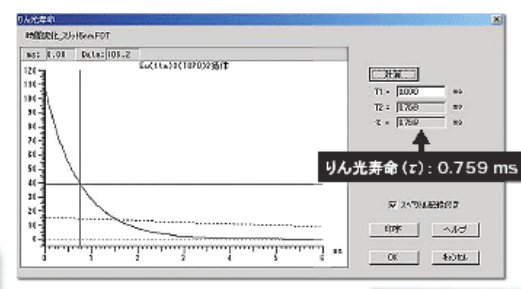
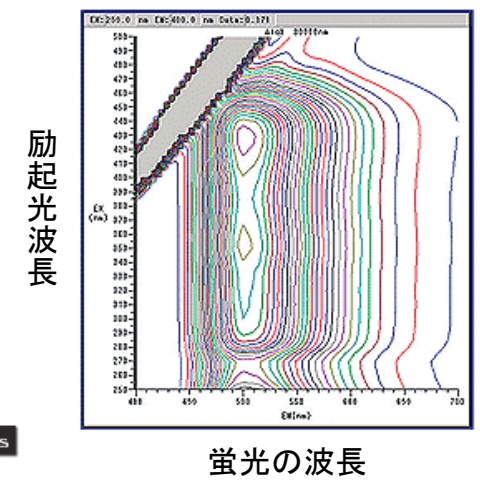
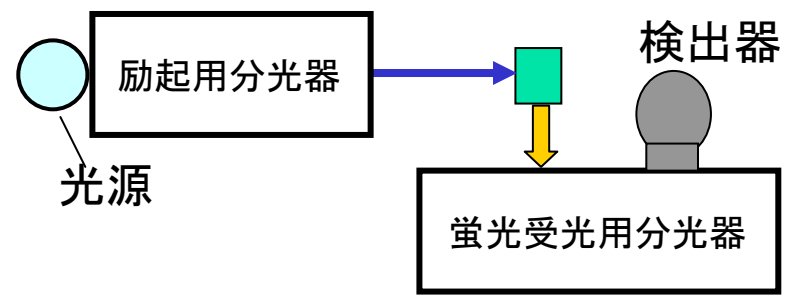
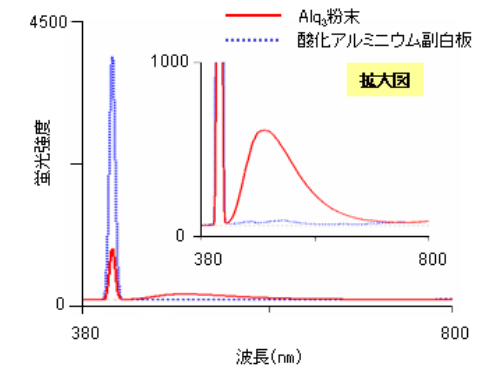
- ここでは、蛍光、ラマン散乱、赤外吸収、旋光性、円二色性、エリプソメトリ、などの光学現象が、現実の分析・評価の手段としてどのように使われているかを紹介し、その現象が、物質内のさまざまな励起（電子励起、フォノン、プラズモン）を反映していることを知って、光物性の重要性を実感していただきます。

# 知っていますか分光技術の原理と基礎

- ① 蛍光(PL)スペクトル、蛍光励起(PLE)スペクトル
- ② 透過スペクトル、光吸収スペクトル
- ③ FTIR、ラマン分光
- ④ エリプソメトリ
- ⑤ 円二色性・旋光性

# 蛍光・フォトルミネッセンス

- 多くの計測メーカーから蛍光分光装置が売り出されています。
- 蛍光のスペクトルを測定するだけでなく、蛍光の励起スペクトル、蛍光寿命の測定などが行われ、物質の同定などに使われます。



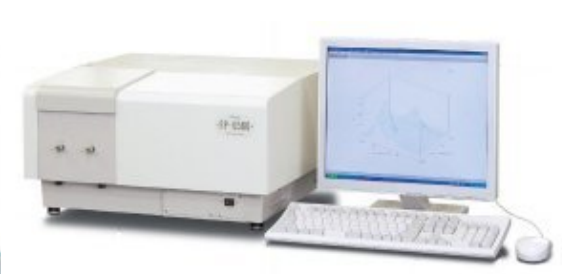
HORIBA 蛍光分光光度計



島津 蛍光分光光度計



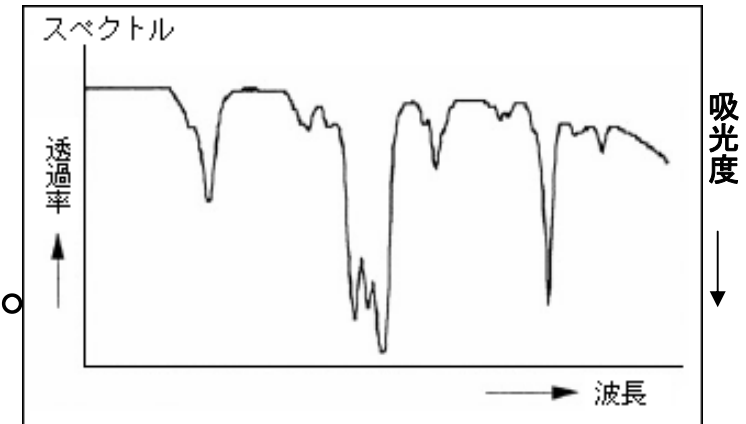
日立分光蛍光光度計



日本分光・分光蛍光光度計

# 分光光度計

- 透過率スペクトルから、吸光度を求めることができます。吸光度と濃度の関係を検量線として、分析に使う。これを化学の分野では、**比色分析**といいます。



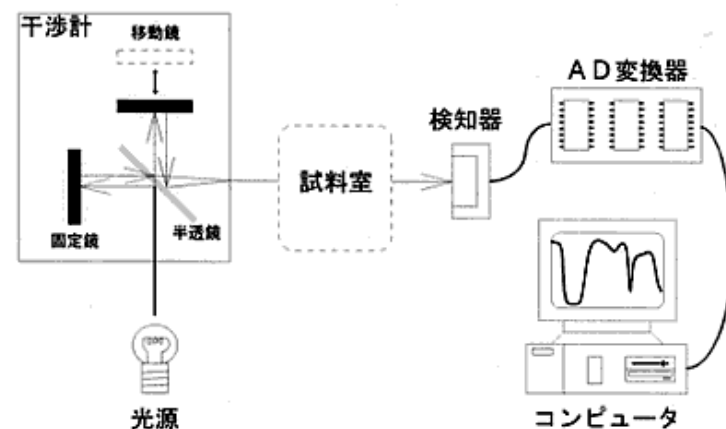
島津UV-Vis-NIR分光光度計



日立分光光度計

# FTIR赤外分光

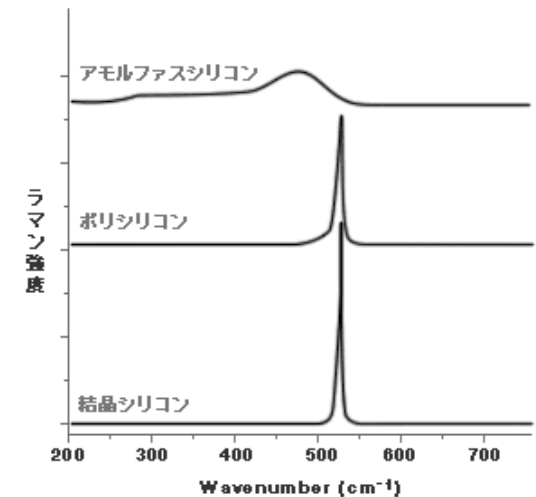
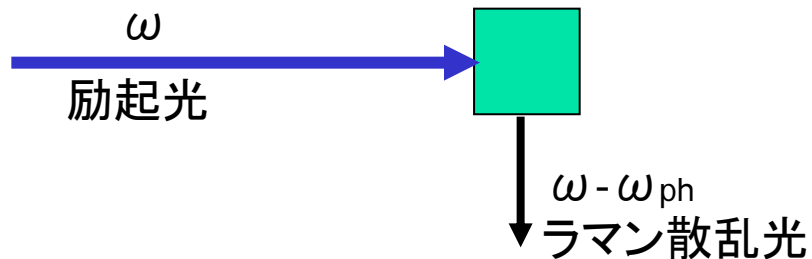
- 赤外線吸収からは格子振動の情報が得られます。
- 以前は、波長分散型赤外分光器が普通でしたが、最近ではFTIR(フーリエ変換赤外分光)が普通になりました。
- 原理は干渉計を使って得た干渉縞をコンピュータでフーリエ変換して分光する装置です。





# ラマン分光

- ラマン分光を用いるとラマン活性な分子振動や格子振動を検出でき、物質の同定、評価に利用できます。
- 赤外線吸収のスペクトルと補完的な情報が得られます。

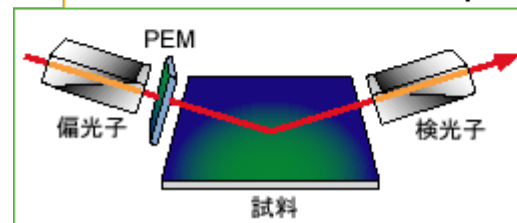
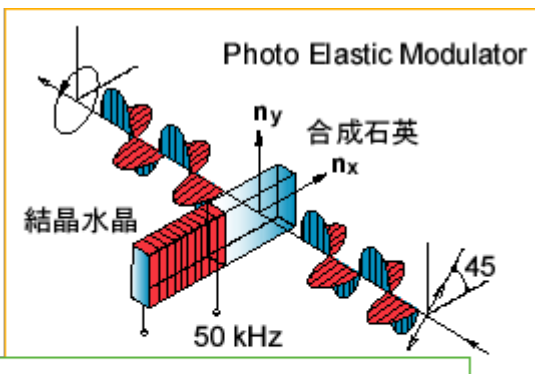


# 分光エリプソメータ

- 光の反射は、入射する光の入射角および偏光状態(p偏光、s偏光)によって変化します。
- sp偏光に対する反射の振幅比と位相差から、薄膜の屈折率や膜厚を得ることができます。

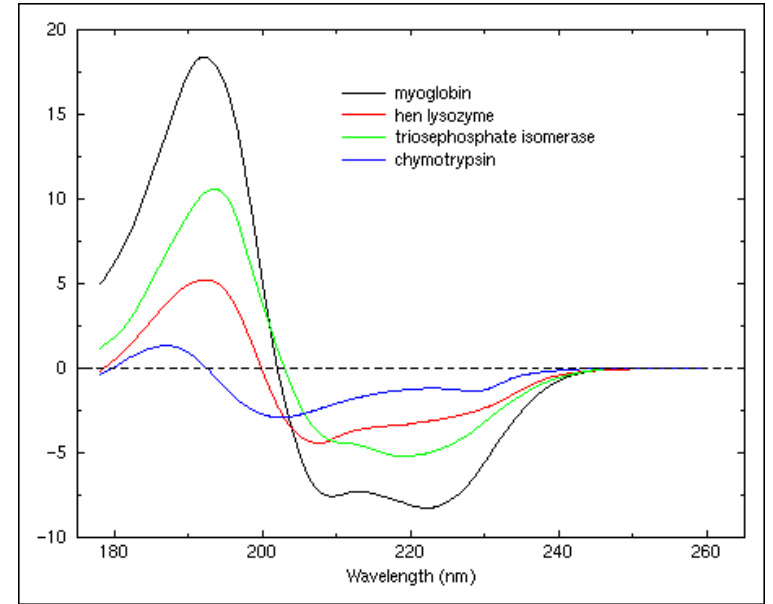


分光エリプソメータ(日本分光)



# 円二色性分散計

- 円二色性Circular dichroism (CD)とは、右回り円偏光の透過と左回り円偏光の透過の差のことです。この性質を測定すると、物質の持つ立体構造についての情報や、光学遷移に関係する電子状態の情報が得られます。

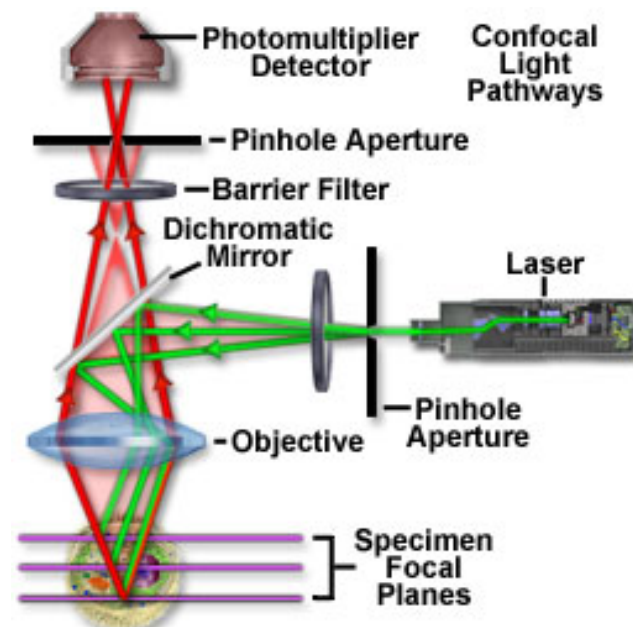


生体物質のCDスペクトル



# 顕微鏡

- 光学顕微鏡は古くて新しい最もよく用いられる観察手段です。ライフ系、化学系、金属系、半導体系などさまざまな分野で適切なものが用いられます。
- 最近では、共焦点レーザー顕微鏡の進歩によってライフサイエンス系の三次元観察が飛躍的に改善されました。



共焦点顕微鏡の原理

## これから学ぶこと

このように分析・評価・観察には

- ① 光吸収・透過、② 反射、③ 発光、④ 散乱、
- ⑤ 光音響、⑥ 光伝導、⑦ 光電子、⑧ 旋光性・  
円二色性、⑨ 干渉・回折

などさまざまな光学現象が使われています。この講義では、これらの現象が、どのように物質の性質を表しているかを、基礎に帰って学びます。

# これからなにを学ぶか(1)

- 第2回 光が物質中を伝わるとき：
  - 屈折率・消光係数とは？吸収係数・透過率との関係は？
  - 屈折率 $n$ 、消光係数 $\kappa$ がどのように定義された量であるかを電磁波の伝わり方をあらわす式を用いて説明します。
  - マクスウェルの方程式の固有解を求めることによって、光学定数と光学誘電率の関係を導きます。
- 第3回 光が物質の表面で反射されるとき：
  - 反射と屈折、反射と偏光 ここでは、物質による光の反射の現象を境界面での電磁波の伝わり方の問題であると捉え、境界面での連続性を考えることによって、斜め入射の反射率の偏光依存性を導きます。この現象をつかって、光学定数を求める「エリプソメトリ」についても触れます。

## これからなにを学ぶか(2)

- 第4回 レンズで集光したとき光スポットはどこまで小さくできるか: レンズの開口数、回折限界
  - レンズによる集光の回折現象。分解能の式を導きます。これから、ブルーレイディスクがDVDに比べ高密度に記録できる密度が高くなる訳を教えます。また、顕微鏡で液浸レンズを使うと分解能がなぜ上がるかについて述べます。
- 第5回 回折限界を超えて: 超解像、近接場
  - 回折限界を超えて微細なものを観察する手段としての超解像および近接場について学びます。特に、全反射系、狭窄光ファイバ系などによって近接場が発生できることを学びます。

# これからなにを学ぶか(3)

## ■ 第6回～第8回 物質と光の相互作用

- 3回にわけて光物性を学びます。
- 物質中を光が伝わる時、光は物質の電気分極の波と相互作用し、速度が遅くなります。これが1より大きな屈折率をもたらします。
- 固体や液体には格子振動や分子振動がありますが、正負の電荷の相対変位をともなうと、光と結合します。これがポラリトンです。また金属には自由電子があるので電荷の粗密波(プラズモン)が生じ、光と結合してプラズモンポラリトンになります。もちろん、イオンの中の電子励起、結晶のバンド間遷移なども相互作用します。



# これからなにを学ぶか(4)

- 第9回 蛍光(ルミネッセンス)から何がわかるか
  - フォトルミネッセンスとは何か。分子の蛍光。半導体の蛍光の機構。半導体の蛍光スペクトルからわかること。蛍光の励起スペクトル。蛍光の時間分解スペクトル。蛍光の偏光依存性・異方性。
- 第10回 光と磁気:ファラデー効果・磁気カー効果
  - 磁気旋光(ファラデー効果)・磁気円二色性(MCD)は、磁化をもつ物質の左右円偏光に対するレスポンスの差によって生じます。この効果のミクロなメカニズムには、物質の電子構造が関わっています。