

### 分散型分光器

入ロスリットと出ロスリットを備え、回折格子によって分散された光のうち、出ロスリットを通過する特定波長範囲の光のみを取り出す。出ロスリットの後に検出器を置き、回折格子を回転させて出射波長を変えながら光の強度を検出し、回転角度の関数としてスペクトルを得る。回折格子を回転させても常に入ロスリットの像が出ロスリットに結ぶように、反射鏡や回折格子の形状が決定されている。波長分解された入ロスリットの像が出ロスリットと同一面上に位置分解されて結ぶように設計すると、マルチチャンネル検出器を置くことによって、回折格子を固定したままでスペクトルを得ることができる。

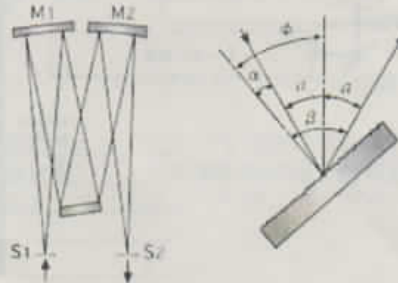
幾何光学を用いて設計できる

可視光から紫外線領域で有利

例：Czerny-Turner 型分光器  
平面グレーティング  
凹両鏡2枚

$$n\lambda = d(\sin \alpha + \sin \beta)$$

波長 $\lambda$ 、刻線密度 $d$



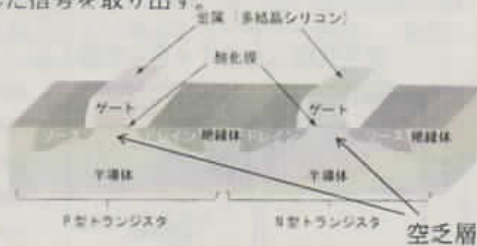
<http://www.jp.jobinyvon.horiba.com>より

電荷結合素子 (charge coupled device、CCD) :

金属(metal) - 酸化物(oxides) - 半導体(semiconductor)の接合 (MOS接合) による。半導体側に電荷分離によって生じた電荷を、酸化物層のポテンシャル障壁で閉じ込めて蓄積し、その上の金属電極に加えるバイアス電圧を変化させることによって入射光量つまり蓄積電荷量に比例した信号を取り出す。

MOSFET(MOS field-effect transistor)

N型MOSFETの場合、ゲート (金属) にしきい値を超える正電圧を印加して酸化物と半導体の界面に十分な電子が誘起されると、ソース電極とドレイン電極の間に電流が流れる。P型MOSFETの場合にはゲートに負電荷を印加してホールを用いる、



<http://jp.fujitsu.com>より

CMOS(Complementary MOS) :

P型MOSFETとN型MOSFETを一つのシリコンチップ上に集積して構成される。CMOSによるLSIが主流である。ゲート側をフォトダイオードにすると、光によって発生するゲート電圧を現出することが可能となる。LSI用に大量生産されているのでCCDよりも低価格であり、かつ低消費電力であるため各種家電製品の光検出に広く利用されている。

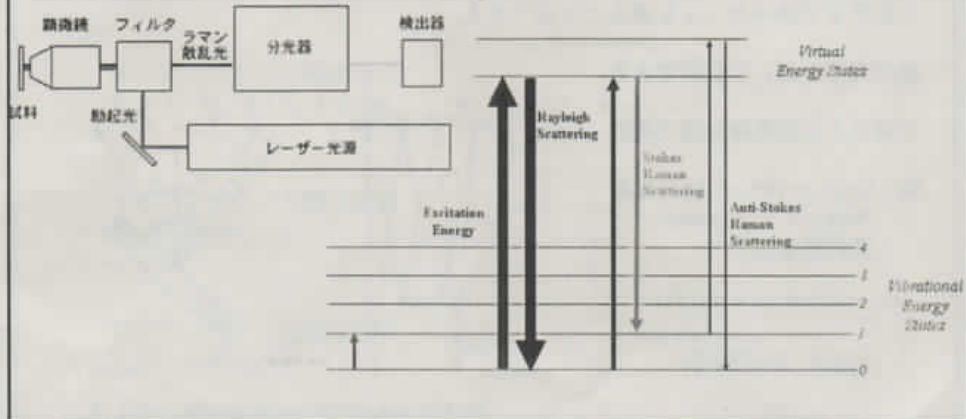
光の熱を利用する光検出 :

熱に変換された光エネルギーを電気信号として取り出す熱電対、ボロメーター、焦電素子などの検出器は、赤外から遠赤外領域でよく用いられる。焦電素子では、焦電体表面の電荷が温度に依存することを利用する。PZT(ジルコン酸チタン酸鉛)、LiTaO<sub>3</sub>(タンタル酸リチウム)など。

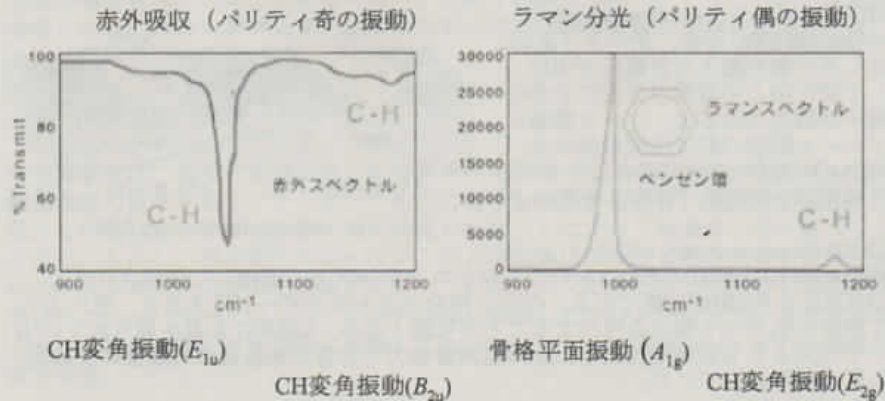
## 物性実験への応用

### ラマン分光：

振動している分子や固体によって光が散乱されると、もとの光と振動数の異なる光が放出される。分子振動の振動数はその分子によって特有であるので、理想的な単色光源のレーザーによって物質の同定などに利用されている。2次の光学過程であり、始状態から中間状態へと双極子遷移を行い、さらに中間状態から終状態へと双極子遷移を行う過程である。



### ラマン分光（2次の光学過程）と赤外吸収（1次の光学過程）



CH変角振動( $E_{1u}$ )

CH変角振動( $B_{2u}$ )

骨格平面振動( $A_{1g}$ )

CH変角振動( $E_{2g}$ )

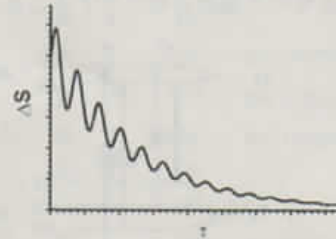
<http://www.nanophoton.jp>

<http://www.jp.jobinyvon.horiba.com>より

### ポンプ・プローブ分光：

ピコ秒( $10^{-12}$ 秒)やフェムト秒( $10^{-15}$ 秒)のパルス光(ポンプ光)で分子や固体を励起し、ある遅延時間後の吸収率や反射率などをプローブ光で観測する。例えば、ポンプ光によって振動が励起された場合には、その時間周期でプローブ光の吸収率が振動する様子が観測される。

ポンプ光で励起された状態が高速で緩和する様子をプローブすることができる。ポンプ光とプローブ光の時間差は、レーザーの出力を同期させておいて、光路差を変えることによって変化させる。右の図では、横軸はポンプ光とプローブ光の時間差であり、縦軸はプローブ光で計測した反射率や吸収率の变化分である。



ポンプ光とプローブ光の時間差

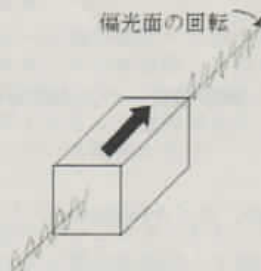
### パラメトリック発振器

ある周波数のレーザー光から周波数可変のコヒーレント光を発生させるために、光共振器の空洞内に非線形性の高い結晶を置いて、別の周波数の光と位相整合させる)によって、周波数の異なる2つのレーザー光によってポンプ・プローブ分光を行うことができる。

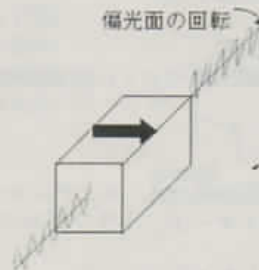
### 磁気光学効果の実験

#### ファラデー効果：

磁化させた試料に直線偏光を通すと磁化の大きさに比例して、光の偏光面が回転する。光の進行方向と磁化とが同一直線上にある場合をファラデー配置、光の進行方向と磁化の向きが直交するような場合をフォークト配置と呼ぶ。



ファラデー配置



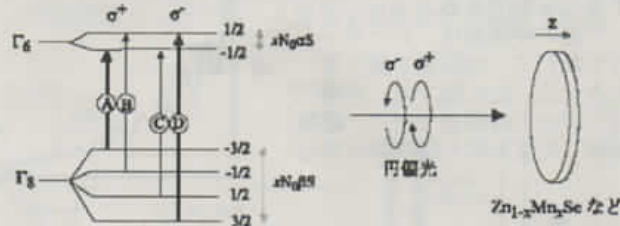
フォークト配置

#### 磁気カー効果：

磁化した試料に直線偏光の光が入射すると、主軸の向きが入射直線偏光の向きから傾いた楕円偏光が反射してくる。光が透過しない物質の磁化を測定することが可能。

### 磁気円二色性：

磁化した試料に円偏光の光を入射すると、右回り偏光と左回り偏光で吸収スペクトルが異なる。また、入射光は右回り（または左回り）偏光に固定して磁化を反転させると、同様に異なる吸収スペクトルが得られる。ちょうどよい波長を選択すると、磁化を反転することによって、右回り（または左回り）偏光の光を透過させたり遮断させたりすることが可能となる。



### 円偏光の発生：

可視光領域では円偏光フィルタ（直線偏光フィルタ+1/4波長板）を用いる。真空紫外線・X線領域では、放射光施設で、電子をらせん状に運動させるアンジュレーターを用いて円偏光を発生させる。

## 4.5 電気回路・コンピューターの利用

### 電気回路（アナログ回路）の利用

(1) 実験装置からの出力信号の増幅や処理  
光電子増倍管などの検出器からの出力を増幅してカウントしやすくする際に利用する。検出器から出力されるパルス信号の形状や幅、ノイズの状況などを考慮して増幅回路のパラメーターを決定する。

(2) 実験装置の制御  
フィードバック制御回路やPID制御回路によって、実験装置への入力信号を制御に利用する。

### 電気回路の素子

線形素子 抵抗(resistor)、コンデンサー(capacitor)、コイル(inductor)、トランス  
非線形素子 ダイオード、トランジスタ、FET

### 電気回路でよく使われるモジュール

オペアンプ (operational amplifier) :  
+と-の入力端子と出力端子を持つ。+と-の入力端子の電圧は常に等しい。

実際に電気回路で使用する場合には、低格電圧、温度特性、高周波対応、大電力対応などに注意して適切な素子やモジュールを選定する。

**抵抗**

有効数字 乗数 許容差  
二桁

**色 数値 乗数 許容差(記号)**

黒	0	1	-
茶	1	10	±1%(F)
赤	2	10 <sup>2</sup>	±2%(G)
橙	3	10 <sup>3</sup>	±0.05%(W)
黄	4	10 <sup>4</sup>	-
緑	5	10 <sup>5</sup>	±0.5%(D)
青	6	10 <sup>6</sup>	±0.25%(C)
紫	7	10 <sup>7</sup>	±0.1%(B)
灰	8	10 <sup>8</sup>	-
白	9	10 <sup>9</sup>	-
銀	-	10 <sup>-2</sup>	±10%(K)
金	-	10 <sup>-1</sup>	±5%(J)
無色	-	-	±20%(M)

**ノイズ対策**  
抵抗内の電子の不規則な熱運動によって発生する熱雑音は回路内のノイズ源となる。  
抵抗値をより小さくすることで抑えることができる。

**コンデンサー**

回路ではμF, pF程度の容量のものが多く使用される。直流成分のデカップリング、平滑回路、フィルター共振回路などに使用される。

**コイル**

コンデンサーと組み合わせて、フィルター共振回路などに使用される。

**トランス**

2つのコイルからなる、交流の電圧を変換する。

**ハイパスフィルター**

**ローパスフィルター**

**ダイオード**  
P型半導体とN型半導体を接合させたもの。整流に利用することが多い。フォトダイオードは光の検出に利用される、発光ダイオードはフォトカプラーにも利用される。

ダイオード 発光ダイオード(LED) ツェナーダイオード

**トランジスタ**  
P型半導体-N型半導体-P型半導体のPNP型トランジスタ、N型半導体-P型半導体-N型半導体のNPN型トランジスタがある。半導体両極にコレクタ・エミッタ電極があり、間にはさまれた半導体にベース電極がある。

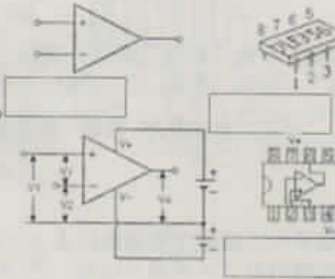
コレクタ  
ベース  
エミッタ  
NPN型トランジスタ PNP型トランジスタ

**電界効果型トランジスタ (FET)**  
トランジスタが電流制御により動作するのに対し、FETは電圧制御で動作する。両端にドレイン・ソース電極があり、その間の空乏層にゲート電極がある。ゲート電極の電圧によって空乏層のキャリア密度を制御する。

NチャネルFET PチャネルFET

## オペアンプの利用

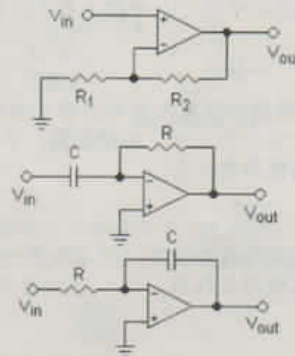
定常状態では、+と-の入力端子の電圧が等しいか、入力端子に流れ込む電流がゼロとして、入力電圧と出力電圧の関係を導く。+と-の入力端子の電圧が常に等しいため（イマジナルショート）、+入力端子が接地されている場合は-入力端子が接地されているとして、-入力端子に接続されている信号入力の入力インピーダンスを求める。



オペアンプによる増幅回路  
 $V_{out} = (1 + R_2 / R_1) V_{in}$  となる。

オペアンプによる微分回路  
 $V_{out} = -RC \, dV_{in} / dt$

オペアンプによる積分回路  
 $V_{out} = -1/RC \int V_{in} \, dt$



## コンピューターの利用

### (1) 実験装置からの出力信号の分析・記録

光電子増倍管などの検出器からの出力を分析・記録する際、アナログの出力を適度に増幅した後、ADコンバーターによってデジタル信号に変換して、コンピューターで分析・記録を行うことが多い。

### (2) 実験装置の制御

物理実験では、温度や真空度などの実験条件を制御することが多い。例えば、温度計からの出力信号を使ってヒーターへの入力信号を制御する場合、設定値の電圧と出力電圧との差によるPID制御の電気回路を組むことによって温度を一定に保つことができる。しかし、温度変化のシーケンスなどが複雑になると、コンピューターにシーケンスをあらかじめプログラムしておき、コンピューターからのデジタル信号をDAコンバーターによってアナログ信号に変換してヒーターに入力、温度計からのアナログ信号をデジタル信号に変換してコンピューターに読み込む。という作業が必要となる。