

物性物理学特論A第11回

—磁気光学効果の測定法—

佐藤勝昭

慶應義塾大学講師(非常勤)

東京農工大学名誉教授・工学府特任教授

(独)科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究事業さきがけ

「革新的次世代デバイスを目指す材料とプロセス」研究総括

今回学ぶこと

- 今回(第11回)は磁気光学効果の測定法を学びます。
- 今回は、実験が中心になるので、理論研の学生には、難しいかも知れません。実験系の学生には分かりやすいと思います。

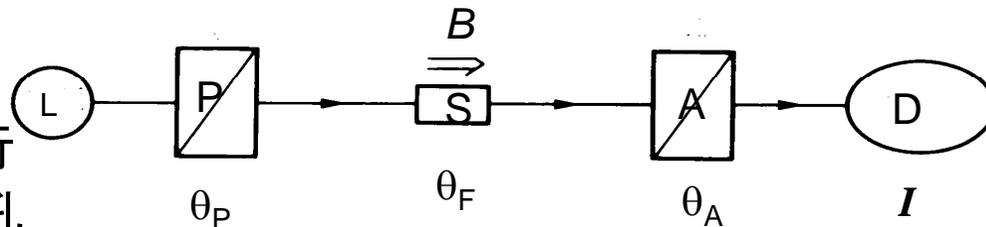
磁気光学効果の測定法

- 今回は「光と磁気」第5章にそって、磁気光学効果の具体的な測定の方法について述べます。
- ここでは、単に測定の方法を示すだけでなく、その原理についての理解が得られるように配慮しました。
- 原理を知っていると測定法を改善したり、さらに広い応用を考えたりするときの助けになります。
- 最初はスペクトルのことは考慮せず述べ、続いて分光測定の方法を述べます。
- 最後に測定によって得られたデータからどのようにして誘電率などのパラメータを計算するかについて述べます。

- 直交偏光子法
- 振動偏光子法
- 回転検光子法
- ファラデー変調法
- 楕円率の評価
- 光学遅延変調法
(円偏光変調法)
- スペクトル測定システム

直交偏光子法(クロスニコル)

- 最もオーソドックスな磁気旋光角の測定法です。
- 図5.1(a)に示した構成で行われます。試料を磁極に孔をあけた電磁石の磁極の間に置き、光の進行方向と平行に磁界が印加されるように配置します。



$$\theta_P = \theta_A + \pi/2$$

図5.1(a)

直交偏光子法の概略図。L:光源、P:偏光子、S:試料、A:検光子、D:検出器

- 偏光子Pと検光子Aを用意し、磁界のないときに光検出器Dの出力が最小になるようAの角度を調整して、そのときの目盛 θ_0 を読み取ります。
- 次に磁界Hを印加して、Dの出力を最小とするAの目盛 θ_H を読み取り $\theta_H - \theta_0$ を計算すると旋光角が得られます。読みとりの精度はAの微調機構の精度で決まり、あまり小さい旋光角を測定することはできません。

直交偏光子法の説明

- 検出器に現れる出力 I は、偏光子の方位角を θ_P 、検光子の方位角を θ_A 、ファラデー回転を θ_F とすると、

$$I = I_0 \cos^2(\theta_P + \theta_F - \theta_A) \quad (5.1)$$

と表されます。ここに θ_P 、 θ_A はそれぞれ偏光子と検光子の透過方向の角度を表しています。直交条件では、 $\theta_P - \theta_A = \pi/2$ となるので、この式は

$$I = I_0 \sin^2 \theta_F = (I_0/2)(1 - \cos 2\theta_F) \quad (5.2)$$

となります。 θ_F が磁界 H に比例するとき、 I を H に対してプロットすると図5.1(b)のようになります。

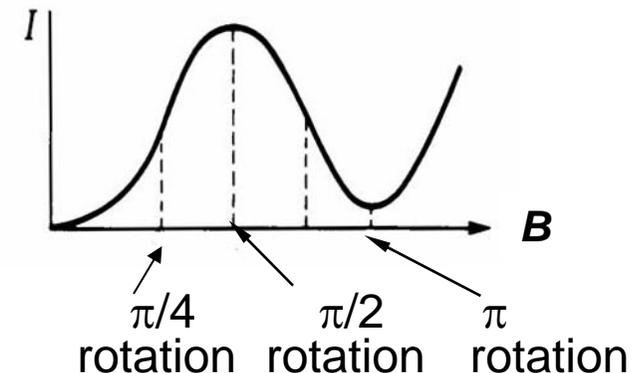


図5.1(b) 直交偏光子法における検出器出力の磁界強度依存性)

直交偏光子法（強い磁界下で）

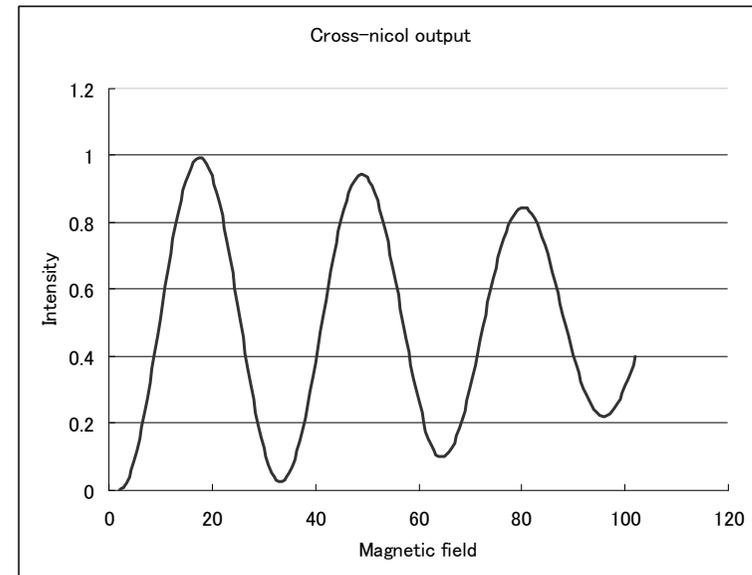
- θ_F が π の整数倍のとき出力 I/I_0 は0、 $\pi/2$ の奇数倍のとき1になるはずですが、実際には、図のように右上がりの曲線となりますが、何故でしょうか。

●これは、磁気円二色性があるためです。磁気円二色性のため出力光は楕円偏光になるため、検光子が楕円の長軸に直交していても、楕円の短軸の成分が検光子を透過して来るためです。

●図は、

$$I/I_0 = (1 - (\beta H l)^2) \sin^2 \alpha H l + (\beta H l)^2 \cos^2 \alpha H l$$

として近似したものです。



回転検光子法

- 回転検光子法は、偏光子、または、検光子のいずれかを回転させる方法です。
- 図5.2には偏光子Pを固定し、検光子Aを一定速度で回転させる場合を示してあります。

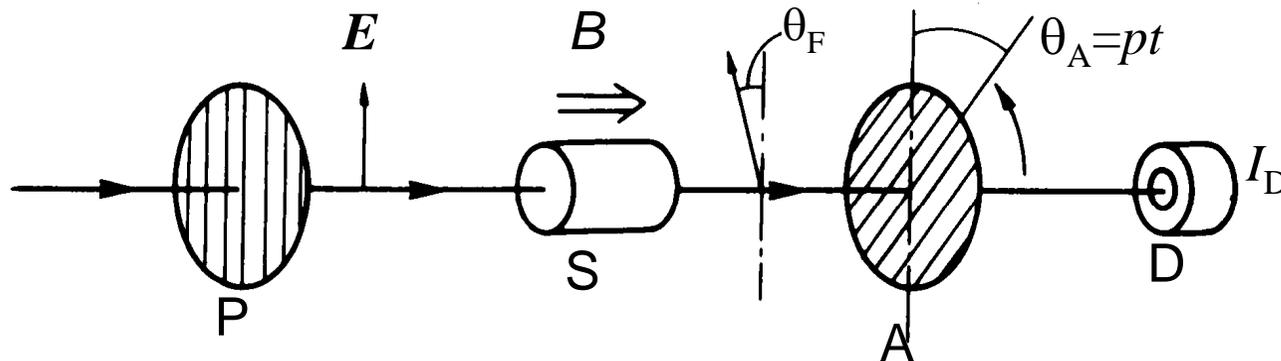


図5.2 回転検光子法の説明図。P:偏光子、S:試料、A:回転検光子、D:検出器

回転検光子法

- 検光子が角周波数 p で回転するならば, $\theta_A = pt$ と書けますから, 検出器出力 I_D は,

$$\begin{aligned} I_D &= I_0 \cos^2(\theta_F - \theta_A) \\ &= (I_0/2) \{1 + \cos 2(\theta_F - pt)\} \end{aligned} \quad (5.3)$$

と表されます.

- すなわち, 光検出器Dには回転角周波数の2倍の角周波数 $2p$ の電気信号が現れます. 求めるべき回転角 θ_F は, 出力光の位相が, 磁界ゼロの場合からのずれの大きさ ψ を測定すれば, $\psi/2$ として旋光角が求まります.

振動偏光子法

- 図5.3のように偏光子と検光子を直交させておき，偏光子を

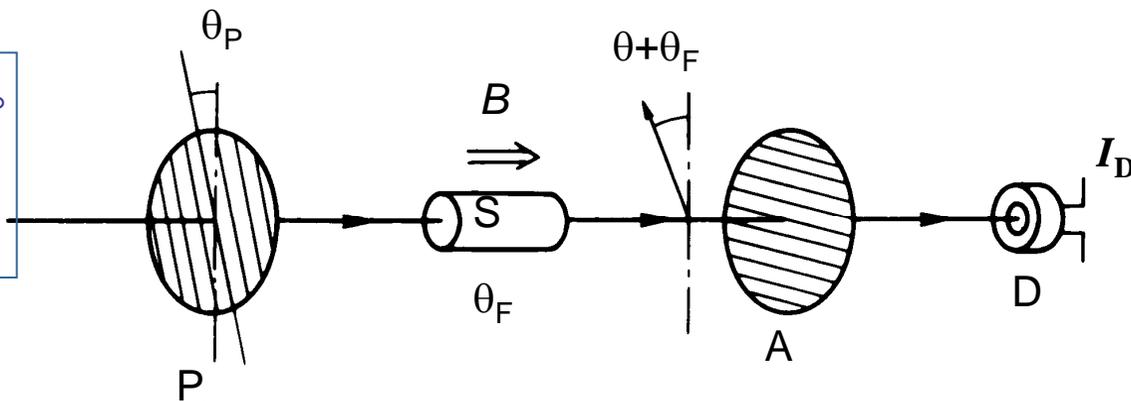
$$\theta = \theta_0 \sin pt \quad (5.4)$$

のように小さな角度 θ_0 の振幅で角周波数 p で振動させると，信号出力 I_D は

$$\begin{aligned} I_D &\propto I_0 \sin^2(\theta + \theta_F) \\ &= I_0 \{1 - J_0(2\theta_0) \cos 2\theta_F\} / 2 - I_0 J_2(2\theta_0) \cos 2\theta_F \cdot \cos 2pt + I_0 J_1(2\theta_0) \sin 2\theta_F \cdot \sin pt \end{aligned} \quad (5.5)$$

となります．ここに， $J_n(x)$ は n 次のベッセル関数です。

図5.3 振動偏光子法の説明図。
P: 振動偏光子(方位角 θ_p)、S: 試料(ファラデー回転 θ_F)、A: 検光子、D: 検出器(出力 I_D)



[参考]

- 式(5.5) を誘導してみましょう。

$$\begin{aligned} I_D &\propto I_0 \sin^2(\theta + \theta_F) = (I_0/2)\{1 - \cos 2(\theta + \theta_F)\} = (I_0/2)\{1 - \cos 2(\theta_0 \sin pt + \theta_F)\} \\ &= (I_0/2)\{1 - (\cos(2\theta_0 \sin pt)\cos 2\theta_F - \sin(2\theta_0 \sin pt)\sin 2\theta_F)\} \\ &= (I_0/2)\{1 - ((J_0(2\theta_0) + 2J_2(2\theta_0)\cos 2pt)\cos 2\theta_F - 2J_1(2\theta_0)\sin pt \sin 2\theta_F)\} \\ &= I_0 \{1 - J_0(2\theta_0)\cos 2\theta_F\} / 2 - I_0 J_2(2\theta_0)\cos 2\theta_F \cdot \cos 2pt + I_0 J_1(2\theta_0)\sin 2\theta_F \cdot \sin pt \end{aligned}$$

ここで、次のベッセル関数による展開式を用いました。

$$\sin(x \sin \phi) = 2J_1(x)\sin \phi + \dots$$

$$\cos(x \sin \phi) = J_0(x) + 2J_2(x)\cos 2\phi$$

振動偏光子法の説明(cont)

- θ_F が小さいとき,
 - 角周波数 p の成分 $I(p)$ が光強度 I_0 および θ_F に比例し,
 - 角周波数 $2p$ の成分 $I(2p)$ はほぼ光強度 I_0 に比例します。

$$(5.5) \quad \longrightarrow \quad I_D = I(0) - I(p)\sin pt + I(2p)\cos 2pt$$

$$I(p) = I_0 J_1(2\theta_0) \sin 2\theta_F \approx 2I_0 J_1(2\theta_0) \theta_F$$

ここに

$$I(2p) = I_0 J_2(2\theta_0) \cos 2\theta_F \approx I_0 J_2(2\theta_0)$$

- 従って、 $I(p)$ と $I(2p)$ の比をとれば θ_F を測定できます。

$$I(p)/I(2p) = I_0 J_1(2\theta_0) \sin 2\theta_F / I_0 J_2(2\theta_0) \cos 2\theta_F \approx 2\theta_F \{J_1(2\theta_0)/J_2(2\theta_0)\}$$

ファラデー変調器法

- 検光子は偏光子と直交するように固定しておき、試料のファラデー効果によって起きた回転をファラデーセルによって補償し、自動的に零位法測定を行うのが図5.4に示した方法の特徴です。

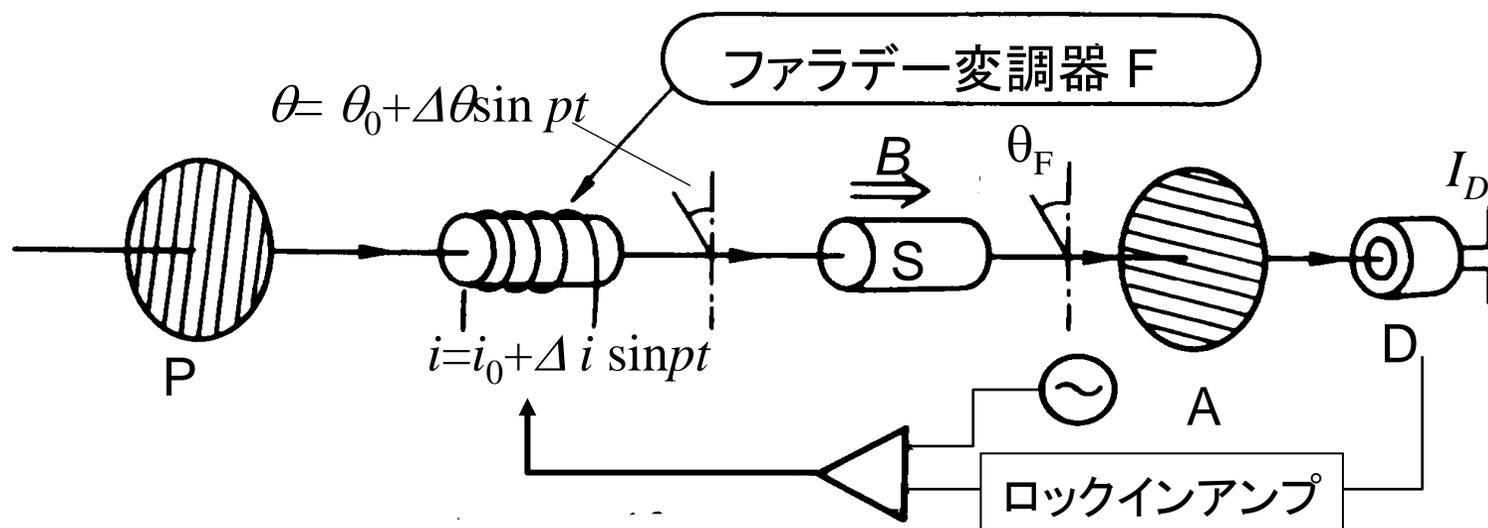


図5.4 ファラデー変調器法の模式図。P: 偏光子、S: 試料、A: 検光子、D: 検出器

ファラデー変調器法(1)

- 試料のファラデー効果によって起きた回転をファラデーセルによる逆向きの回転を使って補償し、検出器Dの出力がゼロになるようにファラデーセルに流す電流を調整すれば零位法で測定できます。ただし、セルに流す電流*i*と回転角 θ の間の比例係数は予め校正しておきます。 $\theta = K i$
- 図5.4では、セルに流す電流を手で調整する代わりに、フィードバックによって自動的に検出器Dの出力をゼロにするようになっています。
- ファラデーセルに加える直流電流*i*₀に、変調用の交流 $\Delta i \sin pt$ を重ねさせておきます。従って、
$$i = i_0 + \Delta i, \theta = K i = K i_0 + K \Delta i \sin pt = \theta_0 + \Delta \theta \sin pt$$
- そしてDの出力を、ロックイン・アンプなどの高感度増幅器で増幅し、加算器に入力しファラデーセルにネガティブフィードバックします。

ファラデー変調器法(2)

- 検出器出力 I_D は,

$$\begin{aligned} I_D &= I_0 \sin^2(\theta_0 - \theta_F + \Delta\theta \sin pt) \\ &= (I_0/2) \{1 - \cos 2(\theta_0 - \theta_F) \cos(2\Delta\theta \sin pt) + \sin 2(\theta_0 - \theta_F) \sin(2\Delta\theta \sin pt)\} \\ &\approx (I_0/2) \{1 - \cos 2(\theta_0 - \theta_F) J_0(2\Delta\theta)\} + I_0 \sin 2(\theta_0 - \theta_F) J_1(2\Delta\theta) \sin pt \\ &\quad - I_0 \cos 2(\theta_0 - \theta_F) J_2(2\Delta\theta) \cos 2pt \end{aligned}$$

となつて、 p 成分の強度は $\sin(\theta_0 - \theta_F)$ に比例します。

- ロックイン増幅器で角周波数 p の成分のみを取りだします。その大きさは $I_0 \sin(\theta_0 - \theta_F) J_1(2\Delta\theta)$ 。増幅率を A とすると、その出力電流 i_0 は

$$i_0 = AI_0 J_1(\Delta\theta) \sin 2(\theta_0 - \theta_F) \quad \text{となります。}$$

ファラデー変調器法(3)

フィードバックシステム

- ファラデーセルの比例係数 K を用いると

$$\theta_0 = KAI_0 J_1(\Delta\theta) \sin 2(\theta_0 - \theta_F) = K' \sin 2(\theta_0 - \theta_F)$$

- したがって、 $\theta_0 - \theta_F$ が小さければ

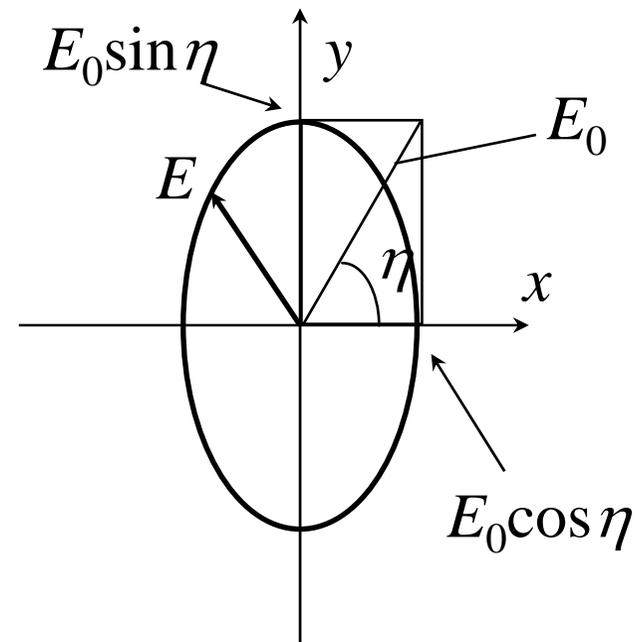
$$\theta_0 = 2K'(\theta_0 - \theta_F)$$

$$\theta_0 = \frac{2K'}{2K'-1} \theta_F$$

- となり、 $K' \rightarrow \infty$ ならば、 $\theta_0 = \theta_F$ となります。

楕円率の測定法(1)

- 楕円率は、4分の1波長板($\lambda/4$ 板と略称)を用いて楕円率角を回転に変換して測定することが可能です。以下にはその原理について述べます。
- 楕円率角 η (rad)の楕円偏光が入射したとすると、その電気ベクトル E は $E = \cos \eta i + \sin \eta j$ で表されます。(ここに i, j はそれぞれ x, y 方向の単位ベクトルです。)



楕円率の測定法(2)

- x 方向に光軸をもつ $\lambda/4$ 板を通すと, y 方向の位相は 90° 遅れるので, 出射光の電界 E' は

$$\vec{E}' = E_0(\cos \eta i + i \exp(-i\pi/2)\sin \eta j) = E_0(\cos \eta i + \sin \eta j) \quad (5.7)$$

となりますが, これは, x 軸から η (rad)傾いた直線偏光を表しています.

- したがって, 入射楕円偏光の長軸の方向に $\lambda/4$ 板の光軸をあわせれば, 上に述べたいずれかの回転角を測定する方法で楕円率角を測定できます.

楕円率の測定法(3)

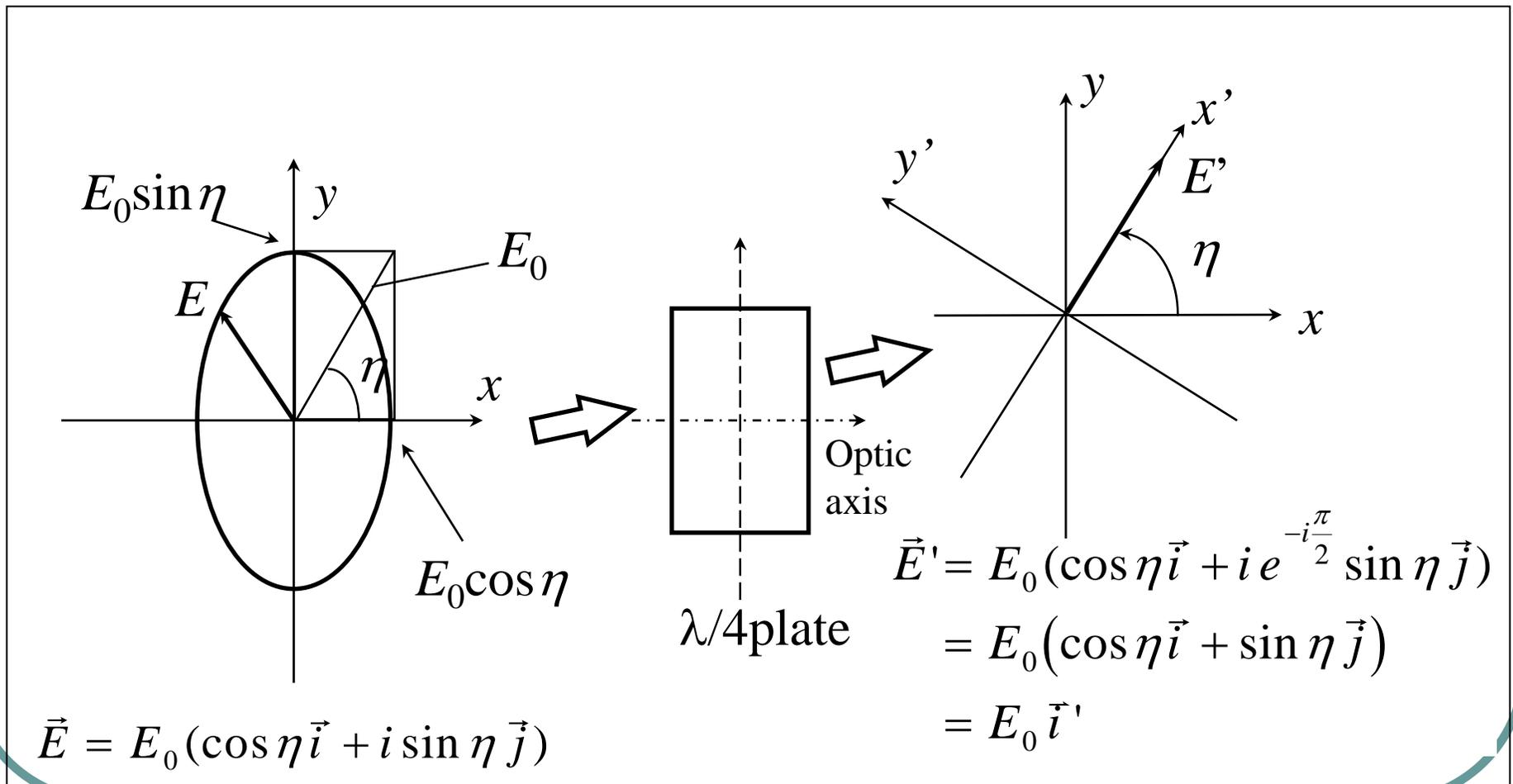


図5.5 $\lambda/4$ 波長板を用いて楕円率が測定できることの原理の説明図

円偏光変調法 (光学遅延変調法)

- 図5.7においてPとAは直線偏光子, Mは光弾性変調器(PEM), Dは光検出器です.
- PEMとは, 等方性の透明物質 (石英, CaF_2 など) に水晶の圧電振動子を貼付けたものです.
- PEMに角周波数 p [rad/s] の高周波の電界を加えると, 音響振動の定在波ができて透明物質に p [rad/s] で振動する一軸異方性が生じます. この結果複屈折 Δn が現れます.
- これにより, 光学遅延量 $\delta = 2\pi\Delta n l / \lambda$ が p [rad/s] で変調されます. すなわち,

$$\delta = \delta_0 \sin pt \quad (5.8)$$

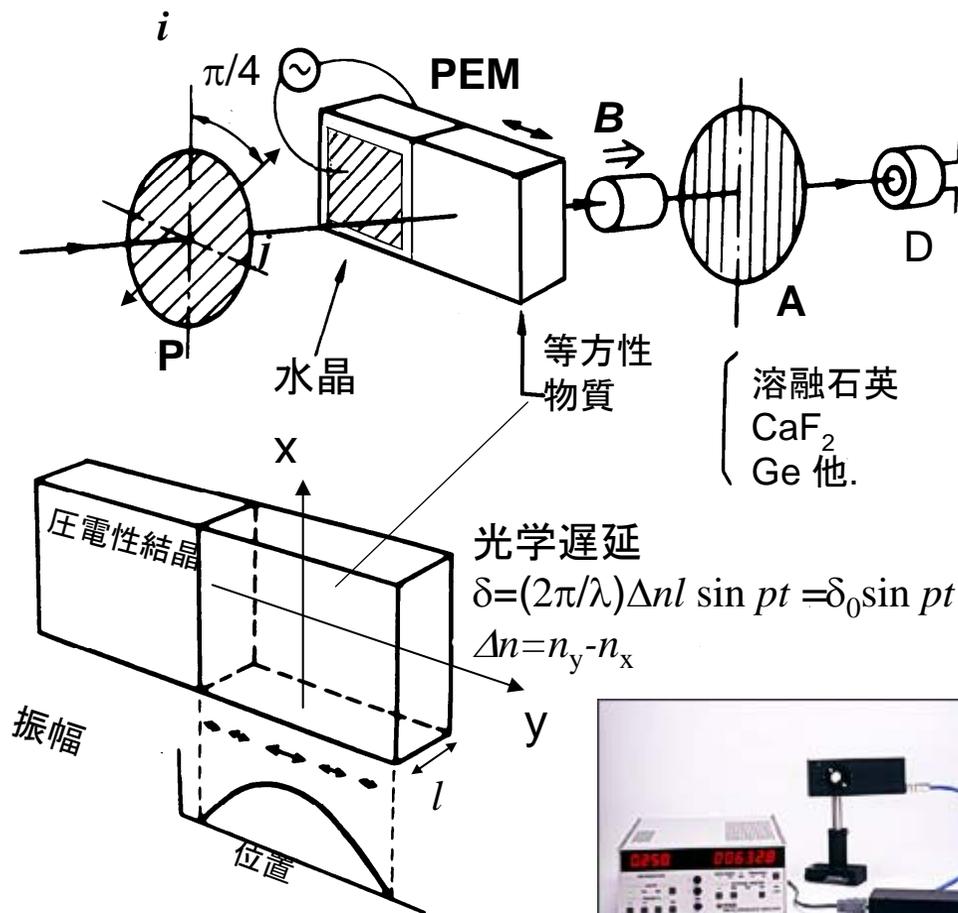


図5.7



円偏光変調法の定性的説明

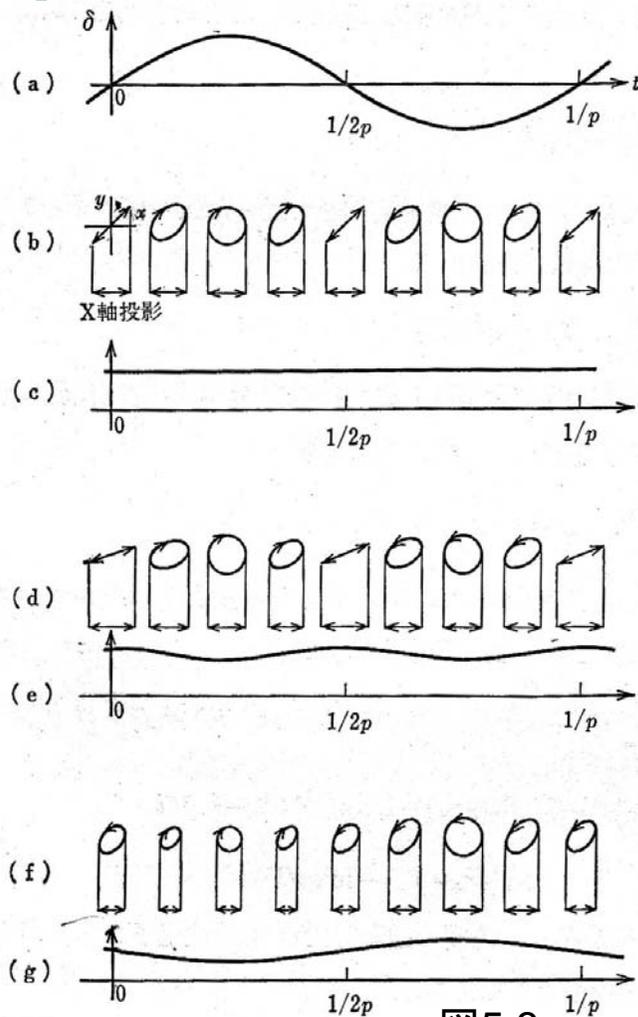


図5.8

- 図5.8 (a)は光弾性変調器(PEM)によって生じる光学的遅延 δ の時間変化を表します. この図において δ の振幅 δ_0 は $\pi/2$ であると仮定すると δ の正負のピークは円偏光に対応します.
- 試料Sが旋光性も円二色性ももたないとするとき、電界ベクトルの軌跡は図(b)に示すように1周期の間にLP-RCP-LP-LCP-LPという順に変化します. (ここに、LPは直線偏光、RCPは右円偏光、LCPは左円偏光を表します.)
- 検光子の透過方向の射影は図(c)に示すように時間に対して一定値をとります.
- 旋光性があるとベクトル軌跡は図(d)のようになり、その射影は(e)に示すごとく角周波数 $2p$ [rad/s] で振動する.
- 一方、円二色性があるとRCPとLCPとのベクトルの長さに差が生じ、射影(g)には角周波数 p [rad/s] の成分が現れます.

円偏光変調法の原理

- 直線偏光 (45°)

$$\mathbf{E}_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} E_0 (\mathbf{i} + \mathbf{j}) \quad (5.9)$$

- Y成分のみ δ 遅延

$$\mathbf{E}_2 = \frac{E_0}{\sqrt{2}} (\mathbf{i} + \exp(i\delta)\mathbf{j}) \quad (5.10)$$

- 円偏光座標に変換

- 右円偏光および左円偏光に対する反射率をかける

$$\mathbf{E}_2 = \frac{E_0}{2} ((1 - i \exp(i\delta))\mathbf{r} + (1 + i \exp(i\delta))\mathbf{l}) \quad (5.11)$$

- 元の座標系に戻す

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_3 &= \frac{E_0}{2} (r_+ (1 - i \exp(i\delta))\mathbf{r} + r_- (1 + i \exp(i\delta))\mathbf{l}) \\ &= \frac{E_0}{2} (((r_+ + r_-) - i(r_+ - r_-)\exp(i\delta))\mathbf{i} + i((r_+ - r_-) - i(r_+ + r_-)\exp(i\delta))\mathbf{j}) \end{aligned} \quad (5.12)$$

- x軸から ϕ の角度の透過方向をもつ検光子からの出力光

$$\mathbf{E}_4 = \frac{E_0}{2\sqrt{2}} (r^+ (1 - i \exp(i\delta)) \exp(i\phi) + r^- (1 + i \exp(i\delta)) \exp(i\phi)) \quad (5.13)$$

- 光強度を求める

$$I \approx \frac{E_0^2}{2} (R + \Delta R \sin \delta + R \sin(\Delta\theta + 2\phi) \cos \delta) \quad (5.14)$$

円偏光変調法の原理

- 磁気光学パラメータ
に書き換え \longrightarrow
$$I = \frac{1}{2} E_0^2 R \{1 + 2\eta_K \sin \delta + \sin(2\varphi - 2\theta_K) \cos \delta\} \quad (5.16)$$

- $\varphi = 0$ かつ θ_K が小
のとき \longrightarrow
$$I \approx I_0 R (1 + 2\eta_K \sin \delta - 2\theta_K \cos \delta)$$

- $\delta = \delta_0 \sin pt$ を代入して
Bessel関数展開

$$\begin{aligned} \sin(x \sin \phi) &= 2J_1(x) \sin \phi + \dots \\ \cos(x \sin \phi) &= J_0(x) + 2J_2(x) \cos 2\phi \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_D &= (I_0/2) \{1 + 2\eta_K \sin(\delta_0 \sin pt) - \sin 2\theta_K \cos(\delta_0 \sin pt)\} \\ &= (I_0/2) \{1 - 2\theta_K J_0(\delta_0)\} + I_0 \cdot 2\eta_K J_1(\delta_0) \sin pt - I_0 \cdot 2\theta_K J_2(\delta_0) \cos 2pt + \dots \\ &\approx I(0) + I(p) \sin pt + I(2p) \cos 2pt \end{aligned} \quad (5.17)$$

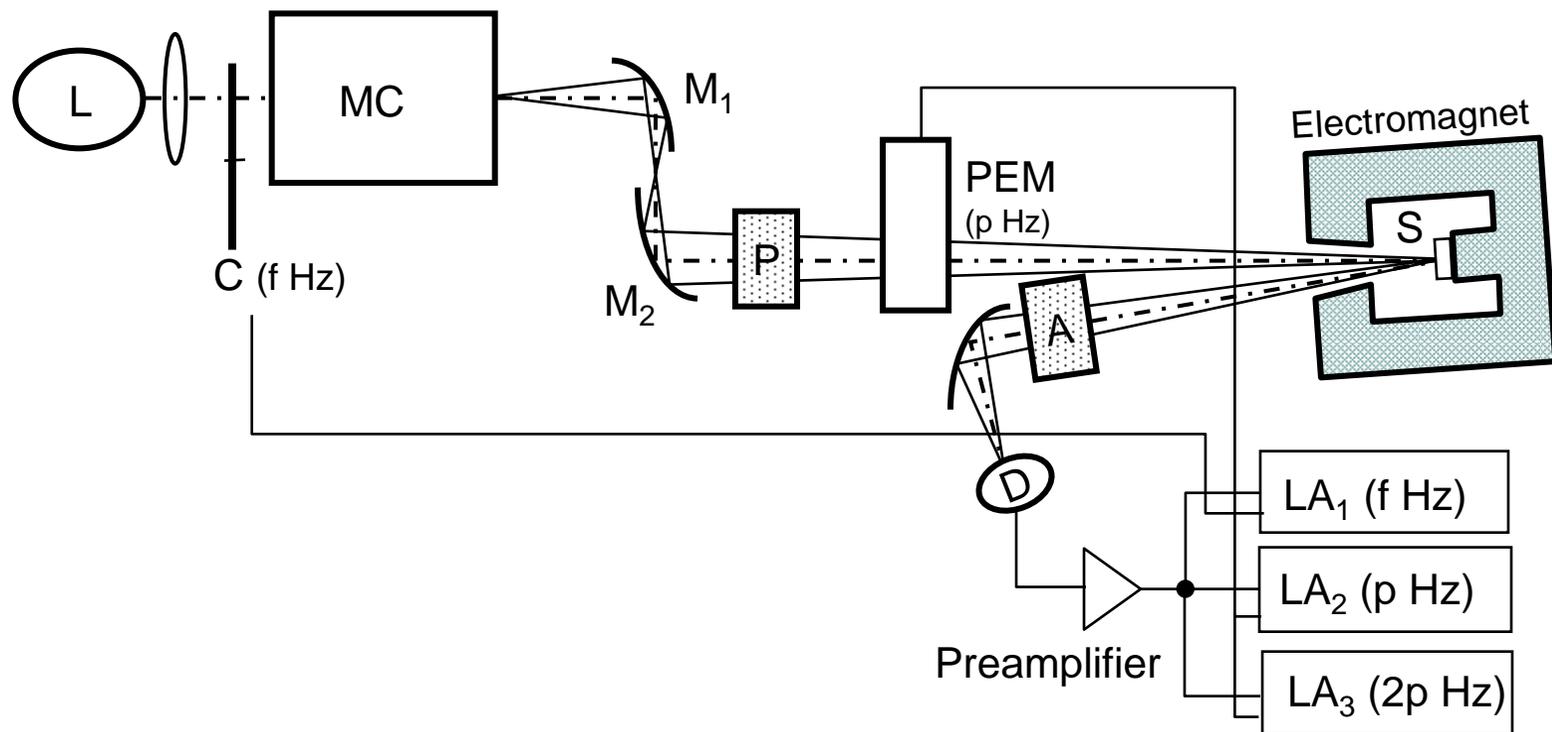
- 周波数 p の成分が楕円率、
 $2p$ の成分が回転角 \longrightarrow

$$\begin{aligned} I(0) &= \frac{I_0}{2} \{1 - 2\theta_K J_0(\delta_0)\}, \\ I(p) &= 2I_0 \eta_K J_1(\delta_0) \\ I(2p) &= -2I_0 \theta_K J_2(\delta_0) \end{aligned} \quad (5.18)$$

円偏光変調法の特徴

- 同じ光学系を用いて旋光角と楕円率を測定できるという特徴をもっています。
- また、変調法をとっているため高感度化ができるという利点ももちます。
- この方法は零位法ではないので、何らかの手段による校正が必要です。詳しくは配付資料を参照してください。

磁気光学スペクトル測定系

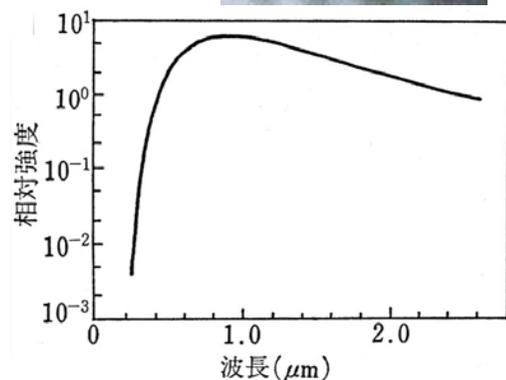


磁気光学スペクトル測定上の注意点

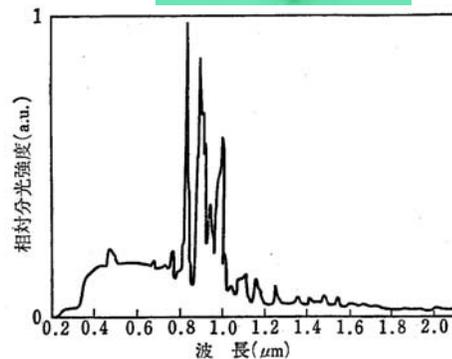
- 磁気光学スペクトルの測定には、光源、偏光子、分光器、集光系、検出器の一式が必要ですが、各々の機器の分光特性が問題になります。
- さらに、試料の冷却が必要な場合、あるいは、真空中での測定が必要な場合には、窓材の透過特性が問題になります。

光源

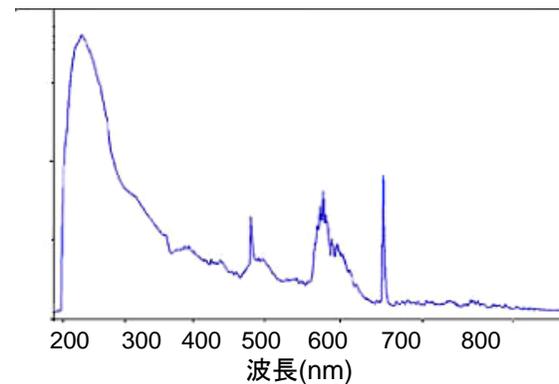
- ハロゲン・ランプ (近赤外-可視)
- キセノンランプ (近赤外-近紫外)
- 重水素ランプ (紫外)



ハロゲンランプ



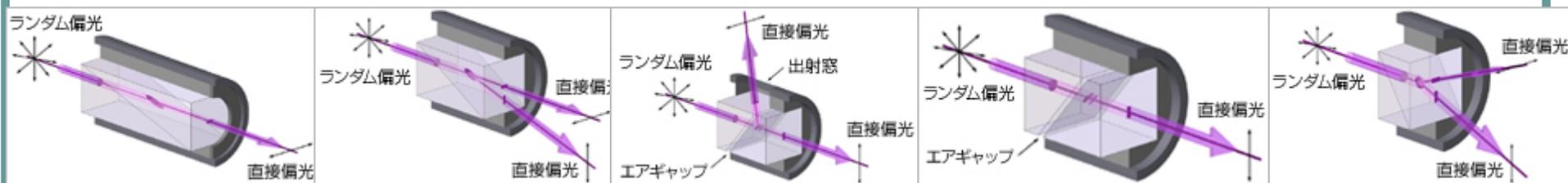
キセノンランプ



重水素ランプ

偏光子

● 複屈折(プリズム)偏光子



グラントムソン

ロシヨン

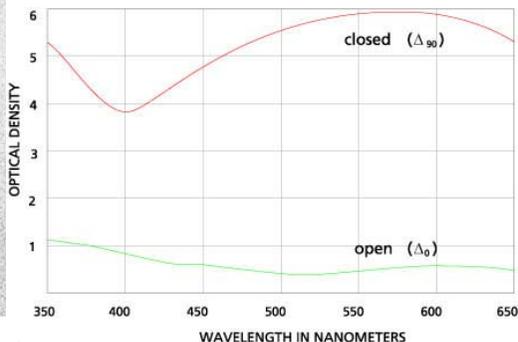
グランレーザー

グランテーラー

ウォラストン

光学技研の製品情報(偏光子) <http://www.kogakugiken.co.jp/products/polarizer06.html>による

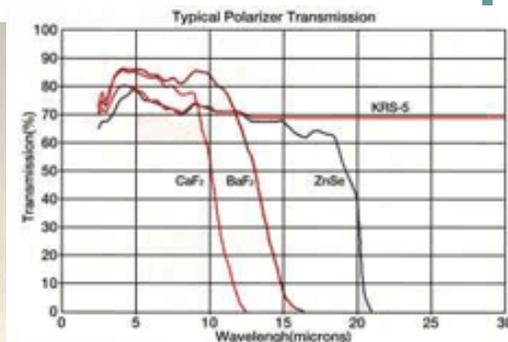
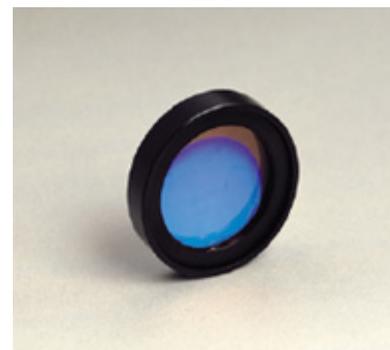
● 二色性偏光子(偏光板)



メレスグリオの製品情報

<http://shop.mellesgriot.com/products/optics/optics.asp?plga=276736&CatID=10521&mscssid>による

● ワイヤグリッド偏光子

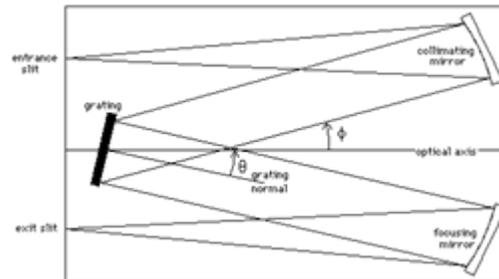
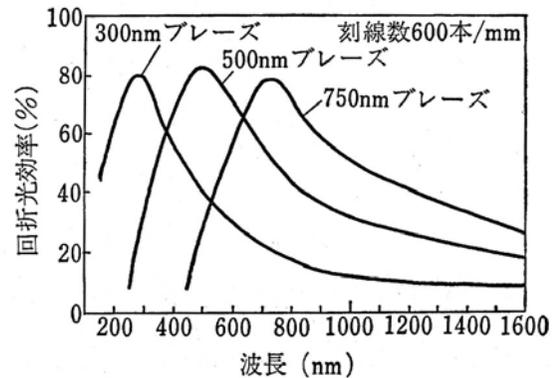


オプトライン社の製品情報

http://www.opto-line.co.jp/jp/henko/henko_sekigai.htmlによる

分光器

- 分解能よりも明るさに重点を置いて選ぶ必要があります。焦点距離25cm程度で、fナンバーが3~4のものが望ましい。
- 回折格子は刻線数とブレイズ波長によって特徴づけられます。



メリーランド大のホームページ

<http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/Chemistry/ChemConference/Chem623/Monochromator.htm>から。!

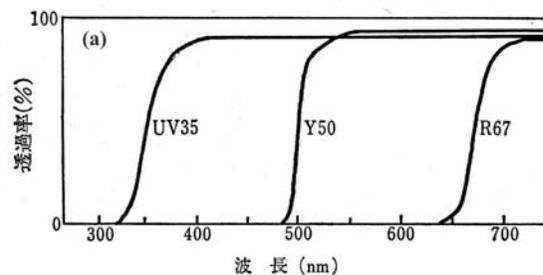


堀場ジョバンイボンのH10型分光器

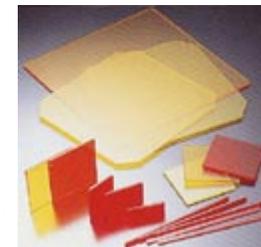
チェルニーターナー型回折格子分光器

高次光カットフィルタ

- 回折格子分光器はその性質上必ず高次光が出力されるので、ローパスフィルタを用いて高次光の遮断を行う。
- ローパスフィルタとしては適当な色ガラスフィルタ、半導体結晶フィルタ、干渉フィルタなどが用いられる。
- 高次光の遮断は特に赤外域で重要になってくる。例えば、 $2\mu\text{m}$ に波長ダイヤルを合わせたとき同時に2次光 $1\mu\text{m}$ 、3次光 667nm 、4次光 500nm 、5次光 400nm 、...が出力されており、 $2\mu\text{m}$ のみを取り出すためには、 $1\mu\text{m}$ より短い波長の光を遮断するフィルタを用いる必要がある。
- 高次光遮断フィルタは使用する波長領域に合わせて変えなければならない。

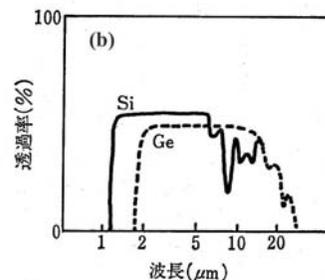


色ガラスフィルターの分光透過特性



HOYACANDEOのホームページ

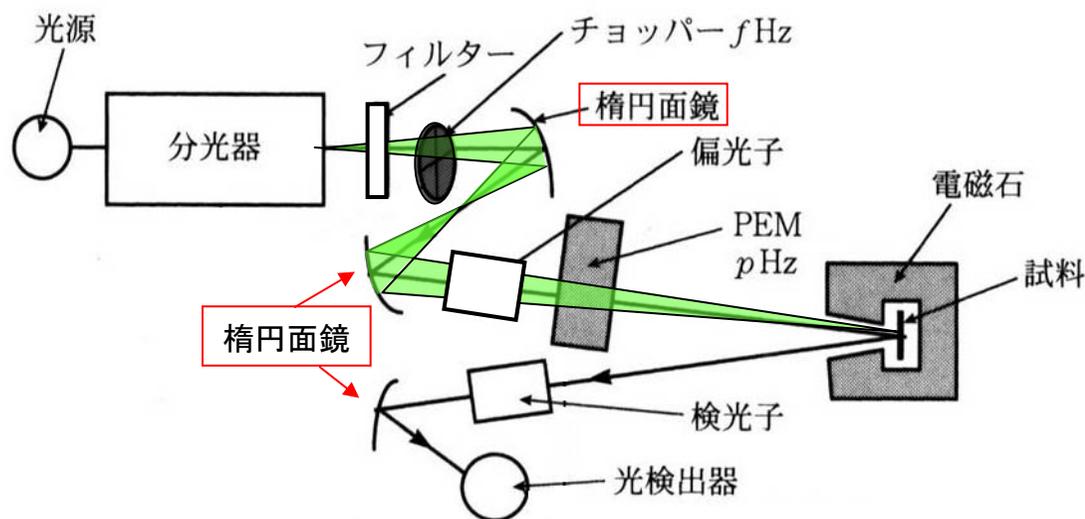
<http://www.hoyacandeo.co.jp/japanese/products/>より



半導体フィルターの分光透過特性

集光系

- 狭い波長範囲: レンズ使用
- 広い波長範囲: ミラー使用
 - 色収差が重要
 - たとえば, 石英ガラスのレンズを用いて, $0.4 \sim 2 \mu\text{m}$ の間で測定するとすれば, $\delta f/f = -0.067$ となり, $f = 15\text{cm}$ ならば $\delta f \sim 1\text{cm}$ となる.



検出器

- 光電子増倍管
- 半導体光検出器

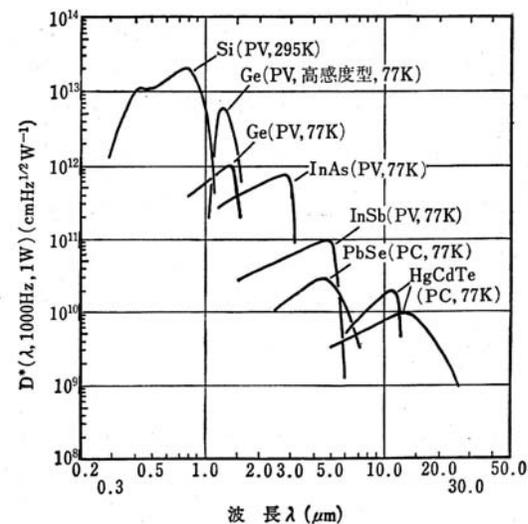
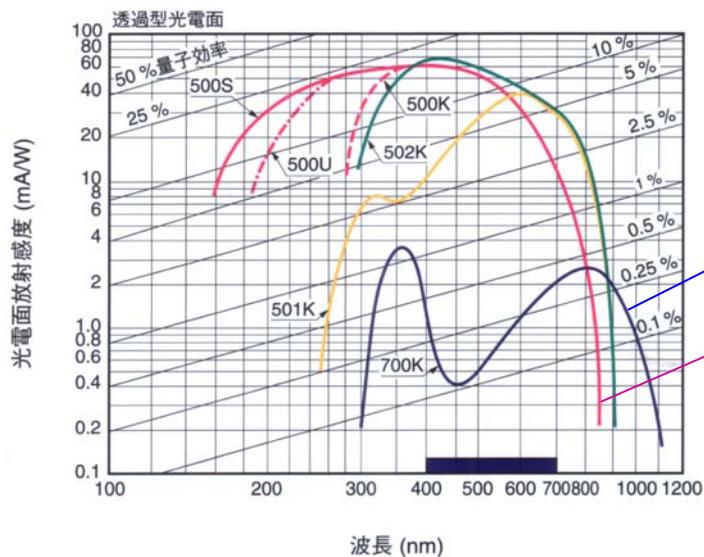


<http://www.hpk.co.jp/Jpn/products/etd/pmtj/pmtj.htm>

タイプ	光電面
S-1	Ag-O-Cs
S-4	Sb-Cs
S-20	マルチアルカリ
GaAs	GaAs 結晶

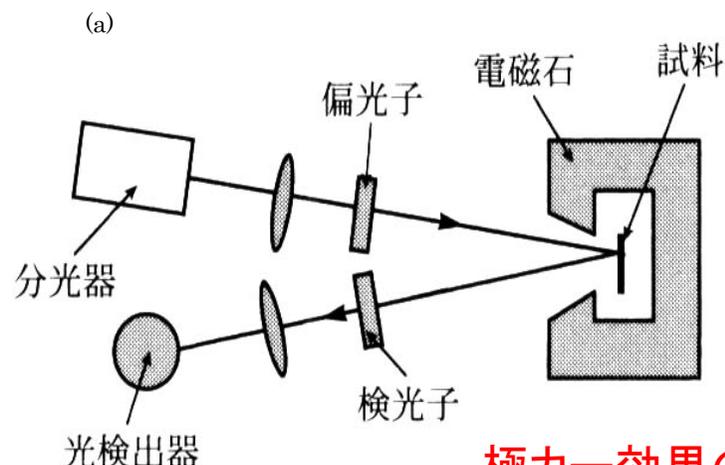


<http://www.irassociates.com/>

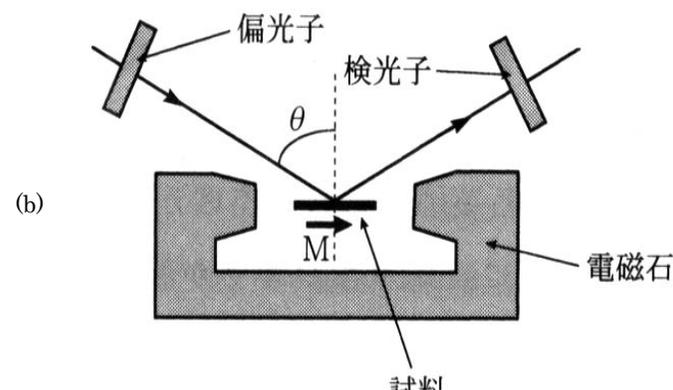


電磁石と冷却装置、素子の配置

- ファラデー配置とフォークト配置
- 穴あき電磁石
- 鉄芯マグネット
- 超伝導マグネット



極力一効果の測定用



縦力一効果の測定用

電気信号の処理

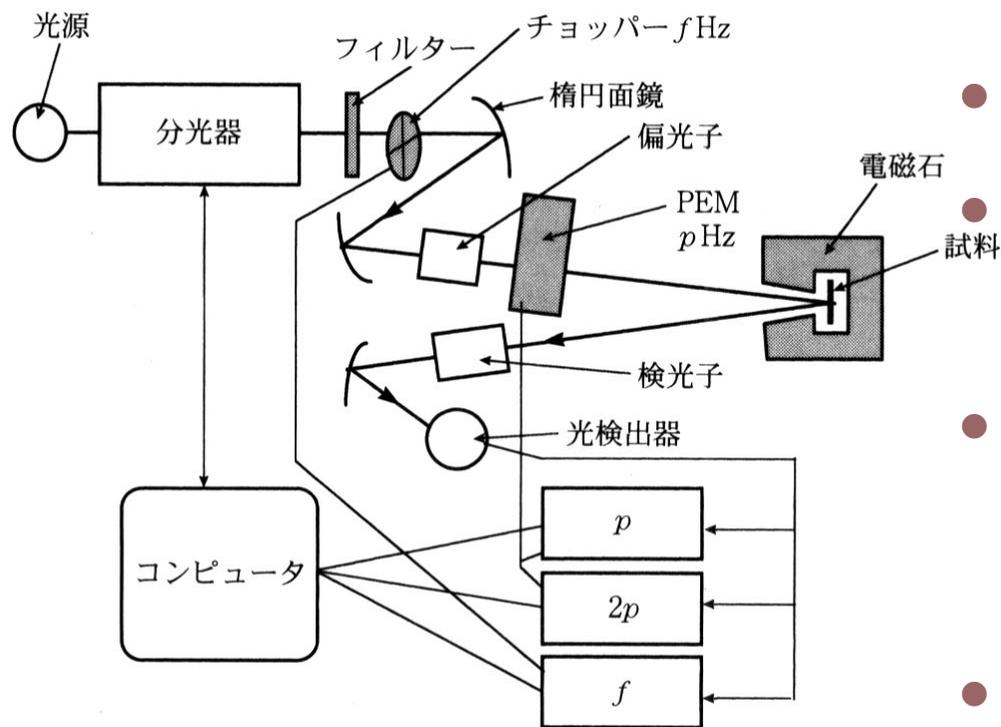
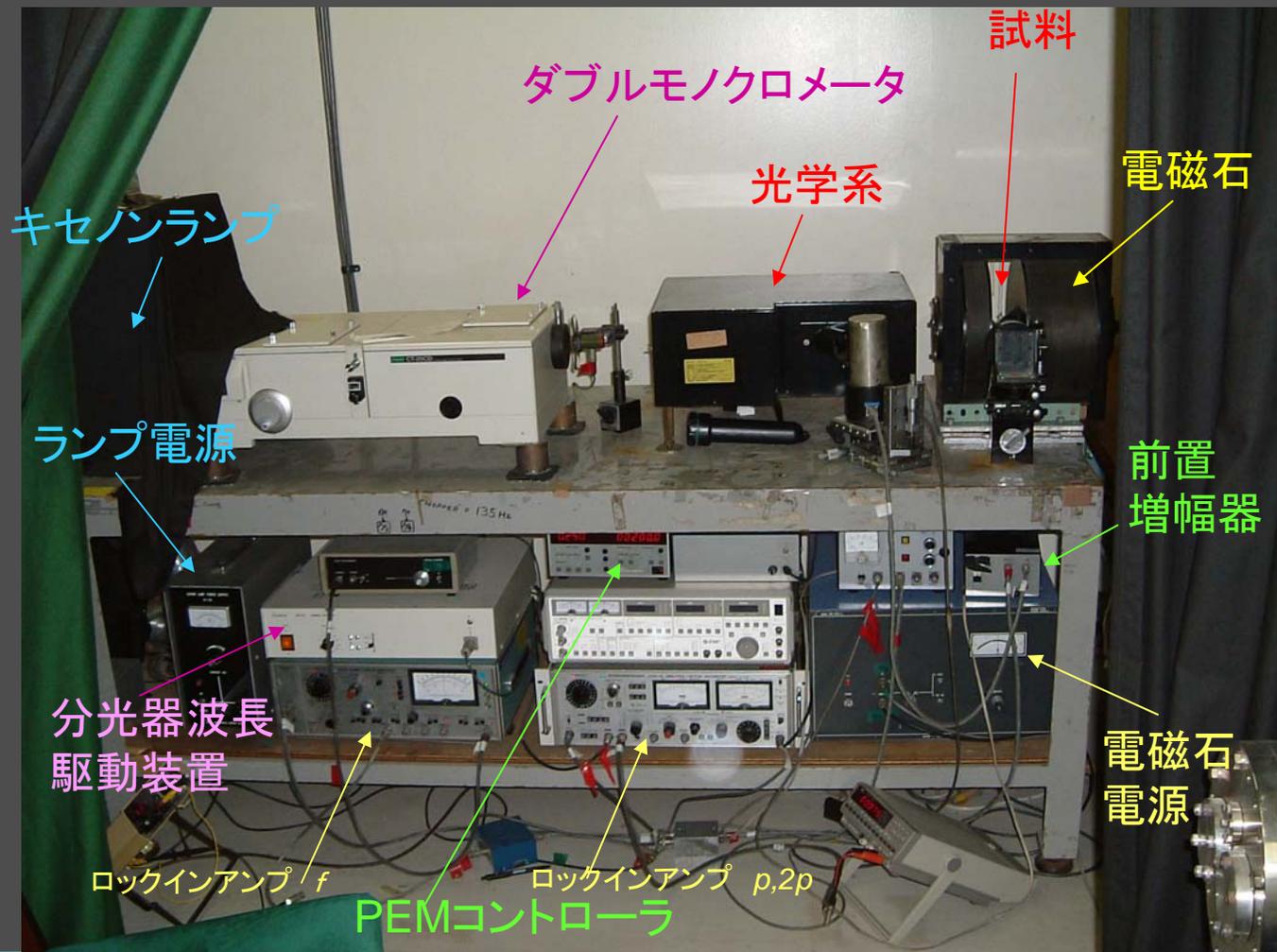


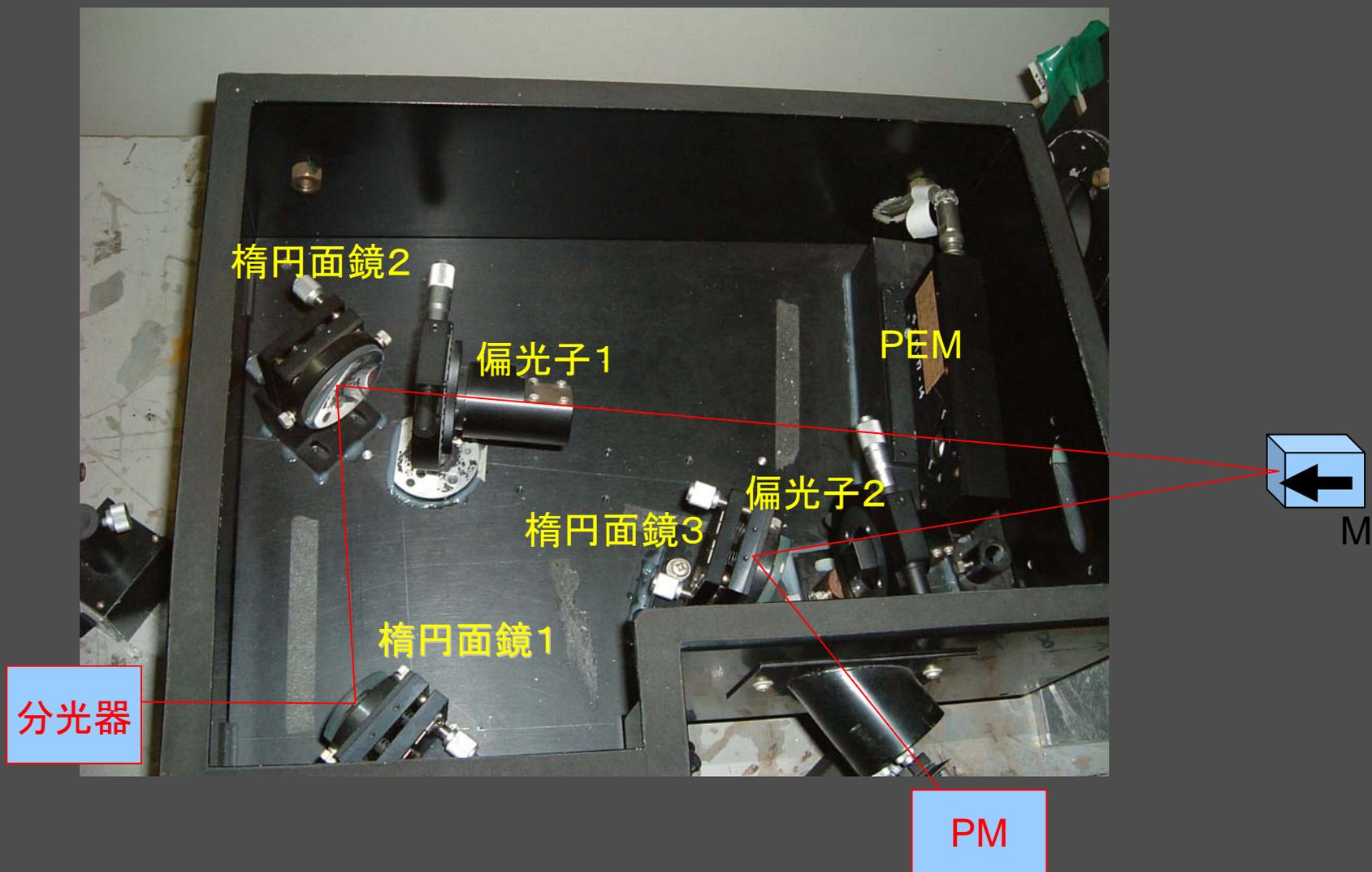
図5.23

- ここでは光学遅延変調法により磁気光学スペクトルを測定する場合の電気信号処理系について簡単に記述します。
- 図5.23にこの測定系のブロック線図を示します。
- 磁気旋光角は変調周波数 p [rad/s] の2倍の成分と直流成分との比から、磁気円二色性は変調周波数成分と直流成分の比から求めることができます。
- 直流成分を知るために、光を f [rad/s] で断続して交流信号として検出することもよく行われています。(特に、半導体検出器を使うときは暗電流との分離のために交流にしなければなりません。)
- 従って、 p [rad/s] 成分と f [rad/s] 成分、あるいは $2p$ [rad/s] 成分と f [rad/s] 成分をロックインアンプの出力として求め、これらの比を計算する必要があります。

磁気光学スペクトル評価装置(1)



磁気光学スペクトル評価装置(2)



磁気光学スペクトル評価装置(3)

磁気光学(withPL)測定用ソフト

ファイル(F) オプション(O) ヘルプ(H)

残留磁化小 残留磁化大 磁石非制御 ヒステリシス測定 フォルム測定

電磁石電源 New Old

楕円率/回転角 楕円率 回転角

	測定値	分光器
開始点波長 (Å)	0	0
終端波長 (Å)	0	0
ステップ (Å)	20	20

Grating Number 1200

測定点数 1

測定幅 (1~20) [kOe] 20.00

磁界ステップ (Δ=0.04) [kOe] 0.04

反復磁界幅 (1~20) [kOe] 10.00

Lock-in Lange [分母] 1

Lock-in Lange [分子] 1

Time Constant 1.00

入力積分回数 (1~) 4000

最初の 1000 回は破棄する

電磁石 ウェイト [mS] 3000

PEM ウェイト [mS] 3000

保存先フォルダ-フォルダ内ファイル(.txt)一覧

D:\Program Files\Microsoft Visual Stu\VB98\Setup\Template

保存フォルダの予約

ファイル: 自

コメント:

開始 1 回までは破棄測定を行う

終了時に分光器を巻き戻す

PROGRESS

AI DI 画面切替/グラフ 測定開始

分母 分子 0/0 CAPS NUM 03/01/12 0:53

0 0 [Å] 0

sokutei

分母 分子 0/0 CAPS NUM 03/01/12 1:02

COLOR EDIT

背景色 ← 文字の色 ←

枠線の色 ← 描画色 ←

INFORMATION

現在測定位置 No Info. No Info.

No Info. 最新の測定値 No Info.

No Info. + 最大値 - No Info.

SCALE

自動調整 倍率調整 0

設定を反映させるためには
再描画ボタンを押してください

再描画

開始 1 回までは破棄測定を行う

終了時に分光器を巻き戻す

PROGRESS

AI DI 画面切替/グラフ 測定開始

第11回のまとめ

- この講義では、磁気光学効果の測定法のいくつかをとりあげ説明しました。直交偏光子法以外はなんらかの変調法を取り入れることによって感度を高めています。
- PEMを用いた円偏光変調法は、高感度の測定法です。この方法を使うと、光学系を変えることなく旋光角と楕円率の両方を測定できる便利な方法です。

第11回の課題

1. 磁気光学のスペクトルを測定をする場合に考慮しなければならないことを箇条書きにして下さい。