

KOBRA - WPR を利用した部分偏光の評価方法

偏光の分類には直線偏光、楕円偏光、円偏光がある。別の視点に立った分類では、これらはいずれも完全偏光と呼ばれ、それに対して非偏光(自然光)があり、中間的には部分偏光と呼ばれる状態がある。

- ・非偏光(自然光)・・・あらゆる振動方向を一様に含む光
- ・部分偏光・・・あらゆる振動方向を含むが、その分布が一様でない光
- ・完全偏光・・・直線偏光、楕円偏光、円偏光

ここでは、楕円偏光測定装置 KOBRA-WPR と試料に透明ガラス板 2 枚 (t0.5mm、AR コーティングなしと両面 AR コーティングあり)、および位相差板 1 枚 (Re=100nm) を用いて、部分偏光として生じる現象を確認するための実験を行った。

具体的には、透明ガラス板に非偏光が斜め入射したときの透過光、あるいは透明・不透明物体に非偏光が斜め入射したときの反射光等が部分偏光になる。部分偏光は非偏光と直線偏光の混合と考えればよく、その測定は楕円偏光を測定する場合と同じで回転検光子法を用いることになる。ただし、回転検光子法で測定したときの光量図形は、そのままでは楕円偏光であるか、あるいは部分偏光であるかの区別はなく、いずれの現象として解釈するかによって着目すべき数値も変わる。

- ・楕円偏光・・・楕円率、楕円方位
- ・部分偏光・・・偏光度

また、偏光状態をポアンカレ球で表す場合、完全偏光は球の表面に、非偏光は球の中心に、部分偏光はその偏光度合いに応じて球の内部に点をプロットすることになる。

まず、部分偏光の偏光度について考える。例えば、図 1 (a) のように透明ガラス板を入射角 0° と 50° になるように置いて、それぞれ波長 590nm の非偏光を照射したときの透過光を回転検光子法で測定し、それが完全偏光 (楕円偏光) であると解釈して、ポアンカレ球の赤道面への投影図で表すと図 2 (a) のようになる。入射角 0° のときは、図 2 (a) のグラフの中心に点があり非偏光のままであるが、入射角 50° のときは楕円率 0.892、楕円方位 -0.1° となり、回転検光子法で測定した光量図形は図 2 (b) のようになる。

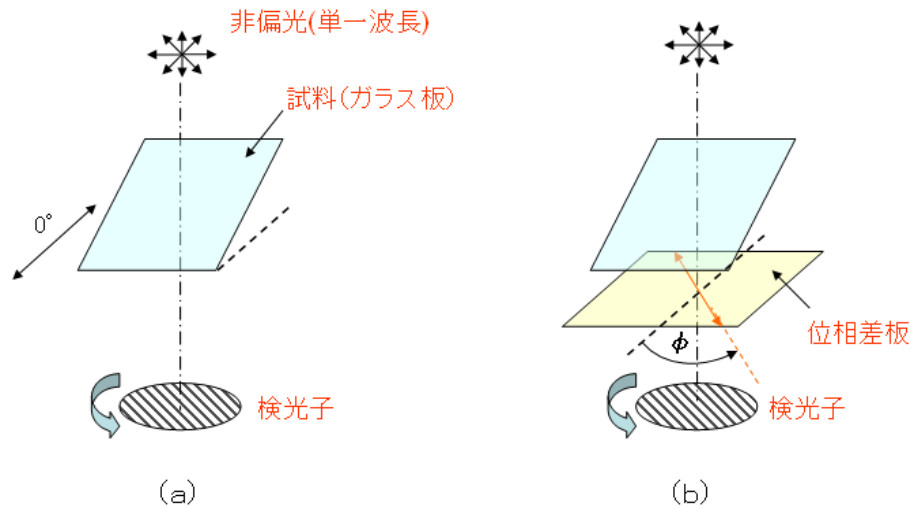


図1 非偏光がガラス板に斜め入射したときの測定

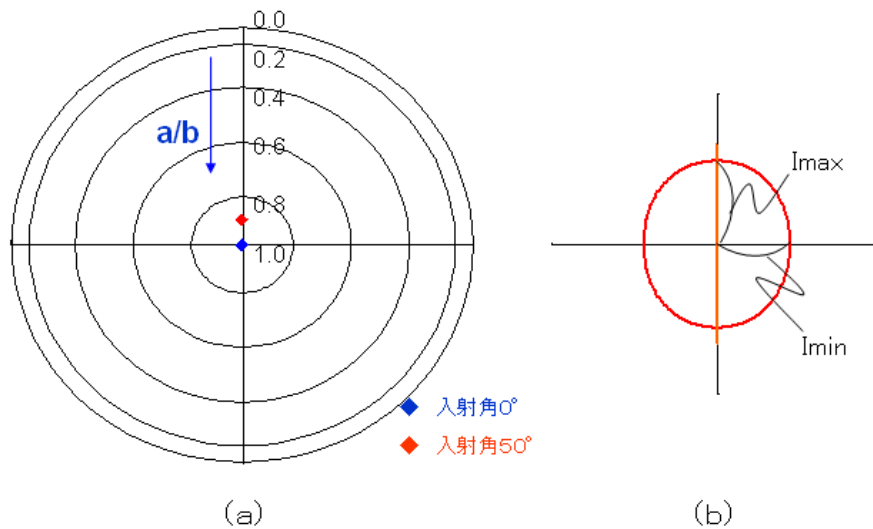


図2 非偏光がガラス板に斜め入射したときの偏光状態と回転検光子法による光強度図形

図3はポアンカレ球をストークスパラメータで表したもので、完全偏光と見なしたときの点 M1 を部分偏光と見なしたときにどのようなようになるかを説明する図である。一般的に、部分偏光の偏光度 V はストークスパラメータ S0,S1,S2,S3 を用いて表すと、次式のようにになる。

$$V = \frac{\sqrt{S1^2 + S2^2 + S3^2}}{S0}$$

仮に部分偏光が非偏光と直線偏光の混合であるなら、図3において点 M1'と点 M2'は重なり、線分 OM1'の長さが点 M1 の直線偏光成分となる。S0=1 と正規化したときには線分 OM1'の長さが V に相当するため、楕円率 a/b との関係は次のようになる。

$$\frac{a}{b} = \tan \chi$$

$$V = \cos 2\chi = \cos 2\left\{\tan^{-1}\left(\frac{a}{b}\right)\right\}$$

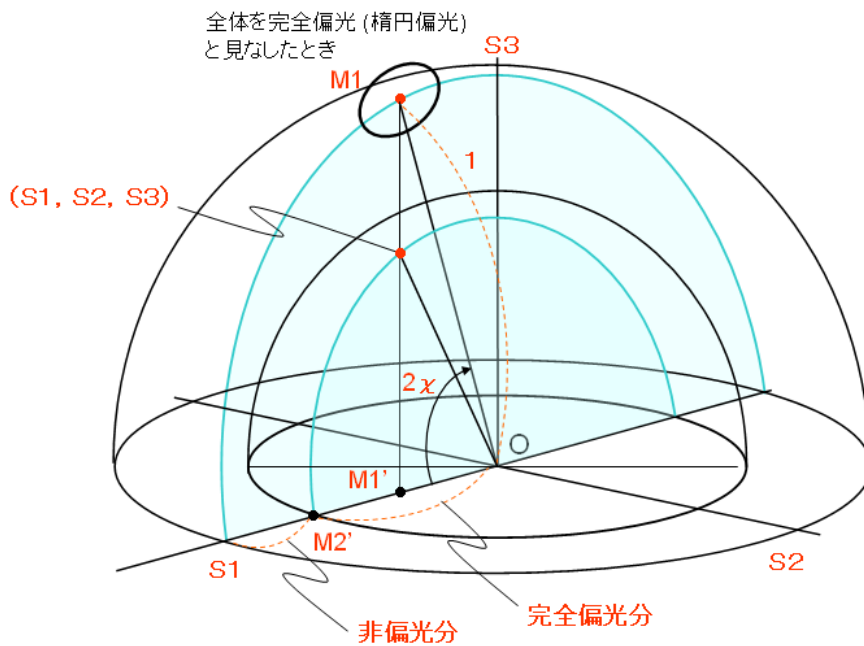


図3 ポアンカレ球で表した部分偏光

また、図 2 (b) の光量図形からは V を次のように表すこともできる。

$$V = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

図 1 (a) の測定で得た図 2 (b) の光量図形について、式 を考慮して非偏光分と直線偏光分の光量図形に分けると図 4 のようになる。

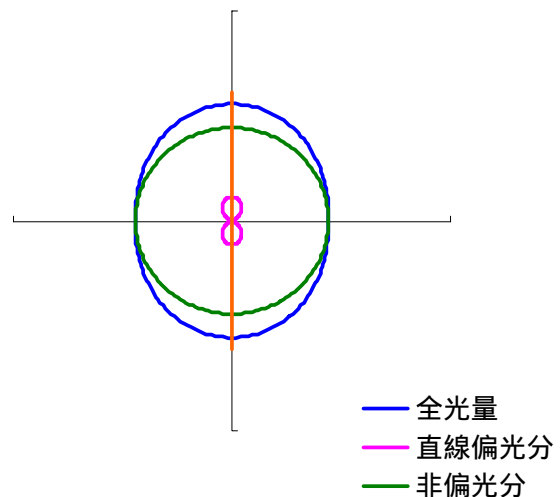


図4 部分偏光の光量図形の分離

回転検光子法によって図 2 (b) のような光量図形が観測されたときに、さらに位相差板 ($R_e=100\text{nm}$ 、遅相軸方位 31.4°) 1 枚を図 1 (b) のように置き、その状態での透過光量を回転検光子法によって測定すると、ポアンカレ球赤道面での点 $M1'$ は図 5 の紫色の点まで移動した。もし、点 $M1'$ が図 3 の点 $M1$ (すなわち完全偏光) に対応した点であれば、点 $M1'$ が同じ位相差板によって移動する距離は、計算上図 5 の緑色の点までとなるので、観察された現象とは大きく異なる。

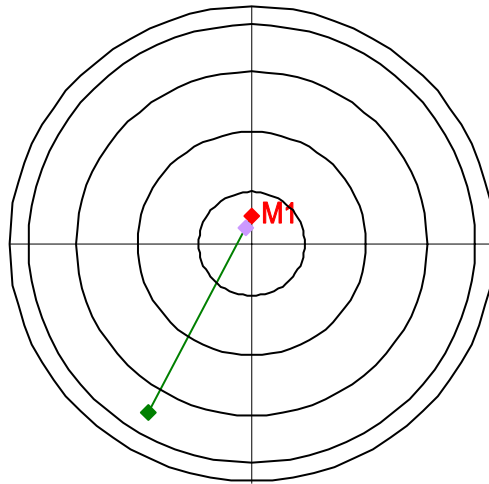


図5 部分偏光が位相差板に入射したときの偏光状態の変化

部分偏光が位相差板に入射した場合は、図4の直線偏光分だけが位相差板によって偏光状態を変換されると考えると図5の現象と一致する。すなわち、図6のような2重のポアンカレ球を考え、直線偏光分だけを内側のポアンカレ球の表面に沿って、点M1'を回転角 ψ だけ移動すると考えればよい。

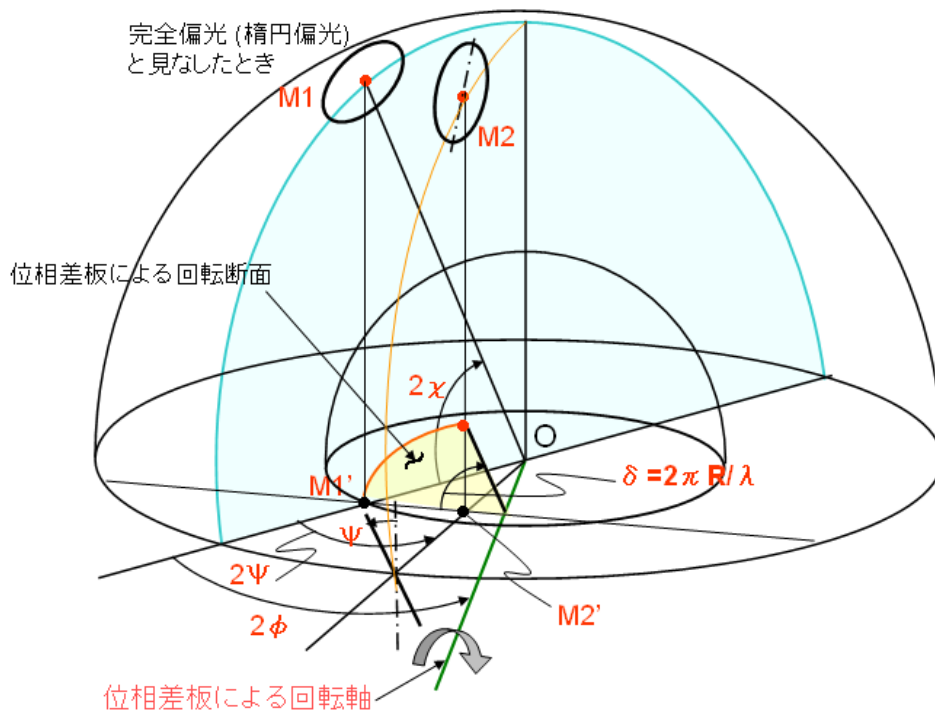


図6 部分偏光が位相差板に入射したときの点の移動

部分偏光を位相差板に入射させたものを回転検光子法によって測定したときには、図6の点M2の位置に相当する光量図形を得ることになる。[図6の考え方に沿ったシミュレーションをエクセルシート [ポアンカレ球_部分偏光](#) として作成した。]

以上の実験および考察は、AR コーティングなしの透明ガラス板に入射角 50° で、波長 590nm の非偏光を照射したときの偏光解析によるものであるが、比較のために両面 AR コーティングの透明ガラス板についても実測し、さらに合わせて位相差板にその光を照射したときの測定結果とシミュレーション結果をまとめると、表 1 のようになった。

表 1 非偏光がガラス板に斜め入射したときの部分偏光

試料		AR コーティングなしの透明ガラス板		両面 AR コーティングの透明ガラス板	
		なし	あり	なし	あり
位相差板		なし	あり	なし	あり
実測	楕円率	0.892	0.931	0.985	0.990
	楕円方位(°)	-0.1	9.8	1.0	9.7
	偏光度(%)	11.38	-	1.51	-
計算	楕円率	-	0.9316	-	0.9907
	楕円方位(°)	-	10.0	-	11.1

AR コーティングあり・なしの違いによるガラス板への斜め入射時の偏光状態は図 7 のようになり、両面 AR コーティング場合には斜め入射時にも偏光度 1.51% とほぼ非偏光のままである。

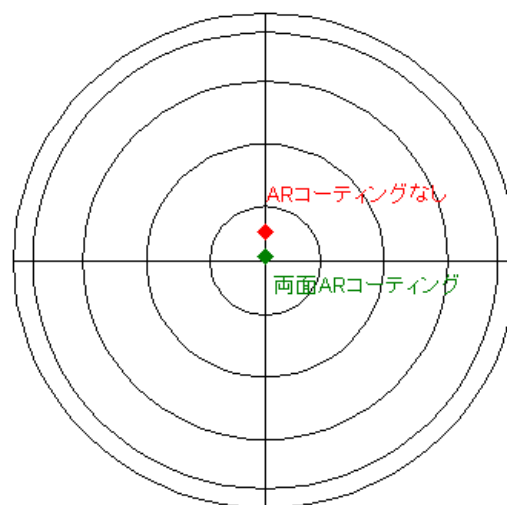


図 7 非偏光が AR コーティングあり・なしの透明ガラス板へ斜め入射した時の偏光状態の違い

また、表 1 の結果より位相差板に部分偏光を照射したときの实測値と計算値は、よく一致していると言える。

斜め入射の条件で使用される光学部品の代表に、ビームスプリッターがある。図 8 (a), (b), (c) は、参考として市販されている以下の 2 種のビームスプリッターと拡散板について、波長 450,550,590,630nm の非偏光を照射し、回転検光子法によって偏光状態を測定した結果をポアンカレ球赤道面への投影図で表したものである。

- ・プレート型ビームスプリッター 47023 - G (エドモンドオプティクスジャパン)
- ・広帯域無偏光ビームスプリッター S332 (駿河精機)
- ・フロスト型拡散板 DFB1-1500 (シグマ光機)

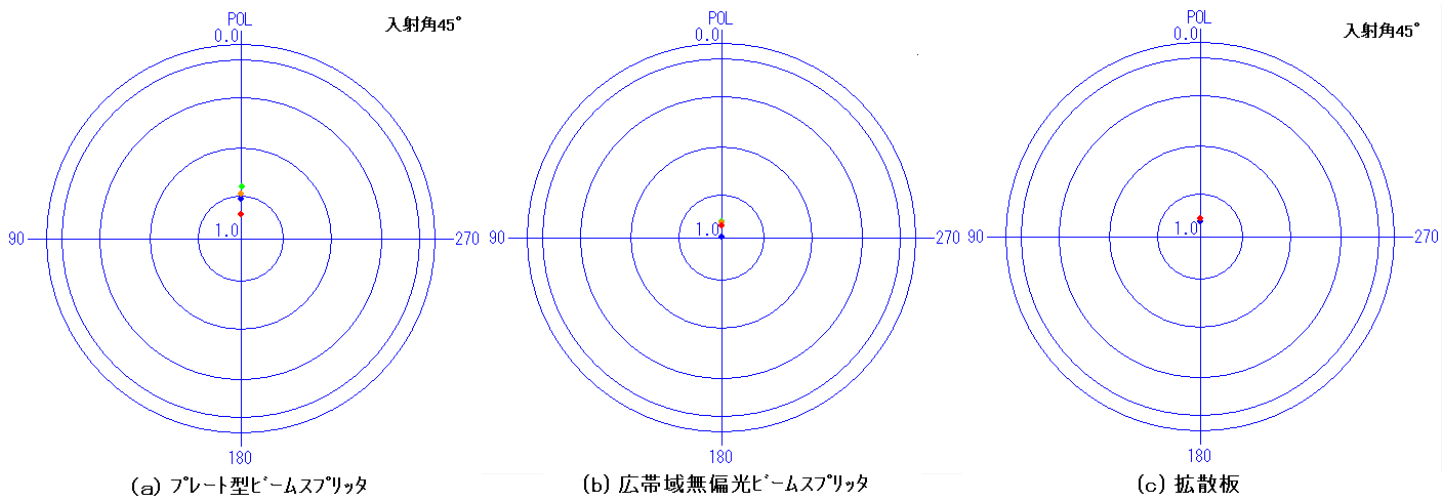


図8 非偏光が各種光学素子へ入射したときの偏光状態

(a) (c) は垂直入射時には透過光も非偏光であったが、 45° 入射時には部分偏光になっていることが分かる。

以上