

W 片的双折射

董大明 晋 伟 刘佩兰 陈为彰
(包头钢铁学院 基础部, 包头 014010)

摘 要 具有维格特(Weigert)效应的 W 片所显示的光学各向异性中同时具备二向色性与双折射两个因素, 两者均与波长有关, 通常在双折射很微弱时予以忽略。本文提供了二向色性很强时双折射相当显著的实验结果(e 、 o 光的相位差可达 80° , $n_e - n_o$ 之值可达 0.02), 获得了一系列实验数据及曲线。本文还提供了一种同时测定一块 W 片的二向色性与双折射的原理及实验方法。

关键词 维格特效应, 二向色性, 双折射, 实验测定

1 引 言

Weigert 效应^[1]是一种由强线偏振光引起的光学各向异性现象。已有报道早已指出, 经预制与诱导两个步骤制成的 W 片所显示的光学各向异性表现为二向色性与双折射两个侧面^[2~4], 它们分别由 W 片的二向色性角 β 以及 o 光和 e 光的相位差 $\Delta\phi$ 或双折射率 $\Delta n = n_e - n_o$ 作定量表述。已报道的实验结果认为, 双折射十分微弱时, 可以忽略不计, 在许多应用的研究中^[2,4,9~11], 对双折射未予考虑。

本文在已见报道的实验结果的基础上作进一步的研究发现, 当 W 片的二向色性很强时, 双折射也相当显著, $\Delta\phi$ 可接近 $\pi/2$ 。在理论及应用研究中, 必须对二向色性 β , 双折射 $\Delta\phi$ 这两个因素加以综合考虑。本文首先提出一种同时测定一块 W 片的 β 、 $\Delta\phi$ 以及综合效果——表现二向色性角 β_0 的实验方法, 然后提供本文所得到的实验结果。

2 测量的原理与方法^[2,5,7]

测量装置简图如图 1 所示, 其中 P_1 为格兰·泰勒棱镜作起偏器, 偏振方向与水平面成 45° , P_2 为检偏器, W 为被测 W 片, 其 e 轴方向水平[图 2 中的 $x(e)$]。图 2 为原理图。经 P_1 向 W 输入振幅为 E_0 的线偏光, 则由 W 输出的两个分振幅为:

$$\begin{aligned} a &= E_0 \exp(-\alpha l) / \sqrt{2} = r_e E_0 / \sqrt{2} \\ b &= E_0 \exp(-\alpha l) / \sqrt{2} = r_o E_0 / \sqrt{2} \end{aligned} \quad (1)$$

其中 α_x, α_y 为 W 片沿 x, y 方向的振幅吸收系数。 l 为 W 片的乳剂厚度, r_e, r_o 可称为 W 片沿 x, y 方向的振幅吸收因子。

若只考虑二向色性这一个侧面, 则 o, e 光的相位差 $\Delta\phi = 0$, W 片输出为 E 所示的线偏振

光, 由原来与 P_1 即 E_0 正交的 P_2 的输出不再为暗场, 令 P_2 右旋 β 角后, 输出恢复为暗场, β 即为二向色性角, 它应为:

$$\beta = 45^\circ - \alpha = 45^\circ - \arctg(b/a) \tag{2}$$

若同时考虑二向色性与双折射两个因素, 则 e 光与 o 光存在相位差 $\Delta\phi$, P_2 的输出为椭圆偏振光。这时, 旋转 P_2 已得不到输出暗场的角位置, 只是 P_2 与 Y 轴重合时输出为极小。如果对客观存在的双折射予以忽略, 则认为二向色性角为:

$$\beta_0 = 45^\circ - \theta \tag{3}$$

其中 θ 为椭圆长轴与水平方向 x 的夹角。可以认为 β_0 是双折射存在时, 在不计双折射的情况下, 对二向色性的测量结果, 称之为表观二向色性角。

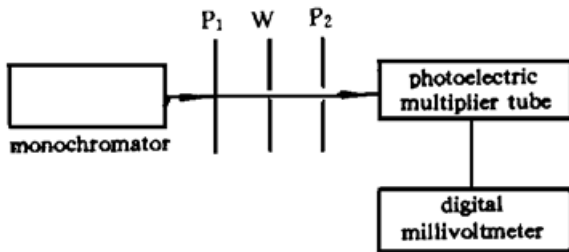


Fig. 1

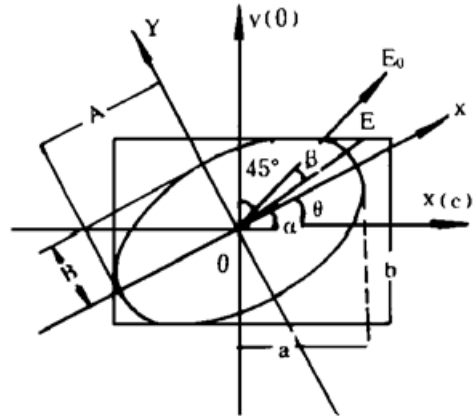


Fig. 2

设 e 光(沿 x 向) 与 o 光(沿 y 向) 的相位差为 $\Delta\phi$, 图 2 中的椭圆对 xoy 系的表达式为:

$$\sin^2\Delta\phi = (E_x/a)^2 + (E_y/b)^2 - (2E_xE_y/ab)\cos\Delta\phi \tag{4}$$

令坐标左旋 θ 角成为 XOY 系, 且 X 、 Y 轴与椭圆的长、短轴重合, 方程变为:

$$(E_x/A)^2 + (E_y/B)^2 = 1 \tag{5}$$

其中 A 、 B 为椭圆的长、短半轴, 注意到光强不变:

$$A^2 + B^2 = a^2 + b^2 \tag{6}$$

可以导出^[8]:

$$\text{tg}\Delta\phi = 2U/(U^2 - 1)\sin 2\theta \tag{7}$$

$$\cos 2\alpha = \cos\theta(U^2 - 1)/(U^2 + 1) \tag{8}$$

其中 $U = A/B$ 。用图 1 所示的装置可以精确测出 U 与 θ , 由(7) 式可求得双折射 $\Delta\phi$, 由(8) 式求得 α , 再由(2) 式求得 β , 并用 θ 由(3) 式求得 β_0 。

应该说明, 上述方法的一个优点是可以不用昂贵的索列尔补偿器, 但确不能判断双折射 Δn 的正负。

3 实验结果

用天津 I 型全息干版, 以常用方法^[2] 制成预制版, 然后在较高的温度下经较长的诱导时间制得的 W 片具有很强的二向色性^[6]。这些 W 片显示了很强的双折射, β 与 β_0 的差异也很大。这里选择一组数据与曲线, 其中 A 片最强, B 片次之, 用于对比的 C 片的 β 与 $\Delta\phi$ 都较小。实验数据及曲线如表 1 所列和图 3 所示。

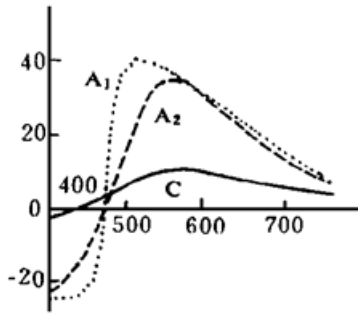


Fig. 3

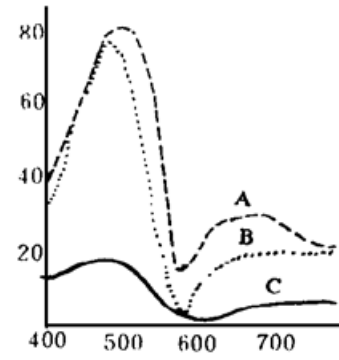


Fig. 4

Table 1

λ (nm)	β'	β_0	$\Delta\phi$	λ (nm)	β'	β_0	$\Delta\phi$	
400	A			500	A	17.19	37.58	
	B	- 17.10	- 20.55		38.85	B	19.98	33.44
	C	- 2.62	- 2.65		12.29	C	5.93	6.20
410	A	- 22.34	- 24.81	32.75	510	A	22.40	39.65
	B	- 16.12	- 20.45	43.29		B	23.95	32.80
	C	- 2.40	- 2.46	12.61		C	7.10	7.38
420	A	- 19.20	- 23.68	43.88	520	A	27.18	38.77
	B	- 13.6	- 18.98	48.78		B	26.80	32.74
	C	- 1.27	- 1.31	13.97		C	8.14	8.39
430	A	- 17.44	- 24.85	53.74	530	A	30.88	38.72
	B	- 11.52	- 18.04	54.30		B	28.17	31.55
	C	- 0.82	- 0.85	14.78		C	8.62	8.82
440	A	- 17.44	- 24.85	53.74	540	A	33.24	37.57
	B					B		
	C	0.09	0.09	15.67		C	9.25	9.42
450	A	- 10.92	- 21.87	65.24	550	A	34.33	36.48
	B	- 6.12	- 12.87	63.24		B	29.57	30.39
	C	0.89	0.93	16.69		C	9.55	9.66
460	A	- 6.09	- 17.21	71.65	560	A	34.33	35.32
	B	- 2.02	- 5.43	68.44		B	29.11	29.31
	C	1.83	1.92	17.29		C	9.82	9.84
470	A	0.49	2.32	77.93	570	A	33.87	34.20
	B	5.80	19.17	75.60		B	27.96	28.06
	C	2.85	2.99	17.65		C	9.84	9.88
480	A	5.83	24.90	79.96	580	A	32.45	32.90
	B	7.19	22.77	75.35		B	26.88	26.96
	C	3.87	4.07	17.95		C	9.92	9.93
490	A	11.31	34.24	80.55	590	A	31.39	32.02
	B	14.59	31.16	72.97		B	25.45	25.56
	C	4.91	5.15	17.68		C	9.62	9.63

Table 2

λ (nm)		β°	β_0°	$\Delta\phi$	λ (nm)		β°	β_0°	$\Delta\phi$
600	A	29.70	30.68	22.53	690	A	14.41	16.17	29.66
	B	22.67	22.93	10.89		B	15.07	15.95	21.14
	C	9.51	9.52	2.99		C	6.23	6.27	6.54
610	A	27.70	29.06	25.59	700	A	13.50	14.81	26.32
	B	22.56	22.93	12.89		B			
	C	8.95	8.96	2.86		C	6.06	6.10	6.48
620	A	26.10	27.74	27.52	710	A	12.21	13.45	26.45
	B	21.82	22.32	15.08		B			
	C	8.91	8.92	2.80		C	5.63	5.67	6.94
630	A	24.33	26.21	28.98	720	A	10.79	11.82	25.31
	B	20.54	21.13	16.41		B	12.11	12.82	20.36
	C	8.43	8.44	2.72		C	5.23	5.27	6.61
640	A	22.92	24.81	28.82	730	A	11.12	12.12	24.77
	B	19.63	20.40	18.79		B			
	C	8.20	8.22	3.87		C	4.87	4.91	7.01
650	A	21.44	23.47	29.78	740	A	8.45	9.14	23.08
	B	18.92	19.71	19.14		B	10.44	11.04	19.96
	C	7.80	7.82	4.65		C	4.74	4.77	6.95
660	A	19.09	21.10	29.92	750	A	8.33	8.95	22.07
	B	17.95	18.77	19.60		B			
	C	7.50	7.53	5.47		C	4.50	4.53	6.93
670	A	17.20	19.30	30.96	760	A	7.10	7.52	21.58
	B	16.81	17.62	19.71		B			
	C	6.88	7.02	5.55		C	4.09	4.12	7.00
680	A	16.61	18.42	29.02					
	B	15.99	16.82	20.18					
	C	6.86	6.90	6.11					

以上数据和曲线表明:

1) 二向色性很强的 W 片双折射也很强, 在 490 nm 处, A 片的 ϕ 可达 80.55° , 对应的椭圆长短轴之比 U 为 1.55(表中未列入)。按乳剂厚为 $6\ \mu\text{m}$, 双折射率 $\Delta n \approx 0.02$, 约为方解石的 10%, 这已经相当可观了。

2) W 片的双折射有强烈的波长敏感性, 而且不同 W 片 $\Delta\phi$ 与波长之间的关系具有大致相同的规律。图 4 表明, $\Delta\phi$ λ 曲线都存在一个极大值、一个极小值, 在 650 nm 之后大致趋于稳定, 只是二向色性强者曲线变化幅度很大, 二向色性弱者曲线较平缓。图 4 与已有报道中的理论曲线^[3]有一些相似之处, 而且 Δn 的实验值比文献[3]大得多。

3) 当双折射较强时, 二向色性角 β 与表观二向色性角 β_0 的差异极为显著。例如, A 片对 490 nm, $\beta = 11.31^\circ$, $\beta_0 = 34.24^\circ$, 后者竟为前者的三倍。由图 3、图 4 可见, 对 A 片大约在 550 nm 以下, $\Delta\phi$ 较大, β 与 β_0 的差异也很大, 在 550 nm 以上, $\Delta\phi$ 和 β 与 β_0 之差都较小。对二向色性很弱的 C 片, β 与 β_0 的差异在整个可见光谱区内都极其微弱, 在曲线上已经显示不

出来。在这种条件下完全可以忽略双折射, 以 β_0 代替 β 。

4) 对维格特效应的应用研究已有不少报道^[2, 4, 9~11], 它们大都是在二向色性很弱, 不计双折射, 不计 β 与 β_0 的差别的条件下完成的, 这无疑是正确的。如果二向色性较强, 就必须考虑 β 与 β_0 的差别, 由于 $\Delta\phi$ 很大, 检偏器 P_2 输出光的偏振态将非常复杂, 旋转 P_2 时, 对大部分波长将不存在输出近似为暗场的角位置, 甚至在 P_2 旋转 90° 的过程中, 对某些波长, 输出光强度的变化并不明显, 因此, 在使用双折射较强的 W 片时, 已有的各项应用均应加以修改。

参 考 文 献

- [1] F. Weigert. Uber einen neuen Effekt der Strahlung in lichtempfindlichen Schichten. *Physik Ges*, 1919, **21**(2): 479~ 490
- [2] 张静芳, 于美文. 利用氯化银乳胶光致二向色性实现假彩色编码. *光学学报*, 1982, **2**(2): 145~ 151
- [3] 张春平, 王 良, 李浩亮 等. Weigert 效应的理论分析. *光学学报*, 1986, **4**(4): 289~ 297
- [4] 张静芳, 于美文, 范少卿. 氯化银乳胶光致二向色性在光学信息处理中的应用, *北京工业学院学报*, 1982, **3**(3): 1~ 12
- [5] 陈为彰, 李剑生, 董大明 等. W 片二向色性角 β 的测定. *光电子·激光*, 1992, **3**(4): 217 ~ 222
- [6] 陈为彰, 董大明, 李剑生 等. W 片的二向色性角 β 与诱导时间和温度的实验规律. *光电子·激光*, 1993, **4**(5): 277~ 280
- [7] 陈为彰, 董大明, 李剑生 等. W 片二向色性角测定中的两个问题. *包头钢铁学院学报*, 1993, **12**(1): 17~ 20
- [8] J. P. Mathieu 著, 范少卿, 于美文, 张怀玉 译. *光学*, 第一版, 北京: 科学出版社, 1987: 305~ 308
- [9] J. M. C. Jonathan, M. May. Application of the Weigert effect to the contrast reversal of a black and white transparency. *Opt. Commun.*, 1979, **28**(1): 30~ 34
- [10] J. M. C. Jonathan, M. May. Anisotropy induced in a silver-chloride emulsion by two incoherent and perpendicular light vibrations. *Opt. Commun.*, 1979, **28**(3): 295~ 299
- [11] J. M. C. Jonathan, M. May. Interferograms generated by anisotropic photographic recording of two partially coherent vibrations perpendicularly polarized. *Appl. Opt.*, 1980, **19**(4): 624~ 630

Birefracton of W Flat

Dong Daming Jin Wei Liu Peilan Chen Weizhang

(Section of Fundamental, Baotou Institute of Iron and Steel Techontology, Baotou 014010)

(Received 14 June 1995; revised 2 January 1996)

Abstract In the W flat with Weigert effect, both dichroism and birefracton should be showed simultaneously, but the birefracton is neglected generally because of it's small. In this paper, we give a experimental result showing a remarkable birefracton as the dichroism is very strong (the phase difference between extraordinary and ordinary light be able to 80° and the value of $n_e - n_o \sim 0.02$). A series of data and curves of the experiment are obtained. A principle and experimental method for determining the dichroism and the birefracton of a W flat are suggestees.

Key words Weigert effect, dichroism, birefracton, experimental determination