

新型可调分扩束激光偏光镜的研究

李国华 郑义 李艺 狄振强

(曲阜师范大学, 曲阜)

摘要: 本文设计了一种新型可调分扩束激光偏光镜, 既能调节分束角, 又能扩束, 并作了实验验证。

The researches on a new type of adjustable beam-splitting-expanding laser polarizer

Li Guohua, Zheng Yi, Li Yi, Di Zhenqiang

(Qufu Normal University)

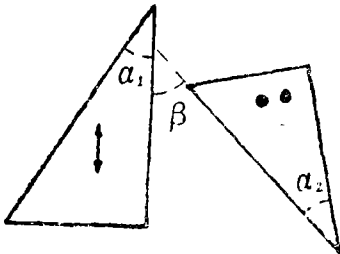
Abstract: A new type of adjustable beam-splitting-expanding laser polarizer which can adjust beam-splitting angles and expand beam has been designed, and its demonstrating has also been made.

一、引言

我们曾发明了一种可调分束角棱镜^[1], 以其分束角能连续可调等一系列优点, 受到国内外的好评。而现在设计的新型可调分扩束激光偏光镜不仅分束角可调 (特别是包括平行分束可调), 而且能对光束扩束。

二、设计原理及其构造

新型可调分扩束激光偏光镜由两块冰洲石三角棱镜组成, 如图1所示。



当一束自然光以 ϕ_{11} 角入射时, 在第一块三角棱镜中, o 光遵守普通折射定律。故有:

$$\left. \begin{aligned} n_o \sin \phi_{11} &= \sin \phi_{11} \\ \sin \phi_{21} &= n_o \sin \phi_{21} \\ \alpha_1 &= \phi_{11} + \phi_{21} \end{aligned} \right\} \quad (I)$$

式中, n_o 为 o 光折射率。解方程组 (I) 得:

$$\sin \phi_{21} = (n_o^2 - \sin^2 \phi_{11})^{1/2} \sin \alpha_1 - \sin \phi_{11} \cos \alpha_1 \quad (1)$$

图1 可调分扩束激光偏光镜结构图

经运算可得到o光扩束倍数 M_{o1} 为:

$$M_{o1} = \left| \frac{\cos\psi_{11} \cos\phi_{21}}{(\cos\phi_{11} \cos\psi_{21})} \right| \cdot \left| \frac{(n_o^2 - \sin^2\phi_{11})^{1/2} [1 - n_o^2 \sin^2\alpha_1 - \sin^2\phi_{11} \cos 2\alpha_1 + (n_o^2 - \sin^2\phi_{11})^{1/2} \cdot \sin\phi_{11} \sin 2\alpha_1]^{1/2}}{\{\cos\phi_{11} [(n_o^2 - \sin^2\phi_{11})^{1/2} \cos\alpha_1 + \sin\phi_{11} \sin\alpha_1]\}} \right| \quad (2)$$

对于e光, 根据菲涅耳原理, 经过一系列运算^[2], e光通过三角棱镜的第一个面时, 其折射角 ψ_{11}' 为:

$$\operatorname{ctg}\psi_{11}' = \frac{(n_o^2 - n_e^2) \sin 2\alpha_1 + 2n_o n_e [(n_o^2 \cos^2\alpha_1 + n_e^2 \sin^2\alpha_1) / \sin^2\phi_{11} - 1]^{1/2}}{[2(n_o^2 \cos^2\alpha_1 + n_e^2 \sin^2\alpha_1)]} \quad (3)$$

式中, n_e 为e光折射率。e光通过三角棱镜的第二个面时, 其折射角 ϕ_{21}' 为:

$$\sin\phi_{21}' = n_o n_e \sin(\alpha_1 - \psi_{11}') / [n_o^2 \cos^2(\alpha_1 - \psi_{11}') + n_e^2 \sin^2(\alpha_1 - \psi_{11}')]^{1/2} \quad (4)$$

e光束的扩束倍数 M_{e1} 为:

$$M_{e1} = \left| \frac{\cos\psi_{11}' \cos\phi_{21}'}{[\cos\phi_{11} \cos(\alpha_1 - \psi_{11}')] } \right| \quad (5)$$

由第一块三角棱镜出射的光进入第二块三角棱镜后, 原o光变成e光, 原e光变成o光, 故有:

$$\left. \begin{aligned} n_o \sin\psi_{12}' &= \sin\phi_{12}' \\ n_e \sin\psi_{22}' &= \sin\phi_{22}' \\ \alpha_2 &= \psi_{12}' + \psi_{22}' \\ \beta &= \phi_{12}' - \phi_{21}' \end{aligned} \right\} \quad (I)$$

$$M_{o2} = \left| \frac{\cos\psi_{12}' \cos\phi_{22}'}{(\cos\phi_{12}' \cos\psi_{22}')} \right|$$

$$n_o \sin\psi_{12} = \sin\phi_{12}$$

$$n_e \sin\psi_{22} = \sin\phi_{22}$$

$$\alpha_2 = \psi_{12} + \psi_{22}$$

$$\beta = \phi_{12} - \phi_{21}$$

$$M_{e2} = \left| \frac{\cos\psi_{12} \cos\phi_{22}}{(\cos\phi_{11} \cos\psi_{22})} \right| \quad (II)$$

解方程组 (II)、(III) 得:

$$\sin\phi_{22}' = [n_o^2 - \sin^2(\beta + \phi_{21}')]^{1/2} \sin\alpha_2 - \sin(\beta + \phi_{21}') \cos\alpha_2 \quad (6)$$

$$M_{e2} = \left| \frac{[n_o^2 - \sin^2(\beta + \phi_{21}')]^{1/2} \{1 - n_o^2 \sin^2\alpha_2 - \sin^2(\beta + \phi_{21}') \cos 2\alpha_2\}}{\dots} \right|$$

$$\begin{aligned}
 & + [\ n_0^2 - \sin^2(\beta + \phi_{21}') \]^{1/2} \sin(\beta + \phi_{21}') \sin 2\alpha_2 \}^{1/2} \\
 & \cdot [\ \cos(\beta + \phi_{21}') \]^{-1} \{ [\ n_0^2 - \sin^2(\beta + \phi_{21}') \]^{1/2} \cos \alpha_2 \\
 & + \sin(\beta + \phi_{21}') \sin \alpha_2 \}^{-1} \quad (7)
 \end{aligned}$$

$$\sin \phi_{22} = [\ n_0^2 - \sin^2(\beta + \phi_{21}) \]^{1/2} \sin \alpha_2 - \sin(\beta + \phi_{21}) \cos \alpha_2 \quad (8)$$

$$\begin{aligned}
 M_{o,2} = & | [\ n_0^2 - \sin^2(\beta + \phi_{21}) \]^{1/2} \{ 1 - n_0^2 \sin^2 \alpha_2 - \sin^2(\beta + \phi_{21}) \cos 2\alpha_2 \\
 & + [\ n_0^2 - \sin^2(\beta + \phi_{21}) \]^{1/2} \sin(\beta + \phi_{21}) \sin 2\alpha_2 \}^{1/2} \\
 & \cdot [\ \cos(\beta + \phi_{21}) \]^{-1} \{ [\ n_0^2 - \sin^2(\beta + \phi_{21}) \]^{1/2} \cos \alpha_2 + \sin(\beta + \phi_{21}) \sin \alpha_2 \}^{-1} | \quad (9)
 \end{aligned}$$

由(6)式、(8)式得到该偏光镜的分束角 ν 为:

$$\begin{aligned}
 \nu = & \phi_{22}' - \phi_{22} \\
 = & \arcsin \{ [\ n_0^2 - \sin^2(\beta + \phi_{21}') \]^{1/2} \sin \alpha_2 - \sin(\beta + \phi_{21}') \cos \alpha_2 \} \\
 & - \arcsin \{ [\ n_0^2 - \sin^2(\beta + \phi_{21}) \]^{1/2} \sin \alpha_2 - \sin(\beta + \phi_{21}) \cos \alpha_2 \} \quad (10)
 \end{aligned}$$

式中, ϕ_{21} 、 ϕ_{21}' 分别由(1)式、(4)式给出。

两光束的扩束倍数分别为:

$$\text{o光: } M_o = M_{o,1} M_{o,2}$$

$$\text{e光: } M_e = M_{e,1} M_{e,2}$$

整个光路如图2所示。

讨论: 由(1)、(4)、(10)及(2)、(5)、(7)、(9)式可看出:

1. 给定两三角棱镜间的相对位置时(即 β 一定), 调节入射角 ϕ_{11} , 分束角、光束大小相应地随着变化。

2. 当入射角 ϕ_{11} 一定时, 调节第二块三角棱镜(即调 β 值), 分束角、光束大小亦相应地随着变化。

特别值得指出: 当 β 调节到某一数值时, 分束角 $\nu=0$, 即平行分束。 β 值由下式决定:

$$\begin{aligned}
 & [\ n_0^2 - \sin^2(\beta + \phi_{21}') \]^{1/2} \sin \alpha_2 - \sin(\beta + \phi_{21}') \cos \alpha_2 \\
 & = [\ n_0^2 - \sin^2(\beta + \phi_{21}) \]^{1/2} \sin \alpha_2 - \sin(\beta + \phi_{21}) \cos \alpha_2
 \end{aligned}$$

并且通过平移第二块三角棱镜, 如图3所示(\Rightarrow 平移方向), 可改变两平行光束间的距离。

我们以 $\alpha_1 = 32^\circ$, $\alpha_2 = 32^\circ$, 波长 $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ 为例计算机处理的结果见表1。

由表可见, 可调分扩束激光偏光镜有平行分束的作用(从“+”、“-”的变化看出),

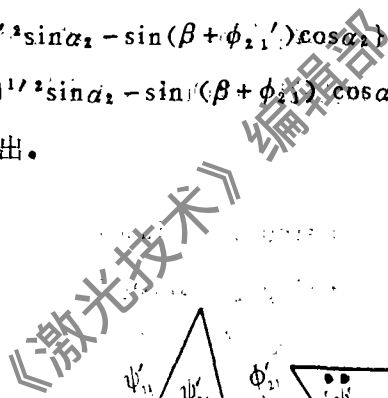


图2 可调分扩束激光偏光镜光路图

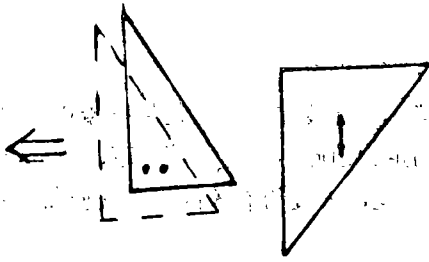


图3

三、实验数据

对可调分扩束激光偏光镜($\alpha_1 = 31^\circ 54'$, $\alpha_2 = 32^\circ 4'$) 进行测量。为便于比较将测试数据列于同一表中, 其角码加“测”字。

比较表1中相应的数据看出理论计算和测量是相符的。

表1

(单位: 度)

ϕ_{14}	β	$M_{\text{计}}$	$M_{\text{测}}$	$M_{\text{计}}$	$M_{\text{测}}$	$\nu_{\text{计}}$	$\nu_{\text{测}}$
-8	5	9.54	10.12	3.05	3.25	24.25	23.86
-8	25	3.81	3.78	0.39	0.42	8.31	8.25
-8	45	1.72	1.67	0.21	0.33	-8.31	-8.50
-8	65	1.25	1.31	0.17	0.20	-21.58	-22.11
-8	85	1.19	1.22	0.14	0.12	-31.62	-32.18
-5	5	32.49	31.07	1.25	1.29	19.38	19.50
-5	25	2.87	2.73	2.35	2.42	9.84	9.65
-5	45	1.49	1.61	0.67	0.62	-1.18	-1.23
-5	65	1.15	1.38	0.46	0.52	-10.24	-10.40
-5	85	1.15	1.30	0.38	0.31	-16.38	-16.29
-2	5	11.32	11.28	1.09	1.03	10.38	10.28
1	25	2.04	2.12	4.59	4.61	8.22	8.17
1	45	1.22	1.30	1.76	1.74	4.99	4.78
1	65	1.02	1.10	0.87	0.81	1.83	1.96
1	85	1.10	1.15	0.66	0.50	-0.28	-0.20
4	15	5.17	5.09	1.48	1.38	9.66	10.12
4	25	2.63	2.55	2.77	2.89	8.67	8.57
4	45	1.42	1.38	2.86	2.93	5.85	5.79
4	65	1.12	1.18	1.08	1.06	2.74	2.70
4	85	1.13	1.23	0.78	0.70	0.49	0.53

四、结 论

理论计算和实验结果均表明,该偏光镜有两个优点:

1. 分束角连续可调。而现在国外通用的偏光分束镜是洛匈棱镜、萨那芒特棱镜和渥拉斯顿棱镜^[3],分束角都是一定的,完全由棱镜结构角而定。因此,在许多情况下,有一块该分扩束镜就可以替代以上三种棱镜,以及平行分束偏光镜,无疑给有关的光学实验带来很多方便。

2. 具有扩束作用。这在染料激光器中有很重要的用途:染料激光器的许多应用要求同时在两个甚至三个波长以上有可调频的输出。Dilloff和Young等报道了非常有效的在激光横向泵浦的染料激光器中同时选择两个波长的方法,是把一个格兰-汤姆逊偏光镜放在染料盒及波长选择光栅之间,激光就被分成偏振方向互相垂直的某些波长得到反馈,进而被偏光镜反射出谐振腔^[4]。如果用分扩束激光偏光镜代替格兰-汤姆逊偏光镜,由于其扩束作用,从而提高光栅的分辨率,产生窄带宽输出^[5]。

总之,可调分扩束激光偏光镜有着广泛的用途。

参 考 文 献

- [1] 李国华,《曲阜师范大学学报》(自然科学版),1986年,第1期,第46页。
- [2] 蒋民华,《晶体物理》,山东科学技术出版社,第269页。
- [3] 李景镇主编,《光学手册》,陕西科学技术出版社,第526页。
- [4] M.L.斯蒂琪,激光技术和应用的进展,《激光手册》,第七分册,科学出版社,第230页。
- [5] F.J.Duarte, J.A.Piper, Appl. Opt., 1982, Vol.21, No.15, P.2782.

作者简介:李国华,男,1937年4月出生。教授,所长,研究生导师。1984年国家首批批准为“国家级有突出贡献的中年专家”,1988年被IBC(英国剑桥国际传记中心)编录入Men of Achievement,1989年分别被录入Dictionary of International Biography(英IBC出版)及The International Book of Honor(美ABI出版),并被邀入International Biographical Association,受聘为The American Biographical Institute的顾问委员会委员。先后承担“六五”、“七五”国家重点科技项目,已完成21项成果,其中有两项获国家发明奖,两项获世界发明展览奖(银牌、铜牌各一枚)。

郑 义,男,1964年出生。研究生。从事偏光器件和偏光技术研究。

李 艺,男,1956年出生。助教,硕士。现从事激光应用技术研究。

狄振强,男,1965年出生。助教。从事物理教学。

收稿日期:1989年10月16日。