



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114779382 A

(43) 申请公布日 2022. 07. 22

(21) 申请号 202210708681.1

(22) 申请日 2022.06.22

(71) 申请人 杭州拓致光电科技有限公司

地址 311400 浙江省杭州市富阳区春江街  
道江南路68号第23幢303室

(72) 发明人 晋帅 胡红雷 宋学智 嵇舒豪

(74) 专利代理机构 深圳市君胜知识产权代理事  
务所(普通合伙) 44268

专利代理师 王永文

(51) Int. Cl.

G02B 5/18 (2006.01)

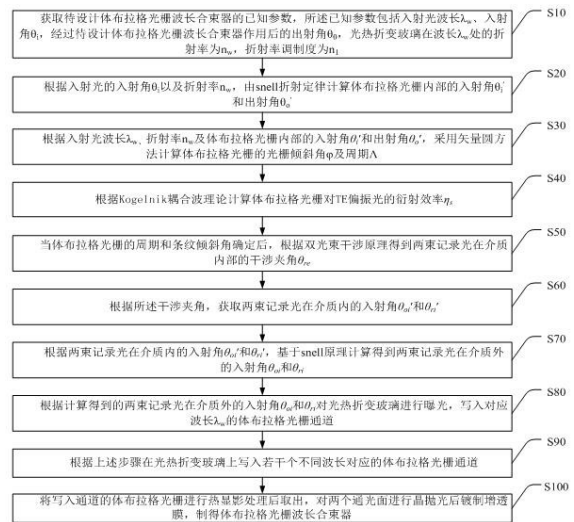
权利要求书2页 说明书8页 附图6页

(54) 发明名称

一种基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波  
长合束器及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开一种基于光热折变玻璃的体布  
拉格光栅波长合束器及其制备方法,其中,制备  
方法包括步骤:利用耦合波理论和矢量圆方法构  
建合束器内部体布拉格光栅通道参数,然后根据  
双光束干涉原理得到两束记录光在介质内部的  
干涉夹角并获取两束记录光在介质内的入射角  
 $\theta_{oi}'$ 和 $\theta_{ri}'$ ;接着计算得到两束记录光在介质  
外的入射角 $\theta_{oi}$ 和 $\theta_{ri}$ ;最后基于入射角 $\theta_{oi}$   
和 $\theta_{ri}$ 对光热折变玻璃进行曝光,写入对应波长 $\lambda_w$   
的体布拉格光栅通道;将体布拉格光栅进行热显  
影处理后,对两个通光面进行晶抛光后镀膜增透  
膜,制得体布拉格光栅波长合束器。本发明制备  
的体布拉格光栅波长合束器具有结构简单紧凑、  
环境适应性强、抗老化能力和抗激光损伤能力  
强,能够满足高功率激光波长合束的需求。



CN 114779382 A

1. 一种基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法, 其特征在于, 包括步骤:

获取待设计体布拉格光栅波长合束器的已知参数, 所述已知参数包括入射光波长  $\lambda_w$ 、入射角  $\theta_i$ , 经过待设计体布拉格光栅波长合束器作用后的出射角  $\theta_o$ , 光热折变玻璃在波长  $\lambda_w$  处的折射率为  $n_w$ , 折射率调制度为  $n_1$ ;

根据入射光的入射角  $\theta_i$  以及折射率  $n_w$ , 由snell折射定律计算体布拉格光栅内部的入射角  $\theta_i'$  和出射角  $\theta_o'$ ;

根据入射光波长  $\lambda_w$ 、折射率  $n_w$  及体布拉格光栅内部的入射角  $\theta_i'$  和出射角  $\theta_o'$ , 采用矢量圆方法计算体布拉格光栅的光栅倾斜角  $\varphi$  及周期  $\Lambda$ ;

根据Kogelnik耦合波理论计算体布拉格光栅对TE偏振光的衍射效率  $\eta_s$ ;

当体布拉格光栅的周期和条纹倾斜角确定后, 根据双光束干涉原理得到两束记录光在介质内部的干涉夹角  $\theta_{re}$ ;

根据所述干涉夹角, 获取两束记录光在介质内的入射角  $\theta_{oi}'$  和  $\theta_{ri}'$ ;

根据两束记录光在介质内的入射角  $\theta_{oi}'$  和  $\theta_{ri}'$ , 基于snell原理计算得到两束记录光在介质外的入射角  $\theta_{oi}$  和  $\theta_{ri}$ ;

根据计算得到的两束记录光在介质外的入射角  $\theta_{oi}$  和  $\theta_{ri}$  对光热折变玻璃进行曝光, 写入对应波长  $\lambda_w$  的体布拉格光栅通道;

根据上述步骤在光热折变玻璃上写入若干个不同波长对应的体布拉格光栅通道;

将写入通道的体布拉格光栅进行热显影处理后取出, 对两个通光面进行晶抛光后镀制增透膜, 制得体布拉格光栅波长合束器。

2. 根据权利要求1所述基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法, 其特征在于, 由snell折射定律计算得到体布拉格光栅内部的入射角为  $\theta_i' = \arcsin\left(\frac{\sin(\theta_i)}{n_w}\right)$ ;

出射角为  $\theta_o' = \arcsin\left(\frac{\sin(\theta_o)}{n_w}\right)$ 。

3. 根据权利要求2所述基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法, 其特征在于, 采用矢量圆方法计算体布拉格光栅的光栅倾斜角为  $\varphi = \frac{\pi}{2} - \frac{\theta_i' + \theta_o'}{2}$ , 周期

$$\text{为 } \Lambda = \frac{\lambda_w}{2n_w \cos(\varphi + \theta_i')}。$$

4. 根据权利要求3所述基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法,其特征在于,当布拉格失配量为零时,根据Kogelnik耦合波理论计算体布拉格光栅对TE偏振光的衍射效率表示为

$$\eta_s = \sin^2 \frac{\pi n_1 d}{\lambda_w \sqrt{\cos \theta_i' (\cos \theta_i' - K \cos \varphi / \beta)}}，其中，K=2\pi/\Lambda，$$

$\beta=2\pi n_w/\lambda_w$ ,  $d$  为体布拉格光栅的厚度。

5. 根据权利要求4所述基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法,其特征在于,根据双光束干涉原理得到两束记录光在介质内部的干涉夹角表示为

$$\theta_{re} = \arcsin(\lambda_r / (2n_r \Lambda))，其中，\lambda_r 为记录光波长，n_r 为记录光波长下的玻璃折射率。$$

6. 根据权利要求5所述基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法,其特征在于,根据所述干涉夹角,获取两束记录光在介质内的入射角表示为

$$\theta_{oi}' = \frac{\pi}{2} - \varphi + \theta_{re} \text{ 和 } \theta_{ri}' = \frac{\pi}{2} - \varphi - \theta_{re}。$$

7. 根据权利要求6所述基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法,其特征在于,根据snell原理计算得到两束记录光在介质外的入射角表示为

$$\theta_{oi} = \arcsin(n_r \sin(\theta_{oi}')) \text{ 和 } \theta_{ri} = \arcsin(n_r \sin(\theta_{ri}'))。$$

8. 根据权利要求1所述基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法,其特征在于,将写入通道的体布拉格光栅进行热显影处理的步骤中,热显影温度为450-550℃,热显影时间为60-120min。

9. 一种基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器,其特征在于,采用权利要求1-8任一所述基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法制得。

## 一种基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光学元件制造技术领域,特别涉及一种基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 为了提高激光器光束的输出质量和输出功率,人们开始研制可用于波长组束的各种光学元器件。其中,在通讯领域内应用广泛的是波分复用器(Wavelength Division Multiplexing,WDM),体位相全息光栅WDM由于其结构独特、线密度高、空间频率高、衍射效率高等优点,从而成为波分复用领域研究的热点。目前,WDM中的体位相全息光栅是在BK7基底的两面分别制作基于重铬酸盐明胶的体位相全息透射式光栅和反射式光栅,再用环氧树脂对光栅进行封装而制得。

[0003] 现有专利CN103592770A,CN208060867U公开了一些体位相全息光栅的制备工艺,但是其公开的技术主要存在以下问题:1、工序复杂,包含BK7基底清洗、明胶溶液配制、涂胶、老化、曝光、水洗、定影、脱水、吹干和封装等工序;2、制备较高的衍射效率光栅时需要的重铬酸盐明胶的厚度较厚,已经到了十几个微米,这对涂胶技术带来了挑战;3、重铬酸盐明胶是一种有机物,其化学稳定性对环境的温度、湿度有一定的要求,而且随着时间的推移胶体老化是一个无法避免的问题;4、重铬酸盐明胶的抗激光损伤阈值较低,仅可适用于较低功率的激光合束,不能适应高功率激光合束的需求。

[0004] 随着高功率激光需求的与日俱增,研究人员为了提高体位相光栅对环境的适应性、长时间抗老化能力和抗激光损伤能力,对基于光热折变玻璃的体布拉格光栅进行合束研究,其原因在于玻璃基体具有良好的环境稳定性、长期抗老化能力和抗激光损伤阈值都较高。然而,现有研究要么是对激光合束系统进行设计并实验验证合束输出能力,要么就是对体布拉格光栅进行了最为基础的理论设计研究,并未涉及波长合束器本身的制造方法。

[0005] 因此,现有技术还有待于改进和发展。

### 发明内容

[0006] 鉴于上述现有技术的不足,本发明的目的在于提供一种基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器及其制备方法,旨在解决现有基于重铬酸盐明胶波长合束器制备工艺复杂,制备的该种波长合束器环境适应性差、易老化、抗激光损伤能力差的问题。

[0007] 本发明的技术方案如下:

一种基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法,其中,包括步骤:

获取待设计体布拉格光栅波长合束器的已知参数,所述已知参数包括入射光波长

$\lambda_w$ 、入射角  $\theta_i$ ,经过待设计体布拉格光栅波长合束器作用后的出射角  $\theta_0$ ,光热折变玻璃在波长  $\lambda_w$  处的折射率为  $n_w$ ,折射率调制度为  $n_1$ ;

根据入射光的入射角  $\theta_i$  以及折射率  $n_w$  ,由snell折射定律计算体布拉格光栅内部的入射角  $\theta_i'$  和出射角  $\theta_o'$  ;

根据入射光波长  $\lambda_w$  、折射率  $n_w$  及体布拉格光栅内部的入射角  $\theta_i'$  和出射角  $\theta_o'$  ,采用矢量圆方法计算体布拉格光栅的光栅倾斜角  $\varphi$  及周期  $\Lambda$  ;

根据Kogelnik耦合波理论计算体布拉格光栅的衍射效率  $\eta_s$  ;

当体布拉格光栅的周期和条纹倾斜角确定后,根据双光束干涉原理得到两束记录光在介质内部的干涉夹角  $\theta_{re}$  ;

根据所述干涉夹角,获取两束记录光在介质内的入射角  $\theta_{oi}'$  和  $\theta_{ri}'$  ;

根据两束记录光在介质内的入射角  $\theta_{oi}'$  和  $\theta_{ri}'$  ,基于snell原理计算得到两束记录光在介质外的入射角  $\theta_{oi}$  和  $\theta_{ri}$  ;

根据计算得到的两束记录光在介质外的入射角  $\theta_{oi}$  和  $\theta_{ri}$  对光热折变玻璃进行曝光,写入对应波长  $\lambda_w$  的体布拉格光栅通道;

根据上述步骤在光热折变玻璃上写入若干个不同波长对应的体布拉格光栅通道;

将写入通道的体布拉格光栅进行热显影处理后取出,对两个通光面进行精抛光后镀制增透膜,制得体布拉格光栅波长合束器。

[0008] 所述基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法,其中,由snell折

射定律计算得到体布拉格光栅内部的入射角为  $\theta_i' = \arcsin\left(\frac{\sin(\theta_i)}{n_w}\right)$  ;出射角为

$$\theta_o' = \arcsin\left(\frac{\sin(\theta_o)}{n_w}\right)。$$

[0009] 所述基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法,其中,采用矢量

圆方法计算体布拉格光栅的光栅倾斜角为  $\varphi = \frac{\pi}{2} - \frac{\theta_i' + \theta_o'}{2}$  ,周期为

$$\Lambda = \frac{\lambda_w}{2n_w \cos(\varphi + \theta_i')}。$$

[0010] 所述基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法,其中,当布拉格失配量为零时,根据Kogelnik耦合波理论计算体布拉格光栅对于TE偏振光的衍射效率表示

为  $\eta_s = \sin^2 \frac{\pi n_1 d}{\lambda_w \sqrt{\cos \theta_i' (\cos \theta_i' - K \cos \varphi / \beta)}}$  ,其中,  $K = 2\pi / \Lambda$  ,  $\beta = 2\pi n_w / \lambda_w$  ,  $d$  为体布拉格

光栅的厚度。

[0011] 所述基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法,其中,根据双光束干涉原理得到两束记录光在介质内部的干涉夹角表示为  $\theta_{re} = \arcsin(\lambda_r / (2n_r \Lambda))$  ,

其中,  $\lambda_r$  为记录光波长,  $n_r$  为记录光波长下的玻璃折射率。

[0012] 所述基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法,其中,根据所述干涉夹角,获取两束记录光在介质内的入射角表示为  $\theta_{oi}' = \frac{\pi}{2} - \varphi + \theta_{re}$  和

$$\theta_{ri}' = \frac{\pi}{2} - \varphi - \theta_{re}。$$

[0013] 所述基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法,其中,根据snell原理计算得到两束记录光在介质外的入射角表示为  $\theta_{oi} = \arcsin(n_r \sin(\theta_{oi}'))$  和

$$\theta_{ri} = \arcsin(n_r \sin(\theta_{ri}'))。$$

[0014] 所述基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法,其中,将写入通道的体布拉格光栅进行热显影处理的步骤中,热显影温度为450-550℃,热显影时间为60-120min。

[0015] 一种基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器,其中,采用本发明所述基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法制得。

[0016] 有益效果:与传统的重铬酸明胶体位相全息光栅合束器相比,本发明通过将多组光栅通道写入一块光热折变玻璃内部,其结构更加紧凑,且制得的体布拉格光栅波长合束器具有更好的环境适应性、更长时间抗老化能力和更高的抗激光损伤能力,能够满足高功率激光波长合束的需求。并且本发明提供的基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法工序较少,流程控制简单,便于批量化生产。

[0017]

## 附图说明

[0018] 图1为本发明一种基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法流程图。

[0019] 图2为体布拉格光栅的波长合束器原理示意图。

[0020] 图3为矢量圆方法示意图。

[0021] 图4为光栅记录光在光热折变玻璃内部的记录角度示意图。

[0022] 图5为实施例1中波长450nm、532nm、640nm三波长合束器示意图。

[0023] 图6为波长532nm和640nm的角谱曲线图。

[0024] 图7为波长532nm和640nm的光谱曲线图。

[0025] 图8为波长532nm和640nm体布拉格光栅通道制备的曝光示意图。

### 具体实施方式

[0026] 本发明提供一种基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器及其制备方法,为使本发明的目的、技术方案及效果更加清楚、明确,以下对本发明进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0027] 请参阅图1,图1为本发明提供的一种基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法流程图,如图所示,其包括步骤:

S10、获取待设计体布拉格光栅波长合束器的已知参数,所述已知参数包括入射光波长  $\lambda_w$ 、入射角  $\theta_i$ ,经过待设计体布拉格光栅波长合束器作用后的出射角  $\theta_o$ ,光热折变玻璃在波长  $\lambda_w$  处的折射率为  $n_w$ ,折射率调制度为  $n_1$ ;

S20、根据入射光的入射角  $\theta_i$  以及折射率  $n_w$ ,由snell折射定律计算体布拉格光栅内部的入射角  $\theta_i'$  和出射角  $\theta_o'$ ;

S30、根据入射光波长  $\lambda_w$ 、折射率  $n_w$  及体布拉格光栅内部的入射角  $\theta_i'$  和出射角  $\theta_o'$ ,采用矢量圆方法计算体布拉格光栅的光栅倾斜角  $\varphi$  及周期  $\Lambda$ ;

S40、根据Kogelnik耦合波理论计算体布拉格光栅对TE偏振光的衍射效率  $\eta_s$ ;

S50、当体布拉格光栅的周期和条纹倾斜角确定后,根据双光束干涉原理得到两束记录光在介质内部的干涉夹角  $\theta_{re}$ ;

S60、根据所述干涉夹角,获取两束记录光在介质内的入射角  $\theta_{oi}'$  和  $\theta_{ri}'$ ;

S70、根据两束记录光在介质内的入射角  $\theta_{oi}'$  和  $\theta_{ri}'$ ,基于snell原理计算得到两束记录光在介质外的入射角  $\theta_{oi}$  和  $\theta_{ri}$ ;

S80、根据计算得到的两束记录光在介质外的入射角  $\theta_{oi}$  和  $\theta_{ri}$  对光热折变玻璃进行曝光,写入对应波长  $\lambda_w$  的体布拉格光栅通道;

S90、根据上述步骤在光热折变玻璃上写入若干个不同波长对应的体布拉格光栅通道;

S100、将写入通道的体布拉格光栅进行热显影处理后取出,对两个通光面进行晶抛光后镀制增透膜,制得体布拉格光栅波长合束器。

[0028] 具体来讲,由于现有基于重铬酸盐明胶的体位相全息光栅不能满足更高功率激光合束的需求,基于此,本发明利用光热折变玻璃对环境的适应性强、具有长时间抗老化能力和抗激光损伤能力的特点,通过将多组光栅通道写入一块光热折变玻璃内部制得体布拉格光栅波长合束器,其结构更加简单紧凑,且具有更好的环境适应性、更长时间抗老化能力和更高的抗激光损伤能力,能够满足高功率激光波长合束的需求。并且本发明提供的基于光

热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法工序较少,流程控制简单,便于批量化生产,填补了现有技术在该领域的技术空白。

[0029] 为了解释本发明基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备原理,本实施例将从最简单的单通道体布拉格光栅进行详细说明,该波长合束器可实现2个波长的组束,需要提醒的是,更多波长的合束器无非是增加体布拉格光栅通道而已。

[0030] 如图2所示,入射光  $\lambda_1$  以入射角  $\theta_0$  入射直接穿透合束器以出射角  $\theta_0$  出射,入射光  $\lambda_w$  以入射角  $\theta_i$  入射,经光栅作用后同样以出射角  $\theta_0$  出射。其中,光栅周期为  $\Lambda$ ,厚度为  $d$ ,光栅矢量方向  $K_g$  与法线的夹角被称为光栅倾斜角  $\varphi$ ,光热折变玻璃在波长  $\lambda_w$  处的折射率为  $n_w$ ,折射率调制度为  $n_1$ 。

[0031] 因为光栅在空气中使用(空气折射率为1),由snell折射定律计算得到体布拉格光栅内部的入射角  $\theta'_i$  和出射角  $\theta'_o$  :

$$\begin{aligned} \theta'_i &= \arcsin\left(\frac{\sin(\theta_i)}{n_w}\right) \\ \theta'_o &= \arcsin\left(\frac{\sin(\theta_o)}{n_w}\right) \end{aligned} \quad (1), \text{其中, } \theta_i \text{ 和 } \theta_o \text{ 为需求的介质外入射角和出射角,}$$

规定顺时针的角度为正角,逆时针的角度为负角。

[0032] 如图3所示,根据矢量圆方法(图2)计算光栅的周期及倾斜角:

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{\pi}{2} - \frac{\theta'_i + \theta'_o}{2} \\ \Lambda &= \frac{\lambda_w}{2n_w \cos(\varphi + \theta'_i)} \end{aligned} \quad (2)。$$

[0033] 在无吸收材料中,根据Kogelnik耦合波理论计算体光栅获得极大衍射效率时,光栅厚度  $d$  和折射率调制度  $n_1$  所需满足的关系。布拉格失配量为零时,衍射效率  $\eta_s$  (TE偏振) 可以表示为:

$$\eta_s = \sin^2 \frac{\pi n_1 d}{\lambda_w \sqrt{\cos \theta'_i (\cos \theta'_i - K \cos \varphi / \beta)}} \quad (3), \text{其中, } K = 2\pi / \Lambda, \beta = 2\pi n_w / \lambda_w。$$

[0034] 从上述公式(3)可以看出,一旦角度、波长确定后,光栅的周期和倾斜角即被确定下来,要使衍射效率最大,光栅厚度  $d$  和折射率调制度  $n_1$  的乘积需为某一常数。在选择光栅厚度  $d$  时需要注意,光栅的厚度  $d$  越大时,其角度选择性曲线的半高宽越窄,这会限制 mrad 量级发散角的光束在经过体光栅衍射时的最终效率;光栅的厚度  $d$  越小时,光栅的折射率调制度  $n_1$  也需越大,同时制备容差也会相对较大。

[0035] 当体布拉格光栅的周期和条纹倾斜角确定后,根据双光束干涉原理可以得到两束



记录光在介质内部的干涉夹角应为： $\theta_{re} = \arcsin(\lambda_r / (2n_r \Lambda))$  (4)，其中，其中，

$\lambda_r$  为记录光波长， $n_r$  为记录光波长下的玻璃折射率。

[0036] 如图4所示，两束记录光(物光和参考光)在介质内的入射角  $\theta_{oi}'$  和  $\theta_{ri}'$  可以表

$$\begin{aligned} \theta_{oi}' &= \frac{\pi}{2} - \varphi + \theta_{re} \\ \theta_{ri}' &= \frac{\pi}{2} - \varphi - \theta_{re} \end{aligned} \quad (5);$$

再根据 snell 原理计算得到两束记录光在介质外的入射角  $\theta_{oi}$  和  $\theta_{ri}$ ，

$$\begin{aligned} \theta_{oi} &= \arcsin(n_r \sin(\theta_{oi}')) \\ \theta_{ri} &= \arcsin(n_r \sin(\theta_{ri}')) \end{aligned} \quad (6);$$

根据计算得到的两束记录光在介质外的入射角  $\theta_{oi}$  和  $\theta_{ri}$  对光热折变玻璃进行曝光，写入对应波长  $\lambda_{uv}$  的体布拉格光栅通道，根据上述步骤在光热折变玻璃上写入若干个不同波长对应的体布拉格光栅通道，经双光束曝光后，再将体布拉格光栅放置在马弗炉中进行热显影，当衍射效率未达到目标值时可以再次回炉提高其折射率调制度  $n_1$  以达到较高的衍射效率，若反复热显影效率不再提升，则需要提高曝光量，总之通过调节曝光量和热显影工艺直至衍射效率达到目标值。最后对两个通光面进行精抛光、镀制使用波长的减反射膜，得到体布拉格光栅波长合束器。

[0037] 在一些实施方式中，将写入通道的体布拉格光栅进行热显影处理的步骤中，热显影温度为450-550℃，热显影时间为60-120min。作为举例，热显影温度为500℃，热显影时间为90min。

[0038] 在一些实施方式中，在对光热折变玻璃进行曝光的过程中，曝光量为80-120mJ/cm<sup>2</sup>，但不限于此。

[0039] 在一些实施方式中，还提供一种基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器，其采用本发明所述基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法制得。本发明制备的基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器，它是以光热折变玻璃作为全息记录介质的透射型体布拉格光栅组成，所述体布拉格光栅具有多个光栅通道。在多波长光中，其中一束光不受所有光栅通道的影响直接穿过合束器，其他波长光经相应的光栅通道衍射后与直接穿透合束器光同一方向出射，达到多波长合束的目的，可知若需要组束合成的波长有m个，那么需要的光栅通道的个数为m-1个。

[0040] 下面通过具体实施例对本发明做进一步的解释说明：

#### 实施例1

提供一种基于光热折变玻璃的体布拉格光栅合束器的制备方法，实现对450nm、532nm、640nm三个波长进行组束，三波长光的偏振态为TE偏振。图5是所述三波长合束器的

结构和使用光路示意图。考虑到系统使用的紧凑性(入射角不宜过大),波长为450nm的光 $0^\circ$ 入射至合束器中并以 $0^\circ$ 出射,不占用光栅通道。而波长为532nm和640nm的光,都以 $10^\circ$ 入射至合束器中,同样以 $0^\circ$ 出射。根据定义,532nm光的入射角为 $10^\circ$ ,640nm光的入射角为 $-10^\circ$ 。取光栅厚度d为1mm,衍射效率为100%。

[0041] 1、根据上述应用指标描述,可对该体布拉格光栅波长合束器进行设计,具体如下:

(A) 利用折射率仪测量和柯西模型拟合得到光热折变玻璃分别对波长325nm、532nm、640nm的折射率为1.5301、1.5048、1.4997;

(B) 根据本申请上述公式(1)-(3)可以计算得到光栅1和光栅2的介质内入射角、周期、倾斜角、折射率调制度等参数,如表1所示。

[0042] 表1 光栅1和光栅2的介质内入射角、周期、倾斜角、折射率调制度等参数表

光栅通道	介质内出射角( $^\circ$ )	介质内入射角 $\theta_i$ ( $^\circ$ )	倾斜角 $\varphi$ ( $^\circ$ )	周期 $\Lambda$ (nm)	折射率调制度 $n_1$
光栅 1 (532nm)	0	6.6265	86.6867	3058.5435	$2.6 \times 10^{-4}$
光栅 2 (640nm)	0	-6.6491	93.3245	3679.4088	$3.1 \times 10^{-4}$

那么得到532nm和640nm的角谱曲线和光谱曲线图,分别参阅图6和图7。当衍射效率达到100%时,波长合束器的角半宽分别为 $0.21^\circ$ 和 $0.18^\circ$ ,光谱半宽分别为22nm和32nm。因此,在使用时该波长合束器对激光的发散角要求在几十个mrad以内(一般准直过的激光器都能达到);有足够的光谱半宽范围,对激光波长纯度要求不高。

[0043] 2、采用非对称紫外双光路曝光系统实现波长450nm、532nm和640nm的三波长合束器的制造,步骤如下:

根据公式(4)-(6)可以计算得到制备532nm和640nm体布拉格光栅通道,两束光在介质外的入射角 $\theta_{oi}$ 和 $\theta_{ri}$ (参考图3)分别如表2所示。

[0044] 表2 制备532nm和640nm体布拉格光栅通道,两束光在介质外的入射角 $\theta_{oi}$ 和 $\theta_{ri}$ 表

	532nm	640nm
记录光1入射角 $\theta_{ri}$	$8^\circ 7' 47''$	$-2^\circ 33' 22''$
记录光2入射角 $\theta_{oi}$	$2^\circ 1' 29''$	$-7^\circ 37' 48''$

(B) 根据计算得到的记录光1和记录光2的入射角度对表面精抛光后的光热折变玻璃进行光栅结构制备,曝光角度示意图参考图8所示。光热折变玻璃的厚度为1mm。曝光时,在光热折变玻璃背面贴上黑色吸光片,玻璃与黑色吸光片之间采用折射率匹配液进行粘粘并排出空气,以尽可能减少背面反射对光栅写入的影响;

(C) 采用波长为325nm的紫外光在上述记录光角度对光热折变玻璃进曝光,先写入波长532nm的体布拉格光栅通道,再写入波长640nm的体布拉格光栅通道,曝光量为 $100\text{mJ}/\text{cm}^2$ ;

(D) 再将其放置于 $500^\circ\text{C}$ 的马弗炉中热显影90分钟后取出,对两个通光面进行精抛

光后镀制针对450nm、532nm、640nm的增透膜,完成体布拉格光栅波长合束器的制备。

[0045] 实施例1仅用于说明体布拉格光栅波长合束器的研制过程,还可根据实际应用情况,对使用波长、入射角度、出射角度、通道数量进行改变。

[0046] 综上所述,本发明通过将多组光栅通道写入一块光热折变玻璃内部,其结构更加紧凑,且制得的体布拉格光栅波长合束器具有更好的环境适应性、更长时间抗老化能力和更高的抗激光损伤能力,能够满足高功率激光波长合束的需求。并且本发明提供的基于光热折变玻璃的体布拉格光栅波长合束器的制备方法工序较少,流程控制简单,便于批量化生产。

[0047] 应当理解的是,本发明的应用不限于上述的举例,对本领域普通技术人员来说,可以根据上述说明加以改进或变换,所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

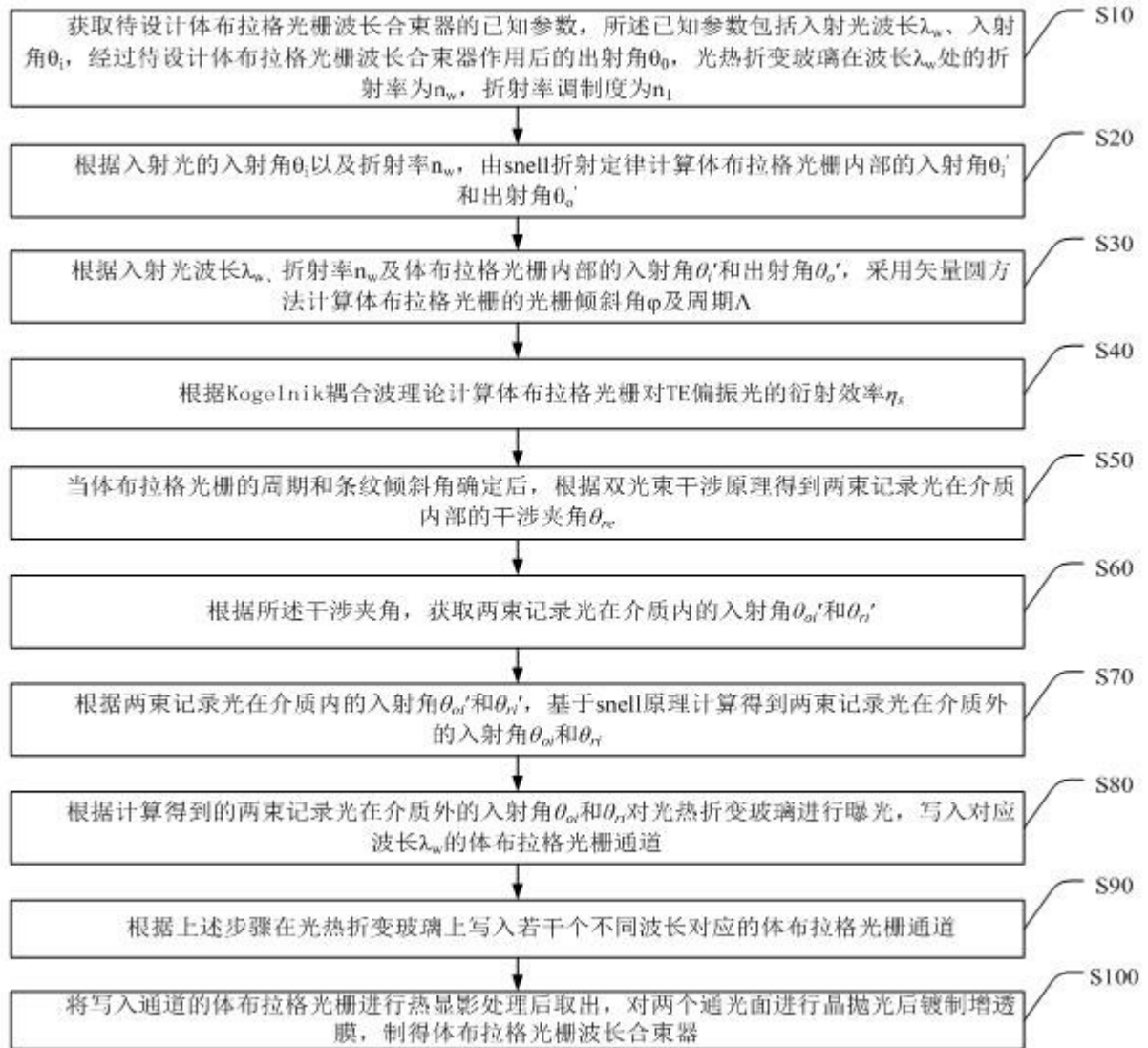


图1

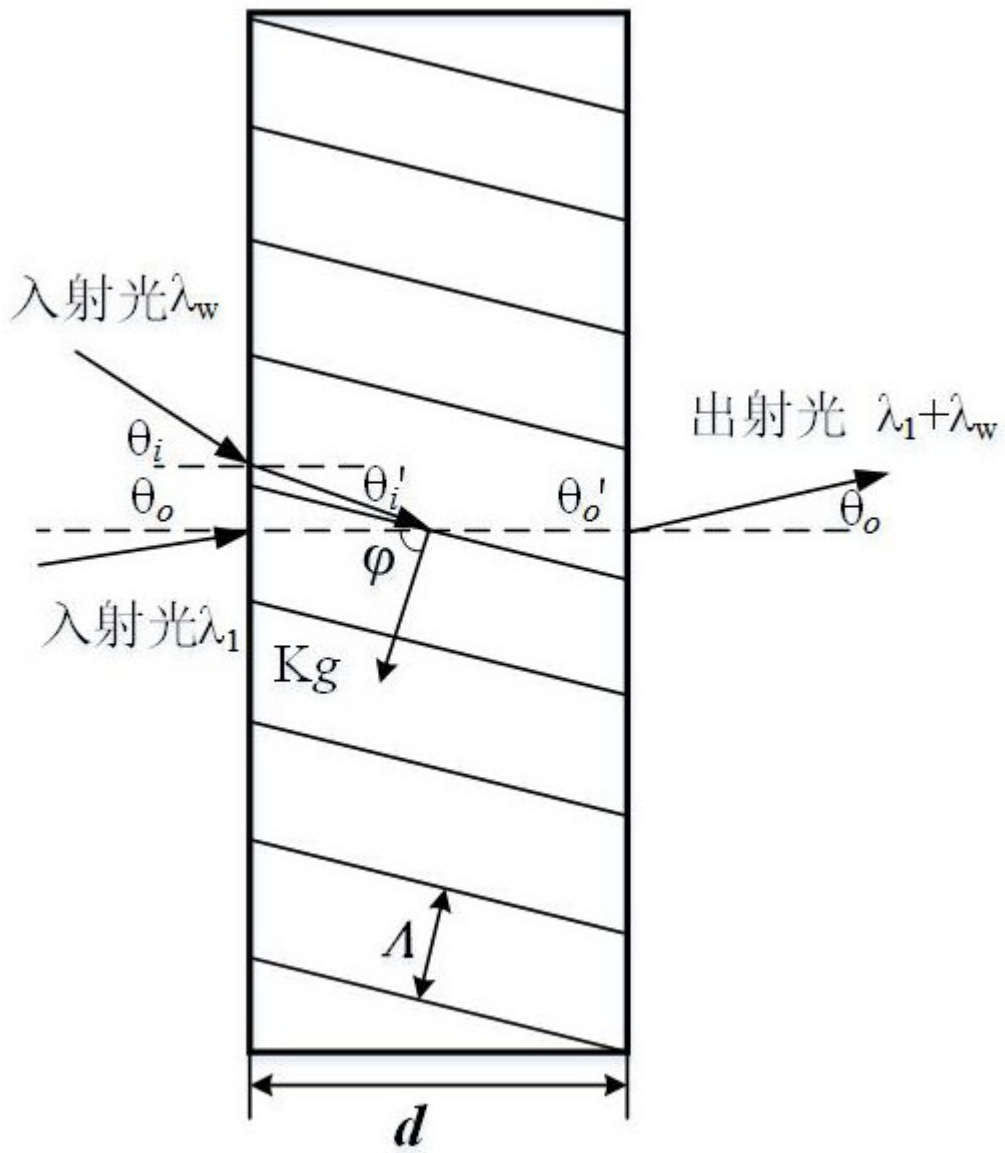


图2

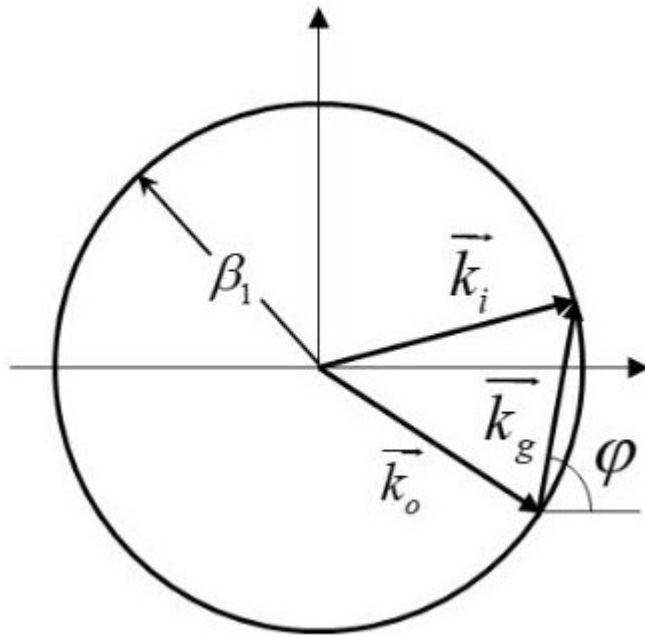


图3

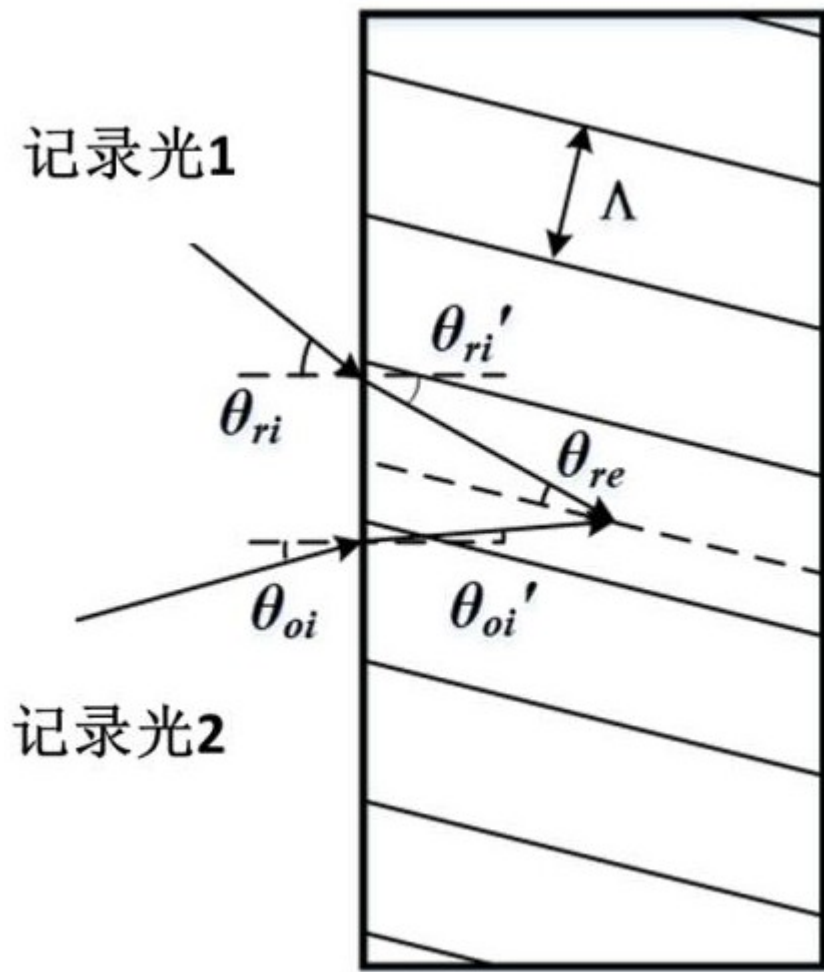


图4

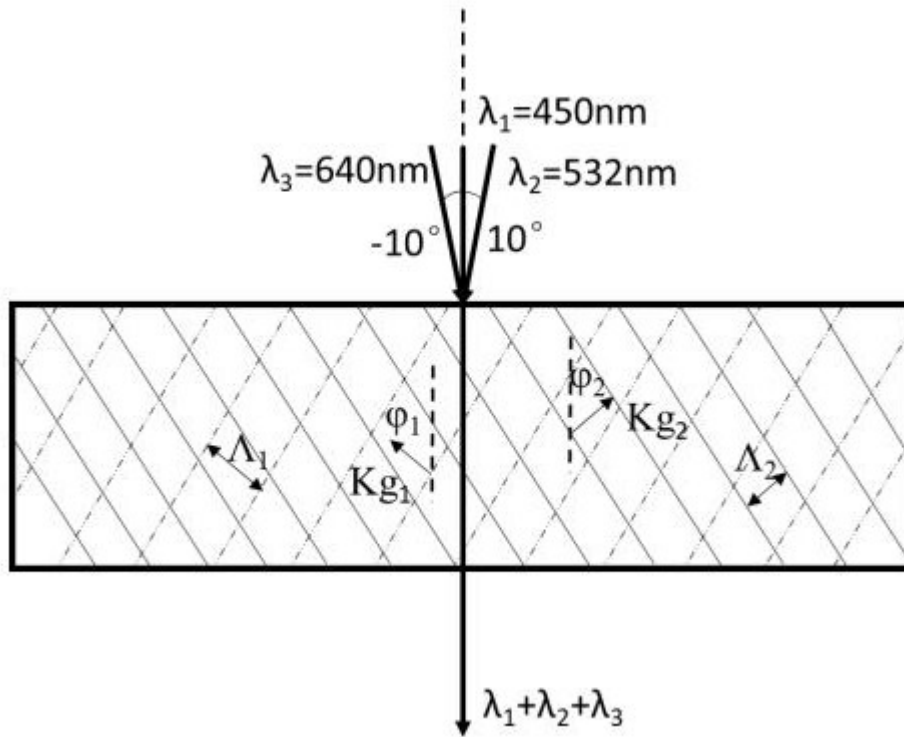


图5

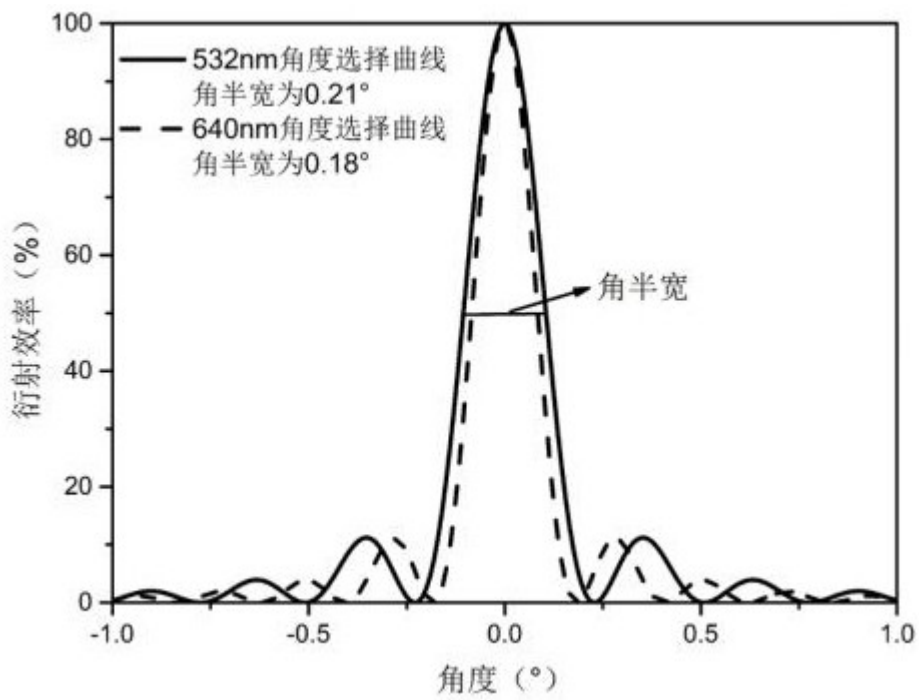


图6



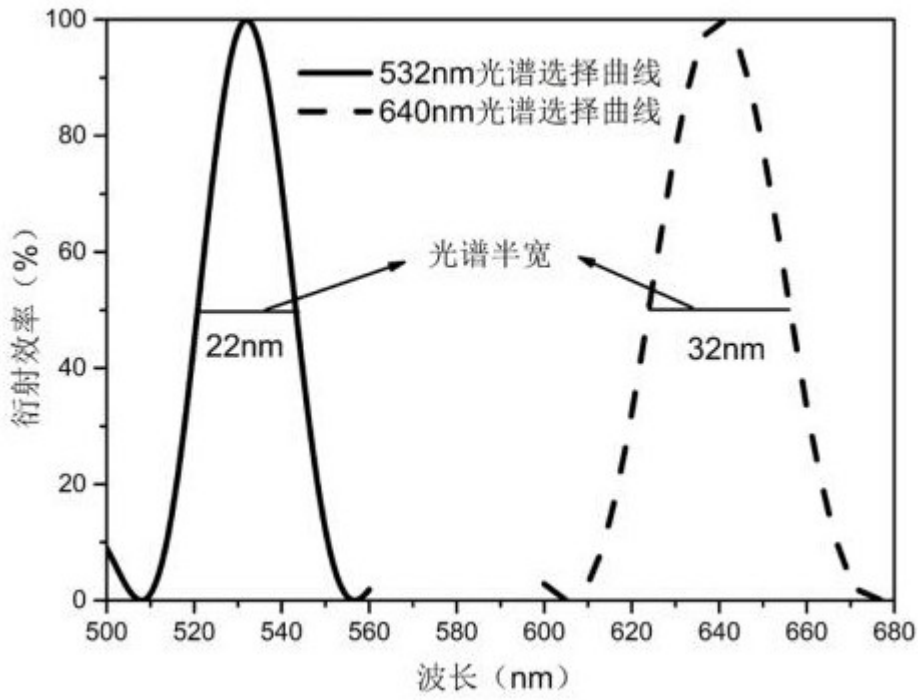


图7

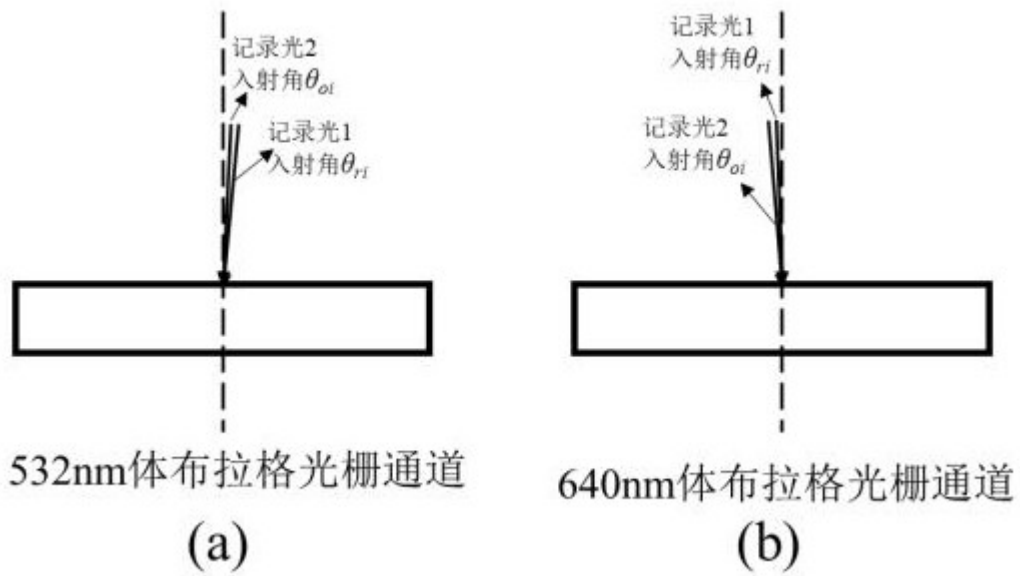


图8