



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113328327 A

(43) 申请公布日 2021.08.31

(21) 申请号 202110759023.0

(22) 申请日 2021.07.05

(71) 申请人 湖北科技学院

地址 437100 湖北省咸宁市咸安区咸宁大道88号

(72) 发明人 何俊荣 王可畏 徐四六 段云秀

(74) 专利代理机构 咸宁鸿信专利代理事务所
(普通合伙) 42249

代理人 刘喜

(51) Int.Cl.

H01S 3/067 (2006.01)

H01S 3/082 (2006.01)

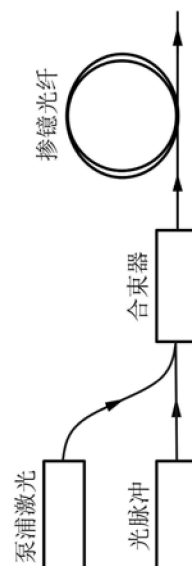
权利要求书2页 说明书4页 附图5页

(54) 发明名称

一种基于半导体量子点的光脉冲自相似放大装置

(57) 摘要

本发明提供了一种基于半导体量子点的光脉冲自相似放大装置,属于光纤通讯技术领域。包括光脉冲源、泵浦源、光耦合器、光展宽器、半导体量子点、光压缩器、输出光束;所述光脉冲源、所述泵浦源的输出连接至所述光耦合器的输入,所述光耦合器的输出与所述光展宽器的输入连接、所述光展宽器的输出连接所述半导体量子点的输入、所述半导体量子点的输出与所述光压缩器的输入连接,所述光压缩器的输出即为自相似放大光脉冲。本发明具有能够提高光脉冲的能量及质量等优点。



1. 一种基于半导体量子点的光脉冲自相似放大装置,其特征在于:包括光脉冲源(1)、泵浦源(2)、光耦合器(3)、光展宽器(4)、半导体量子点(5)、光压缩器(6)、输出光束(7);

所述光脉冲源(1)、所述泵浦源(2)的输出连接至所述光耦合器(3)的输入,所述光耦合器(3)的输出与所述光展宽器(4)的输入连接、所述光展宽器(4)的输出连接所述半导体量子点(5)的输入、所述半导体量子点(5)的输出与所述光压缩器(6)的输入连接,所述光压缩器(6)的输出即为自相似放大光脉冲;

所述光脉冲源(1)为需要放大的信号光源、所述泵浦源(2)为本光放大系统提供外部能量,所述光脉冲源(1)与所述泵浦源(2)的两光束通过所述光耦合器(3)耦合为一个光束传递到由所述光展宽器(4)、所述半导体量子点(5)、所述光压缩器(6)构成的光脉冲自相似放大装置中,所述输出光束(7)即为所述光脉冲的自相似放大光脉冲。

2. 根据权利要求1所述一种基于半导体量子点的光脉冲自相似放大装置,其特征在于,所述半导体量子点(5)由环氧树脂(501)、半导体波导(502)、量子点(503)构成,所述环氧树脂(501)为所述半导体量子点(5)外部封装,在输入、输出光束(7)对应位置设置有通光孔,所述半导体波导(502)由ZnSe材料构成,所述量子点(503)由CdSe材料构成。

3. 根据权利要求2所述一种基于半导体量子点的光脉冲自相似放大装置,其特征在于,所述半导体波导(502)为1 μ m厚度的ZnSe平面半导体波导(502),所述量子点(503)为在所述半导体波导(502)中掺杂CdSe量子点(503)得到,掺杂浓度为 $N \approx 10^{14} \text{cm}^{-3}$,可通过热激活过程的分子束外延生长方法来得到。

4. 根据权利要求2所述一种基于半导体量子点的光脉冲自相似放大装置,其特征在于,所述光脉冲源(1)的波长选择为500nm,所述量子点(503)材料CdSe偶极矩阵元的典型值为 $|d_{ge}| \approx 10^{-28} \text{Cm}$,CdSe原子偶极的横向 $\gamma_{\perp}$ 与纵向衰减率 $\gamma_{\parallel}$ 的比值为2.5。

5. 根据权利要求2或3或4所述一种基于半导体量子点的光脉冲自相似放大装置,其特征在于,在光脉冲源(1)的波长为500nm时,ZnSe波导的折射率 n_0 为2.7、高阶非线性效应的折射率的线性部分系数 n_1 为 0.1cm^{-2} 、三阶非线性系数 n_2 为 $-7 \times 10^{-14} \text{cm}^2/\text{W}$ 、五阶非线性系数 n_4 为,从而有效五阶非线性系数 $n_{4\text{eff}}$ 为 $10^{-22} \text{cm}^4/\text{W}^2$,光脉冲频率与CdSe量子点(503)共振频率的频率失谐量 $\Delta \approx 10^{13} \text{s}^{-1}$ 。

6. 根据权利要求2或3或4所述一种基于半导体量子点的光脉冲自相似放大装置,其特征在于,在本发明所提装置中所述半导体波导(502)厚度设置为1 μ m,所述光脉冲在垂直方向受限,所述CdSe量子点(503)的寿命为100ps,CdSe原子偶极的纵向衰减率 $\gamma_{\perp} \approx 10^{10} \text{s}^{-1}$,从而满足条件 $\Delta \gg \gamma_{\perp}$ 。

7. 根据权利要求2或3或4所述一种基于半导体量子点的光脉冲自相似放大装置,其特征在于,所述ZnSe波导的横向比例参数 w_0 为34 μ m,衍射长度 L_D 为3.7cm,所述光脉冲在所述半导体波导(502)中传播一个衍射长度后,所述光脉冲放大倍数E满足 $E^2 \gg 1$ 。

8. 根据权利要求2或3或4所述一种基于半导体量子点的光脉冲自相似放大装置,其特征在于,产生所述光脉冲源(1)、泵浦源(2)的脉冲激光器为全正色散锁模掺Yb³⁺光纤激光器。

9. 根据权利要求1或2或3或4所述一种基于半导体量子点(5)的光脉冲自相似放大装置,其特征在于,所述的光展宽器(4)为闪耀光栅对展宽器。

10. 根据权利要求1或2或3或4所述一种基于半导体量子点的光脉冲自相似放大装置,

其特征在于,所述的光压缩器(6)为闪耀光栅对压缩器。

一种基于半导体量子点的光脉冲自相似放大装置

技术领域

[0001] 本发明属于光纤通信技术领域,涉及一种光脉冲自相似放大装置,具体涉及一种利用半导体量子点波导实现光脉冲自相似放大的装置。

背景技术

[0002] 近年来,产生和传输高能量、具有严格线性啁啾特性的光脉冲是光纤通信领域的研究热点之一。为了进一步提高输出的单脉冲能量,可以在光纤放大器中利用非线性光谱展宽作为实现皮秒脉冲到飞秒脉冲的压缩。然而,光脉冲在进行非线性放大的过程中,自相位调制 (SPM) 效应会引入无法压缩的非线性啁啾,严重降低了输出脉冲的质量。

[0003] 光脉冲自相似放大能够很好地解决光脉冲放大过程中的非线性啁啾问题,可以得到高强度、高质量的光脉冲。光脉冲自相似放大是由于光纤的非线性特性作用所产生的一种渐进型脉冲,此脉冲的能量能够被显著放大,而且具有很强的线性啁啾。特别地,由于光脉冲自相似放大的特性只与入射脉冲的初始能量和光纤参数有关,而与入射脉冲的形状无关,因此,光脉冲自相似放大能有效的提高输出脉冲的功率。另外,在高功率传输时,自相似光脉冲还具有抵御光波分裂的能力。正因为自相似光脉冲具有上述优点,光脉冲自相似放大对于光纤通信的发展具有重要的应用意义和价值。

[0004] 2000年,文献 (Fermann M E, Kruglov V I, Thomsen B C, et al. Self-Similar Propagation and Amplification of Parabolic Pulses in Optical Fibers [J]. Physical Review Letters, 2000, 84 (26) : 6010-6013) 对自相似放大理论进行了详细的阐释和实验验证,他们将非抛物线型脉冲在掺Yb³⁺的正色散增益光纤中放大得到了抛物线型脉冲输出,并且论证了其在传输中脉冲形状不会发生改变,同时时域脉冲宽度和峰值功率会随着传输距离的增加而增加,不断积累容易被补偿的线性啁啾,自相似光脉冲实现30分贝的放大倍数所用掺Yb³⁺增益光纤长度为3.6m。

[0005] 2007年, Papadopoulos D N等人在大模场双包层光子晶体光纤中实现了自相似脉冲放大,得到了11.5W, 29nJ, 63fs的近变换极限脉冲,但其所用光子晶体光纤长度高达6.5m (Papadopoulos D N, Zaouter Y, Hanna M, et al. Generation of 63fs 4.1MW peak power pulses from a parabolic fiber amplifier operated beyond the gain bandwidth limit [J]. Optics Letters, 2007, 32 (17) : 2520-2.)。

[0006] 2018年,天津大学研究组建立紧凑型的自相似光脉冲放大模型,最终在2米掺Yb³⁺短光纤中实现了快速自相似演化,得到66fs、平均功率为6.1W的近变换极限脉冲 (Song Huanyu, Liu Bowen, Chen Wei, et al. Femtosecond laser pulse generation with self-similar amplification of picosecond laser pulses [J]. Optics express, 2018, 26 (20))。

[0007] 综上所述,目前对自相似光脉冲放大的装置及技术如图1所示,采用掺镱光纤作为增益介质实施光脉冲的自相似放大。然而,这种光脉冲自相似放大系统为了给自相似演化提供足够长的演化距离,一般需要较长的掺镱光纤作为增益介质,这就一方面需要更多的

掺镜光纤材料,增大了生产耗材和成本;另一方面导致更容易产生受激拉曼效应,从而限制光脉冲自相似放大的输出能量。

发明内容

[0008] 本发明的目的是针对光脉冲自相似放大现有技术存在的需要较长增益介质的问题,提出一种基于半导体量子点波导的光脉冲自相似放大装置,由量子点产生的非线性与渐变型半导体波导的三阶非线性相互抵消,可使得半导体波导的有效五阶非线性系数为负值,从而可在半导体量子点播到中实现高强度超短脉冲。本发明所要解决的技术问题是以更短的增益介质长度实现更大的光脉冲自相似放大倍数,且进一步提高光脉冲的能量及质量。

[0009] 本发明的目的可通过下列技术方案来实现:一种基于半导体量子点的光脉冲自相似放大装置,其特征在于:包括光脉冲源、泵浦源、光耦合器、光展宽器、半导体量子点、光压缩器、输出光束;

[0010] 所述光脉冲源、所述泵浦源的输出连接至所述光耦合器的输入,所述光耦合器的输出与所述光展宽器的输入连接、所述光展宽器的输出连接所述半导体量子点的输入、所述半导体量子点的输出与所述光压缩器的输入连接,所述光压缩器的输出即为自相似放大光脉冲;

[0011] 所述光脉冲源为需要放大的信号光源、所述泵浦源为本光放大系统提供外部能量,所述光脉冲源与所述泵浦源的两光束通过所述光耦合器耦合为一个光束传递到由所述光展宽器、所述半导体量子点、所述光压缩器构成的光脉冲自相似放大装置中,所述输出光束即为所述光脉冲的自相似放大光脉冲。

[0012] 进一步的,所述半导体量子点由环氧树脂、半导体波导、量子点构成,所述环氧树脂为所述半导体量子点外部封装,在输入、输出光束对应位置设置有通光孔,所述半导体波导由ZnSe材料构成,所述量子点由CdSe材料构成;

[0013] 进一步的,所述半导体波导为1mm厚度的ZnSe平面半导体波导,所述量子点为在所述半导体波导中掺杂CdSe量子点得到,掺杂浓度为 $N \approx 10^{14} \text{cm}^{-3}$,可通过热激活过程的分子束外延生长方法来得到;

[0014] 进一步的,所述光脉冲源的波长选择为500nm,所述量子点材料CdSe偶极矩阵元的典型值为 $|d_{ge}| \approx 10^{-28} \text{Cm}$,CdSe原子偶极(反转)的横向 $\gamma_{\perp}$ 与纵向衰减率 $\gamma_{||}$ 的比值为2.5(即 $\gamma_{\perp} = 2.5 \gamma_{||}$);

[0015] 进一步的,在光脉冲源的波长为500nm时,ZnSe波导的折射率 n_0 为2.7、高阶非线性效应的折射率的线性部分系数 n_1 为 0.1cm^{-2} 、三阶非线性系数 n_2 为 $-7 \times 10^{-14} \text{cm}^2/\text{W}$,有效五阶非线性系数 $n_{4\text{eff}}$ 为 $-10^{-22} \text{cm}^4/\text{W}^2$,光脉冲频率与CdSe量子点共振频率的频率失谐量 $\Delta \approx 10^{13} \text{s}^{-1}$;

[0016] 进一步的,在本发明所提装置中所述半导体波导厚度设置为1mm,所述光脉冲在垂直方向受限,所述CdSe量子点的寿命为100ps,CdSe原子偶极的纵向衰减率 $\gamma_{\perp} \approx 10^{10} \text{s}^{-1}$,从而满足条件 $\Delta \gg \gamma_{\perp}$;

[0017] 进一步的,所述ZnSe波导的横向比例参数 w_0 为34 μm ,衍射长度 L_D 为3.7cm,所述光脉冲在所述半导体波导中传播一个衍射长度后,所述光脉冲放大倍数E满足 $E^2 \gg 1$ 。

- [0018] 优选的,产生所述光脉冲源、泵浦源的脉冲激光器为全正色散锁模掺 Yb^{3+} 光纤激光器;
- [0019] 优选的,所述的光展宽器为闪耀光栅对展宽器;
- [0020] 优选的,所述的光压缩器为闪耀光栅对压缩器。
- [0021] 与目前自相似光脉冲放大的装置相比,本发明具有以下优点:
- [0022] (1) 本发明所提装置能实现自相似光脉冲的快速放大,放大速度比传统半导体光放大器更具有优势。这意味着将光信号放大到相同的倍数,设计所需的量子点半导体光放大器材料远比传统半导体光放大器要少得多。这将节约大量生产耗材和成本,获得更多的经济和社会效益。
- [0023] (2) 本发明所以装置中光脉冲之间的相互作用对彼此的传输影响不明显,可用于光通信上的多信道传输设计。
- [0024] (3) 本发明所提装置能够实现光脉冲的快速放大。结构简单,量子点半导体光放大器在工艺上可以通过热激活过程的分子束外延生长技术来得到,可应用在光纤光孤子通信、半导体光器件和光放大器等相关领域。

附图说明

- [0025] 图1为现有的利用掺镱光纤作为增益介质的光脉冲自相似放大装置图;
- [0026] 图2是本发明利用半导体量子点波导实现光脉冲自相似放大装置图;
- [0027] 图3为图2中半导体量子点波导5的切面图;
- [0028] 图4为图2中半导体量子点波导5的剖面图;
- [0029] 图5为利用本发明所提装置获得的输出光脉冲波形图,虚线为输入光脉冲,实线为在图1中半导体量子点波导5测得的输出光脉冲波形图,传输距离为18.5cm。
- [0030] 图中,1、光脉冲源;2、泵浦源;3、光耦合器;4、光展宽器;5、半导体量子点;501、环氧树脂;502、半导体波导;503、量子点;6、光压缩器;7、输出光束。

具体实施方式

- [0031] 以下是本发明的具体实施例并结合附图,对本发明的技术方案作进一步的描述,但本发明并不限于这些实施例。
- [0032] 如图2、图3、图4、图5所示,一种基于半导体量子点的光脉冲自相似放大装置,其特征在于:包括光脉冲源1、泵浦源2、光耦合器3、光展宽器4、半导体量子点5、光压缩器6、输出光束7;
- [0033] 光脉冲源1、泵浦源2的输出连接至光耦合器3的输入,光耦合器3的输出与光展宽器4的输入连接、光展宽器4的输出连接半导体量子点5的输入、半导体量子点5的输出与光压缩器6的输入连接,光压缩器6的输出光束7即为自相似放大光脉冲;
- [0034] 光脉冲源1为需要放大的信号光源、泵浦源2为本光放大系统提供外部能量,光脉冲源1与泵浦源2的两光束通过光耦合器3耦合为一个光束传递到由光展宽器4、半导体量子点5、光压缩器6构成的光脉冲自相似放大装置中,输出光束7即为光脉冲1的自相似放大光脉冲。
- [0035] 进一步的,半导体量子点5由环氧树脂501、半导体波导502、量子点503构成,环氧

树脂501为半导体量子点5外部封装,在输入、输出光束对应位置设置有通光孔,半导体波导502由ZnSe材料构成,量子点503由CdSe材料构成;

[0036] 半导体波导502为1 μ m厚度的ZnSe平面半导体波导,量子点503为在半导体波导502中掺杂CdSe量子点得到,参杂浓度为 $N \approx 10^{14} \text{cm}^{-3}$,可通过热激活过程的分子束外延生长方法来得到;

[0037] 光脉冲源1的波长选择为500nm,量子点503材料CdSe偶极矩阵元的典型值为 $|d_{ge}| \approx 10^{-28} \text{Cm}$,CdSe原子偶极(反转)的纵向 $\gamma_{\perp}$ 与横向衰减率 $\gamma_{||}$ 的比值为2.5(即 $\gamma_{\perp} = 2.5 \gamma_{||}$);

[0038] 在光脉冲1的波长为500nm时,ZnSe波导的折射率 n_0 为2.7、高阶非线性效应的折射率的线性部分系数 n_1 为 0.1cm^{-2} 、三阶非线性系数 n_2 为 $-7 \times 10^{-14} \text{cm}^2/\text{W}$,从而有效五阶非线性系数 $n_{4\text{eff}}$ 为 $-10^{-22} \text{cm}^4/\text{W}^2$,光脉冲频率与CdSe量子点共振频率的频率失谐量 $\Delta \approx 10^{13} \text{s}^{-1}$ 。

[0039] 在本发明所提装置中半导体波导502厚度设置为1 μ m,光脉冲1在垂直方向受限,CdSe量子点的寿命为100ps,CdSe原子偶极的纵向衰减率 $\gamma_{\perp} \approx 10^{10} \text{s}^{-1}$,从而满足条件 $\Delta > \gamma_{\perp}$;

[0040] ZnSe波导的横向比例参数 w_0 为34 μ m,衍射长度 L_D 为3.7cm,光脉冲1在所述半导体波导502中传播一个衍射长度后,光脉冲放大倍数E满足 $E^2 \gg 1$ 。

[0041] 优选的,产生光脉冲源1、泵浦源2的脉冲激光器为全正色散锁模掺Yb³⁺光纤激光器;

[0042] 优选的,光展宽器4为闪耀光栅对展宽器;

[0043] 优选的,光压缩器6为闪耀光栅对压缩器。

[0044] 图5为利用本发明所提装置获得的输出光脉冲波形图与输入光脉冲波形图,虚线为归一化的输入光脉冲,实线为在图1中半导体量子点波导5测得的输出光脉冲波形图,传输距离为18.5cm。由图5可见,增益介质长度仅为18.5cm,光脉冲的幅度放大了5.5倍,光脉冲的功率得到了70倍的放大,可见利用本发明所提装置可以实现以更短的增益介质长度实现光脉冲自相似放大的目的。

[0045] 本文中所描述的具体实施例仅仅是对本发明精神作举例说明。本发明所属技术领域的技术人员可以对所描述的具体实施例做各种各样的修改或补充或采用类似的方式替代,但并不会偏离本发明的精神或者超越所附权利要求书所定义的范围。

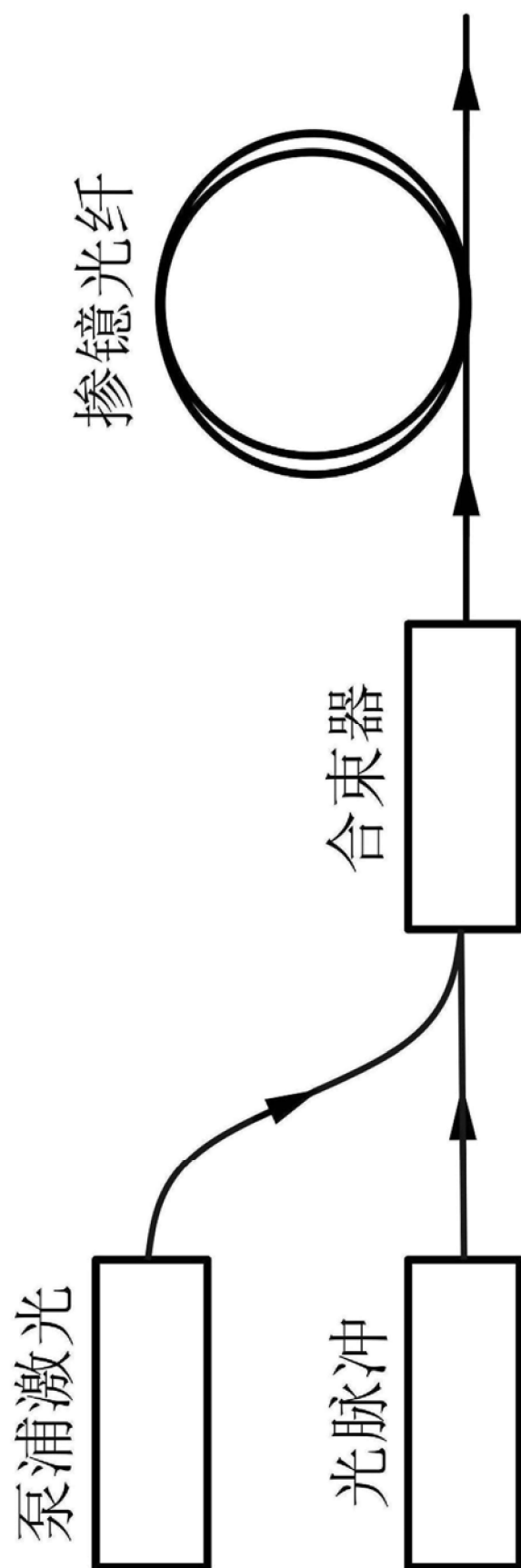


图1

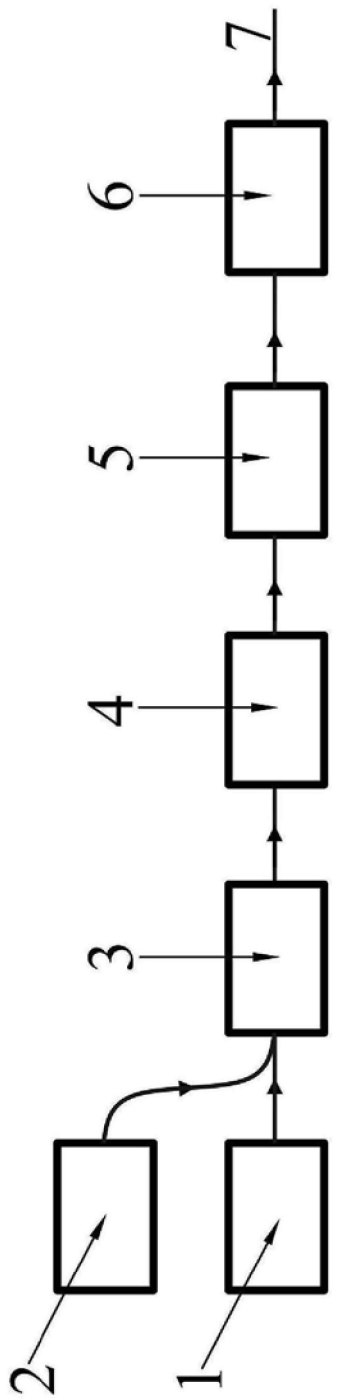


图2

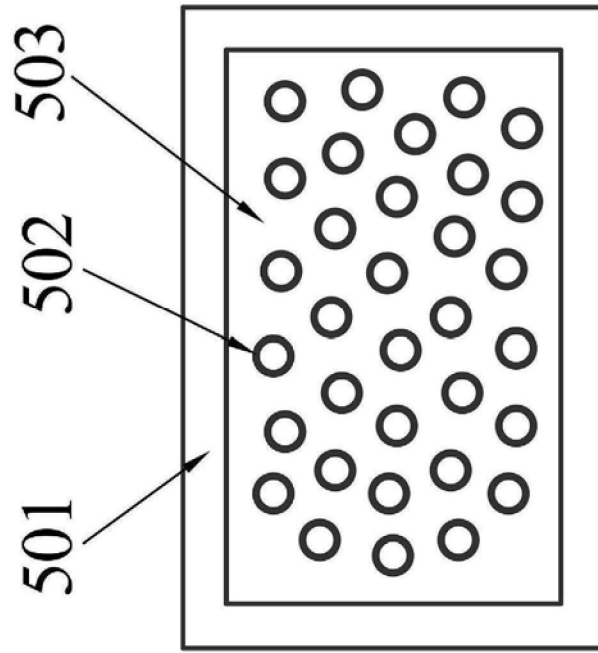


图3

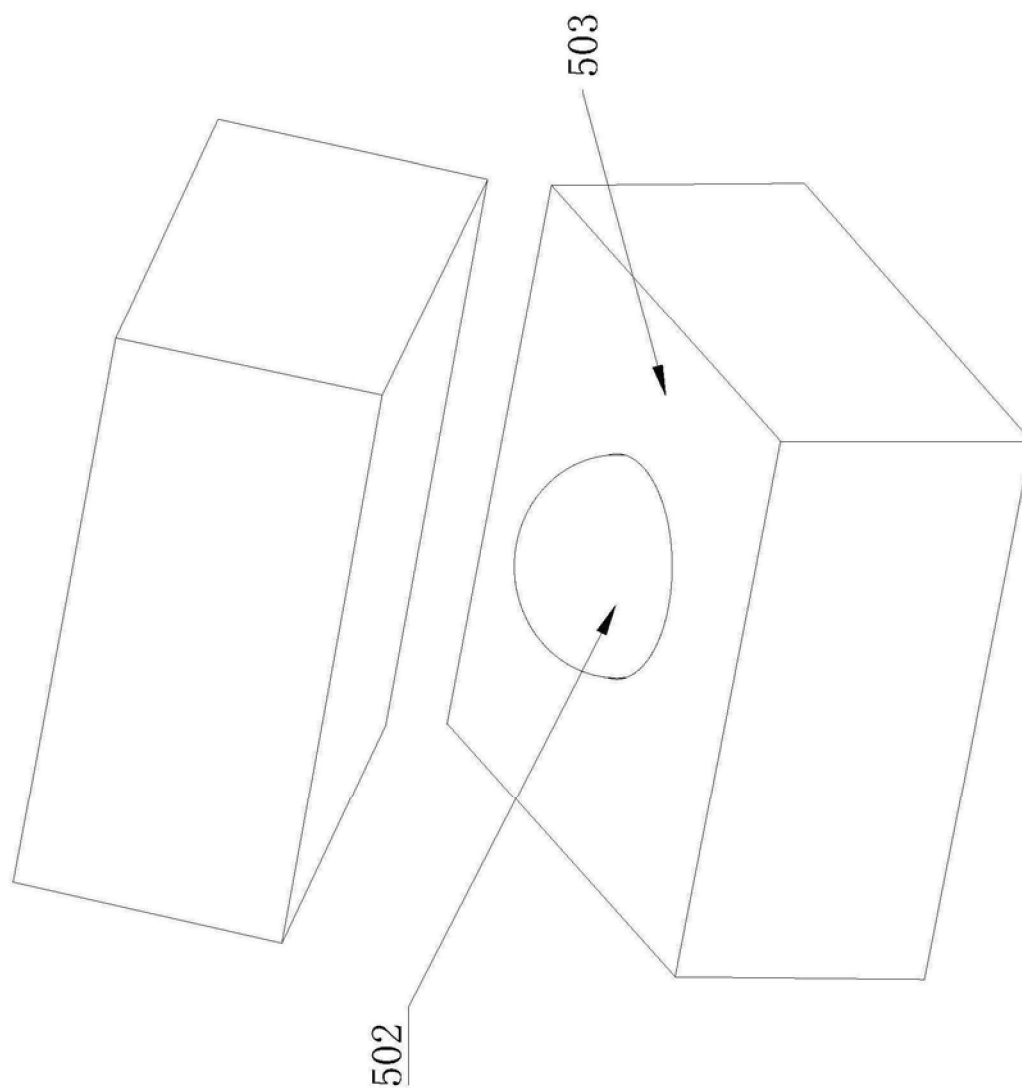


图4

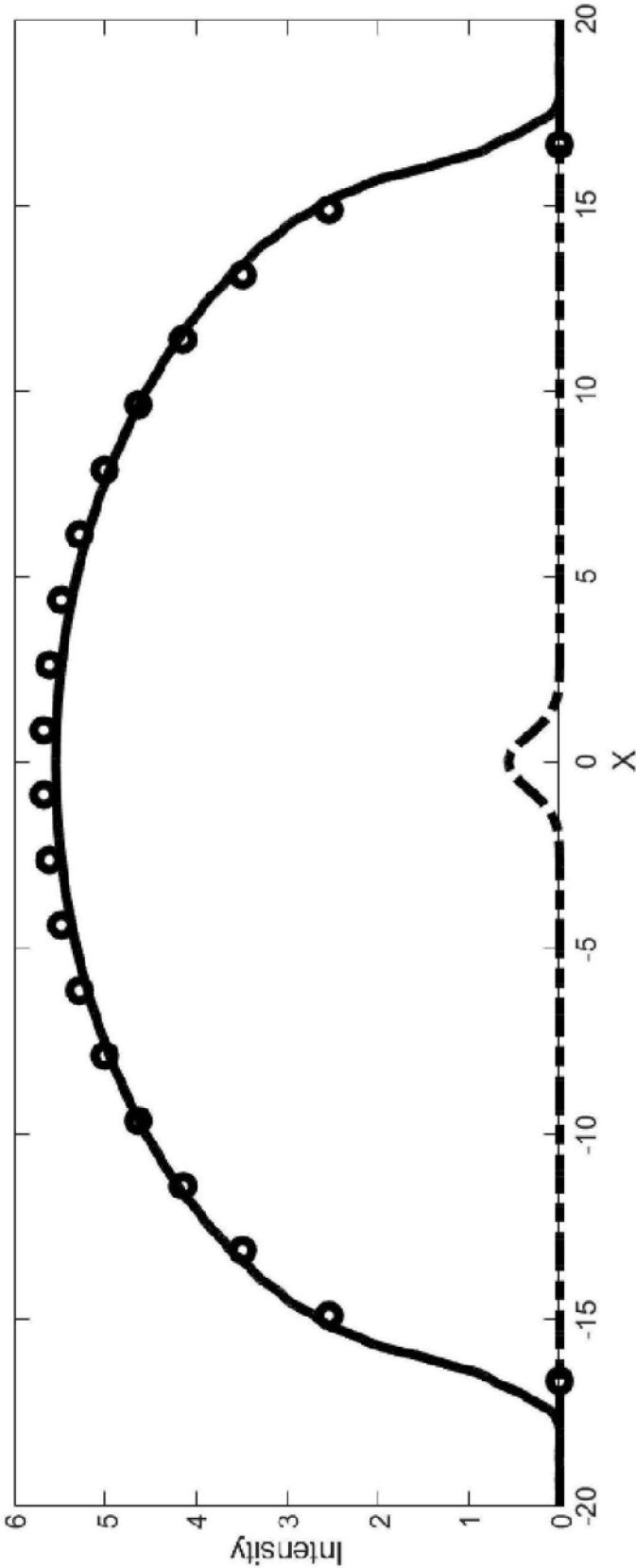


图5