

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200910097868.7

[51] Int. Cl.

H01S 3/067 (2006.01)

H01S 3/094 (2006.01)

H01S 3/08 (2006.01)

H01S 3/098 (2006.01)

H01S 3/10 (2006.01)

H01S 3/101 (2006.01)

[43] 公开日 2009年9月23日

[11] 公开号 CN 101540468A

[51] Int. Cl. (续)

G02F 1/35 (2006.01)

[22] 申请日 2009.4.20

[21] 申请号 200910097868.7

[71] 申请人 浙江大学

地址 310027 浙江省杭州市西湖区浙大路 38 号

[72] 发明人 刘伟升 何赛灵

[74] 专利代理机构 杭州求是专利事务所有限公司
代理人 杜 军

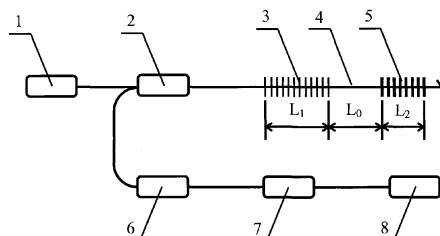
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 1 页

[54] 发明名称

一种光学产生高频微波信号的方法和装置

[57] 摘要

本发明涉及一种光学产生高频微波信号的方法和装置。本发明方法在高增益保偏光纤的两端部分分别刻有波长匹配、周期相同的布拉格光纤光栅，利用高增益保偏光纤芯层沿快轴和慢轴方向折射率不同，产生偏振态正交的双波长激光，通过调节偏振控制器使其在通过起偏器后具有相同的偏振态，获得高频微波信号。实现该方法的装置包括 980nm 波长的激光泵浦源、980nm/1550nm 光波分复用器、偏振控制器、起偏器、光电探测器、高增益保偏光纤，高增益保偏光纤两端部分分别刻有波长匹配、周期相同的布拉格光纤光栅。本发明能够产生高质量高频率的微波信号，具有结构简单、易于实现、成本低廉等优点，适合用于微波通信、ROF 等领域的研究和应用。



1、一种光学产生高频微波信号的方法，其特征在于该方法包括以下步骤：

步骤(1) 980nm 波长的激光泵浦源输出的泵浦光经过 980nm/1550nm 波分复用器输入到光纤激光器的谐振腔；光纤激光器的谐振腔包括一段高增益保偏光纤，高增益保偏光纤两端部分分别刻有波长匹配、周期相同的布拉格光纤光栅，所述的高增益保偏光纤的对 980nm 波长激光的吸收率为 $55\sim 65\text{ dB/m}$ ，靠近 980nm/1550nm 波分复用器的布拉格光纤光栅是反射率为 $50\sim 70\%$ 的低反射率布拉格光纤光栅，长度为 L_1 ，另一个布拉格光纤光栅是反射率大于 99% 的高反射率布拉格光纤光栅，长度为 L_2 ，两个布拉格光纤光栅的间距为 L_0 ，两个布拉格光纤光栅均呈现出相同的两个偏振态正交的反射峰，其中沿高增益保偏光纤快轴的峰值反射波长分别为 λ_x ，沿高增益保偏光纤慢轴的峰值反射波长分别为 λ_y ，

$$\lambda_x = 2n_x\Lambda, \quad n_x \text{ 为保偏光纤的芯层沿快轴方向的折射率,}$$

$$\lambda_y = 2n_y\Lambda, \quad n_y \text{ 为保偏光纤的芯层沿慢轴方向的折射率,}$$

Λ 为两个布拉格光纤光栅的周期；

开启泵浦源，在 980 nm /1550 nm 波分复用器的信号端输出波长分别为 λ_x 和 λ_y 的偏振态正交的双波长激光，波长间隔为 $\Delta\lambda$

$$\Delta\lambda = 2B\Lambda$$

其中 B 为保偏光纤芯层快轴和慢轴之间的折射率差， $B = |n_x - n_y|$ ，

输出激光的相邻两个纵模之间的间隔 $\Delta\nu_k$ 为

$$\Delta\nu_k = \frac{c}{2nL}$$

其中 c 为真空光速， n 为谐振腔内有效折射率， L 为谐振腔长度， $L = L_0 + (L_1 + L_2)/2$ ；当所使用的低反射率布拉格光纤光栅在延快轴的反射波长的带宽 $|\lambda_x|$ 和延慢轴的反射波长的带宽 $|\lambda_y|$ 满足

$$|\lambda_x| < \frac{\Delta v_k \lambda_x^2}{c} = \frac{\lambda_x^2}{2n_x L}$$

$$|\lambda_y| < \frac{\Delta v_k \lambda_y^2}{c} = \frac{\lambda_y^2}{2n_y L}$$

时，两个偏振态正交的激光输出波长都处于单纵模起振的工作状态；

步骤(2)将产生的双波长激光依次通过偏振控制器和起偏器，调节偏振控制器使两个原本偏振态正交的激光波长在起偏器的输出端具有相同的偏振态，通过光探测器进行接收，获得此双波长激光拍频产生的高频微波信号，其频率为 f_{RF}

$$f_{RF} = \frac{c\Delta\lambda}{\lambda^2} = \frac{2cB\Lambda}{\lambda^2}$$

其中 λ 为双波长激光输出的平均波长， $\lambda = \frac{\lambda_x + \lambda_y}{2}$ ；

步骤(3)选用具有不同双折射的保偏光纤就可以得到不同频率的高频微波信号，对光纤激光器的谐振腔施加径向或轴向应力，即实现产生的微波信号的频率可调。

2、实现如权利要求 1 所述方法的产生高频微波信号的装置，包括 980nm 波长的激光泵浦源、980nm/1550nm 光波分复用器、偏振控制器、起偏器、光电探测器、高增益保偏光纤，其特征在于：高增益保偏光纤的两端部分分别刻有波长匹配、周期相同的布拉格光纤光栅，其中靠近 980nm/1550nm 波分复用器的布拉格光纤光栅是反射率为 50~70%的低反射率布拉格光纤光栅，另一个布拉格光纤光栅是反射率大于 99%的高反射率布拉格光纤光栅，两个布拉格光纤光栅以及之间的高增益保偏光纤构成光纤激光器的谐振腔；980nm/1550nm 光波分复用器的泵浦端与 980nm 波长的激光泵浦源连接，公共端与低反射率布拉格光纤光栅光连接，信号端与偏振控制器的输入端连接，偏振控制器的输出端与起偏器的输入端连接，起偏器的输出端与光电探测器连接。

一种光学产生高频微波信号的方法和装置

技术领域

本发明属于微波光子学技术领域，涉及一种基于高增益保偏光纤的双波长单纵模分布布拉格反射（DBR）光纤激光器和利用此激光器来实现的高频微波信号产生的方法，以及实现该方法的装置。

背景技术

目前大多数无线通信系统的工作频率都集中在 5GHz 以下，但是随着人类社会信息量的迅速增长，现有通信频率变得越来越拥挤，因此开拓更高频率的通信波段将成为必然。传统的微波信号产生和处理都是基于电学方法实现的，但是电子瓶颈的限制，随着微波信号频率的提高，其产生和处理从技术到成本上都受到严峻的挑战。微波光子学技术的出现为高频微波信号的产生和处理提供了一种简单易行且成本低廉的新途径。微波光子学是微波技术和光子学融合的新兴学科，它主要研究工作在微波频率的光学器件及其在微波和光学系统中的应用。最近几年微波光子学之所以得到迅速发展正是因为该学科的主要任务和价值是利用光子技术来实现微波系统中某些用微波技术难以实现的功能，以及利用微波技术提高光通信网络系统的性能。目前利用光学技术来实现微波信号产生是微波光子学研究的热点之一。

双波长单纵模激光器是实现微波信号光学产生的一种重要方法，但是现有的双波长单纵模激光器大多都是基于特殊设计的具有极窄透射带（小于 1pm）光纤光栅来实现的，这样的光纤光栅不但设计和制作都很复杂，且一般都只能用于 40GHz 以下的微波信号产生，对于高于 40GHz 的微波信号的产生非常困难。另外由于这样的光纤激光器腔长一般都较长，容易受到外界环境干扰而造成所产生的微波信号不够稳定。

发明内容

本发明的目的就是针对现有技术的不足，提供一种利用基于高增益保偏光纤的双波长单纵模分布布拉格反射（DBR）光纤激光器的高频微波信号产生的方法，同时提供实现该方法的装置。

本发明方法包括以下步骤:

步骤(1) 980nm 波长的激光泵浦源输出的泵浦光经过 980nm/1550nm 波分复用器输入到光纤激光器的谐振腔; 光纤激光器的谐振腔包括一段高增益保偏光纤, 高增益保偏光纤两端部分分别刻有波长匹配、周期相同的布拉格光纤光栅; 所述的高增益保偏光纤的对 980nm 波长激光的吸收率为 $55\sim 65\text{ dB/m}$, 保偏光纤的芯层沿快轴方向的折射率为 n_x 、沿慢轴方向的折射率为 n_y , 则在保偏光纤两端芯层刻制的两个布拉格光纤光栅均呈现出两个偏振态正交的反射峰, 两个布拉格光纤光栅具有相同的周期 Λ , 因此具有相同的峰值反射波长, 它们在沿高增益保偏光纤快轴和慢轴的峰值反射波长分别为 λ_x 和 λ_y

$$\lambda_x = 2n_x\Lambda$$

$$\lambda_y = 2n_y\Lambda,$$

这样的一对波长匹配保偏光纤光栅作为 DBR 光纤激光器的腔镜, 开启泵浦源后在 980 nm /1550 nm 波分复用器的信号将输出波长分别为 λ_x 和 λ_y 的偏振态正交的双波长激光, 波长间隔为 $\Delta\lambda$

$$\Delta\lambda = 2B\Lambda$$

其中 B 为保偏光纤快轴和慢轴之间的折射率差, $B = |n_x - n_y|$ 。

为了保证此双波长激光器的每个波长都是单纵模输出, 需要对作为激光器腔镜的两个布拉格光纤光栅参数进行设计。靠近 980nm/1550nm 波分复用器的布拉格光纤光栅是反射率为 $50\sim 70\%$ 的低反射率布拉格光纤光栅, 长度为 L_1 ; 另一个布拉格光纤光栅是反射率大于 99% 的高反射率布拉格光纤光栅, 长度为 L_2 ; 两个布拉格光纤光栅的间距为 L_0 , 此 DBR 激光器的腔长为 L , $L = L_0 + (L_1 + L_2)/2$, 则输出激光的相邻两个纵模之间的间隔 $\Delta\nu_k$ 为

$$\Delta\nu_k = \frac{c}{2nL}$$

其中 c 为真空光速, n 为谐振腔内有效折射率, L 为谐振腔长度 ($2nL$ 就是激光在谐振腔内传播一周的光程)。当所使用的低反射率布拉格光纤光栅在延快轴的反射波长的带宽 $|\lambda_x|$ 和延慢轴的反射波长的带宽 $|\lambda_y|$ 满足

$$|\lambda_x| < \frac{\Delta v_k \lambda_x^2}{c} = \frac{\lambda_x^2}{2n_x L}$$

$$|\lambda_y| < \frac{\Delta v_k \lambda_y^2}{c} = \frac{\lambda_y^2}{2n_y L}$$

时，DBR 光纤激光器的两个偏振态正交的激光输出波长都处于单纵模起振的工作状态；

步骤(2)将产生的双波长激光依次通过偏振控制器和起偏器，调节偏振控制器使两个原本偏振态正交的激光波长在起偏器的输出端具有相同的偏振态，通过光探测器进行接收，获得此双波长激光拍频产生的高频微波信号，其频率为 f_{RF}

$$f_{RF} = \frac{c\Delta\lambda}{\lambda^2} = \frac{2cB\Lambda}{\lambda^2}$$

其中 λ 为双波长激光输出的平均波长， $\lambda = \frac{\lambda_x + \lambda_y}{2}$ 。

所产生微波信号的频率主要由光纤的双折射 B 和布拉格光纤光栅的周期 Λ (注意这里激光波长 λ 是由布拉格光纤光栅的反射波长即布拉格光纤光栅周期 Λ) 决定。对于最常见的保偏光纤，其双折射约为 3.5×10^{-4} ，如果制作工作在通信波长窗口 1550nm 的光纤光栅 (对应光栅周期约 535nm)，则所产生微波信号的频率可以达到 46.7GHz。

步骤(3)选用具有不同双折射的保偏光纤就可以得到不同频率的高频微波信号，而保偏光纤的双折射和光纤所承受的径向应力和轴向应力都有关，对激光器谐振器施加径向或轴向应力，实现所产生微波信号的频率可调。

实现上述方法的装置包括 980nm 波长的激光泵浦源、980nm/1550nm 光波分复用器、偏振控制器、起偏器、光电探测器、高增益保偏光纤，高增益保偏光纤两端部分分别刻有波长匹配、周期相同的布拉格光纤光栅，其中靠近 980nm/1550nm 波分复用器的布拉格光纤光栅是反射率为 50~70% 的低反射率布拉格光纤光栅，另一个布拉格光纤光栅是反射率大于 99% 的高反射率布拉格光纤光栅。980nm/1550nm 光波分复用器的泵浦端与 980nm 波长的激光泵浦源连接，公共端与低反射率布拉格光纤光栅光连接，信号端与偏振控制器的输入端连接，偏振控制器的输出端与起偏器的输入端连接，

起偏器的输出端与光电探测器连接。980nm/1550nm 光波分复用器的信号端作为光纤激光器的输出端口。

本发明能够产生高质量高频率（可达 40GHz 以上）的微波信号，具有结构简单易于实现，成本低廉等优点，适合用于微波通信、ROF 等领域的研究和应用。

附图说明

图 1 为本发明的结构示意图

具体实施方案

如图 1 所示，一种光学产生高频微波信号的装置包括 980nm 波长的激光泵浦源 1、980nm/1550nm 光波分复用器 2、偏振控制器 6、起偏器 7、光电探测器 8、高增益保偏光纤 4，高增益保偏光纤 4 两端部分分别刻有波长匹配、周期相同的布拉格光纤光栅 3 和 5，其中靠近 980nm/1550nm 波分复用器 2 的布拉格光纤光栅 3 是反射率为 50~70%的低反射率布拉格光纤光栅，另一个布拉格光纤光栅 5 是反射率大于 99%的高反射率布拉格光纤光栅。980nm/1550nm 光波分复用器 2 的泵浦端与 980nm 波长的激光泵浦源 1 连接，公共端与低反射率布拉格光纤光栅 3 光连接，信号端与偏振控制器 6 的输入端连接，偏振控制器 6 的输出端与起偏器 7 的输入端连接，起偏器 7 的输出端与光电探测器 8 连接。980nm/1550nm 光波分复用器 2 的信号端作为光纤激光器的输出端口。

具体高频微波信号产生方法包括以下步骤：

步骤(1) 980nm 波长的激光泵浦源输出的泵浦光经过 980nm/1550nm 波分复用器输入到光纤激光器的谐振腔；光纤激光器的谐振腔包括一段高增益保偏光纤，高增益保偏光纤两端部分分别刻有波长匹配、周期相同的布拉格光纤光栅；所述的高增益保偏光纤的对 980nm 波长激光的吸收率为 $55\sim 65\text{ dB/m}$ ，保偏光纤的芯层沿快轴方向的折射率为 n_x 、沿慢轴方向的折射率为 n_y ，则在保偏光纤两端芯层刻制的两个布拉格光纤光栅均呈现出两个偏振态正交的反射峰，两个布拉格光纤光栅具有相同的周期 Λ ，因此具有相同的峰值反射波长，它们在沿高增益保偏光纤快轴和慢轴的峰值反射波长分别为 λ_x 和 λ_y

$$\lambda_x = 2n_x\Lambda$$

$$\lambda_y = 2n_y\Lambda,$$

这样的一对波长匹配保偏光纤光栅作为 DBR 光纤激光器的腔镜，开启泵浦源后在 980 nm /1550 nm 波分复用器的信号端将输出波长分别为 λ_x 和 λ_y 的偏振态正交的双波长激光，波长间隔为 $\Delta\lambda$

$$\Delta\lambda = 2B\Lambda$$

其中 B 为保偏光纤快轴和慢轴之间的折射率差， $B = |n_x - n_y|$ 。

为了保证此双波长激光器的每个波长都是单纵模输出，需要对作为激光器腔镜的两个布拉格光纤光栅参数进行设计。靠近 980nm/1550nm 波分复用器的布拉格光纤光栅是反射率为 50~70% 的低反射率布拉格光纤光栅，长度为 L_1 ；另一个布拉格光纤光栅是反射率大于 99% 的高反射率布拉格光纤光栅，长度为 L_2 ；两个布拉格光纤光栅的间距为 L_0 ，此 DBR 激光器的腔长为 L ， $L = L_0 + (L_1 + L_2)/2$ ，则输出激光的相邻两个纵模之间的间隔 $\Delta\nu_k$ 为

$$\Delta\nu_k = \frac{c}{2nL}$$

其中 c 为真空光速， n 为谐振腔内有效折射率， L 为谐振腔长度（ $2nL$ 就是激光在谐振腔内传播一周的光程）。当所使用的低反射率布拉格光纤光栅在延快轴的反射波长的带宽 $|\lambda_x|$ 和延慢轴的反射波长的带宽 $|\lambda_y|$ 满足

$$|\lambda_x| < \frac{\Delta\nu_k \lambda_x^2}{c} = \frac{\lambda_x^2}{2n_x L}$$

$$|\lambda_y| < \frac{\Delta\nu_k \lambda_y^2}{c} = \frac{\lambda_y^2}{2n_y L}$$

时，DBR 光纤激光器的两个偏振态正交的激光输出波长都处于单纵模起振的工作状态；

步骤(2) 将产生的双波长激光依次通过偏振控制器和起偏器，调节偏振控制器使两个原本偏振态正交的激光波长在起偏器的输出端具有相同的偏振态，通过光探测器进行接收，获得此双波长激光拍频产生的高频微波信号，其频率为 f_{RF}

$$f_{RF} = \frac{c\Delta\lambda}{\lambda^2} = \frac{2cB\Lambda}{\lambda^2}$$

其中 λ 为双波长激光输出的平均波长， $\lambda = \frac{\lambda_x + \lambda_y}{2}$ 。

所产生微波信号的频率主要由光纤的双折射 B 和布拉格光纤光栅的周期 Λ （注意这里激光波长 λ 是由布拉格光纤光栅的反射波长即布拉格光纤光栅周期 Λ ）决定。对于最常见的保偏光纤，其双折射约为 3.5×10^{-4} ，如果制作工作在通信波长窗口1550nm的光纤光栅（对应光栅周期约535nm），则所产生微波信号的频率可以达到46.7GHz。

步骤(3)选用具有不同双折射的保偏光纤就可以得到不同频率的高频微波信号，而保偏光纤的双折射和光纤所承受的径向应力和轴向应力都有关，对激光器谐振器施加径向或轴向应力，实现所产生微波信号的频率可调。

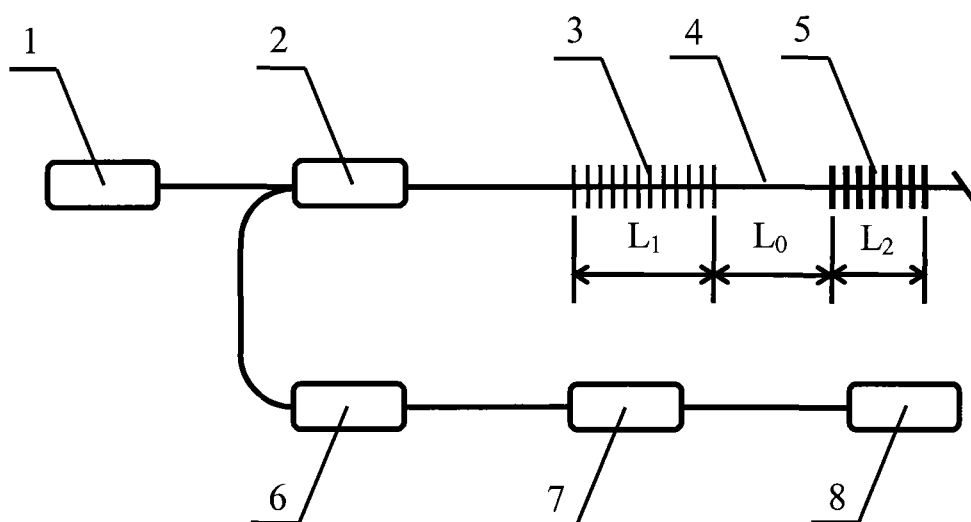


图 1