



## [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510016772.5

[43] 公开日 2005 年 10 月 26 日

[11] 公开号 CN 1688069A

[22] 申请日 2005.4.30

[74] 专利代理机构 长春科宇专利代理有限责任公司  
代理人 马守忠

[21] 申请号 200510016772.5

[71] 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理  
研究所

地址 130031 吉林省长春市东南湖大路 16 号

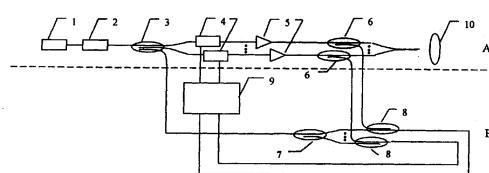
[72] 发明人 王 薛 王国政 王立军

权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 1 页

[54] 发明名称 相位锁定多光束相干叠加光纤激光器

## [57] 摘要

本发明属于光纤激光器技术领域，具体涉及一种相位锁定多光束相干叠加光纤激光器。该激光器是由输出偏振光的光纤激光器、光纤相位调制器、光纤放大器、融锥型保偏光纤耦合器、反馈控制电路构成的。它是相位锁定多光束相干叠加输出高功率同时具有高光束质量的光纤激光器。广泛用于工业激光加工、医疗、光通讯、图像记录和打印、计算机和微电子制造及军事等诸多领域。



1. 一种相位锁定多光束相干叠加光纤激光器，其特征在于它包括输出偏振光的光纤激光器（1），保偏光纤隔离器（2）， $1 \times N+1$  融锥型保偏光纤耦合器（3），光纤相位调制器（4），光纤放大器（5），90: 10 保偏光纤耦合器（6）， $1 \times N$  融锥型保偏光纤耦合器（7）， $1 \times 2$  融锥型保偏光纤耦合器（8），反馈控制电路（9），透镜（10）；

保偏光纤隔离器（2）的一端与光纤激光器（1）联接另一端与 $1 \times N+1$  融锥型保偏光纤耦合器（3）联接；光纤相位调制器（4）与 $1 \times N+1$  融锥型保偏光纤耦合器（3）联接、还与光纤放大器（5）及反馈控制电路（9）联接；90: 10 保偏光纤耦合器（6）与光纤放大器（5）联接还与 $1 \times 2$  融锥型保偏光纤耦合器（8）及透镜（10）联接； $1 \times N$  融锥型保偏光纤耦合器（7）与 $1 \times 2$  融锥型保偏光纤耦合器（8）联接，与反馈控制电路（9）相联接，还与 $1 \times N$  融锥型保偏光纤耦合器（3）联接。

2. 根据权利要求 1 所述的一种相位锁定多光束相干叠加光纤激光器，其特征在于所说的反馈控制电路（9）是由雪崩光电二极管或 PIN 光电二极管（11）和高频放大器（12）构成。

## 相位锁定多光束相干叠加光纤激光器

### 技术领域:

本发明涉及光纤激光器，具体的说，属于相位锁定多激光束相干叠加输出的光纤激光器。

### 技术背景:

光纤激光器的历史和激光器本身的历史几乎一样长。激光器问世不久，美国光学公司(American optical corporation)的 Znitzer 和 Koestor 于 1963 年首先提出了光纤激光器和放大器的构思。光纤激光器具有效率高、阈值低、线宽窄、可调谐、紧凑小巧、性能价格比高、易于制作、波长丰富等特点，在光通信、工业加工、医学、科学研究、图像记录和打印、计算机和微电子制造、光谱学等领域具有十分广泛的用途。将多束激光叠加，若多束激光之间满足完全相干条件，可以获得高功率和近衍射极限的激光。对 N 束功率相同的激光进行非相干叠加，则光强增加 N 倍，而如果进行相干叠加，则振幅增加 N 倍，光强增加  $N^2$  倍。从效益和费用考虑，相干叠加的方案更理想。但是要想实现多束激光之间的相干叠加，必须满足频率相同、偏振一致和相位匹配的条件，常规激光器输出激光的相位都有随机漂移，且每束激光经过不同光路可能会导致各束激光之间产生相位差异；对于各激光束的偏振态，即使从光源输出的激光是线偏振的，经过一段距离的光纤传输后，由于光纤的模式双折射，偏振态也会发生改变；对于各激光束的频率，光纤中的非线性效应可能造成各激光束间产生频率差异，因此要想实现多束激光相干必须控制好各激光束的频率相同、偏振一致和相位匹配，以达到完全相干条件。

目前，实现多束光纤激光叠加的方法多是通过非相干叠加法，将光纤激光器的多根输出光纤捆成一束，可以实现高功率的光纤激光器，但输出的是多模光，光束质量因子为几  $\text{mm} \times \text{mrad}$  甚至十几  $\text{mm} \times \text{mrad}$ ，光束质量很差，这就限制了这种光纤激光器只能应用于对光束质量要求不高的工业领域。对于光纤激光相干叠加的研究尚处在实验室阶段，S. J. Augst 等人

对两束光纤激光相干合成进行了实验研究，通过相位锁定实现了两束光纤激光相干叠加，但是由于在结构中引入了变形棱镜对、分光镜等非光纤元件，没有实现全光纤化的结构，非光纤元件的引入也限制了系统所能得到的最大功率，也只实现了两束光纤激光的相干叠加。

### 发明内容：

为了解决多束激光非相干叠加存在的叠加光束能量只是各激光束能量的简单相加，叠加后多模输出的光束质量不好的问题，本发明实现了对多束激光的相位锁定，提供一种完全相干后输出单模激光，获得比普通未进行相位锁定的多激光束叠加更高功率并且同时具有更好光束质量的光纤激光器。

本发明包括输出偏振光的光纤激光器 1，保偏光纤隔离器 2， $1 \times N+1$  融锥型保偏光纤耦合器 3，光纤相位调制器 4，光纤放大器 5，90: 10 保偏光纤耦合器 6， $1 \times N$  融锥型保偏光纤耦合器 7， $1 \times 2$  融锥型保偏光纤耦合器 8，反馈控制电路 9，透镜 10，雪崩光电二极管或 PIN 光电二极管 11，高频放大器 12。整个系统全部使用保偏光纤，且保证 N 束激光由 90: 10 保偏光纤耦合器 6 到  $1 \times 2$  融锥型保偏光纤耦合器 8 的光路的光程相等，保证 N 束激光由  $1 \times N$  融锥型保偏光纤耦合器 7 到  $1 \times 2$  融锥型保偏光纤耦合器 8 的光路的光程相等。

光纤激光器 1 的功能是提供线偏振激光。

保偏光纤隔离器 2 的功能是保证从输出偏振光的光纤激光器 1 中输出的偏振激光束单向传输，防止光路中可能出现的反射光对光纤激光器 1 可能带来的危害，进而提高系统的稳定性，减小噪声影响。

$1 \times N+1$  融锥型保偏光纤耦合器 3 的功能是将一束偏振激光分成  $N+1$  束，同时保持  $N+1$  束激光偏振态相同，这  $N+1$  束激光中，有一束激光作为参考激光束，在副光路 B 中被分成 N 束；另外的 N 束偏振激光在主光路 A 中被调制、放大，完全相干后激光强度呈  $N^2$  增长，可得到高功率同时具有高光束质量的激光输出。

光纤相位调制器 4 的功能是补偿 N 束光纤激光之间的相位差异，达到理想的精确相位调制，光纤相位调制器 4 接收反馈控制电路 9 给予的反馈

信号，使主光路 A 上 N 束光纤激光的相位一致，实现相位锁定，使用光纤相位调制器 4 从根本上减小了器件的插入损耗和回波反射。

光纤放大器 5 的功能是将 N 束光纤激光的功率放大，尽管 N 束光纤激光完全相干后，强度是单束激光强度的  $N^2$  倍，但是要想实现高功率激光输出，必须对主光路 A 上的每束光纤激光进行功率放大，因此使用光纤放大器 5 对主光路 A 上 N 束光纤激光进行相同功率的光放大，使相干叠加后的激光有更高的功率，可以使用 10W 的光纤放大器，10W 功率不会显著激发光纤中的非线性效应从而造成激光频率移动，这保证了 N 束光纤激光都具有相同的频率，满足完全相干条件，而每一束光纤激光 10W 的功率对获得高功率相干激光已经足够了。

90: 10 保偏光纤耦合器 6 的功能是把经光纤放大器 5 放大后的光纤激光分束，90%的光纤激光从光纤端面输出，经透镜 10 聚焦后，在自由空间相干叠加，获得高功率及高光束质量的相干激光；10%的光纤激光通过由 90: 10 保偏光纤耦合器 6 到  $1 \times 2$  融锥型保偏光纤耦合器 8 相同的光程后，在  $1 \times 2$  融锥型保偏光纤耦合器 8 中与参考激光束叠加，叠加激光强度的强弱反应了主光路 A 上 N 束光纤激光与参考激光之间各自的相位差异，叠加激光强度被雪崩光电二极管或 PIN 光电二极管 11 探测，并把相位差异转化成控制电信号。该信号经反馈控制电路 9 放大，然后作用在光纤相位调制器 4 上，使主光路 A 上的 N 束光纤激光的相位与参考激光相位趋于一致，实现对主光路 A 上 N 束光纤激光相位锁定。

$1 \times N$  融锥型保偏光纤耦合器 7 的功能是，将从  $1 \times N+1$  融锥型保偏光纤耦合器 3 得到的参考激光分成 N 束，分别与从 90: 10 保偏光纤耦合器 6 中 10% 分束出的主光路 A 上的 N 束激光在  $1 \times 2$  融锥型保偏光纤耦合器 8 中叠加，叠加后的光通过副光路 B 传送给反馈控制电路 9 中的雪崩光电二极管或 PIN 光电二极管 11。

$1 \times 2$  融锥型保偏光纤耦合器 8 的功能是，使从  $1 \times N$  融锥型保偏光纤耦合器 7 得到的参考激光与从主光路 A 上 90: 10 保偏光纤耦合器 6 分束出来的光纤激光叠加。由于在主光路 A 上 N 束光纤激光之间存在相位差异，N 束包含主光路 A 中 10% 能量的光纤激光与从  $1 \times N$  融锥型保偏光纤耦合器

7 得到的参考激光在  $1 \times 2$  融锥型保偏光纤耦合器 8 中叠加后的光强就有所差异，这个差异反应了主光路 A 上 N 束光纤激光之间的相位差异。造成主光路 A 上各激光束相位差异的原因包括，放大器的影响、光纤相位调制器的影响、温度起伏、各光路光程差异等。

反馈控制电路 9 的功能是探测来自  $1 \times 2$  融锥型保偏光纤耦合器 8 的光的强弱，并将其转换成电信号作用在光纤相位调制器 4 上，调制主光路 A 上 N 束光纤激光相位趋于一致。反馈控制电路 9 由一个雪崩光电二极管或 PIN 光电二极管 11 和高频放大器 12 组成。雪崩光电二极管或 PIN 光电二极管 11 的功能是探测  $1 \times 2$  融锥型保偏光纤耦合器 8 中传来的光强度，经雪崩光电二极管或 PIN 光电二极管 11 转换成电信号。该电信号经过高频放大器 12 放大后作用在光纤相位调制器 4 上，实现对主光路 A 上 N 束光纤激光实施相位调控。只要反馈控制电路 9 的响应时间与激光的相干时间相比足够小，就能实现对主光路 A 上 N 束光纤激光相位的良好跟踪和控制。这样，主光路 A 上的 N 束光纤激光的相位都与从  $1 \times N+1$  融锥型保偏光纤耦合器得到的参考激光相位趋于一致，实现了对主光路 A 上 N 束光纤激光的相位锁定，也即实现了主光路 A 上 N 束光纤激光在自由空间的相干叠加，从而获得相位锁定多光束相干叠加光纤激光器。

本发明实现了多束光纤激光的完全相干叠加，叠加后的激光光束具有高功率和接近衍射极限的光束质量。使用反馈控制电路 9，保证对主光路 A 上 N 束光纤激光相位时时探测和调制，相位锁定质量（相干性）可以达到均匀稳定的高水平，从而满足 N 束光纤激光完全相干条件，在输出端实现完全相干；使用  $1 \times N+1$  融锥型保偏光纤耦合器 3，因此相干叠加光纤激光的光束数量几乎不受限制；使用保偏光纤隔离器 2，保证光偏振态的同时，减小了噪声影响，增加了系统稳定性；使用光纤相位调制器 4，从根本上减小了器件的插入损耗和回波反射；系统中使用了保偏光纤元件，实现了偏振免调节的功能，也利于系统的小型化、实用化，更容易商业应用。由于本发明实现了输出高功率同时具有高光束质量的相位锁定多光束叠加输出光纤激光器，解决了现有光纤激光光束合成方法中存在的高功率和高光束质量不能兼顾的缺点。这种高功率、高光束质量的光纤激光器可

应用于将普通光纤激光器或带有尾纤的气体、固体、半导体激光器转化成输出高功率、高光束质量光的激光光源，以及工业激光加工、军事等许多领域。本发明适用于连续或脉冲输出的光纤激光器，也适用于掺  $Tm^{3+}$ 、 $Pr^{3+}$ 、 $Ho^{3+}$ 、 $Er^{3+}$ 、 $Sm^{3+}$ 、 $Nd^{3+}$ 、 $Yb^{3+}$  离子的光纤激光器。本发明的激光器结构简单、紧凑、容易加工制造，易于工业生产。

#### 附图说明：

图 1 利用反馈回路实现相位锁定的多光束相干叠加输出光纤激光器结构示意图。图 1 也是说明书摘要附图。

图 2 反馈控制电路 9 的结构示意图。

#### 具体实施方式：

##### 实施例 1：

具体实施制造了相位锁定多光束相干叠加光纤激光器。如图 1 所示，它包括输出偏振光的光纤激光器 1，保偏光纤隔离器 2， $1 \times N+1$  融锥型保偏光纤耦合器 3，光纤相位调制器 4，光纤放大器 5，90：10 保偏光纤耦合器 6， $1 \times N$  融锥型保偏光纤耦合器 7， $1 \times 2$  融锥型保偏光纤耦合器 8，反馈控制电路 9，透镜 10。如图 2 所示，反馈控制电路 9 包括雪崩光电二极管或 PIN 光电二极管 11，高频放大器 12。从光纤激光器 1 中输出的偏振光，经  $1 \times N+1$  融锥型保偏光纤耦合器 3 分束成能量相等的  $N+1$  束偏振激光，其中一束激光作为参考激光束，它又被  $1 \times N$  融锥型保偏光纤耦合器 7 分束成能量相等的  $N$  束偏振激光，以便与主光路 A 上的 10% 分束光纤激光干涉。经  $1 \times N+1$  融锥型保偏光纤耦合器 3 分束的另外  $N$  束偏振光纤激光经过光纤相位调制器 4，然后被光纤放大器 5 放大。主光路 A 上经放大后的  $N$  束偏振激光经 90：10 保偏光纤耦合器 6 分束，90% 的光纤激光经透镜 10 聚焦后在自由空间相干叠加，输出高功率及高光束质量的激光。10% 的偏振激光进入副光路 B，在副光路 B 上与分束后的参考激光在  $1 \times 2$  融锥型保偏光纤耦合器 8 中干涉。干涉后的光进入反馈控制电路 9，光纤相位调制器 4 的电压控制接头与反馈控制电路 9 相连接（如图 2 所示），雪崩光电二极管或 PIN 光电二极管 11 用来探测  $1 \times 2$  融锥型保偏光纤耦合器 8 中的光强度，并以电信号的形式输出，该电信号经高频放大器 12 放大后，用来控制光纤相位调制器 4，实现相位锁定。

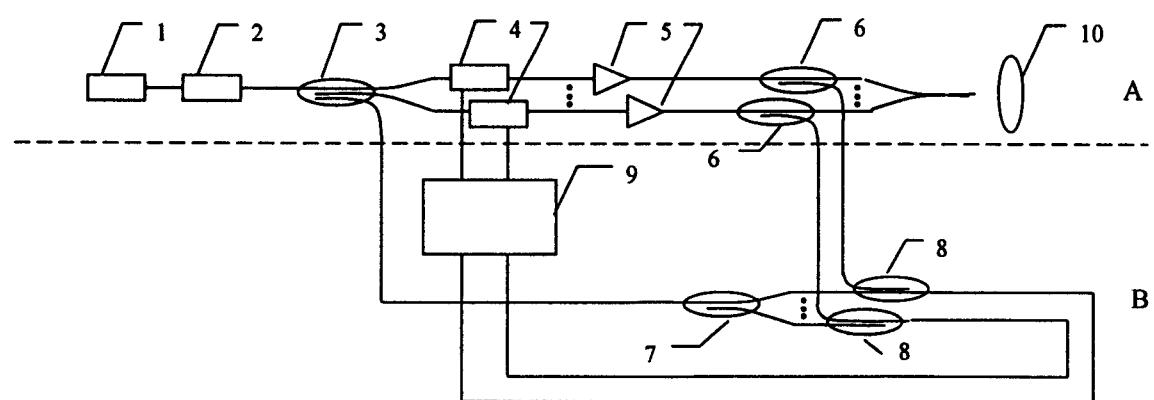


图 1

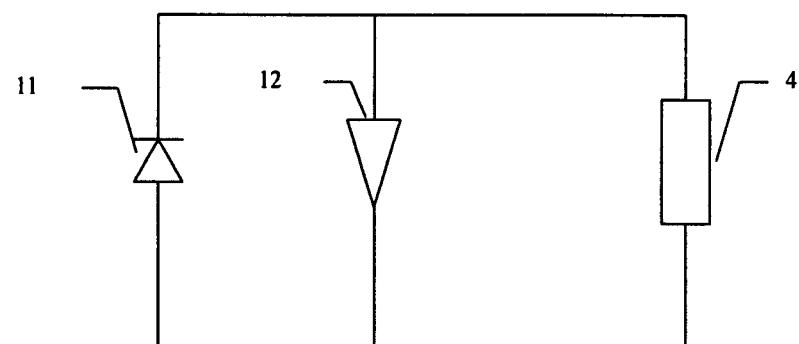


图 2