

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04B 10/12 (2006.01)

H04B 10/18 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610050401.3

[45] 授权公告日 2009 年 9 月 2 日

[11] 授权公告号 CN 100536373C

[22] 申请日 2006.4.18

[21] 申请号 200610050401.3

[73] 专利权人 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 池 灏 金晓峰 章献民

[56] 参考文献

US6535315B1 2003.3.18

CN1570750A 2005.1.26

审查员 黄颢夫

[74] 专利代理机构 杭州求是专利事务所有限公司
代理人 林怀禹

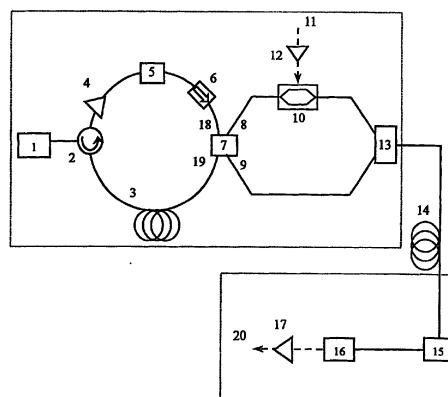
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 1 页

[54] 发明名称

一种基于受激布里渊散射的微波光子混频方法
及装置

[57] 摘要

本发明公开了一种基于受激布里渊散射的微波光子混频方法及装置，它通过光纤环形腔产生功率可调的受激布里渊散射光，由于泵浦光和受激布里渊散射光是互为相关的光源，因而可用作微波光子混频的激光源。将泵浦光作为承载微波信号的副载波复用光载波，而将受激布里渊散射光作为混频光源，混频光信号通过光纤链路传输到远端的信号接收点，由光探测器将光信号转换为射频信号，并通过一带通滤波器，输出所需的已变频信号。应用该方法，可在信号发送端进行光子混频，而在信号接收端可直接接收经变频的微波信号。通过调节输出布里渊光的光功率，可调节变频信号的调制深度。本发明产生的混频信号是单边带调制的，这样可克服光纤链路色散对信号质量的影响。



1. 一种基于受激布里渊散射的微波光子混频方法，其特征在于：功率可调的受激布里渊光信号由泵浦光源和光纤环产生，微波信号通过电光调制器调制到经衰减的泵浦光信号上，产生双边带调制光信号，然后已调信号光和功率可调受激布里渊光通过光合波器发生混频，混频光信号通过一段光纤传输至信号接收地，然后通过光探测器将混频光信号转换为电信号并由带通滤波器得到所需的变频信号。

2. 一种基于受激布里渊散射的微波光子混频装置，其特征在于包括：由作为泵浦光源的半导体激光器(1)，三端口光环形器(2)，光纤(3)，增益可调光放大器(4)，可调谐光滤波器(5)，光隔离器(6)，3dB 耦合器(7)，电光调制器(10)，第二微波放大器(12)和光合波器(13)组成的信号发送端装置；由光电探测器(15)，带通滤波器(16)和第一微波放大器(17)组成的信号接收装置；其中：

作为泵浦光源的半导体激光器(1)发出的连续光作为泵浦光接三端口光环形器(2)的第一端，三端口光环形器(2)的第二端依次接增益可调光放大器(4)，可调谐光滤波器(5)和光隔离器(6)后接 3dB 耦合器(7)的第一端(18)，3dB 耦合器(7)的第二端(19)经光纤链路接三端口光环形器(2)的第三端；3dB 耦合器(7)的第三端(8)经电光调制器(10)接光合波器(13)的第一端，光合波器(13)的第二端接 3dB 耦合器(7)的第四端(9)；光合波器(13)的第三端经光纤链路(14)接光电探测器(15)的第一端，光电探测器(15)的第二端接带通滤波器(16)的一端，第一微波放大器(17)分别接带通滤波器(16)的另一端和已变频信号的输出口(18)，第二微波放大器(12)分别与电光调制器(10)和待变频的微波信号输入口(11)连接。

一种基于受激布里渊散射的微波光子混频方法及装置

技术领域

本发明涉及光通信和无线通信领域，尤其涉及一种基于受激布里渊散射的微波光子混频方法及装置。

背景技术

近年来，Radio over Fiber (RoF) 技术引起了广泛的重视，RoF 是一种模拟调制的副载波复用光纤通信技术，它在无线/移动通信系统的接入系统中、在军用的天线远程控制和智能交通系统中有广泛的应用。RoF 在无线/移动通信系统中应用，可将基站端的基带处理、调制、混频功能后移到基站控制器端集中处理，而基站端只保留光电转换、滤波和放大功能，这样可大大降低基站的成本，在未来的密集微蜂窝通信系统中，由于基站数量众多，采用 RoF 技术可大大降低系统的成本。

由于在微波/毫米波光纤系统中潜在的应用价值，光域上的变频技术(即所谓的微波光子变频技术)引起了众多研究者的兴趣。比起传统基于电子设备的微波混频技术，微波光子变频的好处是时间带宽积高、抗电磁干扰、线路和设备间的串扰小，最重要的是微波光子变频技术是在光域上对微波信号进行混频，它能与 RoF 等微波/毫米波光纤传输系统天然匹配，中间无需光电和电光转换设备。

微波光子变频的一个重要领域是在移动通信系统的基站接入系统中，在该系统中，基站控制器通过下行链路向基站发送下行信号，而基站通过上行链路向基站控制器发送上行信号。目前为止，用于实现 RoF 系统光子变频功能的主要方法有：基于电光调制器的光子变频方法、基于一对相干激光器的变频方法和基于受激布里渊散射的光子变频技术。在 J. Marti, et al, "Single Mach-Zehnder modulator electro-optic harmonic mixer for broadband microwave/millimetre-wave applications," Wireless Personal Communications, Vol.15, 2000, pp31-42 给出了一种基于电光调制器的微波光子变频方法，该方法中射频信号和本振信号从一个输入端馈入电光调制器，在本地通过电光调制器实现微波信号的全光混频。该方法虽然实现简单，但实现的功能有限，只能在本地产生变频信号，同时也需要使用高速率的电光调制器，实现成本也较高。在 G. J. Simonis and K. G. Purchase, "Optical generation, distribution and control of microwaves using heterodyne," IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, Vol.38, 1990, pp667-669 给出通

过相干激光器的给出光子混频的技术,其中需要两个具有一定频率差的激光器,这里两个激光器需要通过复杂的锁定技术才能实现相干,而这种相位锁定方式实现起来成本也较高,很难在未来的密集微蜂窝移动通信系统中广泛应用。在 Y. Shen, X. Zhang and K. Chen, "All-optical generation of microwave and millimetre wave using a two-frequency Bragg grating-based Brillouin fiber laser," Journal of Lightwave Technology, Vol.23, No.5, 2005, pp1860-1867 给出的方法中,利用双频布里渊激光器产生 11GHz 频差来实现微波信号的发生和混频,该方法利用光纤光栅腔构成双频布里渊激光器,虽然也可有效应用于微波光子变频,但是该方法输出的光功率有限,并且产生的布里渊散射光的功率难以调节,影响了其应用的灵活性。同时,利用该方法,变频后的信号仍然是双边带调制的信号,这样在较长距离传输的微波光子系统,信号质量会有较大幅度的恶化。

发明内容

针对背景技术存在的问题,本发明的目的在于提供一种基于受激布里渊散射的微波光子混频方法及装置,采用微波信号的全光混频方法,基于光纤环形腔实现功率可调的布里渊激光输出。

本发明通过在信号发送端放置光纤环形腔来产生功率可调的受激布里渊光和泵浦光,待变频的微波信号通过电光调制器调制到泵浦光上,然后受激布里渊散射光与已调制的泵浦光通过光合波器发生全光混频。混频后的光信号通过光纤链路传输到信号接收端。信号接收端只需配置光电探测器和滤波器就可提取出经过变频的微波信号。由于全光混频是在发送端完成的,因而接收端无需任何混频设备。本发明分别设计了信号发送端和信号接收端的系统配置方式,它们共同实现用于微波光纤传输链路的全光混频功能。

本发明给出的用于全光微波光子混频的信号发送端装置的主要功能是通过光纤环形腔产生功率可调的泵浦光和受激布里渊散射光、将待变频微波信号调制到泵浦光上、将已调制泵浦光和受激布里渊光发生全光混频并通过光纤链路发送到远处的信号接收端。为实现这样的目的,信号发送端的特征在于半导体激光器作为泵浦光源,泵浦光进入由光环形器和光纤耦合器构成的光纤环形腔,环形腔中放置增益可调的光放大器、光隔离器和光滤波器。此环形腔输出经过功率可调的泵浦光和受激布里渊散射光。待变频的微波信号通过电光调制器加载到光纤环形腔输出的泵浦光上,然后已调制的泵浦光信号通过光合波器和受激布里渊散射光发生全光混频。由于光环形腔输出的泵浦光和布里渊散射光的频差约为 11GHz,并且为相干光,因而混频后的光信号可产生经过变频的微波

信号。信号发送端产生的混频光信号通过光纤链路传输到远处的信号接收端。

本发明给出的用于全光纤微波光子混频的信号接收装置的主要功能是接收从信号发送端传送来的全光混频信号，并通过光电探测和滤波得到经过变频的微波信号。信号接收端的特征在于光电探测器将全光混频信号转换为电信号，然后通过带通滤波器滤出所需频率的变频信号，变频信号经放大后可馈送至发射天线。

本发明所采用的技术方案如下：

一、基于受激布里渊散射的微波光子混频方法：功率可调的受激布里渊光信号由泵浦光源和光纤环产生，微波信号通过电光调制器调制到经衰减的泵浦光信号上，产生双边带调制光信号，然后已调信号光和功率可调受激布里渊光通过光合波器发生混频，混频光信号通过一段光纤传输至信号接收地，然后通过光探测器将混频光信号转换为电信号并由带通滤波器得到所需的变频信号。

二、基于受激布里渊散射的微波光子混频装置包括：由作为泵浦光源的半导体激光器，三端口光环形器，光纤，增益可调光放大器，可调谐光滤波器，光隔离器，3dB 耦合器，电光调制器，第二微波放大器和光合波器组成的信号发送端装置；由光电探测器，带通滤波器和第一微波放大器组成的信号接收装置；其中：

作为泵浦光源的半导体激光器发出的连续光作为泵浦光接三端口光环形器的第一端，三端口光环形器的第二端依次接增益可调光放大器，可调谐光滤波器和光隔离器后接 3dB 耦合器的第一端，3dB 耦合器的第二端经光纤链路接三端口光环形器的第三端；3dB 耦合器的第三端经电光调制器接光合波器的第一端，光合波器的第二端接 3dB 耦合器的第四端；光合波器的第三端经光纤链路接光电探测器的第一端，光电探测器的第二端接带通滤波器的一端，第一微波放大器分别接带通滤波器的另一端和已变频信号的输出口，第二微波放大器分别与电光调制器和待变频的微波信号输入口连接。

本发明与背景技术相比，具有的有益效果是：

本发明针对已有的微波光子混频/变频技术应用于微波/毫米波光纤传输系统的缺陷，提出一种微波信号的全光混频方法，它基于光纤环形腔实现功率可调的布里渊激光输出。应用该方法，可在信号发送端进行光子混频，而在信号接收端可直接接收经变频的微波信号，这样接收端无需配置电子的变频装置。这种方式可大幅度降低系统的成本，尤其是在未来的密集微蜂窝移动通信系统中。同时，通过调节输出布里渊光的光功率，可方便的调节变频信号的调制深

度，改善系统的传输质量。另外，本发明产生的混频信号是单边带调制的，这样可有效克服光纤链路色散对信号质量的影响。

附图说明

附图是本发明提出的结构原理示意图；图中实线表示光信号链路，虚线表示电信号链路。

图中：1.作为泵浦光源的半导体激光器，2.三端口光环形器，3.光纤，4.增益可调光放大器，5.可调谐光滤波器，6.光隔离器，7. 3dB 耦合器，8. 3dB 耦合器的第三端（经衰减的泵浦光输出口），9. 3dB 耦合器的第四端（受激布里渊散射光输出口），10.电光调制器，11.待变频的微波信号输入口，12. 第二微波放大器，13.光合波器，14.光纤链路，15.光电探测器，16.带通滤波器，17. 第一微波放大器，18. 3dB 耦合器的第一端，19. 3dB 耦合器的第二端，20.已变频信号的输出口。

具体实施方式

下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明。

信号发送端装置的功能主要包括：通过光纤环形腔产生功率可调的受激布里渊散射光和泵浦光输出、将待变频的微波信号的调制到泵浦光载波上、布里渊光和已调制泵浦光通过光合波器发生混频并通过光纤链路将混频光信号传输到信号接收端。信号接收端装置的主要功能是：利用光探测器将已混频光信号转换为电信号，然后通过微波带通滤波器滤出所需的微波信号，然后经放大后馈送到发射天线。

如附图所示，本发明包括：由作为泵浦光源的半导体激光器 1，三端口光环形器 2，光纤 3，增益可调光放大器 4，可调谐光滤波器 5，光隔离器 6，3dB 耦合器 7，电光调制器 10，第二微波放大器 12 和光合波器 13 组成的信号发送端装置；由光电探测器 15，带通滤波器 16 和第一微波放大器 17 组成的信号接收装置；其中：

作为泵浦光源的半导体激光器 1 发出的连续光作为泵浦光接三端口光环形器 2 的第一端，三端口光环形器 2 的第二端依次接增益可调光放大器 4，可调谐光滤波器 5 和光隔离器 6 后接 3dB 耦合器 7 的第一端 18，3dB 耦合器 7 的第二端 19 经光纤链路接三端口光环形器 2 的第三端；3dB 耦合器 7 的第三端 8 经电光调制器 10 接光合波器 13 的第一端，光合波器 13 的第二端接 3dB 耦合器 7 的第四端 9；光合波器 13 的第三端经光纤链路 14 接光电探测器 15 的第一端，光电探测器 15 的第二端接带通滤波器 16 的一端，第一微波放大器 17 分别接带通

滤波器 16 的另一端和已变频信号的输出口 18，第二微波放大器 12 分别与电光调制器 10 和待变频的微波信号输入口 11 连接。

本发明的实施方式如下：作为泵浦光源的半导体激光器 1 发出的泵浦光进入三端口光环形器 2，3dB 耦合器 7 和一段光纤构成光纤环形腔，泵浦光沿着逆时针方向在光纤环形腔 3 的下端传输，然后从 3dB 耦合器 7 的第三端 8 输出经过衰减的泵浦光，由于光纤中固有的布里渊散射效应和泵浦光的激励，环形腔中产生顺时针方向受激布里渊光，并从 3dB 耦合器 7 的第四端 9 输出布里渊散射光。输出泵浦光和布里渊光的功率取决于光纤的长度和增益可调光放大器 4 的增益。环形腔中的可调谐光滤波器 5 的作用是选择一阶布里渊散射光，抑制由增益可调光放大器 4 导致的激光输出，而光隔离器 6 的作用是抑制泵浦光在环形腔上端的传输。环中所用光滤波器的 3dB 带宽应为 $0.5\sim 1\text{ nm}$ ，并且布里渊散射光的频率位于该滤波器的通带中心。增益可调光放大器 4 的增益越大，则输出的布里渊光的功率越大，而输出的泵浦光功率越低。从 3dB 耦合器的第三端 8 输出的泵浦光进入电光调制器 10，待变频的微波信号从端口 11 输入，经第二微波放大器 12 放大，馈入电光调制器 10 并将微波信号调制到光载波上，从电光调制器 10 输出的是双边带调制的光信号。该双边带信号和从 3dB 耦合器的第四端 9 输出的布里渊散射光通过光合波器 13 发生全光混频，然后通过光纤链路 14 传输到信号接收端。由于受激布里渊散射光和泵浦光的频率差约为 11GHz ，并且是相干光，这样双边带调制的光信号（假设已调的微波信号频率为 f ）经混频后可产生频率为 $11\pm f\text{ GHz}$ 的两个单边带调制信号。并且由于泵浦光和布里渊光的功率可通过调节光纤环形腔中光放大器的增益来调节，因而混频后产生的两个单边带信号的调制深度也是可以调节的。

用于光子变频的信号接收端装置中主要包括光电探测器 15、带通滤波器 16 和第一微波放大器 17。光电探测器将从信号发送端产生的光混频信号转换为电信号，经过带通滤波器 16 得到所需的经过变频的微波信号，该带通滤波器的通带取决于所需的微波频率（ $11\text{GHz}+f$ 或者 $11\text{GHz}-f$ ），带宽由调制信号的带宽决定，然后变频信号经第一微波放大器 17 放大后从已变频信号的输出口 20 馈送到发射天线。本发明中所有用到的光电器件也都可以从市场买到。

