[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl[7]
H04B 10/12

[12]发明专利说明书

[21] ZL 专利号 95192396.X

[45]授权公告日 2002 年 10 月 16 日

[11]授权公告号 CN 1092879C

[22]申请日 1995.3.17 [21]申请号 95192396.X

[30]优先权

[32]1994.3.30 [33]WO [31]PCT/GB94/00675

[32]1994.7.29 [33]EP [31]94305661.4

[86]国际申请 PCT/GB95/00589 1995.3.17

[87]国际公布 WO95/27346 英 1995.10.12

[85]进入国家阶段日期 1996.9.28

[73]专利权人 英国电讯有限公司

地址 英国伦敦

[72]发明人 戴维·韦克 戴维·格雷厄姆·穆迪 德里克·内塞特

[56]参考文献

IEICE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS VOL E 76B NO 9 1993. 9. 1 OGAWA MICTOWAVE AND MILLIMETREWAVE FIBRE OPTIC TECHNOLOGIES FOR SUBCARRIER

OPTICAL TECHNOLOGY FOR MICROWAVE APPLICATIONS VI 1992. 4. 1 YU ET AL DESIGN AND FABTICATION OF INGAASP/INP WAVEGUIDE MODULATORS FOR MI

审查员 葛 源

[74]专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

代理人 蹇 炜

权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 5 页

[54]发明名称 射频调制光辐射源、生成射频调制光辐射的方法及使用辐射源的系统

[57]摘要

本发明涉及射频调制的光辐射的生成，特别是供在光纤上的无线电通信系统中使用的。已经发现半导体电吸收调制器能在作用在电吸收调制器上的电调制频率的谐波上高效地调制输入光信号。可利用低频设计从而低成本的电吸收调制器来生成电驱动信号的较高次谐波供在光纤上的无线电通信系统中使用。

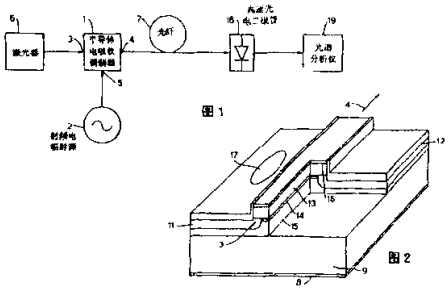


图 1

图 2

ISSN1008-4274

02.01.14

权 利 要 求 书

1、一种射频调制的光辐射源，包括一个半导体电吸收调制器，具有一个光输入端、一个电输入端及一个光输出端，及包括一个射频电辐射源，电连接在该半导体电吸收调制器的电输入端上，其中输入到该半导体电吸收调制器的光输入端的光信号是在电辐射频率的谐波上调制的，并从半导体电吸收调制器的光输出端上输出。

2、权利要求1中所要求的射频调制的光辐射源，其中该电吸收调制器包括一个多量子阱电吸收层。

3、权利要求1或2中所要求的射频调制的光辐射源，其中该电吸收调制器包括一个反向偏置的p－n结结构。

4、权利要求1、2或3中所要求的射频调制的光辐射源，其中该电吸收调制器包括一个光波导。

5、前面的权利要求中任何一项中所要求的射频调制的光辐射源，其中该电吸收调制器在其光输入端与光输出端之间的长度为150与350μm之间。

6、前面的权利要求中任何一项中所要求的射频调制的光辐射源，其中该电吸收调制器是与一个分布式反馈激光器集成的。

7、前面的权利要求中任何一项中所要求的射频调制的光辐射源，其中该射频调制的光辐射源能产生具有正弦波形的电辐射。

8、前面的权利要求中任何一项中所要求的射频调制的光辐射源，其中该电吸收调制器是从Ⅲ－Ⅳ材料系中的半导体材料制成的。

9、一种光纤上的无线电通信系统，包括第一地点上的一个射频调制的光信号源，第二地点上的一根无线电发射天线，第三地点上的一根无线电接收天线，以及在第一端上耦合到该射频调制的光信号源及在第二端上耦合到无线电发射天线的光纤，使得在第一地点上生成的信号经由该光纤光学地传输到第二地点，然后通过自由空间从第二地点上的所述无线电发射天线发射到第三地点上的所述无线电接收天

线，其中所述射频调制的光信号源包括一个半导体电吸收调制器。

10、权利要求 9 中所要求的光纤上的无线电通信系统，还包括一个位于所述第一与所述第二地点之间的光放大器，用于放大该射频调制的光信号。

11、权利要求 10 中所要求的光纤上的无线电通信系统，其中该光放大器为一个掺稀土元素的光纤放大器。

12、权利要求 9、10 或 11 中任何一项中所要求的光纤上的无线电通信系统，其中该射频调制的光辐射源包括将电驱动信号作用到电吸收调制器的装置，以便产生二次或更高次谐波来用于将通信数据从第一地点传输到第三地点。

13、权利要求 9 至 12 中任何一项中所要求的光纤上的无线电通信系统，其中一个光检测器耦合到光纤的第二端，来接收射频调制的光辐射，该光检测器具有一个电输出端，该输出端连接到发射无线天线来产生用于从第二到第三地点中的自由空间的传输毫米波频率。

14、生成调制的光信号的方法，包括下述步骤：

输入一个光信号到一个半导体电吸收调制器中；

作用一个电调制信号在半导体电吸收调制器上；以及

从该电吸收调制器中输出一个在电信号的谐波上调制的光信号。

15、一种生成射频调制的光辐射的方法，其特征在于：应用了电驱动信号到半导体电吸收调制器来产生电驱动信号的射频谐波。

说　明　书

射频调制光辐射源、生成射频调制光辐射的方法及使用辐射源的系统

技术领域

本发明涉及生成调制的光信号的方法，并涉及调制的光辐射源，具体地涉及在光纤上的无线电通信系统中使用半导体电吸收调制器。

背景技术

在下一个十年中预期对家庭及小企业的宽带电信业务的需求会有戏剧性的增加。光纤与毫米波无线电两者都能独立支持与这些业务关联的大带宽要求。直接对家庭或企业提供光缆架设是提供高容量的一种方法，但基于操作原因，这并非总是适当的解决方法。诸如 RACE 移动宽带系统或无线局域网等其它毫米波无线电系统是灵活的并提供设置方便的优点。

近年来已研制出这两种技术的结合物，称作光纤上的无线电。光纤上的无线电系统利用光纤传输将无线电信号直接发送到自由空间辐射的点上，通常为一天线地点。取决于光纤上的无线电的应用，无线电信号可具有ＶＨＦ、ＵＨＦ、微波或毫米频率。通常，光纤上的无线电通信系统包括一个生成具有射频载波的光信号的第一即中心地点，一个用光纤链接在第一地点上的具有无线电发射天线的第二即远程地点，及一个具有无线电接收天线的第三地点。从而，将在第一地点编码在光载波上的数据径由光纤光学地传输到远程地点，作为一个自由空间无线电信号从远程地点发射到第三地点上的无线电接收天线，并加以解调。通过经由光纤链路光学地发送无线电信号，便没有必要在远程地点上生成通常不容易使用且在不良环境中的高频无线电

载波。由于其低损失、高频及宽带容量，光纤用于这一目的是理想的传输介质。光纤上的无线电系统的主要优点在于它们将大多数昂贵的高频设备集中在一个中心位置上的能力，允许在远程地点上的其余设备简单、尺寸小、重量轻及功耗低。这得出简单的装机、低维修率及电力供应的简化的选择范围。高频设备的集中还提高操作灵活性及频率重复使用或若干用户之间共用的潜力。再者，能在与恶劣的气候变化屏蔽开的环境中，集中控制辐射频率，因而能够极度稳定。

光纤上的无线电通信系统的关键问题为高效地生成射频调制的光信号，由于为了从光纤上的无线电系统的基本优点中得益，调制在光信号上的射频载波必须适合于由无线电发射天线直接转发而无须上变换。虽然存在有在诸如１ＧＨｚ到１５或甚至２０ＧＨｚ的较低射频上生成调制的光信号的技术与部件，但随着所需的射频调制的光信号的频率的增加，高效低成本地生成这些光信号也越来越困难。诸如多点视频分配业务（ＭＶＤＳ）及移动宽带系统（ＭＢＳ）等若干应用，较高频光纤上的无线电通信系统对它们尤其具有吸引力，在欧洲已将毫米波范围中的频带分别分配给４０至４２ＧＨｚ及６２至６６GHz上的这些应用。在这些较高频带中工作的优点不仅来源于电磁频谱的这些区的可利用性，也来源于诸如高天线增益、小的物理天线尺寸及由超出视线路径的高传播损失及大气衰减导致的良好频率重复使用等技术因素。如果要使较高频光纤上无线电通信系统在商业上有生命力，生成射频调制的光信号的低成本方法是主要的。

已存在若干种生成射频（特别是毫米波）调制的光信号的已知方法。虽然激光二极管的直接调制在毫米波频率上是不适用的，利用外空腔的激光频率响应的谐振增强能生成４５ＧＨｚ频率上的调制的光信号，见例如Ｊ Ｂ Ｇｅｏｒｇｅｓ、Ｍ Ｈ Ｋｉａｎｇ、Ｋ Ｈ Ｅｐｐｅｌｌ、Ｍ Ｓａｙｅｄ 及Ｋ Ｌａｕ的“用单片半导体激光器的谐振调制的窄带毫米波信号的光传输”ＩＥＥＥ光子技术通

讯，卷6，第4号，568－570页，1994。然而谐振增强技术根本上限制了通信系统要携带的任何数据信号的带宽。光外差是一种能够非常高效地生成光信号的技术，但需要复杂的稳定来得到带低相位噪声的差拍信号，见例如D C Scott、D V Plant及H R Fettermann的“使用光驱动的异质结双极型晶体管的60GHz源”，应用物理通讯，卷6，第一号，1－3页，1992。利用作用在光电子部件上的电驱动信号的谐波的谐波发生技术是有吸引力的，因为它们允许相对地低的频率，并从而采用低成本的光电子部件，并且因为光信号的纯度是从电驱动信号导出的。激光器及光学调制器两者都曾用于射频调制的光信号的谐波发生。D Wake、I C Smith、N G Walker、I D Henning 及R D Carver在“在40GHz无线电光纤链路上的视频传输”，电子学通讯，卷28，第21号，2024－2025页，1992，中结合色散光纤使用光频调制的激光器。这一技术的缺点为必须出现有控制的量的色散。也展示过采用Mach－Zehnder（MZ）调制器的谐波发生，诸如在J J O’Reilly，P M Lane、R Heiderman及R Hofstetter的“非常窄的行宽毫米信号的光学发生”中，电子学通讯，卷28，第25号，2309－2311页，1992。

通常在利用谐波发生时，希望利用最低的可能谐波，因为较高次谐波中包含较低的功率，从而导致较短的最大自由空间传输距离。然而为了利用较低次谐波来生成给定的自由空间传输频率，必须将谐波发生器设计成在较高的频率上操作。对于半导体调制器这增加了调制器设计的复杂性及封装调制器的成本。随着调制器的设计频率的增加，封装中的小缺点在调制器的性能上产生较大的影响，因为它们的大小接近所采用的电信号的波长。此外，如果要求它在较高频率上操作，则需要仔细地分析与避免封装的任何共振模式。再者，寄生现象

（诸如捆扎线电感）与介电材料的丢失都会影响较高频率上的调制器的性能。从而使用于谐波发生的光学调制器能够高效地发生谐波特别重要，使得即使调制器的低频设计也能在较高次谐波上给出足够的功率供自由空间传输。

发明内容

本发明的一个目的为射频调制的光信号的高效发生。

按照本发明的第一方面，提供了射频调制的光辐射的一种源，包括一个半导体电吸收调制器，具有一个光输入端、一个电输入端及一个光输出端，及包括一个射频电辐射源，电连接在该半导体电吸收调制器的电输入端上，其中输入到该半导体电吸收调制器的光输入端的光信号是在电辐射频率的谐波上调制的并从该半导体电吸收调制器的光输出端上输出。

本发明基于半导体电吸收调制器能在作用在该电吸收调制器上的电调制频率的谐波上高效地调制光信号这一发现。

按照本发明的第二方面，提供了一种光纤上的无线电通信系统，包括第一地点上的一个射频调制的光信号源；第二地点上的一根无线电发射天线；第三地点上的一根无线电接收天线；以及在第一端上耦合到射频调制的光信号源，并在第二端上耦合到无线电发射天线的光纤，使得将第一地点上生成的信号经由光纤光学地传输到第二地点，然后通过自由空间从第二地点上的所述无线电发射天线发射到第三地点上的无线电接收天线，其中所述射频调制的光信号源包括一个半导体电吸收调制器。

按照本发明的第三方面，提供了发生调制的光信号的方法，该方法包括下述步骤：

输入一个光信号到一个半导体电吸收调制器中；

作用一个电调制信号在该半导体电吸收调制器上；

及从该电吸收调制器输出一个调制在电信号的谐波上的光信号。

附图说明

现在参照附图只是以示例方式描述本发明的实施例，附图中：

图 1 为用于测定谐波发生的实验配置的示意图；

图 2 为按照本发明的电吸收调制器的示意图；

图 3 为展示电吸收调制器在 1555nm 波长上的吸收特征的曲线；

图 4 示出电吸收（ＥＡ）及Ｍａｃｈ－Ｚｅｈｎｄｅｒ（ＭＺ）调制器生成的前 5 个谐波的最大电功率级，（ａ）示出用电驱动功率＋１６ｄＢｍ的理论预测性能，（ｂ）示出用＋１６ｄＢｍ电驱动功率的实验观察性能，（ｃ）示出用电驱动功率＋２２ｄＢｍ的理论预测性能，（ｄ）示出用电驱动功率＋２２ｄＢｍ的实验观察性能；

图 5 示出对于电驱动功率＋２２ｄＢｍ的带偏压的电谐波功率级的变化（ａ）对于ＥＡ调制器，及（ｂ）对于ＭＺ调制器；以及

图 6 为展示当与ＥＤＦＡ结合使用时ＥＡ调制器所生成的前五个谐波的最大实验观察电功率级的曲线。

具体实施方式

图 1 示出按照本发明的射频调制的光辐射源，包括一个半导体电吸收调制器 1 及一个射频电辐射源 2 。半导体电吸收调制器 1 具有一个光输入端 3 、一个光输出端 4 及一个电输入端 5 。在一个优选的实施例中，如图 1 所表示的本发明还示出一个电吸收调制器 1，该电吸收调制器 1 包括一个与分布式反馈激光器 6 集成在一起的光输入端 3；该实施例还包括耦合在电吸收调制器 1 的光输出端 4 上的光纤 7 、一个高速光电二极管１８及一个ＲＦ光谱分析仪１９。

图 2 更详细地示出电吸收调制器１。电吸收调制器 1 是用半导体生长领域中的熟练技术人员所知的标准ＭＯＶＰＥ技术生长的。电吸

收调制器包括一个与光波导结合的反向偏置的ＰＩＮ结。在一块ｎ　ＩｎＰ衬底层９上生长一个ｎ　ＩｎＰ缓冲层１５。缓冲层１５为３μｍ原并掺杂有$1\times10^{18}cm^{-3}$的硫。在缓冲层１５上方生长一个电吸收层１４，而在这上面则是一个０．４μｍ厚的锌$5\times10^{17}cm^{-3}$掺杂的ＩｎＰ层１３。这三层１３、１４与１５构成ＰＩＮ结及光波导两者。为了达到图２中所示的脊状结构，采用了标准光刻法、蚀刻及附生技术。ＰＩＮ结是嵌入掺铁的$10^{17}cm^{-3}$（半绝缘的）电流块形结构中的，以便保证作用在电吸收调制器１上的调制电压有效直接地穿过电吸收层１４。ｎＩｎｐ衬底９用一层ＴｉＡｕ金属化以提供一个接触层８，而该器件的顶部则用一个ＡＳＧ介电层１１钝化。经由P^{++}三元接触层１６及一个ＴｉＡｕ接合垫片１７接触该器件的顶点。

电吸收层１４包括９４ＡＩｎＧａＡｓＰ阱（λ＝１．５５μｍ）与５５ＡＩｎＧａＡｓＰ隔析（λ＝１．１μｍ）的１７周期多量子阱结构。将这一多量子阱结构设计成使得可利用量子约束的Stark效应以技术人员已知方式给出锐吸收特征。为了得出吸收中随作用在电吸收调制器１上的电压的巨大变化，应将多量化阱结构设计成使得在电吸收调制器１上作用一个电场将ＭＱＷ结构的激子峰值移过电吸收调制器１的工作波长。这里公开的ＭＱＷ结构已设计成在电吸收调制器的１５５５ｎｍ的输入波长上工作效率最高。在电吸收层１４下方为完成ＰＩＮ结的一个ｎ掺杂的Ｉｎｐ层１５。

选择电吸收调制器１在光波导的方向上为３２５μｍ长。随着电吸收调制器的长度的增加，其电容也增加，其工作速度则降低。然而对于高调制深度，即开闭状态之间的良好对比度，要求通过该器件的高吸收。吸收随器件长度及约束因子增加，然而对于一个给定的作用电压约束因子的增加减小穿过电吸收层的电场。已发现１５０与３５０μｍ之间的电吸收调制器代表这些矛盾的要求之间的良好折衷。电

吸收调制器片在端面3与4上涂有抗反射涂层，并封装在一个高速的带有光纤引出端的模件中。测量出器件在1MHz上的电容为0.47pF，并且利用一个15Ω、10nF阻抗匹配电路，封装的电吸收调制器的小信号3dB电带宽为10.7GHz。封装的器件在1555nm的输入波长上具有接通状态光纤到光纤的介入损耗10.8dB。电吸收调制器的测量吸收特征示出在图3中。从图3中可见该器件具有尖锐的吸收特征。

为了表明电吸收调制器能协调地发生射频调制的光信号的效率，在理论与实验两方面将电吸收调制器与Mach－Zehnder调制器进行比较。用于这一比较的Mach－Zehnder调制器为一从GEC高级光学产品公司（West Hanningfield Road，Great Baddow，Chelmsford，Essex）购得的市场上出售的Ti：$LiNbO_3$MZ调制器（型号Y－35－8931－01）。该Mach－Zehnder调制器具有8GHz的带宽，9.5dB的最小光介入损耗，并在DC调制及在2.5GHZ上的调制下分别具有7.7V及14.9V的V_π值（将调制器从最大驱动到最小传输所需的作用电压）。这两个值明显地不同，因为当在RF频率上驱动MZ调制器时，采用了一个阻抗变换器将特征阻抗为22Ω的行波电极连接到50Ω输入端上。为了这两个调制器的实验比较使用了图1的配置。将电振荡器2的驱动频率设定为2.5GHz，使得比较结果不受调制器的有限电频率响应的影响。将激光器6对调制器的光输入功率设定为1mW，并用高速光电二极管18（具有18GHz的带宽）及RF频谱分析仪19测定各调制器发生的谐波。在作用在各调制器的DC偏压的范围上测量前五个谐波的功率。对于两种电吸收调制器，为2.5GHz的正弦电波形的作用功率的两个值（＋16及＋22dBm）取跨接50Ω负载测定的测量值。

采用电吸收调制器的谐波发生是通过将一个样条曲线拟合到图3中所示的吸收特征上及计算从作用一个正弦驱动电压所得出的透射光强的傅里叶级数幅值而建立模型的。将结果对1mW的光输入功率正规化，并为转换到RF输出功率假定了理想的光电二极管特征。在计算中使用了实际的调制器介入损耗（10.8dB）。

Mach Zehnder调制器以与电吸收调制器相同的方法建模。作为从系统阻抗（50Ω）到调制器传输线阻抗（22Ω）的内阻抗变换的结果，Vπ的实际值与给定的数字不同。对于所采用的特定调制器，Vπ的实际值计算为15V。

对于两种类型的调制器及两种作用信号电平的各谐波的最大理论预测的及实验达到的RF功率级示出在图4中。画出的值为用一个100%量子效率及无穷大带宽的理想光电二极管所探测到的，从而图4中的各谐波的相对能级与实际光电二极管在该频率上的响应度无关。如能见到的，预测的与实验的结果符合得很好。在两种驱动能级（16与22dBm）上，在发生较高次谐波方面EA调制器比MZ调制器更有效。采用与用于精确地建立图4中所示的调制器性能模型相同的建模方法，计算出为了与在驱动功率+16及+22dBm上采用EA调制器同样有效地生成五次谐波，MZ调制器在驱动频率上必须分别具有低到2.9与4.4V的Vπ值。

为了在希望的频率（18，30及60GHz）上为光纤上的无线电应用生成载波，会要求在比EA与MZ性能比较时所用的2.5GHz更高的频率上驱动调制器。EA调制器具有10GHz以上的带宽，因此在电调制频率高于2.5GHz时，预期在这些较高频率上也能高效地生成光载波。没有已知的MZ调制器在足够高的调制频率上具有充分低的V_{π}，值足以在使用相同的驱动功率生成五次谐波上与EA调制效率匹敌。

电吸收调制器与Mach－Zehnder调制器两者的性能都

随作用在调制器上的ＤＣ偏压明显地变化。这对于电吸收调制器能清楚地从图５ａ中看出，而对于Ｍａｃｈ－Ｚｅｈｎｄｅｒ调制器则从图５ｂ中看出，它们示出对于＋２２ｄＢｍ的对抗偏压的电驱动功率，对于相同的输入光功率级及理想的光电二极管的前五个谐波的测定电功率级。

除了更高效的谐波发生，利用电吸收调制器而不是Ｍａｃｈ－Ｚｅｈｎｄｅｒ调制器的又一优点能从图３中推论出。从图３中能看出电吸收调制器的ＤＣ与谐波功率级在较高的反向偏置下收敛，而对于Ｍａｃｈ－Ｚｅｈｎｄｅｒ调制器的那些则并不。这一收敛是调制深度随反向偏置的增加而增加的结果。从而在适当的偏压上，电吸收调制器具有比Ｍａｃｈ－Ｚｅｈｎｄｅｒ更好的调制深度。这不仅对防止光电二极管的饱和重要，也对采用任何光放大器重要。对于给定的光放大器，如果输入光信号具有较高的调制深度并从而具有较低的ＤＣ分量，便能在光放大器饱和之前得到更多的有用光增益。

这一效应是通过利用在输入功率－２０ｄＢｍ以上时输出功率饱和为＋１５ｄＢｍ的掺铒光纤放大器来放大从电吸收调制器发出的光信号而实验示出的。ＥＤＦＡ后面随有设定在１４ｄＢ上的一个光衰减器，以免光电二极管饱和。对作用在ＥＡ调制器上的功率＋１６与＋２２ｄＢｍ的２．５ＧＨｚ信号，进行了电频谱的谐波功率级测定。校正测定的谐波值使之给出在没有光衰减器时从理想的光电二极管生成的电功率级，其结果示出在图６中。随谐波数增加的功率降低小于在不使用ＥＤＦＡ时在相同的驱动功率上观察到的（图４）。从而在传输之前使用一个光放大器来升高信号时，ＥＡ调制器能有利地用作光纤上的无线电系统中的谐波发生器。

虽然在这里利用多量子阱电吸收调制器来描述本发明的特定实施例，技术人员会理解在本发明中也能利用大的半导体电吸收层。在这一情况中可利用Ｆｒａｎｚ－Ｋｅｌｄｓｈ效应来增强随作用电压的

电吸收调制器吸收中的改变。再者，虽然所描述的电吸收调制器采用反向P－n结结构，技术人员将会理解诸如n－i－n结构或肖特基（Schottky）结构等其它半导体结构也能应用。

说 明 书 附 图

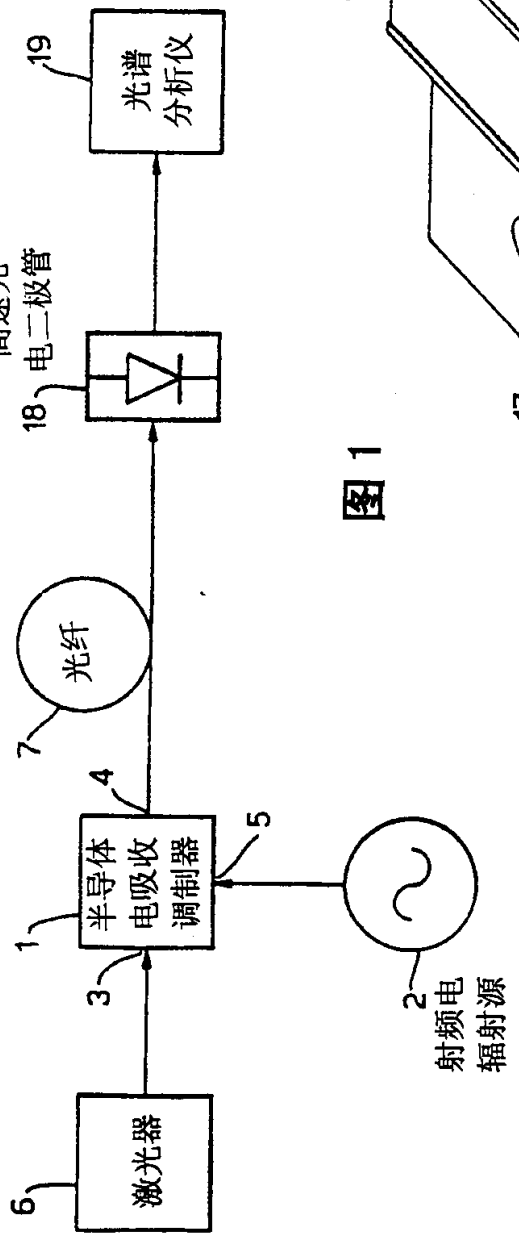

激光器
6
半导体
电吸收
调制器
1
3
4
5
射频电
辐射源
2
光纤
7
高速光
电二极管
18
光谱
分析仪
19

图 1

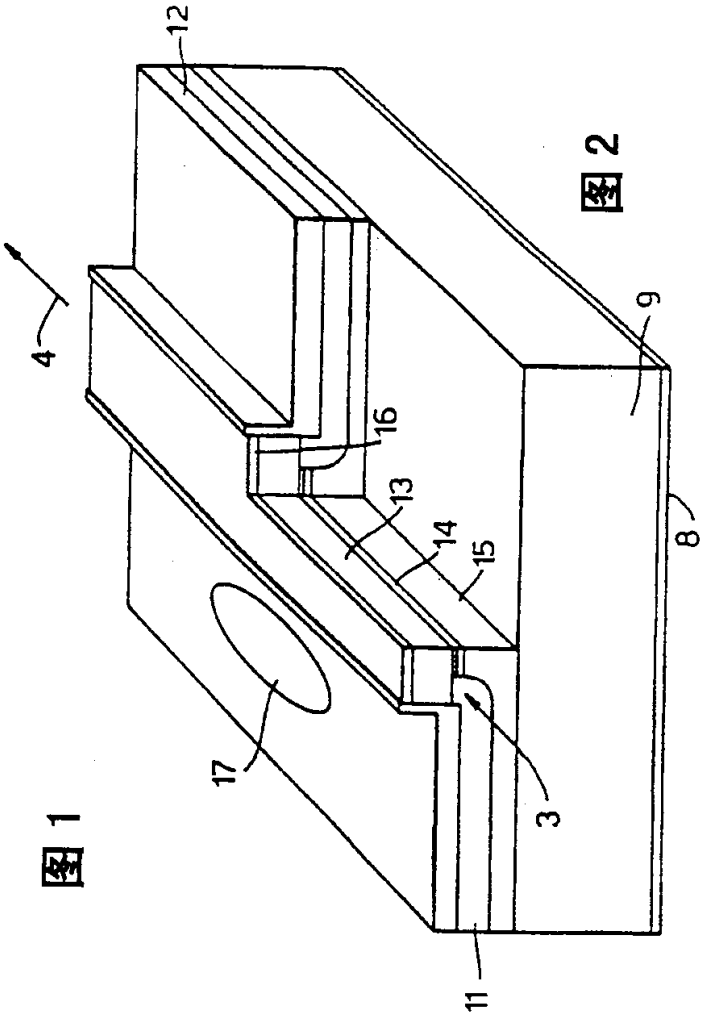

4
12
9
16
13
14
15
8
17
3
11

图 2

图3

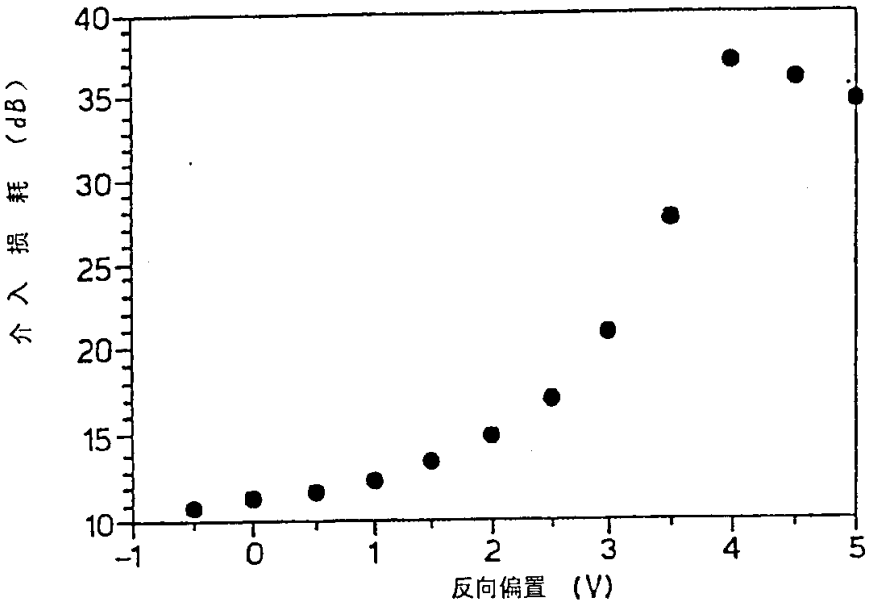

介入损耗 (dB)
40
35
30
25
20
15
10
-1
0
1
2
3
4
5
反向偏置 (V)

图4a

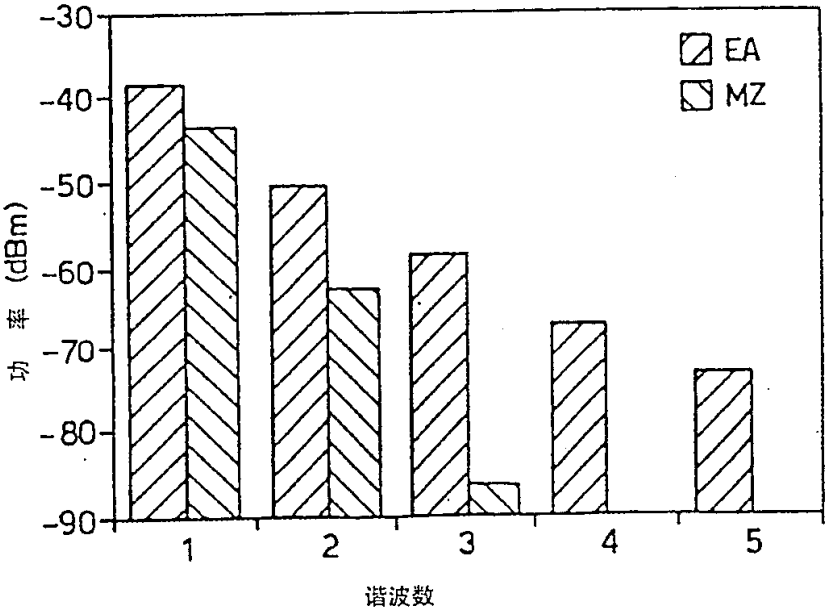

-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
功率 (dBm)
EA
MZ
1
2
3
4
5
谐波数

图4b

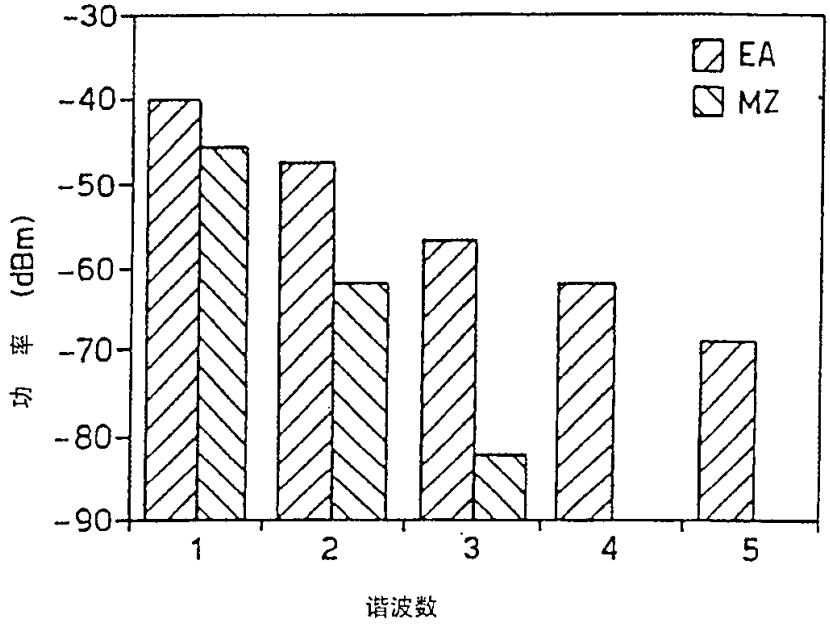

-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
功 率 (dBm)
EA
MZ
1
2
3
4
5
谐波数

图4c

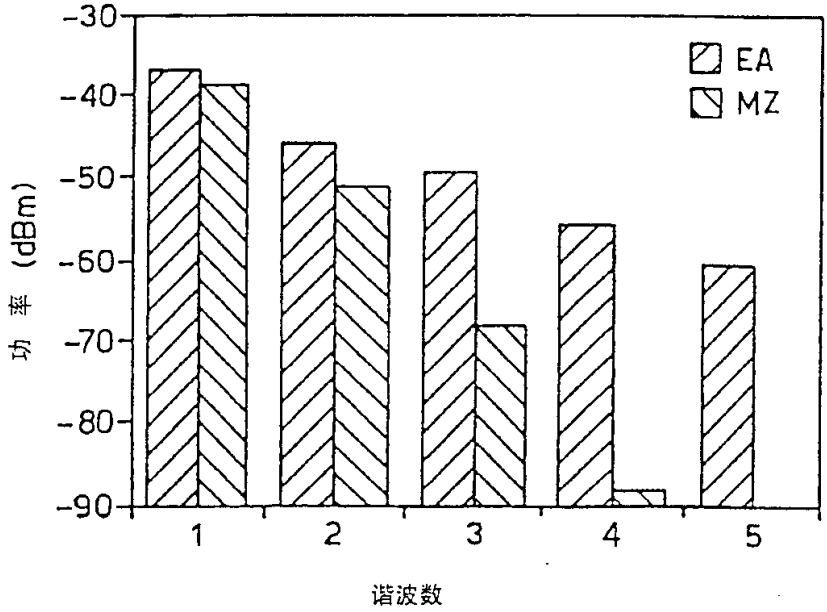

-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
功 率 (dBm)
EA
MZ
1
2
3
4
5
谐波数

图4d

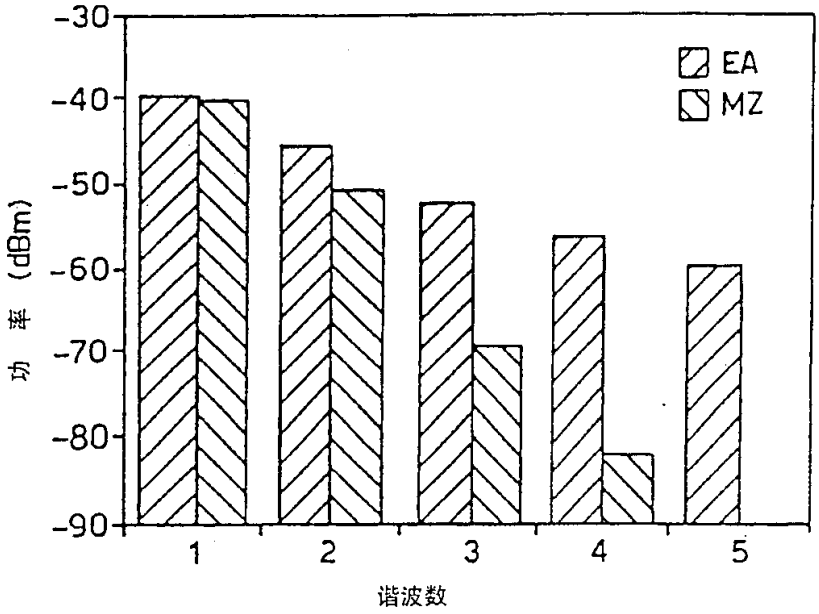

-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
功 率 (dBm)
EA
MZ
1
2
3
4
5
谐波数

图5a

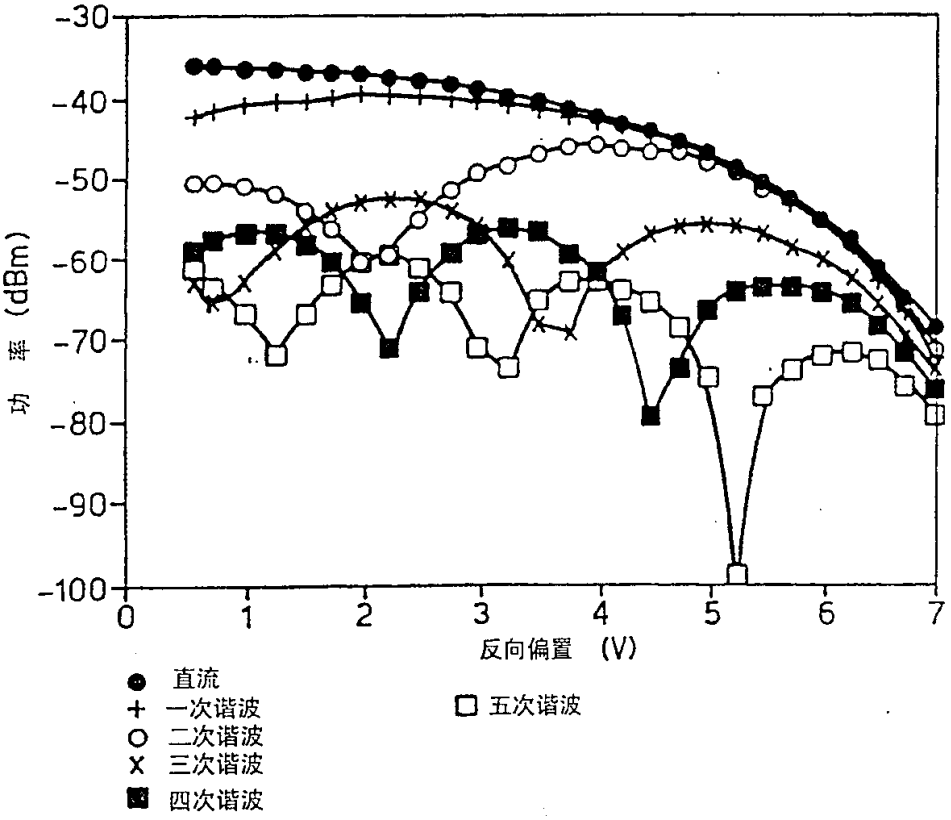

-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
功 率 (dBm)
0
1
2
3
4
5
6
7
反向偏置 (V)
直流
一次谐波
二次谐波
三次谐波
四次谐波
五次谐波

图5b

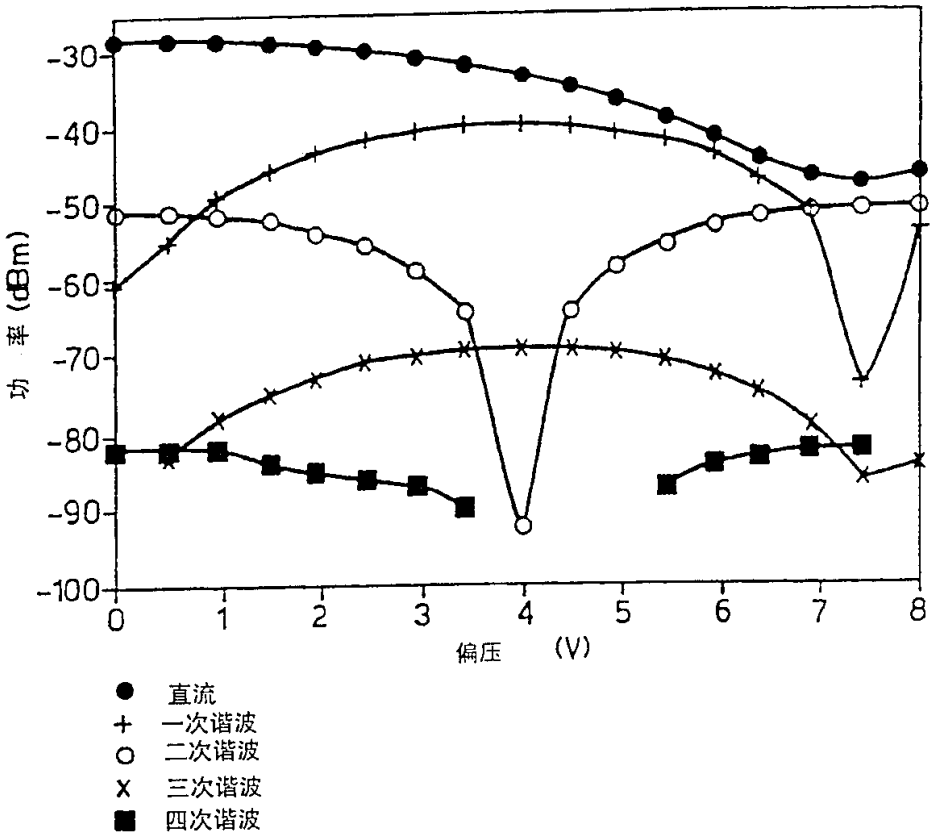
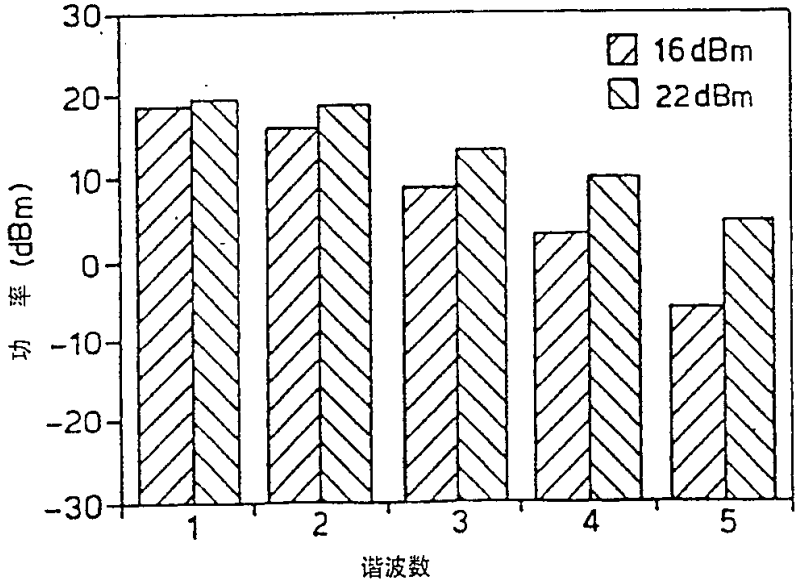

-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
功 率 (dBm)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
偏压 (V)
直流
一次谐波
二次谐波
三次谐波
四次谐波

图6


30
20
10
0
-10
-20
-30
功 率 (dBm)
16 dBm
22 dBm
1
2
3
4
5
谐波数