



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101558653 B

(45) 授权公告日 2012. 02. 29

(21) 申请号 200780046303. 5

(22) 申请日 2007. 10. 11

(30) 优先权数据

60/829, 631 2006. 10. 16 US

60/883, 648 2007. 01. 05 US

11/900, 761 2007. 09. 13 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2009. 06. 15

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2007/021772 2007. 10. 11

(87) PCT申请的公布数据

W02008/048474 EN 2008. 04. 24

(73) 专利权人 康宁股份有限公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 V·巴蒂亚 J·高里尔 M·H·胡

D·A·洛伯 D·O·里基茨

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100

代理人 侯颖嫒 钱静芳

(51) Int. Cl.

H04N 9/31 (2006. 01)

H01S 5/0625 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 2006209913 A1, 2006. 09. 21, 全文.

WO 2005091450 A1, 2005. 09. 29, 全文.

WO 2006060656 A2, 2006. 06. 08, 全文.

审查员 戴惠英

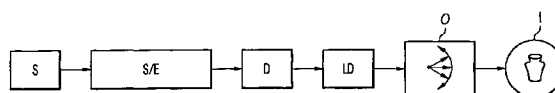
权利要求书 2 页 说明书 11 页 附图 7 页

(54) 发明名称

用于半导体激光器波长控制的方法和设备

(57) 摘要

本发明的特定实施例一般地涉及半导体激光器和激光器扫描系统, 尤其涉及用于控制半导体激光器的方案。根据本发明一实施例, 激光器被配置用于编码数据的光发射。光发射的至少一个参数因变于注入半导体激光器的增益段的驱动电流 $I_{\text{增益}}$ 以及一个或多个附加驱动电流 $I/V_{\text{相位}}$ 、 I/V_{DBR} 。半导体激光器中的模式选择通过使用扰动信号 I/V_{PTRB} 扰动附加驱动电流 $I/V_{\text{相位}}$ 、 I/V_{DBR} 中的至少一个以改变半导体激光器中的模式选择来改变, 以使在目标发射周期上在半导体激光器中选择多个不同的发射模式。如此, 激光器的波长或强度曲线中的图案化变化可被破坏以掩盖否则在激光器的输出中容易可见的图案化缺陷。



1. 一种控制包括可见光源的激光器投影系统的方法,其中所述可见光源包括半导体激光器,且所述方法包括:

通过配置所述半导体激光器来用于编码图像数据的光发射并且在多个图像像素或编码数据周期上扫描所述可见光源的输出束,来生成所扫描的激光器图像的至少一部分,所述光发射的至少一个参数因变于注入所述半导体激光器的增益段的驱动电流 $I_{\text{增益}}$ 以及一个或多个附加驱动电流 $I/V_{\text{相位}}$ 、 I/V_{DBR} ,所述附加驱动信号 $I/V_{\text{相位}}$ 被施加到所述半导体激光器的相位段并且所述附加驱动信号 I/V_{DBR} 被施加到所述半导体激光器的波长选择段;

通过使用扰动信号 I/V_{PTRB} 扰动所述附加驱动电流 $I/V_{\text{相位}}$ 、 I/V_{DBR} 中的至少一个以当在所述图像像素或编码数据周期上扫描所述输出束时改变所述半导体激光器中的模式选择,所述扰动信号 I/V_{PTRB} 包括振幅曲线,其随着时间显著的变化,以改变所述半导体激光器中的模式选择,以使当在所述图像像素或编码数据周期上扫描所述输出束时在所述半导体激光器中选择多个不同的发射模式。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于:

所述激光器被控制成使编码数据的光发射包括多个数据部分以及时间上介于相应数据部分之间的相应波长恢复部分;

所述数据部分包括相应的驱动振幅 I_D 以及驱动持续时间 t_D ;

所述波长恢复部分包括不同于所述数据部分的驱动振幅 I_D 的恢复振幅 I_R 以及小于所述数据部分的驱动持续时间 t_D 的恢复持续时间 t_R ;

所述扰动信号 I/V_{PTRB} 的振幅曲线包括多个不同的、时间上隔开的扰动信号振幅;以及

所述多个不同的、时间上隔开的扰动信号振幅中的相应各个扰动信号振幅被定时成在时间上与所述编码数据中的从所述波长恢复部分之一到相应数据部分的转换相对应。

3. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述扰动信号 I/V_{PTRB} 的振幅曲线包括多个调幅部分,其改变到足以移动激光腔模式的波长以在所述半导体激光器中强制模式跳变的程度,以使在目标发射周期的至少一部分上在所述半导体激光器中选择多个不同的发射模式。

4. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述扰动通过使用乘法、除法、求和或其组合,用所述扰动信号 I/V_{PTRB} 修改所述附加驱动电流 $I/V_{\text{相位}}$ 、 I/V_{DBR} 来执行。

5. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述半导体激光器中的模式选择通过使用所述扰动信号 I/V_{PTRB} 扰动所述附加驱动信号 $I/V_{\text{相位}}$ 来改变。

6. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述半导体激光器中的模式选择通过使用扰动信号 I/V_{PTRB} 扰动所述附加驱动信号 I/V_{DBR} 来改变。

7. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述扰动信号 I/V_{PTRB} 被选择来破坏所述半导体激光器的光发射中的系统性波长变化。

8. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于:

所述输出束使用由多个编码数据周期表征的图像信号来调制;以及

所述扰动信号 I/V_{PTRB} 被配置成使在每个编码数据周期 t_p 上选择不同发射模式中的至少一个。

9. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于:

所述输出束使用由多个编码数据周期表征的图像信号来调制;以及

所述扰动信号 I/V_{PTRB} 被配置成使在相应各个编码数据周期 t_p 上选择不同发射模式中的不止一个。

10. 一种控制包括可见光源的激光器投影系统的设备, 其中所述可见光源包括半导体激光器, 所述设备包括:

通过操作所述半导体激光器来用于编码图像数据的光发射并且在多个图像像素或编码数据周期上扫描所述可见光源的输出束来生成所扫描的激光器图像的至少一部分的装置, 所述光发射的至少一个参数因变于注入所述半导体激光器的增益段的驱动电流 $I_{增益}$ 以及一个或多个附加驱动电流 $I/V_{相位}$ 、 I/V_{DBR} , 所述附加驱动信号 $I/V_{相位}$ 被施加到所述半导体激光器的相位段并且所述附加驱动信号 I/V_{DBR} 被施加到所述半导体激光器的波长选择段; 以及

通过使用扰动信号 I/V_{PTRB} 扰动所述附加驱动电流 $I/V_{相位}$ 、 I/V_{DBR} 中的至少一个以当在所述图像像素或编码数据周期上扫描所述输出束时改变所述半导体激光器中的模式选择的装置, 所述扰动信号 I/V_{PTRB} 包括振幅曲线, 其随着时间显著的变化, 以改变所述半导体激光器中的模式选择, 以使当在所述图像像素或编码数据周期上扫描所述输出束时在所述半导体激光器中选择多个不同的发射模式。

用于半导体激光器波长控制的方法和设备

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求题为“WAVELENGTH CONTROL IN THE WAVELENGTH SELECTIVE, PHASE, AND GAIN REGIONS OF SEMICONDUCTOR LASERS”(在半导体激光器的波长选择、相位、以及增益区域中的波长控制)的、2006年10月16日提交的美国临时申请第60/829,631号以及2007年1月提交的美国临时申请第60/883,648号的优先权。本申请还与2006年10月16日提交的、题为“WAVELENGTH CONTROL IN SEMICONDUCTOR LASERS”(半导体激光器中的波长控制)的共同待审且共同转让的美国专利申请第11/549,856号有关,但不要求其优先权。

[0003] 发明背景

[0004] 本发明一般涉及半导体激光器、激光器控制器、激光器投影系统、以及结合半导体激光器的其它光学系统。更特别地,本发明的一些实施例涉及用于管理半导体激光器中的激光器波长变化的方案。本发明的其它实施例涉及用于破坏半导体激光器的温度演变识别标志的方案以及用于最小化光耦合到半导体激光器的波长转换设备的输出中的系统性波长变化的方案。

[0005] 发明概要

[0006] 本发明一般地涉及可按照各种方式配置的半导体激光器。例如,且为了说明而非限制,通过将诸如分布式反馈(DFB)激光器、分布式布拉格反射(DBR)激光器或法布里-佩罗特激光器之类的单波长激光器与诸如二次谐波发生(SHG)晶体之类的光波长转换设备组合,可将短波长源配置成用于高速调制。可将SHG晶体配置成产生基波激光信号的较高次谐波,例如通过将1060nm的DBR或DFB激光器调谐至SHG晶体的光谱中心,这会将波长转换成530nm。然而,诸如MgO掺杂的周期性极化铌酸锂(PPLN)之类的SHG晶体的波长转换效率强烈依赖于激光二极管与SHG装置之间的波长匹配。如熟悉激光器设计的技术人员所能理解地,DFB激光器是利用刻蚀到半导体材料中的格栅或类似结构作为反射介质的谐振腔激光器。DBR激光器是其中刻蚀光栅与半导体激光器的电子泵区物理分离的激光器。SHG晶体利用非线性晶体的二次谐波发生性质来使激光辐射的频率翻倍。

[0007] PPLN SHG设备的带宽往往是非常小的,对于典型的PPLN SHG波长转换设备而言,半高宽(FWHM)波长转换带宽仅在0.16至0.2nm范围内并且主要取决于晶体的长度。激光腔内的模式跳变和不受控制的大波长变化可以引起半导体激光器的输出波长在工作期间移出此可允许带宽。一旦半导体激光器波长偏离出PPLN SHG设备的波长转换带宽,转换设备在目标波长的输出功率就下降。例如,在激光器投影系统中,模式跳变尤其成问题,因为模式跳变会生成功率上的瞬时变化,这种变化将成为图像中特定位置处的缺陷而一目了然。这些可见缺陷通常将它们自身表现为图像上的有组织的、图案化的图像缺陷,因为所生成的图像仅仅是激光器不同段的温度演变的识别标志。

[0008] 面对与开发半导体激光器源时的波长匹配和稳定性相关联的挑战,本发明人已认识到用于管理半导体激光器内的激光器波长变化的有益方案。本发明人还已认识到用于通过破坏激光器的不利温度演变识别标志来管理光耦合到半导体激光器的波长转换设备的

输出中的系统性波长变化的有益方案。

[0009] 本发明人已认识到,虽然本发明的概念主要是在 DBR 激光器的情况中描述的,但是可以构想在此讨论的控制方案也可在各种类型的半导体激光器中有用,包括但不限于 DFB 激光器、法布里-佩罗特激光器、以及许多类型的外腔激光器。还应注意,本发明的特定实施例在一般意义上涉及激光器源中的波长稳定性,而不考虑在激光器源中是否采用二次谐波发生。

[0010] 根据本发明一实施例,提供了一种用于控制半导体激光器的方法。根据该方法,对半导体激光器的各段中的至少一个部分进行调制以提供图像数据。例如,且不作为限制,在激光器投影的情况下,增益电流 I 增益可被调制以在投影图像中生成灰度级。此调制生成激光器波长的一些波动,这导致投影光的变化。在相对固定图像的情况中,波长波动将逐帧地重复自身,导致可被人眼容易地检测到的系统性且有组织的图像偏离。本发明的一些实施例通过在激光器中采用一个或多个附加信号从而使图像偏离变得无组织且因此更难被人眼所检测到来应付此问题。

[0011] 根据本发明的附加实施例,构想了控制结合了半导体激光器的激光器投影系统的方法以及被编程以执行这些方法的激光器控制器。更具体地,根据本发明的一个实施例,提供一种控制激光器投影系统的方法。该方法包括 (i) 通过配置半导体激光器来用于编码图像数据的光发射以及在多个图像像素或编码图像周期上扫描可见光源的输出束来生成所扫描的激光器图像的至少一部分;以及 (ii) 通过使用扰动信号 I/V_{PTRB} 来扰动驱动电流 $I/V_{\text{相位}}$ 、 I/V_{DBR} 中的至少一个以便当在图像像素或编码数据周期上扫描输出束时改变半导体激光器中的模式选择。扰动信号 I/V_{PTRB} 包括振幅曲线,其随着时间显著改变以改变半导体激光器中的模式选择以便当在图像像素或编码数据周期上扫描输出束时在半导体激光器中选择多个不同的发射模式。

[0012] 根据本发明的另一实施例,提供了一种包括控制器的激光器投影系统,该控制器被编程为 (i) 通过操作半导体激光器来用于编码图像数据的光发射并且在多个图像像素或编码数据周期上扫描可见光源的输出束来生成所扫描激光器图像的至少一部分;以及 (ii) 通过使用扰动信号 I/V_{PTRB} 扰动附加驱动电流 $I/V_{\text{相位}}$ 、 I/V_{DBR} 中的至少一个以便当在图像像素或编码数据周期上扫描输出束时改变半导体激光器中的模式选择。

[0013] 虽然主要在图像形成的上下文中描述本发明的内容,但可以构想本发明的各种内容还可应用于其中激光器波长的可重复的、低频波动是个问题的任何激光器应用。

[0014] 附图简述

[0015] 以下本发明的具体实施例的详细描述可在结合以下附图阅读时被最佳理解,附图中相同的结构使用相同的附图标记指示,且其中:

[0016] 图 1 是光耦合到光波长转换设备的 DBR 或相似类型的半导体激光器的示例性图示;

[0017] 图 2 是根据本发明一实施例的激光器投影系统的示意性图示;

[0018] 图 3 和 4 示出 DBR 激光器中因变于增益电流的发射波长的演变;

[0019] 图 5 示出根据本发明一实施例的用于控制激光器波长的方案;

[0020] 图 6 是图 5 中所示的控制方案的进一步图示;

[0021] 图 7 示出根据本发明另一实施例的用于控制激光器波长的方案;

[0022] 图 8 是图 7 的控制方案的进一步图示；

[0023] 图 9 示出用于破坏半导体激光器的不利温度演变识别标志的方案；

[0024] 图 10 示出用于破坏半导体激光器的不利温度演变识别标志的替换方案；以及

[0025] 图 11-17 示出用在图 9 和 10 中所示的方案中的许多合适的扰动信号曲线中的一些。

[0026] 详细描述

[0027] 虽然其中可体现本发明的特定实施例的概念的各种类型的半导体激光器的具体结构在很容易得到的涉及半导体激光器的设计和制造的技术文献中有介绍,但是本发明的特定实施例的概念可以一般地参考图 1 中示意性示出的三段式 DBR 型半导体激光器 10 便利地示出。在图 1 中,DBR 激光器 10 与光波长转换设备 20 光耦合。由半导体激光器 10 发射的光束可以直接耦合到波长转换设备 20 的波导中,或者可通过校准和聚焦光学装置或某种其它类型的合适的光学元件或光学系统来耦合。波长转换设备 20 将入射光转换成高次谐波并输出经转换的信号。此种类型的配置尤其可用于从较长波长的半导体激光器生成较短波长的激光束时,并且可用作例如激光器投影系统的可见激光源。

[0028] 图 1 中示意性示出的 DBR 激光器 10 包括波长选择段 12、相位段 14、以及增益段 16。还可称为激光器 10 的 DBR 段的波长选择段 12 通常包括定位在激光腔的有源区外部的一阶或二阶布拉格光栅。此段提供波长选择,因为光栅起到其反射系数取决于波长的反射镜的作用。DBR 激光器 10 的增益段 16 提供激光器的主要光增益,而相位段 14 在增益段 16 的增益材料与波长选择段 12 的反射材料之间产生可调整的相移。波长选择段 12 可以按可采用或不采用布拉格光栅的诸多适当可替换性配置进行设置。

[0029] 相应的控制电极 2、4、6 被结合在波长选择段 12、相位段 14、增益段 16、或其组合之中,且在图 1 中仅示意性地示出。可以构想,电极 2、4、6 可采用各种形式。例如,控制电极 2、4、6 在图 1 中示为相应的电极对,但可构想在段 12、14、16 中的一个或多个中的单个电极元件 2、4、6 也将适于实践本发明的特定实施例。控制电极 2、4、6 可用于将电流注入激光器 10 的相应段 12、14、16。所诸如的电流可被用来通过例如控制激光器段的一个或多个的温度、将电流注入到激光器基板中定义的导电掺杂半导体区、控制激光器 10 的波长选择和相位段 12、14 的折射率、控制激光器的增益段 16 中的光增益等来改变激光器的工作特性。

[0030] 图 1 中示出的波长转换设备 20 的波长转换效率取决于半导体激光器 10 与波长转换设备 20 之间的波长匹配。波长转换设备 20 中生成的高次谐波光波的输出功率在激光器 10 的输出波长偏离波长转换设备 20 的波长转换带宽时显著下降。例如,当对半导体激光器进行调制以产生数据时,热负载不断地改变。所导致的激光器温度和激光发射波长中的变化生成了 SHG 晶体 20 的效率上的改变。如果波长转换设备 20 是长度为 12mm 的 PPLN SHG 设备的形式,则半导体激光器 10 中约 2°C 的温度变化通常将足以将激光器 10 的输出波长带出波长转换设备 20 的 0.16nm 的半高宽 (FWHM) 波长转换带宽。本发明的特定实施例通过将激光器波长变化限制到可接受的水平上来解决此问题。

[0031] 本发明人已认识到稳定半导体激光器的发射波长时的挑战,因为这些挑战普遍受制于波长漂移以及相关联的腔模式跳变。例如,且不是为了限制,图 3 示出在 DBR 激光器中以任意单位示出的发射波长 λ 因变于同样以任意单位示出的增益电流 I 的演变。当增益电流增大时,增益段的温度也升高。结果,腔模式移向更高的波长。腔模式的波长移动地比

DBR 段的波长快。所以,激光器就到达一个其中较低波长的腔模式更接近于 DBR 反射率曲线最大值的点。在该点处,较低波长的模式具有比所建立的模式更低的损耗,且根据激光物理学的基本原理,激光器于是自动地跳到具有较低损耗的模式。此特性在图 3 的曲线 100 上示出。如图 3 中示出,波长缓慢增大并且包括其振幅等于激光腔的一个自由光谱范围的突然模式跳变。

[0032] 虽然本发明不限于波长变化和突然模式跳变的任何特定表现,但是在激光器投影系统的情况下,这些波长波动可造成平滑的强度变化并且模式跳变可在通过扫描激光器创建的图像中造成相对突变的强度漂移。这些缺陷在图像中所产生的特定图案可以因变于多个因素,这些因素包括但不限于激光器温度、激光器自由光谱范围、PPLN 晶体光谱带通、激光器 DBR 相对于 PPLN 晶体的光谱对准等等。不管缺陷图案的性质如何,该图案自身可表示图像中的一个问题,因为它表示图像中可容易识别的、系统性结构。此外,对于准静态图像,这些缺陷通常逐帧地重复它们自身,使得非常容易识别图像中的缺陷。

[0033] 如以下详细所述,参考图 9-17,通过将不同种类的控制信号施加到半导体激光器的相位和 / 或波长选择段,可使此性质的图像缺陷更难以检测。例如且不作为限制,如果相位信号对于所生成的每一帧保持不变但是在每一帧的基础上在帧上改变,则结果将是每一单个帧将具有缺陷图案,但是图案的性质,即图案中的暗和亮区域的位置将逐帧地改变。结果,眼睛将及时结合所有图像,以使得难以检测到任何系统性缺陷。作为进一步的示例,本发明还设想为每一图像行或像素改变相位信号。结果,有组织的系统性图像缺陷被转换成更接近地表示高频噪声,其更加难以为人眼所识别。

[0034] 还可以构想,施加到激光器的控制信号可以是完全随机的或者以某一更复杂的函数来表示。作为示例,控制信号可被注入到激光器的相位和 / 或 DBR 段中,以使它与半个激光器光谱范围相对应,从而有效地倒转图像缺陷的形状。如上所述,此倒转可以在逐帧、逐行、或者逐像素的基础上引入。

[0035] 还是参考图 3,曲线 101 示出 DBR 激光器中的显著不同的发射特性。具体地,具有与参考曲线 100 示出的激光器相同的总体制造参数的激光器可以展示出显著不同的特性,这表现在激光器将展示出幅度高达 6 个或更多个自由光谱范围的模式跳变,而不是具有幅度为一个激光器自由光谱范围的模式跳变。对于许多应用而言,这样大的突然波长变化将是不可接受的。例如,在激光器投影系统的情况下,这些大的跳变将在图像中引起从标称灰度级值到接近零的值的突然强度跳跃。本发明人已研究此种现象、以及激光器中的波长不稳定性 and 滞后作用,并且注意这些激光器发射缺陷可归因于各种因素中的一个或多个,包括空间烧孔、光谱烧孔、增益曲线展宽 (gain profile broadening)、以及自诱导布拉格光栅 (self induced Bragg gratings)。可以构想这些因素可将激光发射锁定在已在激光腔中建立的特定腔模式之上或者鼓励更大的模式跳变。确实,模式一旦建立,腔内部特定波长上光子就通过耗尽特定能级的载流子密度或通过在腔中创造自诱导布拉格光栅来对激光器本身造成扰乱。

[0036] 图 4 的曲线 102 示出特殊模式跳变特性的另一情况。在所示情况下,以任意单位示出的发射波长 λ 是不稳定的,因为它包括归因于位于激光器外部的元件的背反射,即称为外腔效应的现象。通过外腔效应,外部反射产生出扰乱激光腔并且能够生成非常大幅度的模式跳变的寄生法布里 - 佩罗特腔。不管半导体激光器中的不可接受的波长漂移的来源

是什么,本发明的特定实施例针对管理激光器的波长波动。

[0037] 本发明人已认识到图 3 和 4 中所示的大的波长波动及相关联的模式跳变效应至少部分地取决于激光腔中的光子密度,并且会在具有显著外腔效应时得到放大。本发明人还已认识到激光波长可跳跃不止一个模式并且此多模跳跃可以完全地或部分地归因于光谱和空间烧孔以及诸如外腔效应之类的附加激光发射现象。

[0038] 不管半导体激光器中的多模漂移的原因是什么,当此现象发生时,激光波长通常显示出等于腔模式间隔的倍数的异常波长跳跃。在大的模式跳变发生之前,激光器通常显示出大的连续波长漂移。较大的波长漂移和异常波长跳跃会在激光器信号中引起不可接受的噪声。例如,如果此现象在激光器投影系统中系统地发生,其示例在图 2 中示意性地示出,则投影图像中的噪声人一眼就能看出来。

[0039] 如上所述,本发明的特定实施例一般涉及其中半导体激光器驱动电流包括驱动部分和波长恢复部分的控制方案。图 5 和 6 示出一种用于控制单模激光器信号中的波长的方案,其中驱动部分包括作为电流注入半导体激光器的增益段的数据部分。因此,在所实施实施例中,驱动电流包括相应的数据部分 A 和波长恢复部分 B。特别参考图 5,驱动电流或增益注入电流 (I_G) 的这些部分可通过取激光器数据信号 (DS) 和适当配置的波长恢复信号 (WR) 的乘积来引入。例如,且不是为了限制,激光器数据信号可携带用于在激光器投影系统中投影的图像数据。如图 6 所示,波长恢复信号被配置得使增益段驱动电流的数据部分(即增益注入电流)包括驱动持续时间 t_D 相对长的相对高的驱动振幅 I_D ,而驱动电流的波长恢复部分包括恢复持续时间 t_R 相对短的相对低的恢复振幅 I_R 。数据部分的相对高的驱动振幅 I_D 足以在激光腔内在激光发射模式 λ_0 发射激光。驱动电流的波长恢复部分的相对低的恢复振幅 I_R 不同于驱动振幅 I_D ,在图 6 中示为较之于驱动振幅 I_D 低 ΔI 。

[0040] 增益段驱动电流的数据部分的驱动振幅 I_D 和持续时间 t_D 用来产生具有适当功率和波长的光信号——当然是取决于使用信号的具体应用。恢复振幅 I_R 和恢复持续时间 t_R 足以在至少一部分的激光腔内降低光子密度。通过将光子密度降低到较低值(在许多情况下接近零),引起诸如光谱烧孔、空间烧孔、增益曲线展宽、或自诱导布拉格光栅之类的大的波长漂移即行消失。结果,当大量电流在恢复期间结束时被重新注入增益段时,激光器自动地选择最接近 DBR 反射曲线的最大值的模式当中的模式。因此,波长波动可被限制到一个激光器自由光谱范围之内,并且消除多腔模式跳变,或至少显著地减少之。所产生的包括数据部分和波长恢复部分的增益段驱动电流可被用来将波长漂移最小化并使激光器的时间平均激光器振荡光带宽变窄。

[0041] 换言之,增益段驱动电流的数据部分的驱动振幅 I_D 和持续时间 t_D 增大了激光发射波长将经历不可接受的漂移的概率,例如但不局限于波长的变化超过 0.05nm。增益段驱动电流的密度恢复部分的相对低的恢复振幅 I_R 紧随在驱动电流的数据部分之后,并且降低了不可接受的波长漂移的概率。如果驱动电流的恢复部分具有足够高的发生频率,则激光腔模式在它积累大的波长漂移并且新的腔模式被选择之前即被关掉,因此减少了大的波长漂移。

[0042] 在包括例如倍频 PPLN 绿色激光器而没有根据本发明的各实施例的波长控制的激光器投影系统的情况中,由激光器发射在图像显示器的单条线上的绿色功率会由于多腔模式跳变而展示出功率上的突然变化。结果,投影图像在功率上的突然下降在幅度上在 50%

左右甚至更高。然而,采用根据本发明的特定实施例的波长控制方案,其中驱动信号针对每一像素而改变,例如通常是每 40 纳秒,可以构想,激光器功率的不良下降将被大大缓解。例如,在本发明的实施例的一种执行方式中,在恢复振幅 I_r 设置为接近零、恢复持续时间 t_r 在约 10 纳秒、且驱动持续时间 t_d 在约 40 纳秒时,图像中的残余噪声标准偏差在 8% 左右。观察到的图像缺陷具有相对较高的空间频率,这通常对于肉眼而言不是非常明显的。

[0043] 虽然恢复振幅 I_r 可以是零,但是它可以是足以消除多腔模式跳变的根源 或者以其他方式改善激光器的波长特性的任何值。增益段驱动电流的恢复振幅 I_r 要低于驱动振幅 I_d ,但可以明显在零之上。相对高的驱动振幅 I_d 可以是基本连续的,但是往往是在强度上有所改变的,尤其是在半导体激光器被结合在图像投影系统之中时,如以下更详细描述。

[0044] 在激光器被配置用于编码数据的光发射时,表示编码数据的数据信号被施加至激光器。例如,且不是为了限制,数据信号可作为注入激光器的增益段的驱动信号的强度或脉宽调制数据部分被引入。本发明的特定实施例的波长恢复操作被执行为至少部分地独立于编码在数据信号中的数据。例如,在驱动电流被注入激光器的增益段的的情况下,其驱动部分可以进行强度调制以编码数据。驱动电流的波长恢复部分与编码数据无关地叠加在驱动电流上。类似地,在驱动部分进行脉宽调制以编码数据时,驱动电流的波长恢复部分也将被叠加在该驱动电流上。

[0045] 上述叠加可以完全独立于编码数据,或者可以仅在驱动电流的强度或表示编码数据的脉冲宽度的持续时间到达阈值时才予以施加,在这种情形中,将是部分地依赖于编码数据。然而,一旦叠加,波长恢复部分的独立性的程度必需足以确保获得充足的波长恢复。换言之,驱动电流的波长恢复部分应当在数据信号如若不然将阻止波长恢复的条件下支配驱动电流。例如,在脉宽调制数据信号的情况下,可以构想,波长恢复对于相对短的、高振幅的脉宽而言是不需要的。然而,如果编码数据包括相对长的、高振幅的脉宽时,由驱动操作和波长恢复操作所确定的占空因数应足以限制高振幅脉宽的最大持续时间以确保波长恢复可在观察到不可接受的波长漂移之前实现。例如,可优选确保脉冲宽度的最大持续时间不能超过由驱动操作和波长恢复操作所确定的占空因数的持续时间的约 90%。此外,在脉宽调制数据的情况下,还需务必确保波长恢复部分的恢复振幅 I_r 低于半导体激光器的阈值激光发射电流或者低到足以恢复波长。

[0046] 还应注意,波长恢复信号不需要在规则的、周期性的基础上实现。相反,可按需施加恢复信号。例如,如果检测到超过可接受值的波长漂移,例如大于一个腔模式间隔,则波长恢复操作可通过在驱动电流上叠加波长恢复信号、迫使激光器选择新的波长来实现。

[0047] 就恢复周期的频率而言,一般需要足够地频繁,以将两个恢复周期之间的波长变化限制到可接受的幅度。理想的频率和方法取决于与其中利用了激光器的应用相关联的特定需求。作为示例,对于激光器投影,可以优选随机地启动恢复周期或者使恢复周期与图像像素产生同步,来避免数据内容(即图像)与恢复信号之间的任何混叠问题。此外,通过在与电子设备和激光器速度兼容的最高可能频率执行恢复,图像中出现任何噪声的空间频率将更高,使得更加难以检测到噪声。

[0048] 图 7 和 8 示出用于在单模激光器信号中控制波长的方案,其中半导体激光器驱动电流的前述驱动部分包括注入到半导体激光器的波长选择段中的波长控制信号(λ_s)。因此,注入到半导体激光器的波长选择段的驱动电流包括该波长控制部分和波长恢复部分。

如上所述,此驱动电流在此也称为 DBR 注入电流 (I_{DBR}),因为 DBR 激光器的波长选择段通常称为激光器的 DBR 段。

[0049] 具体参考图 7, DBR 注入电流的波长控制部分和波长恢复部分可根据本发明的特定实施例通过取标准 DBR 波长控制信号与适当配置的波长恢复信号的乘积来引入。如图 8 所示,波长恢复信号被配置得使 DBR 注入电流的波长控制部分包括驱动持续时间 t_D 相对长的驱动振幅 I_D ,而驱动电流的波长恢复部分包括恢复持续时间 t_R 相对短的恢复振幅 I_R 。DBR 注入电流的波长恢复部分的恢复振幅 I_R 不同于驱动振幅 I_D ,可以低于或高于驱动振幅 I_D ,在图 8 中示为与驱动振幅 I_D 的差为 ΔI 或 $\Delta I'$ 。

[0050] 波长控制部分的振幅 I_D 足以保持 DBR 波长调谐到适当的波长,该波长在倍频 PPLN 激光器的情况下由双晶体的波长所固定。当 DBR 电流被改变成与驱动振幅 I_D 有充分差异的恢复振幅 I_R 时,布拉格波长被移动到不同的波长,新的腔模式开始发射激光。原始的激光腔模式被停用。如果新的腔模式充分偏离原始激光腔模式,则造成多腔模式跳变的现象将在激光器标称目标波长处消失、或者基本上消散。在 DBR 恢复脉冲的结束时,DBR 电流返回到其原始电平,将布拉格波长移回其原始状态。此时,新的腔模式被停用,激光发射在恢复模式下在原始布拉格波长或在接近原始布拉格波长下按照恢复的光增益谱重新开始。可以想见,所得图像将具有与以上参考图 5 和 6 的控制方案所讨论的属性类似的属性。

[0051] 用于图 7 和 8 中示出的本发明的实施例的理论基础的一种预期解释是该方案本质上将在增益-压缩波长下的光子驻波改变为光谱烧孔区域外部的另一波长。驻波发生改变的持续时间相对短暂,长度通常仅足以去除光谱烧孔并恢复原始增益谱。可以构想,在恢复振幅 I_R 下诱导的波长移动其大小可以改变,但往往优选等于至少约两个激光发射模式的波长移动。确实,可以构想,波长移动可以大到足以使激光腔不能发射激光。还可构想,图 7 和 8 的控制方案可以应用于外腔半导体激光器,方式是通过改变外部反馈来将激光波长暂时移出原始位置以便于使载流子填充光谱孔。

[0052] 参考图 2 中示意性示出的激光器投影系统,应注意,根据本发明的特定实施例的驱动电流控制方案可在系统内以各种形式执行。例如,且不是为了限制,驱动电流的波长恢复部分可通过在由投影软件和电子设备呈现期间将恢复部分整合到视频信号中来执行。在此方法中,遍布整个图像的像素将独立于源图像所需要的强度由波长恢复信号予以改变。应当对此种中断的频率进行选择,以便将对与人眼睛、以及对感受到的光功率的影响最小化。替换地,驱动信号的波长恢复部分可被整合到激光器驱动器电子设备。在此方法中,由图像流导出的驱动信号将在电流缩放之前被波长恢复信号周期性地超控。同样,应当对此种中断的频率和占空因数进行选择来最大限度地减小化对人眼睛、以及对所感受的光功率的影响。作为另一替换方案,激光器的驱动电流可被周期性地分流或以其他方式减小,以便独立于所需强度级减小或修改驱动电流。

[0053] 可以构想,图 5-8 示出可以替换地或合在一起用来减少单模激光器信号中的噪声的激光器操作方案。更进一步地,图 5-8 的方案可被用在结合一个或多个单模激光器的系统中。例如,如以下更详细所述,可设想图 5-8 的方案可替换地或合在一起用在结合一个或多个单模激光器的扫描激光器图像投影系统中。还应注意,在此引用单模激光器或配置成用于单模光发射的激光器不应当被用来将本发明的范围全部限制在以单模操作的激光器。相反,在此引用单模激光器或配置成用于单模光发射的激光器应当仅用来暗示根据本发明

的特定实施例构思的激光器将以可在其中辨别出宽或窄带宽的单模的输出光谱为特征,或者以可从中通过适当的滤波或其它方式区别出单模的输出光谱为特征。

[0054] 可以设想,应当对驱动持续时间 t_d 和恢复持续时间 t_r 的相对大小进行控制,以便在确保适当的波长恢复的同时保持最佳程度的激光器效率。例如,根据本发明的一个方面,驱动信号的至少约 80% 的占空因数被驱动持续时间 t_d 占据,并且该驱动信号的小于约 20% 的占空因数由恢复持续时间 t_r 占据。在许多情况中,确保恢复持续时间 t_r 小于 10 纳秒,或许短于约 5 纳秒就足够了。还设想了其中驱动信号的至少约 95% 的占空因数被驱动持续时间 t_d 占据、而小于约 5% 的占空因数被恢复持续时间 t_r 占据的控制方案。在控制驱动信号的电路反应足够灵敏的情况下,设想驱动信号的至少约 95% 的占空因数被驱动持续时间 t_d 占据、而小于约 2.5% 的占空因数被恢复持续时间 t_r 占据的足够控制方案。

[0055] 在激光器投影系统的情况下建立驱动持续时间 t_d 、恢复持续时间 t_r 的相应值时,需要说明附加的考虑。例如,且不是为了限制,图 2 中所示的激光器投影系统包括:图像源 (S),其生成单或多色图像数据流;图像投影软件和相关联的电子设备 (S/E),其用于为每一基本图像颜色生成激光器驱动信号;激光器驱动器 (D),其为配置成生成每一基本图像颜色的各个激光器 (LD) 生成相应激光器驱动电流;以及扫描和投影光学装置 (O),其操作以生成包括图像像素阵列的单或多色投影图像 (I)。在此类型和其它类型的扫描激光器图像投影系统中的每一图像像素由有效像素持续时间 t_p 表征。例如,且不是为了限制,图像中的像素的有效像素持续时间可以是 40 纳秒或更短。一般而言,恢复持续时间 t_r 将小于像素持续时间 t_p 。优选地,恢复持续时间 t_r 比像素持续时间 t_p 至少小 50%。相反,驱动持续时间 t_d 可以根据系统设计者的偏好大于、小于、或等于像素持续时间 t_p 。

[0056] 本领域的技术人员将认识到有效像素持续时间 t_p 可作为扫描速度变化的结果在图像上适当且周期性地改变。因此,所谓“由有效像素持续时间表征”的投影系统不应当视作为指图像中的每一像素具有相同的像素持续时间。相反,可以设想,显示器内的各个像素可具有不同的像素持续时间,像素持续时间各自落在由有效像素持续时间 t_p 表征的显示器的总体概念之下。

[0057] 多色调图像可由图像投影系统通过配置图像投影电子设备和相应的激光器驱动电流以便建立在图像像素的阵列上变化的像素强度来生成。在此情况下,驱动电流的波长恢复部分被叠加在编码变化的像素强度的信号上。关于扫描激光器图像投影系统的配置以及变化的像素强度在图像上生成的方式的进一步详情超出了本发明的范围,但可从有关该主题的各种可容易获得的资料上找到。

[0058] 本发明人还认识到半导体激光器通常展示出温度演变识别标志,其可在激光器的输出和耦合到激光器的波长转换设备的输出中产生不想要的图案。此不想要的图案可在以上所述的激光器投影系统的情况中造成严重问题。因此,本发明还设想用于破坏半导体激光器的温度演变识别标志或者以其他方式控制半导体激光器的激光发射波长的扰动方案。

[0059] 图 9 和图 10 示出根据本发明的适当扰动方案的两个示例。最初参考图 1 和 9,注意到本发明的第一扰动方案采用扰动信号 I/V_{PTRB} 来修改驱动信号 $I/V_{相位}$,该驱动信号 $I/V_{相位}$ 用来控制包括例如波长选择段 12、相位段 12、以及增益段 16 的半导体激光器 10 的相位段 14。扰动信号 I/V_{PTRB} 和驱动信号 $I/V_{相位}$ 根据半导体激光器的结构可以是基于电压或电流的控制信号,并且可使用微加热器应施加于半导体激光器 10 的相位段 14,该微加热器经

由对相位段 14 的直接电流注入 (I_{PH})、或者通过将适当的电压施加到相位段 14 来与相位段 14 热连通。

[0060] 一般而言,扰动信号 I/V_{PTRB} 被选择成破坏半导体激光器的光发射中的系统性的波长变化。更具体地,扰动信号 I/V_{PTRB} 通过引入随时间足够显著地变化的振幅曲线以改变半导体激光器 10 中的模式选择来破坏系统性的波长变化。结果,在目标发射周期上在半导体激光器 10 中选择多个不同的发射模式来破坏在激光器发射中生成的有组织的偏离。在激光器投影系统的情况中,目标发射周期可与单个像素、一组像素、或者一个或多个给定编码数据周期(对于非基于像素的投影系统,诸如前述的基于空间光调制器的系统)相对应。

[0061] 类似地,参考图 10,可以构想,扰动信号 I/V_{PTRB} 可被用来通过修改用来控制半导体激光器的波长选择段 12 的驱动信号 I/V_{DBR} 来改变半导体激光器中的模式选择。此外,可以构想,扰动信号 I/V_{PTRB} 可被用来修改相位段 14 的驱动信号 $I/V_{相位}$ 以及波长选择段 12 的驱动信号 I/V_{DBR} 以改变半导体激光器中的模式选择。在任一个情况中,如以上关于半导体激光器 10 的相位段 14 所提及地,扰动信号 I/V_{PTRB} 可以是基于电压或电流的控制信号并且可通过使用微加热器来施加以改变半导体激光器 10 中的模式选择,该微加热器通过对波长选择段 12 和 / 或相位段 14 的直接电流注入 (I_{DBR})、或者通过将适当的电压施加到波长选择段 12 和 / 或相位段 14 来与波长选择段 12 和 / 或相位段 14 热连通。

[0062] 在所实施例中,扰动使用乘法、除法、求和或其组合执行,但是可以构想,任何适当的算法或修改过程可结合扰动信号 I/V_{PTRB} 来使用。还注意,仅扰动波长选择段 12 的驱动信号 I/V_{DBR} 在一些情况下与其中扰动信号 I/V_{PTRB} 被用来修改相位段 14 的驱动信号 $I/V_{相位}$ 的情况相比会导致包含多余噪声的图像。

[0063] 当使用在此所述的 RZ 调制技术时,在许多情况下,每次激光器被复位时激光腔模式被选择,并且激光器波长保持改变而在两个复位操作之间没有模式跳变。因此,虽然以上所述的相位扰动方法通常在逐帧、逐行、或逐像素的基础上执行,但是可以设想使相位扰动信号与激光器复位操作同步也是有利的。可以构想,相位扰动可在行的结束、帧的结束或两者的结束处被关闭以保存功率。此外或替换地,扰动可在此处所述的激光器复位操作期间被关闭。这些设计考虑可对光源的效率产生重要含义。

[0064] 图 11-17 表示可实现图 9 和 10 中的方案的各种手段。虽然图 11-17 示出在采用与以上在图 5-8 中所述的类似的波长恢复操作的情况中的根据本发明的扰动方案,但设想本发明的各种扰动方案可结合或独立于图 5-8 中所示的波长恢复操作而采用。

[0065] 参考图 11-17,本发明的扰动方案在以上参考图 5-8 所述的控制方案的情况中示出,其中半导体激光器驱动电流包括多个数据部分 A 以及时间上介于相应的数据部分 A 之间的相应的波长恢复部分 B。扰动信号 I/V_{PTRB} 的振幅曲线包括多个不同的、时间上隔开的扰动信号振幅 C。不同的、时间上隔开的扰动信号振幅 C 的每一个被定时成在时间上与编码数据中从波长恢复部分 B 之一到相应数据部分 A 的转换相对应。结果,在增益电流 $I_{增益}$ 从 B 处的非激光发射、恢复振幅转换到 A 处的激光发射数据部分时,将针对每个不同的扰动信号振幅 C 选择不同的激光发射模式。模式选择的这一有效随机化帮助破坏否则存在于半导体激光器的光发射中的系统性波长变化。

[0066] 在图 11 的实施例中,每个不同的扰动信号振幅 C 之后紧接着相对静态部分 D,其中扰动信号振幅 C 维持不变直到下一扰动信号振幅 C 被选择。如以上所提及地,通过为扰动

信号振幅 C 选择随机值,腔模式被随机地选择并且以上所述的系统性的有组织的图像缺陷被消除。

[0067] 在图 12 的实施例中,一旦激光器复位操作完成,介于不同的、时间上隔开的扰动信号振幅 C 之间的静态部分 D 就被复位为零。扰动信号 I/V_{PTRB} 的静态部分 D 不有助于半导体激光器中的改变的模式选择。虽然图 12 的方法在功耗方面显示优于图 11 中所示的方法的一些优点,但是在一些情况中它在消除图像缺陷时可能效率较低并且相比图 11 的方法可引入更多的噪声。为降低功耗,振幅曲线的不同的、时间上隔开的扰动信号振幅 C 相比振幅曲线的静态部分 D 维持显著较短的时间,但是它们被维持足够长的时间周期来确保在一致的基础上针对每一不同的扰动信号振幅 C 选择不同的激光发射模式。例如,为保存操作效率,可优选将扰动信号振幅 C 的持续时间限制为小于扰动信号 I/V_{PTRB} 的占空因素的约 5%。

[0068] 虽然图 11 和 12 的实施例采用静态部分 D,但是本发明人已认识到静态部分 D 可被振幅调制部分代替以实现半导体激光器中的另外的系统性波长变化的附加破坏,如图 13 所示。图 13 中所示的扰动信号 I/V_{PTRB} 包括介于不同的、时间上隔开的扰动信号振幅 C 之间的调幅部分 E。调幅部分 E 的变化足以移动波长中的模式并且增强半导体激光器中的扰动信号振幅 C 之间的模式跳变。这样,在激光器被驱动生成发射信号的数据部分时,多个不同的发射模式在半导体激光器中被选择。该结果是激光器的光谱的有效带宽的展宽。该操作用来进一步掩盖激光器的强度曲线中的图案化的变化。

[0069] 在一些应用中,图 13 的控制方案因为相应调幅部分 E 的随机性质,可在所扫描的激光器图像中引入额外噪声。更具体地,图像噪声可以是额外的,因为谱展宽的大小可逐像素地从相对较大到相对较小值地变化。图 14 表示替换方案,其中扰动信号 I/V_{PTRB} 的振幅在引入相应扰动信号振幅 C 的两个激光复位操作之间系统性地改变恒定量 ΔI 。图 14 的方法等效于为每个图像像素生成相同间隔的两个隔开的激光器模式。两个激光器模式的间隔因变于 ΔI 的值。

[0070] 图 15-17 中所示的扰动信号 I_{PTRB} 展示了根据本发明的扰动方案中的噪声的使用。例如,参考图 15,可以构想,多个不同的、时间上隔开的扰动信号振幅 C 可表示为扰动信号 I/V_{PTRB} 中的噪声,因为噪声信号的振幅的随机性质可被用来破坏激光器中的图案化的模式选择。类似地,参考图 16,调幅部分 E 还可表示为扰动信号 I/V_{PTRB} 中的噪声。最后,参考图 17,可以构想多个不同的、时间上隔开的扰动信号振幅 C 以及介于不同的、时间上隔开的扰动信号振幅 C 之间的相应调制部分 E 可都表示为扰动信号 I/V_{PTRB} 的单个、连续的噪声分量。无论如何,选择用在本发明的情况中的噪声信号应被配置成定义扰动信号 I/V_{PTRB} 中的振幅变化,这些振幅变化足够显著来改变激光器中的模式选择并且移动波长中的激光发射模式。

[0071] 如以上所提及地,可以构想,本发明的各种扰动方案可独立于图 5-8 中所示的波长恢复操作采用。在此情况中,根据本发明的扰动信号 I_{PTRB} 将仅包括多个调幅部分,其改变到足够改变模式选择的程度,以使多个不同的发射模式在给定周期上在半导体中被选择。此性质的扰动信号可通过将噪声信号或前述信号中的任何一个用作扰动信号 I/V_{PTRB} 来便利地实施。此外,扰动信号可结合正弦、三角、或其它类型的周期波。例如,注入 DBR 激光器的相位段的正弦波电流可在高于图像的像素率的频率下振荡激光腔模式的波长。

[0072] 在其中所扫描的激光器图像通过在包括图像像素阵列的图像上扫描可见光源的输出束来生成的基于像素的激光器投影系统的情况中,根据本发明的扰动信号 I/V_{PTRB} 可被配置成使一个或多个不同的发射模式在给定的有效像素周期 t_p 上被选择。这样,投影系统可被操作成确保扰动在图像的每一有效像素、或者至少在多数图像像素中执行。在特定应用中,优选配置扰动信号 I/V_{PTRB} 以针对每个有效像素、或者针对至少多数的有效像素选择多个不同的发射模式。类似地,在诸如基于空间光调制的系统之类的其它、非基于像素的投影系统的情况中,可以构想,扰动信号 I/V_{PTRB} 可被配置成使得在编码激光器信号的每个编码数据周期 t_p 的每一个中选择一个或多个不同的发射模式。

[0073] 虽然已主要参考基于像素的投影系统描述了本发明,但是可以构想诸如基于空间光调制器的系统(包括数字光处理(DLP)、透射型LCD、以及硅基液晶(LCOS))之类的结合基于激光器的光源的其他投影系统可从在此描述的波长稳定和扰动技术中获益。在这些其它系统中,外生于激光器的相关周期不是像素周期而是屏幕刷新率的倒数或其分数。在这些情况下,对激光器的输入信号将以编码数据周期 t_p 为特征,且驱动电流将被配置成使波长恢复部分的恢复持续时间 t_R 小于该编码数据周期 t_p 。

[0074] 在本申请中通篇引用了各种类型的电流。为了描述和限定本发明,应注意此类电流即指电流。此外,为了限定和描述本发明,应注意在此所谓之电流的“控制”不一定意味着主动地控制电流或根据任何基准值来控制电流。相反,可以设想,可仅通过确立电流的大小来控制电流。

[0075] 可以理解,本发明的以上详细描述旨在提供用于理解所要求保护的本发明的本质和特性的概观或框架。对本领域的技术人员显而易见的是,可对本发明做出各种修改和变型而不背离本发明的精神和范围。因而,本发明旨在涵盖本发明的所有这些修改和变型,只要它们落在所附权利要求书及其等价技术方案的范围中即可。

[0076] 例如,虽然在此所描述的控制方案涉及在施加到半导体激光器的增益段或波长选择 DBR 段的驱动电流中结合进波长恢复部分,但是可以构想,在激光器操作方案中体现波长恢复操作的方法不限于施加到激光器的仅仅这些部分的驱动电流。例如且不是为了限制,激光器可包括恢复部分,该恢复部分被配置成在恢复信号被施加到其上时吸收光子。在此情况下,恢复部分可被用来按需以与用于在此所述的增益和 DBR 段类似的方法减小光子密度。

[0077] 注意,类似“优选”、“普遍”和“通常”之类的术语在本文中采用时不是旨在限制要求保护的本发明的范围或者暗示某些特征是关键性的、必要的、或甚至比要求保护的本发明的结构或功能更重要。相反,这些术语仅旨在突出可或可不在本发明的具体实施例中采用的替换的或附加的特征。更进一步地,应注意提及值、参数、或变量“因变于”另一值、参数、或变量时,不应当视作意味着值、参数、或变量因变于一个且仅一个值、参数、或变量。

[0078] 为了描述和定义本发明,注意在本文中采用术语“显著地”来表示可归因于任何数量的比较、值、测量、或其它表示的固有不确定程度。在此还使用术语“明显”来表示例如“明显在零之上”的定量表示不同于例如“零”的指定参考值的程度,并且应解释为要求该定量表示以可容易辨别的量不同于所指定参考值。

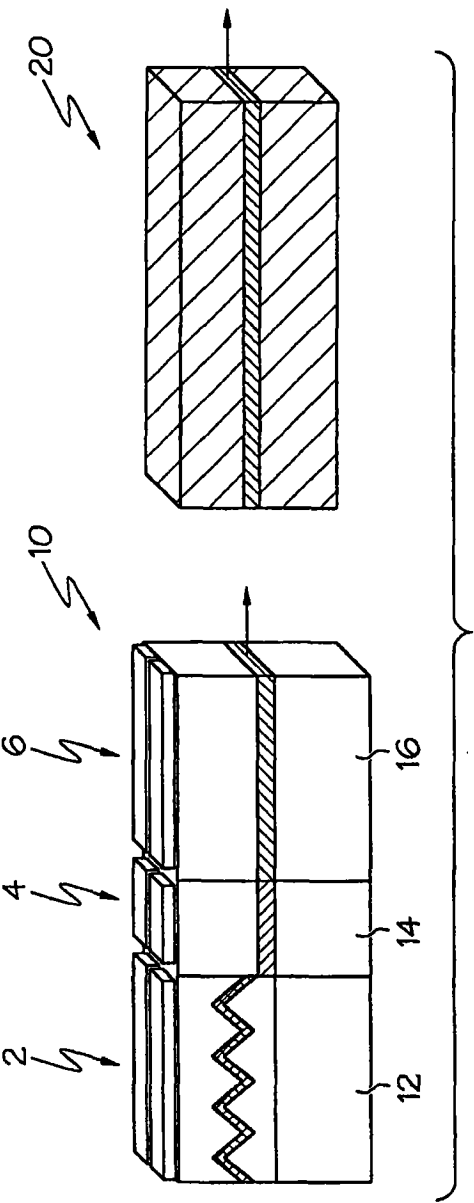


图 1

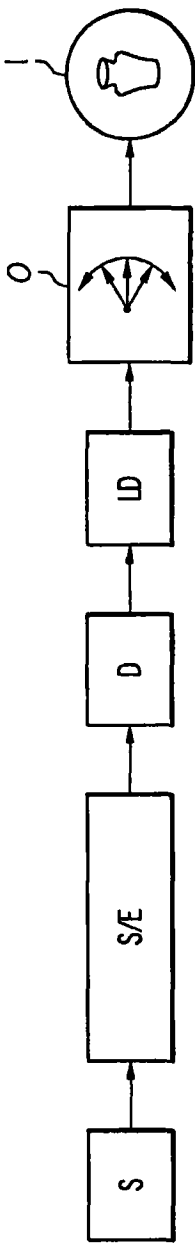


图 2

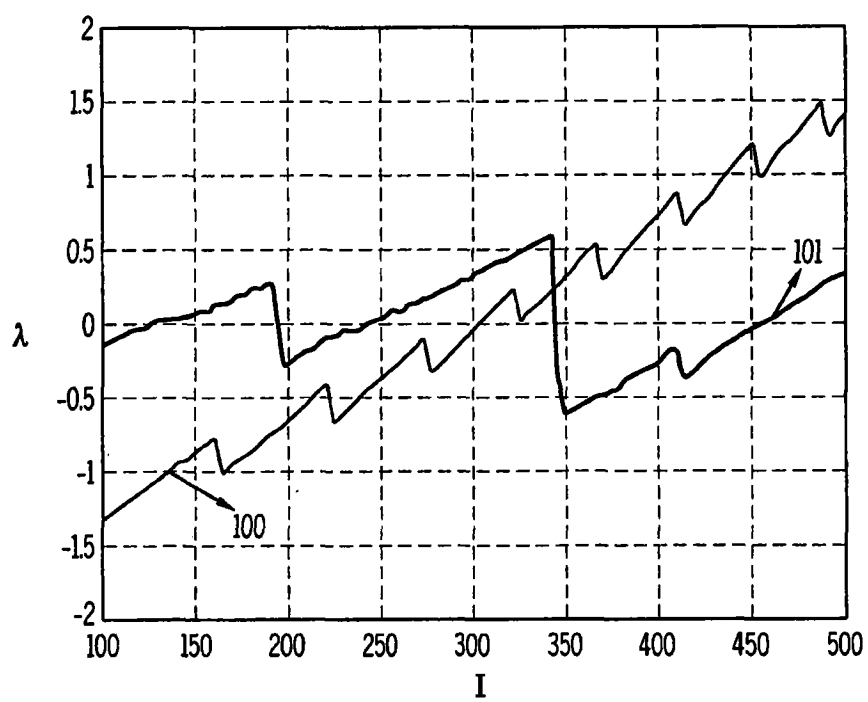


图 3

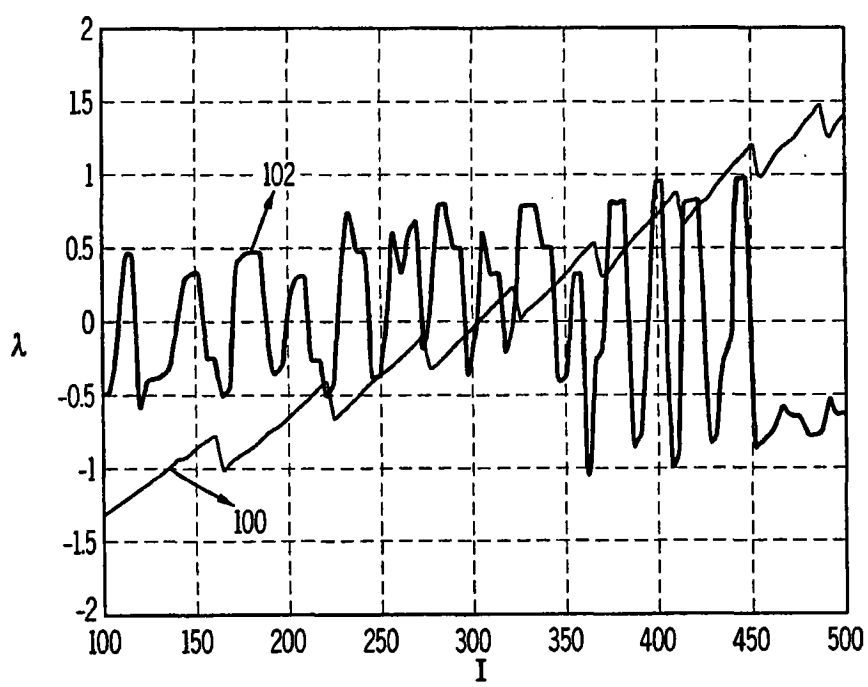


图 4

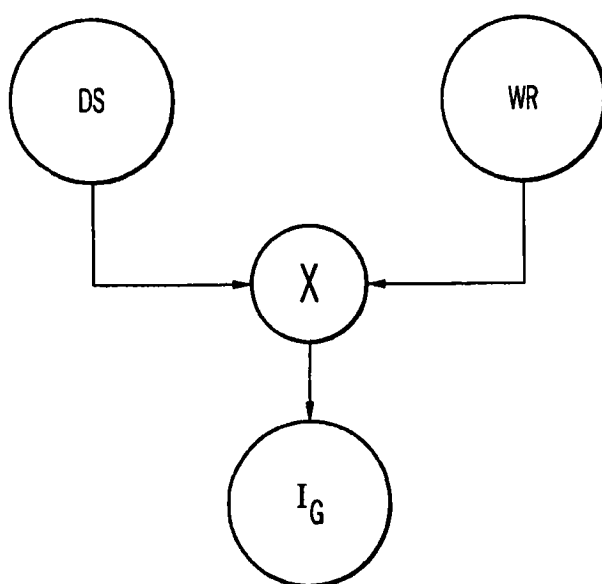


图 5

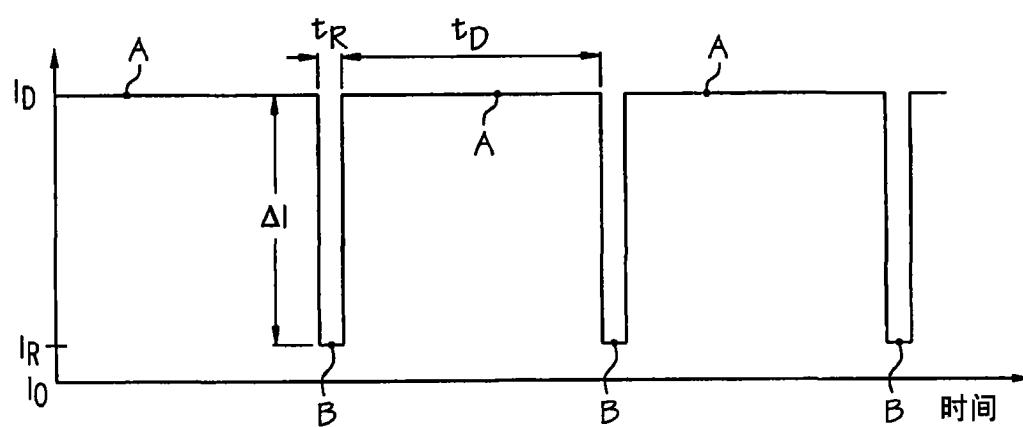


图 6

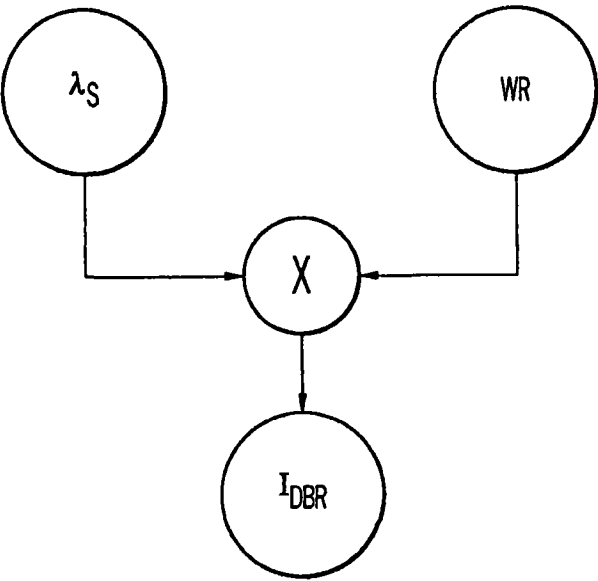


图 7

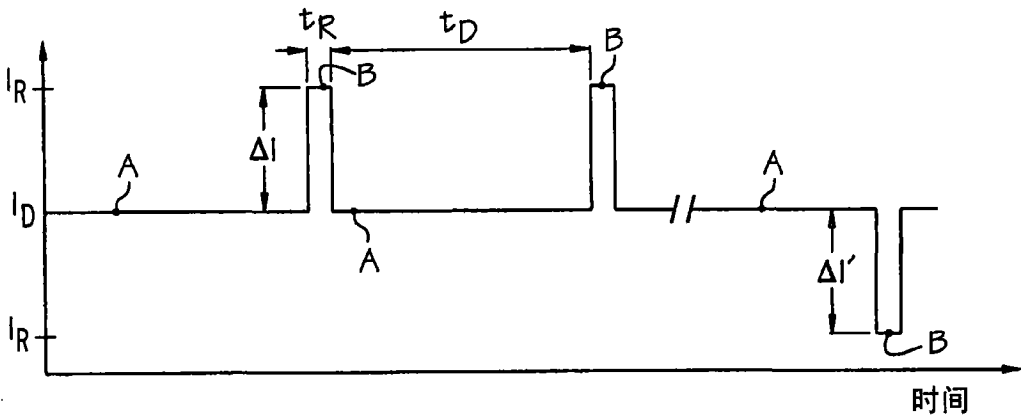


图 8

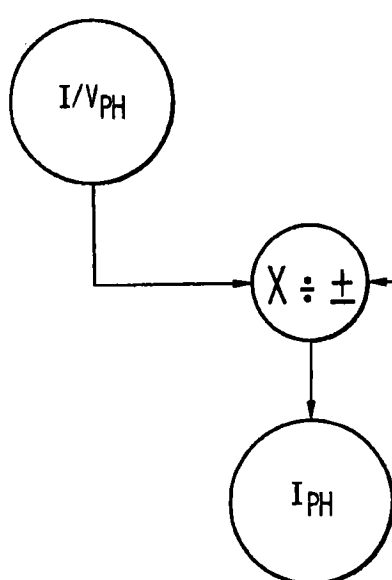


图 9

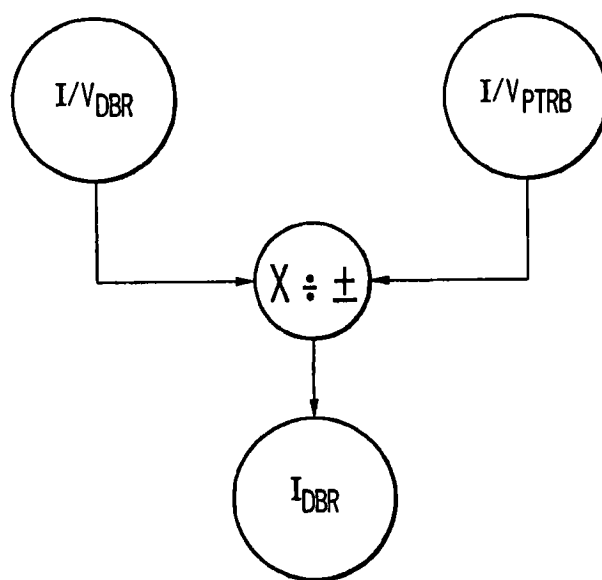


图 10

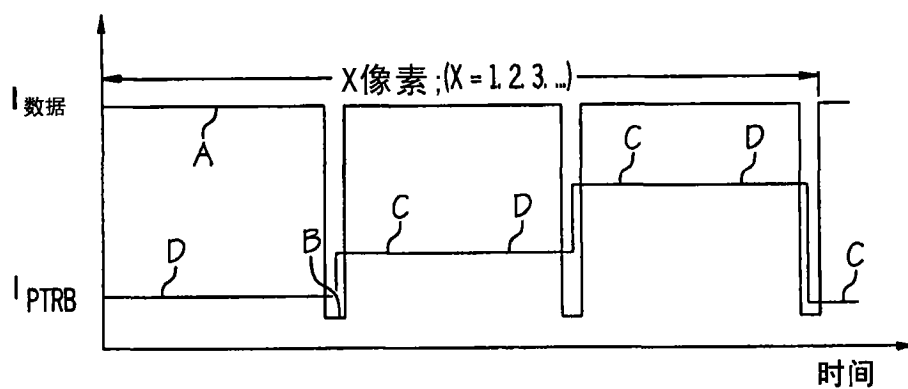


图 11

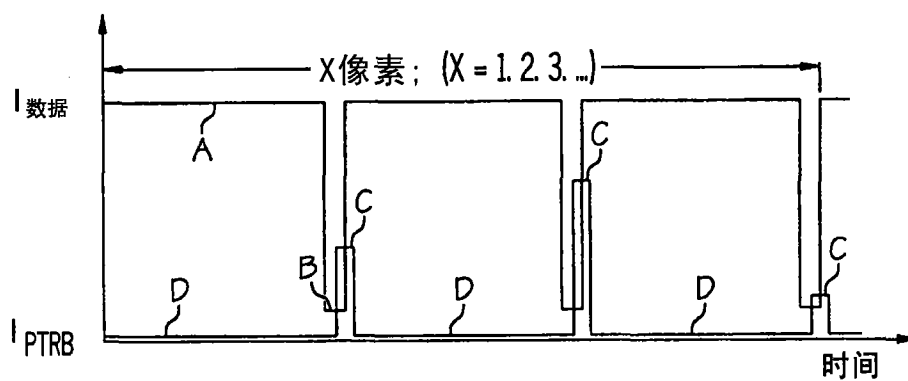


图 12

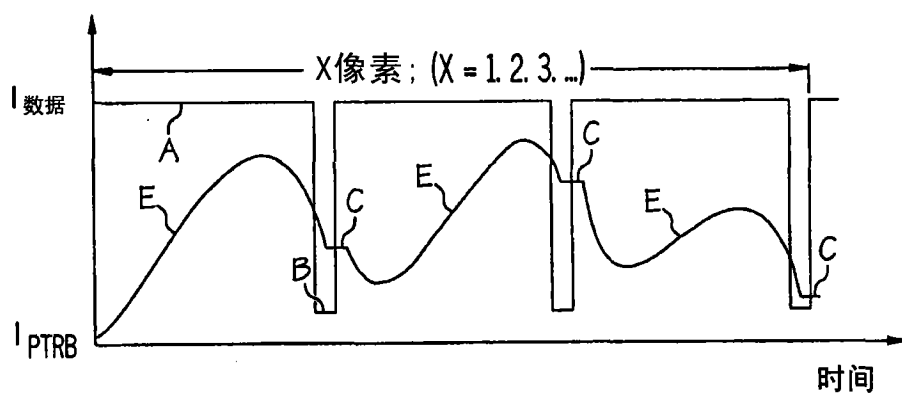


图 13

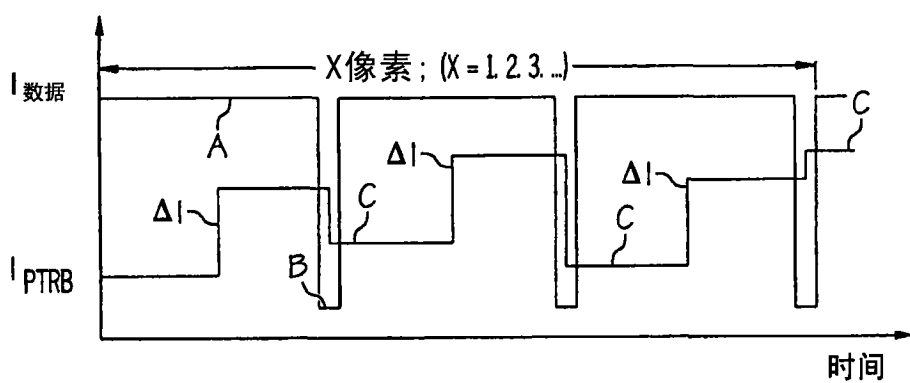


图 14

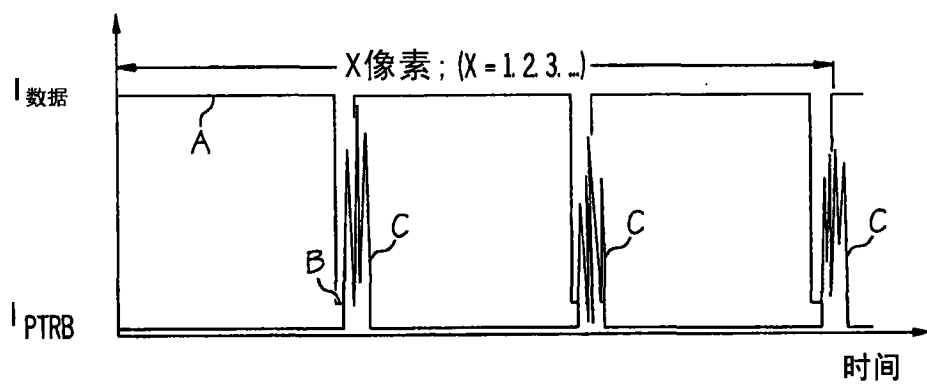


图 15

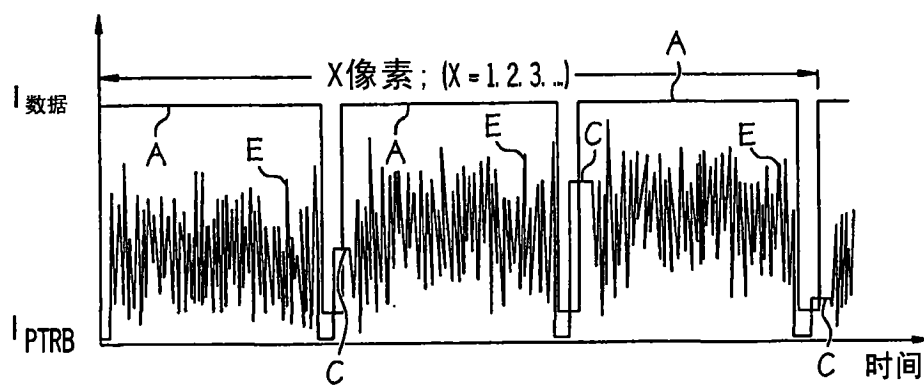


图 16

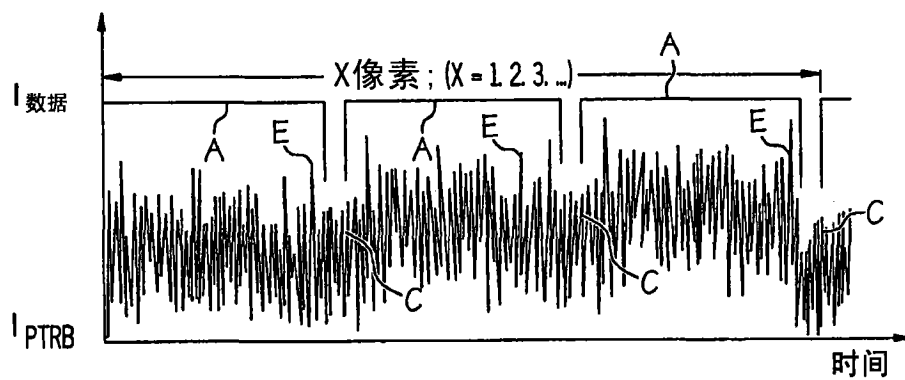


图 17