



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106024021 B

(45)授权公告日 2019.04.09

(21)申请号 201610192483.9

(22)申请日 2016.03.30

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106024021 A

(43)申请公布日 2016.10.12

(30)优先权数据
14/674,360 2015.03.31 US

(73)专利权人 希捷科技有限公司
地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 曹海林 J·W·里德林
D·M·马德 娄华洲 卢朴灵

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司
司 31100

代理人 侯颖嫒

(51)Int.Cl.

G11B 5/455(2006.01)

G11B 5/00(2006.01)

(56)对比文件

US 6671232 B1,2003.12.30,

US 2006117333 A1,2006.06.01,

CN 10302142 A,2013.04.03,

CN 103187071 A,2013.07.03,

CN 103295589 A,2013.09.11,

US 8854929 B1,2014.10.07,

US 8908481 B1,2014.12.09,

CN 1219738 A,1999.06.16,

US 5602814 A,1997.02.11,

审查员 李珊珊

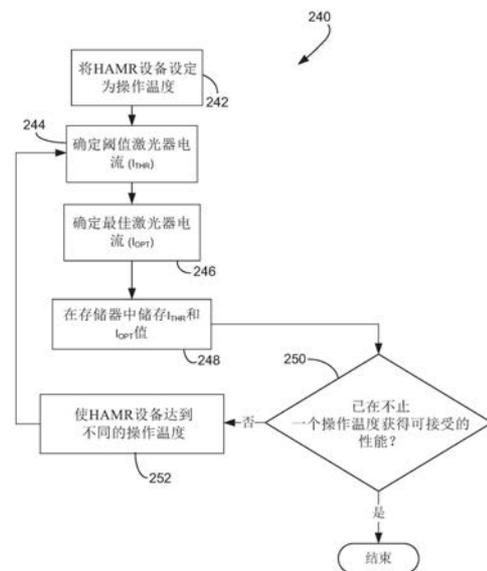
权利要求书3页 说明书7页 附图10页

(54)发明名称

用于HAMR设备中的激光器温度校准的方法

(57)摘要

公开了一种HAMR设备中的激光器温度校准。一种方法包括将位于具有激光器的数据存储系统中的热辅助磁记录(HAMR)设备设定到操作温度。确定阈值激光器电流。确定最佳激光器电流。该阈值激光器电流和该最佳激光器电流储存在存储器中。在超过一个工作温度处获得可接受的设备性能以前,重复以下步骤:确定阈值激光器电流、确定最佳激光器电流以及将此阈值激光器电流与此最佳激光器电流储存在校准表中。



1. 一种用于磁记录的方法,包括:
 - 将位于具有激光器的数据存储系统中的热辅助磁记录 (HAMR) 设备设定到操作温度;
 - 确定阈值激光器电流,其中所述阈值激光器电流是从所述激光器输出光所需要s的最小电流量;
 - 确定最佳激光器电流,其中所述最佳激光器电流是产生最佳误码率 (BER) 和最小相邻轨道干扰 (ATI) 的电流量;
 - 将所述阈值激光器电流和所述最佳激光器电流储存在存储器中;以及
 - 重复以下步骤:确定所述阈值激光器电流,确定所述最佳激光器电流以及将所述阈值激光器电流与所述最佳激光器电流储存在校准表中,直到在不止一个操作温度处获得可接受的设备性能。
2. 如权利要求1所述的方法,进一步包括:从所保存的阈值激光器电流和最佳激光器电流值中为除了所使用的不止一个的操作温度之外的操作温度推测阈值激光器电流和最佳激光器电流。
3. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,确定所述阈值激光器电流包括:
 - 对所述激光器施加激光器电流;
 - 增大所施加的激光器电流,直到光电检测器检测到所述激光器输出光为止;以及
 - 当所述光电检测器检测到所述激光器输出光时,将所施加的激光器电流捕获为所述阈值激光器电流。
4. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,确定所述阈值激光器电流包括:
 - 对所述激光器施加激光器电流;
 - 增大施加的激光器电流,直到双端温度系数电阻 (DETCR) 传感器上的DC电压的斜率由于近场换能器 (NFT) 输出增加了空气承载表面处的温度而变化为止;以及
 - 当DETCR上的DC电压的斜率变化时,将所施加的激光器电流捕获为所述阈值激光器电流。
5. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,确定所述阈值激光器电流包括:
 - 对所述激光器施加激光器电流;
 - 增大施加的激光器电流,直到辐射热测量器上的电阻率的变化发生为止;以及
 - 当所述辐射热测量器上的电阻率的变化发生时,将所施加的激光器电流捕获为所述阈值激光器电流。
6. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,确定所述最佳激光器电流包括:
 - 当增大操作激光器电流时监测误码率 (BER); 以及
 - 将最佳BER出现的操作激光器电流捕获为所述最佳激光器电流。
7. 如权利要求6所述的方法,其特征在于,确定所述最佳激光器电流包括:确定对介质上的轨道写入的数据的BER在多个不同的电流上处于最小值的地方。
8. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,在所述数据存储系统的制造过程期间执行下列步骤和重复的步骤:将所述HAMR设备设定到操作温度,确定阈值激光器电流,确定最佳激光器电流,将所述阈值激光器电流和所述最佳激光器电流储存在存储器中。
9. 如权利要求8所述的方法,进一步包括:在所述数据存储系统的正常操作期间使用保存在存储器中的数据调节所述HAMR设备的加热器功率。

10. 一种用于磁记录的方法,包括:

将位于具有激光器的数据存储系统中的热辅助磁记录 (HAMR) 设备设定到操作温度;

确定最佳激光器电流,其中所述最佳激光器电流是产生最佳误码率 (BER) 和最小相邻轨道干扰 (ATI) 的电流量;

确定损坏数据的激光器电流;

将损坏数据的激光器电流和所述最佳激光器电流储存在存储器中;以及

重复以下步骤:确定最佳激光器电流和确定损坏数据的激光器电流,直到在不止一个操作温度处获得可接受的设备性能。

11. 如权利要求10所述的方法,进一步包括:从所保存的数据中为除了所使用的不止一个操作温度之外的操作温度推测损坏数据的激光器电流并推测最佳激光器电流。

12. 如权利要求10所述的方法,其特征在于,确定所述最佳激光器电流包括:

当增大激光器电流时监测误码率 (BER);以及

当最佳BER出现时捕获所述激光器电流。

13. 如权利要求12所述的方法,其特征在于,确定最佳激光器电流包括:确定对介质上的轨道写入的数据的BER在多个电流上处于最小值的地方。

14. 如权利要求10所述的方法,其特征在于,确定损坏数据的激光器电流包括:

对介质的轨道施加所述最佳激光器电流和写入电流;

对所述轨道写入数据并测量误码率 (BER) 以得到确立的BER;

将所述写入电流设定为零并将所述激光器电流设定为低值;

在具有所确立的BER的轨道上重写数据;

测量新BER;

计算所确立的BER与新BER之间的BER变化;

重复以下步骤:以增大的激光器电流值在具有所确立的BER的轨道上重写数据,测量新BER,以及计算所确立的BER与所述新BER之间的BER变化,直到所述变化大于阈值;以及

将所述激光器电流捕获为损坏数据的激光器电流。

15. 一种用于磁记录的方法,包括:

在数据存储系统制造期间为具有激光器的热辅助磁记录 (HAMR) 设备创建校准表,所述校准表储存在所述数据存储系统中的非易失性存储器中以便之后在数据存储系统操作期间访问,其中创建所述校准表包括:

在一操作温度确定从所述激光器输出光所需要s的最小电流量;

在同一操作温度确定产生最佳误码率的电流量;

将输出光所需要s的最小电流量与产生所述最佳误码率的电流量保存在所述校准表中,所述校准表储存在所述非易失性存储器中;以及

重复以下步骤:确定从所述激光器输出光所需要s的最小电流量,确定产生最佳误码率的电流量以及保存输出光所需要s的最小电流量与产生最佳误码率所需要s的电流量,直到在不止一个操作温度获取可接收的设备性能。

16. 如权利要求15所述的方法,进一步包括:当在所述不止一个操作温度从所述激光器输出光所需要s的最小电流量不可得时,确定损坏数据的激光器电流并将损坏数据的激光器电流保存在所述校准表中。

17. 如权利要求15所述的方法,其特征在于,确定输出光所需要的最小电流量包括:
对所述激光器施加激光器电流;
增大所施加的激光器电流,直到光电检测器检测到所述激光器输出光为止;以及
当所述光电检测器检测到所述激光器输出光时,将所施加的激光器电流捕获为输出光所需要的最小电流量。

18. 如权利要求15所述的方法,其特征在于,确定产生最佳误码率的电流量包括:
当增大激光器电流时监测误码率(BER);以及
当最佳BER出现时捕获所述激光器电流。

19. 如权利要求18所述的方法,其特征在于,确定产生最佳误码率的电流量包括:确定对介质上的轨道写入的数据的BER在多个电流上处于最小值的地方。

20. 如权利要求15所述的方法,进一步包括:在所述数据存储系统的正常操作期间使用保存在所述校准表中的数据调节所述HAMR设备的加热器功率。

用于HAMR设备中的激光器温度校准的方法

发明内容

[0001] 一种方法包括将位于具有激光器的数据存储系统中的热辅助磁记录 (HAMR) 设备设定到操作温度。确定阈值激光器电流。阈值激光器电流是从激光器输出光所需的最小电流量。确定最佳激光器电流。最佳激光器电流是产生最佳误码率的电流量。阈值激光器电流和最佳激光器电流储存在存储器中。重复以下步骤：确定阈值激光器电流、确定最佳激光器电流以及将阈值激光器电流与最佳激光器电流储存在校准表中，直到在不止一个操作温度处获得可接受的设备性能。

[0002] 一种方法包括将位于具有激光器的数据存储系统中的热辅助磁记录 (HAMR) 设备设定到操作温度。确定最佳激光器电流。最佳激光器电流是产生最佳误码率的电流量。确定损坏数据的激光器电流。损坏数据的激光器电流和最佳激光器电流储存在存储器中。重复以下步骤：确定最佳激光器电流、确定损坏数据的激光器电流以及将损坏数据的激光器电流与最佳激光器电流储存在校准表中，直到在不止一个操作温度处获得可接受的设备性能。

[0003] 在制造过程期间，为具有激光器的热辅助磁记录 (HAMR) 设备创建校准表。校准表储存在数据存储系统中的存储器中以供数据存储系统操作期间的随后访问。校准包括：在一操作温度确定从激光器输出光所需的电流量，在同一操作温度确定产生最佳误码率的电流量，以及将输出光所需的电流量和产生最佳误码率的电流量保存在储存在存储器中的校准表中。重复以下步骤：确定从激光器输出光所需的电流量，确定产生最佳误码率的电流量以及保存输出光所需的电流量与产生最佳误码率所需的电流量，直到在不止一个设定的操作温度获取可接收的设备性能。

[0004] 提供本概述以便以简化形式介绍将在以下详细描述中进一步描述的一些概念。该概述不旨在标识所要求保护的的主题的关键特征或基本特征，也不旨在被用来帮助确定所要求保护的的主题的范围。所要求保护的的主题不限于解决在背景中提及的任何或所有缺点的实现。

附图说明

[0005] 图1是包括磁头堆组件 (head stack assembly) 和介质的数据存储设备的示例性部件的示意图。

[0006] 图2是磁头万向架组件 (HGA) 的侧视图的示意图。

[0007] 图3示出图2所示的HGA的滑动件的后端的放大图。

[0008] 图4是示出根据一个实施例在制造过程期间为HAMR设备中的激光器创建校准表的方法的框图。

[0009] 图5是示出在不同操作温度施加的激光器电流相对于感测的激光器输出功率的关系的示例性图示。

[0010] 图6A是示出根据一个实施例在制造过程期间确定HAMR设备中的阈值激光器电流 (ITHR) 的方法的框图。

[0011] 图6B是示出根据另一个实施例在制造过程期间确定HAMR设备中的阈值激光器电流 (ITHR) 的方法的框图。

[0012] 图6C是示出根据又一个实施例在制造过程期间确定HAMR设备中的阈值激光器电流 (ITHR) 的方法的框图。

[0013] 图7是示出在不同操作温度操作激光器电流相对于误码率 (BER) 的关系的示例性图示。

[0014] 图8是示出根据一个实施例在制造过程期间确定HAMR设备中的最佳激光器电流的方法的框图。

[0015] 图9是示出根据另一个实施例在制造过程期间为HAMR设备中的激光器创建校准表的方法的框图。

[0016] 图10是示出擦除激光器电流相对于误码率 (BER) 的关系以及在多少操作激光器电流时损坏数据的示例性图示。

[0017] 图11是示出在数据存储系统的制造过程期间确定损坏数据的HAMR设备中的激光器电流的方法的框图。

具体实施方式

[0018] 本公开总地涉及利用热辅助磁记录 (HAMR) 设备进行数据的读取和写入。这种技术,也被称为热学辅助记录 (TAR)、热学辅助磁记录 (TAMR)、能量辅助磁记录 (EAMR) 等,使用诸如激光器之类的能量源在记录期间加热磁盘上的小斑点。HAMR设备中的激光二极管的功率输出对温度敏感。另外,HAMR设备的读取/写入性能对激光器电流输入和飞行高度敏感。加热器用于补偿激光导致的写入器突起。因为激光器对温度敏感,将以不同温度有差别地使用加热器以维持恒定飞行高度。本公开描述一些方法以用于校准由温度中的变化造成的激光器效率变化和飞行高度变化以在一温度范围上具有最佳的驱动性能。在校准过程中,在数据存储系统的制造过程期间创建一表。校准表储存在存储器中以供随后在正常系统操作期间访问并且被用于补偿HAMR或其他设备暴露的环境温度的变化。

[0019] 图1是可用于本文描述的实施例中的示例性数据存储系统100的简化框图。数据存储设备100包括控制电路102,用于利用储存在存储器104中的程序控制数据存储设备100的操作。控制电路102可耦合到缓冲器106。缓冲器106可在读取与写入操作期间临时地储存用户数据,并且可包括临时地储存控制电路102有待执行的访问操作的能力。

[0020] 数据存储系统100包括存储介质或磁记录介质(即,盘)108和支撑换能器118(在此情况中,HAMR换能器或设备)的悬置件116,换能器118可对介质108读取和写入数据。在图1所示的实施例中,存储介质108被示为可旋转的盘。数据存储系统100还包括前置放大器107,用于在写入操作期间产生应用到换能器118的写入信号,并且用于在读取操作期间放大从换能器118发出的读取信号。在一些实施例中,前置放大器107还包括补偿电路109。

[0021] 控制电路102在数据存储介质108上执行读取和写入操作。由控制电路102执行的这些读取/写入操作可被直接执行在数据存储介质108上或者通过读取/写入信道110执行在数据存储介质108上。读取/写入信道110在写入操作期间从控制电路102接收数据,并且经由前置放大器107向数据存储介质108提供编码的写入数据。在读取操作期间,读取/写入信道110经由前置放大器107处理读取信号以检测记录在数据存储介质108上的数据并对该

数据解码。解码的数据被提供到控制电路102,最终通过接口112提供到外部主机114。

[0022] 外部主机114包括能够对数据存储设备100发出命令的逻辑(例如,处理器)。尽管图1将外部主机114示为单个主机,数据存储设备100可经由接口112连接至多个主机。经由接口112,数据存储系统100从外部主机114接收数据和命令并且可基于控制电路102所执行的命令向外部主机114提供数据。

[0023] 图2示出磁头万向架组件(HGA)120的放大侧视图,示出了通过万向架124支撑滑动件122的悬置件116。滑动件122包括换能器118,它可相对于悬置件116经由万向架124旋转。换能器118位于滑动件122的后沿并且保持靠近介质108的表面109以便读取和写入数据。换能器118包括磁写入器线圈(未示出)、读取器(未示出)和光学近场换能器(NFT)129,在下面描述。

[0024] HAMR换能器,诸如换能器118,使用能量源局部加热记录介质的一小部分来克服限制磁介质(诸如介质108)的面数据密度的超顺磁效应。介质的加热使一区域介质的温度上升到设定温度以上,允许它被磁写入器磁化。该介质随着它旋转远离能量源而迅速冷却,因此使所写入的图案在磁性上固定(freeze)以便于数据的稳定、长期的储存。

[0025] 图3示出滑动件122的后端的放大图。HAMR换能器118可包括光学部件,诸如光波导119,其将来自激光器组件126的光能引导、汇聚并转变以加热介质108。激光器组件126包括激光二极管,接收电流输入并通过光波导119将激光能量施加在介质108上。HAMR介质热斑点可能需要小于光的衍射极限。获取这种小热斑点的一种方式是使用光学近场换能器(NFT)129。

[0026] NFT 129的一个副作用是来自激光二极管的热量导致NFT 129膨胀。此膨胀造成邻近换能器的空气承载表面突起。然而,空气承载表面必须保持在恒定的飞行高度133。因此,在正常的数据存储系统操作期间,加热器功率需要被调节以保持此恒定的飞行高度,并且所需的调节量取决于操作温度和激光器电流效率。

[0027] 在HAMR设备中施加的激光能量的控制对于性能是必要的。如果给予介质108的热量过低,那么介质108未被充分地加热且记录的信号质量很差。如果能量过高,则可能部分地擦除相邻轨道的记录信号。此外,即使该热量的电流恒定,能量也会变化。例如,给定激光器电流的激光能量随着温度而变化并且还随着其他影响(诸如激光二极管老化或其他部件老化)而变化。并且,随着部件老化,获得相同程度的介质加热所需要的施加的激光器电流的量会变化。

[0028] 在一个实施例中,激光二极管输入电流可由前置放大器107(图1)中的寄存器控制。前置放大器107包含“数字至模拟”转换器(DAC)以将编程的寄存器值转换为施加的电流。从换能器118(图2和3)输出到介质108上的激光能量会变化。即使至激光二极管的电流是准确且恒定的,从激光二极管输出的功率也可能不是准确且恒定的。例如,激光二极管的正向压降可造成此关系变化。另外,前置放大器的施加电流可能不总是准确的并且也可能变化。温度对于所有这些变化有强力的影响。

[0029] 存在激光二极管输出的两个重要方面,并且它们包含于为了保持可靠的驱动操作在数据存储系统的制造过程期间创建的所公开的校准表中。它们是:激光器阈值电流(I_{THR}),其为使激光二极管输出光所需要最小施加电流量(即,当激光器开始产生激光时的电流);以及对于最佳读取/写入性能的总所需激光器电流(I_{OPT})。 I_{THR} 对于保持写入与预

写入突起间隙是重要的,因为当驱动器中的激光器电流被设定为高于 I_{THR} 时,突起发生并且必须被考虑以保持飞行高度相对于介质的恒定间隙。在预写入期间,激光器“变暖(warm-up)”到一值,该值可能高于 I_{THR} ,这取决于环境温度。因此,变暖电流可影响写入间隙,需要知晓 I_{THR} 以便使用加热器对激光器突起进行适当补偿以调节飞行高度。 I_{OPT} 是用于保持读取/写入性能并影响写入间隙的总激光器电流,因为超过 I_{THR} 的 I_{OPT} 的量是造成突起的激光器电流,这必须通过加热器来补偿,如上所述。操作电流(I_{OP})是让磁写入电流在介质中使位翻转而减小介质矫顽力所需要的电流。

[0030] 激光器输出的第三方面是损坏数据所需要的激光器电流的量(I_{ERA})。施加的激光器电流必须保持在 I_{ERA} 加上适当安全裕度以下以确保当磁头不在写入时不擦除数据。可在写入之前施加特定量的激光器电流以使激光器“变暖”并减小当施加全部电流时写入的开始时的动态性。此“变暖”电流也必须保持在 I_{ERA} 以下。

[0031] 存在对于驱动器质量关键的两个参数—介质上的写入的轨道的误码率(BER)以及写入操作给予相邻轨道的劣化(相邻轨道干扰或ATI)。激光功率的变化影响这两个参数。不幸地,为了良好地执行BER和ATI测量,需要多次旋转的写入。另外,实验性地执行这些测量可造成相邻轨道上的数据变差。因此,当驱动器处于正常操作中时频繁地执行BER和ATI测量是不实际的。

[0032] 可感测的两个参数包括温度和激光输出功率。例如可使用热敏电阻128周期性地感测温度。例如使用诸如光电二极管127或者在另一个实施例中的辐射热测量器131(将光变到温度的检测器)的传感器,也可实时感测激光输出功率。在图3所示的实施例中,光电二极管127在一个实施例中可以是激光器组件126的一部分,可被制造在每一个换能器上并且可用于测量记录磁头内的激光功率或能量。图3中的换能器118内的箭头示出激光能量经过光波导119从激光器组件126到NFT 129的路径。如图所示,激光能量从激光器组件126发出且来自NFT 129的能量加热了介质108的一部分。在替代实施例中,辐射热测量器131可耦合到光波导119并且也可测量记录磁头118中的激光输出功率。

[0033] 对于HAMR驱动器中的激光二极管,存在三种普通操作模式。当闲置时,二极管完全断开或者不激活(无施加的电流)。当写入数据时,利用足以对介质108记录或擦除数据的施加的电流,二极管完全接通或激活。在对写入进行准备中,利用不足以对介质108记录或擦除数据的电流,激光二极管部分地接通或者偏压。

[0034] 图4根据一个实施例示出在制造过程期间为HAMR设备118中的激光器创建校准表的方法的框图240。在框242,HAMR设备118被设置在操作温度。操作温度可以是处于数据存储系统在正常操作期间操作所需要的温度范围内的任何环境温度。在框244处,确定阈值激光器电流(I_{THR})。 I_{THR} 是激光二极管126开始输出光或开始产生激光的最小电流。图6A、6B和6C所示的以下方法是确定阈值激光器电流的示例性方式。

[0035] 图5是示出不同操作温度时施加的激光器电流相对于感测的激光器输出功率的关系的示例性图示。如图所示,HAMR设备118在阈值点处开始输出激光功率或光。此阈值点根据HAMR设备118的操作温度而不同。图6A是根据一个实施例示出在制造过程期间确定HAMR设备118中的阈值激光器电流(I_{THR})的方法的框图244a。图6B是根据另一个实施例示出在制造过程期间确定HAMR设备118中的阈值激光器电流(I_{THR})的方法的框图244b。图6C是根据另一个实施例示出在制造过程期间确定HAMR设备118中的阈值激光器电流(I_{THR})的方法的框

图244c。

[0036] 在图6A中的框262a处,激光器电流(I)被施加到激光二极管126。在框264a处,确定激光二极管126是否在施加的激光器电流I处输出光。如果是,此方法传递到框266a,并且所施加的激光器电流I被捕获为校准表中的阈值电流(I_{THR})。如果否,此方法使施加的激光器电流增大一常数(诸如常数 δ)并且返回到框262a以对激光二极管126施加激光器电流I。一个示例性常数 δ 是0.275mA。然而,可使用其他值且可基于前置放大器107而变化。此方法继续,以使施加的激光器电流I增加常数 δ ,直到激光二极管126输出光为止。例如,光电二极管或光电检测器127可检测此光。

[0037] 在可选的图6B实施例中,在框262b处,激光器电流I施加到激光二极管126。在框264b处,确定双端温度系数电阻(DETCR)传感器(未在图3中示出)上的DC电压的斜率是否由于NFT 129的输出而变化,该NFT 129的输出增加了滑动件122的空气承载表面的温度。如果是,此方法传递到框266b,并且所施加的激光器电流I被捕获且被保存为阈值电流(I_{THR})。如果否,此方法使施加的激光器电流增大一常数(诸如常数 δ)并且返回到框262b以对激光二极管126施加激光器电流I。一个示例性常数 δ 是0.275mA。然而,可使用其他值且可基于前置放大器107而变化。此方法继续,以使施加的激光器电流I增加常数 δ ,直到DETCR传感器上的DC电压的斜率变化为止。

[0038] 在可选的图6C实施例中,在框262c处,激光器电流I施加到激光二极管126。在框264c处,确定辐射热测量器(诸如,辐射热测量器131)中的电阻率是否存在变化。如果是,此方法传递到框266c,并且所施加的激光器电流I被捕获且被保存为阈值电流(I_{THR})。如果否,此方法使施加的激光器电流增大一常数(诸如常数 δ)并且返回到框262c以对激光二极管126施加激光器电流I。一个示例性常数 δ 是0.275mA。然而,可使用其他值且可基于前置放大器107而变化。此方法继续,以使施加的激光器电流I增大常数 δ ,直到检测到辐射热测量器131中的电阻率的变化为止。

[0039] 返回参考图4的框图240,在框244处确定了 I_{THR} 之后,此方法传递到框246并且确定最佳激光器电流(I_{OPT})。 I_{OPT} 是产生最佳误码率(BER)的施加到激光二极管126的电流的量。图8所示的以下方法是确定最佳激光器电流的示例性方式。

[0040] 图7示出描绘不同操作温度下的操作激光器电流相对于误码率(BER)的关系的图示。如在图示中示出,每一个曲线的最小值表示获得最佳BER的最佳激光器电流。换言之,为了确定 I_{OPT} ,当施加的激光器电流增加时监测BER,当BER达到最小值时,施加的激光器电流被捕获为校准表中的最佳激光器电流(I_{OPT})。换言之, I_{OPT} 是对介质上的扇区写入的数据的BER在多个施加的激光器电流上最小的地方。

[0041] 作出此判定的一个方式在图8中示出。图8是根据一个实施例示出在制造过程期间确定HAMR设备118中的最佳激光器电流的方法的框图246。在框272处,最好误码率(BER)被设定为0,最佳BER被设定为0,计数被设定为0且操作电流(I_{OP})被设定为0。 I_{OP} 在框273处增加1且该方法传递到框274以确定新的 I_{OP} 是否小于或等于最大操作电流。如果是,此方法传递到框275。如果否,此方法传递到框281,其中此方法结束,因为已超出最大操作电流。在框275处,测量到挤压的BER(即,当前的BER)。在框276处,当前BER与最好BER相比较。如果当前BER小于或等于最好BER,那么此方法传递到框277,其中最好BER被设定为等于当前BER。此方法返回到框273,其中 I_{OP} 增加1且再次执行测量BER的步骤。如果当前BER大于最好BER,此

方法传递到框278,其中计数增加一旦最佳BER被设定为等于最好BER。在框279处,如果计数小于4,那么此方法返回框273,其中 I_{OP} 增加一旦再次执行测量BER的步骤。然而,如果在框279中计数大于4,那么此方法结束在框280处,其中最佳BER处的 I_{OP} 是 I_{OPT} 。

[0042] 返回参考图4的框图240,在框246处确定 I_{OPT} 之后,此方法传递到框248,其中 I_{THR} 和 I_{OPT} 值与操作温度一起储存到校准表中,它保存在数据存储系统中的存储器中,诸如非易失性存储器。在储存这些值之后,此方法传递到框250以确定是否在超过一个操作温度处获得可接受的性能。可使用BER和ATI确定可接受的性能。如果是,则此方法结束并且可为除了所测试的操作温度以外的操作温度推测储存在校准表中的值。这可通过执行曲线拟合或其他类型的推测公式来实现。如果否,则此方法传递到框252,其中使HAMR设备118达到与被使用的操作温度不同的操作温度。重复步骤244、246和248,直到在多于一个操作温度处获得可接收的设备性能位置。

[0043] 图9是根据另一个实施例示出在制造过程期间为HAMR设备118中的激光器创建校准表的方法的框图340。在此实施例中,出于多种原因,阈值激光器电流不可得。例如,光电二极管127和/或DECTR传感器不工作或者不包含在磁头118中。在框342处,HAMR设备118被设定在操作温度。操作温度可以是处于数据存储系统在正常操作期间操作所需要的温度的范围内的任何环境温度。在框344处,确定最佳激光器电流(I_{OPT})。 I_{OPT} 是产生最佳误码率(BER)的施加到激光二极管126的电流的量。在图8中示出的且在上文描述的方法是确定最佳激光器电流的示例性方式。在确定 I_{OPT} 之后,此方法传递到框346并确定损坏或擦除数据的激光器电流(I_{ERA})。在图11中示出的以下方法是确定损坏或擦除数据的激光器电流的示例性方式。

[0044] 图10是示出擦除激光器电流相对于误码率(BER)的关系以及在多少操作激光器电流时损坏数据的示例性图示。如图所示,HAMR设备118输出激光功率或光,并且在某一点处,写入数据的数据轨道的所测BER到达指示数据正在被损坏的点。此阈值点根据HAMR设备118的操作温度而不同。

[0045] 图11是示出在制造过程期间确定损坏或擦除数据的HAMR设备中的激光器电流(I_{ERA})的方法的框图344。在框362处,在框344中确定了最佳激光器电流 I_{OPT} 且对激光二极管126施加写入电流。在框363处,数据被写入轨道并测量误码率(BER)。在框364处,写入电流被设定为0且操作电流(I_{OP})被设定为低值。在框365处,数据被重写在具有从框363确立的BER的数据轨道上。在框366处,从写在数据轨道上的新数据中测量新BER。在框368处,此方法确定BER的变化或者新测量的与所确立的BER的差异是否大于阈值。例如,阈值可以是0.15。如果是,此方法传递到框370,其中 I_{OP} 被捕获为 I_{ERA} 。如果否,在框278处,所施加的 I_{OP} 增大一常数(例如,常数 δ)并且新的 I_{OP} 施加到激光二极管126以对具有确立的BER的数据轨道再次写入数据并测量被写入轨道的新BER。一个示例性常数 δ 是0.275mA。然而,其他值可被使用且可基于前置放大器107而变化。重复步骤362、364和366,直到新BER从所确立的BER的变化大于阈值为止。

[0046] 返回参考图9的框图340,在框348处, I_{OPT} 和 I_{ERA} 值与设定的操作温度一起储存到校准表中,保存在数据存储系统中的存储器中,诸如非易失性存储器。在储存这些值后,此方法传递到框350以确定是否在超过一个操作温度处获得可接受的性能。可使用BER和ATI确定可接受的性能。如果是,则此方法结束并为除了所测试的温度以外的操作温度推测储存

在校准表中的值。这可通过执行曲线拟合或其他类型的推测公式来完成。如果否,则此方法传递到框352,其中使HAMR设备118达到与被使用的操作温度不同的操作温度。重复步骤344、346和348,直到在超过一个操作温度处获得可接受的设备性能为止。

[0047] 尽管用结构特征和/或方法动作专用的语言描述了本主题,但可以理解,所附权利要求书中定义的主题不必限于上述具体特征或动作。更确切而言,上述具体特征和动作是作为实现权利要求的示例形式公开的。

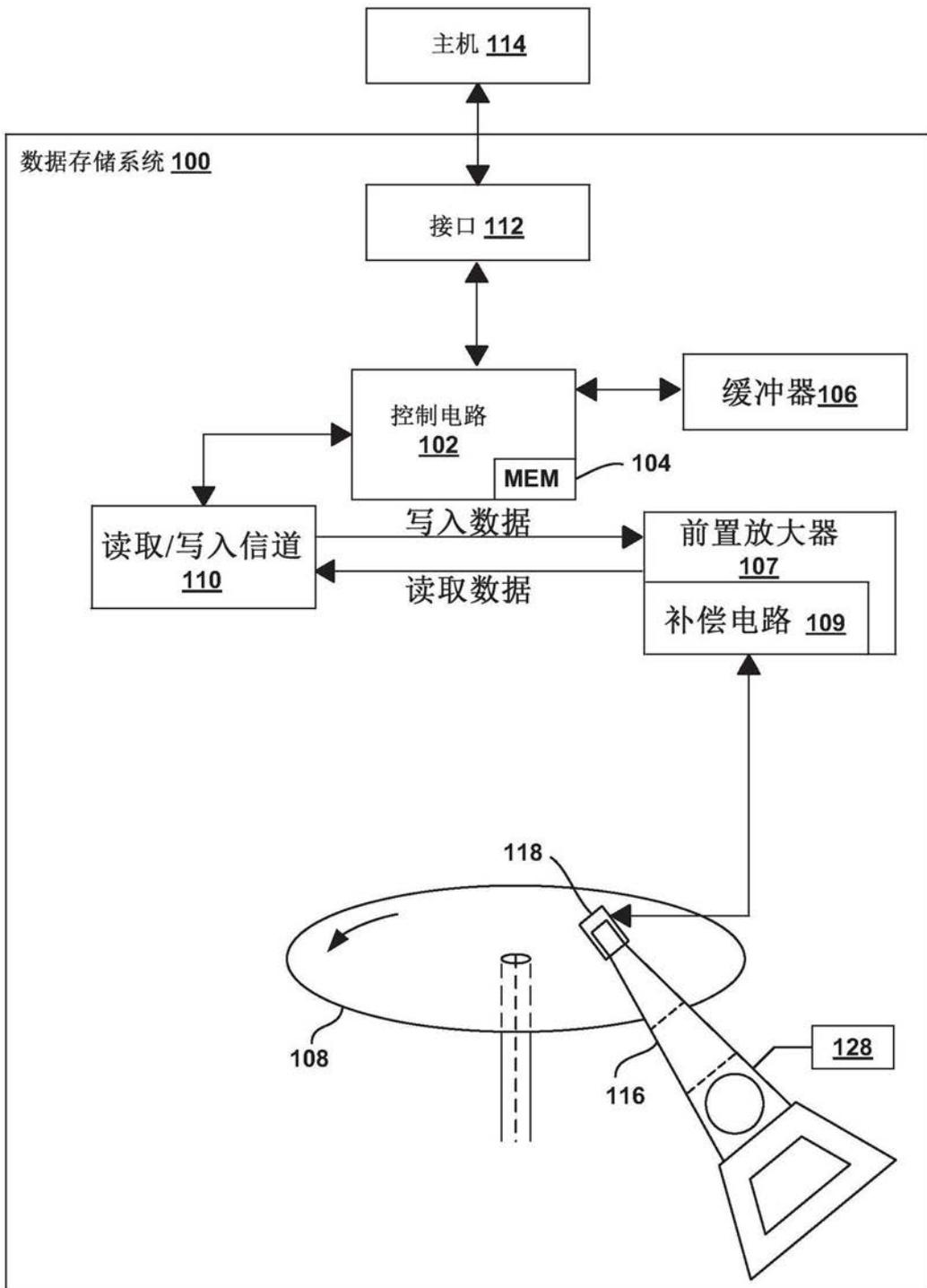


图1

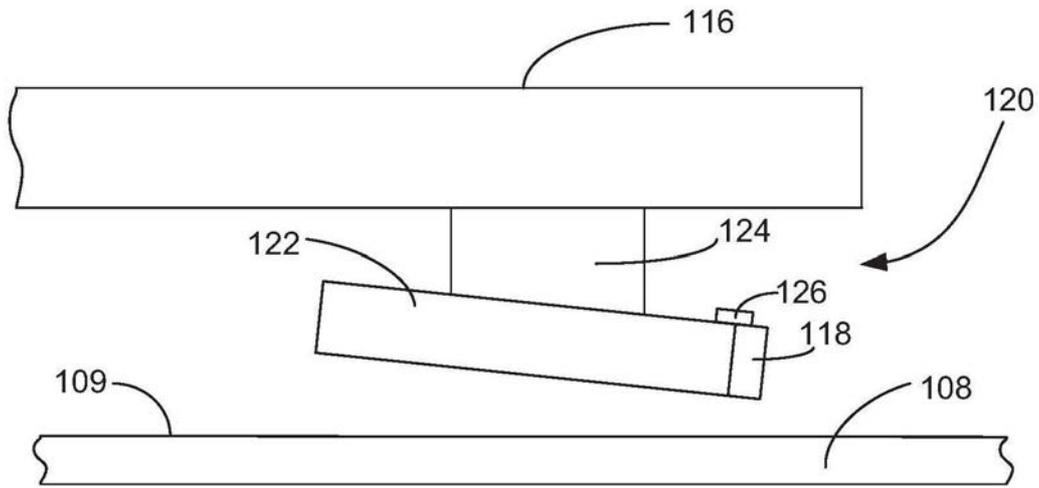


图2

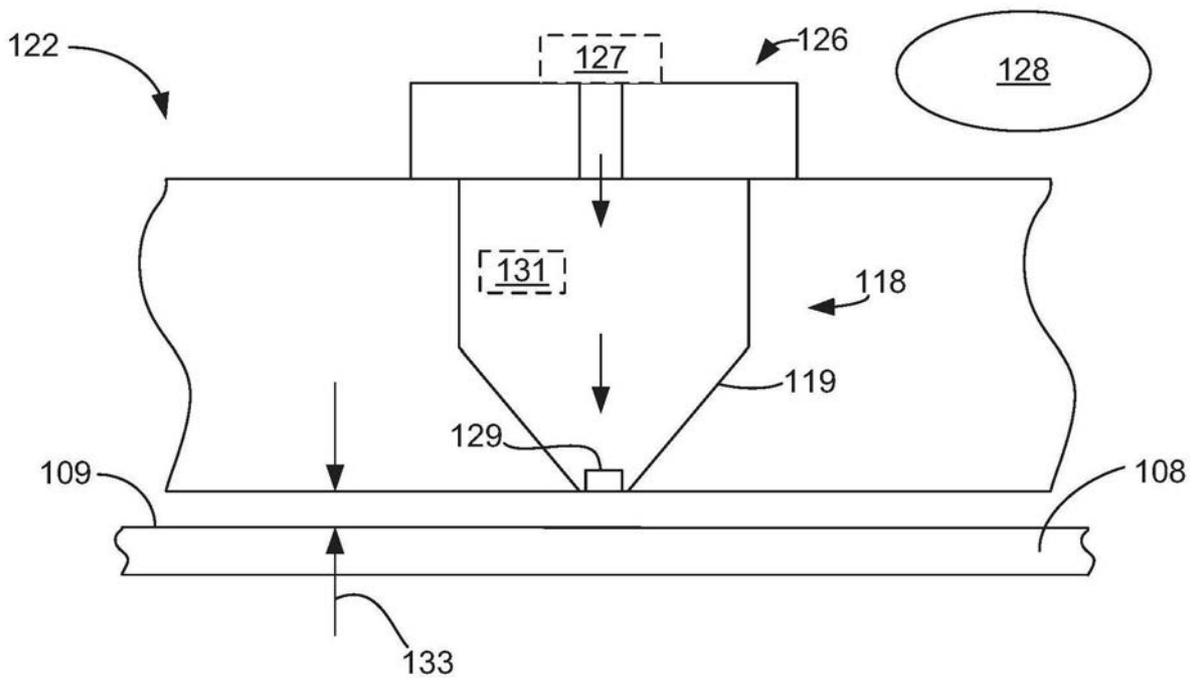


图3

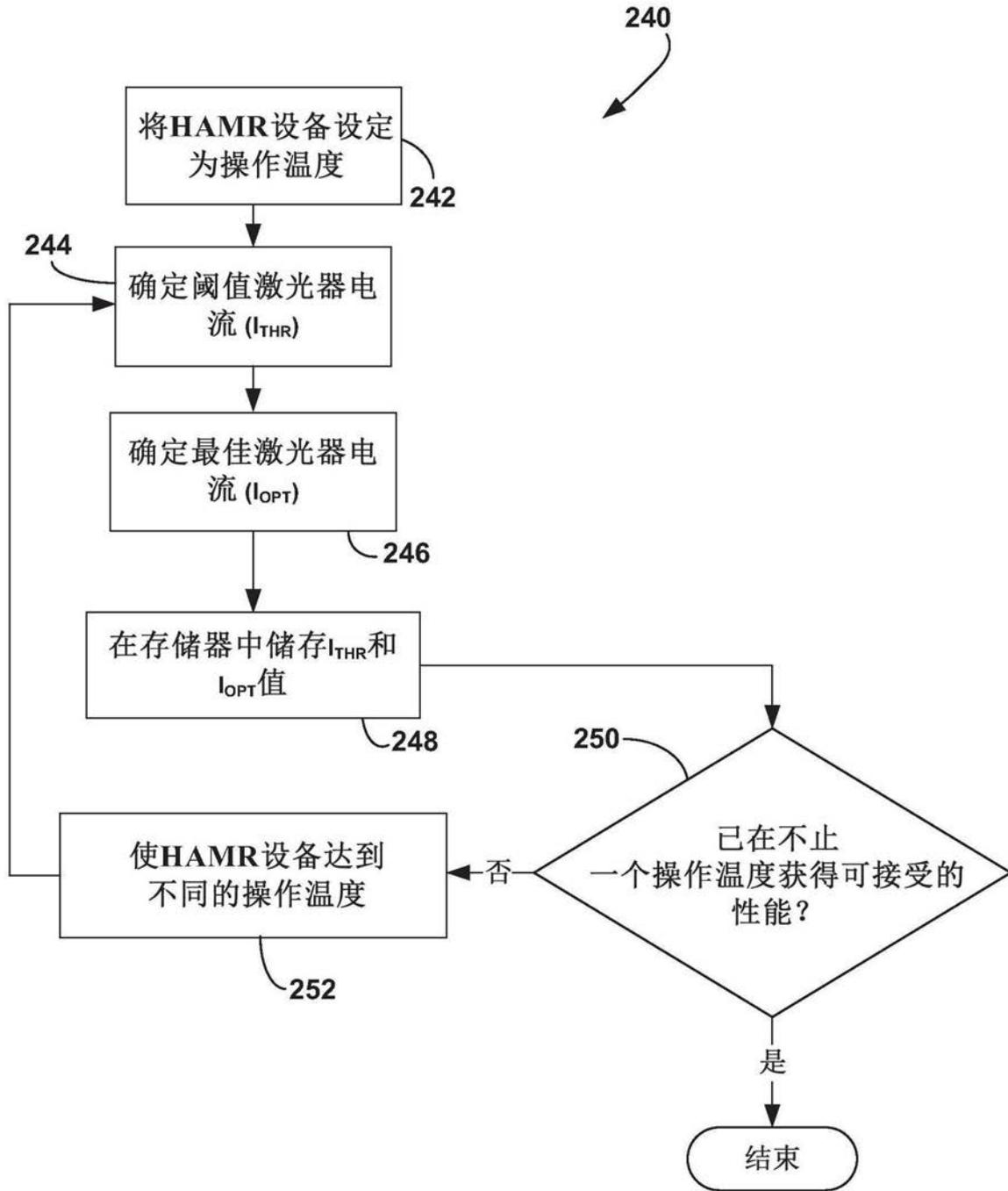


图4

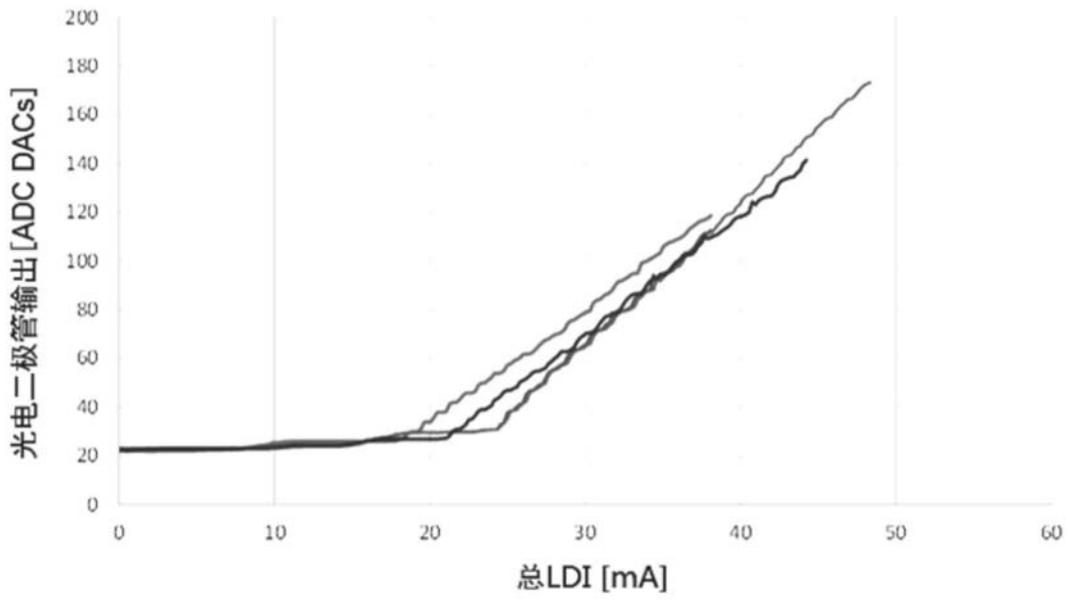


图5

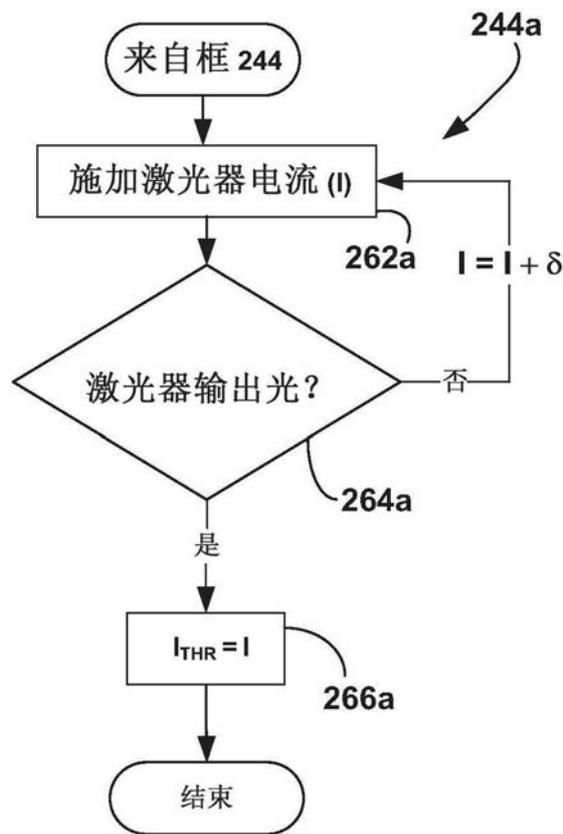


图6A

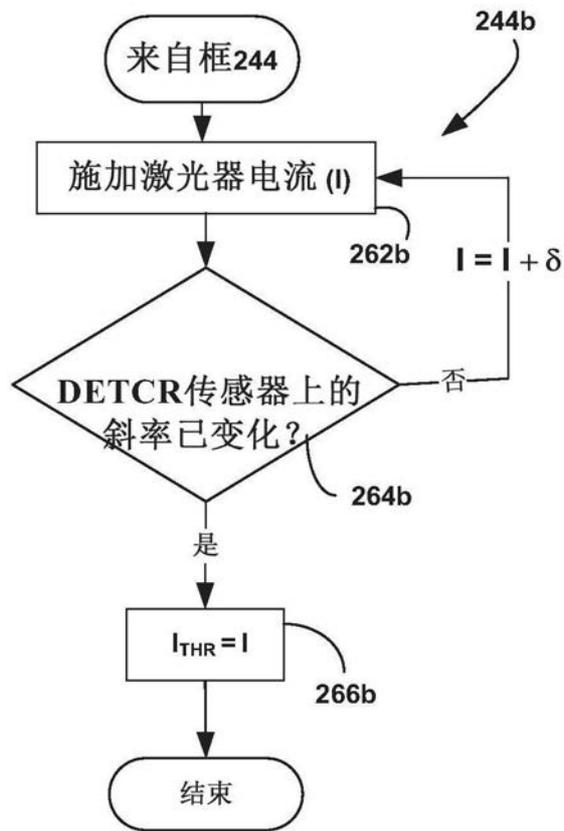


图6B

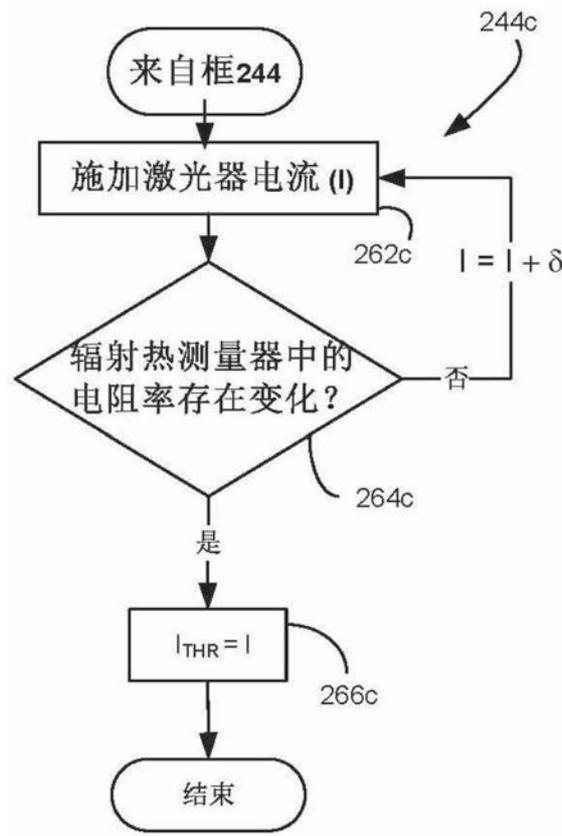


图6C

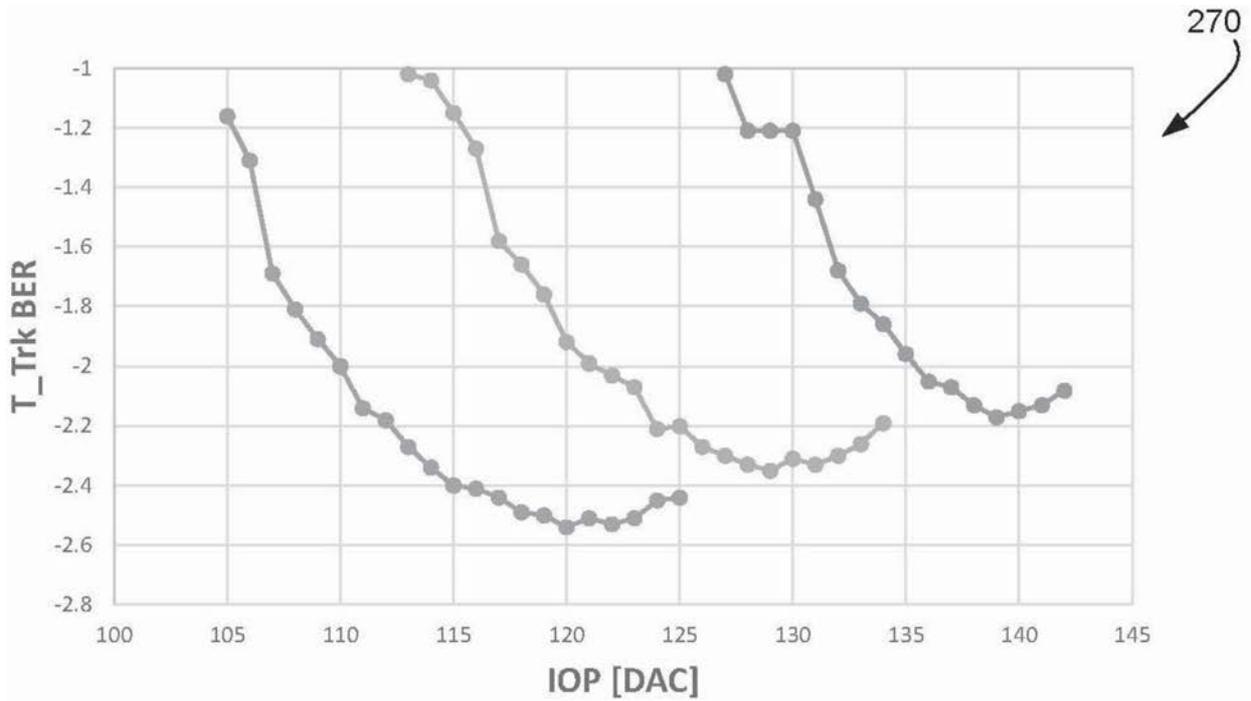


图7

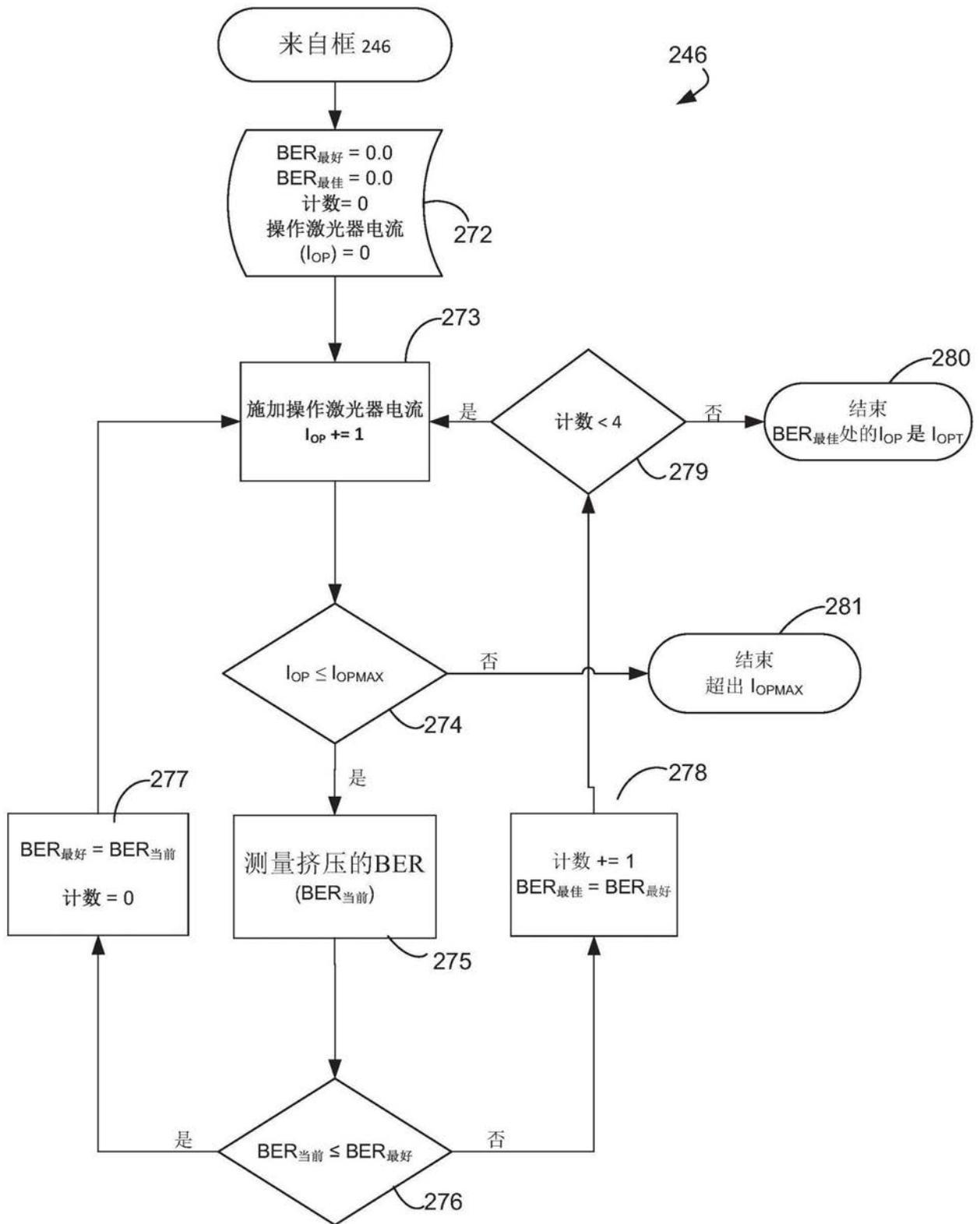


图8

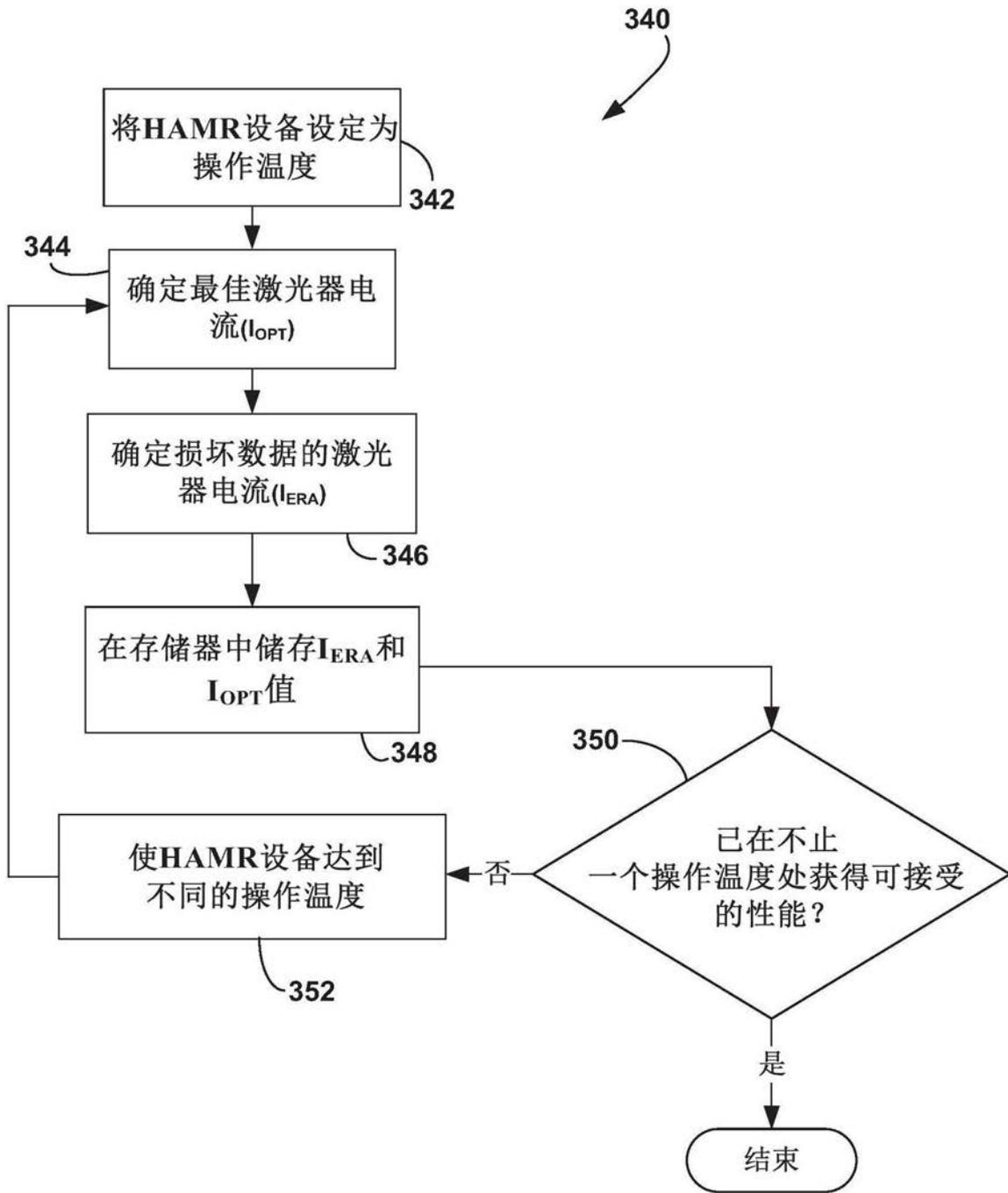


图9

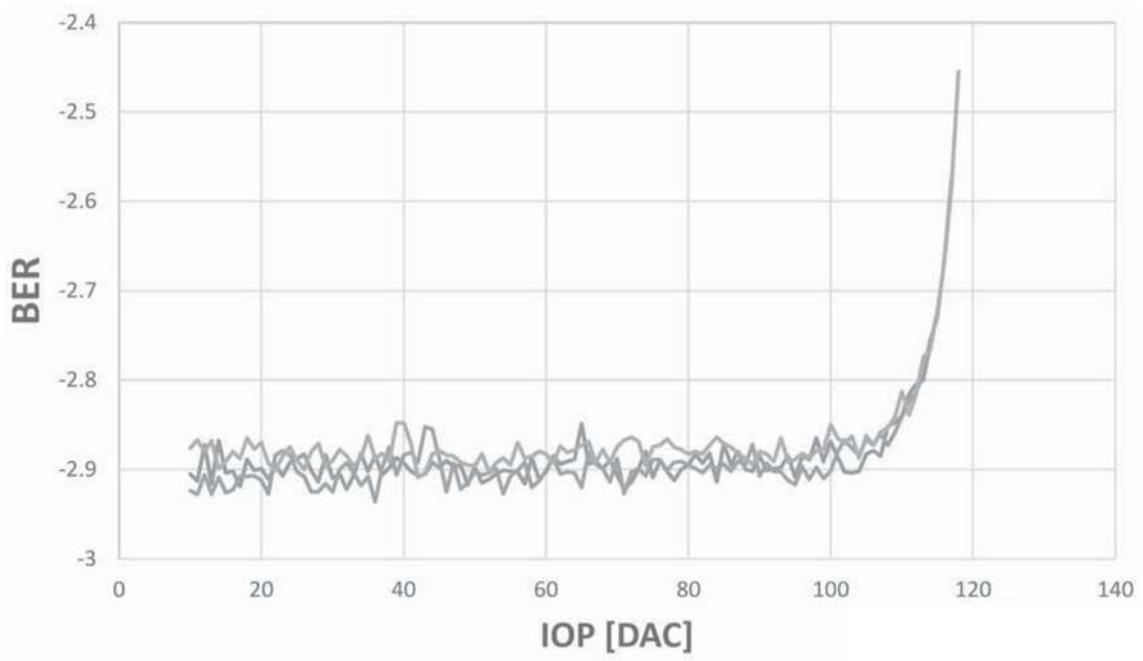


图10

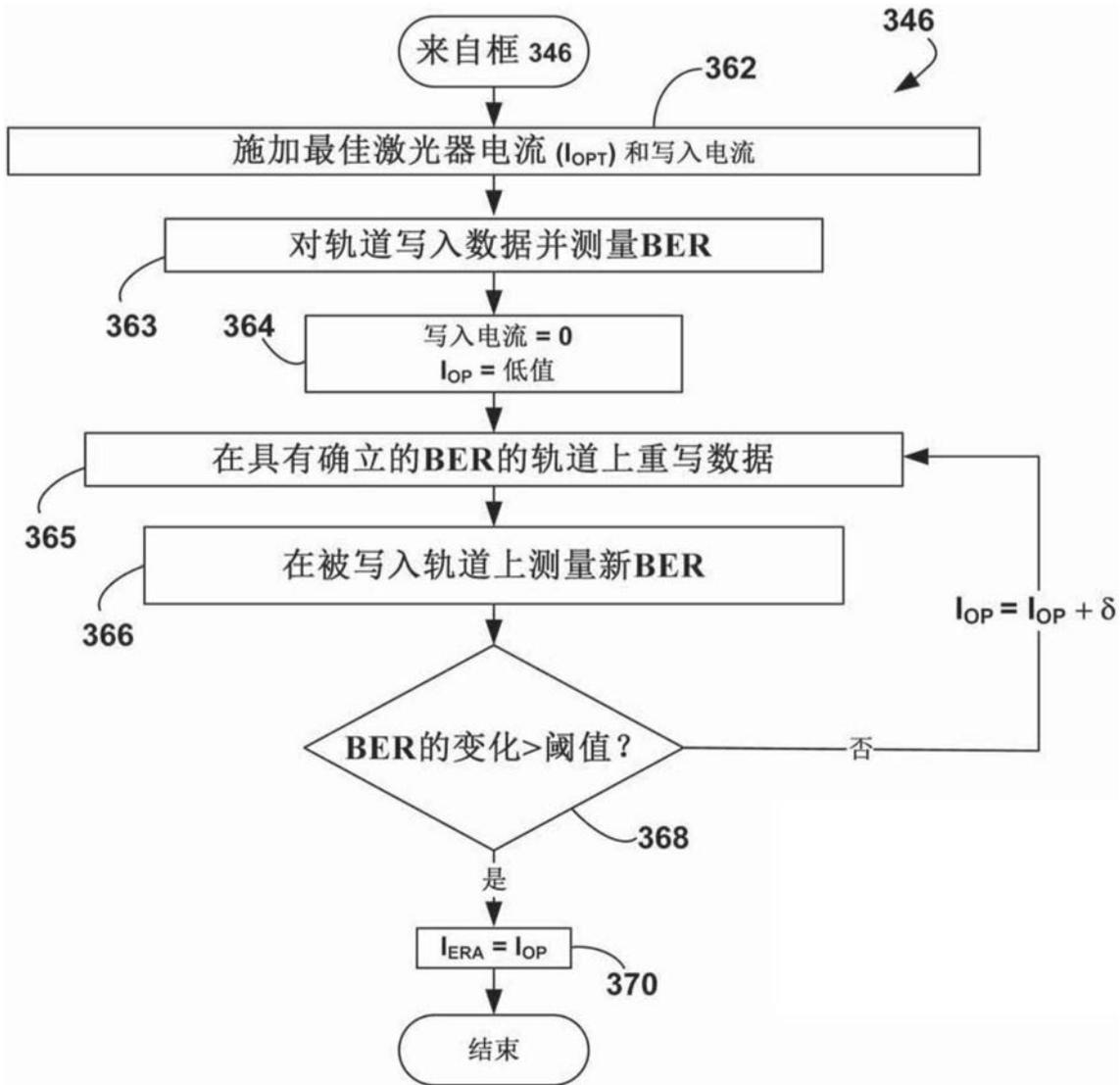


图11