



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117715744 A

(43) 申请公布日 2024. 03. 15

(21) 申请号 202280052322.3

弗朗西斯·L·利尔德 沈一愚

(22) 申请日 2022.07.26

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理有限公司 11262

(30) 优先权数据

63/225,742 2021.07.26 US

专利代理师 姜晓霞 杨明钊

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.01.25

(51) Int.Cl.

B29C 64/286 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2022/038381 2022.07.26

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/009544 EN 2023.02.02

(71) 申请人 速尔特技术有限公司

地址 美国马萨诸塞州

(72) 发明人 杰佛瑞·贾柏

安德鲁·J·贝拉米安

詹姆斯·A·德姆斯

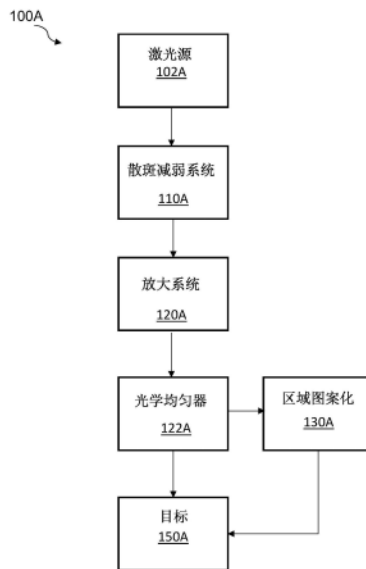
权利要求书1页 说明书12页 附图11页

(54) 发明名称

增材打印系统的散斑减弱

(57) 摘要

增材制造系统可以包括至少一个激光源和接收来自至少一个激光源的光的散斑减弱系统。散斑减弱系统向光学均匀器提供激光,该光学均匀器增加激光的均匀性,并且可以向区域图案化系统提供光。



1. 一种增材制造系统,包括:
至少一个激光源;
散斑减弱系统,所述散斑减弱系统接收来自所述至少一个激光源的光;
光学均匀器,所述光学均匀器增加从所述散斑减弱系统接收的激光的均匀性;和
区域图案化系统,所述区域图案化系统接收被引导通过所述光学均匀器的激光。
2. 根据权利要求1所述的增材制造系统,其中,所述散斑减弱系统包括在公共光纤中组合的多个激光器。
3. 根据权利要求1所述的增材制造系统,其中,所述散斑减弱系统包括不同长度的光纤分路器。
4. 根据权利要求1所述的增材制造系统,其中,所述散斑减弱系统包括RF调制器,所述RF调制器向激光脉冲添加光谱带宽。
5. 根据权利要求1所述的增材制造系统,其中,所述散斑减弱系统包括增加模式数量的大模场光纤。
6. 根据权利要求1所述的增材制造系统,其中,所述散斑减弱系统包括致动器,所述致动器引起多模光纤的位移。
8. 根据权利要求1所述的增材制造系统,其中,所述散斑减弱系统包括声光偏转器。
7. 根据权利要求1所述的增材制造系统,其中,所述散斑减弱系统包括可调谐声学梯度(TAG)透镜。
9. 根据权利要求1所述的增材制造系统,其中,所述散斑减弱系统包括电光偏转器。
10. 根据权利要求1所述的增材制造系统,其中,所述散斑减弱系统包括热光偏转器。
11. 根据权利要求1所述的增材制造系统,其中,所述增材制造系统还包括空间光阀。
12. 根据权利要求1所述的增材制造系统,其中,所述增材制造还包括用于引导激光对准多个目标的多个光束中继器。

增材打印系统的散斑减弱

[0001] 相关申请

[0002] 本公开是要求2021年7月26日提交的第63/225,742号美国专利申请的优先权权益的非临时专利申请的一部分,该美国专利申请通过引用以其整体并入。

技术领域

[0003] 本公开总体上涉及提供对高功率固态激光器或二极管激光器和衍射光学均匀器(homogenizer)的使用的增材制造系统。更具体地,描述了适用于高时间相干性和高峰值功率激光器系统的激光散斑减弱(speckle reduction)技术。

[0004] 背景

[0005] 具有能够长时间以高注量(fluence)操作的光的高功率激光器系统对于增材制造和可以受益于高能激光器的使用的其他应用是有用的。固态激光器系统能够提供高峰值功率,可以作为许多增材制造应用的平台。不幸的是,能够在期望的光束形状上产生均匀强度分布的高峰值功率固态激光器系统可能是难以实现的。如果没有均匀的强度分布来保持精确过程控制并且使峰值最小化,则按比例调节能量或长期操作可能会很困难。

[0006] 附图简述

[0007] 参照以下附图描述本公开的非限制性和非穷举性实施例,其中除非另有说明,否则在各个附图中,相同的附图标记指代相同的部分。

[0008] 图1A图示了用于高功率激光器的散斑减弱系统;

[0009] 图1B图示了使用在公共光纤中组合的多个激光器的散斑减弱;

[0010] 图1C图示了使用不同长度的光纤分路器的散斑减弱;

[0011] 图1D图示了使用RF调制器的散斑减弱,该RF调制器向激光脉冲添加光谱带宽;

[0012] 图1E图示了使用增加模式数量的大模场光纤的散斑减弱;

[0013] 图1F图示了使用致动器来引起多模光纤的位移的散斑减弱;

[0014] 图1G图示了使用各种机构和光学器件来改变散斑图案的散斑减弱。

[0015] 图2图示了支持散斑减弱系统的基于高注量光阀的增材制造系统的框图;

[0016] 图3图示了具有散斑减弱系统的高注量增材制造系统;

[0017] 图4图示了具有散斑减弱系统的高注量增材制造系统的另一实施例;以及

[0018] 图5图示了高注量增材制造的另一实施例,该高注量增材制造结合了开关站(switchyard)系统并且包括散斑减弱系统。

[0019] 详细描述

[0020] 在以下的描述中,参照了附图,附图形成描述的一部分,并且在附图中以图示的方式示出了本公开可以在其中被实践的具体的示例性实施例。这些实施例被足够详细地描述以使得本领域技术人员能够实践本文公开的概念,并且应当理解,在不脱离本公开的范围的情况下,可以对各种公开的实施例进行修改,并且可以利用其他实施例。因此,下面的详细描述不应被理解为限制性的。

[0021] 在以下公开中,增材制造系统可以包括至少一个激光源和接收来自至少一个激光

源的光的散斑减弱系统。散斑减弱系统向光学均匀器提供激光,光学均匀器增加激光的均匀性,并且可以向区域图案化系统提供光。

[0022] 图1A图示了用于高功率激光器的散斑减弱系统100A。一个或更多个激光源102A可以包括但不限于二极管激光器或固态激光器。激光束可以被引导到散斑减弱系统110A中,并使用放大器系统120A进行放大。经放大的能量激光束可以被引导通过光学均匀器122A以增加激光束均匀性,并且立即被引导或通过中继光学器件被引导对准目标150A。在一些实施例中,激光束可以任选地在被引导对准目标150A之前被图案化,使用区域图案化系统130来提供用于二维增材制造的二维图案化光束。

[0023] 激光源102A可以包括具有各种波长的宽范围的激光器,该激光器可以与所描述的散斑减弱系统110A结合使用。在一些实施例中,可能的激光器类型包括但不限于:气体激光器、化学激光器、染料激光器、金属蒸气激光器、固态激光器(例如光纤)、半导体(例如二极管)激光器、自由电子激光器、气体动态激光器、“类镍”钐激光器、拉曼激光器或核泵浦激光器。

[0024] 气体激光器可以包括诸如以下激光器:氦氖激光器、氩激光器、氦激光器、氦离子激光器、氮激光器、二氧化碳激光器、一氧化碳激光器或准分子激光器。

[0025] 化学激光器可以包括诸如以下激光器:氟化氢激光器、氟化氙激光器、COIL(化学氧碘激光器)或Agil(全气相碘激光器)。

[0026] 金属蒸气激光器可以包括诸如以下激光器:氦镉(HeCd)金属蒸气激光器、氦汞(HeHg)金属蒸气激光器、氦硒(HeSe)金属蒸气激光器、氦银(HeAg)金属蒸气激光器、铯蒸气激光器、氦铜(NeCu)金属蒸气激光器、铜蒸气激光器、金蒸气激光器、或锰(Mn/MnCl₂)蒸气激光器。也可以使用铷或其他碱金属蒸气激光器。固态激光器可以包括诸如以下激光器:红宝石激光器、Nd:YAG激光器、NdCrYAG激光器、Er:YAG激光器、钕YLF(Nd:YLF)固态激光器、掺钕钒酸钕(Nd:YVO₄)激光器、掺钕硼酸钙氧钕Nd:YCa₄O(BO₃)₃或简称为Nd:YCOB、钕玻璃(Nd:玻璃)激光器、钛蓝宝石(Ti:蓝宝石)激光器、铥YAG(Tm:YAG)激光器、镱YAG(Yb:YAG)激光器、镱:20₃(玻璃或陶瓷)激光器、掺镱玻璃激光器(棒、板/片(chip)和光纤)、铒YAG(Ho:YAG)激光器、铬ZnSe(Cr:ZnSe)激光器、掺铈铟(或钙)氟化铝(Ce:LiSAF、Ce:LiCAF)、掺铈147磷酸盐玻璃(147Pm⁺:玻璃)固态激光器、掺铬金绿宝石(翠绿宝石)激光器、掺铟和铟镱共掺玻璃激光器、掺三价铈氟化钙(U:CaF₂)固态激光器、掺二价钐氟化钙(Sm:CaF₂)激光器或F-Center激光器。

[0027] 半导体激光器可以包括诸如以下激光介质类型:GaN、InGaN、AlGaInP、AlGaAs、InGaAsP、GaInP、InGaAs、InGaAsO、GaInAsSb、铅盐,垂直腔表面发射激光器(VCSEL),量子级联激光器,混合硅激光器或其组合。

[0028] 散斑减弱系统110A可以包括各种实施例。例如,支持使用在公共光纤中组合的多个激光器、使用具有不同长度的光纤分路器、使用向激光脉冲增加光谱带宽的RF调制器、或使用增加模式数量的大模场光纤来进行散斑减弱。可替代地或附加地,可以利用使用致动器以引起位移的散斑减弱,或者使用各种光学或声学偏转器或修改器的散斑减弱。

[0029] 放大系统120A可以包括一个或更多个前置放大器或放大器。在一些实施例中,各种前置放大器或放大器任选地用于向激光信号提供高增益,而光学调制器和隔离器可以分布在整个系统中,以减少或避免光学损坏,提高信号对比度,并防止损坏系统100A的较低能

量部分。光学调制器和隔离器可以包括但不限于普克尔斯盒(Pockels cell)、法拉第旋转器、法拉第隔离器、声光反射器、或体布拉格光栅。前置放大器或放大器可以是二极管泵浦的或闪光灯泵浦的放大器,并且被配置为单程(single pass)和/或多程(multi-pass)或空腔型架构。如将要理解的,术语前置放大器在这里用来指示相对于激光放大器(更大)来说不受热限制的放大器(即它们更小)。放大器将通常被定位为放大系统120A中的最终单元(final unit),并且将是容易受热损坏(包括但不限于热断裂或过度热透镜效应)影响的第一模块。

[0030] 激光前置放大器可以包括在不过度关注能量效率的系统中可用的单程前置放大器。对于能量效率更高的系统,多程前置放大器可以被配置为在进入下一级之前从每个前置放大器提取许多能量。特定系统所需的前置放大器的数量由系统要求和每个放大器模块中可用的存储能量/增益来限定。多程前置放大可以通过角度复用或偏振切换(例如使用波片或法拉第旋转器)来实现。

[0031] 可替代地,前置放大器可以包括具有再生放大器类型配置的空腔结构。虽然由于典型的机械考虑(空腔的长度),这种空腔结构可以限制最大脉冲长度,但是在一些实施例中,可以使用“白盒(White cell)”空腔。“白盒”是多程空腔架构,其中每一次行程都会增加小的角度偏差。通过提供入口和出口路径,这种空腔可以被设计成在入口和出口之间具有极大数量的行程,从而允许放大器的大增益和有效使用。白盒的一个示例是共焦腔,光束稍微偏轴注入并且反射镜倾斜,这样在多次行程之后在反射镜上产生环形图案。通过调节注入角度和反射镜角度,可以改变行程次数。

[0032] 放大器还用于提供足够的存储能量以满足系统能量要求,同时支持足够的热管理,以使得无论它们是二极管泵浦的还是闪光灯泵浦的,都能够以系统所需的重复率操作。在操作期间生成的热能量和激光能量两者都可以被引导到热传递装置、热力发动机、冷却系统和束流收集器(beam dump)中。

[0033] 放大器可以被配置为单程和/或多程或空腔型架构。放大器可以包括在不过度关注能量效率的系统中可用的单程放大器。对于能量效率更高的系统,多程放大器可以被配置为在进入下一级之前从每个放大器提取许多能量。特定系统所需的放大器的数量由系统要求和每个放大器模块中可用的存储能量/增益来限定。多程前置放大可以通过角度复用、偏振切换(波片、法拉第旋转器)来实现。可替代地,放大器可以包括具有再生放大器类型配置的空腔结构。如关于前置放大器所讨论的,放大器可以用于功率放大。

[0034] 光学均匀器122A可以包括受控散射均匀器,也称为束成形扩散器(beam shaping diffuser)。在一些实施例中,受控散射均匀器提供高度限定的相位表面,该相位表面使用衍射光学元件(DOE)、微透镜阵列或宽带扩散器均匀器以预定义的角度和每个角度的强度比来散射光。衍射扩散器通常是单色的,并且只以特定的波长工作。有利的是,由于衍射扩散器的光刻生产工艺,衍射扩散器可以具有衍射受限的边缘锐度和绝对角度精度。这使得它们特别适用于需要精确扩散角的高注量激光应用,诸如激光工业加工和增材制造。折射扩散器(诸如微透镜阵列)可以在材料透明的所有波长下工作,并且具有高效率。宽带扩散器将衍射扩散器的完全成形自由的优点与折射扩散器的多色性和高效率相结合。这是通过定义一个既有光的折射散射又有光的衍射散射的表面来实现的。

[0035] 区域图案化130A可用于提供能够被引导对准作为图案化拼块(tile)或二维区域

的目标150A的激光。在一些实施例中,可以使用光调制器。例如,透射或反射空间光调制器(SLM)(也称为光阀(LV))是一种类型的光调制器,可用于在整个光束上均匀地施加信息(1D调制),在光束上提供变化以形成并行化的光学通道(2D调制),或在大量像素/体素通道上提供变化(3D调制)。施加的信息可以是振幅、相位、偏振、波长、相干性或量子纠缠(quantum entanglement)的形式。LV可以包括电光器件,在电光器件中通过在允许光场和结构化力之间的耦合的材料上施加结构化力,信息被转移到入射光场上。这种器件可以由包括透明导电氧化物(TCO,以 λ_1 到达入射光场)、光电导体(PC)和电光材料(EOM)的电路组成。TCO激活光电导体,使得结构化力(通常采用波长 λ_2 的低能量/注量光场的形式)被施加到光电导体上作为空间变化的电压,然后该空间变化的电压被放置在电光材料上。电光材料通过与空间变化的电压的反应,将这种空间信息转移到光场。光场离开器件,在上面列出的一个或多个属性中携带着空间信息。

[0036] 在一些实施例中,激光束可以通过采用具有固定或可移动元件的遮罩(mask)进行阻挡来图案化。为了增加图像图案化的灵活性和简易性,可以使用像素可寻址掩蔽、图像生成或传输。在一些实施例中,激光图案化单元包括可寻址光阀,该可寻址光阀单独或与其他图案化机构结合以提供图案化。光阀可以是透射的、反射的,或者使用透射元件和反射元件的组合。可以使用电寻址或光寻址来动态改变图案。在一个实施例中,透射光寻址光阀用于旋转穿过该阀的光的偏振,其中光寻址像素形成由光投影源限定的图案。在另一实施例中,反射光寻址光阀包括用于改变读取束的偏振的写入束。在某些实施例中,可以使用非光寻址光阀。这些可以包括但不限于电可寻址像素元件、可移动反射镜或微反射镜系统(micro-mirror system)、压电或微致动光学系统、固定或可移动遮罩或屏蔽件,或能够提供高强度光图案化的任何其他常规系统。

[0037] 目标150A可以包括适合于减材、切割或激光钻孔或增材加工的材料或物品。可以使用金属、陶瓷、塑料、聚合材料、玻璃或其他可熔化材料。在增材制造中的一些实施例中,目标可以是由粉末床支撑的金属或陶瓷粉末。可以分配、移除、混合各种类型的材料,提供材料类型或颗粒尺寸的级配或变化,或者使材料的层厚度得到调整。该材料可以包括金属、陶瓷、玻璃、聚合物粉末、能够经历从固体到液体再回到固体的热诱导相变的其他可熔化材料、或其组合。该材料还可以包括可熔化材料和不可熔化材料的复合材料,其中成分中的任一个或两个可以被选择性地作为目标以熔化可熔化的成分,同时沿着不可熔化的材料保留或使不可熔化材料经历蒸发/毁坏/燃烧或其他破坏过程。在某些实施例中,可以使用材料的浆料、喷雾、涂层、线(wire)、条带(strip)或片材。

[0038] 图1B图示了系统100B,该系统100B包括使用在公共光纤中组合的多个激光器的散斑减弱系统110B。多个激光源102B用于将激光注入到公共光纤中,以减少有效相干性并降低散斑对比度。多个(大于或等于两个)激光源102B发射到光纤组合器112B中,光纤组合器112B耦合到单个传输光纤114B,该传输光纤114B发射到激光放大器系统120B中。激光放大器系统120B的输出被引导到激光均匀器系统130B,该激光均匀器系统130B在目标150C处产生图像。在一些实施例中,激光可以在对准目标150C之前被引导通过区域图案化系统(诸如关于图1A讨论的区域图案化系统)。

[0039] 在操作中,多个相干二极管光源通过多模分路器组合在一起。每个二极管激光器具有高的时间相干长度,并且产生固定数量的模式,这些模式导致散斑生成。通过将具有不

同的时间相干性和中心波长的多个二极管激光源组合在一起,脉冲的线宽分布在放大之前被加宽。来自多个光源的非相干散斑图案在脉冲期间相加,降低了激光的每个脉冲的有效散斑通量。在一些实施例中,芯直径大于5-10微米,其中芯直径大于100微米有利地提供大量的空间模式,用于使提供给不同激光源102B的不同模式传播和相干性的效果最大化。

[0040] 图1C图示了系统100C,该系统100C包括使用不同长度的光纤分路器的散斑减弱系统110C。激光源102C提供发射到光纤分路器112C中的激光束,光纤分路器112C耦合到多个不同长度的光纤113C。这些光纤长度可以在从1米到1km内变化或更长,但通常小于20m。这些光纤113C在光纤组合器中组合,并通过单个传输光纤114C传输到放大器系统120C。激光放大器系统120C的输出被引导到激光均匀器系统130C,该激光均匀器系统130C在目标150C处产生图像。在一些实施例中,激光可以在对准目标150C之前被引导通过区域图案化系统(诸如关于图1A讨论的区域图案化系统)。

[0041] 在操作中,提供不同长度的光纤用于使脉冲在时间上偏移超过它们相应的相干长度。这有效地降低了散斑对比度。

[0042] 图1D图示了系统100D,该系统100D包括散斑减弱系统110D,该散斑减弱系统110D使用向激光脉冲添加光谱带宽的RF调制器。激光源102D发射到自由空间耦合的或基于光纤的RF调制器112D中。该RF调制器112D由RF振荡器116D驱动,该RF振荡器116D通过RF放大器118D进行放大以提供足够的相位调制深度,从而在RF相位调制器112D中实现期望的光谱带宽。实现散斑减弱所需的需要的光谱带宽取决于系统,但可以低至1GHz(在1微米近红外光谱中约为0.003nm)或高达300GHz(在相同的1微米近红外光谱中约为1nm)。RF相位调制器112D的输出通过单个传输光纤114D被传输到激光放大器系统120D。激光放大器系统120D的输出被引导到激光均匀器系统130D,该激光均匀器系统130D在目标150D处产生图像。在一些实施例中,激光可以在对准目标150D之前被引导通过区域图案化系统(诸如关于图1A讨论的区域图案化系统)。

[0043] 在操作中,与时间相关的波长通过光纤以不同的方式传播,以产生与时间相关的散斑图案。当在激光脉冲时间上求和时,提供平均或平滑的散斑对比度。

[0044] 图1E图示了系统100E,该系统100E包括散斑减弱系统110E,该散斑减弱系统110E使用增加模式数量的大模场光纤。激光源102E被发射到传输光纤114E和激光前置放大器系统122E中。前置放大器系统122E的输出被发射到非常大的模场光纤116E中,其中该光纤的直径可以在100微米至2000微米的范围内,所使用的典型值在500-1000微米的范围内。大模场光纤116E的输出耦合到主激光放大器系统120E中。激光放大器系统120E的输出被引导到激光均匀器系统130E,该激光均匀器系统130E在目标150E处产生图像。在一些实施例中,激光可以在对准目标150E之前被引导通过区域图案化系统(诸如关于图1A讨论的区域图案化系统)。

[0045] 在操作中,大模场光纤的使用增加了模式的数量。有利的是,增加模式导致散斑尺寸减小。

[0046] 图1F图示了系统100F,该系统100F包括散斑减弱系统110F,该散斑减弱系统110F使用致动器来引起多模光纤的位移。激光源102F发射到传输光纤114F中,传输光纤114F保持在由致动器116F(包括但不限于压电或超声波致动器116F)驱动的块112F中。致动器必须具有足够的振幅和频率,以在传输光纤的线圈中诱导模式变化。对于用于增材制造的这种

类型的激光器来说,足够的驱动条件的一个示例是频率在100kHz-10 MHz的范围内,并且振幅在1-10 μ m的范围内。传输光纤114F被发射到激光放大器系统120F中。激光放大器系统120F的输出被引导到激光均匀器系统130F,该激光均匀器系统130F在目标150F处产生图像。在一些实施例中,激光可以在对准目标150E之前被引导通过区域图案化系统(诸如关于图1A讨论的区域图案化系统)。

[0047] 在操作中,致动器的使用导致光纤114F的位移。这又由于通过光纤114F的模式路径的改变而引起散斑图案变化。

[0048] 图1G图示了系统100G,该系统100G包括散斑减弱系统110G,该散斑减弱系统110G使用各种光学和声学偏转器或修改器来改变散斑图案。激光源102G发射到调制器112G中。该调制器112G由控制器116G驱动。调制器112G的输出通过单个传输光纤114G被传输到激光放大器系统120G。激光放大器系统120G的输出被引导到激光均匀器系统130G,该激光均匀器系统130G在目标150G处产生图像。在一些实施例中,激光可以在对准目标150G之前被引导通过区域图案化系统(诸如关于图1A讨论的区域图案化系统)。

[0049] 可以使用具有不同操作特性的各种类型的调制器112G。例如,根据时间来改变脉冲的透射角度的声光偏转器可以充当调制器112G。这种角度偏差导致散斑图案在下游光纤系统上发生变化。偏转器参数被选定为使得光束的偏转发生在激光脉冲长度内,并且具有足够的偏转来引起所传输的光束散斑图案的变化。

[0050] 在另一个实施例中,调制器112G使用可调谐声学梯度(TAG)透镜,该透镜可以根据时间来改变进入光纤的发射条件,从而改变散斑图案。控制器116G和透镜能力必须足以在足够短的时间内引起具有足够幅度的焦距变化,从而影响激光脉冲。例如,可以使用光焦度变化为1-10屈光度(diopter)的100kHz-10 MHz。

[0051] 在另一个实施例中,调制器112G使用电光偏转器,该电光偏转器根据时间来改变脉冲的发射角度。这种角度偏差导致散斑图案在下游光纤系统上发生变化。控制器116G和偏转器能力必须足以在足够短的时间内引起具有足够幅度的偏转,从而影响激光脉冲。例如,合适的条件是100kHz-1 GHz,并且偏转为8-90mrad。

[0052] 在另一个实施例中,调制器112G使用热光偏转器,该热光偏转器改变波导的局部折射率以导致脉冲的透射角度根据时间改变。这种角度偏差导致散斑图案改变。光源和偏转器能力必须被选定为在足够短的时间内引起足够幅度的偏转,以影响激光脉冲。例如,合适的条件是100W-2kW,并且偏转为8-180mrad。

[0053] 诸如本公开中描述的散斑控制在各种应用中以及对于各种脉冲格式方案是有用的。例如,范围在0.1-100微秒的脉冲格式方案对于诸如钻孔的应用是有利的,其中峰值功率以较低的净平均功率实现材料的熔化,而同时在诸如等离子体反射镜的等离子体诱导效应被最小化的脉冲方案中操作。

[0054] 在其他实施例中,当与损坏阈值敏感光学器件相互作用时,或者当在增材制造系统打印床中控制峰均值比(the peak to average)以避免打印缺陷(即,熔化不足和过度熔化(沸腾和/或等离子体产生))时,可以使用散斑减弱。降低峰均值比可以改善熔化均匀性,从而提高打印材料的熔化质量。在一些实施例中,散斑减弱可与光阀结合使用以调节大规模散斑增材制造、激光喷丸系统、激光加工或其他基于激光的瞄准系统,在该瞄准系统中,材料在目标位置被热改性并且均匀性是期望的。在一些实施例中,诸如本文所述的散斑减

弱可以是用于增加系统(该系统原本可能具有小于2:1、1.5:1或1.2:1的峰均值比)中的均匀性的部件。

[0055] 图2图示了包括散斑减弱系统的增材制造系统200的使用。在一个实施例中,激光源和散斑减弱系统202引导激光束通过激光前置放大器和/或放大器204进入相位控制系统206,相位控制系统206可以任选地包括空间光阀。在相位图案化之后,光可以被引导到打印床210中。在一些实施例中,来自激光源202、激光前置放大器和/或放大器204或相位控制系统206的热能量或激光能量可以主动或被动地被传输到热传递装置、热力发动机、冷却系统和束流收集器208。基于光阀的增材制造系统200的总体操作可以由一个或更多个控制器220控制,该一个或更多个控制器220可以改变激光器功率和时序。

[0056] 在一些实施例中,在系统200的操作期间生成的热能量和激光能量可以被引导到热传递装置、热力发动机、冷却系统和束流收集器208中。可替代地或另外地,在一些实施例中,束流收集器208可以是热传递系统的一部分,以向其他工业过程提供有用的热量。在另外的其他实施例中,热量可以用于为适用于生成机械功率、热电功率或电功率的热力发动机提供动力。在一些实施例中,废热可用于提高所连接部件的温度。可以理解的是,通过增加更多的前置放大器和具有适当的热管理和光隔离的放大器,可以在该架构中缩放激光通量和能量。通过增加泵浦速率或改变冷却效率来用于调节性能,那么调节冷却系统的散热特性是可能的。

[0057] 图3图示了包括散斑减弱系统的增材制造系统300。如图3所示,激光源、散斑减弱系统和放大器312可以包括相位控制系统、空间光阀和激光放大器以及诸如先前描述的其他部件。如图3所图示的,增材制造系统300使用能够提供一维或二维定向能量的激光器作为激光图案化系统310的一部分。在一些实施例中,相位图案或全息图像可以被定向。在其他实施例中,一维图案化可以被定向为线性或弯曲的条带、光栅线、螺旋线或任何其他合适的形式。通过使用分离或重叠的拼块、或具有激光强度变化的图像,二维或三维相位或图像图案化实施例也是可能的。可以使用具有非正方形边界的二维或三维相位或图像图案,可以使用重叠图像或互穿图像,以及可以由两个或更多个能量图案化系统提供图像。激光图案化系统310使用激光源和放大器312将一个或更多个连续或间歇的能量束引向束成形光学器件314。在成形之后,如果有必要,则光束由激光图案化单元316图案化,该激光图案化单元316可以包括透射光阀或反射光阀,其中一般地,一些能量被引导到废弃能量处理单元318。废弃能量处理单元可以利用由光阀的主动冷却提供的热量。相位或图像图案化的能量由图像中继器320朝向物品处理单元340中继,在一个实施例中,中继为聚焦在床346附近的二维图像322。床346(具有可选的壁348)可以形成由材料分配器342分配的室包含材料344(例如金属粉末)。由图像中继器320引导的图案化的能量可以熔化、熔融、烧结、合并(amalgamate)、改变晶体结构、影响应力分布型式(stress pattern),或者以其他方式化学或物理地改变分配的材料344,以形成具有期望性质的结构。控制处理器350可以连接到各种传感器、致动器、加热或冷却系统、监视器和控制器,以协调激光源和放大器312、束成形光学器件314、激光图案化单元316和图像中继器320以及系统300的任何其他部件的操作。如将理解的,连接可以是有线的或无线的、连续的或间歇的,并且包括用于反馈的能力(例如,可以响应于感测到的温度来调节加热)。

[0058] 在一些实施例中,束成形光学器件314可以包括多种成像光学器件,以组合、聚焦、

发散、反射、折射、均匀化从激光源和放大器312接收的一个或更多个激光束、调节从激光源和放大器312接收的一个或更多个激光束的强度、调节从激光源和放大器312接收的一个或更多个激光束的频率、或者以其他方式对从激光源和放大器312接收的一个或更多个激光束进行成形并将该一个或更多个激光束引向激光图案化单元316。在一个实施例中,可以使用波长选择反射镜(例如二向色镜)或衍射元件组合多个光束,每个光束具有不同的光波长。在其他实施例中,可以使用多面反射镜、微透镜以及折射或衍射光学元件来均匀化或组合多个束。

[0059] 激光图案化单元316可以包括相位、图像、静态或动态能量图案化元件。例如,激光束可以被具有固定或可移动元件的遮罩阻挡。为了增加图像图案化的灵活性和简易性,可以使用像素可寻址掩蔽、图像生成或传输。在一些实施例中,激光图案化单元包括可寻址光阀,该可寻址光阀单独或与其他图案化机构结合以提供图案化。光阀可以是透射的、反射的,或者使用透射元件和反射元件的组合。可以使用电寻址或光寻址来动态改变相位或图像图案。在一个实施例中,透射光寻址光阀用于旋转穿过该阀的光的偏振,其中光寻址像素形成由光投影源限定的图案。在另一实施例中,反射光寻址光阀包括用于改变读取束的偏振的写入束。在某些实施例中,可以使用非光寻址光阀。这些可以包括但不限于电可寻址像素元件、可移动反射镜或微反射镜系统、压电或微致动光学系统、固定或可移动遮罩或屏蔽件,或能够提供高强度光图案化的任何其他常规系统。

[0060] 废弃能量处理单元318用于分散、重定向或利用未被图案化并穿过图像中继器320的能量。在一个实施例中,废弃能量处理单元318可以包括被动或主动冷却元件,该被动或主动冷却元件从激光源、光阀和放大器312以及激光图案化单元316移除热量。在其他实施例中,废弃能量处理单元可以包括“束流收集器”,以吸收在限定激光图案时未使用的任何束能量并将其转换为热量。在还有的其他实施例中,可以使用束成形光学器件314回收废弃的激光束能量。可替代地或另外地,废弃的束能量可以被引导到物品处理单元340以用于加热或进一步图案化。在某些实施例中,废弃的束能量可以被引导到附加的能量图案化系统或物品处理单元。

[0061] 在一个实施例中,可以使用“开关站”式光学系统。开关站系统适于减少增材制造系统中由于要打印的图案而废弃不必要的光而造成的光浪费。开关站涉及复杂图案从其生成(在这种情况下,指的是空间图案被赋予结构化或非结构化束的平面)到其被递送经过一系列开关点的重定向。每个开关点可以任选地改变入射束的空间分布。开关站光学系统可以用于例如但不限于基于激光的增材制造技术中,其中遮罩应用于光。有利地,在根据本公开的各种实施例中,丢弃的能量可以以均匀化的形式或作为用于保持高功率效率或高生产率的图案化光来回收。此外,丢弃的能量可以回收和再利用,以增加打印更困难材料的强度。

[0062] 图像中继器320可以直接或通过开关站从激光图案化单元316接收图案化的图像(一维或二维),并将其导向物品处理单元340。以类似于束成形光学器件314的方式,图像中继器320可包括用于组合、聚焦、发散、反射、折射图案化的光、调节图案化的光的强度、调节图案化的光的频率或以其他方式对图案化的光进行成形和引导的光学器件。可以使用不需要实质性物理移动的可移动反射镜、棱镜、衍射光学元件或固态光学系统来引导图案化的光。多个透镜组件中的一个可以被配置为提供具有放大比的入射光,其中透镜组件既有第

一组光学透镜又有第二组光学透镜,并且第二组光学透镜可从透镜组件交换。安装在补偿台架上的一组或更多组反射镜和安装在构建平台台架上的最终反射镜的旋转可用于将来自前体反射镜的入射光引导到期望的位置上。补偿台架和构建平台台架的平移移动也能够确保来自前体反射镜的入射光与物品处理单元340的距离大体上等于图像距离。实际上,这使对于不同材料的光束递送尺寸和强度能够在构建区域的位置上快速变化,同时确保系统的高可用性。

[0063] 物品处理单元340可以包括有壁的室348和床344(共同限定构建室),以及用于分配材料的材料分配器342。材料分配器342可以分配、移除、混合、提供材料类型或颗粒尺寸的级配或变化,或者调节材料的层厚度。材料可包括金属、陶瓷、玻璃、聚合物粉末、能够经历从固体到液体再回到固体的热诱导相变的其他可熔化材料、或其组合。材料还可以包括可熔化材料和不可熔化材料的复合材料,其中成分中的任一个或两个可以被成像中继系统选择性地作为目标以熔化可熔化的成分,同时沿着不可熔化材料保留或使不可熔化材料经历蒸发/毁坏/燃烧或其他破坏过程。在某些实施例中,可以使用材料的浆料、喷雾、涂层、线、条带或片材。不需要的材料可以通过使用鼓风机、真空系统、清扫、振动、摇动、倾翻或倒置床346来移除以用于处置或回收。

[0064] 除了材料处理部件之外,物品处理单元340可以包括用于保持和支撑3D结构的部件、用于加热或冷却室的机构、辅助光学器件或支撑光学器件、以及用于监测或调节材料或环境条件的传感器和控制机构。物品处理单元可以全部或部分地支持真空或惰性气体气氛,以减少不需要的化学相互作用以及减轻火灾或爆炸(特别是对于活性金属)的风险。在一些实施例中,可以使用其他气氛的各种纯气体或混合物,包括包含以下项的纯气体或混合物:Ar、He、Ne、Kr、Xe、CO₂、N₂、O₂、SF₆、CH₄、CO、N₂O、C₂H₂、C₂H₄、C₂H₆、C₃H₆、C₃H₈、i-C₄H₁₀、C₄H₁₀、1-C₄H₈、cic-2-C₄H₇、1,3-C₄H₆、1,2-C₄H₆、C₅H₁₂、n-C₅H₁₂、i-C₅H₁₂、n-C₆H₁₄、C₂H₃Cl、C₇H₁₆、C₈H₁₈、C₁₀H₂₂、C₁₁H₂₄、C₁₂H₂₆、C₁₃H₂₈、C₁₄H₃₀、C₁₅H₃₂、C₁₆H₃₄、C₆H₆、C₆H₅-CH₃、C₈H₁₀、C₂H₅OH、CH₃OH、iC₄H₈。在一些实施例中,可以使用制冷剂或大的惰性分子(包括但不限于六氟化硫)。可以使用具有按体积计(或按数量密度计)至少约1%的He以及选定百分比的惰性/非反应性气体的封闭大气组分(enclosure atmospheric composition)。

[0065] 在某些实施例中,多个物品处理单元或构建室(每个都具有容纳粉末床的构建平台)可以与多个光学机械组件结合使用,该多个光学机械组件被布置成接收一个或更多个入射能量束并将其引导到构建室中。多个室允许在一个或更多个构建室内同时打印一个或更多个打印作业。在其他实施例中,可移除的室侧壁可以简化打印物体从构建室中移除,从而允许粉末材料的快速交换。该室还可以配备可调节的过程温度控制器。在还有的其他实施例中,构建室可以被配置为可定位在激光光学器件附近的可移除打印机盒。在一些实施例中,可移除打印机盒可以包括粉末或支持与粉末供应器的可拆卸连接。在制造项目之后,可移除打印机盒可以被移除并被新的打印机盒取代。

[0066] 在另一个实施例中,一个或更多个物品处理单元或构建室可以具有保持在固定高度的构建室,而光学器件是可竖直移动的。透镜组件的最终光学器件和粉末床的顶表面之间的距离可以通过将最终光学器件向上转位(index)相当于粉末层厚度的距离来管理为基本上恒定,同时将构建平台保持在固定高度。有利的是,与竖直移动的构建平台相比,可以更容易地制造大而重的物体,因为不需要构建平台的不断变化的质量的精确微米级移动。

通常,旨在用于体积大于约0.1-0.2立方米(即大于100-200升或重于500-1,000kg)的金属粉末的构建室将最受益于将构建平台保持在固定高度。

[0067] 在一个实施例中,粉末床的层的一部分可以被选择性地熔化或熔融,以由粉末床层的熔融部分形成一个或多个临时壁,从而在构建平台上容纳粉末床层的另一部分。在选定的实施例中,流体通道可以形成在一个或多个第一壁中,以实现改进的热管理。

[0068] 在一些实施例中,增材制造系统可以包括物品处理单元或具有构建平台的构建室,构建平台支撑粉末床,粉末床能够倾斜、倒置和摇动,以将粉末床大体上与料斗中的构建平台分离。形成粉末床的粉末材料可以收集在料斗中,以便在以后的打印作业中重复使用。粉末收集过程可以是自动化的,并且真空系统或气体喷射系统也用于帮助粉末去除和移除。

[0069] 在一些实施例中,增材制造系统可以被配置为容易地处理比可用的构建室更长的零件。连续(长)零件可以在纵向方向上从第一区域顺序前进到第二区域。在第一区域中,颗粒材料的选定颗粒可以被合并。在第二区域中,颗粒材料的未合并颗粒可以被移除。连续零件的第一部分可以从第二区域前进到第三区域,而连续零件的最后部分形成在第一区域内,并且第一部分在侧向方向和横向方向上保持在与第一部分在第一区域和第二区域内占据的位置相同的位置。实际上,增材制造和清除(例如,未使用或未合并的粒状材料的分离和/或再利用)可以在零件输送机上的不同位置或区域处并行(即,同时)进行,而不需要为了移除粒状材料和/或零件而停止。

[0070] 在另一个实施例中,可通过使用外壳来提高增材制造能力,该外壳限制外壳内部和外壳外部之间的气体物质交换。气闸提供了内部和外部之间的接口;其中内部具有多个增材制造室,包括支持粉末床熔融的室。气体管理系统将内部内的气态氧保持在极限氧浓度处或低于极限氧浓度,从而增加了系统中可使用的粉末类型和处理的灵活性。

[0071] 在另一个制造实施例中,可以通过将物品处理单元或构建室容纳在外壳内来提高能力,构建室能够创建重量大于或等于2,000千克的零件。气体管理系统可以将外壳内的气态氧保持在低于大气水平的浓度。在一些实施例中,轮式交通工具可以将零件从外壳内部运输通过气闸,因为气闸用来在外壳内部的气体环境和外壳外部的的气体环境之间进行缓冲,并且运输到外壳和气闸两者外部的的位置。

[0072] 其他制造实施例涉及从粉末床实时收集粉末样品。摄取系统用于粉末样品的过程中(in-process)的收集和表征。收集可以周期性地,并且表征的结果导致对粉末床熔融过程的调节。摄取系统可以任选地用于审计、过程调节或行为(诸如修改打印机参数或验证许可粉末材料的正确使用)中的一个或多个。

[0073] 描述了对增材制造过程的又一种改进,这可以通过使用操纵器装置来提供,操纵器装置诸如为起重机、提升台架、机器人臂或类似装置,该装置允许操纵人难以或不可能移动的零件。操纵器装置可以抓住零件上的各种永久或临时增材制造的操纵点,以使零件能够重新定位或操纵。

[0074] 控制处理器350可以被连接以控制本文描述的增材制造系统300的任何部件,包括激光器、激光放大器、光学器件、热控件、构建室和操纵器装置。控制处理器350可以连接到各种传感器、致动器、加热或冷却系统、监视器和控制器以协调操作。范围广泛的传感器,包括成像器、光强度监视器、热传感器、压力传感器或气体传感器,可用于提供控制或监测中

使用的信息。控制处理器可以是单个中央控制器,或者可替代地,可以包括一个或更多个独立的控制系统。控制器处理器350设置有允许输入制造指令的接口。范围广泛的传感器的使用允许各种反馈控制机制,以提高质量、制造产量和能效。

[0075] 图4中图示了支持使用适于增材制造或减材制造的相位图案化激光能量的制造系统的操作的一个实施例。在该实施例中,流程图400图示了由所描述的光学和机械部件支持的制造过程的一个实施例。在步骤402中,将材料定位在床、室或其他合适的支撑件中。材料可以是使用减材制造技术进行激光切割的金属板,或者是粉末,该粉末能够通过增材制造技术被熔化、熔融、烧结、诱导以改变晶体结构、具有受影响的应力分布型式、或者以其他方式化学或物理地改变以形成具有期望性质的结构。

[0076] 在步骤404中,未图案化的激光能量由一个或更多个能量发射器(包括但不限于固态或半导体激光器)发射,通过散斑减弱系统,然后由一个或更多个激光放大器放大。在步骤406中,未图案化的激光能量被成形和改变(例如,强度调制或聚焦)。在步骤408中,该未图案化的激光能量由相位图案化单元图案化,该相位图案化单元可以包括光阀的可选使用,在步骤410中处理不形成相位或图像图案的一部分的能量(这可以包括使用关于图2和图3公开的束流收集器,该束流收集器提供对作为图案化或未图案化的能量回收的废热或者在步骤404中通过冷却激光放大器产生的废热的转换)。在步骤412中,现在形成一维或二维图像的图案化的能量被朝向材料中继。在步骤414中,图像被应用于材料,减材处理或者增材地构建3D结构的一部分。对于增材制造,可以重复这些步骤(循环416),直到图像(或不同的后续的图像)已经应用于材料的顶层的所有必要区域。当完成对材料的顶层的能量施加时,可以施加新的层(循环418),以继续构建3D结构。这些过程循环持续直到3D结构完成,此时剩余的多余材料可以被移除或回收。

[0077] 图5是增材制造系统的一个实施例,该增材制造系统包括相位和/或图像图案化单元以及能够重复使用相位或图像图案化的二维能量的开关站系统。增材制造系统520具有能量图案化系统,该能量图案化系统具有将一个或更多个连续或间歇的激光束引向束成形光学器件514的激光器、散斑减弱系统和放大器源512。多余的热量可以被转移到废弃能量处理单元522中。在成形之后,光束被激光相位图案化单元530二维图案化,其中一般地,一些能量被引导到废弃能量处理单元522。图案化能量由多个图像中继器532中的一个朝向一个或更多个物品处理单元534A、534B、534C或534D中继,典型地作为聚焦在可移动或固定高度床附近的二维图像。该床可以位于包括粉末料斗或类似材料分配器的盒内。由图像中继器532引导的图案化激光束可以熔化、熔融、烧结、合并、改变晶体结构,影响应力分布型式,或者以其他方式化学地或物理地改变分配的材料,以形成具有期望性质的结构。

[0078] 在该实施例中,废弃能量处理单元具有多个部件以允许重复使用废弃的图案化的能量。来自激光放大器和源512的冷却剂流体可以被引导到发电机524、加热/冷却热管理系统525或能量转储场526中的一者或更多者中。另外,中继器528A、528B和528C可以分别地将能量转移到发电机524、加热/冷却热管理系统525、或能量转储场526。任选地,中继器528C可以将图案化能量引导到图像中继器532中以用于进一步处理。在其他实施例中,图案化能量可以由中继器528C引导到中继器528B和528A,用于插入到由激光器和放大器源512提供的激光束中。也可以使用图像中继器532来重复使用图案化图像。图像可以被重定向、倒置、镜像、子图案化或以其他方式变换以分配到一个或更多个物品处理单元534A-534D。有利

地,图案化光的重复使用可以提高增材制造工艺的能量效率,并且在一些情况下提高指向床的能量强度或减少制造时间。

[0079] 受益于前述描述和相关附图中给出的教导的本领域技术人员将想到本发明的许多修改和其他实施例。因此,应当理解,本发明不限于所公开的特定实施例,并且修改和实施例旨在包括在所附权利要求的范围内。还应当理解,本发明的其他实施例可以在没有本文未具体公开的元件/步骤的情况下实践。

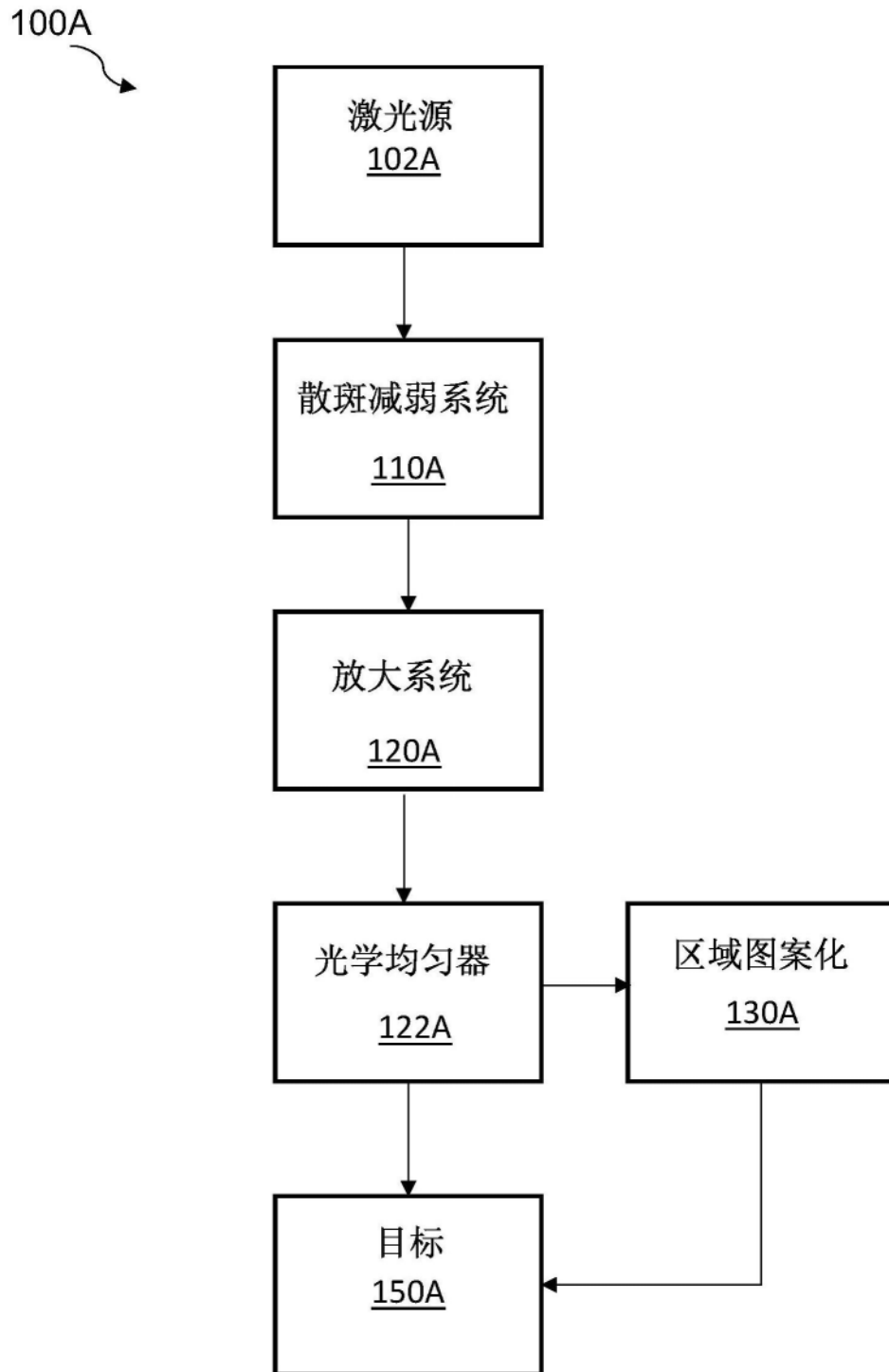


图1A

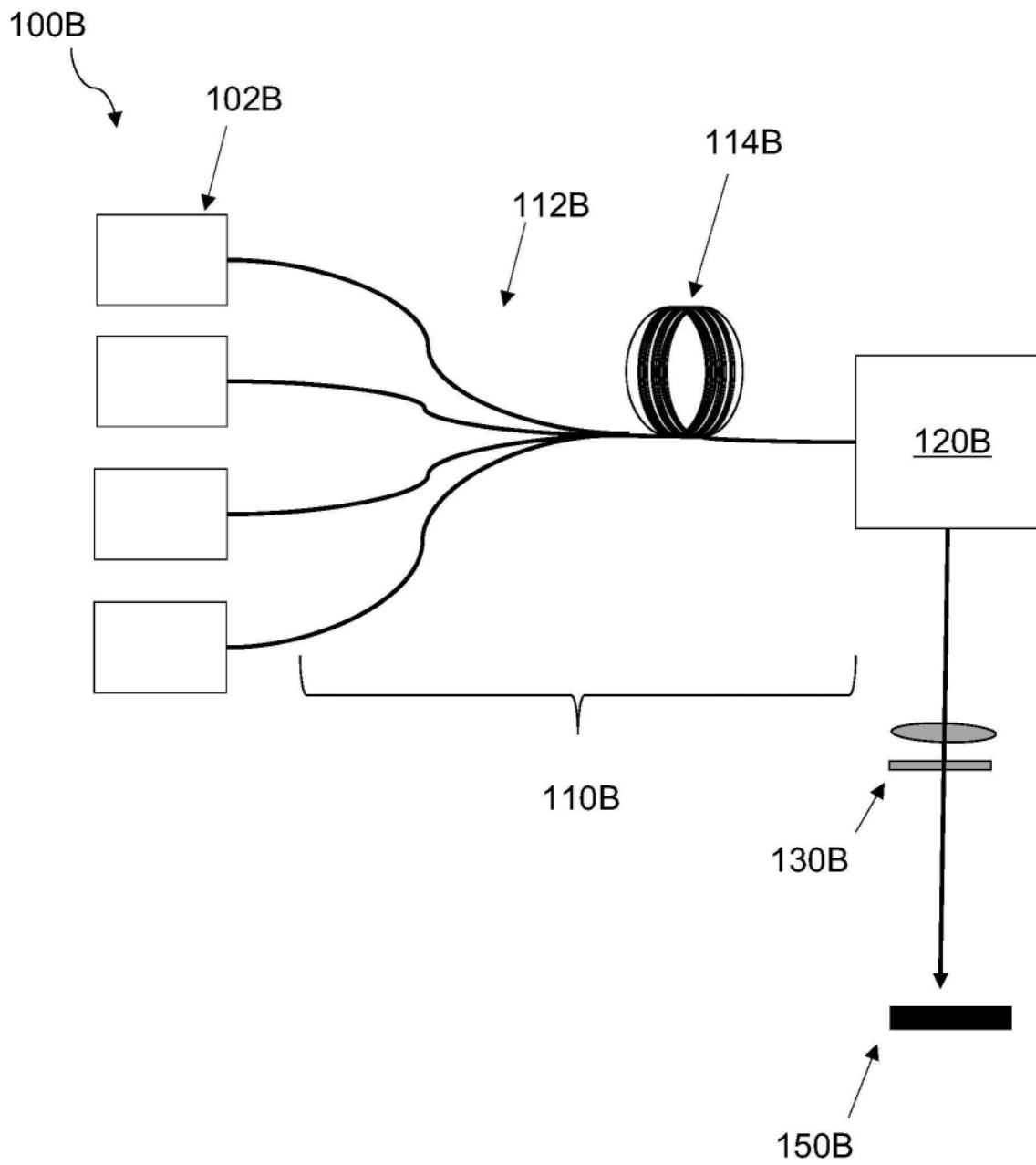


图1B

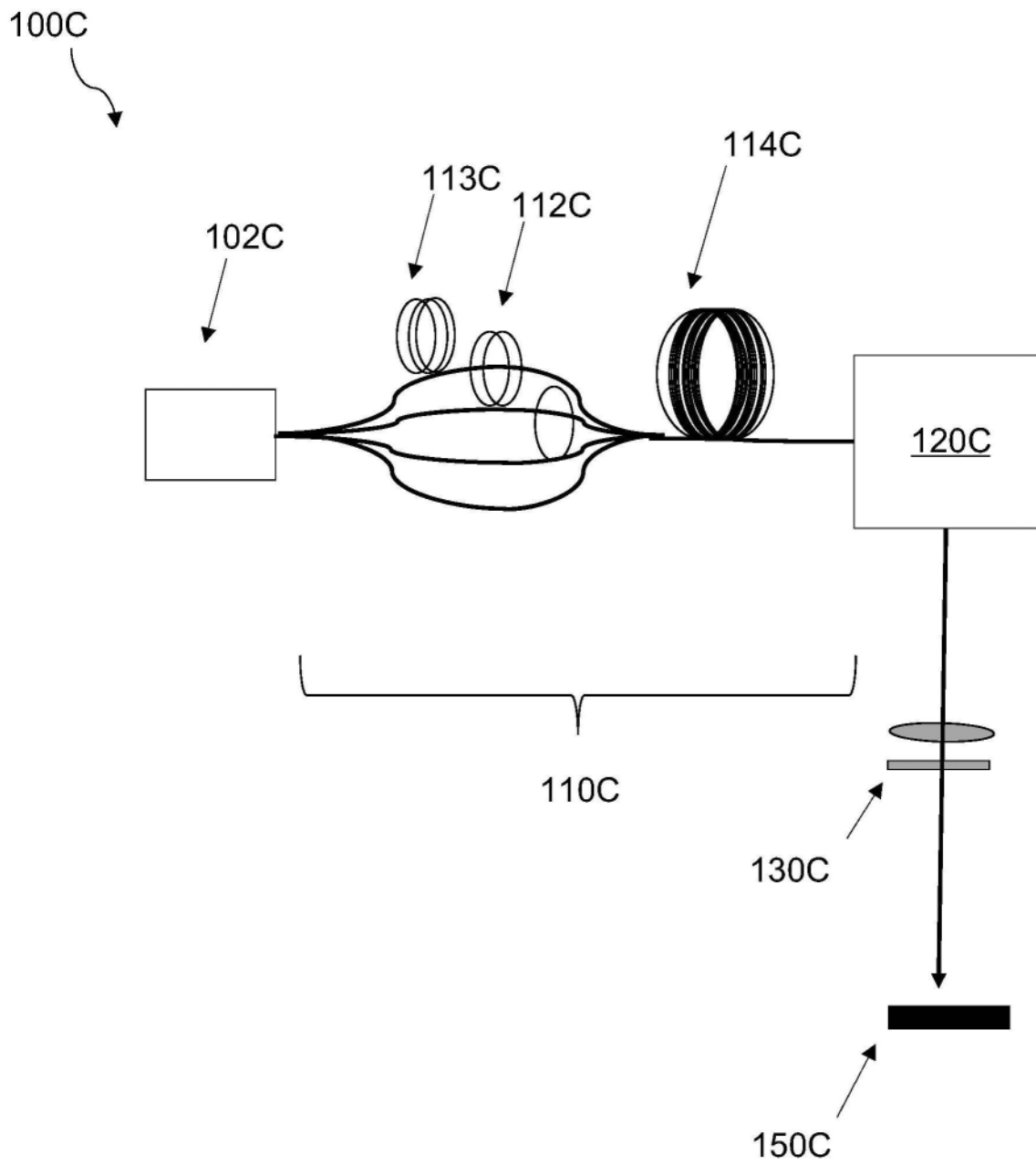


图1C

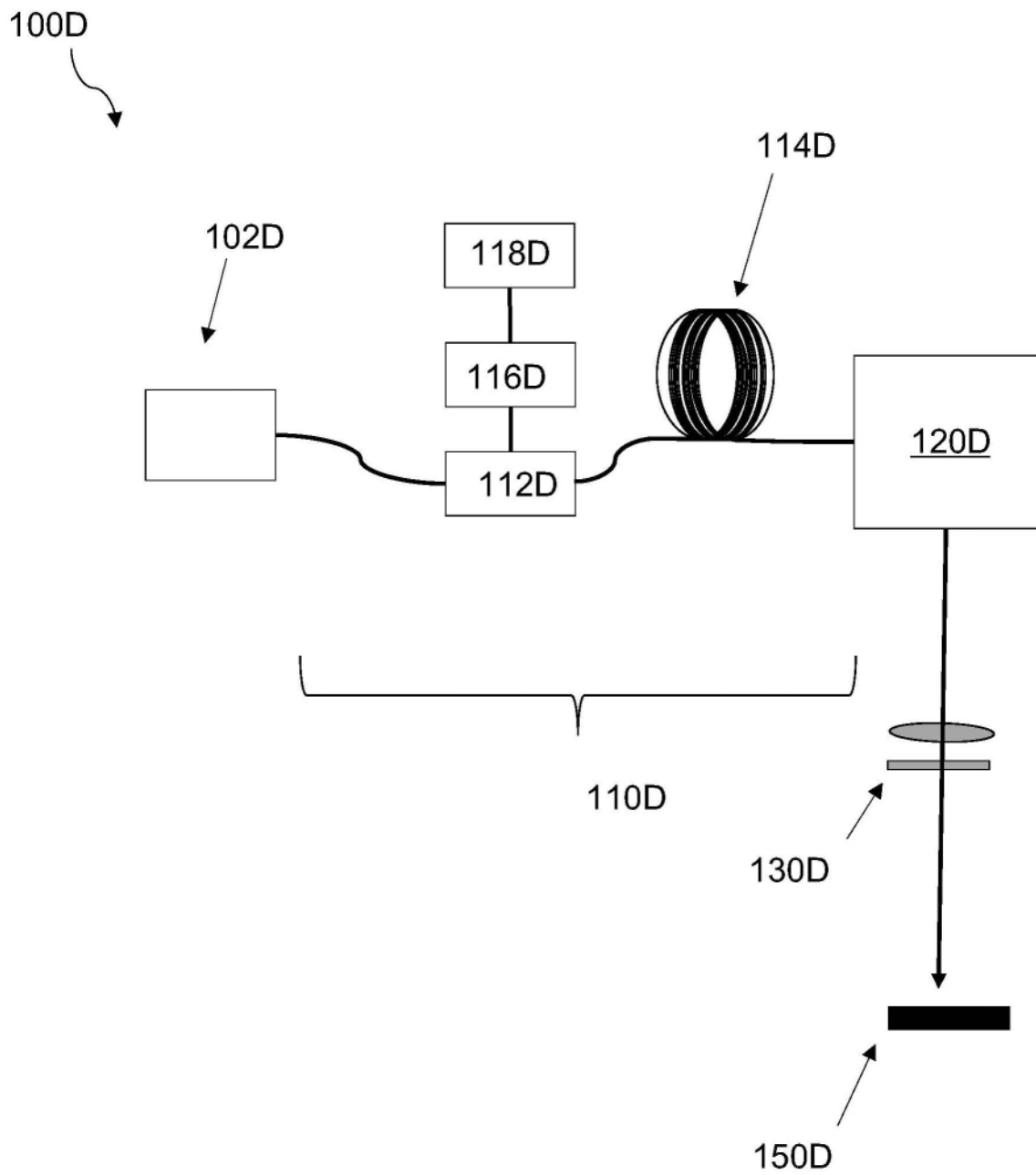


图1D

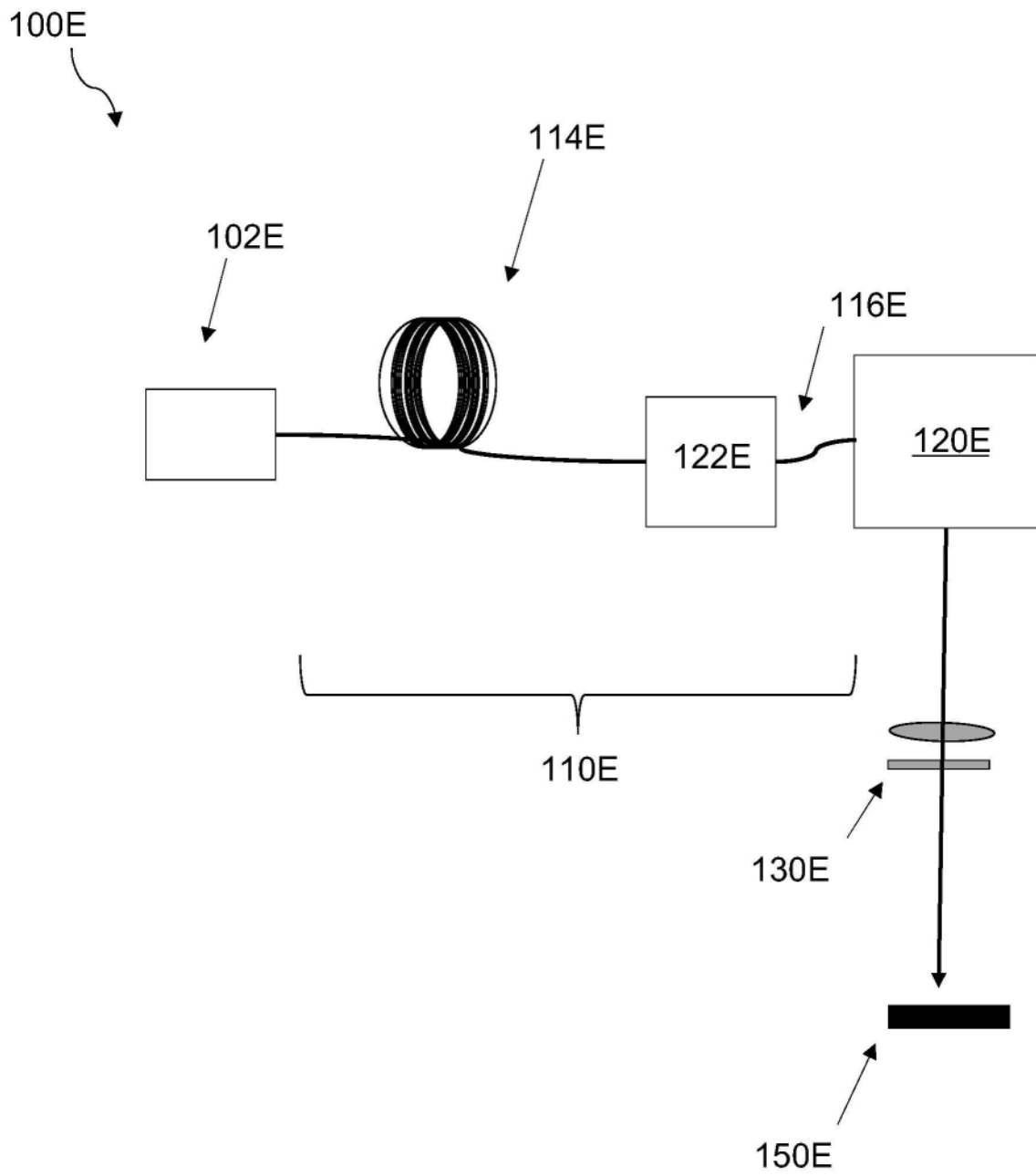


图1E

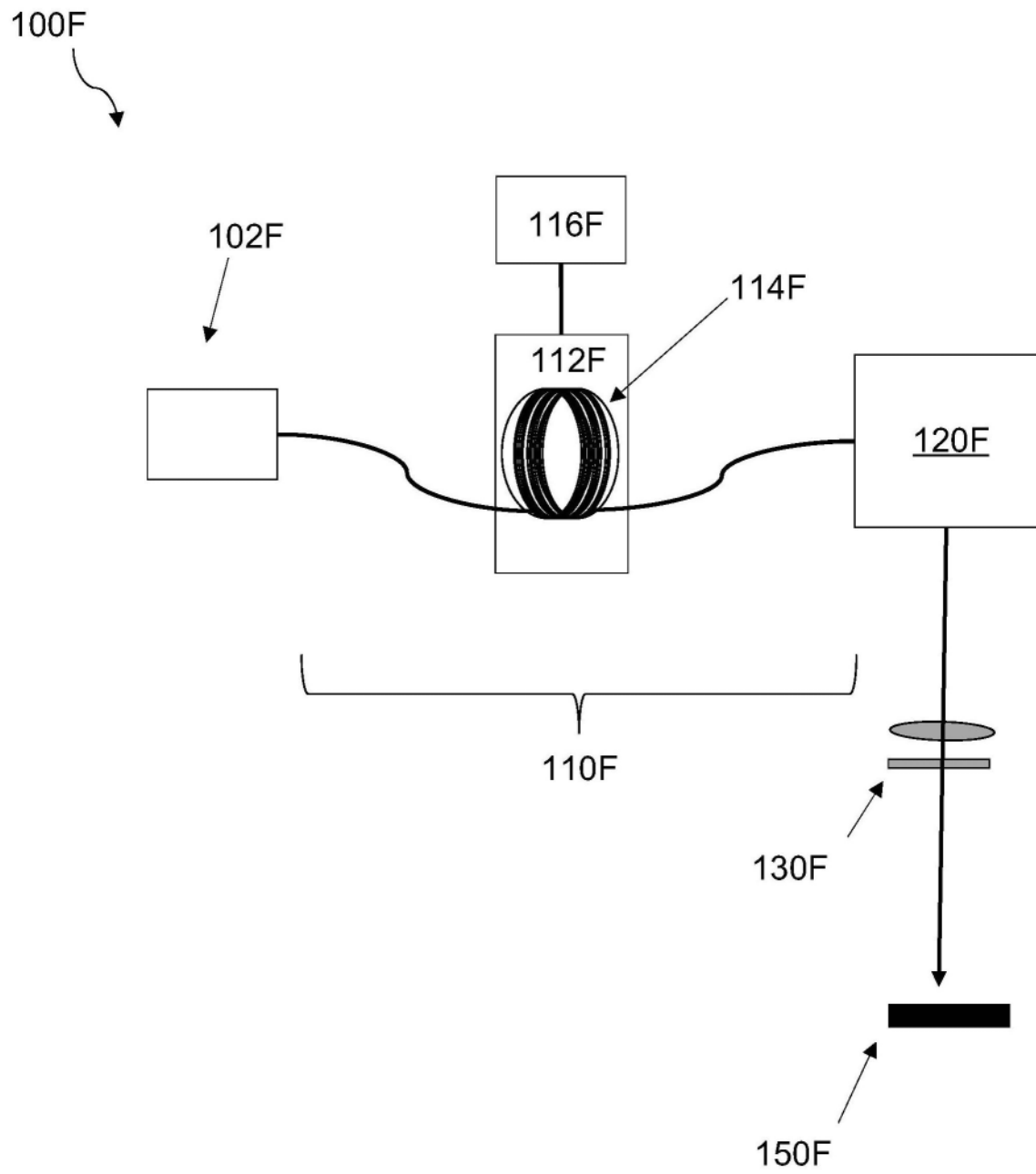


图1F

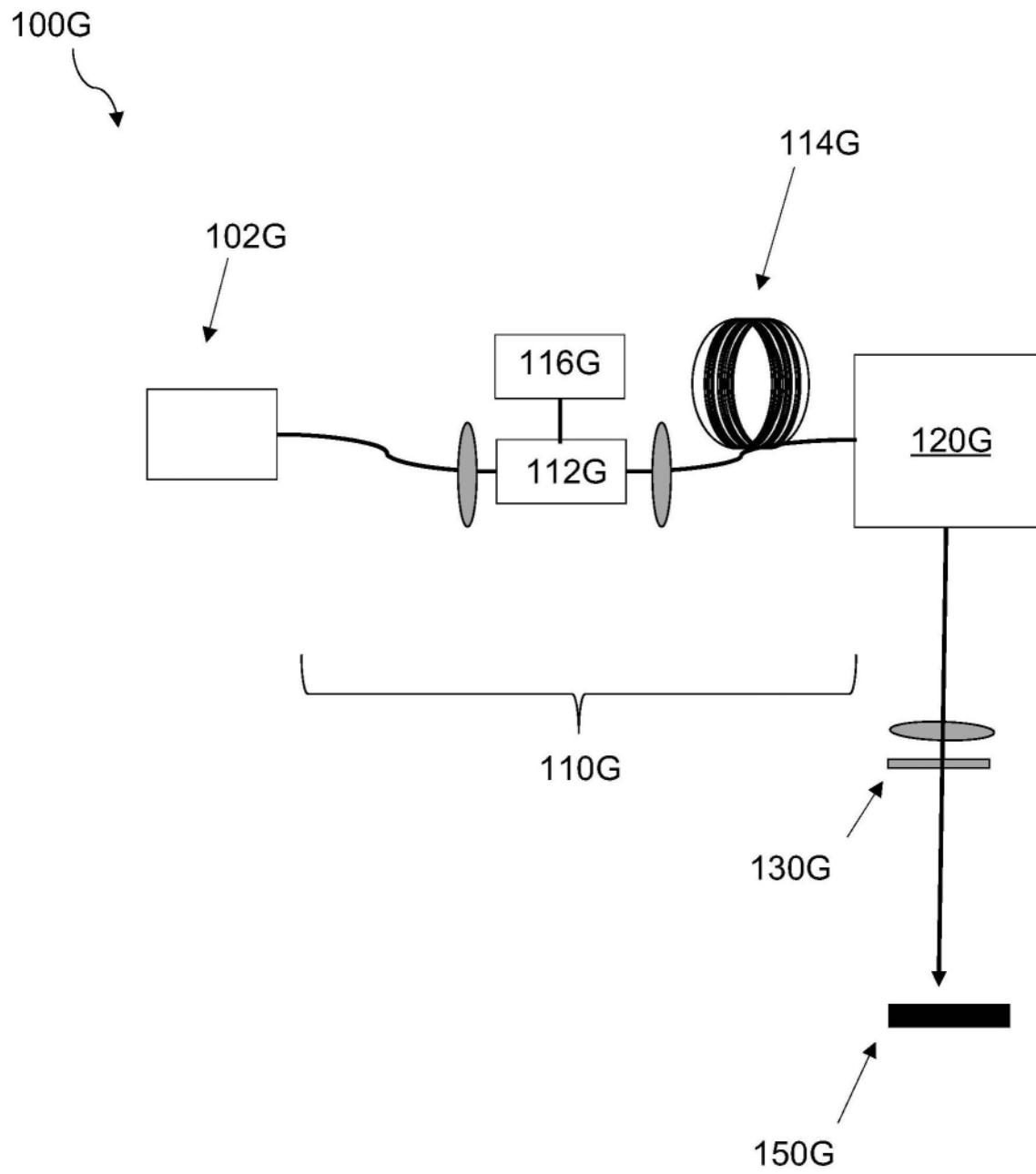


图1G

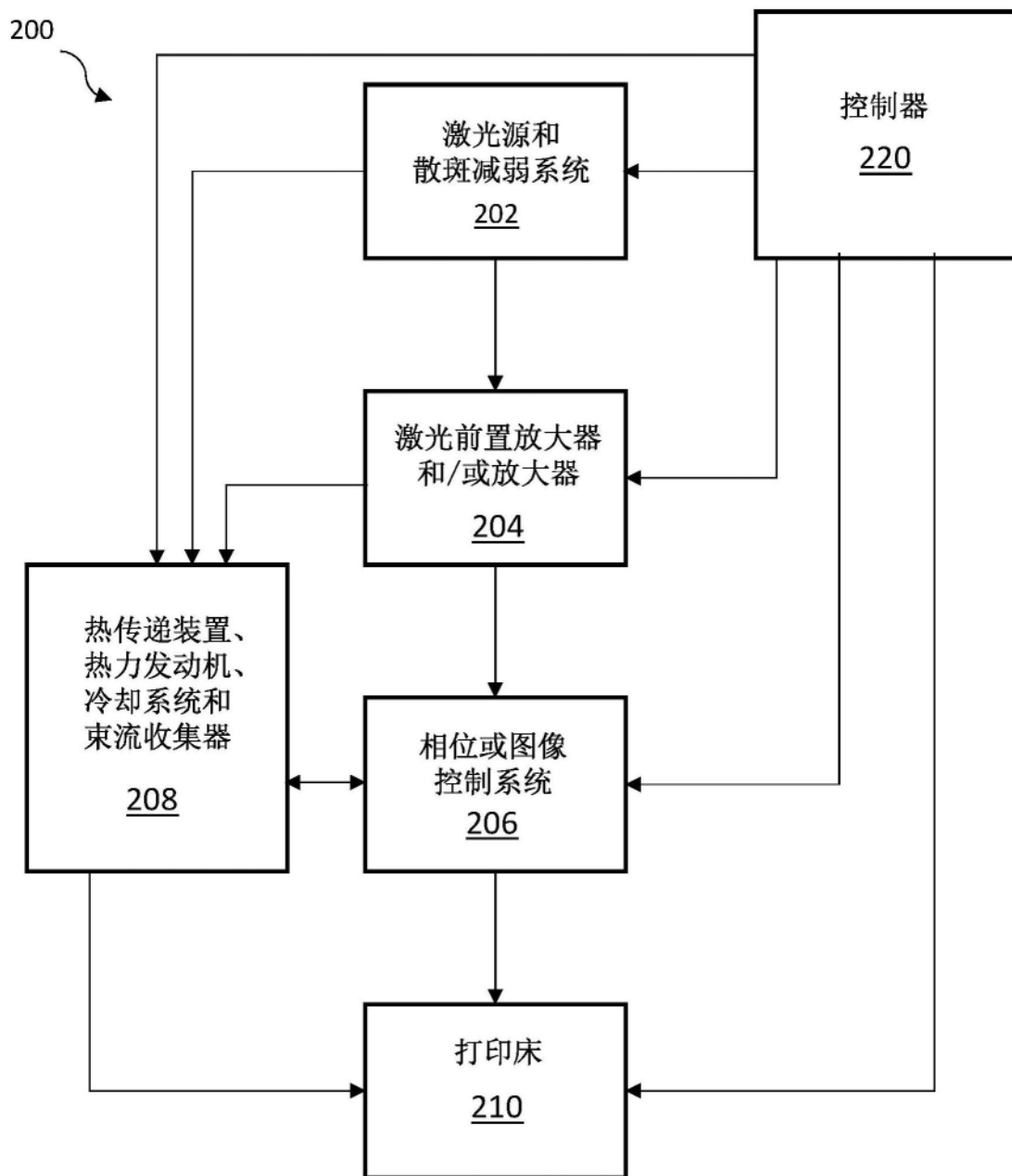


图2

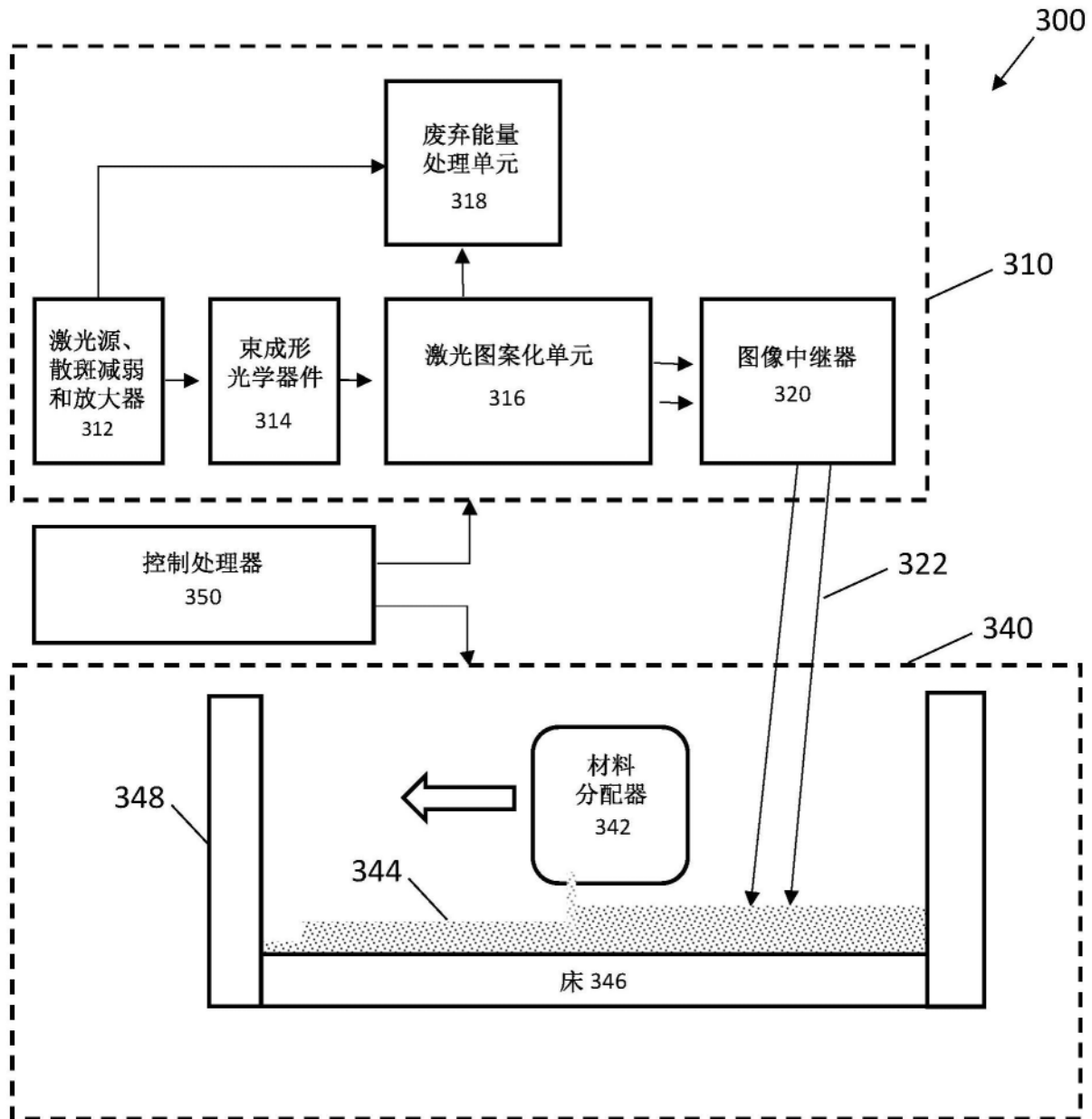


图3

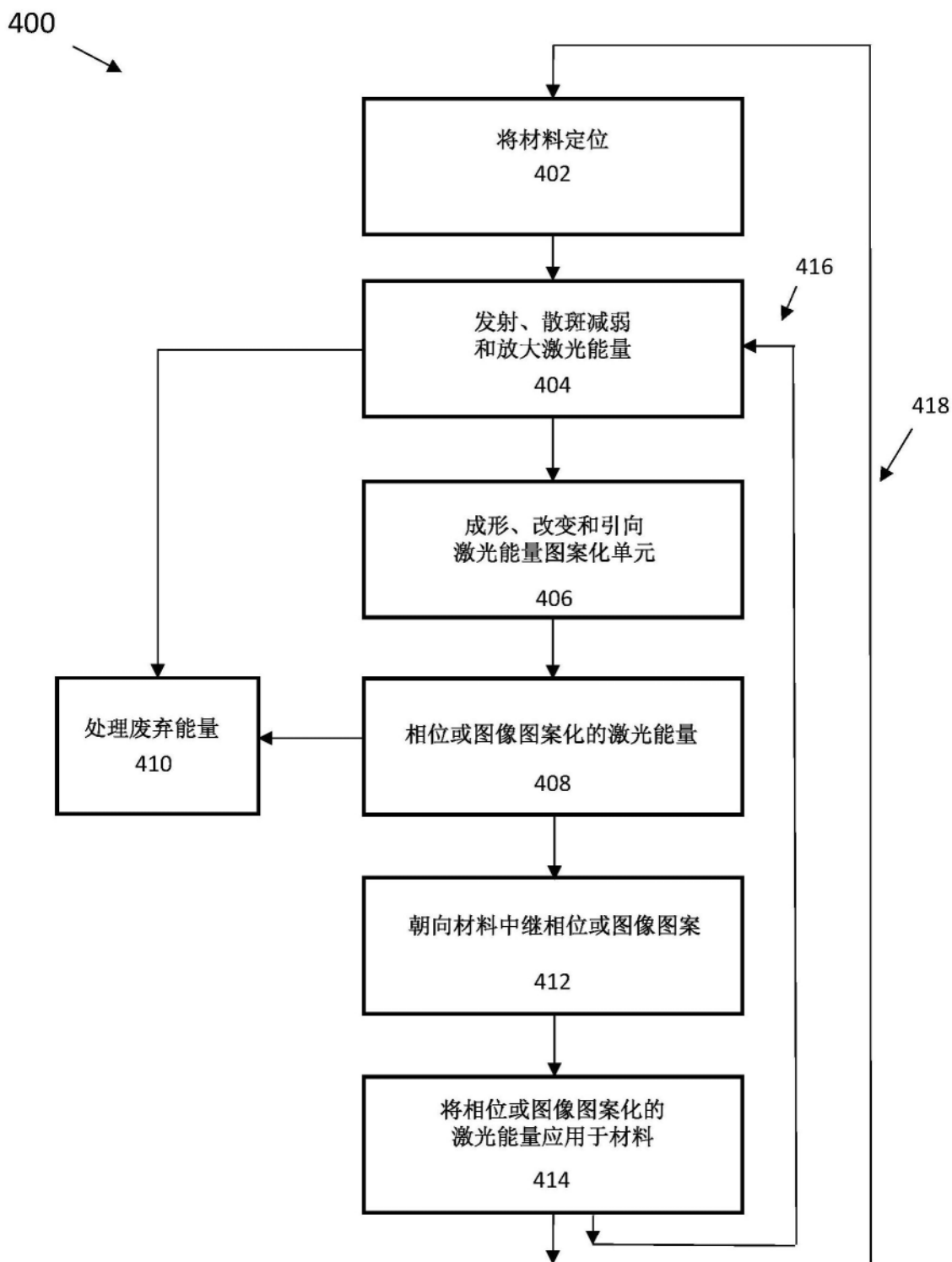


图4

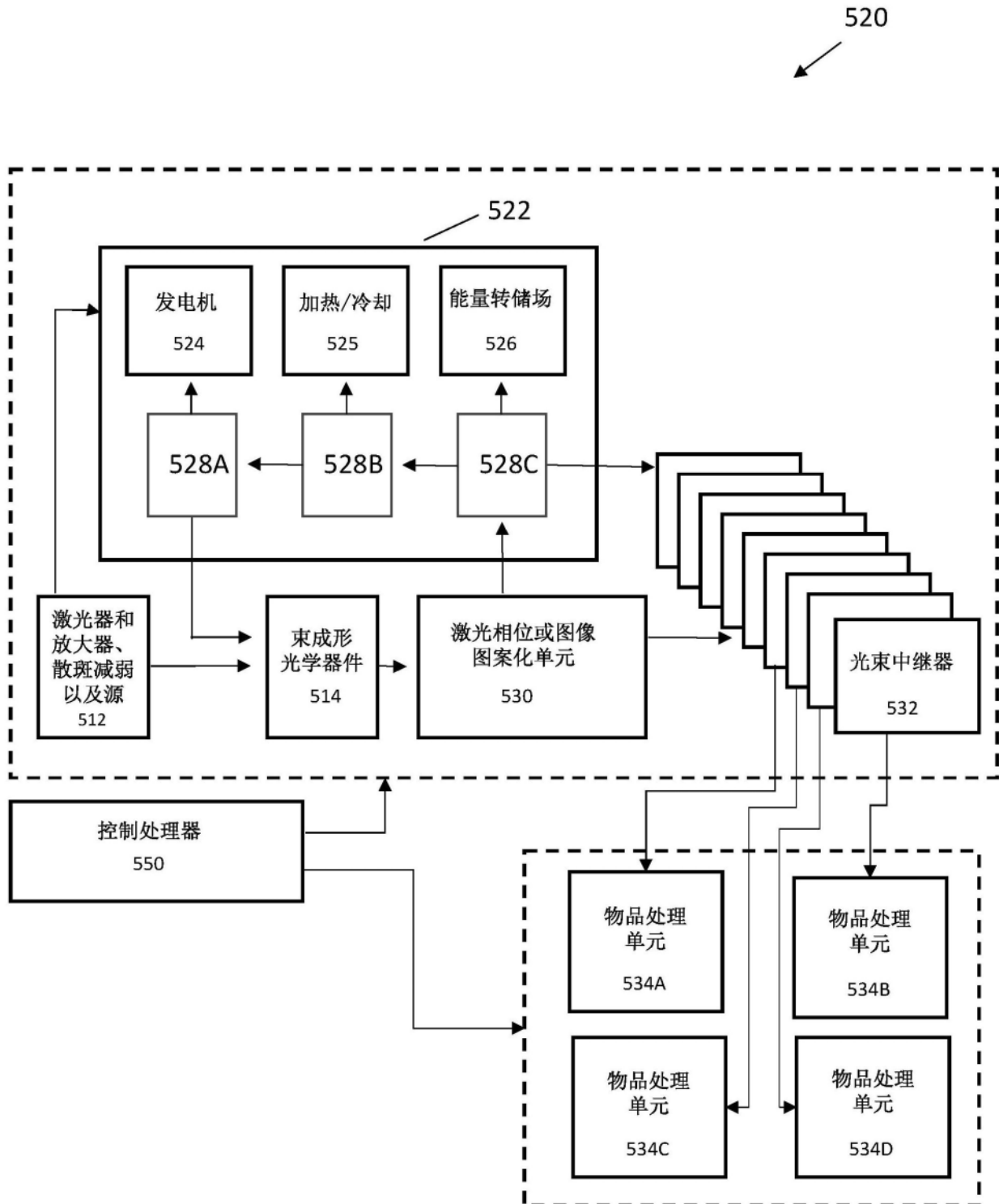


图5