



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117083486 A

(43) 申请公布日 2023. 11. 17

(21) 申请号 202280018529.9

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
11105

(22) 申请日 2022.02.11

专利代理师 陈金林

(30) 优先权数据

63/155,354 2021.03.02 US

(51) Int.Cl.

F21V 9/08 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.09.01

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/CN2022/076011 2022.02.11

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/183895 EN 2022.09.09

(71) 申请人 港大科桥有限公司

地址 中国香港薄扶林道

(72) 发明人 褚智勤 景纪祥 徐峰

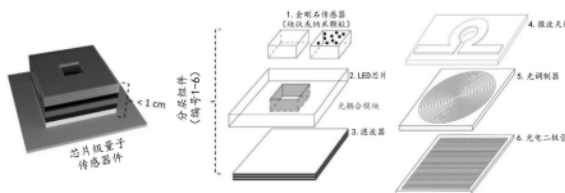
权利要求书1页 说明书4页 附图5页

(54) 发明名称

将金刚石与LED集成用于片上量子传感的方法和装置

(57) 摘要

一种小体积光电芯片,其包含LED芯片,该LED芯片具有嵌入其中的具有氮空位中心的金刚石,其中该LED芯片产生具有第一波长的光,并且具有氮空位中心的金刚石在被具有第一波长的光激发后产生具有第二波长的光。



1. 一种光电芯片,包括:

其中嵌入了具有氮空位中心的金刚石的LED芯片,其中,所述LED芯片产生具有第一波长的光,并且所述具有氮空位中心的金刚石在被具有第一波长的光激发后产生具有第二波长的光。

2. 根据权利要求1所述的光电芯片,其中,所述LED芯片是GaN LED芯片。

3. 根据权利要求1所述的光电芯片,其中,具有氮空位中心的金刚石包括块状金刚石或金刚石纳米颗粒。

4. 根据权利要求3所述的光电芯片,其中,所述金刚石纳米颗粒被包括在光学粘合剂内。

5. 根据权利要求1所述的光电芯片,其尺寸为 100mm^3 或更小。

6. 根据权利要求1所述的光电芯片,其尺寸为 10mm^3 或更小。

7. 根据权利要求1所述的光电芯片,其尺寸为 1mm^3 或更小。

8. 根据权利要求1所述的光电芯片,其中,所述LED芯片为GaN LED芯片,所述第一波长为 375nm 至 521nm 。

9. 根据权利要求1所述的光电芯片,其中,所述LED芯片为GaN LED芯片,所述第一波长为 375nm 至 521nm ,所述第二波长为 625nm 至 700nm 。

10. 一种量子传感器件,包括:

LED芯片;

嵌入在所述LED芯片中或与所述LED芯片相邻的具有氮空位中心的金刚石,其中,所述LED芯片产生具有第一波长的光,并且具有氮空位中心的所述金刚石在被具有第一波长的光激发后产生具有第二波长的光;

微波天线,所述微波天线的一侧与所述LED芯片相邻;

位于所述微波天线的另一侧的光电二极管;以及

位于所述LED芯片和所述金刚石之间的光调制器。

11. 根据权利要求10所述的量子传感器件,其中,具有氮空位中心的所述金刚石被嵌入所述LED芯片中。

12. 根据权利要求10所述的量子传感器件,其中,具有氮空位中心的所述金刚石与所述LED芯片的第一表面相邻,并且所述微波天线与所述LED芯片的第二表面相邻。

13. 根据权利要求10所述的量子传感器件,其中,具有氮空位中心的所述金刚石被嵌入所述LED芯片中。

14. 根据权利要求10所述的量子传感器件,其中,所述LED芯片是GaN LED芯片。

15. 根据权利要求10所述的量子传感器件,其尺寸为 100mm^3 或更小。

将金刚石与LED集成用于片上量子传感的方法和装置

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本国际专利申请要求2021年3月2日提交的美国临时专利申请63/155,354号的权益,其全部内容通过引用结合于此。

技术领域

[0003] 公开了用于将金刚石与LED集成用于片上量子传感的小体积器件。

背景技术

[0004] 缺乏用于基于NV的量子传感的集成光源。在用于NV激发的量子传感设置中,通常采用具有各种必要附件的复杂激光系统。然而,该系统不仅占据光学台上的大空间(约 m^3 的体积),而且消耗巨大的经济成本。此外,缺乏可移植性也导致对许多有用应用的各种限制。

发明内容

[0005] 为了提供对本发明某些方面的基本理解,下面给出了本发明的简要发明内容。该发明内容不是本发明的广泛概述。它既不旨在标识本发明的关键或重要元素,也不描绘本发明的范围。相反,本发明内容的唯一目的是以简化的形式呈现本发明的一些概念,作为下文呈现的更详细描述的前言。

[0006] 这里提供的是可靠的、成本有效的和紧凑的LED芯片作为光源。本文描述了一种通过将金刚石传感器堆叠到单个LED芯片上的紧凑架构,其用作NV激发的接近光源。这种方法的尺寸(约 mm^3 的体积)和成本都显著降低,并且所集成的器件变得轻便,这增强了实际应用。

[0007] 本文公开了包含LED芯片的光电芯片,该LED芯片具有嵌入其中的具有氮空位中心的金刚石,其中LED芯片产生具有第一波长的光,并且具有氮空位中心的金刚石在被具有第一波长的光激发后产生具有第二波长的光。

[0008] 还公开了由LED芯片制成的量子传感器件;具有氮空位中心的金刚石嵌入在LED芯片中或与LED芯片相邻,其中LED芯片产生具有第一波长的光,并且具有氮空位中心的金刚石在被具有第一波长的光激发后产生具有第二波长的光;微波天线,该微波天线的一侧与LED芯片相邻;位于该微波天线的另一侧的光电二极管;以及位于LED芯片和金刚石之间的光调制器。

[0009] 为了实现前述和相关目的,本发明包括在下文中充分描述并在权利要求中特别指出的特征。以下描述和附图详细阐述了本发明的某些说明性方面和实施方式。然而,这些仅仅是可以采用本发明原理的各种方式中的一些方式的指示。当结合附图考虑时,本发明的其他目的、优点和新颖特征将从本发明的以下详细描述中变得显而易见。

附图说明

[0010] 图1描绘了用于量子传感的混合芯片架构的概念设计。所提出的芯片级量子传感

器件,其所有分层组件都在厘米级以下的占用区域上,能够以改进的性能执行基于NV的量子传感。

[0011] 图2描绘了初步数据:图2中的a示出封装的倒装芯片LED的光学图像,图2中的b示出其中心具有激光切割孔的倒装芯片LED的光学图像,图2中的c示出在1mA偏置电流下操作的面朝上的LED的光学图像,图2中的d示出安装在PCB板上的制造好的面朝上的LED芯片的光学图像,其中激光切割的块状金刚石板(红色箭头)位于顶部。LED芯片的尺寸为 $1000\mu\text{m}$ (L) \times $1000\mu\text{m}$ (W) \times $150\mu\text{m}$ (H), b中的孔为 $200\mu\text{m}$ (L) \times $200\mu\text{m}$ (W), d中的金刚石尺寸为 $420\mu\text{m}$ (L) \times $700\mu\text{m}$ (W) \times $300\mu\text{m}$ (H)。

[0012] 图3描绘了初步数据:图3中的a示出实验细节的示意图。图3中的b示出测得的LED的发射光谱和由LED激发的NV中心的荧光光谱(施加的电流=10mA),图3中的c示出在变化的被施加到LED的电流下的饱和曲线,以及图3中的d示出包含整体NV中心的任意选择的金刚石纳米颗粒的典型ODMR光谱。

[0013] 图4描绘了显示与LED芯片集成的金刚石的不同设计的示意图。图4中的(a) - (c) 示出平行光耦合路径,其中金刚石(即块状金刚石、金刚石纳米颗粒)位于LED芯片上;图4中的(d) - (e) 示出正交光耦合路径,其中金刚石(即块状金刚石、金刚石纳米颗粒)位于LED芯片旁边;图4中的(f) - (g) 示出组合的光耦合路径,其中金刚石可以嵌入LED的蓝宝石板内(例如,在倒装芯片LED中)。

[0014] 图5描绘了初步数据:所集成的器件中的模拟光线分布:图5中的(a) 示出金刚石位于面朝上的LED顶部;图5中的(b) 示出金刚石位于倒装LED顶部;图5中的(c) 示出金刚石位于倒装芯片LED旁边;以及图5中的(d) 示出金刚石位于倒装芯片LED内部。左侧面板是显示架构的示意图,中间面板是3D视图,右侧面板是横截面视图。LED芯片的尺寸为 $1\text{mm} \times 1\text{mm} \times 0.15\text{mm}$, (a) - (c) 中的金刚石也是如此(金刚石尺寸为 $0.3\text{mm} \times 0.3\text{mm} \times 0.15\text{mm}$)。LED的激发功率被设置为2W。

具体实施方式

[0015] 基于金刚石中氮空位(NV)中心(一种光学可寻址点缺陷)的量子传感呈现了技术机会。这种量子技术主要通过体光学方法(约 mm^3 以下的体积)来实现,例如,具有位于光学台上用于NV激发的各种光学组件的自由空间激光器。这种基于激光的系统对于控制和测量来说是昂贵且不连续的,严重限制了它的实际应用。然而,如本文所述,描述了通过将金刚石传感器堆叠到光电芯片上能够进行片上量子传感的紧凑芯片架构(约 mm^3 以下的体积)。具体而言,氮化镓(GaN)发光二极管(LED)芯片作为用于激发NV中心的接近光源,被应用时不需要任何额外的光学元件。此外,目前开发的金刚石到LED芯片的组装方法优化了片上光-NV自旋相互作用。开发的器件显著地提高了量子传感的范围和规模,使其应用于传统装置无法实现的广泛领域。

[0016] 在采用氮化镓(GaN)发光二极管的实施例中,由其产生的光通常具有从375nm至521nm的波长。

[0017] 在制造所提出的芯片级系统的实验中,制造了由集成到LED上的金刚石组成的混合器件,如图2所示。特别地,首先使用化学气相沉积(CVD)在GaN LED芯片的两侧上表面涂覆上设计好的DBR反射器(顶部)。然后芯片的内部区域使用激光微加工切割,便于插入金刚

石样品。然后金刚石样品和GaN芯片之间的间隙用光学粘合剂(例如NOA61, Thorlabs)填充,以实现有效的光耦合。接下来,将芯片(插有金刚石)粘附到PCB板上的微波结构上。芯片用薄的透明衬底(例如,盖玻片)粘合,衬底表面涂覆有带通滤波器,并且随后附接到光电二极管。最后,将所制造的器件连接到外部电源和其他控制电子元件,以制造功能器件。

[0018] 在使用所提出的系统进行ODMR测量的实验测试中,采用了包含许多NV中心的微米/纳米尺寸的金金刚石颗粒,这些NV中心通过光学粘合剂“位于”LED芯片顶部,用于使用我们现有的宽视场金刚石显微镜进行研究(见图3a)。在这种配置中,激发由接近式LED芯片完成,而检测仍然依赖于传统的基于透镜的方法。详细的实验设置、测得的荧光光谱、饱和曲线、以及由LED芯片激发的金刚石颗粒中的总体NV中心的典型光学检测的磁共振(ODMR)光谱在图3中的b-d中示出。特别地,ODMR光谱被认为是基于NV的量子传感的标志。这些初步测试表明了使用LED芯片作为基于NV的量子传感的光源的可行性。在这些测试中,当采用平行光耦合路径时,已经获得了 $SNR \sim 9$,并且预期当使用正交路径时该值可以继续提高。

[0019] 在采用氮化镓(GaN)发光二极管来激发NV中心的实施例,从NV中心产生的光通常具有625nm至700nm的波长。

[0020] 图4示出了集成有LED芯片的金金刚石的不同布置(设计),其中块状金刚石或金刚石纳米颗粒使用LED作为接近光源来激发。从LED发出的光直接激发NV中心的荧光,在这种情况下,除了直接位于LED顶部的金刚石(参见图4中的(a)-(c)),可以采用将金刚石放在LED芯片旁边(参见图4(d)-(e)),这显著降低了泵绿光对收集的NV荧光的影响。除了上面提到的布置之外,将LED芯片嵌入到金刚石(参见图4(f)-(g))中对于增加NV荧光的强度也是有效的,因为来自不同侧面的LED光被引导到金刚石中用于NV激发。

[0021] 遵循芯片级紧凑架构的概念,将金刚石薄膜等样品放置在GaN LED芯片(光源)附近,以使光功率损失最小化。这有助于提高光使用效率,在传统的自由空间激光方法中,光使用效率通常较低(约为初始功率的30%)。优化的金刚石组装方法(器件架构)根据我们在所集成的器件中模拟的光线分布来确定(见图5)。基于初步的数值研究,注意到具有顶部暴露的蓝宝石表面的倒装芯片LED增加了从量子阱提取光的效率,并且使器件集成更容易。

[0022] NV中心是金刚石晶体结构中的缺陷。NV中心可以自然形成,也可以用人造金刚石制造。当被具有第一波长的光和/或微波辐射激发时,NV中心使金刚石产生第二波长的光。典型地,第二波长的光/辐射与第一波长的光/辐射足够不同,从而产生视觉上不同(不同于肉眼)的光。当受激发的NV中心金刚石暴露于外部刺激(诸如外部磁场)时,金刚石产生红光的微波辐射频率和光强度会发生变化。通过测量该变化并将其与没有外部刺激时金刚石产生的微波频率进行比较,NV中心可以用于精确检测所需的性质,例如磁场强度。

[0023] 除非在实施例和说明书及权利要求中另有说明,否则所有的部分和百分比都是重量,所有的温度都是摄氏度,并且压力是大气压或接近大气压。

[0024] 对于给定特性的任何数字或数值范围,来自一个范围的数字或参数可以与来自相同特性的不同范围的另外的数字或参数组合,以产生数值范围。

[0025] 除非在操作示例中或另有说明,否则说明书和权利要求书中使用的指代成分的量、反应条件等的数字、数值和/或表达式都应被理解为在所有情况下由术语“大约”修饰。

[0026] 虽然结合某些实施例解释了本发明,但是应当理解,在阅读了说明书之后,其各种修改对于本领域技术人员来说将变得显而易见。因此,应当理解,这里公开的发明旨在覆盖

落入所附权利要求范围内的这种修改。

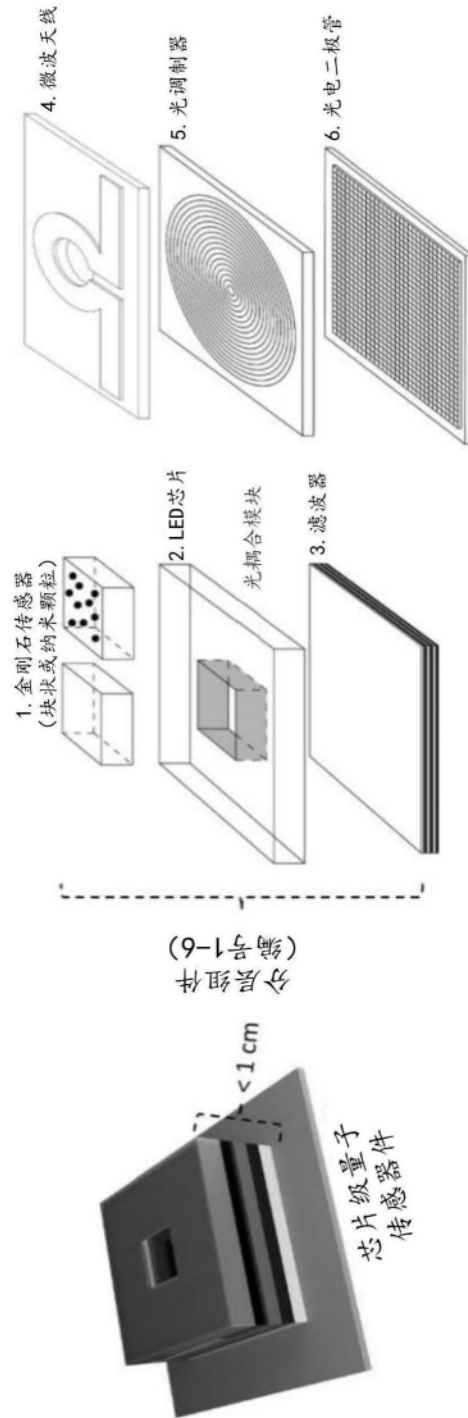


图1

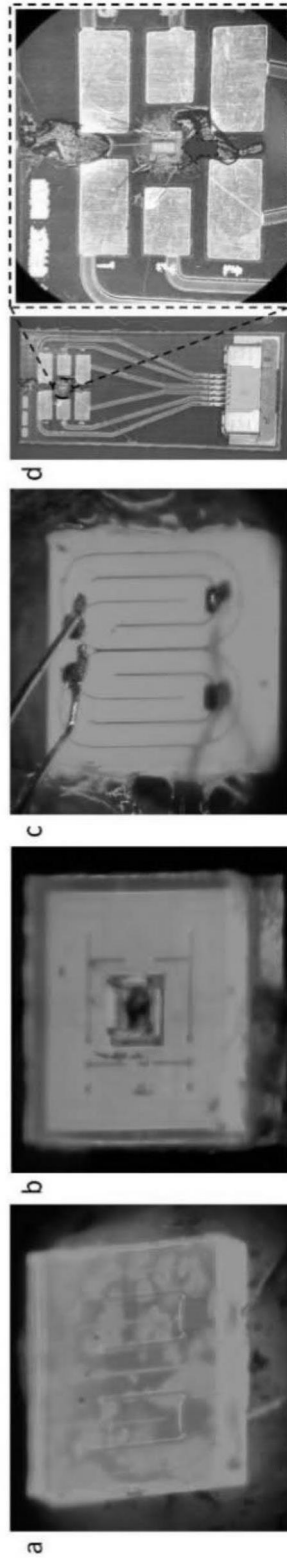


图2

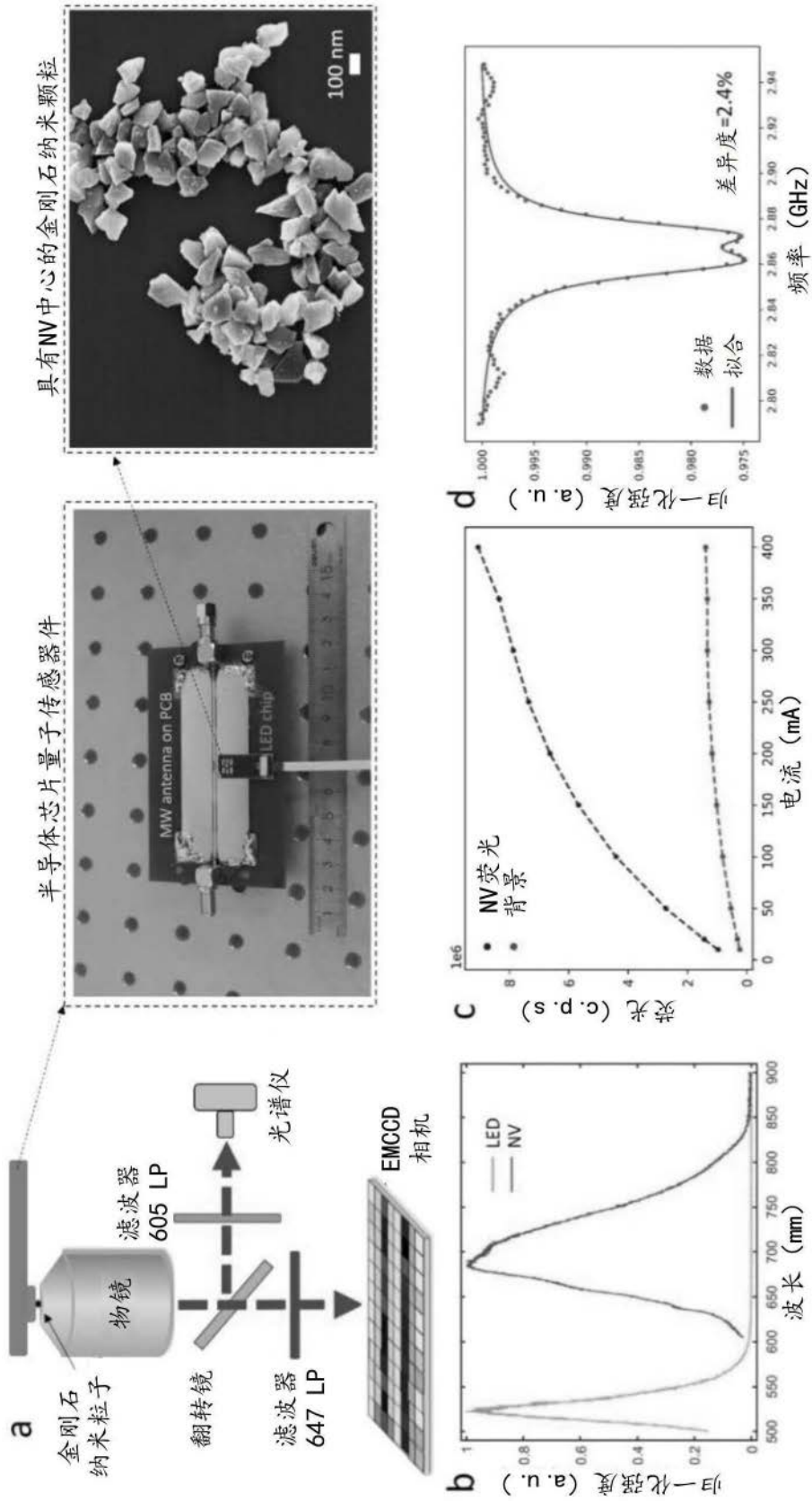


图3

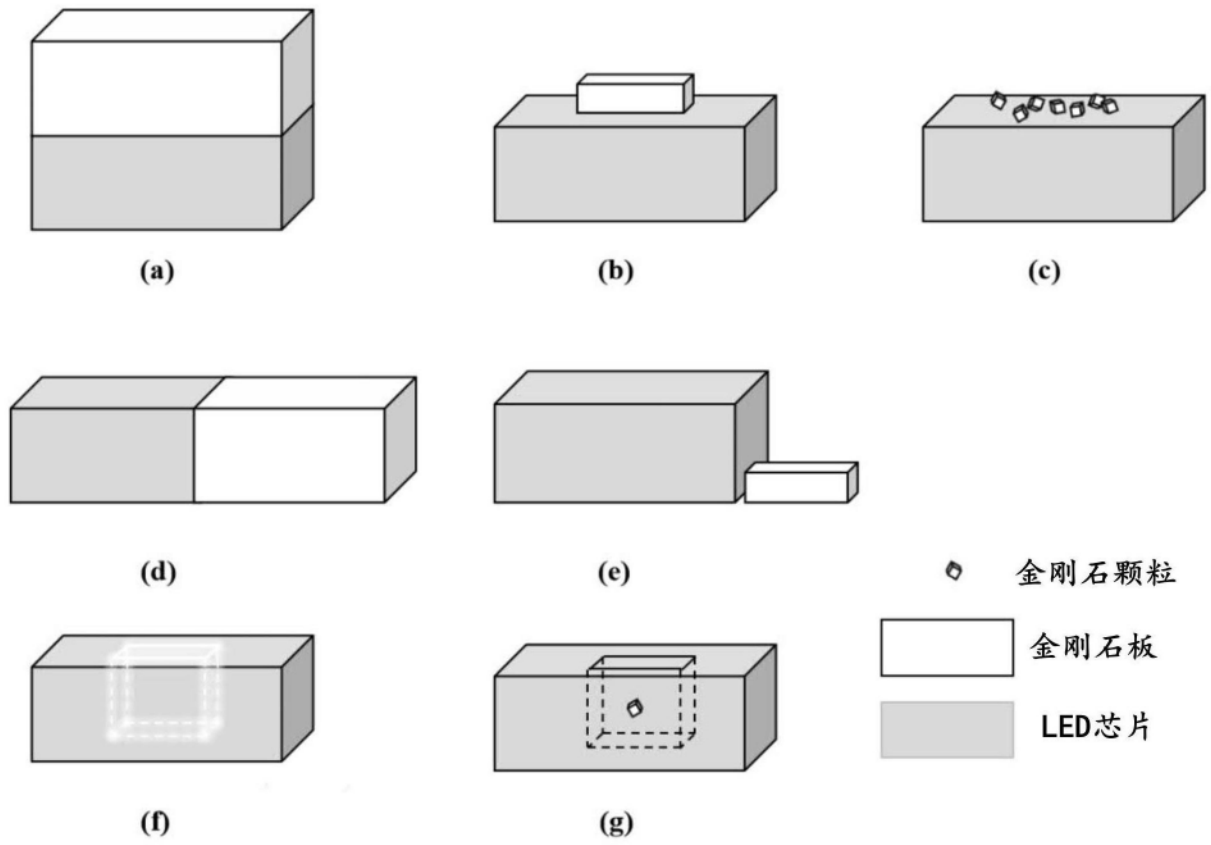


图4

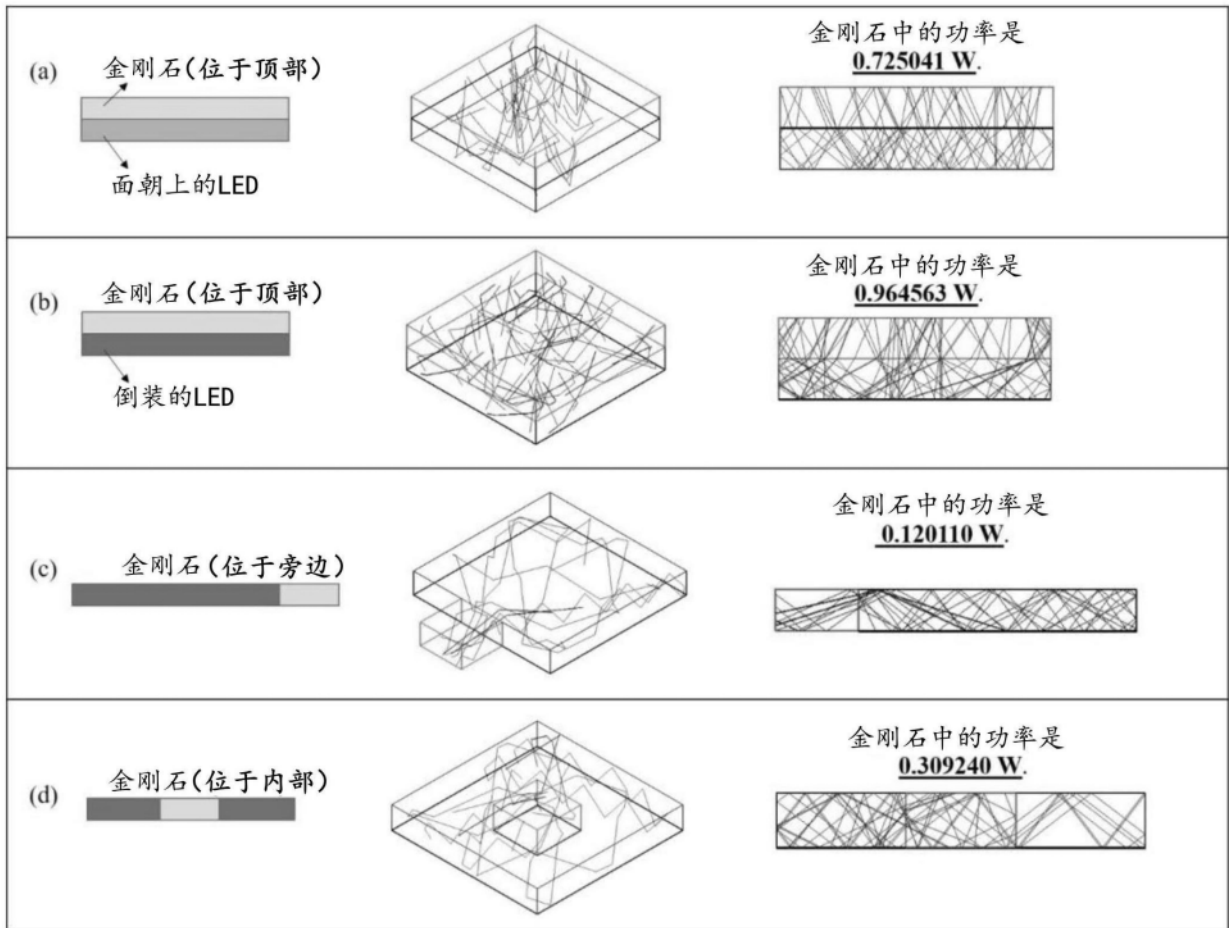


图5