



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108831981 A

(43)申请公布日 2018.11.16

(21)申请号 201810629919.5

(22)申请日 2018.06.19

(71)申请人 南京邮电大学

地址 210003 江苏省南京市鼓楼区新模范  
马路66号

(72)发明人 贾博仑 邓玲玲 陶宇 王祉又  
张本林 陆亚琼

(74)专利代理机构 南京苏科专利代理有限责任  
公司 32102

代理人 姚姣阳

(51)Int.Cl.

H01L 33/46(2010.01)

B82Y 20/00(2011.01)

B82Y 30/00(2011.01)

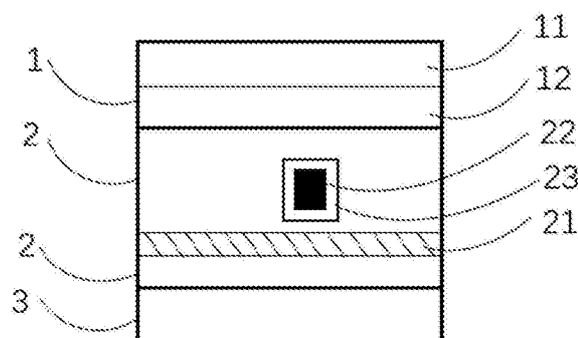
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

一种发光二极管

(57)摘要

本发明公开了一种发光二极管,从上往下依次层叠设置的单周期反射镜组、有源区以及金属电极,所述单周期反射镜组包括透明介质薄层和金属纳米薄层,所述有源区包括量子阱以及位于所述量子阱上方的具有包裹层的金属纳米粒子,所述具有包裹层的金属纳米粒子包括金属纳米粒子和包裹层。本发明通过优化有源区厚度、金属纳米粒子与单周期反射镜结构之间的距离,得以实现对特定波段发光效率的优化提升。



1. 一种发光二极管,其特征在於,包括:从上往下依次层叠设置的单周期反射镜组、有源区以及金属电极,所述单周期反射镜组包括透明介质薄层和金属纳米薄层,所述有源区包括量子阱以及位于所述量子阱上方的具有包裹层的金属纳米粒子,所述具有包裹层的金属纳米粒子包括金属纳米粒子和包裹层。

2. 如权利要求1所述的一种发光二极管,其特征在於:所述单周期反射镜组在所述量子阱发光波段内的反射率范围为50%~60%。

3. 如权利要求1所述的一种发光二极管,其特征在於:所述金属纳米粒子的共振波长与所述发光量子阱的发光波段相匹配。

4. 如权利要求1所述的一种发光二极管,其特征在於:所述具有包裹层的金属纳米粒子的包裹层的材料为透明绝缘材料,所述包裹层的厚度范围为10~20nm。

5. 如权利要求1所述的一种发光二极管,其特征在於:所述金属纳米粒子上表面与所述金属纳米薄层的下表面之间的距离能够使所述金属纳米粒子的等离子体共振电场与金属纳米薄层的表面等离激元之间相互耦合。

6. 如权利要求1所述的一种发光二极管,其特征在於:所述金属纳米粒子与所述发光量子阱之间的距离使发光激子能够充分激发纳米粒子局域表面等离子体共振特性效应。

7. 如权利要求1所述的一种发光二极管,其特征在於:所述有源区位于所述单周期反射镜组与所述金属电极之间。

8. 如权利要求7所述的一种发光二极管,其特征在於:所述有源区的厚度能够使所述有源区量子阱发的光震荡增强。

## 一种发光二极管

### 技术领域

[0001] 本发明涉及半导体领域,具体是涉及一种发光二极管。

### 背景技术

[0002] 发光二极管(LED)作为“第四代光源”,因其能够减少热损失、节省能源消耗而被称为人类照明技术的一大进步,其凭借着寿命长、发热小、维护少、颜色可变以及强大的节能潜力而具有无限的应用领域,被人们普遍认为是继火、白炽灯、荧光灯以后的下一个引导人类照明革命的技术。但目前,其真正进入市场化应用的门槛仍是它的价格水准与发光效率。而构成门槛的主要原因是构成LED的材料与空气间巨大的折射率差导致光在LED内部发生全反射而无法从器件中发射出去,导致其总体效率很低。在LED近一百年的发展历史中,受波段以及材料影响,蓝光LED出现最晚(上世纪末期才出现),目前效率最低,这制约着LED器件进一步走向市场。

[0003] 当金属纳米粒子被特定波长的光照射时,粒子内的自由电子在其表面产生的剧烈共振现象被称为局域表面等离子体共振特性(LSPR),利用该特性所激发的强大电场能量与器件内部发光分子间的耦合作用可以很好地增强LED器件的内量子效率,同时带来器件光提取效率的提升。与金属纳米粒子的情况相似,当特定波长的光照射到金属纳米薄层时,薄层内部的自由电子同样会产生剧烈的共振现象,该现象称为表面等离激元(SPP),通过将SPP所激发电场的能量与纳米粒子LSPR所激发的能量与其耦合,有利于外量子效率的提升。如,Appl Phys Lett, 2011, 96(4):043307-1-3.报道的Fujiki A等人将金纳米颗粒置于器件的电极上,获得了将近20倍的内量子效率提升。但由于金属材料能级的特点,若金属纳米粒子或金属纳米薄层在器件中的位置摆放不当,其自身对电荷的陷阱效应以及对发光分子的淬灭效应将严重限制器件性能,因此如何较好地利用LSPR和SPP来优化设计LED器件结构,仍是该领域的重要研究方向。

[0004] 在利用金属纳米粒子的LSPR特性显著改善其内量子效率的同时,利用共振腔技术可以很好地改善LED器件的外量子效率。谐振腔发光二极管(RCLED)就是其中一种。RCLED是采用上下分布Bragg反射镜(DBR)与有源区共同组成的三明治结构,其出光侧的反射镜反射率要低于另一侧的反射镜。同时,反射镜的反射率越高,其出光品质越好,波长范围越窄。反射镜反射率与DBR的对数正相关,随着对数的增加,其串联电阻、寄生电容都会增加,其稳定性、响应速度也会下降,这限制了RCLED的发展。

[0005] 鉴于此,确有必要发明一种发光二极管来解决上述问题。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种基于金属纳米粒子等离子体共振特性增强的谐振腔发光二极管结构,利用金属纳米粒子的局域表面等离子体共振所激发的强大电场能量与发光激子进行耦合,充分提升其内量子效率,通过形成谐振腔结构使得有源区内发光激子辐射出光充分震荡,增强出光强度;通过在单周期反射镜组中引入金属纳米薄层,在谐振腔发光

二极管的基础上利用金属纳米薄层的表面等离子激元特性来进一步增强器件的外量子效率。

[0007] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:一种发光二极管,包括:从上往下依次层叠设置的单周期反射镜组、有源区以及金属电极,所述单周期反射镜组包括透明介质薄层和金属纳米薄层,所述有源区包括量子阱以及位于所述量子阱上方的具有包裹层的金属纳米粒子,所述具有包裹层的金属纳米粒子包括金属纳米粒子和包裹层。

[0008] 作为本发明进一步改进的技术方案,所述单周期反射镜组在所述量子阱发光波段内的反射率范围为50%~60%。

[0009] 作为本发明进一步改进的技术方案,所述金属纳米粒子的共振波长与所述发光量子阱的发光波段相匹配。

[0010] 作为本发明进一步改进的技术方案,所述具有包裹层的金属纳米粒子的包裹层的材料为透明绝缘材料,所述包裹层的厚度范围为10~20nm。

[0011] 作为本发明进一步改进的技术方案,所述金属纳米粒子上表面与所述金属纳米薄层的下表面之间的距离能够使所述金属纳米粒子的等离子体共振电场与金属纳米薄层的表面等离子激元之间相互耦合。

[0012] 作为本发明进一步改进的技术方案,所述金属纳米粒子与所述发光量子阱之间的距离使发光激子能够充分激发纳米粒子局域表面等离子体共振特性效应。

[0013] 作为本发明进一步改进的技术方案,所述有源区位于单周期反射镜组与金属电极之间。

[0014] 作为本发明进一步改进的技术方案,所述有源区的厚度能够使所述有源区量子阱发的光震荡增强。

[0015] 本发明的有益效果是:1、采用金属纳米粒子形成LSPR,共振波长与有源区量子阱发光波段匹配,共振强度较大,对LED器件性能提升更加明显。2、对金属纳米粒子进行包裹,减弱了金属纳米粒子的陷阱效应与量子阱发光激子的淬灭效应对器件的不利影响,同时保证了器件的稳定性。3、单周期反射镜组中采用了金属纳米薄层结构,其SPP与LSPR能量的耦合可以显著增强器件外量子效率。4、采用共振腔发光二极管结构,该结构有利于显著提升器件外量子效率。5、采用特定的有源区厚度,其与有源区量子阱发光波段匹配,能够使有源区发光激子发出的光进行强烈震荡增强,从而显著提升出光强度。6、通过将发光激子与金属纳米粒子以及单周期反射镜组中的金属纳米薄层结构保持一定的距离,保证粒子的LSPR、DBR的SPP、发光激子辐射能量三者发光波段区间内充分耦合,增强了发光二极管的外量子效率。7、通过采用单周期反射镜组与金属电极,与其他RCLED相比结构得到了大幅简化,增加了潜在应用潜力与结构坚固性。

## 附图说明

[0016] 图1为本发明一种发光二极管的结构示意图。

[0017] 图2为本发明中单周期反射镜组的反射率光谱。

[0018] 图3为本发明一种发光二极管与没有单周期反射镜组和没有掺入金属纳米粒子的参考器件的光提取效率光谱。

[0019] 图4为本发明一种发光二极管与没有单周期反射镜组和没有掺入金属纳米粒子的参考器件的发光激子辐射速率光谱。

[0020] 图5为本发明一种发光二极管与采用反射率相同的Si反射镜组的参考器件的光提取效率光谱。

[0021] 图6为本发明一种发光二极管与有源层厚度不满足优化条件的参考器件的光提取效率光谱。

[0022] 图7为本发明实施例中,电场强度监视器分析的金属纳米粒子与金属纳米薄层之间的能量耦合情况。

### 具体实施方式

[0023] 为了使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面结合附图和具体实施方式对本发明进行详细描述。

[0024] 如图1所示,本发明实施例提供了一种发光二极管,所述发光二极管是基于金属纳米结构LSPR与SPP特性增强的谐振腔发光二极管,所示发光二极管,包括:从上往下依次层叠设置的单周期反射镜组1、有源区2以及金属电极3,所述单周期反射镜组1包括透明介质薄层11和金属纳米薄层12,所述有源区2包括量子阱21以及位于所述量子阱21上方的具有包裹层的金属纳米粒子,具有包裹层的金属纳米粒子包括金属纳米粒子22和包裹层23。

[0025] 所述单周期反射镜组1中所述透明介质薄层11的折射率范围为1.2~1.9,厚度范围为50~200nm。

[0026] 所述单周期反射镜组1中的所述金属纳米薄层11的材料为金、银、铜、铝、铂等易于激发SPP的材料中至少一种,其厚度范围为2~50nm。

[0027] 所述单周期反射镜组1中所述金属纳米薄层11的材料为银,其厚度为20~25nm,所述有源区波段内反射率范围为50%~60%,易于激子发光的震荡增强、与纳米粒子LSPR耦合,有利于提升器件内外量子效率。

[0028] 所述有源区2中的所述发光量子阱21发光波段为蓝光区间,其发光波段为420~470nm,所述有源区2的厚度不超过500nm。优选地,所述有源区2的厚度范围为460~480nm,有利于蓝光波段的震荡增强。

[0029] 所述金属纳米粒子22的材料为金、银、铜、铝、铂等易于激发LSPR的材料中的至少一种,几何尺寸大小为20~70nm,LSPR共振波长与所述有源区1的所述量子阱21的发光波长相近。优选地,金属纳米粒子的材料为银,其形态为立方,尺寸为30~40nm,其LSPR波长与蓝光区间匹配。

[0030] 所述金属纳米粒子的包裹层23的材料为透明绝缘材料,其厚度为10~20nm。稳定性好,抗氧化效果好,工艺成熟,适于器件应用。

[0031] 所述金属纳米粒子22上表面与所述单周期反射镜组1中的金属纳米薄层12下表面间距离范围为20~100nm。优选地,所述金属纳米粒子22上表面与所述单周期反射镜组1中的所述金属纳米薄层12下表面间距离范围为50~80nm,所述金属纳米粒子22与纳米粒子LSPR的耦合效率更高,有利于改善器件性能。

[0032] 所述金属纳米粒子22与所述发光量子阱21间的距离为20~90nm,有利于辐射能量与LSPR能量充分耦合,提高辐射速率。

[0033] 所述金属电极3为DBR材料,所述DBR材料为金、银、铝、铂中的至少一种,厚度超过100nm。优选地,所述DBR材料为铝,厚度为80~120nm,以满足光反射和导电的需求。

[0034] 实施例一

[0035] 本实施例中,所采用的所述单周期反射镜组1中的所述透明介质层11的材料为 $\text{SiO}_2$ ,所述透明介质层11的折射率为1.4,厚度为78nm。

[0036] 本实施例中,所采用的所述单周期反射镜组1中的所述金属纳米薄层12的材料为银,所述金属纳米薄层12的厚度为25nm。

[0037] 本实施例中,所采用的所述有源区2的厚度为480nm,所述有源区2折射率为2.3。

[0038] 本实施例中,所采用的所述金属电极3的材料为铝,厚度为200nm。

[0039] 本实施例中,所采用的所述金属纳米粒子22的材料为银,其形态为立方,立方边长为34nm。所述纳米立方上表面距所述单周期反射镜组1的所述金属纳米薄层12的下表面距离为72nm。纳米立方下表面距有源区量子阱结构距离为28nm。

[0040] 本实施例中,所采用的所述金属纳米粒子包裹层23的材料为 $\text{SiO}_2$ ,厚度为13nm。

[0041] 本实施例中,所述有源区2的所述量子阱21主要发光区间为420~470nm。

[0042] 综上所述,本发明提供一种发光二极管,所述发光二极管是基于金属纳米粒子等离子体共振特性增强的谐振腔发光二极管结构。通过在有源区引入金属纳米粒子,利用金属纳米粒子LSPR增强器件内量子效率;采用单周期反射镜组、有源区以及金属电极组成的谐振腔发光二极管结构,有利于通过对发光的震荡增强来显著提升器件的出光品质与发光效率。

[0043] 本发明采用金属纳米薄层和透明介质薄层组成单周期反射镜组,通过金属纳米薄层的SPP与金属纳米粒子的LSPR之间的耦合作用,进一步增强发光二极管的外量子效率。从而简化了器件结构,增强了器件稳定性、响应速度等性能。金属电极采用厚的底部金属电极材料,反射率高于同等厚度下现在通用的AlGaInP系材料,有助于进一步简化器件结构,通过厚度合适的金属纳米薄层结构来激发SPP,并与金属纳米粒子LSPR进行耦合,通过优化有源区厚度、金属纳米粒子与单周期反射镜结构之间的距离,得以实现对特定波段发光效率的优化提升。

[0044] 以上实施例仅用于说明本发明而并非限制本发明所描述的技术方案,对本说明书的理解应该以所属技术领域的技术人员为基础,尽管本说明书参照上述的实施例对本发明已进行了详细的说明,但是,本领域的普通技术人员应当理解,所属技术领域的技术人员仍然可以对本发明进行修改或者等同替换,而一切不脱离本发明的精神和范围的技术方案及其改进,均应涵盖在本发明的权利要求范围内。

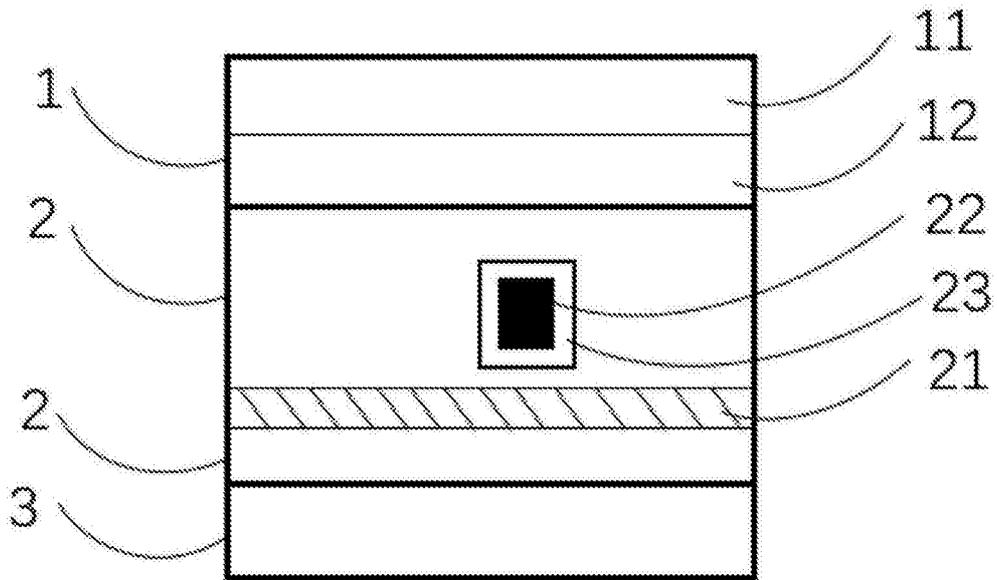


图1

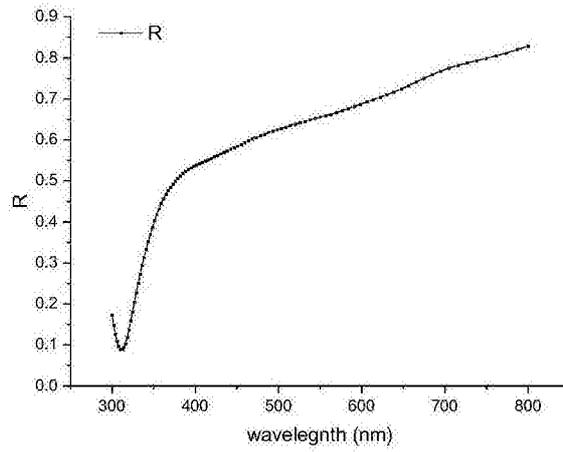


图2

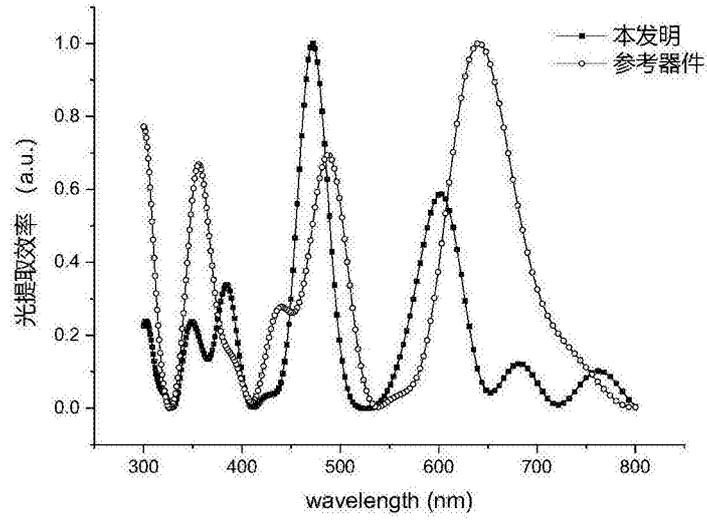


图3

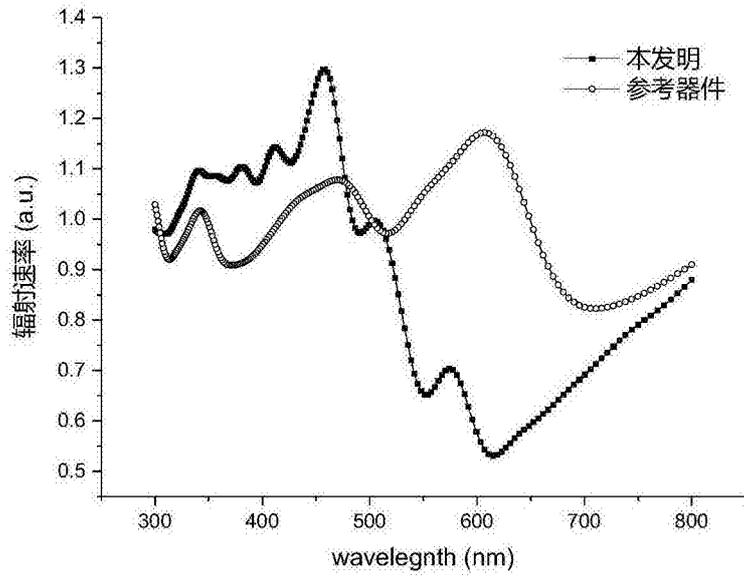


图4

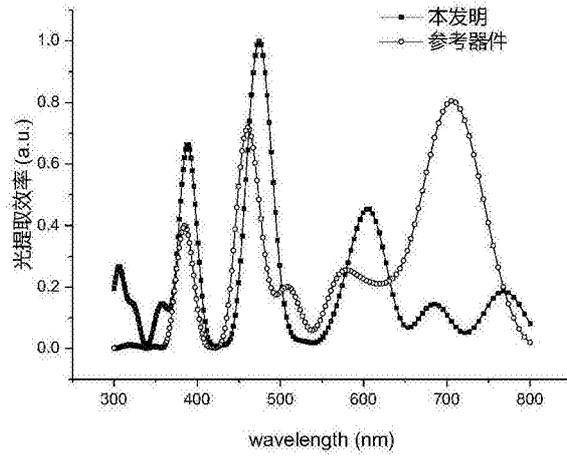


图5

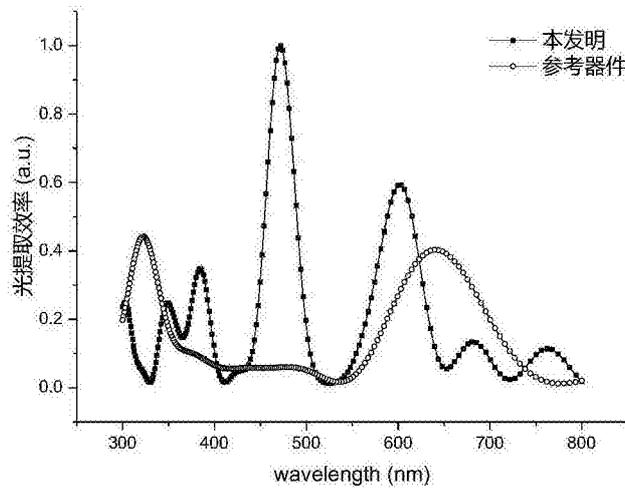


图6

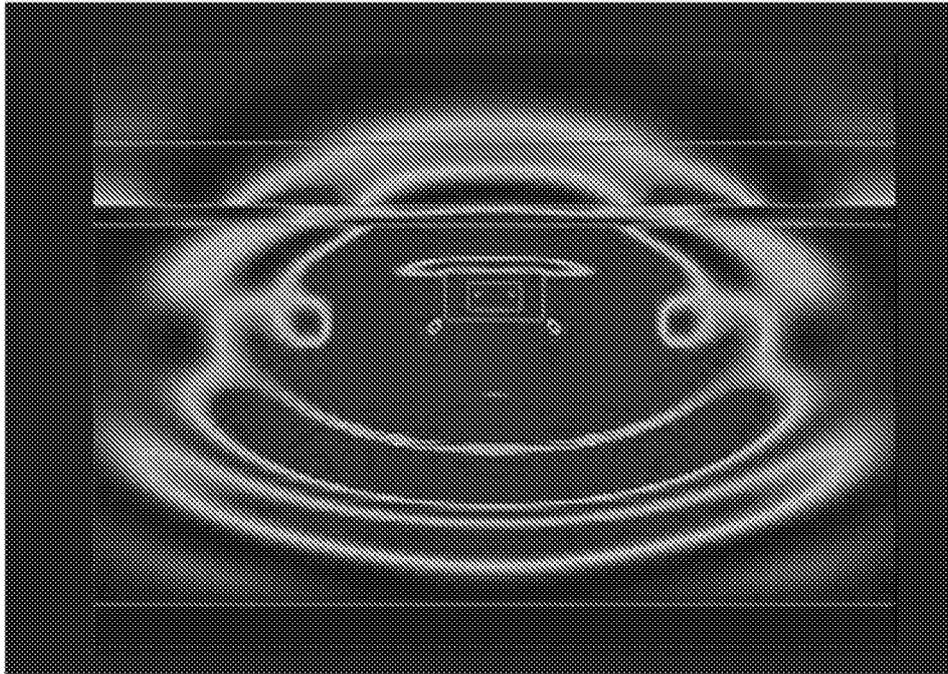


图7