



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102713669 B

(45) 授权公告日 2014. 05. 21

(21) 申请号 201080057990. 2

(22) 申请日 2010. 10. 19

(30) 优先权数据

20096076 2009. 10. 20 FI

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 06. 19

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/FI2010/050814 2010. 10. 19

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/048267 EN 2011. 04. 28

(73) 专利权人 VTT 技术研究中心

地址 芬兰埃斯波

(72) 发明人 维莱·维卡里 海基·塞佩

卡伊·努米拉 蒂莫·瓦尔普拉

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

公司 11227

代理人 李春晖 王娜丽

(56) 对比文件

CN 101257931 A, 2008. 09. 03, 全文.

US 6369710 B1, 2002. 04. 09, 全文.

Martin Vossiek 等. Wireless

Local Positioning. 《IEEE microwave magazine》. 2003, 77-86.

Bruce G. 等. Harmonic Radar Transceiver Design: Miniature Tags for Insect Tracking. 《IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION》. 2004, 第 55 卷 (第 11 期), 摘要及附图 1、5.

M. Vossiek 等. An Ultrasonic Multielement Sensor System for. 《1994 ULTRASONICS SYMPOSIUM》. 2994, 1293-1297.

审查员 王海峰

(51) Int. Cl.

G01S 13/75 (2006. 01)

A01K 11/00 (2006. 01)

G01S 5/02 (2006. 01)

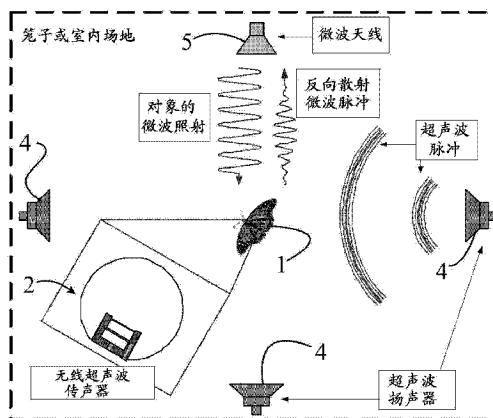
权利要求书2页 说明书12页 附图7页

(54) 发明名称

用于目标定位的方法及系统

(57) 摘要

本文描述了一种用于目标定位的方法及系统。根据所述方法,通过至少一个第一类型信号来照射目标(1),以及检测所述信号的响应。根据本发明:所述目标(1)配备有对所述第一类型信号进行反向散射的应答器(2、3);还通过影响所述应答器(2、3)的反向散射频率的第二类型信号照射所述应答器(2、3);以及检测来自于所述应答器(2、3)的反向散射信号以定位所述目标。



1. 一种用于目标定位的方法,在所述方法中:
通过至少一个第一类型信号来照射目标(1);以及
检测所述信号的响应;
其特征在于,
所述目标(1) 配备有对所述第一类型信号进行反向散射的应答器(2、3);
还通过影响所述应答器(2、3)的反向散射频率的第二类型信号照射所述应答器(2、3);
以及
检测来自所述应答器(2、3)的反向散射信号以定位所述目标。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,通过作为第二类型信号的超声波照射所述应答器(2、3)。
3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,通过作为第二类型信号的光照射所述应答器(2、3)。
4. 根据权利要求1-3中任一项所述的方法,其特征在于,所述第一类型信号是微波信号。
5. 根据权利要求1-3中任一项所述的方法,其特征在于,多个发射器的至少基本连续的信号被用于第二类型照射。
6. 根据权利要求1至3中任一项所述的方法,其特征在于,脉冲信号源被用于第二类型照射。
7. 根据权利要求1-3中任一项所述的方法,其特征在于,所述方法用于定位或跟踪昆虫。
8. 根据权利要求1-3中任一项所述的方法,其特征在于,所述方法用于定位或跟踪人。
9. 根据权利要求1-3中任一项所述的方法,其特征在于,所述方法用于定位或跟踪车辆。
10. 一种用于目标定位的系统,所述系统包括:
用于通过第一类型信号来照射目标(1)的装置;以及
用于检测所述第一类型信号的响应的检测装置(5、15);
其特征在于,所述系统还包括:
附接到所述目标(1)的应答器,所述应答器对所述第一类型信号进行反向散射,并且还
对第二类型信号敏感,使得所述第二类型信号影响从所述应答器反向散射的频率;
用于还通过影响所述应答器的反向散射频率的第二类型信号来照射所述应答器的第
二照射装置;以及
检测来自所述应答器的反向散射信号以定位所述目标。
11. 根据权利要求10所述的系统,其特征在于,所述第二照射装置是超声波发射器。
12. 根据权利要求10所述的系统,其特征在于,所述检测装置是微波接收器(5、15)。
13. 根据权利要求10-12中任一项所述的系统,其特征在于,所述第二照射装置是连续的发射器。
14. 根据权利要求10至12中任一项所述的系统,其特征在于,所述第二照射装置是脉冲发射器。
15. 根据权利要求10-12中任一项所述的系统,其特征在于,所述应答器是配备有用于

微波反向散射的天线的电容性超声波应答器。

16. 根据权利要求 10-12 中任一项所述的系统,其特征在于,所述应答器是配备有用于微波反向散射的天线的光电二极管。

用于目标定位的方法及系统

技术领域

- [0001] 本发明总体上涉及目标定位及跟踪。
[0002] 本发明尤其涉及小目标(例如昆虫)的定位及跟踪。

背景技术

- [0003] 谐波雷达被用于昆虫定位及跟踪。
[0004] 由于有限的精确度、机械扫描以及需要高的发射功率,传统的谐波雷达被发现不适于室内昆虫跟踪。
[0005] 射频识别(RFID)技术也被用于昆虫定位及跟踪。该技术需要有源标签而且这些有源标签比较重,因此该技术不适用于小昆虫。
[0006] 关于无源 RFID 标签,问题在于较短的读取距离。
[0007] 昆虫运动的实时精确跟踪对于研究不同物种行为的科学家是一种重要的工具。之前已经开发了一种基于超高频射频识别(UHF RFID)技术的跟踪系统。
[0008] 针对生物学和农业的研究的需求已经开发了若干种遥感和遥测昆虫跟踪技术。遥感技术不需要与对象进行任何物理相互作用,而在遥测技术中昆虫被配备有应答器。在[1]中可以找到对所述技术的评论。
[0009] 所使用的遥感技术包括例如雷达、视频图形以及其他光学技术、X射线成像以及无源声学技术和有源声学技术。由于雷达信号的来自于地面和植被的严重地物回波,雷达仅可用于跟踪飞行的昆虫或昆虫群。
[0010] 光学遥感技术通常基于摄像机和能够自动识别对象并计算其位置的图案识别软件。三维跟踪需要 3D 测距摄像机或立体视觉相机。除可见波长外,视频图形技术也可以在提供夜视的红外波长和热波长处实现。视频图形技术的缺点是:相对小的观察体积、不可靠的图案检测(因而造成不可靠的昆虫检测)以及关于测距和立体视觉相机的技术挑战。
[0011] 还使用光电检测器来监测昆虫的运动。最简单的系统照射一定的空间并测量发射光或散射光,该发射光或散射光在存在昆虫时发生改变。更加复杂的技术能够根据散射光来检测昆虫翅膀的拍动。
[0012] 声学技术可以被分为有源声学技术和无源声学技术。有源技术使用声雷达(声音检测和测距),声雷达享有雷达的操作原理但利用声波代替电磁波。声雷达只可检测飞行或运动的昆虫。无源声学跟踪技术使用空间分布的传声器(microphones)来记录被跟踪的昆虫所产生的声音并通过使在不同位置记录的声音相互关联来求出昆虫的位置。
[0013] 遥感技术不需要与昆虫进行物理接触,因此其不会影响昆虫的行为。然而,与遥测技术相比较,遥感技术的缺点通常在于较小检测范围和不可靠的对象识别。
[0014] 遥测技术包括射频识别(RFID)以及谐波雷达。在 RFID 中,被跟踪的昆虫被配备有无源 RFID 标签或有源应答器。无源标签小于有源标签但只提供较短的范围和较低的跟踪精确度。RFID 跟踪技术原理超越几乎全部其他跟踪技术的优点在于:它可以用于同时跟踪和识别多个对象。

[0015] 谐波雷达概念基于谐波雷达和当被雷达信号照射时产生谐波频率的雷达反射的应答器。谐波雷达超越传统雷达的优点在于：它能够跟踪靠近地物回波物体(例如地面或植被)的较小的雷达对象。

发明内容

[0016] 因此,本发明的目的是提供一种用于目标定位及跟踪的新方法以及装置。

[0017] 本发明基于使用位于目标上的、基于超声波或光检测以及微波反向散射的通常重量轻的应答器。附接在目标上的应答器被微波和超声波或光照射,以及反向散射的微波信号被检测。

[0018] 根据本发明的技术利用用作微波应答器的无线超声波传声器。超声波脉冲被用于测量从对象到在空间上不同的若干个超声波扬声器的距离。

[0019] 也可以将具有合适天线的光电检测器用作应答器。

[0020] 更具体地,根据本发明的方法的特征在于权利要求 1 的特征部分所描述的内容。

[0021] 就其而言,根据本发明的系统的特征在于权利要求 10 中所描述的内容。

[0022] 就其而言,根据本发明的用途的特征在于在权利要求 18 中所描述的内容。

[0023] 借助于本发明可以获得相当多的优点。

[0024] 与现有的谐波雷达和基于 RFID 的昆虫跟踪方法相比,两种技术均可以提供用于室内或室外笼子的昆虫跟踪的优越性能。

[0025] 本发明提供了在室内场地和笼子中的精确(毫米精确度)昆虫定位,并且这可以通过相对简单的系统来实现。本发明还提供了重量轻的应答器。

[0026] 本发明还具有提供相关联的优点的其他若干个实施方式。

附图说明

[0027] 为了更完整地理解本发明及其优点,现在借助于示例以及参照下面的附图来描述本发明,在附图中:

[0028] 图 1 示出了昆虫被配备有根据本发明的用于跟踪的无线超声波传声器的情况;

[0029] 图 2 示出了典型的电容性微机电系统(MEMS)传声器的示意图。传声器的等效电路可以表示为可变电容器(灰色);

[0030] 图 3 示出了机械匹配的超声波传声器的原理;

[0031] 图 4 示出了无线超声波传声器(左侧)及其等效电路(右侧)的示意图;

[0032] 图 5a 示出了超声波应答器的作为声学距离的函数的估计微波转换效率的曲线图;

[0033] 图 5b 示出了超声波应答器的作为声学距离的函数的估计微波检测范围的曲线图;

[0034] 图 6a 示意性地示出了根据本发明的基于连续扫描激光器和光电二极管应答器的跟踪原理。激光信号可以是连续信号(左图)或脉冲信号(右图);

[0035] 图 6b 示意性地示出了根据本发明的基于脉冲扫描激光器和光电二极管应答器的跟踪原理;

[0036] 图 7 示出了根据本发明的基于光电二极管的微波应答器(顶部)及其等效电路(底

部)的示意图;

[0037] 图 8 示出了根据本发明的、作为辐照度的函数的结电容相对变化的曲线图;

[0038] 图 9 示出了根据本发明的、基于光电二极管的应答器在不同的背景辐照度等级下的微波检测范围的曲线图;

[0039] 图 10 示出了根据本发明的、在 1.5GHz 下光电二极管的作为辐照度的函数的测量阻抗(标记)和计算阻抗(线)的曲线图;

[0040] 图 11 示出了根据本发明的光激励型微波应答器的照片;以及

[0041] 图 12 示出了所测量的应答器的调制雷达横截面(RCS)的曲线图,所述曲线针对不同的辐照度等级。

具体实施方式

[0042] 下面,将更加透彻地讨论根据本发明的理论和示例。

[0043] 结合超声波和微波的跟踪

[0044] 本部分考虑基于使用超声波激励的微波应答器的昆虫跟踪技术。本申请的申请人已经开发了超声波 MEMS 装置并且具有对实施所描述的系统非常有用的若干个发明。

[0045] 跟踪原理

[0046] 图 1 示出了跟踪概念。跟踪的昆虫 1 被配备有极小的超声波传声器 2,所述超声波传声器 2 用于测量超声波脉冲从扬声器 4 至传声器 2 的行进时间。超声波脉冲的物理行进距离与行进时间和在空气中的已知声速有关。通过测量对象 2 与在已知位置的三个不同的扬声器 4 之间的距离来定位对象 2。对象(标签)同时被微波辐射和超声波信号照射,所述微波辐射通过照射标签而在标签中被调制。经调制的微波信号被反射回微波天线 5。因为微波以大于超声波速度多个量级的光速来传播,所以经调制的微波信号的到达时间可以被用于计算对象与已知位置的扬声器之间的距离。可以通过使用不同的调制来识别扬声器 4。

[0047] 超声波传声器元件

[0048] 无线超声波传声器元件 2 可以类似于例如在移动电话中广泛使用的现有电容性 MEMS 传声器。图 2 示出了电容性 MEMS 传声器的示意图。

[0049] MEMS 传声器包括振动膜,所述振动膜被固体壁支撑并且在背后形成有腔。所述膜是导电的并形成平行板电容器的一个电极。电容器的另一个电极是固定的并位于腔的底部。声压使振动膜发生移位从而改变其电容。

[0050] 电容性 MEMS 传声器的缺点是声波不能有效地耦合至振动膜。可以通过使用基于使用两个或更多个腔来代替一个腔的机械匹配技术来提高该耦合。图 3 示出了经匹配的超声波传声器的一个示例。

[0051] 上腔填充有中等密度的气体,使得声压引起振动膜的相对大的振幅。上振荡膜引起在上腔中的超声波振荡。所述振荡然后激励下膜。下腔填充有浓的气体,下膜的振幅小于上膜的振幅。该结构以传声器的带宽作为代价改善了耦合至传声器的超声波。

[0052] 假定与图 2 中所示微机械超声波传声器类似的微机械超声波传声器的尺寸为 1mm×1mm×1mm 并重量轻于 2mg。

[0053] 无线传声器的理论电-声响应

[0054] 膜的动态响应

[0055] 超声波传声器膜的动态响应被给出为：

$$[0056] \quad m \frac{d^2}{dt^2} x + \eta \frac{d}{dt} x + kx = F, \quad (3.1)$$

[0057] 其中, m 是悬臂的有效质量, x 是悬臂位移, η 是阻尼系数, k 是有效弹性常数, F 是影响悬臂的外力。当以膜的机械共振频率激励膜时, 振动的振幅被给出为：

$$[0058] \quad \hat{x} = \frac{\hat{F} \omega Q_m}{k} = \frac{\hat{F} \omega Q_m}{\omega_m^2 m}, \quad (3.2)$$

[0059] 其中 $\hat{F} \omega$ 是谐力的振幅, $Q_m = \omega_m / \eta$ 是共振膜的机械品质因数, ω_m 是膜的机械共振频率。由声压引起的力被给定为 $F = pA$, 其中, p 是声压, A 是膜的有效面积。将这代入 (3.2), 得到：

$$[0060] \quad \hat{x} = \frac{\hat{p} A Q_m}{\omega_m^2 m}. \quad (3.3)$$

[0061] 与声源相距 r_{ac} 处的峰值声压被给出为：

$$[0062] \quad \hat{p} = \sqrt{\frac{P_{ac} Z_{ac}}{2\pi r_{ac}^2}}, \quad (3.4)$$

[0063] 其中, p_{ac} 是源的声功率, 空气的声阻抗为 $Z_{ac} = c_{ac} \rho_{air}$, 其中, $c_{ac} \approx 330\text{m/s}$ 是声速, ρ_{air} 是空气密度。

[0064] 电磁调制效率

[0065] 无线超声波传感器包括与传感器元件电匹配的天线。图 4 示出了无线传感器及其等效电路的示意图。

[0066] 超声波传感器的等效电容为(假设平行板电容器以及较小的位移)：

$$[0067] \quad C = \epsilon_0 \frac{A}{g_0 + x} \approx C_0 \left(1 - \frac{x}{g_0} \right), \quad (3.5)$$

[0068] 其中, ϵ_0 是真空介电常数, A 是电容器表面积, g_0 是初始间隙 (C_0 是初始电容), x 是膜的位移。无线传感器被微波信号照射, 天线接收产生峰值电压 $\hat{V}_r = 2\sqrt{2P_{r,transp} R_a}$ 的功率 $P_{r,transp}$, 其中 R_a 是天线的电阻。假设超声波激励膜按照 $x(t) = \hat{x} \sin \omega_{ac} t$ 振荡, 其中 \hat{x} 是峰值振幅、 ω_{ac} 是超声波的角频率。假设天线和传声器之间是共轭匹配的, ($R_a = R_m$ and $\omega_{rf} L = 1/(\omega_{rf} C_0)$), 在天线电阻上的调制电压(即, 辐射电压)为：

[0069]

$$V_{mod} \approx 2\sqrt{2P_{r,transp} R_a} \frac{\hat{x}}{g_0 R_a \omega_{rf} C_0} \sin[(\omega_{rf} - \omega_{ac})t]. \quad (3.6)$$

[0070] 相应功率为：

$$[0071] \quad P_{\text{mod}} = \frac{\hat{V}_{\text{mod}}^2}{2R_a} = \frac{4P_{r,\text{transp}}\hat{x}^2}{g_0^2 R_a^2 \omega_{rf}^2 C_0^2} \cdot (3.7)$$

[0072] 调制功率和接收到的功率之间的比值(即,转换效率)为：

$$[0073] \quad E = \frac{P_{\text{mod}}}{P_{r,\text{transp}}} = \frac{4\hat{x}^2}{g_0^2 R_a^2 \omega_{rf}^2 C_0^2} \cdot (3.8)$$

[0074] 将(3.4)和(3.7)代入(3.8),得到：

[0075]

$$E = \frac{4A^2 Q_m^2 P_{ac} Z_{ac}}{2\pi r_{ac}^2 g_0^2 R_a^2 \omega_{rf}^2 C_0^2 \omega_{ac}^4 m^2} = \frac{2Q_m^2 P_{ac} Z_{ac}}{\pi r_{ac}^2 \epsilon_0^2 R_a^2 \omega_{rf}^2 \omega_{ac}^4 m^2} \cdot (3.9)$$

[0076] 电磁检测距离

[0077] 应答器被读取装置连续地电磁照射。应答器接收到的功率被给出为：

$$[0078] \quad P_{r,\text{transp}} = P_{t,\text{reader}} G_{\text{reader}} G_{\text{transp}} \left(\frac{\lambda_{rf}}{4\pi r_{rf}} \right)^2, \quad (3.10)$$

[0079] 其中, $P_{t,\text{reader}}$ 是读取装置的发射功率, G_{reader} 是读取装置天线的增益, G_{transp} 是应答器天线的增益, λ_{rf} 是电磁波长, r_{rf} 是读取装置与应答器之间的距离。应答器对接收到的信号进行调制并将接收到的信号散射回读取装置。读取装置接收到的功率为：

$$[0080] \quad P_{r,\text{reader}} = P_{t,\text{reader}} G_{\text{reader}}^2 G_{\text{transp}}^2 \left(\frac{\lambda_{rf}}{4\pi r_{rf}} \right)^4 E, \quad (3.11)$$

[0081] 其中, E 是应答器的调制效率或转换效率。通过(3.11)求解检测距离,得到：

$$[0082] \quad r_{rf} = \frac{\lambda_{rf}}{4\pi} \sqrt[4]{\frac{P_{t,\text{reader}} G_{\text{reader}}^2 G_{\text{transp}}^2 E}{P_{r,\text{reader}}}} \cdot (3.12)$$

[0083] 将(3.9)代入(3.12),得到：

$$[0084] \quad r_{rf} = \frac{\lambda_{rf}}{4\pi} \sqrt[4]{\frac{2P_{t,\text{reader}} G_{\text{reader}}^2 G_{\text{transp}}^2 P_{ac} Z_{ac} Q_m^2}{\pi P_{r,\text{reader}} R_a^2 \omega_{rf}^2 \epsilon_0^2 \omega_{ac}^4 m^2 r_{ac}^2}} \cdot (3.13)$$

[0085] 跟踪分辨率及速度

[0086] 跟踪系统的距离分辨率与以下给出的超声波脉冲的物理长度成比例：

$$[0087] \quad d1 = v_a \tau, \quad (3.14)$$

[0088] 其中, $v_a \approx 330\text{m/s}$ 是空气中的声速, τ 是脉冲的持续时间。根据经验,脉冲持续时间是信号带宽 B 的倒数。因此,距离分辨率可以被给出为：

$$[0089] \quad dl = \frac{v_a}{B} = \frac{v_a f_{ac}}{Q_m}. \quad (3.15)$$

[0090] 例如,距离分辨率在 10kHz 的带宽下为大约 3cm。距离测量精确度可以优于取决于信噪比的距离测量精确度。

[0091] 脉冲重复频率受到扬声器与对象之间的最大距离 L 限制如下:

$$[0092] \quad f_r \leq \frac{v_a}{L}. \quad (3.16)$$

[0093] 跟踪测量频率进一步受到扬声器的数量 N 的限制,并给出为:

$$[0094] \quad f_p = \frac{v_a}{NL}. \quad (3.17)$$

[0095] 例如,当最大测量距离是 L=33m 以及扬声器的数量为 N=10 时,位置刷新率是 1Hz (每秒测量一次)。

[0096] 多个目标的识别

[0097] 可以使用声频分、电磁频分或者二者来识别多个目标。电磁频分通过使用天线与传声器元件之间的窄带匹配来实现。声频分通过确定传声器元件的尺寸使得每个传声器元件具有不同的共振频率来实现。频分可能会需要若干个读取系统,因此其实现可能会很费力。

[0098] 假设具有三个不同的电磁频带和三个不同的声频带,可以同时跟踪并识别 9 个应答器。

[0099] 可实现性能的估计

[0100] 让我们估计可实现的跟踪范围。假设超声波频率是 40kHz 以及超声波源的声功率是 1mW。可以在 [23] 中找到具有相似性能的装置。空气的声阻抗为 410Ns/m^2 。

[0101] 在空气中在 40kHz 处的声波长为 8mm。传声器的膜表面积为 $400\text{微米} \times 400\text{微米}$, 间隙为 $200\text{ }\mu\text{m}$ 。膜厚度是 $1\text{ }\mu\text{m}$ 及其有效质量是 $0.3\text{ }\mu\text{g}$ 。传声器元件的初始电容是 $C_0 = \epsilon_0 A / g_0 = 14\text{fF}$ 。进一步假设传声器的电品质因数在 5GHz 处是 100, 导致 $22\text{ }\Omega$ 的串联电阻。表 1 示出了超声波跟踪系统的估计参数。图 5a 示出了应答器的作为 r_{ac} 的函数的电调制效率。图 5b 示出了应答器的作为超声波范围的函数的微波检测范围。例如,如果声学距离是 6m 并且微波频率是 2GHz, 可以从 6m 的距离处检测到应答器。

[0102] 表 1 :超声波跟踪系统的估计参数

[0103]

声频率	$f_{ac} = \omega_{ac} / (2\pi) = 40\text{kHz}$
声功率	$P_{ac} = 1\text{mW}$
发射 RF 功率	$P_{t, reader} = 30\text{dBm}$
声阻抗	$Z_{ac} = 410\text{Ns/m}^2$
膜的有效质量	$m = 0.3\text{ }\mu\text{g}$

读取装置天线增益	$G_{\text{reader}}=6\text{dBi}$
应答器天线增益	$G_{\text{transp}}=-10\text{dBi}$
读取装置的阈值水平	$P_{\text{r, reader}}=-110\text{dBm}$
天线电阻	$R_a=22\ \Omega$
电频率	$f_{\text{rf}}=\omega_{\text{rf}}/(2\pi)=1, 2, 3\text{GHz}$
真空介电常数	$\varepsilon_0=8.854\times 10^{-12}\text{F/m}$
机械品质因数	$Q_m=20$

[0104] 使用扫描激光器以及微波应答器的跟踪

[0105] 本部分考虑用于昆虫跟踪的基于光电二极管的应答器系统。根据图 6a 和图 6b, 昆虫 1 被配备有使用扫描激光器 14 激励的感光应答器 3, 所述扫描激光器 14 照射昆虫和应答器 3。当激光信号照射应答器 3 时, 激光信号受到调制并以微波频率产生调制反向散射。

[0106] 调制激光信号可以是脉冲信号(图 6b)或连续信号(图 6a)。如果使用连续信号, 则对象位置是在检测到调制微波信号的时刻的至少两束激光束的交叉点。如果使用脉冲雷达信号, 可以根据时间延迟来求出对象距离并且单束激光束就足够了。图 6a (连续) 和图 6b (脉冲) 分别示出了连续雷达跟踪原理和脉冲雷达跟踪原理。

[0107] 应答器的光电响应

[0108] 应答器包括与天线匹配的光电二极管。在图 7 的顶部示出了应答器的示意图, 在图 7 的底部示出了应答器的等效电路。

[0109] 在光电二极管中的吸收光子在二极管中生成电子空穴对。可以使用电流发生器来描述该过程, 该电流发生器的电流作为吸收光功率 P_L 的函数被给出为:

$$[0110] \quad I_L = P_L R_\lambda, \quad (4.1)$$

[0111] 其中, R_λ 是二极管的响应度(通常为约 0.5A/W)。二极管电流被给出为:

$$[0112] \quad I_D = I_{\text{sat}} \left(e^{\frac{eV_D}{\eta kT}} - 1 \right), \quad (4.2)$$

[0113] 其中, η 是理想因数、 $k=1.38\times 10^{-23}\text{J/K}$ 是波尔兹曼常数、 T 是温度、 $e=1.60\times 10^{-19}\text{C}$ 是元电荷、 I_{sat} 是饱和电流、 V_D 是二极管上的电压。假设分流电阻 R_{sh} 和负载电阻 Z_L (图 7) 均很大。则通过二极管的电流等于由吸收光所产生的电流, 二极管两端的电压可以写成:

$$[0114] \quad V_D = \frac{\eta kT}{e} \ln \left(\frac{P_L R_\lambda + I_{\text{sat}}}{I_{\text{sat}}} \right). \quad (4.3)$$

[0115] 电压影响结电阻和结电容两者。二极管的小信号结电阻为:

$$[0116] \quad r_j = \frac{1}{dV/dI} = \frac{\eta kT}{e I_{\text{sat}}} e^{-\frac{eV_D}{\eta kT}}. \quad (4.4)$$

[0117] 结电阻被给出为：

$$C_j = \frac{C_{j0}}{\left(1 - \frac{V_D}{\Phi_i}\right)^\gamma}, \quad (4.5)$$

[0119] 其中， Φ_i 是结电势， γ 是关于损耗电容的曲面参数(profile parameter)而且对于均匀的掺杂结等于 0.5。

[0120] 电磁检测距离

[0121] 从负载看，二极管(图 7)的阻抗为：

$$Z_D = R_s + \frac{r_j R_{sh}}{R_{sh} + r_j + j\omega r_j R_{sh} C_j}. \quad (4.6)$$

[0123] 在相对低的辐照度等级下结电阻非常大，可以被假设为无穷大。例如，BPV10 光电二极管芯片(Vishay Semiconductor (威世半导体))的结电阻在黑暗的条件下是 25M Ω ，在 1mW/cm² 的辐照度下为 5.8k Ω 。此外，分流电阻一般是 M Ω 量级从而可以被忽略。等式(4.6)变为：

$$Z_D \approx R_s + \frac{1}{j\omega C_j}. \quad (4.7)$$

[0125] 二极管被调制光源照射，并且它的负载阻抗在直流(DC)下为无穷大。调制光改变了二极管的正向偏压并修改了二极管的结电容。交流结电容产生经调制的反向散射。应答器的转换效率为：

$$E = |\Delta\rho|^2 = \left| \frac{\Delta C_j}{2\omega R_s C_{j0}^2} \right|^2, \quad (4.8)$$

[0127] 其中， $\Delta C_j = C_{j,\max} - C_{j0}$ 。应答器的微波检测距离由(3.12)给出。

[0128] 跟踪分辨率和速度

[0129] 跟踪分辨率受扫描激光的束宽度的限制。在实际中，激光束宽度可以是毫米级。

[0130] 跟踪速度取决于接收器 B_{res} 的分辨带宽，该分辨带宽受激光的调制频率 f_m 的限制。要求 $B_{res} < f_m/10$ ，测量(刷新)率是 $f_m/10$ 。例如，假设跟踪空间被划分为 10000 个单元，调制频率是 1MHz 的用于跟踪的两束激光产生 5Hz 的刷新率(昆虫位置以每秒 5 次进行更新)。

[0131] 多个目标的识别

[0132] 可以使用光波分、电磁频分或两者来实现多个目标的识别。光波分使用对不同波长敏感的光电二极管来实现。光波分会需要滤光器从而能够实现三个不同的波长带。电磁频分使用在不同的频率匹配的应答器天线来实现。电磁频分也可以允许三个不同的频带，以使得可识别的应答器的总数可以为 9。

[0133] 可实现性能的估计

[0134] 假设激光的辐照度为 1mW/cm²。该辐照度等级在正常的使用中应当是安全的。可以通过使用对人眼更安全的 1400nm 的波长来进一步增加安全性。

[0135] 应答器可以基于威世半导体公司的 BPV10 光电二极管芯片，其参数在表 II 中示

出。

[0136] 表 II :威世半导体公司的 BPV10 光电二极管的参数。

[0137]	灵敏度	$R_L=0.55A/W$
	在零偏压下的结电容	$C_{j0}=11pF$
	串联电阻	$R_s=12\Omega$
	在黑暗中的饱和电流	$I_{sat,d}=1nA$
	在光照下的饱和电流 ($1mW/cm^2$)	$I_{sat,l}=70\mu A$
[0138]	结电势	$\Phi_i=1V$
	分流电阻 ¹	$R_{sh}=1G\Omega$
	辐射敏感面积	$A=0.78mm^2$
	二极管的尺寸 ¹	$1mm \times 1mm \times 0.2mm$
	二极管的质量 ¹	$0.5mg$

[0139] ¹ 估计的

[0140] 图 8 示出了作为辐照度的函数的结电容。

[0141] 调制效率取决于背景辐照度等级。图 9 示出了在不同的背景辐照度等级下应答器的微波检测范围。微波链接预算参数等于表 1 中呈现的参数。例如,应答器可以在 $0.8mW/cm^2$ 的背景辐照度等级的情况下以 1GHz 在相距 10m 的位置处被检测到。办公室的通常照度等级是 500lx,其可以取决于所使用的光谱而对应大约 $0.1mW/cm^2$ 的辐照度。

[0142] 图 10 中以计算出的曲线示出了在 1.5GHz 下测量的在不同的辐照度等级下的二极管阻抗的实部和虚部。在该计算中,二极管的理想因数假设为 $\eta=1$,以及结曲面参数被假设为 $\gamma=0.5$ 。

[0143] 计算出的阻抗和测量到的阻抗非常一致,从而表示图 7 中所示的光电二极管的简

单模型可以用于设计无线光电检测器。图 10 还示出了在相对低的辐照度等级处可以实现非常强的调制。因此,即使是激光功率被限制到 1mW 的低功率 I 级激光扫描器也可以用于定位目标。

[0144] 图 11 示出了应答器的照片。因为难以获得裸二极管芯片,所以在实验中使用封装后的光电二极管。具有优化为轻量度的天线的裸二极管芯片使得能够实现重量轻而且小的应答器。例如,1mm×1mm×0.2mm 尺寸的硅二极管芯片重大约 0.5mg。相似地,环形天线可以由 0.1mm 厚的铜线制造并且不需要集总元件而可以直接与二极管匹配。与测量中使用的天线具有相等环形尺寸的这样的天线可以重 3mg,提供了与普通谐波雷达应答器(3mg)的重量可比较的应答器重量[11]。通过使用用于探询的更高微波频率可以实现应答器的尺寸和质量的进一步减小。然而,这会需要更小的有效光电二极管面积,因此需要更强的激光照射。

[0145] 图 12 示出了在低至 0.1mW/cm² 的辐照度等级下出现的充分调制。如果使用裸二极管芯片代替封装后的光电二极管,辐照度等级应当会高出 20 倍, I 级激光(1mW 功率)可以用于产生尺寸最大为 7mm×7mm 的光点。此外,假设具有 1kHz 扫描率的激光扫描器(其是典型的商业可用扫描器)被使用于 7mm×7mm 的光点,在一秒钟内可以扫描 0.5m² 的面积。

[0146] 总之,本发明涉及用于目标定位的方法及系统。在所述方法中:通常为昆虫的目标 1 被至少一个第一类型信号照射;以及检测对该信号的响应;目标 1 配备有对第一类型信号进行反向散射的应答器 2、3,应答器 2、3 还被影响应答器 2、3 的反向散射频率的第二类型信号照射,并且来自于应答器 2、3 的反向散射信号被检测以定位目标。

[0147] 在本发明的有利解决方案中,应答器 2、3 被作为第二类型信号的超声波或光照射。

[0148] 在本发明的另一个有利解决方案中,第一类型信号是微波信号。

[0149] 在本发明的另一个有利解决方案中,使用多个发射器的至少基本连续的信号来用于第二类型照射。

[0150] 在本发明的另一个有利解决方案中,使用脉冲信号源 14' 来用于第二类型照射。

[0151] 在本发明的另一个有利解决方案中,所述方法用于昆虫的定位或跟踪。

[0152] 在本发明的另一个有利解决方案中,所述方法用于人的定位或跟踪。

[0153] 在本发明的另一个有利解决方案中,所述方法用于车辆的定位或跟踪。

[0154] 参考文献:

[0155] [1]D. R. Reynolds and J. R. Riley, "Remote-sensing, telemetric and computer-based technologies for investigating insect movement:a survey of existing and potential techniques," Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 35, pp. 271-307, 2002.

[0156] [2]H. Staras and J. Shefer, Harmonic Radar Detecting and Ranging System for Automotive Vehicles, US Patent 3781879, 1972.

[0157] [3]E. A. Capaldi, A. D. Smith, J. L. Osborne, S. E. Fahrbach, S. M. Farris, D. R. Reynolds, A. S. Edwards, A. Martin, G. E. Robinson, G. M. Poppy, and J. R. Riley, "Ontogeny of orientation flight in the honeybee revealed by harmonic radar," Nature, vol. 403, pp. 537-540, 2000.

- [0158] [4] J. R. Riley, A. D. Smith, D. R. Reynolds, A. S. Edwards, J. L. Osborne, I. H. Williams, N. L. Carreck, and G. M. Poppy, "Tracking bees with harmonic radar," *Nature*, vol. 379, pp. 29–30, 1996.
- [0159] [5] J. L. Osborne, S. J. Clark, R. J. Morris, I. H. Williams, J. R. Riley, A. D. Smith, D. R. Reynolds, and A. S. Edwards, "A landscape-scale study of bumblebee foraging range and constancy, using harmonic radar," *Journal of Applied Ecology*, vol. 36, pp. 519–533, 1999.
- [0160] [6] E. T. Cant, A. D. Smith, D. R. Reynolds and J. L. Osborne, "Tracking butterfly flight paths across the landscape with harmonic radar," *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 272, no. 1565, pp. 785–790, Apr. 2005.
- [0161] [7] O. Ovaskainen, A. D. Smith, J. L. Osborne, D. R. Reynolds, N. L. Carreck, A. P. Martin, K. Niitepold, and I. Hanski, "Tracking butterfly movements with harmonic radar reveals an effect of population age on movement distance," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 105, no. 49, pp. 19090–19095, Dec. 2008.
- [0162] [8] G. P. Svensson, P. G. Valeur, D. R. Reynolds, A. D. Smith, J. R. Riley, T. C. Baker, G. M. Poppy, and C. **Löfstedt**, "Mating disruption in *Agrotis segetum* monitored by harmonic radar," *Entomologia Experimentalis et Applicata*, vol. 101, pp. 111–121, 2001.
- [0163] [9] G. L. **Lövei**, I. A. N. Stringer, C. D. Devine, and M. Cartellieri, "Harmonic radar—a method using inexpensive tags to study invertebrate movement on land," *New Zealand Journal of Ecology*, vol. 21, no. 2, pp. 187–193, 1997.
- [0164] [10] R. D. Brazeel, E. S. Miller, M. E. Reding, M. G. Klein, B. Nudd, and H. Zhu, "A transponder for harmonic radar tracking of the black vine weevil in behavioral research," *Amer. Soc. Agricult. Eng. Trans.*, vol. 48, no. 2, pp. 831–838, 2005.
- [0165] [11] J. R. Riley and A. D. Smith, "Design considerations for an harmonic radar to investigate the flight of insects at low altitude," *Computers and Electronics in Agriculture*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2002, Vol. 35, pp. 151–169.
- [0166] [12] E. T. Cant, A. D. Smith, D. R. Reynold and J. L. Osborne, "Tracing butterfly flight paths across the landscape with harmonic radar," *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 272, No. 1565, pp. 785–790, Apr. 2005.
- [0167] [13] B. G. Colpitis and G. Boiteau, "Harmonic radar transceiver design: Miniature tags for insect tracking," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 52, No. 11, pp. 2825–2832, Nov. 2004.
- [0168] [14] D. E. N. Davies and R. J. Klensch, "Two-frequency secondary radar incorporating passive transponders," *IEE Electronics Letters*, Vol. 9, No. 25, pp. 592–593, Dec. 1973.
- [0169] [15] H. Kwun, G. L. Burkhardt, J. L. Fisher, Detection of reinforcing steel

corrosion in concrete structures using non-linear harmonic and intermodulation wave generation, US Patent 5180969, 1993.

[0170] [16] V. Viikari, J. Saebboe, S. Cheng, M. Kantanen, M. Al-Nuaimi, T. Varpula, A. Lamminen, P. **Hallbjörner**, A. Alastalo, T. Mattila, H. **Seppä**, P. Pursula, and A. Rydberg, "Technical solutions for automotive intermodulation radar for detecting vulnerable road users," Proceedings of the IEEE 69th Vehicular Technology Conference, Barcelona, Spain, Apr. 26-29, 2009.

[0171] [17] V. Viikari, H. **Seppä**, T. Mattila, and A. Alastalo, "Wireless ferroelectric resonating sensor," submitted to IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 2009.

[0172] [18] V. Viikari and H. **Seppä**, "Wireless MEMS Sensor Concept Based on Intermodulation Distortion," accepted with minor revision to IEEE Sensors Journal, 2009.

[0173] [19] D. Psychoudakis, W. Moulder, C. Chi-Chih, Z. Heping, and J. L. Volakis, "A portable low-power harmonic radar system and conformal tag for insect tracking," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 7, pp. 444-447, 2008.

[0174] [20] <http://www.recco.com/>

[0175] [21] J. Roland, G. McKinnon, C. Backhouse, and P. D. Taylor, "Even smaller radar tags on insects," Nature, Vol. 381, p. 120, May 1996.

[0176] [22] D. Mascanzoni and H. Wallin, "The harmonic radar: a new method of tracing insects in the field," Ecological Entomology, Vol. 11, pp. 387-390, 1986.

[0177] [23] <http://www.massa.com/datasheets/E-188-220%20Datasheet%20090427.pdf>

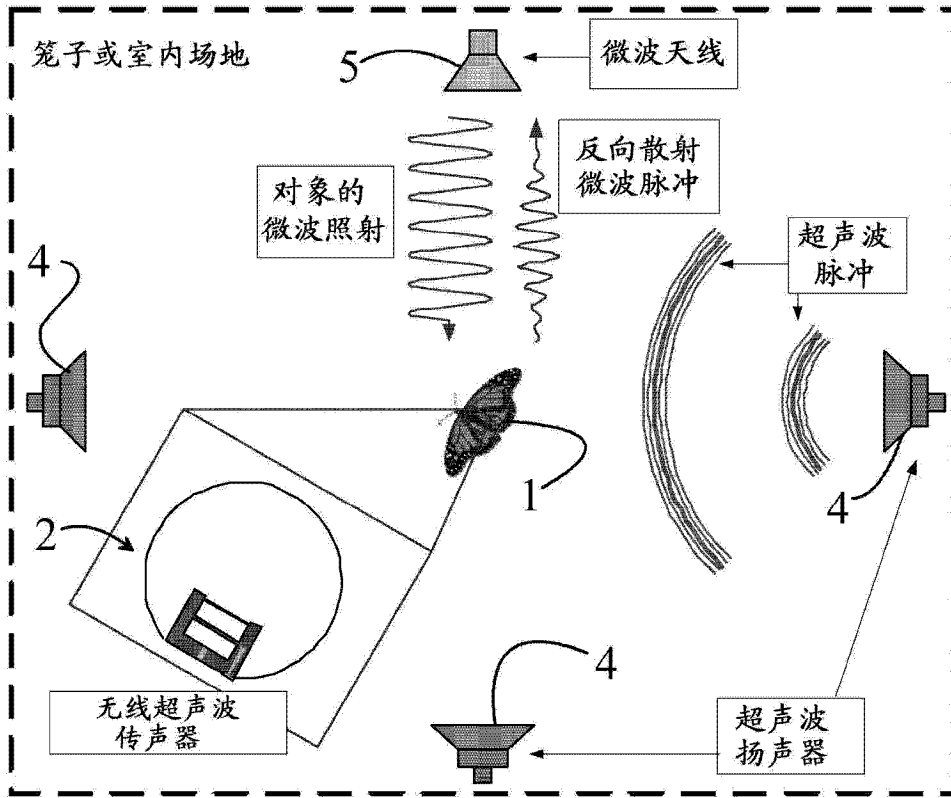


图 1

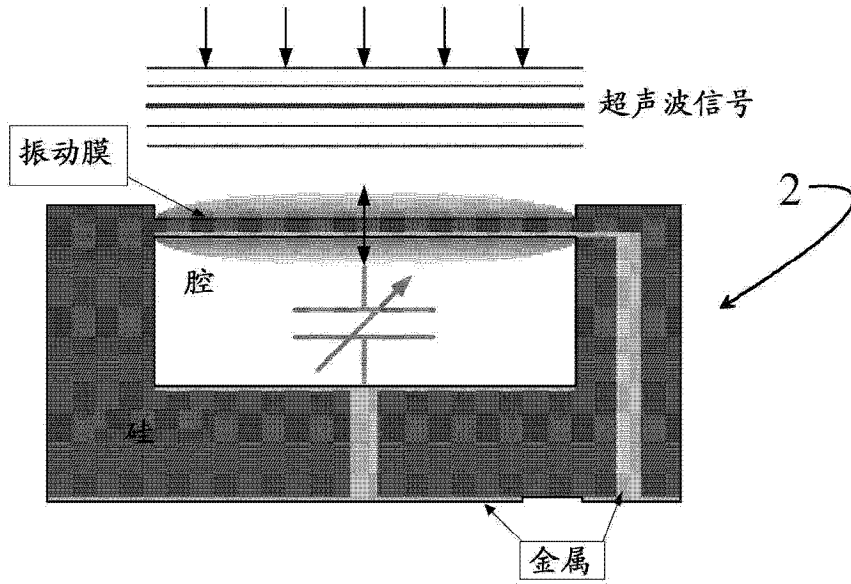


图 2

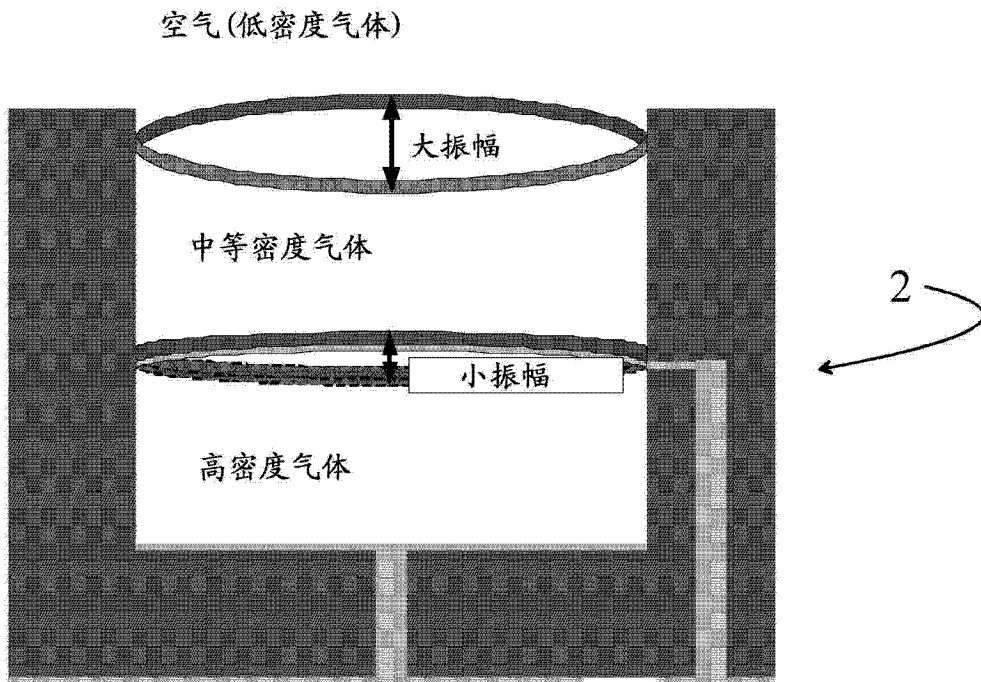


图 3

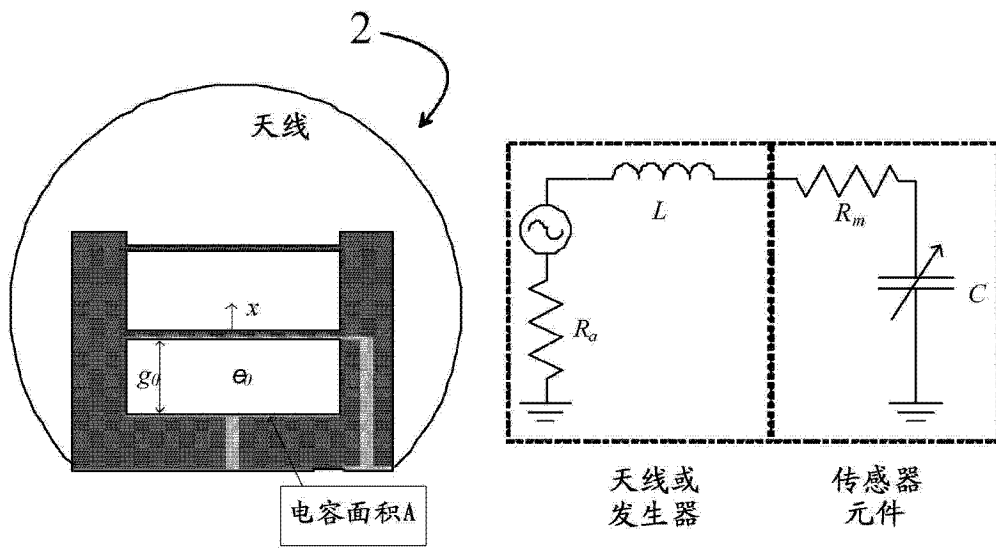


图 4

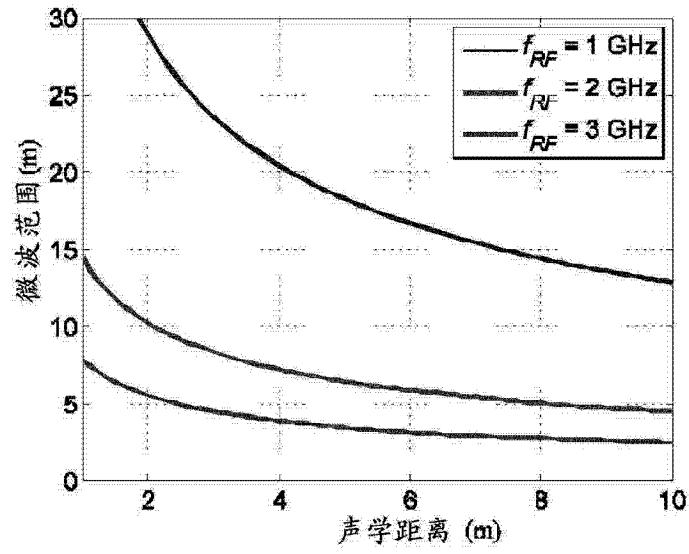


图 5a

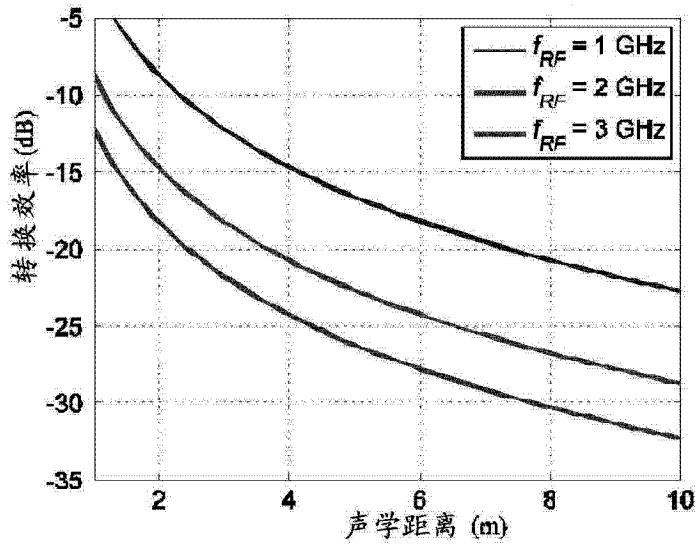


图 5b

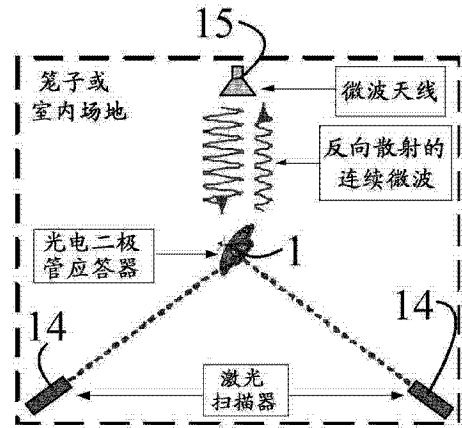


图 6a

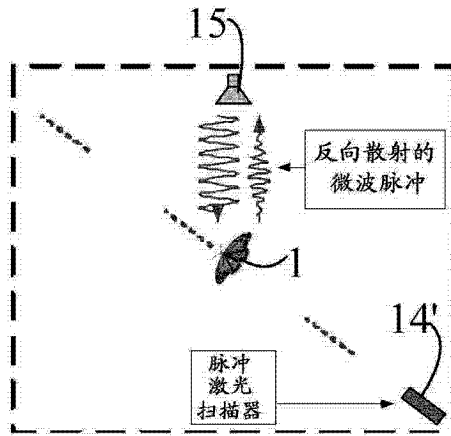


图 6b

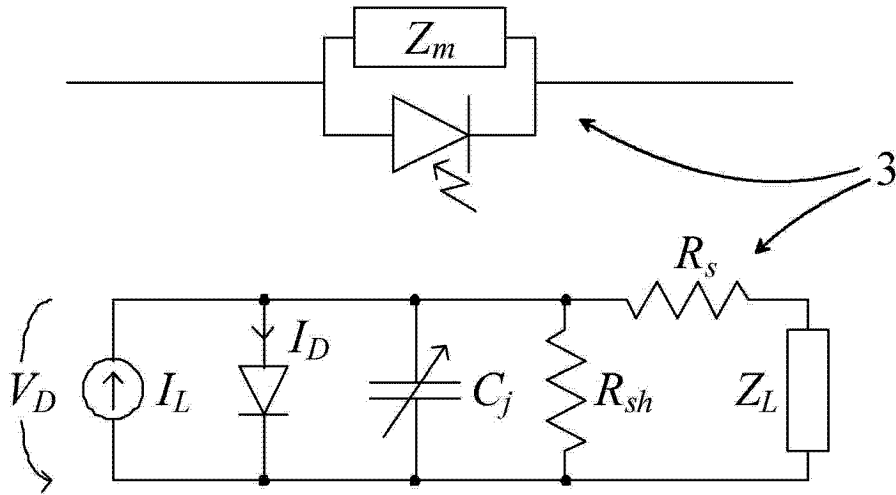


图 7

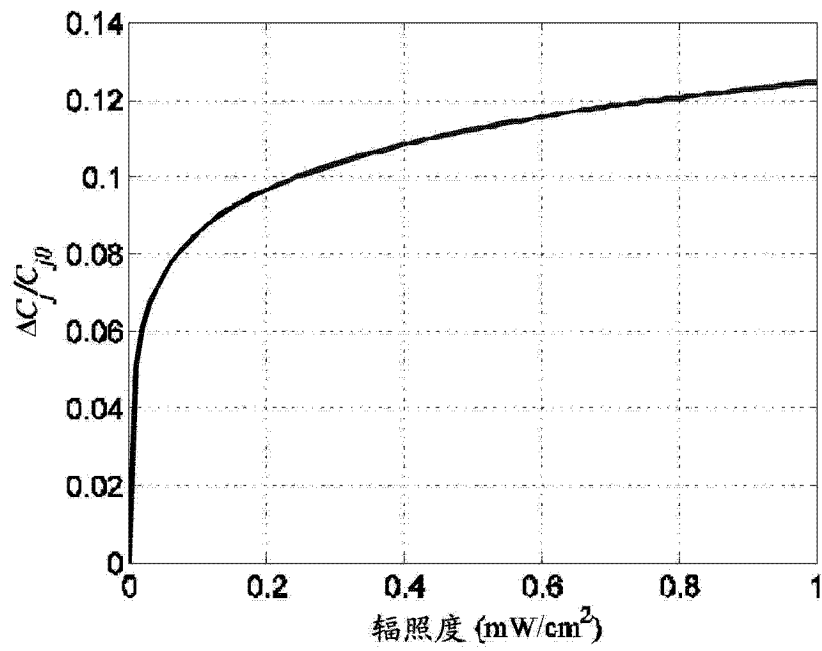


图 8

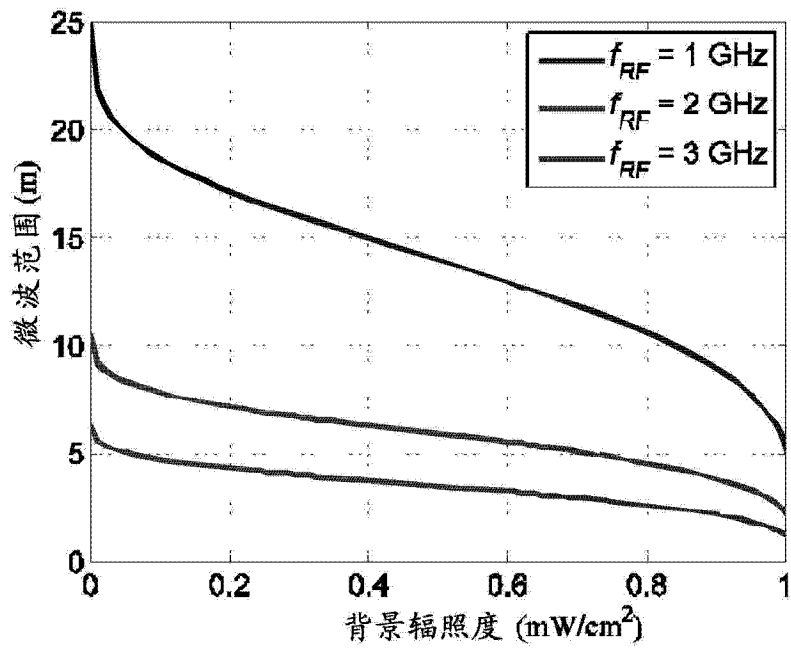


图 9

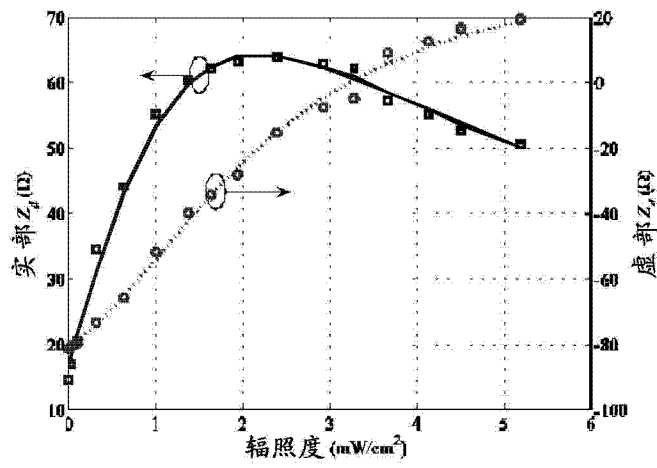


图 10

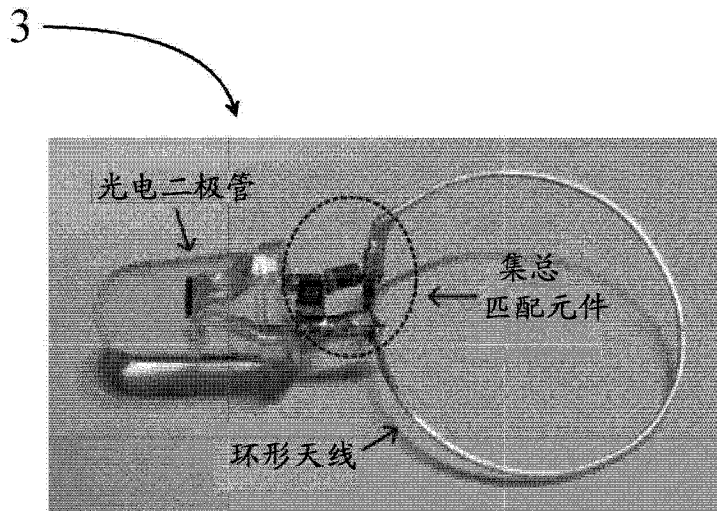


图 11

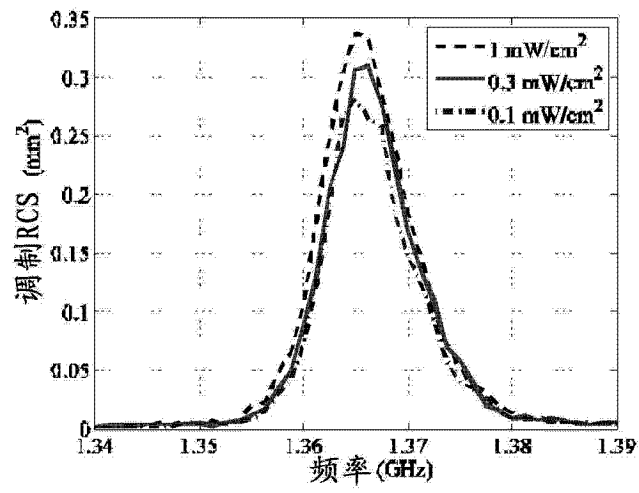


图 12