



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102749529 B

(45) 授权公告日 2015. 12. 16

(21) 申请号 201110099621. 6

CN 101587990 A, 2009. 11. 25, 全文.

(22) 申请日 2011. 04. 20

程强 等. 各向异性人工电磁媒质成像的实验验证. 《2009 年全国天线年会论文集(上)》. 2009, 826-829.

(73) 专利权人 深圳光启高等理工研究院  
地址 518000 广东省深圳市南山区高新区中区高新中一道 9 号软件大厦  
专利权人 深圳光启创新技术有限公司

审查员 姜楠

(72) 发明人 刘若鹏 徐冠雄 张洋洋 赵治亚

(51) Int. Cl.

G01R 29/08(2006. 01)

G01R 29/10(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101699659 A, 2010. 04. 28, 说明书第 29-43 段, 图 1-6.

CN 1407731 A, 2003. 04. 02, 全文.

CN 101389998 A, 2009. 03. 18, 全文.

US 2010/0141358 A1, 2010. 06. 10, 全文.

CN 101867094 A, 2010. 10. 20, 全文.

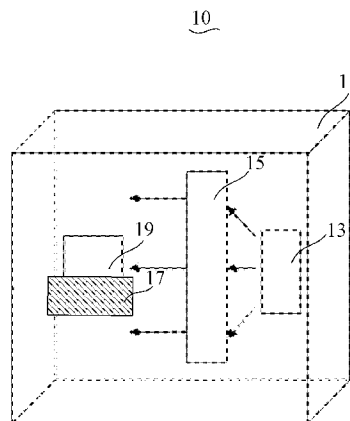
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

紧缩场天线测量系统

(57) 摘要

一种紧缩场天线测量系统包括设置于所述微波暗室内的馈源;所述紧缩场天线测量系统还包括由多片超材料层叠加形成的一平面波生成单元,每一片超材料层包括基材以及设置在基材上的多个人造孔微结构,所述馈源产生的电磁波穿过所述平面波生成单元后转换成平面电磁波。采用超材料制成的平面波生成单元代替现有技术中的反射面,根据测试要求计算机仿真面波生成单元折射特性,使所述馈源产生的电磁波经所述平面波生成单元折射后,在所述天线测试转台上提供一个性能优良的准平面波测试区。因此省略了制造高精度的反射面及高难度的加工艺;大大降低了紧缩场天线测量系统造价成本。



1. 一种紧缩场天线测量系统,包括微波暗室、设置于所述微波暗室内的馈源和天线测试转台;其特征在于,所述紧缩场天线测量系统还包括由多片超材料层叠加形成的一平面波生成单元,所述平面波生成单元设置于所述馈源与天线测试转台之间,每一片超材料层包括基材以及设置在基材上的多个人造孔微结构,所述馈源产生的电磁波穿过所述平面波生成单元后在所述天线测试转台上提供一个平面电磁波,所述平面波生成单元的中心轴处的折射率为  $n_1$ ,以所述中心轴与所述平面波生成单元的交点为圆心,随着半径的逐渐增加折射率逐渐变小,而且随着半径的增大,折射率的变化量逐渐增大,其中  $n_1 > n_2 > n_3 > \dots > n_p$ ,  $(n_m - n_{m-1}) > (n_{m-1} - n_{m-2})$ ,  $m$  为大于 3 小于等于  $p$  的自然数。

2. 根据权利要求 1 所述的紧缩场天线测量系统,其特征在于,所述多个人造孔微结构呈阵列式排布于基材内。

3. 根据权利要求 2 所述的紧缩场天线测量系统,其特征在于,所述人造孔微结构尺寸由所述基材的中间区域向周围逐渐变大。

4. 根据权利要求 2 所述的紧缩场天线测量系统,其特征在于,所述人造孔微结构的尺寸相同且排布密度由基材的中间区域向周围逐渐变密。

5. 根据权利要求 2 所述的紧缩场天线测量系统,其特征在于,所述人造孔微结构的尺寸相同且填充有介质;其内填充介质的介电常数由基材的中间区域向周围逐渐变小。

6. 根据权利要求 1 或 2 所述的紧缩场天线测量系统,其特征在于,所述多片超材料的基材由陶瓷材料、高分子材料、铁电材料、铁氧材料或铁磁材料制成。

7. 根据权利要求 2 所述的紧缩场天线测量系统,其特征在于,所述人造孔微结构为圆柱孔、球形孔、方形孔或不规则形孔。

8. 根据权利要求 2 所述的紧缩场天线测量系统,其特征在于,所述人造孔微结构通过冲压工艺形成于所述多片超材料的基材上。

9. 根据权利要求 2 所述的紧缩场天线测量系统,其特征在于,所述人造孔微结构中填充有介质,所述介质的材质与所述多片超材料的基材的材质不相同。

## 紧缩场天线测量系统

### 【技术领域】

[0001] 本发明涉及紧缩场测试领域,特别是涉及一种包含超材料的紧缩场天线测量系统。

### 【背景技术】

[0002] 当前测量目标(如天线等)散射特性的基本方法有远场法、紧缩场法和近场法。对于远场法,设 $D$ 为待测目标的最大截面尺寸, $r$ 为发射天线与待测目标的距离,则当 $r \geq 2D^2/\lambda$ 时( $\lambda$ 为波长),可近似认为投射到待测目标上的电磁波是平面电磁波。同样,接收天线与待测目标的距离也应满足这一要求,以使接收天线接收散射远场。转动待测目标,测出相应的散射远场,即可确定目标的远场散射方向图,通过与标准目标进行比较,可以获得目标的雷达散射截面图(英文名称 Radar Cross-Section,缩写为 RCS)。但这种远场测试方法需要庞大的测试场地,且由于待测目标的远场散射信号一般比较弱(对于低 RCS 目标则更是如此),因而给精确测量带来了很大的困难。

[0003] 而紧缩场(英文名称为 Compact Antenna Test Range,简称 CATR)天线测量系统可以在近距离内提供一个性能优良的准平面波测试区。紧缩场天线测量系统采用精密的反射面,将信号源产生的球面波在近距离内变换为平面波,从而满足远场测试要求。紧缩场天线测量系统就是能在较小的微波暗室里模拟远场的平面波电磁环境进行多项测量和研究,如天线方向图测量、增益比较、雷达散射截面测量、微波成像等。同时可以进行微波电路、元器件的网络参数测量和高频场仿真。

[0004] 与外场和室内近场比较,紧缩场的优点是:

[0005] 1.) 收、发天线间的距离短,大大减小了实际占有的空间。

[0006] 2.) 紧缩场产生的平面波将聚集在平面波束内,暗室内四侧壁的照射电平低,从而降低了对暗室的要求。在微波暗室设计合理,并采用背景对消的条件下,可使紧缩场的背景电平达到 $-60 \sim -70$ dBsm。

[0007] 3.) 便于实现待测天线发射波瓣的测试(换接容易,不需电缆)。

[0008] 4.) 安装在微波暗室的紧缩场保密性好,而且可全天候高效地工作,便于测试管理。另外,室内紧缩场受气候环境影响小,改善了测试条件,因而提高了 RCS 的测量效率。

[0009] 5.) 紧缩场的工作频率可以从几百 MHz 到几百 GHz,能满足毫米波和亚毫米波测试要求。

[0010] 现有技术中紧缩场天线测量系统由微波暗室、紧缩场天线、馈源组合、馈源转台、天线测试转台、微波信号源、微波测量接收机、数据采集分系统、数据处理机(计算机)及显示输出设备等组成。上述紧缩场天线测量系统的微波信号源被反射面在较短距离形成理想的平面电磁波,以测量待测设备。然而,上述紧缩场天线测量系统的反射面设计精度及加工工艺要求极高;而且制造反射面一般采用银等成本较高的材料制成,使得紧缩场天线测量系统造价比较昂贵。

**【发明内容】**

[0011] 本发明提供一种紧缩场天线测量系统,解决了现有紧缩场天线测量系统的反射面设计精度、加工艺要求过高及造价比较昂等的问题。

[0012] 一种紧缩场天线测量系统包括设置于所述微波暗室内的馈源,所述紧缩场天线测量系统还包括由多片超材料层叠加形成的一平面波生成单元,每一片超材料层包括基材以及设置在基材上的多个人造孔微结构,所述馈源产生的电磁波穿过所述平面波生成单元后转换成平面电磁波。

[0013] 进一步地,所述平面波生成单元对入射电磁波的折射率从中间区域向两端逐渐减小。

[0014] 进一步地,所述多个人造孔微结构呈阵列式排布于基材内。

[0015] 进一步地,所述人造孔微结构尺寸由所述基材的中间区域向周围逐渐变大。

[0016] 进一步地,所述人造孔微结构的尺寸相同且排布密度由基材的中间区域向周围逐渐变密。

[0017] 进一步地,所述人造孔微结构的尺寸相同且填充有介质;其内填充介质的介电常数由基材的中间区域向周围逐渐变小。

[0018] 进一步地,所述多片超材料的基材由陶瓷材料、高分子材料、铁电材料、铁氧材料或铁磁材料制成。

[0019] 进一步地,所述孔微结构为圆柱孔、球形孔,方形孔或不规则形孔。

[0020] 进一步地,所述孔微结构通过冲压工艺形成于所述多片超材料的基材上。

[0021] 进一步地,所述孔状微结构中填充有介质,所述介质的材质与所述多片超材料的基材的材质不相同。

[0022] 通过采用超材料制成的平面波生成单元代替现有技术中的反射面,根据测试要求计算机仿真面波生成单元折射特性,使所述馈源产生的电磁波经所述平面波生成单元折射后,在所述天线测试转台上提供一个性能优良的准平面波测试区以用于测试待测设备。因此,上述紧缩场天线测量系统的省略了制造高精度的反射面及高难度的加工艺;大大降低了紧缩场天线测量系统造价成本。

**【附图说明】**

[0023] 图 1 是本发明一实施例中的紧缩场天线测量系统示意图。

[0024] 图 2 为图 1 所示平面波生成单元沿中心轴对称的折射率分布示意图。

[0025] 图 3 为图 1 所示磁波经平面波生成单元形成平面电磁波的示意图。

[0026] 图 4 为图 3 所示为平面波生成单元其中一片超材料层一种实施方式的平面示意图。

[0027] 图 5 为图 3 所示为平面波生成单元其中一片超材料层另一种实施方式的平面示意图。

**【具体实施方式】**

[0028] 本发明实施例提供了一种紧缩场天线测量系统,下面结合附图对该装置进行详细说明。

[0029] 请参阅图 2, 紧缩场天线测量系统 10 产生平面电磁波的示意图。紧缩场天线测量系统 10 包括微波暗室 11、设置于所述微波暗室 11 内的馈源 13、天线测试转台 17 及平面波生成单元 15, 其中所述平面波生成单元 15 由超材料制成。所述紧缩场天线测量系统 10 的馈源 13 和天线测试转台 17 分别位于所述平面波生成单元 15 的两侧。所述馈源 13 产生的电磁波经所述平面波生成单元 15 折射后, 在所述天线测试转台 17 上提供一个性能优良的准平面波测试区以用于测试待测设备 19。

[0030] 所述平面波生成单元 15 是由多片超材料层叠加而成, 且对入射电磁波的折射率分布如图 2 所示, 中心轴处的折射率为  $n_1$ , 以中心轴 AA' 与超材料单元的交点为圆心, 随着半径的逐渐增加折射率逐渐变小, 而且随着半径的增大, 折射率的变化量逐渐增大, 其中  $n_1 > n_2 > n_3 > \dots > n_p$ ,  $(n_m - n_{m-1}) > (n_{m-1} - n_{m-2})$ ,  $m$  为大于 3 小于等于  $p$  的自然数。从而保证馈源 13 产生的电磁波经由平面波生成单元 15 平行射出后并在天线测试转台 17 上提供一个性能优良的准平面波。

[0031] 如图 4 所示, 由馈源 13 发出的电磁波经过由多片超材料基材叠加的平面波生成单元 15 汇聚后沿 S1 方向平行传出时, 偏折角  $\theta$  与折射率的关系为:  $\sin \theta = q \cdot \Delta n$  (参见 *Metamaterials: Theory, Design, and Applications*, Publisher: Springer, ISBN 1441905723, 75 页 -76 页), 其中  $q$  是沿轴向排列的超材料基材厚度,  $\Delta n$  表示相邻单元的折射率变化量, 且  $0 < q \cdot \Delta n < 1$ , 由上述公式可知, 超材料单元上相邻单元的折射率变化量大小相同时, 对于传输到该位置的电磁波的偏折角相同, 折射率变化量越大, 偏折角越大。

[0032] 材料的折射率与其介电常数及磁导率存在如下关系:  $n = k \sqrt{\epsilon \times u}$ , 其中  $k$  为比例系数,  $k$  取值为正负 1,  $\epsilon$  为材料的介电常数,  $u$  为材料的磁导率, 通过对超材料空间中每一点的介电常数  $\epsilon$  的精确设计, 可以实现由发射源发出的电磁波经超材料折射后平行射出并在在天线测试转台 17 上提供一个性能优良的准平面波。

[0033] 由上述描述可知, 平面波生成单元 15 每一片超材料层的设计至关重要。下面对每一片超材料做具体说明:

[0034] 请参阅图 5, 为平面波生成单元 15 其中一片超材料层的平面示意图。每一片超材料层包基材 41 和设置于基材 41 上的人造孔微结构 42。基材采用介电绝缘材料制成, 可以为陶瓷材料、高分子材料、铁电材料、铁氧材料或铁磁材料等。

[0035] 人造孔微结构 42 的剖面图可以为任何几何形状, 整个片状超材料划分为多个单元 (包括该单元中的基材 41 和附着在该单元基材 41 上的人造孔微结构 42), 每个单元都具有一个人造孔微结构 42, 每一个单元都会对响应电磁波, 从而影响电磁波在其中的传输, 每个单元的尺寸取决于需要响应的电磁波, 通常为所需响应的电磁波波长的十分之一, 否则空间中包含人造孔微结构单元所组成的排列在空间中对电磁波的响应不能被视为连续。

[0036] 在基材选定的情况下, 可以通过调整人造孔微结构 42 的形状、大小以调整超材料上各处的等效介电常数各处来改变其等效折射率。当人造孔微结构 42 采用相同的几何形状时, 某处人造孔微结构 42 的尺寸越大, 则该处的等效介电常数越小, 折射率也越小。在本实施例采用的人造孔微结构的剖面图案为圆形, 基材 41 上的中间区域上的人造孔微结构 42 尺寸最小, 则该处的等效介电常数最大, 折射率也最大; 人造孔微结构 42 的尺寸由基材 41 的中间区域向两端逐渐变大, 所以基材 41 折射率分布如图 2 所示。因此基材的等效介电

常数由中间区域向两端逐渐变小,中间的等效介电常数及等效磁导率最大,因而基材的折射率从中间区域向两端逐渐变小,中间部分的折射率最大。在其他实施方式中,当人造孔微结构 42 尺寸大小相同时,其排布密度由基材 41 的中间区域向两端逐渐变密,从而使基材 41 产生的折射率分布如图 2 所示。根据上述平面波生成单元 15 设计理论要求,当所述人造孔微结构 42 的尺寸相同且其内填充介质的介电常数逐渐变小,也可达到折射率分布如图 2 所示的平面波生成单元 15。基于以上理论,利用人造孔微结构 42 的形状、大小及密度之间的组合也可以设计出折射率分布如图 3 所示平面波生成单元 15。

[0037] 为了得到折射率分布如图 3 所示平面波生成单元 15,通过计算机仿真和实验测试,先预设馈源与平面波生成单元 15 的距离,预选一个单元(包括该单元中的基材 41 和附着在基材 41 上具几何形状的人造孔微结构 42)作为中心处的单元,将若干单元(包含不同几何参数的人造孔微结构)响应发射源发出的电磁波的电磁特性进行测量,存储测量得到的电磁响应曲线,确定各种不同单元结构的等效介电常数以及等效磁导率并存在于一个数据库中;然后根据公式  $\sin \theta = q \cdot \Delta n$ ,对于不同的偏转角度,确定折射率的变化量,确定不同半径处的折射率,根据折射率与介电常数和磁导率的关系从数据库中选择符合条件的单元结构。

[0038] 超材料层的基材 41 上的每一人造孔微结构 42 形成一个单元,每个单元的等效介电常数  $\epsilon$  与等效磁导率  $\mu$  在基材 41 选定的情况下,改变人造孔微结构 42 的图案、尺寸和/或在空间中的排列,然后通过计算机建模和仿真而获本发明所需的平面电磁波生成单元 15,即实现电磁波穿过平面电磁波生成单元 15 后在短距离内产生符合测试要求的平面波。

[0039] 在其他实施方式中,所述人造孔微结构 42 中也可填充有介质,如空气、金属材料、橡胶、塑料及树脂等,但填充的介质材质与所述片状基材 41 的材质不相同。通过填充其它电磁参数各异的材料,设计孔状微结构的位置、数量,以及填充材料的种类使得材料的电磁参数分布能够呈现出更复杂,更丰富的性态,从而满足我们对电磁波控制的各方面的要求。在本实施方式中,所述孔微结构 42 为圆柱孔、球形孔,方形孔或不规则形孔等。所述孔状微结构 42 以一定立体几何形状通过冲压工艺形成于所述多片超材料的基材 41 上。

[0040] 超材料可以对电场或者磁场,或者两者同时进行响应。对电场的响应取决于超材料的介电常数  $\epsilon$ ,而对磁场的响应取决于超材料的磁导率  $\mu$ 。通过对基材 41 空间中每一点的介电常数  $\epsilon$  与磁导率  $\mu$  的精确控制,我们可以实现通过超材料对电磁波的影响。因此,通过设计空间中排列的每个结构的特性,就可以设计出整个非均匀超材料在空间中每一点的电磁特性。这种电磁材料系统将会具有众多奇异特性,对电磁波的传播可以起到特殊的引导作用。

[0041] 孔状微结构 42 与介质基材的等效介电常数  $\epsilon$  与等效磁导率  $\mu$  的选择方法为:

[0042] 第一步,通过计算机仿真和实验测试,对基材 41 若干不同几何参数的单元结构(所述单元结构是指由一个孔状微结构及其周围空间的基材材料组成的晶格)在一定范围内的电磁特性进行测量,存储测量得到的电磁响应曲线,确定各种不同的单元结构之介电常数以及磁导率并存在于一个数据库中;

[0043] 第二步,根据需要的影响电磁波的效果确定相应的介电常数以及磁导率,存在一个数据库中。

[0044] 第三步,根据上述的介电常数以及磁导率从数据库中选择超材料相应点的单元结

构。

[0045] 通过采用超材料制成的平面波生成单元 15 代替现有技术中的反射面,根据测试要求计算机仿真面波生成单元 15 折射特性,使所述馈源 13 产生的电磁波经所述平面波生成单元 15 折射后,在所述天线测试转台 17 上提供一个性能优良的准平面波测试区以用于测试待测设备。因此,上述紧缩场天线测量系统的省略了制造高精度的反射面及高难度的加工艺;大大降低了紧缩场天线测量系统造价成本。

[0046] 上面结合附图对本发明的实施例进行了描述,但是本发明并不局限于上述的具体实施方式,上述的具体实施方式仅仅是示意性的,而不是限制性的,本领域的普通技术人员在本发明的启示下,在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下,还可做出很多形式,这些均属于本发明的保护之内。

10

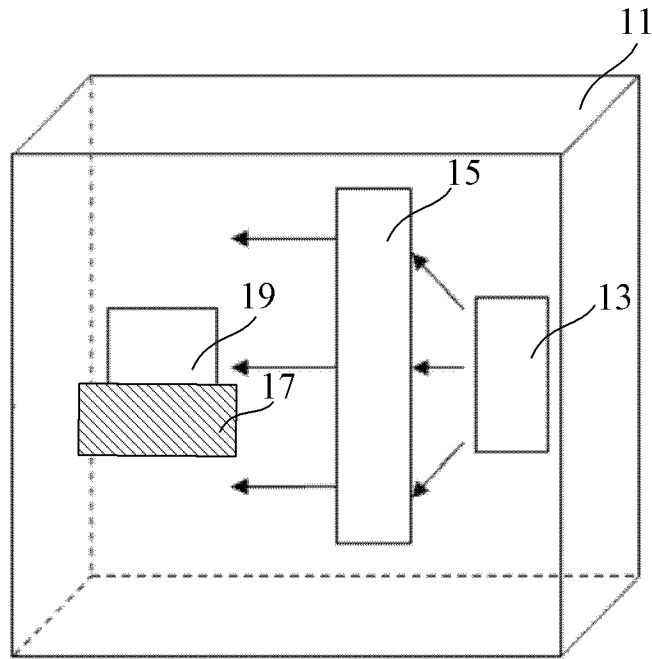


图 1

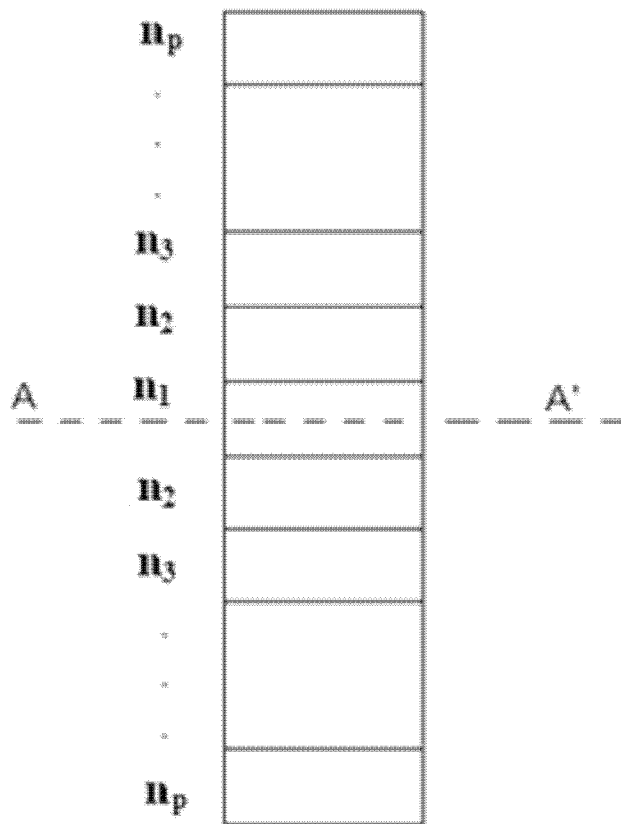


图 2



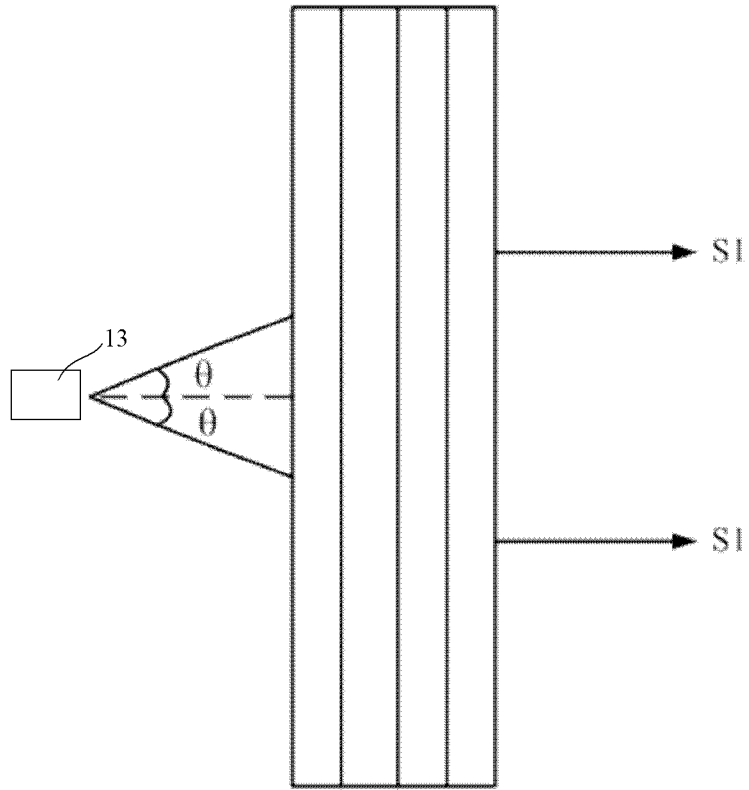


图 3

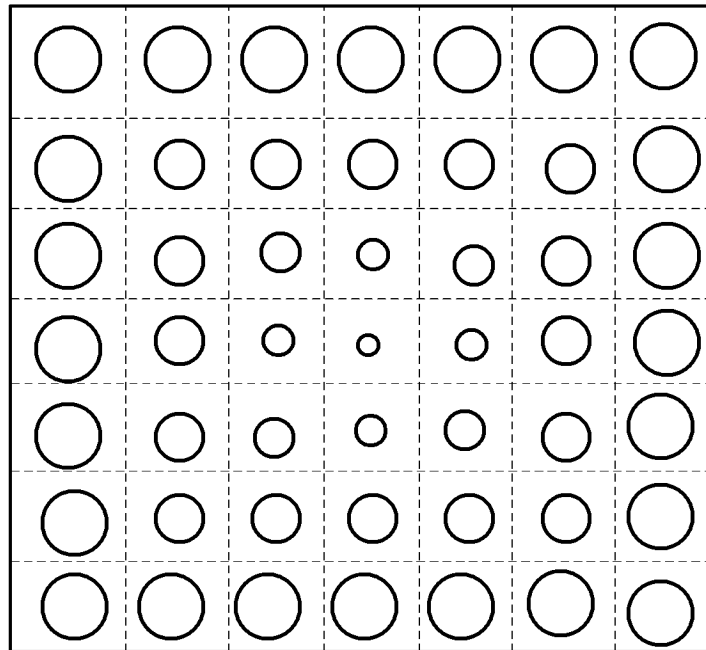


图 4

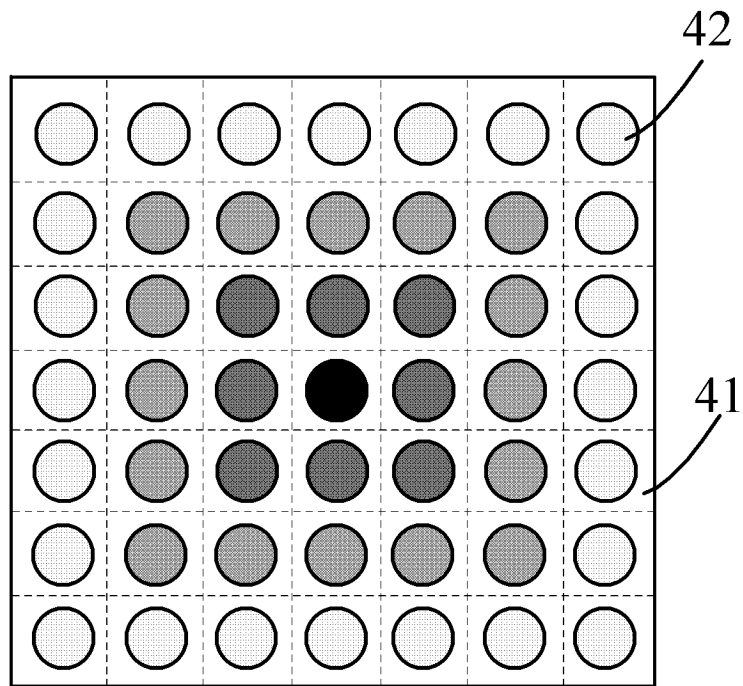


图 5