



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107085298 A

(43)申请公布日 2017.08.22

(21)申请号 201710471327.0

(22)申请日 2017.06.20

(71)申请人 武汉大学

地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山  
武汉大学

(72)发明人 郑国兴 李子乐 王宇 吴伟标  
邓联贵 戴琦

(74)专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务  
所(特殊普通合伙) 42222

代理人 薛玲

(51)Int.Cl.

G02B 27/00(2006.01)

G02B 27/42(2006.01)

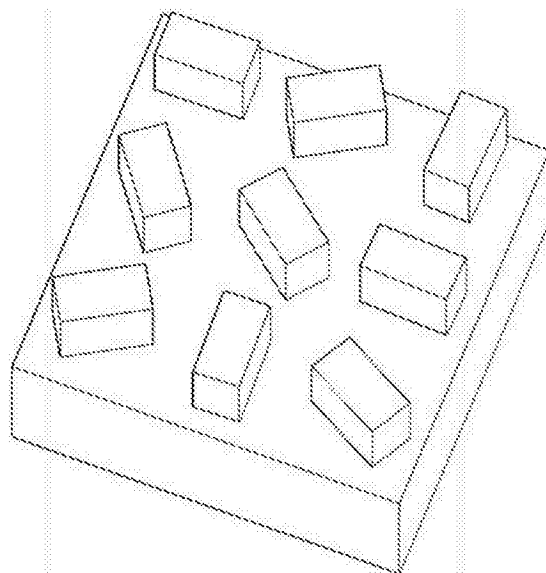
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

### (54)发明名称

一种360°全视场角衍射光学元件及其设计方法

### (57)摘要

本发明一种360°全视场角衍射光学元件及其设计方法,包括基底层和蚀刻在基底层工作面上周期排列的若干纳米砖,所述基底层可划分为若干与纳米砖相对应的单元结构,所有单元结构长宽高相同,单个单元结构的工作面为正方形,其边长为400nm,所有纳米砖的尺寸相同,其长宽高尺寸分别为200nm×120nm×310nm,且纳米砖的长、宽、高均为亚波长尺度,所述纳米砖以不同朝向角设于对应的单元结构上,所述朝向角为该纳米砖位相的一半。本发明巧妙利用了纳米砖阵列材料的几何位相和电磁共振效应,实现了传统衍射光学元件不能实现的前后向同时传输功能,扩展了衍射光实际可到达的范围,同时实现了对特定波长透反能量各占一半且位相的精密连续操控。



1. 一种 $360^\circ$ 全视场角衍射光学元件,其特征在于:

基底层的工作面上蚀刻有周期性排列的纳米砖阵列单元,其工作方式为半反射半透射式,所述基底层可划分为若干与纳米砖相对应的单元结构,所有单元结构长宽高相同,单个单元结构的工作面为正方形,其边长为 $400\text{nm}$ ,所有纳米砖的尺寸相同,其长宽高尺寸分别为 $200\text{nm}\times 120\text{nm}\times 310\text{nm}$ ,且纳米砖的长、宽、高均为亚波长尺度,所述纳米砖以不同朝向角 $\alpha(i, j)$ 设于对应的单元结构上,所述朝向角为纳米砖长轴与工作面坐标系 $xoy$ 中 $x$ 轴的夹角,并满足单元结构内 $\alpha(i, j) = \Phi(i, j) / 2$ ,其中 $i, j$ 表示 $x$ 和 $y$ 轴方向上第 $(i, j)$ 个纳米砖, $\Phi(i, j)$ 为该纳米砖位相分布。

2. 如权利要求1所述的一种 $360^\circ$ 全视场角衍射光学元件,其特征在于,所述基底层和纳米砖的电介质材料不同。

3. 权利要求1所述的一种 $360^\circ$ 全视场角衍射光学元件的设计方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,确定响应主波长 $\lambda$ ,进而确定在此波长范围透明的纳米砖和基底层的电介质材料;

步骤2,采用电磁仿真法,优化单元结构的边长 $C$ 、纳米砖的宽度 $W$ 、高度 $H$ 和长度 $L$ ,使纳米砖共振波长与响应主波长适度偏移,以达到左旋或右旋圆偏光垂直照射纳米砖时,透射和反射的交叉偏振转化效率最高且相等、同向偏振转化效率最低;

步骤3,确定衍射光学元件生成的图案的像素数 $m$ 和 $n$ ,其中, $m, n$ 分别为长、宽方向上对 $\lambda$ 产生图案的像素数,根据设计需求确定;然后根据公式 $d_x = m\lambda / \theta_x$ 和 $d_y = n\lambda / \theta_y$ 计算主波长为 $\lambda$ 时纳米砖的排列周期尺寸,其中, $\theta_x, \theta_y$ 为单元结构长、宽方向上衍射光学元件的投影角度, $\theta_x, \theta_y$ 均为 $180^\circ$ ;

步骤4,依据公式 $M = d_x / C, N = d_y / C$ 得到单周期内单元结构长、宽方向对 $\lambda$ 响应的单元数 $M$ 和 $N$ ;

步骤5,采用傅里叶迭代算法,得到对 $\lambda$ 响应的单元结构位相分布 $\Phi$ ,从而得到单元结构内纳米砖的朝向角 $\alpha(i, j)$ ,单元结构内纳米砖的朝向角与位相分布满足 $\alpha(i, j) = \Phi(i, j) / 2$ ,其中 $i, j$ 表示 $x$ 和 $y$ 轴方向上第 $(i, j)$ 个纳米砖, $\Phi(i, j)$ 为该纳米砖位相分布;

步骤6,沿基底层单元结构长度和宽度方向上将纳米砖依次排列,得到所述的 $360^\circ$ 全视场角衍射光学元件。

4. 如权利要求3所述的一种 $360^\circ$ 全视场角衍射光学元件的设计方法,其特征在于,确定响应主波长 $\lambda = 830\text{nm}$ ,基底层的电介质材料选用熔融石英玻璃,纳米砖的电介质材料选用非晶硅。

## 一种360°全视场角衍射光学元件及其设计方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于微光学领域,特别涉及一种360°全视场角衍射光学元件及其设计实现方法。

### 背景技术

[0002] 衍射光学元件(Diffractive Optical Elements,DOEs)是一类基于衍射原理工作的光学元件。传统衍射光学元件通过在透明的介质材料上刻蚀不同深度的浮雕结构来控制入射光的位相,最终用于制作基于位相调控的光器件。入射光经过衍射光学元件后能够扩展的衍射角度是评价其性能的重要指标。但一般来说,衍射光只能是透射或者反射,也就是两选一的工作模式,因此限制了衍射光实际可到达的范围,在光传感、激光雷达、体感、光显示等领域的应用将十分受限。

### 发明内容

[0003] 基于几何位相调制的超颖表面材料是新一代衍射光学元件的热门功能材料,其具有精密的、连续的位相调节功能,再结合亚波长结构所特有的、一些奇异的物理效应(比如电磁共振),通过优化设计,有望实现一种在透反射空间同时具有衍射光的360°全视场角的新概念衍射光学元件。

[0004] 本发明的目的,在于提供一种360°全视场角衍射光学元件及其设计方法,其可实现360°衍射角,使得调制后的光场前向和后向同步传输。

[0005] 为了达成上述目的,本发明的解决方案是:

[0006] 一种360°全视场角衍射光学元件,包括基底层和蚀刻在基底层工作面上周期排列的若干纳米砖,其工作方式为半反射半透射式,所述基底层可划分为若干与纳米砖相对应的单元结构,所有单元结构长宽高相同,单个单元结构的工作面为正方形,其边长为400nm,所有纳米砖的尺寸相同,其长宽高尺寸分别为200nm×120nm×310nm,且纳米砖的长、宽、高均为亚波长尺度,所述纳米砖以不同朝向角 $\alpha(i, j)$ 设于对应的单元结构上,所述朝向角为纳米砖长轴与工作面坐标系 $xoy$ 中 $x$ 轴的夹角,并满足单元结构内 $\alpha(i, j) = \Phi(i, j) / 2$ ,其中 $i, j$ 表示 $x$ 和 $y$ 轴方向上第 $(i, j)$ 个纳米砖, $\Phi(i, j)$ 为该纳米砖位相分布。

[0007] 优选的,所述基底层和纳米砖的电介质材料不同。

[0008] 上述360°全视场角衍射光学元件的设计方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0009] 步骤1,确定响应主波长 $\lambda$ ,进而确定在此波长范围透明的纳米砖和基底层的电介质材料;

[0010] 步骤2,采用电磁仿真法,优化单元结构的边长 $C$ 、纳米砖的宽度 $W$ 、高度 $H$ 和长度 $L$ ,使纳米砖共振波长与响应主波长适度偏移,以达到左旋或右旋圆偏光垂直照射纳米砖时,透射和反射的交叉偏振转化效率最高且相等、同向偏振转化效率最低;

[0011] 步骤3,确定衍射光学元件生成的图案的像素数 $m$ 和 $n$ ,其中, $m, n$ 分别为长、宽方向上对 $\lambda$ 产生图案的像素数,根据设计需求确定;然后根据公式 $d_x = m\lambda / \theta_x$ 和 $d_y = n\lambda / \theta_y$ 计算主

波长为 $\lambda$ 时纳米砖的排列周期尺寸,其中, $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 为单元结构长、宽方向上衍射光学元件的投影角度, $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 均为 $180^\circ$ ;

[0012] 步骤4,依据公式 $M=d_x/C$ , $N=d_y/C$ 得到单周期内单元结构长、宽方向对 $\lambda$ 响应的单元数 $M$ 和 $N$ ;

[0013] 步骤5,采用傅里叶迭代算法,得到对 $\lambda$ 响应的单元结构位相分布 $\Phi$ ,从而得到单元结构内纳米砖的朝向角 $\alpha(i,j)$ ,单元结构内纳米砖的朝向角与位相分布满足 $\alpha(i,j)=\Phi(i,j)/2$ ,其中 $i,j$ 表示 $x$ 和 $y$ 轴方向上第 $(i,j)$ 个纳米砖, $\Phi(i,j)$ 为该纳米砖位相分布;

[0014] 步骤6,沿基层单元结构长度和宽度方向上将纳米砖依次排列,得到所述的 $360^\circ$ 全视场角衍射光学元件。

[0015] 优选的,确定响应主波长 $\lambda=830\text{nm}$ ,基层层的电介质材料选用熔融石英玻璃,纳米砖的电介质材料选用非晶硅。

[0016] 采用上述方案,本发明基于两个物理机理:一个是几何位相;一个是电磁共振。几何位相指的是纳米砖长宽方向大小不一致形成的各向异性,利用这种各向异性可以实现对入射圆偏振光的任意位相调制,具体原理可参阅参考文献:Guoxing Zheng,Holger Mühlenbernd,Mitchell Kenney,Guixin Li,Thomas Zentgraf and Shuang Zhang. Metasurface holograms reaching 80% efficiency. Nature Nanotechnology, 10(5), 308-312, 2015. 电磁共振指的是当材料结构小于波长量级时,其类似于米氏散射体,如果入射光波波长与米氏散射体的共振波长匹配,将产生强烈的后向散射效应,具体原理可参阅参考文献:Zhao,Qian,et al. "Mie resonance-based dielectric metamaterials." Materials Today 12.12(2009):60-69.。

[0017] 与现有技术相比,本发明的有益效果如下:

[0018]  $360^\circ$ 全视场角衍射光学元件目前还未被公开报道,本发明巧妙利用了纳米砖阵列材料的几何位相和电磁共振效应,实现了传统衍射光学元件不能实现的前后向同时传输功能,扩展了衍射光实际可到达的范围,同时实现了对特定波长透反能量各占一半且位相的精密连续操控,并且仅需要简单的二台阶微纳光学工艺,是该领域重要的理论和方法突破,对于未来高端光传感、体感全息、激光雷达、激光照明领域将产生重要影响。

## 附图说明

[0019] 图1是本发明中衍射光学元件的工作原理示意图;

[0020] 图2是本发明中衍射光学元件的单元结构及其工作示意图;

[0021] 图3是本发明中单元结构排布方式示意图;

[0022] 图4是器件位相调制大小与纳米砖朝向角关系图;

[0023] 图5是器件转化效率与纳米砖朝向角关系图;

[0024] 图6是本发明实施例中电介质纳米砖位相分布示意图;

[0025] 图7是本发明实施例中得到的均匀光点阵列仿真效果图(部分)。

## 具体实施方式

[0026] 以下将结合附图,对本发明的技术方案进行详细说明。

[0027] 如图1至图3所示,本发明提供一种 $360^\circ$ 全视场角衍射光学元件,包括由电介质材

料制成的基底层1和若干纳米砖2,基底层和纳米砖对响应波长透明,且两者材料不同;其中,各纳米砖均为长方体且大小相同,且各纳米砖的长、宽、高均为亚波长尺度;纳米砖以不同朝向角设于基底层上,形成单元结构,通过其朝向角的不同来对入射光的位相进行任意连续的调制,并且使得调制后的光场前向和后向同步传输。

[0028] 本发明一种360°全视场角衍射光学元件同时利用了电介质纳米砖的磁共振效应和几何位相特性,实现了对特定波长的透反能量各占一半的同时,还实现了位相的精密和连续操控。这种基于电介质纳米砖阵列的衍射光学元件,实现了传统衍射光学元件不能实现的前后向同时传输功能,并且仅需要简单的二台阶微纳光学工艺(曝光、显影、刻蚀),是微纳光学领域重要的理论和方法的突破,有望在光传感、体感全息、激光雷达、激光照明等领域得到重要应用。

[0029] 为了实现以上调制效果,本发明还提供一种360°全视场角衍射光学元件的设计方法,包括如下步骤:

[0030] 步骤1,确定响应主波长 $\lambda$ ,进而确定在此波长范围透明的纳米砖电介质材料;

[0031] 在本实施例中,确定响应主波长 $\lambda=830\text{nm}$ ,基底层的电介质材料选用熔融石英玻璃,纳米砖的电介质材料选用非晶硅;

[0032] 步骤2,采用电磁仿真软件,以左旋或右旋圆偏光垂直照射纳米砖,确定透射和反射的交叉偏振转化效率最高且相等、同向偏振转化效率最低时的单元结构的边长C、纳米砖的宽度W、高度H和长度L;

[0033] 在本实施例中,采用电磁仿真软件Comsol对单元结构参数进行仿真,仿真以左旋(或者右旋)圆偏光垂直入射、以透射和反射的右旋(或者左旋)圆偏光的转化效率作为优化对象。扫描单元结构长宽尺寸C、纳米砖长度L、宽度W、纳米砖高度H,以期获得最佳参数。要求反射光和透射光中的交叉偏振(左旋→右旋,或右旋→左旋)转化效率最高且相等、同向偏振(左旋→左旋,或右旋→右旋)转化效率最低。经优化计算,得到优化参数为: $C=400\text{nm}$ ,纳米砖长宽高尺寸分别为: $200\text{nm}\times 120\text{nm}\times 310\text{nm}$ 。图2是单元结构示意图。图4是圆偏光垂直入射至优化得到的电介质纳米砖后,透射和反射光中的交叉偏振位相调制大小随纳米砖朝向角的变化图,可以看出位相调制大小等于纳米砖朝向角的两倍。图5是优化得到的纳米砖对偏振光转化效率随纳米砖朝向角的变化图,可以看出所设计的纳米砖不仅实现了交叉偏振的高效率转化、同向偏振的有效抑制,而且具有位相调制的反射光和透射光能量几乎相等、且随纳米砖朝向角的影响非常小,达到了单元设计的目的。

[0034] 步骤3,确定衍射光学元件生成的图案的像素数m和n,其中,m、n分别为长、宽方向上对 $\lambda$ 产生图案的像素数,要求该图案必须是旋转对称,即 $(x,y)$ 和 $(-x,-y)$ 两个不同位置的光点的强度是一样的,这么做的目的是避免入射光偏振态的影响。根据公式 $d_x=m\lambda/\theta_x$ 和 $d_y=n\lambda/\theta_y$ 计算主波长为 $\lambda$ 时纳米砖的排列周期尺寸,其中, $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 为长、宽方向上衍射光学元件的投影角度,要实现360°全视场角,显然 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 均为180°。

[0035] 在本实施例中,像素 $m=n=180$ , $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 均为 $\pi$ ,结合步骤1中确定的响应主波长 $\lambda=830\text{nm}$ ,得到衍射光学元件的周期为 $95.2\mu\text{m}\times 95.2\mu\text{m}$ 。

[0036] 步骤4,依据公式 $M=d_x/C$ , $N=d_y/C$ 得到单周期内单元结构长、宽方向对 $\lambda$ 响应的单元数M和N;

[0037] 在本实施例中,计算得到单周期内单元结构长、宽方向对 $\lambda$ 响应的单元数M和N均为

238。

[0038] 步骤5,采用傅里叶迭代算法,得到对 $\lambda$ 响应的单元结构位相分布 $\Phi$ ,从而得到这些单元结构内纳米砖的朝向角 $\alpha(i, j)$ ,其与该单元结构位相分布 $\Phi$ 的关系为: $\alpha = \Phi/2$ ,其中,朝向角为纳米砖长轴与空间直角坐标系x轴的夹角, $i, j$ 表示衍射光学元件x和y方向上第 $(i, j)$ 个纳米砖;

[0039] 步骤6,沿单元结构长度和宽度方向上将纳米砖依次排列,得到所需的衍射光学元件。

[0040] 依照上述步骤,针对主波长 $\lambda = 830\text{nm}$ ,我们设计一个 $360^\circ$ 的均匀光点(取偶数级次的光点),像素 $m = n = 180$ ,光点间隔为 $1^\circ$ ,得到衍射光学元件的周期为 $95.2\mu\text{m} \times 95.2\mu\text{m}$ ,单周期点数为 $238 \times 238$ 。优化后得到的位相分布如图6所示,将所述位相值除以2,即可得到衍射光学元件单周期内每一个象元的纳米砖的朝向角。图7是得到的傅里叶远场光点阵列仿真图(部分)。

[0041] 本文中所描述的具体实施例仅仅是对本发明精神作举例说明。本发明所属技术领域的技术人员可以对所描述的具体实施例做各种各样的修改或补充或采用类似的方式替代,但并不会偏离本发明的精神或者超越所附权利要求书所定义的范围。

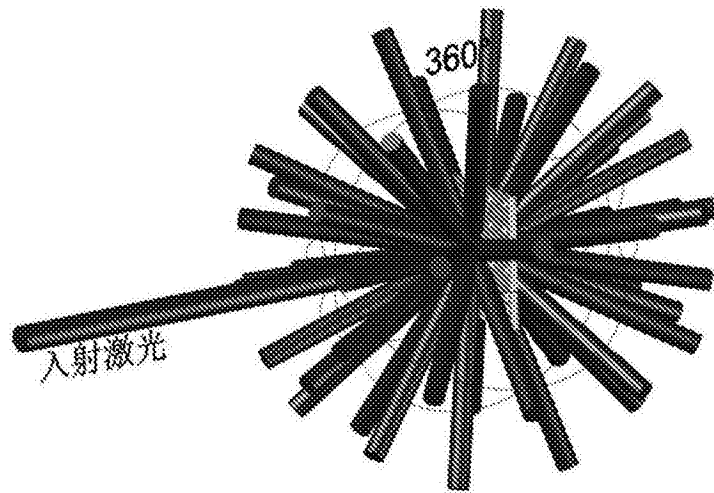


图1

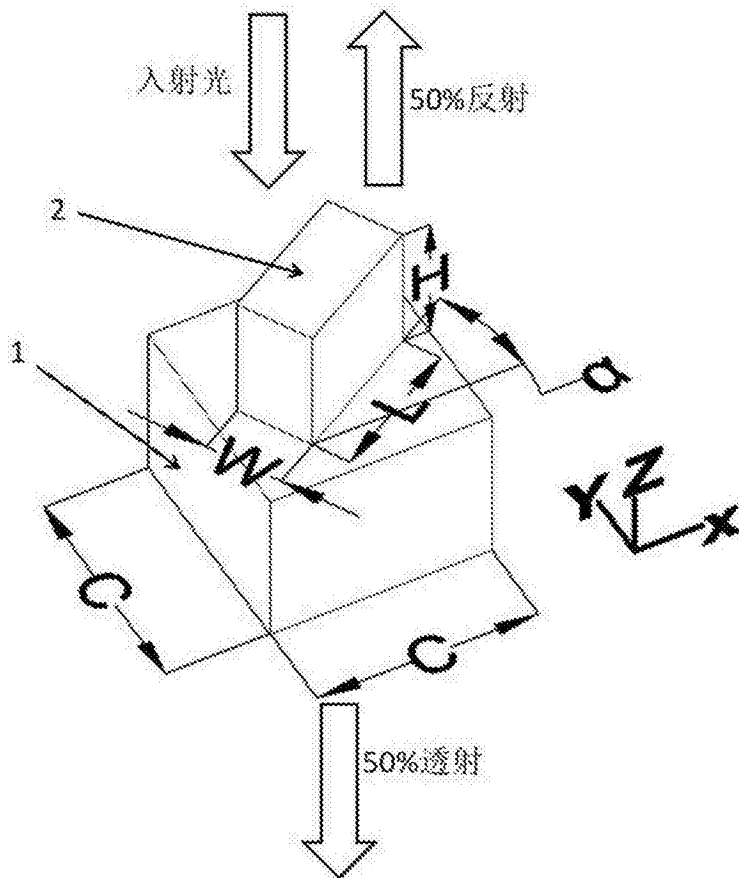


图2

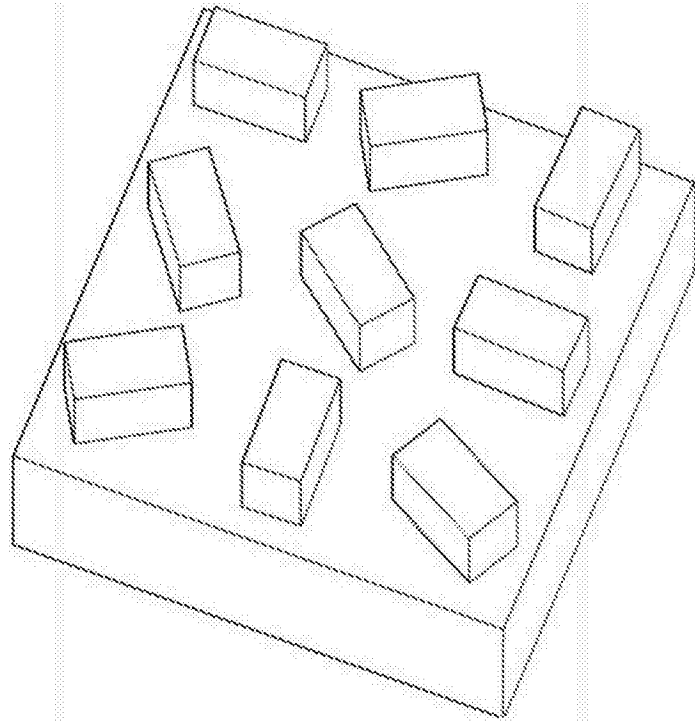


图3

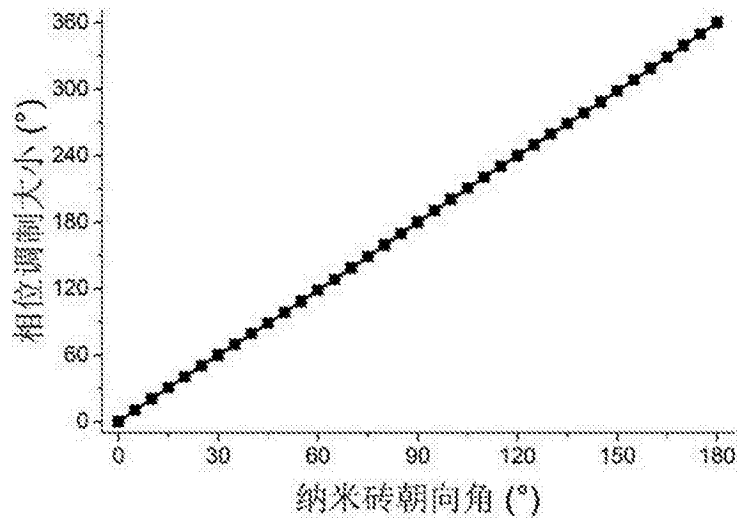


图4



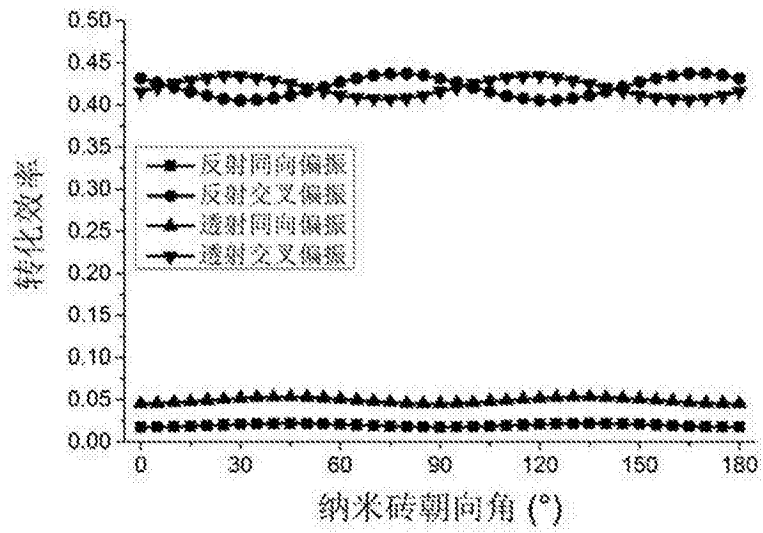


图5

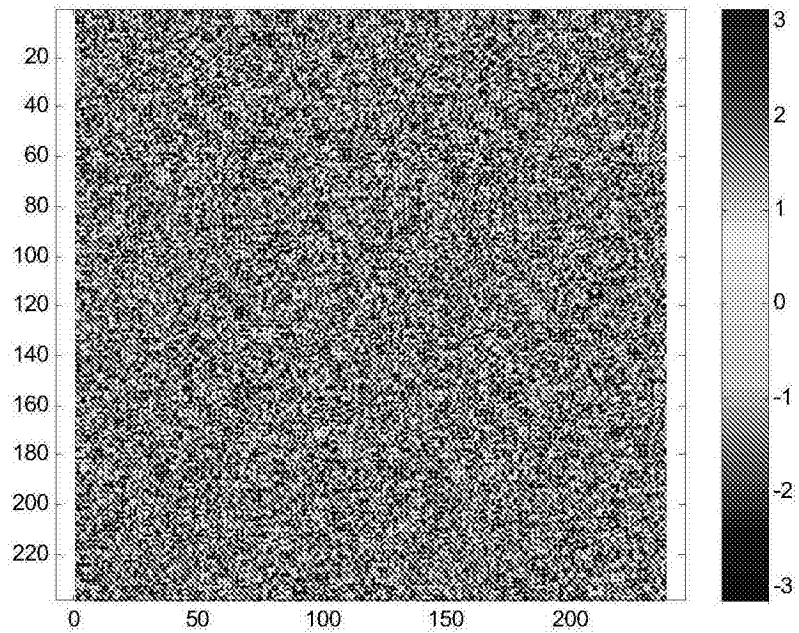


图6

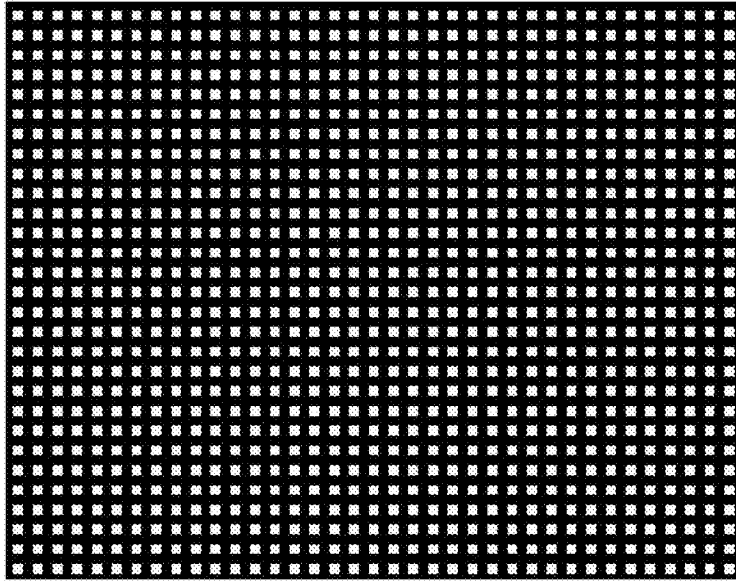


图7