



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116312886 B

(45) 授权公告日 2023.12.01

(21) 申请号 202310216027.3

(22) 申请日 2023.03.08

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 116312886 A

(43) 申请公布日 2023.06.23

(73) 专利权人 成都信息工程大学
地址 610225 四川省成都市西南航空港经
济开发区学府路一段24号

(72) 发明人 唐婷婷 唐榆傑 李朝阳 沈健
李杰 何宇 沈柯

(74) 专利代理机构 北京知艺互联知识产权代理
有限公司 16137
专利代理师 孙一方

(51) Int. Cl.
G16C 60/00 (2019.01)
G06F 17/10 (2006.01)
G06F 17/16 (2006.01)
G06F 17/14 (2006.01)

(56) 对比文件

- CN 110045306 A, 2019.07.23
- US 2021262922 A1, 2021.08.26
- CN 113311247 A, 2021.08.27
- CN 110333191 A, 2019.10.15
- CN 110412490 A, 2019.11.05
- CN 113124762 A, 2021.07.16
- CN 101865827 A, 2010.10.20
- CN 108918424 A, 2018.11.30
- CN 111928781 A, 2020.11.13
- CN 113916797 A, 2022.01.11
- US 2017336326 A1, 2017.11.23
- EP 3767496 A1, 2021.01.20
- US 2010059657 A1, 2010.03.11
- CN 110487755 A, 2019.11.22
- CN 105891744 A, 2016.08.24

(续)

审查员 高婕

权利要求书5页 说明书12页 附图4页

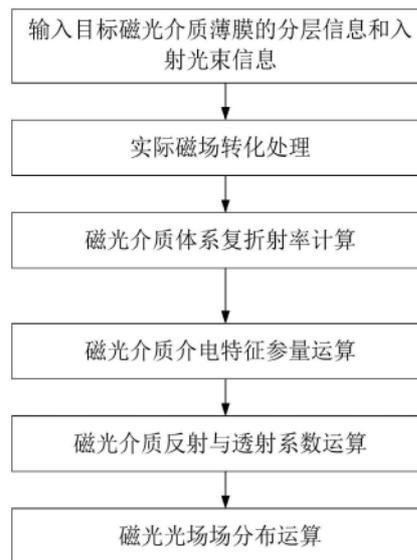
(54) 发明名称

三维任意角度磁光光场分布计算方法

(57) 摘要

本发明公开了一种三维任意角度磁光光场分布计算系统、方法以及测试平台,属于三维任意角度磁光光场分布计算技术领域,系统包括信息处理模块和运算模块,本发明的方法利用转移矩阵与反射透射参数算法,对任意方向磁场作用下的磁光光场分布进行计算,利用三维旋转可调电磁铁搭建三维任意角度磁光光场光子测试光路对系统计算结果进行实验验证与分析,同时搭建了测试平台,在验证了计算方法的可行性,同时对计算结果进行优化与校准,提高了三维磁光光场的计算准确度,采用上述一种三维任意角度磁光光场分布计算系统、方法以及测试平台,拓展了三维磁光光场的计算手段,提高了三维磁光光场的运算效率,提高了三维磁光光场的计算准确度运算效率。

CN 116312886 B



[接上页]

(56) 对比文件

Pengyu Zhang 等. Magneto-optical spin Hall effect of light and its application in refractive index detection.《Optics Communications》.2020,第475卷(第126175期),

1-7.

李杰. 磁光古斯-汉森效应及其应用研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 基础科学辑》.2019,(第04期),A005-74.

1. 一种三维任意角度磁光光场分布计算方法,其特征在于:

包括三维任意角度磁光光场分布计算系统,三维任意角度磁光光场分布计算系统包括:

信息处理模块,用于信息的输入和处理,所述信息处理模块包括磁光介质薄膜尺寸信息处理子模块、光场传播信息处理子模块以及实际磁场信息处理子模块;

磁光介质薄膜尺寸信息处理子模块用于输入目标磁光介质薄膜的分层信息;

光场传播信息处理子模块用于输入入射光束信息;

磁光介质薄膜尺寸信息处理子模块和光场传播信息处理子模块将分层信息和入射光束信息传输至实际磁场信息处理子模块;

实际磁场信息处理子模块用于根据分层信息和入射光束信息获得磁场坐标磁场角;运算模块,用于计算信息处理模块处理后的数据得到三维磁光光场,所述运算模块包括磁光介质体系复折射率运算符模块、磁光介质层介电特征参量运算符模块、磁光介质体系反射与投射系数运算符模块、磁光光场分布运算符模块以及质心追迹运算符模块;

磁光介质体系复折射率运算符模块用于根据分层信息和入射光束信息计算每个分层复折射率系数;

磁光介质层介电特征参量运算符模块用于根据分层信息、入射光束信息以及磁场坐标磁场角计算磁光介质层介电特征参量,并将磁光介质层介电特征参量传输至磁光介质体系反射与投射系数运算符模块;

磁光介质体系反射与投射系数运算符模块用于根据分层信息、入射光束信息以及磁光介质层介电特征参量计算磁光介质体系光场的反射与透射系数,并将反射与透射系数传输至磁光光场分布运算符模块;

磁光光场分布运算符模块用于根据反射与透射系数获得磁光反射光场的角谱并传输至质心追迹运算符模块;

质心追迹运算符模块用于根据磁光反射光场的角谱形成三维的强度分布阵列图,并对形成三维的强度分布阵列图强度进行归一化运算获得最终的三维磁光光场;

具体步骤如下:

步骤S1:通过磁光介质薄膜尺寸信息处理子模块和光场传播信息处理子模块输入目标磁光介质薄膜的分层信息和入射光束信息;

目标磁光介质薄膜的分层信息包括分层数目、分层材料以及分层厚度,将分层信息进行分离获得目标磁光介质薄膜的厚度 d 、各分层的复折射率对角元元素 $N_0^{(n)}$ 、各分层的复折射率非对角元元素 $N_1^{(n)}$ 、磁光介质体系分层的介电张量主对角元元素 $\epsilon_0^{(n)}$ 以及介电张量非对角元元素 $\epsilon_1^{(n)}$,其中 $n=0,1,2 \dots$,代表了第 n 层,其中介电张量主对角元元素 $\epsilon_0^{(n)}$ 以及介电张量非对角元元素 $\epsilon_1^{(n)}$ 均为复数,即 $z=a+bi$;

入射光束信息包括传播光束的波长 λ 、传播波数 k_0 、传播光束相速度 c 、光束束腰宽度 w_0 、光束入射角 θ_1 、反射光波矢的 y 方向分量 k_{ry} 以及总的传播光波矢 K_0 ;

步骤S2:实际磁场信息处理子模块根据分层信息和入射光束信息获得磁场坐标磁场角;

在步骤S2中,通过介电常数张量作为运算载体,将各层的磁场角度代入如下公式,磁光介质体系的实际外加磁场作用结果如下:

$$\boldsymbol{\varepsilon}^{(n)} = \begin{bmatrix} \varepsilon_0^{(n)} & i\varepsilon_1^{(n)} \cos \theta_M^{(n)} & -i\varepsilon_1^{(n)} \sin \theta_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)} \\ -i\varepsilon_1^{(n)} \cos \theta_M^{(n)} & \varepsilon_0^{(n)} & i\varepsilon_1^{(n)} \sin \theta_M^{(n)} \cos \phi_M^{(n)} \\ i\varepsilon_1^{(n)} \sin \theta_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)} & -i\varepsilon_1^{(n)} \sin \theta_M^{(n)} \cos \phi_M^{(n)} & \varepsilon_0^{(n)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, $\varepsilon_0^{(n)}$ 为第n个磁光介质体系分层的介电张量主对角元元素, $\theta_M^{(n)}$ 表示各层的磁场方向与坐标系中Z轴的夹角, $\phi_M^{(n)}$ 表示各层的磁场方向在xy平面的投影与x轴的夹角, i为介电张量主对角元元素采用虚数形式表示;

步骤S3:通过磁光介质体系复折射率运算符模块根据分层信息和入射光束信息计算每个分层复折射率系数;

在步骤S3中,

磁光介质体系的每个分层复折射率系数计算公式如下:

$$N_{z0}^{(n)} = \sqrt{\varepsilon_0^{(n)} - N_y^2} \quad (2)$$

$$N_y = N_0^{(n)} \sin \theta_i \quad (3)$$

其中, $N_{z0}^{(n)}$ 代表了第n个磁光介质体系分层的复折射率, $\varepsilon_0^{(n)}$ 为第n个磁光介质体系分层的介电张量主对角元元素, N_y 为磁光介质体系折射率的y方向分量, θ_i 为光束入射角, $N_0^{(n)}$ 为各分层的复折射率对角元元素;

步骤S4:磁光介质层介电特征参量运算符模块根据分层信息、入射光束信息以及磁场坐标磁场角利用匹配的传播矩阵与动态矩阵计算获得相应的磁光介质层介电特征参量;

在步骤S4中,

动态矩阵表示波与波之间的耦合模式关系,动态矩阵如下:

$$D = \begin{bmatrix} D_{11}^{(n)} & D_{12}^{(n)} & D_{13}^{(n)} & D_{14}^{(n)} \\ D_{21}^{(n)} & D_{22}^{(n)} & D_{23}^{(n)} & D_{24}^{(n)} \\ D_{31}^{(n)} & D_{32}^{(n)} & D_{33}^{(n)} & D_{34}^{(n)} \\ D_{41}^{(n)} & D_{42}^{(n)} & D_{43}^{(n)} & D_{44}^{(n)} \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中,动态矩阵仅依赖于传播光束的偏振特性,将分层信息、入射光束信息以及磁场坐标磁场角代入得到:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{D}_{1j}^{(n)} = -i\varepsilon_1^{(n)} N_0^{(n)2} \cos \theta_M^{(n)} - i\varepsilon_1^{(n)} N_y N_1^{(n)} \sin \theta_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)} \\ \quad - \varepsilon_1^{(n)2} \sin^2 \theta_M^{(n)} \cos \phi_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)} \\ \mathbf{D}_{2j}^{(n)} = N_1^{(n)} \mathbf{D}_{1j}^{(n)} \\ \mathbf{D}_{3j}^{(n)} = N_0^{(n)2} (N_0^{(n)2} - N_1^{(n)2}) - \varepsilon_1^{(n)2} \sin^2 \theta_M^{(n)} \sin^2 \phi_M^{(n)} \\ \mathbf{D}_{4j}^{(n)} = -(\varepsilon_0^{(n)} N_1^{(n)} - i\varepsilon_1^{(n)} N_y \sin \theta_M^{(n)} \cos \phi_M^{(n)}) (N_0^{(n)2} - N_1^{(n)2}) \\ \quad + \varepsilon_1^{(n)2} \sin \theta_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)} (N_1^{(n)} \sin \theta_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)} - N_y \cos \theta_M^{(n)}) \end{array} \right. \quad (5)$$

其中, i 为动态矩阵中的计算因子采用虚数形式表示;
传播矩阵表示波与波之间的相位偏移, 传播矩阵如下:

$$\mathbf{P}^{(n)} = \begin{bmatrix} e^{(-ik_1^{(n)} d^{(n)})} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{(-ik_2^{(n)} d^{(n)})} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{(-ik_3^{(n)} d^{(n)})} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{(-ik_4^{(n)} d^{(n)})} \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中, $ik_j^{(n)} d^{(n)} = i \frac{2\pi}{\lambda} N_0^{(n)} d^{(n)}$ 为第 n 层的位相厚度, π 代表了圆周率;

磁光介质层介电特征参量如下:

$$p^{(n)} = \frac{\varepsilon_1^{(n)} (N_{z0}^{(n)} \cos \theta_M^{(n)})}{2\varepsilon_0^{(n)1/2} N_{z0}^{(n)2}} \quad (7)$$

$$l^{(n)} = \frac{\varepsilon_1^{(n)} (N_y \sin \theta_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)})}{2\varepsilon_0^{(n)1/2} N_{z0}^{(n)2}} \quad (8)$$

$$q^{(n)} = \frac{\varepsilon_1^{(n)} (N_y \sin \theta_M^{(n)} \cos \phi_M^{(n)})}{\varepsilon_0^{(n)} N_{z0}^{(n)}} \quad (9)$$

其中, $p^{(n)}$ 、 $l^{(n)}$ 、 $q^{(n)}$ 分别表示为极性、纵向以及横向磁化对磁光效应的影响程度;

步骤S5: 磁光介质体系反射与投射系数运算符模块根据分层信息、入射光束信息以及磁光介质层介电特征参量计算出磁光介质体系光场所必须的反射与透射系数;

在步骤S5中,

利用各界面各向同性与各项异性的相互关系, 结合琼斯反射矩阵与传输矩阵, 最终计算获得磁光介质体系光场所必须的反射与透射系数具体步骤如下:

首先, 根据传播矩阵与动态矩阵获得磁光平面波电磁场计算转移矩阵如下:

$$\mathbf{M} = [\mathbf{D}^{(0)}]^{-1} \mathbf{D}^{(1)} \mathbf{P}^{(1)} [\mathbf{D}^{(1)}]^{-1} \dots \mathbf{D}^{(N)} \mathbf{P}^{(N)} [\mathbf{D}^{(N)}]^{-1} [\mathbf{D}^{(N+1)}] \quad (10)$$

其中 N 代表了磁光介质体系的分层数目, 代表了第 N 层的传播矩阵 \mathbf{P} 与动态矩阵 \mathbf{D} ;

然后, 通过不同偏振极化的反射系数与透射关系计算磁光介质体系各分层之间的反射

与透射系数,

不同偏振极化的反射系数与透射关系如下:

$$\begin{cases} r_{ss}^{(ij)} = \frac{N_0^{(i)} - N_0^{(j)}}{N_0^{(i)} + N_0^{(j)}} \\ r_{pp}^{(ij)} = \frac{\varepsilon_0^{(i)} N_0^{(j)} - \varepsilon_0^{(j)} N_0^{(i)}}{\varepsilon_0^{(i)} N_0^{(j)} + \varepsilon_0^{(j)} N_0^{(i)}} \\ t_{ss}^{(ij)} = 1 + r_{ss}^{(ij)} \\ t_{pp}^{(ij)} = \left(\varepsilon_0^{(i)} / \varepsilon_0^{(j)} \right)^{1/2} (1 - r_{pp}^{(ij)}) \end{cases} \quad (11)$$

其中 $r_{ss}^{(ij)}$ 代表了磁光介质体系第 i 与第 j 层之间垂直偏振极化的反射系数, $r_{pp}^{(ij)}$ 代表了磁光介质体系第 i 与第 j 层之间水平偏振极化的反射系数, $t_{ss}^{(ij)}$ 代表了磁光介质体系第 i 与第 j 层之间垂直偏振极化的透射系数, $t_{pp}^{(ij)}$ 代表了磁光介质体系第 i 与第 j 层之间水平偏振极化的透射系数, 其中 $i < j < n$;

$N_0^{(i)}$ 代表了磁光介质体系第 i 分层的复折射率对角元元素, $\varepsilon_0^{(i)}$ 代表了磁光介质体系分层的介电张量主对角元元素;

最后, 计算磁光介质体系最终的反射与透射系数, 计算公式如下:

$$\begin{cases} r_{ss} = \frac{r_{ss}^{(01)} + r_{ss}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}}{1 + r_{ss}^{(01)} r_{ss}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}} \\ r_{ps} = t_{ss}^{(01)} t_{pp}^{(10)} \left\{ \beta^{(1)} e^{-2i\beta^{(1)}} \left[-p^{(1)} (r_{ss}^{(12)} + r_{pp}^{(12)}) + l^{(1)} (r_{ss}^{(12)} - r_{pp}^{(12)}) \right] \right. \\ \quad \left. + \frac{i}{2} (1 - e^{-2i\beta^{(1)}}) \left[\pm p^{(1)} (1 + r_{ss}^{(12)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) - l^{(1)} (1 - r_{ss}^{(12)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) \right] \right\} \\ \quad \times \left[(1 + r_{ss}^{(01)} r_{ss}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) (1 + r_{pp}^{(01)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) \right]^{-1} \\ r_{sp} = t_{ss}^{(01)} t_{pp}^{(10)} \left\{ \beta^{(1)} e^{-2i\beta^{(1)}} \left[p^{(1)} (r_{ss}^{(12)} + r_{pp}^{(12)}) + l^{(1)} (r_{ss}^{(12)} - r_{pp}^{(12)}) \right] \right. \\ \quad \left. + \frac{i}{2} (1 - e^{-2i\beta^{(1)}}) \left[\pm p^{(1)} (1 + r_{ss}^{(12)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) - l^{(1)} (1 - r_{ss}^{(12)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) \right] \right\} \\ \quad \times \left[(1 + r_{ss}^{(01)} r_{ss}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) (1 + r_{pp}^{(01)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) \right]^{-1} \\ r_{pp} = \frac{r_{pp}^{(01)} + r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}}{1 + r_{pp}^{(01)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}} + \frac{i}{2} q^{(1)} (1 - e^{-2i\beta^{(1)}}) t_{pp}^{(01)} t_{pp}^{(10)} \frac{1 - r_{pp}^{(12)2} e^{-2i\beta^{(1)}}}{(1 + r_{pp}^{(01)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}})^2} \end{cases} \quad (12)$$

其中 $\beta^{(n)} = ik_j^{(n)} d^{(n)} = i \frac{2\pi}{\lambda} N_0^{(n)} d^{(n)}$ 代表了位相厚度, 即通过不同厚度磁光介质层后光传播相位的变化程度, 其中 r_{ss} 为整个磁光介质体系中, 入射光偏振为垂直偏振、反射光偏振为垂直偏振的反射系数, r_{ps} 为入射光偏振为垂直偏振、反射光偏振为水平偏振的反射系数,

r_{sp} 为入射光偏振为水平偏振、反射光偏振为垂直偏振的反射系数, r_{pp} 为入射光偏振为水平偏振、反射光偏振为水平偏振的反射系数;

步骤S6:磁光光场分布运算符模块根据最终的反射与透射系数获得磁光反射光场的角谱;

步骤S7:质心追迹运算符模块根据磁光反射光场的角谱形成三维的强度分布阵列图,对形成三维的强度分布阵列图强度进行归一化运算获得最终的三维磁光光场。

2.根据权利要求1所述的一种三维任意角度磁光光场分布计算方法,其特征在于:在步骤S6中,

入射光束的光场进行傅里叶变换,转化为角谱形式,再引入所述磁光介质体系最终的反射与透射系数,即可获得所述的磁光反射光场的角谱,反射光束的角谱如下:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{E}_r^H \\ \mathbf{E}_r^V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{pp} - \frac{k_{ry}}{k_0}(r_{ps} - r_{sp}) \cot \theta_i & r_{ps} + \frac{k_{ry}}{k_0}(r_{pp} - r_{ss}) \cot \theta_i \\ r_{sp} + \frac{k_{ry}}{k_0}(r_{pp} - r_{ss}) \cot \theta_i & r_{ss} - \frac{k_{ry}}{k_0}(r_{ps} - r_{sp}) \cot \theta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{E}_i^H \\ \mathbf{E}_i^V \end{bmatrix} \quad (13)$$

其中, \mathbf{E}_r^H 代表了反射磁光光束水平偏振的角谱, \mathbf{E}_r^V 代表了反射磁光光束垂直偏振的角谱, \mathbf{E}_i^H 代表了入射光束水平偏振的角谱, \mathbf{E}_i^V 代表了入射光束垂直偏振的角谱, k_{ry} 代表了反射光波矢的y方向分量。

3.根据权利要求2所述的一种三维任意角度磁光光场分布计算方法,其特征在于:在步骤S7中,建立像素点阵列,将每个区域的反射磁光光束角谱叠加计算到像素点阵列中,形成三维的强度分布阵列图,再将强度进行归一化运算,得到最终的三维磁光光场。

三维任意角度磁光光场分布计算方法

技术领域

[0001] 本发明涉及三维任意角度磁光光场分布计算技术领域,尤其是涉及一种三维任意角度磁光光场分布计算方法。

背景技术

[0002] 光子自旋霍尔效应是指当一束线偏振光在非均匀介质中传输时,自旋相反的分量沿垂直于折射率梯度的方向朝相反方向漂移,从而导致此光束分裂成两束圆偏振光并分居在传输光束截面的两侧,与电子的自旋霍尔效应类似,两种圆偏振光对应于自旋电子,而折射率(相位)梯度对应于外场。光子自旋霍尔效应最根本的物理机制是光子的自旋-轨道相互作用,目前,光子自旋霍尔效应已经被广泛应用于判定金属厚度、石墨烯层数、铁的磁光系数、材料的手征性、晶体导电性,同时可应用于生化传感和光学边缘检测等领域。

[0003] 近年来,磁光材料(传输媒质的介电常数张量不对称)在光子自旋霍尔效应的调制中展示出了巨大的潜力。当一束线偏振光入射到磁性介质表面并发生反射时,会产生磁光克尔效应,磁光效应作用下的光子自旋霍尔效应现象统称为磁光光自旋霍尔效应,磁光光自旋霍尔效应可以通过改变磁场大小及方向实现更为多样的光场分布,大大拓展了光场的应用范围,在光传输、光编码、光读写等领域拥有广阔的应用前景。

[0004] 然而现有技术缺乏可以覆盖整个三维空间任意角度的磁光光场检测手段与理论分析,现有的磁光光场检测方法存在以下几个问题:

[0005] 1、只是针对特定单位方向的磁光效应有用,例如横向磁光克尔效应(Transversal magneto-optical kerr effect)、纵向磁光克尔效应(Longitudinal magneto-optical Kerr effect)以及极向磁光克尔效应(Polar magneto-optical Kerr effect),所能计算与检测的磁光光场极为有限,缺乏一般性;

[0006] 2、计算矩阵单一,由于只考虑了单种磁光效应作用的结果,因此所利用的转移矩阵单一;且由于只考虑了单种磁光效应引起的变化,因此介电常数张量部分运算数据被简化导致缺失,不具有可拓展性与二次计算性;

[0007] 3、现有计算系统都是单纯基于理论运算的结果,缺乏可验证的测试平台,因此数据可信度不足。

发明内容

[0008] 本发明的目的是解决上述背景存在的技术问题。

[0009] 为实现上述目的,本发明提供了一种三维任意角度磁光光场分布计算系统,包括

[0010] 信息处理模块,用于信息的输入和处理,所述信息处理模块包括磁光介质薄膜尺寸信息处理子模块、光场传播信息处理子模块以及实际磁场信息处理子模块;

[0011] 运算模块,用于计算信息处理模块处理后的数据得到三维磁光光场,所述运算模块包括磁光介质体系复折射率运算子模块、磁光介质层介电特征参量运算子模块、磁光介质体系反射与投射系数运算子模块、磁光光场分布运算子模块以及质心追迹运算子模块。

[0012] 一种基于上述三维任意角度磁光光场分布计算系统的计算方法,具体步骤如下:

[0013] 步骤S1:通过磁光介质薄膜尺寸信息处理子模块和光场传播信息处理子模块输入目标磁光介质薄膜的分层信息和入射光束信息;

[0014] 步骤S2:实际磁场信息处理子模块根据分层信息和入射光束信息获得磁场坐标磁场角;

[0015] 步骤S3:通过磁光介质体系复折射率运算符模块根据分层信息和入射光束信息计算每个分层复折射率系数;

[0016] 步骤S4:磁光介质层介电特征参量运算符模块根据分层信息、入射光束信息以及磁场坐标磁场角利用匹配的传播矩阵与动态矩阵计算获得相应的磁光介质层介电特征参量;

[0017] 步骤S5:磁光介质体系反射与投射系数运算符模块根据分层信息、入射光束信息以及磁光介质层介电特征参量计算出磁光介质体系光场所必须的反射与透射系数;

[0018] 步骤S6:磁光光场分布运算符模块根据最终的反射与透射系数获得所述的磁光反射光场的角谱;

[0019] 步骤S7:质心追迹运算符模块根据磁光反射光场的角谱形成三维的强度分布阵列图,对形成三维的强度分布阵列图强度进行归一化运算获得最终的三维磁光光场。

[0020] 优选的,在步骤S1中,目标磁光介质薄膜的分层信息包括分层数目、分层材料以及分层厚度,将分层信息进行分离获得目标磁光介质薄膜的厚度d、各分层的复折射率对角元元素 $N_0^{(n)}$ 、各分层的复折射率非对角元元素 $N_1^{(n)}$ 、磁光介质体系分层的介电张量主对角元元素 $\varepsilon_0^{(n)}$ 以及介电张量非对角元元素 $\varepsilon_1^{(n)}$,其中 $n=0,1,2 \dots$,代表了第n层,其中介电张量主对角元元素 $\varepsilon_0^{(n)}$ 以及介电张量非对角元元素 $\varepsilon_1^{(n)}$ 均为复数,即 $z=a+bi$;

[0021] 入射光束信息包括传播光束的波长 λ 、传播波数 k_0 、传播光束相速度 c 、光束束腰宽度 w_0 、光束入射角 θ_1 、反射光波矢的y方向分量 k_{ry} 以及总的传播光波矢 K_0 。

[0022] 优选的,在步骤S2中,通过介电常数张量作为运算载体,将各层的磁场角度代入如下公式,磁光介质体系的实际外加磁场作用结果如下:

$$[0023] \quad \varepsilon^{(n)} = \begin{bmatrix} \varepsilon_0^{(n)} & i\varepsilon_1^{(n)} \cos \theta_M^{(n)} & -i\varepsilon_1^{(n)} \sin \theta_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)} \\ -i\varepsilon_1^{(n)} \cos \theta_M^{(n)} & \varepsilon_0^{(n)} & i\varepsilon_1^{(n)} \sin \theta_M^{(n)} \cos \phi_M^{(n)} \\ i\varepsilon_1^{(n)} \sin \theta_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)} & -i\varepsilon_1^{(n)} \sin \theta_M^{(n)} \cos \phi_M^{(n)} & \varepsilon_0^{(n)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0024] 其中, $\varepsilon_0^{(n)}$ 为第n个磁光介质体系分层的介电张量主对角元元素, $\theta_M^{(n)}$ 表示各层的磁场方向与坐标系中Z轴的夹角, $\phi_M^{(n)}$ 表示各层的磁场方向在xy平面的投影与x轴的夹角, i 为该元素采用虚数形式表示。

[0025] 优选的,在步骤S3中,

[0026] 磁光介质体系的每个分层复折射率系数计算公式如下:

$$[0027] \quad N_{z0}^{(n)} = \sqrt{\varepsilon_0^{(n)} - N_y^2} \quad (2)$$

$$[0028] \quad N_y = N_0^{(n)} \sin \theta_i \quad (3)$$

[0029] 其中, $N_{z0}^{(n)}$ 代表了第n个磁光介质体系分层的复折射率, $\varepsilon_0^{(n)}$ 为第n个磁光介质体系分层的介电张量主对角元元素, N_y 为磁光介质体系折射率的y方向分量, θ_i 为光束入射角, $N_0^{(n)}$ 为各分层的复折射率对角元元素。

[0030] 优选的, 在步骤S4中,

[0031] 动态矩阵表示波与波之间的耦合模式关系, 动态矩阵如下:

$$[0032] \quad D = \begin{bmatrix} D_{11}^{(n)} & D_{12}^{(n)} & D_{13}^{(n)} & D_{14}^{(n)} \\ D_{21}^{(n)} & D_{22}^{(n)} & D_{23}^{(n)} & D_{24}^{(n)} \\ D_{31}^{(n)} & D_{32}^{(n)} & D_{33}^{(n)} & D_{34}^{(n)} \\ D_{41}^{(n)} & D_{42}^{(n)} & D_{43}^{(n)} & D_{44}^{(n)} \end{bmatrix} \quad (4)$$

[0033] 其中, 动态矩阵仅依赖于传播光束的偏振特性, 将分层信息、入射光束信息以及磁场坐标磁场角代入得到:

$$[0034] \quad \begin{cases} D_{1j}^{(n)} = -i\varepsilon_1^{(n)} N_0^{(n)2} \cos \theta_M^{(n)} - i\varepsilon_1^{(n)} N_y N_1^{(n)} \sin \theta_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)} \\ \quad - \varepsilon_1^{(n)2} \sin^2 \theta_M^{(n)} \cos \phi_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)} \\ D_{2j}^{(n)} = N_1^{(n)} D_{1j}^{(n)} \\ D_{3j}^{(n)} = N_0^{(n)2} (N_0^{(n)2} - N_1^{(n)2}) - \varepsilon_1^{(n)2} \sin^2 \theta_M^{(n)} \sin^2 \phi_M^{(n)} \\ D_{4j}^{(n)} = -(\varepsilon_0^{(n)} N_1^{(n)} - i\varepsilon_1^{(n)} N_y \sin \theta_M^{(n)} \cos \phi_M^{(n)}) (N_0^{(n)2} - N_1^{(n)2}) \\ \quad + \varepsilon_1^{(n)2} \sin \theta_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)} (N_1^{(n)} \sin \theta_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)} - N_y \cos \theta_M^{(n)}) \end{cases} \quad (5)$$

[0035] 其中, i 为该计算因子采用虚数形式表示;

[0036] 传播矩阵表示波与波之间的相位偏移, 传播矩阵如下:

$$[0037] \quad \mathbf{P}^{(n)} = \begin{bmatrix} e^{(-ik_1^{(n)}d^{(n)})} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{(-ik_2^{(n)}d^{(n)})} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{(-ik_3^{(n)}d^{(n)})} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{(-ik_4^{(n)}d^{(n)})} \end{bmatrix} \quad (6)$$

[0038] 其中, $ik_j^{(n)}d^{(n)} = i\frac{2\pi}{\lambda} N_0^{(n)}d^{(n)}$ 为第n层的位相厚度, π 代表了圆周率。

[0039] 磁光介质层介电特征参量如下:

$$[0040] \quad p^{(n)} = \frac{\varepsilon_1^{(n)} (N_{z0}^{(n)} \cos \theta_M^{(n)})}{2\varepsilon_0^{(n)1/2} N_{z0}^{(n)2}} \quad (7)$$

$$[0041] \quad l^{(n)} = \frac{\varepsilon_1^{(n)} (N_y \sin \theta_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)})}{2 \varepsilon_0^{(n)1/2} N_{z0}^{(n)2}} \quad (8)$$

$$[0042] \quad q^{(n)} = \frac{\varepsilon_1^{(n)} (N_y \sin \theta_M^{(n)} \cos \phi_M^{(n)})}{\varepsilon_0^{(n)} N_{z0}^{(n)}} \quad (9)$$

[0043] 其中, $p^{(n)}$ 、 $l^{(n)}$ 、 $q^{(n)}$ 分别表示为极性、纵向以及横向磁化对磁光效应的影响程度。

[0044] 优选的,在步骤S5中,

[0045] 利用各界面各向同性与各项异性的相互关系,结合琼斯反射矩阵与传输矩阵,最终计算获得磁光介质体系光场所必须的反射与透射系数具体步骤如下:

[0046] 首先,根据传播矩阵与动态矩阵获得磁光平面波电磁场计算转移矩阵如下:

$$[0047] \quad M = [D^{(0)}]^{-1} D^{(1)} P^{(1)} [D^{(1)}]^{-1} \dots D^{(N)} P^{(N)} [D^{(N)}]^{-1} [D^{(N+1)}] \quad (10)$$

[0048] 其中N代表了磁光介质体系的分层数目,代表了第N层的传播矩阵P与动态矩阵D;

[0049] 然后,通过不同偏振极化的反射系数与透射关系计算磁光介质体系各分层之间的反射与透射系数,

[0050] 不同偏振极化的反射系数与透射关系如下:

$$[0051] \quad \begin{cases} r_{ss}^{(ij)} = \frac{N_0^{(i)} - N_0^{(j)}}{N_0^{(i)} + N_0^{(j)}} \\ r_{pp}^{(ij)} = \frac{\varepsilon_0^{(i)} N_0^{(j)} - \varepsilon_0^{(j)} N_0^{(i)}}{\varepsilon_0^{(i)} N_0^{(j)} + \varepsilon_0^{(j)} N_0^{(i)}} \\ t_{ss}^{(ij)} = 1 + r_{ss}^{(ij)} \\ t_{pp}^{(ij)} = \left(\varepsilon_0^{(i)} / \varepsilon_0^{(j)} \right)^{1/2} (1 - r_{pp}^{(ij)}) \end{cases} \quad (11)$$

[0052] 其中 $r_{ss}^{(ij)}$ 代表了磁光介质体系第i与第j层之间垂直偏振极化的反射系数, $r_{pp}^{(ij)}$ 代表了磁光介质体系第i与第j层之间水平偏振极化的反射系数, $t_{ss}^{(ij)}$ 代表了磁光介质体系第i与第j层之间垂直偏振极化的透射系数, $t_{pp}^{(ij)}$ 代表了磁光介质体系第i与第j层之间水平偏振极化的透射系数,其中 $i < j < n$;

[0053] $N_0^{(i)}$ 代表了磁光介质体系第i分层的复折射率对角元元素, $\varepsilon_0^{(i)}$ 代表了磁光介质体系分层的介电张量主对角元元素;

[0054] 最后,计算磁光介质体系最终的反射与透射系数,计算公式如下:

$$\begin{cases}
r_{ss} = \frac{r_{ss}^{(01)} + r_{ss}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}}{1 + r_{ss}^{(01)} r_{ss}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}} \\
r_{ps} = t_{ss}^{(01)} t_{pp}^{(10)} \left\{ \beta^{(1)} e^{-2i\beta^{(1)}} \left[-p^{(1)} (r_{ss}^{(12)} + r_{pp}^{(12)}) + l^{(1)} (r_{ss}^{(12)} - r_{pp}^{(12)}) \right] \right. \\
\quad \left. + \frac{i}{2} (1 - e^{-2i\beta^{(1)}}) \left[\pm p^{(1)} (1 + r_{ss}^{(12)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) - l^{(1)} (1 - r_{ss}^{(12)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) \right] \right\} \\
\quad \times \left[(1 + r_{ss}^{(01)} r_{ss}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) (1 + r_{pp}^{(01)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) \right]^{-1} \\
r_{sp} = t_{ss}^{(01)} t_{pp}^{(10)} \left\{ \beta^{(1)} e^{-2i\beta^{(1)}} \left[p^{(1)} (r_{ss}^{(12)} + r_{pp}^{(12)}) + l^{(1)} (r_{ss}^{(12)} - r_{pp}^{(12)}) \right] \right. \\
\quad \left. + \frac{i}{2} (1 - e^{-2i\beta^{(1)}}) \left[\pm p^{(1)} (1 + r_{ss}^{(12)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) - l^{(1)} (1 - r_{ss}^{(12)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) \right] \right\} \\
\quad \times \left[(1 + r_{ss}^{(01)} r_{ss}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) (1 + r_{pp}^{(01)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) \right]^{-1} \\
r_{pp} = \frac{r_{pp}^{(01)} + r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}}{1 + r_{pp}^{(01)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}} + \frac{i}{2} q^{(1)} (1 - e^{-2i\beta^{(1)}}) t_{pp}^{(01)} t_{pp}^{(10)} \frac{1 - r_{pp}^{(12)2} e^{-2i\beta^{(1)}}}{(1 + r_{pp}^{(01)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}})^2}
\end{cases} \quad (12)$$

[0056] 其中 $\beta^{(n)} = ik_j^{(n)} d^{(n)} = i \frac{2\pi}{\lambda} N_0^{(n)} d^{(n)}$ 代表了位相厚度,即通过不同厚度磁光介质层后光传播相位的变化程度,其中 r_{ss} 为整个磁光介质体系中,入射光偏振为垂直偏振、反射光偏振为垂直偏振的反射系数, r_{ps} 为入射光偏振为垂直偏振、反射光偏振为水平偏振的反射系数, r_{sp} 为入射光偏振为水平偏振、反射光偏振为垂直偏振的反射系数, r_{pp} 为入射光偏振为水平偏振、反射光偏振为水平偏振的反射系数。

[0057] 优选的,在步骤S6中,

[0058] 入射光束的光场进行傅里叶变换,转化为角谱形式,再引入所述磁光介质体系最终的反射与透射系数,即可获得所述的磁光反射光场的角谱,反射光束的角谱如下:

$$\begin{cases}
\begin{bmatrix} \mathbf{E}_r^H \\ \mathbf{E}_r^V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{pp} - \frac{k_{ry}}{k_0} (r_{ps} - r_{sp}) \cot \theta_i & r_{ps} + \frac{k_{ry}}{k_0} (r_{pp} - r_{ss}) \cot \theta_i \\ r_{sp} + \frac{k_{ry}}{k_0} (r_{pp} - r_{ss}) \cot \theta_i & r_{ss} - \frac{k_{ry}}{k_0} (r_{ps} - r_{sp}) \cot \theta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{E}_i^H \\ \mathbf{E}_i^V \end{bmatrix}
\end{cases} \quad (13)$$

[0060] 其中, \mathbf{E}_r^H 代表了反射磁光光束水平偏振的角谱, \mathbf{E}_r^V 代表了反射磁光光束垂直偏振的角谱, \mathbf{E}_i^H 代表了入射光束水平偏振的角谱, \mathbf{E}_i^V 代表了入射光束垂直偏振的角谱, k_{ry} 代表了反射光波矢的y方向分量。

[0061] 优选的,在步骤S7中,建立像素点阵列,将每个区域的反射磁光光束角谱叠加计算到像素点阵列中,形成三维的强度分布阵列图,再将强度进行归一化运算,得到最终的三维磁光光场。

[0062] 一种三维任意角度磁光光场分布计算测试平台,包括激光器、光阑A、半波片、透镜L1、格兰偏振镜P1、三维旋转可调电磁铁、棱镜、光阑B、格兰偏振镜P2、透镜L2以及图像传感器CCD,

[0063] 所述激光器用于发射激光光束,激光光束依次通过用于隔绝外部杂散光的光阑A、用于调控入射光强大小的半波片、用于光束聚焦的透镜L1以及用于引起光场分裂格兰偏振镜P1,三维旋转可调电磁铁用于在磁光介质体系中引入三维任意角度的磁场,最终引起三维磁光效应,经过三维磁光效应的激光光束通过棱镜发生反射,反射的光束依次经过用于隔绝反射光中的杂散光的光阑B、用于引起光场分裂的格兰偏振镜P2以及将反射光束准直与扩束的透镜L2,最后通过图像传感器CCD对反射光束的传播光场进行检测。

[0064] 因此,本发明采用上述一种三维任意角度磁光光场分布计算系统、方法以及测试平台,具有以下有益效果:

[0065] (1)有效拓展了三维磁光光场的计算手段,提高了三维磁光光场的运算效率,填补了传统缺乏三维磁光光场,尤其是任意磁场作用下磁光光场的计算系统,为了研究空间三维磁场作用和空间磁光光场分布提供了新方法与新思路。

[0066] (2)通过三维任意角度磁光光场分布计算测试平台在验证了计算方法的可行性的同时对计算结果进行优化与校准,大大提高了三维磁光光场的计算准确度。

[0067] (3)计算效率高,由于将信息处理与运算模块进行有序拆分,避免了传统运算过程中边计算边数据处理而导致数据冗余的问题,整个系统计算逻辑性强,可修复性强,运算效率更高。

[0068] 下面通过附图和实施例,对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

附图说明

[0069] 图1为本发明一种三维任意角度磁光光场分布计算方法流程图;

[0070] 图2为本发明一种三维任意角度磁光光场分布计算方法的x方向磁场光场分布图;

[0071] 图3为本发明一种三维任意角度磁光光场分布计算方法的y方向磁场光场分布图;

[0072] 图4为本发明一种三维任意角度磁光光场分布计算方法的z方向磁场光场分布图;

[0073] 图5为本发明一种三维磁光光场分布计算系统计算的空间任意方向磁场光场分布图;

[0074] 图6为本发明一种三维任意角度磁光光场分布计算测试平台结构图;

[0075] 图7为本发明一种三维任意角度磁光光场分布计算系统计算结果与实验实际测试结果对比图(磁场方向为 $\theta_M = -90^\circ$, $\Phi_M = 280^\circ$);

[0076] 图8为本发明最终计算结果与实验测试结果图(磁场方向为 $\theta_M = 100^\circ$, $\Phi_M = 280^\circ$)。

具体实施方式

[0077] 实施例

[0078] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。通常在此处附图中描述和示出的本发明实施例的组件可以以各种不同的配置来布置和设计。

[0079] 因此,以下对在附图中提供的本发明的实施例的详细描述并非旨在限制要求保护的本发明的范围,而是仅仅表示本发明的选定实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范

围。

[0080] 下面结合附图,对本发明的实施方式作详细说明。

[0081] 一种三维任意角度磁光光场分布计算系统,包括信息处理模块和运算模块,将信息处理与运算模块进行有序拆分,避免了传统运算过程中边计算边数据处理而导致数据冗余的问题,整个系统计算逻辑性强,可修复性强,运算效率更高。

[0082] 信息处理模块,用于信息的输入和处理,所述信息处理模块包括磁光介质薄膜尺寸信息处理子模块、光场传播信息处理子模块以及实际磁场信息处理子模块。

[0083] 运算模块,用于计算信息处理模块处理后的数据得到三维磁光光场,所述运算模块包括磁光介质体系复折射率运算符模块、磁光介质层介电特征参量运算符模块、磁光介质体系反射与投射系数运算符模块、磁光光场分布运算符模块以及质心追迹运算符模块。

[0084] 参考图1,一种基于上述三维任意角度磁光光场分布计算系统的计算方法,具体步骤如下:

[0085] 步骤S1:通过磁光介质薄膜尺寸信息处理子模块和光场传播信息处理子模块输入目标磁光介质薄膜的分层信息和入射光束信息。

[0086] 目标磁光介质薄膜的分层信息包括分层数目、分层材料以及分层厚度,将分层信息进行分离获得目标磁光介质薄膜的厚度 d 、各分层的复折射率对角元元素 $N_0^{(n)}$ 、各分层的复折射率非对角元元素 $N_1^{(n)}$ 、磁光介质体系分层的介电张量主对角元元素 $\epsilon_0^{(n)}$ 以及介电张量非对角元元素 $\epsilon_1^{(n)}$,其中 $n=0,1,2 \dots$,代表了第 n 层,其中介电张量主对角元元素 $\epsilon_0^{(n)}$ 以及介电张量非对角元元素 $\epsilon_1^{(n)}$ 均为复数,即 $z=a+bi$;

[0087] 本实施例中,厚度 $d=0.1\mu\text{m}$ (微米)、磁光介质体系各分层的复折射率对角元元素 $N_0^{(1)}=1$ 、 $N_0^{(2)}=2.4147$ 、 $N_0^{(3)}=1.951$ 、第二磁光分层的复折射率非对角元元素 $N_1^{(2)}=-0.0083$ 、磁光介质体系分层的介电张量主对角元元素 $\epsilon_0^{(n)}$ 和介电张量非对角元元素 $\epsilon_1^{(n)}$ 如下:

$$[0088] \quad \begin{cases} \epsilon_0^{(1)} = 1, \epsilon_1^{(1)} = 0 \\ \epsilon_0^{(2)} = 5.831 - 0.013i, \epsilon_1^{(2)} = -0.00820 + 0.0008i \\ \epsilon_0^{(3)} = 3.8064, \epsilon_1^{(3)} = 0 \end{cases}$$

[0089] 入射光束信息包括传播光束的波长 λ 、传播波数 k_0 、传播光束相速度 c 、光束束腰宽度 w_0 、光束入射角 θ_1 、反射光波矢的 y 方向分量 k_{ry} 以及总的传播光波矢 K_0 。入射光束信息具体参数设置如下:

$$[0090] \quad \begin{cases} \lambda = 0.633 \\ \mathbf{k}_0 = 2\pi / \lambda \\ c = 3 \times 10^{14} \\ w_0 = 53 \\ \theta_i = 87 \\ k_{ry} = 0.3 + 0.5i \\ k_0 = 5 + 2i \end{cases}$$

[0091] 步骤S2:实际磁场信息处理子模块根据分层信息和入射光束信息获得磁场坐标磁场角。将外加三维任意方向的磁场方向进行标定,最终获得 θ_M 和 Φ_M 如下:

$$[0092] \quad \begin{cases} \theta_M = 100 \\ \Phi_M = 280 \end{cases}$$

[0093] 通过介电常数张量作为运算载体,将各层的磁场角度代入如下公式,磁光介质体系的实际外加磁场作用结果如下:

$$[0094] \quad \boldsymbol{\varepsilon}^{(n)} = \begin{bmatrix} \varepsilon_0^{(n)} & i\varepsilon_1^{(n)} \cos \theta_M^{(n)} & -i\varepsilon_1^{(n)} \sin \theta_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)} \\ -i\varepsilon_1^{(n)} \cos \theta_M^{(n)} & \varepsilon_0^{(n)} & i\varepsilon_1^{(n)} \sin \theta_M^{(n)} \cos \phi_M^{(n)} \\ i\varepsilon_1^{(n)} \sin \theta_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)} & -i\varepsilon_1^{(n)} \sin \theta_M^{(n)} \cos \phi_M^{(n)} & \varepsilon_0^{(n)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0095] 其中, $\varepsilon_0^{(n)}$ 为第n个磁光介质体系分层的介电张量主对角元元素, $\theta_M^{(n)}$ 表示各层的磁场方向与坐标系中Z轴的夹角, $\phi_M^{(n)}$ 表示各层的磁场方向在xy平面的投影与x轴的夹角,i为该元素采用虚数形式表示。

[0096] 步骤S3:通过磁光介质体系复折射率运算符模块根据分层信息和入射光束信息计算每个分层复折射率系数。

[0097] 磁光介质体系的每个分层复折射率系数计算公式如下:

$$[0098] \quad N_{z0}^{(n)} = \sqrt{\varepsilon_0^{(n)} - N_y^2} \quad (2)$$

$$[0099] \quad N_y = N_0^{(n)} \sin \theta_i \quad (3)$$

[0100] 其中, $N_{z0}^{(n)}$ 代表了第n个磁光介质体系分层的复折射率, $\varepsilon_0^{(n)}$ 为第n个磁光介质体系分层的介电张量主对角元元素, N_y 为磁光介质体系折射率的y方向分量, θ_i 为光束入射角, $N_0^{(n)}$ 为各分层的复折射率对角元元素。

[0101] 步骤S4:磁光介质层介电特征参量运算符模块根据分层信息、入射光束信息以及磁场坐标磁场角利用匹配的传播矩阵与动态矩阵计算获得相应的磁光介质层介电特征参量。

[0102] 动态矩阵表示波与波之间的耦合模式关系,动态矩阵如下:

$$[0103] \quad D = \begin{bmatrix} D_{11}^{(n)} & D_{12}^{(n)} & D_{13}^{(n)} & D_{14}^{(n)} \\ D_{21}^{(n)} & D_{22}^{(n)} & D_{23}^{(n)} & D_{24}^{(n)} \\ D_{31}^{(n)} & D_{32}^{(n)} & D_{33}^{(n)} & D_{34}^{(n)} \\ D_{41}^{(n)} & D_{42}^{(n)} & D_{43}^{(n)} & D_{44}^{(n)} \end{bmatrix} \quad (4)$$

[0104] 其中,动态矩阵仅依赖于传播光束的偏振特性,将分层信息、入射光束信息以及磁场坐标磁场角代入得到:

$$[0105] \quad \begin{cases} D_{1j}^{(n)} = -i\varepsilon_1^{(n)} N_0^{(n)2} \cos \theta_M^{(n)} - i\varepsilon_1^{(n)} N_y N_1^{(n)} \sin \theta_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)} \\ \quad - \varepsilon_1^{(n)2} \sin^2 \theta_M^{(n)} \cos \phi_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)} \\ D_{2j}^{(n)} = N_1^{(n)} D_{1j}^{(n)} \\ D_{3j}^{(n)} = N_0^{(n)2} (N_0^{(n)2} - N_1^{(n)2}) - \varepsilon_1^{(n)2} \sin^2 \theta_M^{(n)} \sin^2 \phi_M^{(n)} \\ D_{4j}^{(n)} = -(\varepsilon_0^{(n)} N_1^{(n)} - i\varepsilon_1^{(n)} N_y \sin \theta_M^{(n)} \cos \phi_M^{(n)}) (N_0^{(n)2} - N_1^{(n)2}) \\ \quad + \varepsilon_1^{(n)2} \sin \theta_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)} (N_1^{(n)} \sin \theta_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)} - N_y \cos \theta_M^{(n)}) \end{cases} \quad (5)$$

[0106] 其中, i 为该计算因子采用虚数形式表示;

[0107] 传播矩阵表示波与波之间的相位偏移,传播矩阵如下:

$$[0108] \quad \mathbf{P}^{(n)} = \begin{bmatrix} e^{(-ik_1^{(n)}d^{(n)})} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{(-ik_2^{(n)}d^{(n)})} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{(-ik_3^{(n)}d^{(n)})} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{(-ik_4^{(n)}d^{(n)})} \end{bmatrix} \quad (6)$$

[0109] 其中, $ik_j^{(n)}d^{(n)} = i\frac{2\pi}{\lambda} N_0^{(n)}d^{(n)}$ 为第 n 层的位相厚度, π 代表了圆周率。

[0110] 磁光介质层介电特征参量如下:

$$[0111] \quad p^{(n)} = \frac{\varepsilon_1^{(n)} (N_{z0}^{(n)} \cos \theta_M^{(n)})}{2\varepsilon_0^{(n)1/2} N_{z0}^{(n)2}} \quad (7)$$

$$[0112] \quad l^{(n)} = \frac{\varepsilon_1^{(n)} (N_y \sin \theta_M^{(n)} \sin \phi_M^{(n)})}{2\varepsilon_0^{(n)1/2} N_{z0}^{(n)2}} \quad (8)$$

$$[0113] \quad q^{(n)} = \frac{\varepsilon_1^{(n)} (N_y \sin \theta_M^{(n)} \cos \phi_M^{(n)})}{\varepsilon_0^{(n)} N_{z0}^{(n)}} \quad (9)$$

[0114] 其中, $p^{(n)}$ 、 $l^{(n)}$ 、 $q^{(n)}$ 分别表示为极性、纵向以及横向磁化对磁光效应的影响程度。

[0115] 步骤S5:磁光介质体系反射与投射系数运算符模块根据分层信息、入射光束信息以及磁光介质层介电特征参量计算出磁光介质体系光场所必须的反射与透射系数。

[0116] 利用各界面各向同性与各项异性的相互关系,结合琼斯反射矩阵与传输矩阵,最终计算获得磁光介质体系光场所必须的反射与透射系数具体步骤如下:

[0117] 首先,根据传播矩阵与动态矩阵获得磁光平面波电磁场计算转移矩阵如下:

$$[0118] \quad M = [D^{(0)}]^{-1} D^{(1)} P^{(1)} [D^{(1)}]^{-1} \dots D^{(N)} P^{(N)} [D^{(N)}]^{-1} [D^{(N+1)}] \quad (10)$$

[0119] 其中N代表了磁光介质体系的分层数目,代表了第N层的传播矩阵P与动态矩阵D;

[0120] 然后,通过不同偏振极化的反射系数与透射关系计算磁光介质体系各分层之间的反射与透射系数,

[0121] 不同偏振极化的反射系数与透射关系如下:

$$[0122] \quad \begin{cases} r_{ss}^{(ij)} = \frac{N_0^{(i)} - N_0^{(j)}}{N_0^{(i)} + N_0^{(j)}} \\ r_{pp}^{(ij)} = \frac{\epsilon_0^{(i)} N_0^{(j)} - \epsilon_0^{(j)} N_0^{(i)}}{\epsilon_0^{(i)} N_0^{(j)} + \epsilon_0^{(j)} N_0^{(i)}} \\ t_{ss}^{(ij)} = 1 + r_{ss}^{(ij)} \\ t_{pp}^{(ij)} = \left(\epsilon_0^{(i)} / \epsilon_0^{(j)} \right)^{1/2} (1 - r_{pp}^{(ij)}) \end{cases} \quad (11)$$

[0123] 其中 $r_{ss}^{(ij)}$ 代表了磁光介质体系第i与第j层之间垂直偏振极化的反射系数, $r_{pp}^{(ij)}$ 代表了磁光介质体系第i与第j层之间水平偏振极化的反射系数, $t_{ss}^{(ij)}$ 代表了磁光介质体系第i与第j层之间垂直偏振极化的透射系数, $t_{pp}^{(ij)}$ 代表了磁光介质体系第i与第j层之间水平偏振极化的透射系数,其中 $i < j < n$;

[0124] $N_0^{(i)}$ 代表了磁光介质体系第i分层的复折射率对角元元素, $\epsilon_0^{(i)}$ 代表了磁光介质体系分层的介电张量主对角元元素;

[0125] 最后,计算磁光介质体系最终的反射与透射系数,计算公式如下:

$$\begin{cases}
r_{ss} = \frac{r_{ss}^{(01)} + r_{ss}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}}{1 + r_{ss}^{(01)} r_{ss}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}} \\
r_{ps} = t_{ss}^{(01)} t_{pp}^{(10)} \left\{ \beta^{(1)} e^{-2i\beta^{(1)}} \left[-p^{(1)} (r_{ss}^{(12)} + r_{pp}^{(12)}) + l^{(1)} (r_{ss}^{(12)} - r_{pp}^{(12)}) \right] \right. \\
\quad \left. + \frac{i}{2} (1 - e^{-2i\beta^{(1)}}) \left[\pm p^{(1)} (1 + r_{ss}^{(12)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) - l^{(1)} (1 - r_{ss}^{(12)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) \right] \right\} \\
\quad \times \left[(1 + r_{ss}^{(01)} r_{ss}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) (1 + r_{pp}^{(01)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) \right]^{-1} \\
r_{sp} = t_{ss}^{(01)} t_{pp}^{(10)} \left\{ \beta^{(1)} e^{-2i\beta^{(1)}} \left[p^{(1)} (r_{ss}^{(12)} + r_{pp}^{(12)}) + l^{(1)} (r_{ss}^{(12)} - r_{pp}^{(12)}) \right] \right. \\
\quad \left. + \frac{i}{2} (1 - e^{-2i\beta^{(1)}}) \left[\pm p^{(1)} (1 + r_{ss}^{(12)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) - l^{(1)} (1 - r_{ss}^{(12)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) \right] \right\} \\
\quad \times \left[(1 + r_{ss}^{(01)} r_{ss}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) (1 + r_{pp}^{(01)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}) \right]^{-1} \\
r_{pp} = \frac{r_{pp}^{(01)} + r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}}{1 + r_{pp}^{(01)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}}} + \frac{i}{2} q^{(1)} (1 - e^{-2i\beta^{(1)}}) t_{pp}^{(01)} t_{pp}^{(10)} \frac{1 - r_{pp}^{(12)2} e^{-2i\beta^{(1)}}}{(1 + r_{pp}^{(01)} r_{pp}^{(12)} e^{-2i\beta^{(1)}})^2}
\end{cases} \quad (12)$$

[0127] 其中 $\beta^{(n)} = ik_j^{(n)} d^{(n)} = i \frac{2\pi}{\lambda} N_0^{(n)} d^{(n)}$ 代表了位相厚度,即通过不同厚度磁光介质层后光传播相位的变化程度,其中 r_{ss} 为整个磁光介质体系中,入射光偏振为垂直偏振、反射光偏振为垂直偏振的反射系数, r_{ps} 为入射光偏振为垂直偏振、反射光偏振为水平偏振的反射系数, r_{sp} 为入射光偏振为水平偏振、反射光偏振为垂直偏振的反射系数, r_{pp} 为入射光偏振为水平偏振、反射光偏振为水平偏振的反射系数。

[0128] 步骤S6:磁光光场分布运算符模块根据最终的反射与透射系数获得所述的磁光反射光场的角谱。

[0129] 入射光束的光场进行傅里叶变换,转化为角谱形式,再引入所述磁光介质体系最终的反射与透射系数,即可获得所述的磁光反射光场的角谱,反射光束的角谱如下:

$$\begin{cases}
\begin{bmatrix} E_r^H \\ E_r^V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{pp} - \frac{k_{ry}}{k_0} (r_{ps} - r_{sp}) \cot \theta_i & r_{ps} + \frac{k_{ry}}{k_0} (r_{pp} - r_{ss}) \cot \theta_i \\ r_{sp} + \frac{k_{ry}}{k_0} (r_{pp} - r_{ss}) \cot \theta_i & r_{ss} - \frac{k_{ry}}{k_0} (r_{ps} - r_{sp}) \cot \theta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_i^H \\ E_i^V \end{bmatrix} \quad (13)
\end{cases}$$

[0131] 其中, E_r^H 代表了反射磁光光束水平偏振的角谱, E_r^V 代表了反射磁光光束垂直偏振的角谱, E_i^H 代表了入射光束水平偏振的角谱, E_i^V 代表了入射光束垂直偏振的角谱, k_{ry} 代表了反射光波矢的y方向分量。

[0132] 步骤S7:质心追迹运算符模块根据磁光反射光场的角谱形成三维的强度分布阵列图,对形成三维的强度分布阵列图强度进行归一化运算获得最终的三维磁光光场。建立像素点阵列,将每个区域的反射磁光光束角谱叠加计算到像素点阵列中,形成三维的强度分布阵列图,再将强度进行归一化运算,得到最终的三维磁光光场。

[0133] 参考图6,一种三维任意角度磁光光场分布计算测试平台,包括激光器、光阑A、半

波片、透镜L1、格兰偏振镜P1、三维旋转可调电磁铁、棱镜、光阑B、格兰偏振镜P2、透镜L2以及图像传感器CCD。

[0134] 所述激光器用于发射激光光束,激光光束依次通过用于隔绝外部杂散光的光阑A、用于调控入射光强大小的半波片、用于光束聚焦的透镜L1以及用于引起光场分裂格兰偏振镜P1,三维旋转可调电磁铁用于在磁光介质体系中引入三维任意角度的磁场,最终引起三维磁光效应,经过三维磁光效应的激光光束通过棱镜发生反射,反射的光束依次经过用于隔绝反射光中的杂散光的光阑B、用于引起光场分裂的格兰偏振镜P2以及将反射光束准直与扩束的透镜L2,最后通过图像传感器CCD对反射光束的传播光场进行检测。

[0135] 如图8所示,计算出所述的三维磁光光场后,再利用所搭建的三维磁光光场测试平台对系统计算结果进行实验验证,最终实验结果与理论结果一致,从实验上也证明了本系统运算结果的正确性。

[0136] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其进行限制,尽管参照较佳实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,而这些修改或者等同替换亦不能使修改后的技术方案脱离本发明技术方案的精神和范围。

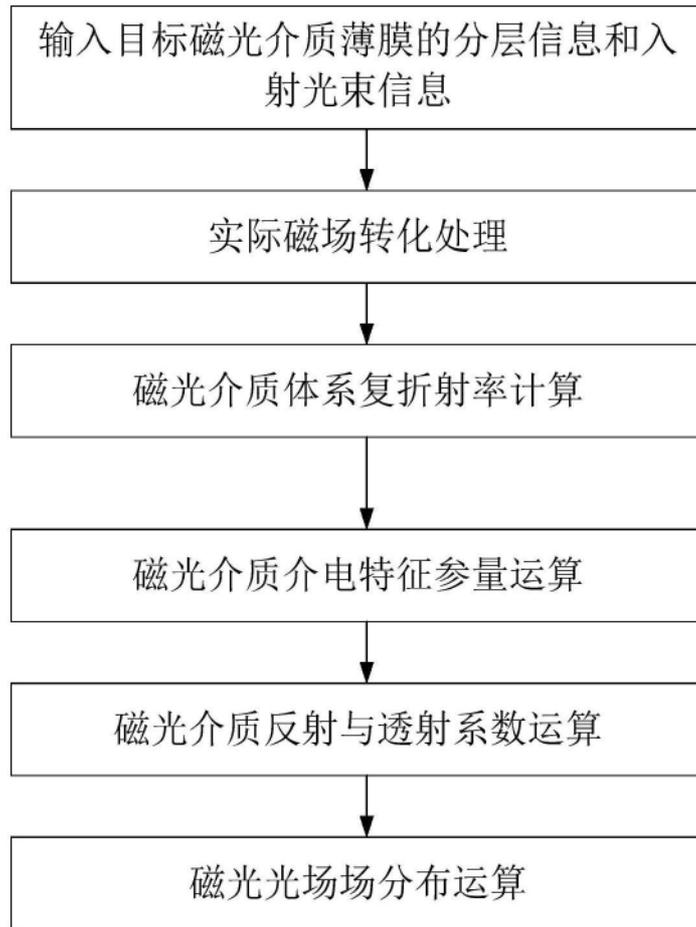


图1

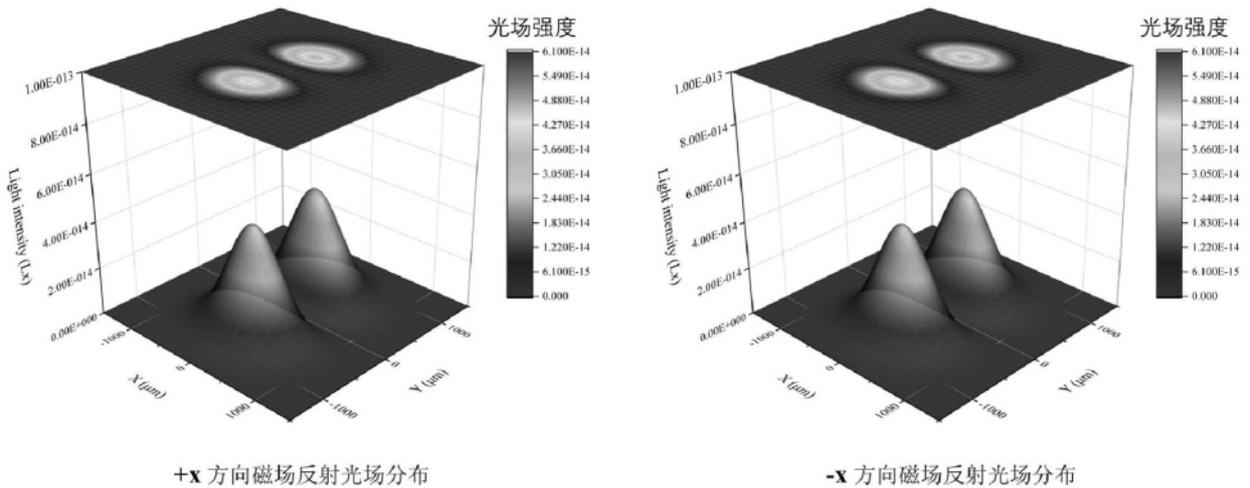


图2

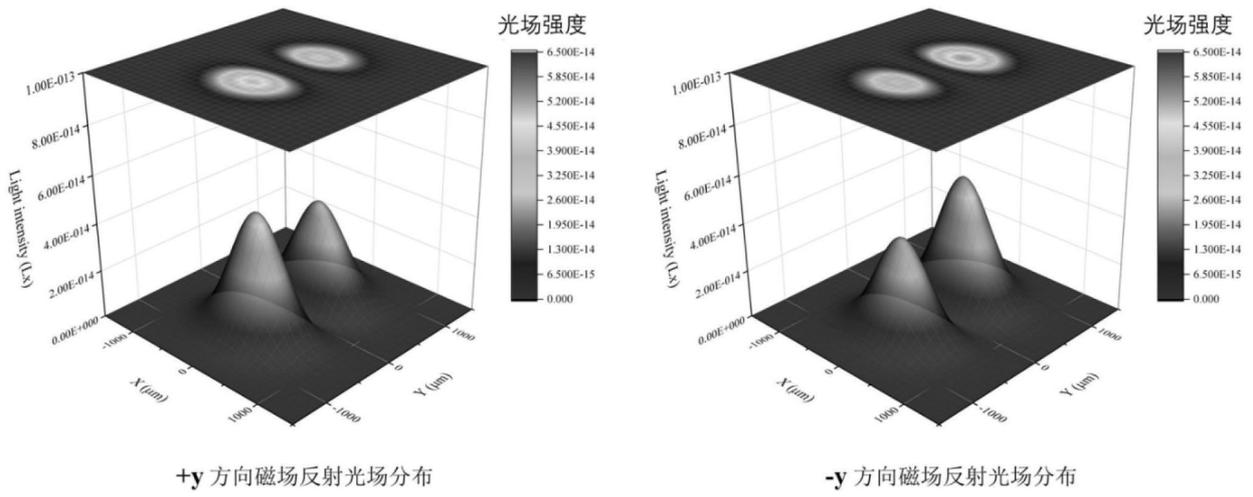


图3

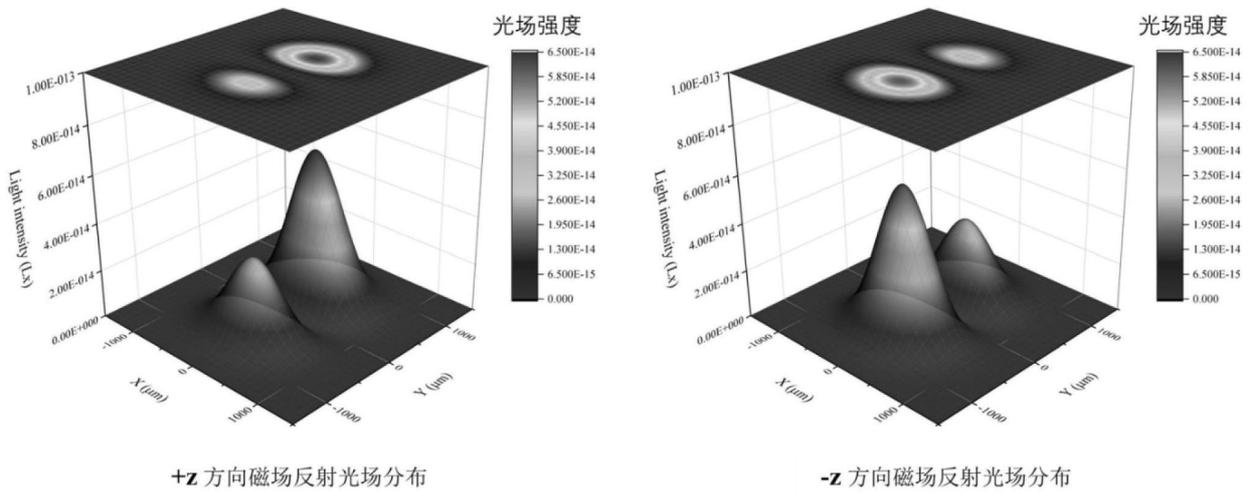


图4

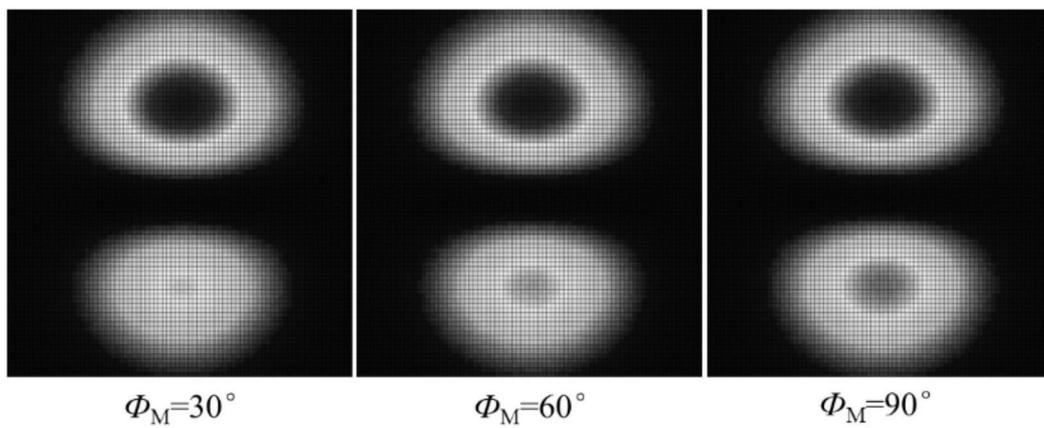


图5

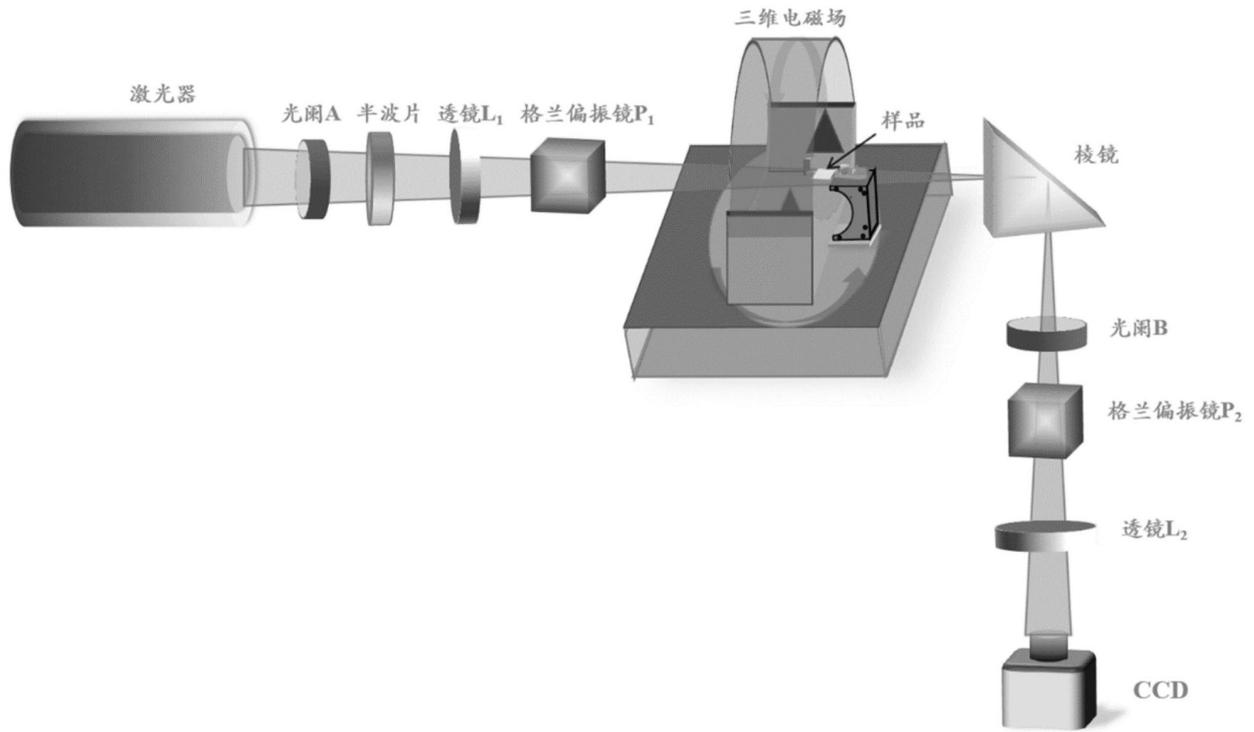


图6

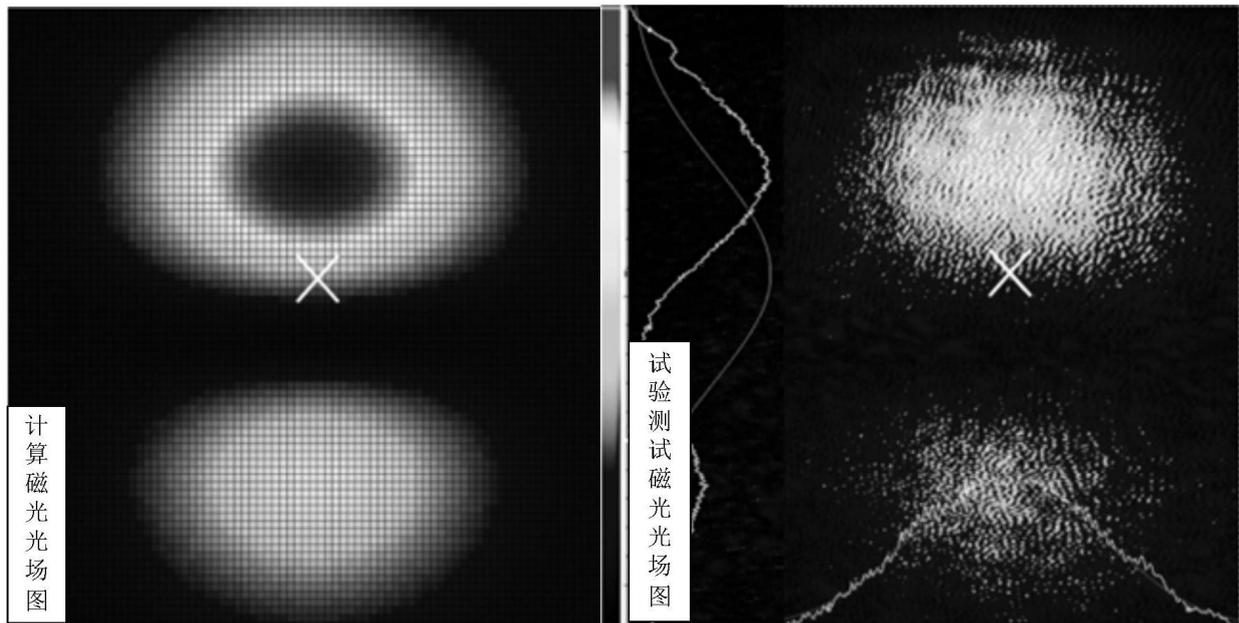


图7

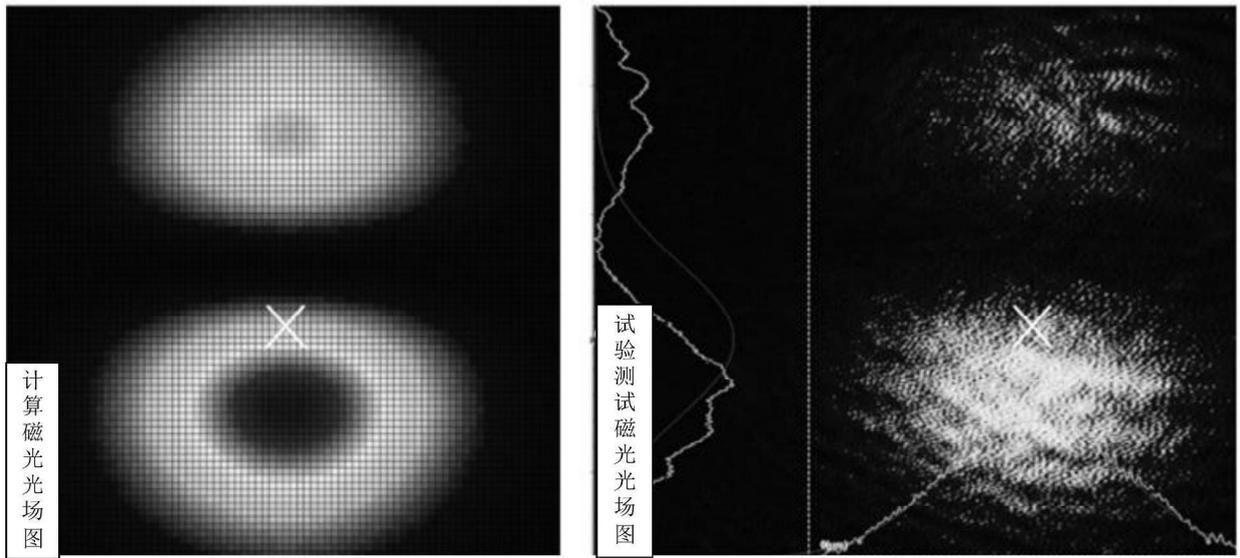


图8