



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104701589 A

(43) 申请公布日 2015. 06. 10

(21) 申请号 201510035761. 5

(22) 申请日 2015. 01. 23

(71) 申请人 上海师范大学

地址 200234 上海市徐汇区桂林路 100 号

(72) 发明人 赵振宇 宋志强 罗从文 代秀松

(74) 专利代理机构 上海顺华专利代理有限责任
公司 31203

代理人 陆林辉

(51) Int. Cl.

H01P 1/20(2006. 01)

H01P 7/08(2006. 01)

B81C 1/00(2006. 01)

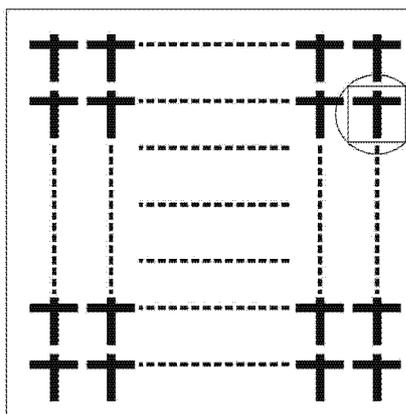
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

氮离子太赫兹特征谱线探测的滤波器谐振单元及制造方法

(57) 摘要

一种用于氮离子太赫兹特征谱线探测的滤波器谐振单元,由半绝缘砷化镓(SI-GaAs)衬底和衬底上的金属层构成,半绝缘砷化镓(SI-GaAs)衬底的厚度为0.63mm,金属层由依次形成在衬底上的5nm厚的钛金属层和120nm厚的金金属层构成,在金属层中形成有镂空的十字架谐振结构阵列。还提供上述滤波器谐振单元的制造方法。通过本发明加工工艺制造的谐振单元,能够实现1.46THz为中心频率的单频率THz带通滤波器。



1. 一种用于氮离子太赫兹特征谱线探测的滤波器谐振单元,由半绝缘砷化镓(SI-GaAs)衬底和衬底上的金属层构成,其特征在于:半绝缘砷化镓(SI-GaAs)衬底的厚度为0.63mm,金属层由依次形成在衬底上的5nm厚的钛金属层和120nm厚的金金属层构成,在金属层中形成有镂空的十字架谐振结构阵列。

2. 如权利要求1所述的滤波器谐振单元,其特征在于:每个十字架谐振结构形成在 $40\mu\text{m}\times 40\mu\text{m}$ 的矩形区域上,每个十字架谐振结构的横轴与纵轴尺寸相等,均为长 $30\mu\text{m}$ 、宽 $5\mu\text{m}$,横轴下边沿与纵轴底部的距离为 $20.5\mu\text{m}$,纵轴顶部到横轴上边沿的距离为 $4.5\mu\text{m}$,纵轴从横轴的正中间穿过,纵轴的中心线与 $40\mu\text{m}\times 40\mu\text{m}$ 矩形区域的中心线重合。

3. 如权利要求1或2所述的滤波器谐振单元,其特征在于:所述谐振单元所覆盖的区域面积为 $10\text{mm}\times 10\text{mm}$ 的矩形区域,包括多个相邻设置的 $40\mu\text{m}\times 40\mu\text{m}$ 的矩形区域,每个 $40\mu\text{m}\times 40\mu\text{m}$ 的矩形区域上形成有一个十字架谐振结构。

4. 如权利要求1-3之一所述的滤波器谐振单元的制造方法,其特征在于包括以下步骤:

第一步:将半绝缘砷化镓(SI-GaAs)衬底置于去离子水中,并超声环境中清洗,去除表面残留颗粒物,然后将表面吹干;

第二步:将光刻胶滴在半绝缘砷化镓(SI-GaAs)衬底表面,并进行匀胶、甩胶操作,使得胶厚 $<1.5\mu\text{m}$;

第三步:对涂胶后的半绝缘砷化镓(SI-GaAs)衬底进行操作,固化光刻胶;

第四步:将光掩膜版十字架阵列图形转移到半绝缘砷化镓(SI-GaAs)衬底上,并显影、清洗;

第五步:在干燥后的半绝缘砷化镓(SI-GaAs)衬底上依次镀上5nm厚的钛和120nm厚的金;

第六步:将金属化后的半绝缘砷化镓(SI-GaAs)浸泡在预先准备好的99.999%纯度丙酮溶剂中,利用丙酮渗透固化后的光刻胶,将胶面上的金属剥离SI-GaAs表面,而没有光刻胶保护的金属部分留在SI-GaAs上,从而获得镂空的十字架阵列谐振单元。

5. 如权利要求4所述的制造方法,其特征在于:在第一步中,将半绝缘砷化镓(SI-GaAs)衬底置于去离子水中,并在10kHz频率的超声环境中清洗,去除表面残留颗粒物,然后用高压氮气将表面吹干。

6. 如权利要求4所述的制造方法,其特征在于:在第二步中,将干燥后的半绝缘砷化镓(SI-GaAs)衬底置于旋涂台上,在黄光条件下将AZ1500型光刻胶滴在半绝缘砷化镓(SI-GaAs)衬底表面,并立即以600r/min的低转速进行匀胶,维持10s后,转速直接提高到3000r/min的高转速进行甩胶,维持60s,使得胶厚 $<1.5\mu\text{m}$ 。

7. 如权利要求4所述的制造方法,其特征在于:在第三步中,涂胶后的半绝缘砷化镓(SI-GaAs)衬底被放置于 110°C 的烘胶台上进行60s的烘焙,固化光刻胶。

8. 如权利要求4所述的制造方法,其特征在于:在第四步中,将涂有光刻胶的半绝缘砷化镓(SI-GaAs)衬底转移到URE-2000/35型紫外光刻机上,在样品表面曝光60s后,将光掩膜版十字架阵列图形转移到半绝缘砷化镓(SI-GaAs)衬底上,然后在显影液中显影45s,并转移到去离子水槽中清洗60s,取出后立即用压缩氮气吹干半绝缘砷化镓(SI-GaAs)衬底

表面。

9. 如权利要求 4 所述的制造方法,其特征在于:第五步:将干燥后的半绝缘砷化镓(SI-GaAs)衬底置于热蒸发镀膜仪样品支架上,然后分别将盛有纯度为 99.999%的钛粉末和 99.999%的金粉末的钨舟连接到两组不同的电极中,关闭蒸发腔室后启动真空泵,将腔室内压强从标准大气压降低到 10^{-4} mbar,然后开启连通钛金属的电源,并提高电流强度,直到膜厚检测器显示厚度增加到 5nm 为止,以 0.1nm/s 的蒸发率,持续 200s 后切断连通钛金属的电源,并连通含金钨舟的电源,并提高电流强度,直到膜厚检测器显示厚度增加到 120nm 为止,以 0.5nm/s 的蒸发率,持续 500s 后切断电源,冷却 600s 后逐级关闭真空泵,等腔室内压强回归标准大气压后打开蒸发腔,取出样品。

氮离子太赫兹特征谱线探测的滤波器谐振单元及制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及太赫兹技术和半导体微加工技术领域,具体涉及一种用于的太赫兹 (THz) 带通滤波器的用于氮离子太赫兹特征谱线探测的滤波器谐振单元及其制造方法。

背景技术

[0002] 太赫兹波 (Terahertz, 简称 THz) 是指在微波和红外光谱之间,频率范围为 0.1THz 到 10THz 的电磁波 ($1\text{THz} = 10^{12}\text{Hz}$),在电磁波谱上位于超高频微波到远红外辐射之间的特殊区域。天体物理中观测氮离子的精细结构特征谱线 ($205\ \mu\text{m}/1.46\text{THz}$) 可以揭示星系中大质量恒星的形成机制。为了获得高清晰度的 THz 天文图象,就必须拥有高灵敏度的 THz 天文探测装置。目前,利用超导相变而引起热阻抗变化原理来探测宇宙 THz 辐射的超导边缘跃迁传感器 (TES) 和通过微波激发 Cooper 电子对改变超导体电感的微波动能电感探测器 (MKID) 具有极高探测灵敏度,其分辨率要达到 10^6 以上,并且具有宽频带的响应特性,成为下一代 THz 天文探测的核心传感器件。然而,由于 TES 和 MKID 的宽频响应特性,能够同时感应来自宇宙空间不同波长的 THz 信号,甚至中红外辐射信号。如果要针对某个特定天文物理过程开展研究,就必须抓住相对某一星际分子特征信号来探测,同时抑制其它频率与之接近的辐射信号的干扰,提高观测精度和图像质量。因此,1.46THz 为中心频率的 THz 滤波器就成为了用于研究大质量恒星的 THz 天文探测技术相配套的重要元件。

[0003] 当前,主要面向天文探测的 THz 滤波器都是基于人工微结构的器件。第一种是金属网格滤波器。根据电磁波传输线理论 (Transmission Line Theory),金属部分如同电感,而自由空间部分如同电容,只有与网格单元尺寸相互匹配的特定波长的电磁波才能实现电感-电容共振,从而透过滤波器。如美国 VDI 公司和英国的 THz instruments 公司提供的金属网格滤波器,被我国和欧美国家广泛用于 THz 天文观测研究。该产品已经问世 20 年了,网格式滤波器具有高透过率的优点,但是一般响应频率都很宽,往往作成低通或高通滤波器,而针对天文探测,最好是获得带通的滤波器,这是长期困扰金属网格滤波器的技术瓶颈。美国犹他大学 (The University of Utah) 的 Nahata 教授通过再金属箔上加工周期性排列的小孔,利用通过的 THz 光子激发金属表面等离子体 (SPs),实现特定频率 THz 电磁辐射的异常透射增强,从而获得高带外抑制比的 THz 滤波器,其最大透过率为 90%。对于第二种滤波器,按照表面等离子体共振的原理,激发 SPs 是多模式的,能够在多个频率上形成多峰透射,只是最低阶模的异常透射最强而已,在天文观测中,高阶 SPs 模带来的透射也会为观测引入噪声。第三种滤波器是基于开口谐振环 (SRR) 的人工电磁微结构滤波器。这种人工电磁媒质可以通过精心设计其介电常数和磁导率 (包括达到负值) 来控制电磁波的传播方式,调制特定波段 THz 波的透射率。其主要是在电介质衬底上制备二维平面结构的金属开口谐振环或类似谐振单元。按照电磁感应原理,只有偏振方向与 SRR 缝隙相垂直的入射 THz 波才能产生谐振,从而只能对特定取向线偏振 THz 波进行有效调制,这恰恰是 SRR 结构对称性导致的偏振敏感特性,不利于提高 THz 的透过率。

[0004] 本发明通过采用标准半导体微加工工艺,在 SI-GaAs 基底上制备十字架型的亚波

长周期性人工结构的谐振单元,能够实现 1.46THz 为中心频率的单频率 THz 带通滤波器。

发明内容

[0005] 本发明瞄准当前 THz 天文探测领域的技术需求,提供一种用于氮离子太赫兹特征谱线探测的滤波器谐振单元,由半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底和衬底上的金属层构成,半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底的厚度为 0.63mm,金属层由依次形成在衬底上的 5nm 厚的钛金属层和 120nm 厚的金金属层构成,在金属层中形成有镂空的十字架谐振结构阵列。

[0006] 其中,每个十字架谐振结构形成在 $40\mu\text{m}\times 40\mu\text{m}$ 的矩形区域上,每个十字架谐振结构的横轴与纵轴尺寸相等,均为长 $30\mu\text{m}$ 、宽 $5\mu\text{m}$,横轴下边沿与纵轴底部的距离为 $20.5\mu\text{m}$,纵轴顶部到横轴上边沿的距离为 $4.5\mu\text{m}$,纵轴从横轴的正中间穿过,纵轴的中心线与 $40\mu\text{m}\times 40\mu\text{m}$ 矩形区域的中心线重合。

[0007] 此外,所述谐振单元所覆盖的区域面积为 $10\text{mm}\times 10\text{mm}$ 的矩形区域,包括多个相邻设置的 $40\mu\text{m}\times 40\mu\text{m}$ 的矩形区域,每个 $40\mu\text{m}\times 40\mu\text{m}$ 的矩形区域上形成有一个十字架谐振结构。

[0008] 进一步,所述谐振单元的 $10\text{mm}\times 10\text{mm}$ 的矩形区域四周可向外延伸到 $12.7\text{mm}\times 12.7\text{mm}$ 的矩形区域,延伸区域上不具有十字架谐振结构阵列。

[0009] 还提供所述滤波器谐振单元的制造方法,包括以下步骤:

[0010] 第一步:将半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底置于去离子水中,并超声环境中清洗,去除表面残留颗粒物,然后将表面吹干;

[0011] 第二步:将光刻胶滴在半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底表面,并进行匀胶、甩胶操作,使得胶厚 $<1.5\mu\text{m}$;

[0012] 第三步:对涂胶后的半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底进行操作,固化光刻胶;

[0013] 第四步:将光掩膜版十字架阵列图形转移到半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底上,并显影、清洗;

[0014] 第五步:在干燥后的半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底上依次镀上 5nm 厚的钛和 120nm 厚的金;

[0015] 第六步:将金属化后的半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 浸泡在预先准备好的 99.999% 纯度丙酮溶剂中,利用丙酮渗透固化后的光刻胶,将胶面上的金属剥离 SI-GaAs 表面,而没有光刻胶保护的金属部分留在 SI-GaAs 上,从而获得镂空的十字架阵列谐振单元。

[0016] 在第一步中,将半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底置于去离子水中,并在 10kHz 频率的超声环境中清洗,去除表面残留颗粒物,然后用高压氮气将表面吹干。

[0017] 在第二步中,将干燥后的半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底置于旋涂台上,在黄光条件下将 AZ1500 型光刻胶滴在半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底表面,并立即以 600r/min 的低转速进行匀胶,维持 10s 后,转速直接提高到 3000r/min 的高转速进行甩胶,维持 60s,使得胶厚 $<1.5\mu\text{m}$ 。

[0018] 在第三步中,涂胶后的半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底被放置于 110°C 的烘胶台上进行 60s 的烘焙,固化光刻胶。

[0019] 在第四步中,将涂有光刻胶的半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底转移到 URE-2000/35 型紫外光刻机上,在样品表面曝光 60s 后,将光掩膜版十字架阵列图形转移到半绝缘砷化

镓 (SI-GaAs) 衬底上,然后在显影液中显影 45s,并转移到去离子水槽中清洗 60s,取出后立即用压缩氮气吹干半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底表面。

[0020] 第五步:将干燥后的半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底置于热蒸发镀膜仪样品支架上,然后分别将盛有纯度为 99.999% 的钛粉末和 99.999% 的金粉末的钨舟连接到两组不同的电极中,关闭蒸发腔室后启动真空泵,将腔室内压强从标准大气压降低到 10^{-4} mbar,然后开启连通钛金属的电源,并提高电流强度,直到膜厚检测器显示厚度增加到 5nm 为止,以 0.1nm/s 的蒸发率,持续 200s 后切断连通钛金属的电源,并连通含金钨舟的电源,并提高电流强度,直到膜厚检测器显示厚度增加到 120nm 为止,以 0.5nm/s 的蒸发率,持续 500s 后切断电源,冷却 600s 后逐级关闭真空泵,等腔室内压强回归标准大气压后打开蒸发腔,取出样品。

[0021] 本发明与现有技术相比,具有以下优点及突出效果:利用现有的半导体微加工工艺,制备工艺简单、操作方便,可以精确控制互补型开口谐振环微结构加工区域,大大降低了成本。采用 Au/Ti 电极成分简单,无需退火即可获得良好欧姆接触,提高的器件的可靠性和可集成性。

附图说明

[0022] 图 1 为本发明的用于氮离子太赫兹特征谱线探测的滤波器谐振单元表面结构图,包括多个十字架型谐振结构;

[0023] 图 2 为图 1 所示滤波器谐振单元的一个十字架型谐振结构顶视图,图中黑色部分为镂空的十字架,空白部分为微结构单元金属层;

[0024] 图 3 为图 2 所示滤波器谐振单元的十字架型谐振结构剖面图,其中黑色为 SI-GaAs 衬底,灰色为金属层;

[0025] 图 4 为采用本发明的谐振单元制成的用于氮离子太赫兹特征谱线探测的滤波器的透射频谱图,数据是归一化后的透过率;

[0026] 图 5 为采用本发明的谐振单元制成的用于氮离子太赫兹特征谱线探测的滤波器的透射频谱图,数据是透过率归一化后相对应的分贝值。

具体实施方式

[0027] 下面结合具体实施例对本发明是如何实现的做进一步详细、清楚、完整地说明。

[0028] 如图 1-3 所示,本发明的用于氮离子太赫兹特征谱线探测的滤波器谐振单元由 0.63mm 厚的半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底和衬底上的金属层构成,金属层由依次形成在衬底上的 5nm 钛和 120nm 金构成。在金属层中均匀成阵列排布有镂空的多个十字架谐振结构。在本发明的优选实施例中,器件的尺寸为 12.7mm×12.7mm,其中,所述谐振单元所覆盖的区域面积为 100mm² 的矩形区域 (10mm×10mm),包括多个相邻设置的 40 μm×40 μm 的矩形区域。在每个 40 μm×40 μm 的矩形区域上均具有一个十字架谐振结构,所述每个十字架谐振结构的横轴与纵轴尺寸相等,长 30 μm、宽 5 μm,横轴下边沿与纵轴底部的距离为 20.5 μm,纵轴顶部到横轴上边沿的距离为 4.5 μm 纵轴从横轴的正中间穿过,纵轴的中心线与 40 μm×40 μm 矩形区域的中心线重合。

[0029] 本发明的上述谐振单元制作方法如下:

[0030] 第一步:将半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底置于去离子水中,并在 10kHz 频率的超声环境中清洗,去除表面残留颗粒物,然后用高压氮气将表面吹干。

[0031] 第二步:将干燥后的半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底置于旋涂台上,在黄光条件下将 AZ1500 型光刻胶滴在半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底表面,并立即以 600r/min 的低转速进行匀胶,维持 10s 后,转速直接提高到 3000r/min 的高转速进行甩胶,维持 60s,使得胶厚 $<1.5 \mu\text{m}$ 。

[0032] 第三步:涂胶后的半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底被放置于 110°C 的烘胶台上进行 60s 的烘焙,固化光刻胶。

[0033] 第四步:将涂有光刻胶的半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底转移到 URE-2000/35 型紫外光刻机上,在样品表面曝光 60s 后,将光掩膜版十字架阵列图形转移到半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底上,然后在显影液中显影 45s,并转移到去离子水槽中清洗 60s,取出后立即用压缩氮气吹干半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底表面。

[0034] 第五步:将干燥后的半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 衬底置于热蒸发镀膜仪样品支架上,然后分别将盛有纯度为 99.999% 的钛粉末和 99.999% 的金粉末的钨舟连接到两组不同的电极中,关闭蒸发腔室后启动真空泵,将腔室内压强从标准大气压降低到 10^{-4} mbar,然后开启连通钛金属的电源,并提高电流强度,直到膜厚检测器显示厚度增加到 5nm 为止,以 0.1nm/s 的蒸发率,持续 200s 后切断连通钛金属的电源,并连通含金钨舟的电源,并提高电流强度,直到膜厚检测器显示厚度增加到 120nm 为止,以 0.5nm/s 的蒸发率,持续 500s 后切断电源,冷却 600s 后逐级关闭真空泵,等腔室内压强回归标准大气压后打开蒸发腔,取出样品。

[0035] 第六步:将金属化后的半绝缘砷化镓 (SI-GaAs) 浸泡在预先准备好的 99.999% 纯度丙酮溶剂中,利用丙酮渗透固化后的光刻胶,将胶面上的金属剥离 SI-GaAs 表面,而没有光刻胶保护的金属部分留在 SI-GaAs 上,从而获得镂空的十字架阵列谐振单元。

[0036] 所述谐振单元的金属层中,5nm 厚钛金属做粘结层,120nm 厚金能够与 SI-GaAs 形成欧姆接触。该金属层厚度超过 THz 电磁波的趋肤深度,无需在蒸镀后进行退火处理。

[0037] 本发明制备的产品的特性,如图 4 和图 5 所示,是通过以下设备进行性能表征后获得的。该设备采用中国科学院赵红卫课题组自建的太赫兹时域光谱系统(在期刊论文 Chemical Physics Letters 392(2004)348 和 Journal of Biological Physics, 32(2006)403 中有描述)测量本发明的 THz 透射频谱。该系统包括:Spectra-Physics Mai Tai SP 型高能量超短脉冲激光,2 对直径 100mm、焦距 100mm 的镀金离轴抛物面镜用来聚焦自由空间中的太赫兹辐射,通过由一块 2mm 厚的 $<110>$ 晶向的 ZnTe 晶体、1/4 波片、Wollastom 棱镜组成的电光采样系统表征出器件的太赫兹发射脉冲波形。

[0038] 采用上述谐振单元的用于氮离子太赫兹特征谱线探测的滤波器的性能体现在图 4 和图 5 中:其透射特性在 0.2THz ~ 2.5THz 的测试频率范围内进行,发现其中心谐振频率位于 1.46THz,正好符合氮离子的精细结构特征谱线 ($205 \mu\text{m}/1.46\text{THz}$)。图 4 中的数据 displays,该滤波器在 1.46THz 处最大透过率为 63%,其透过率曲线的半宽全高值 (Full Maximum Half Width:FMHW) 达到 0.5THz,对应的分贝值 (dB) 体现在图 5 中,在中心频率的 FMHW 内,其带外抑制比超过 -10dB。

[0039] 以上所述为本发明的较佳实施例而已,但本发明不应该局限于该实施例所公开的

内容。所以凡是不脱离本发明所公开的原理下完成的等效或修改,都落入本发明保护的范
围。

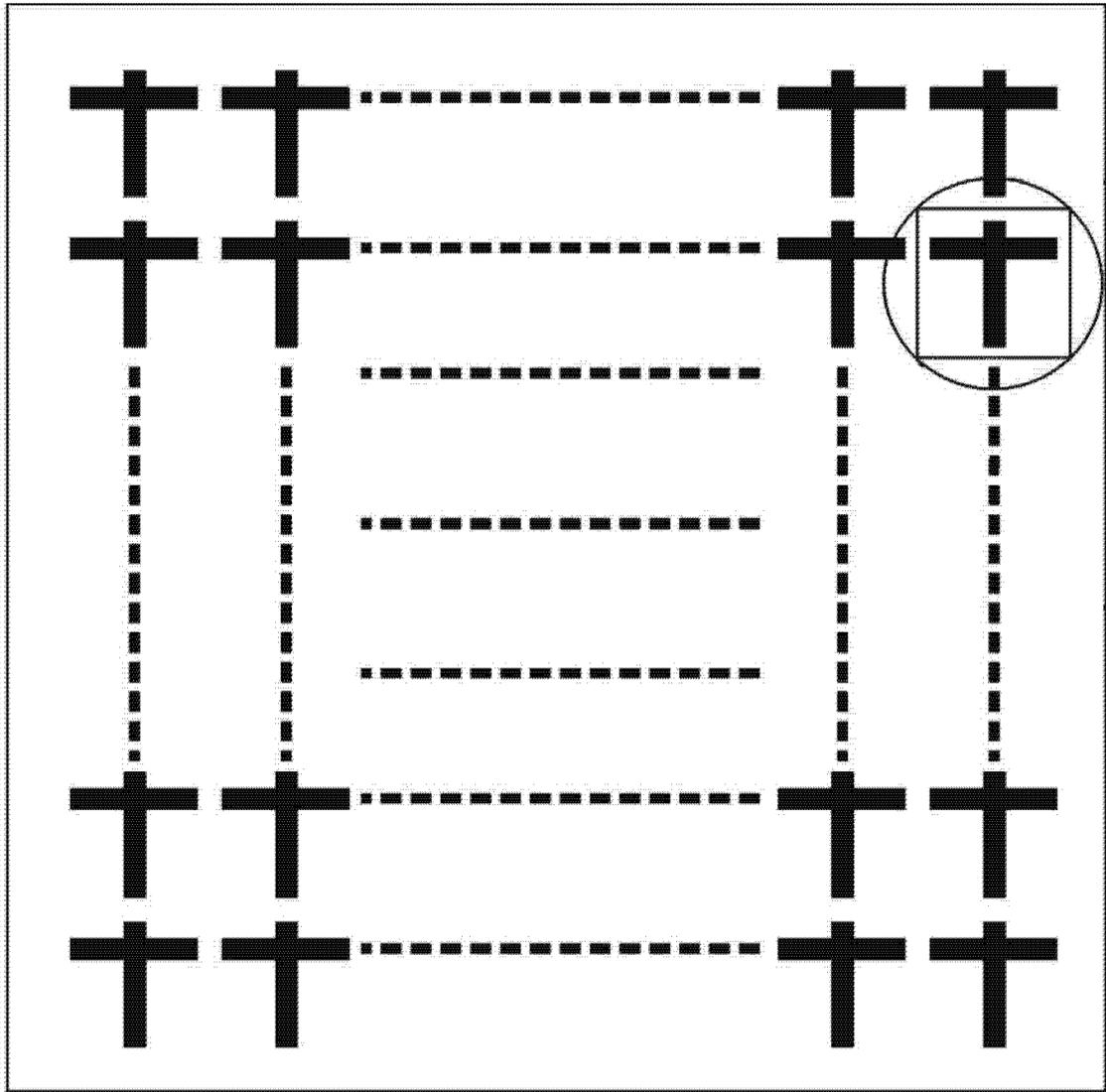


图 1

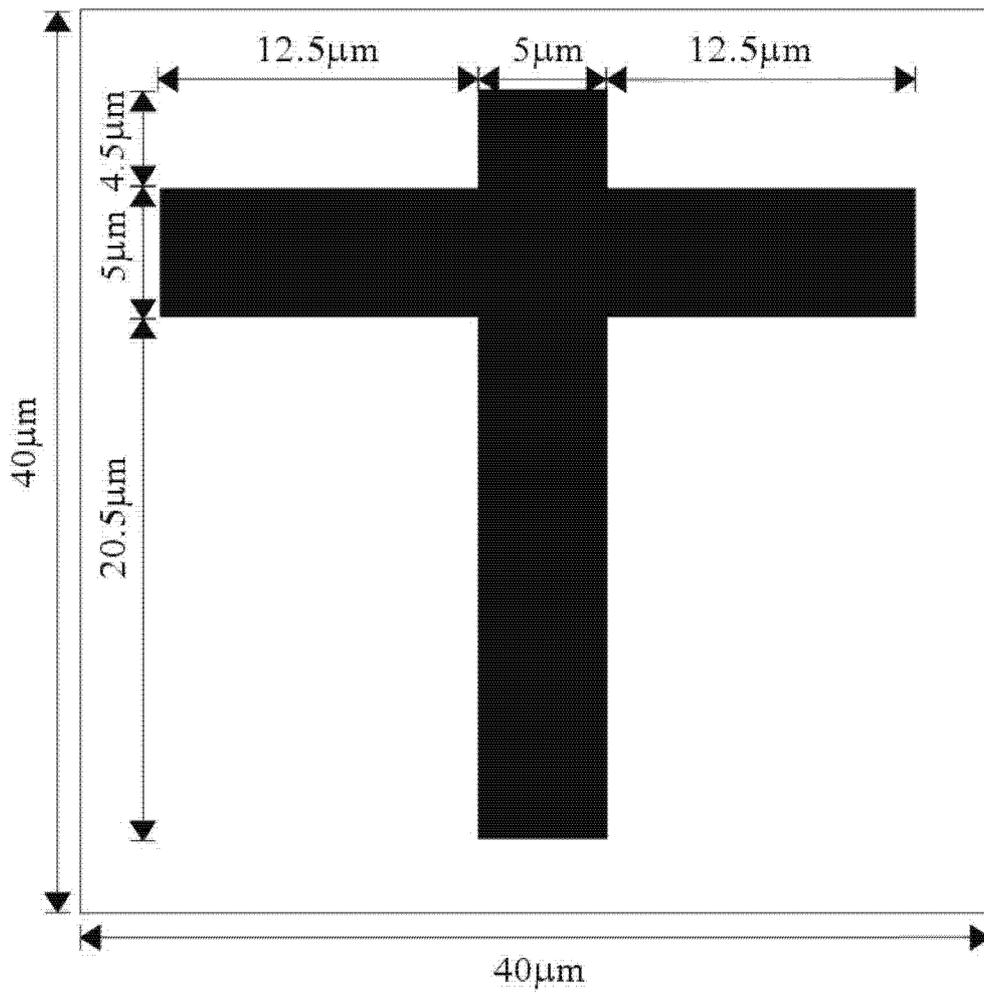


图 2



图 3

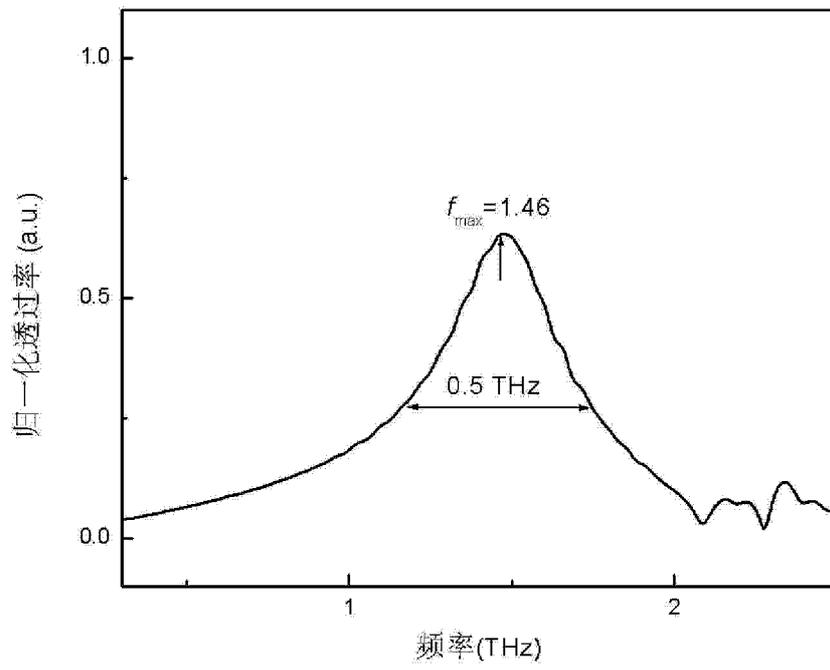


图 4

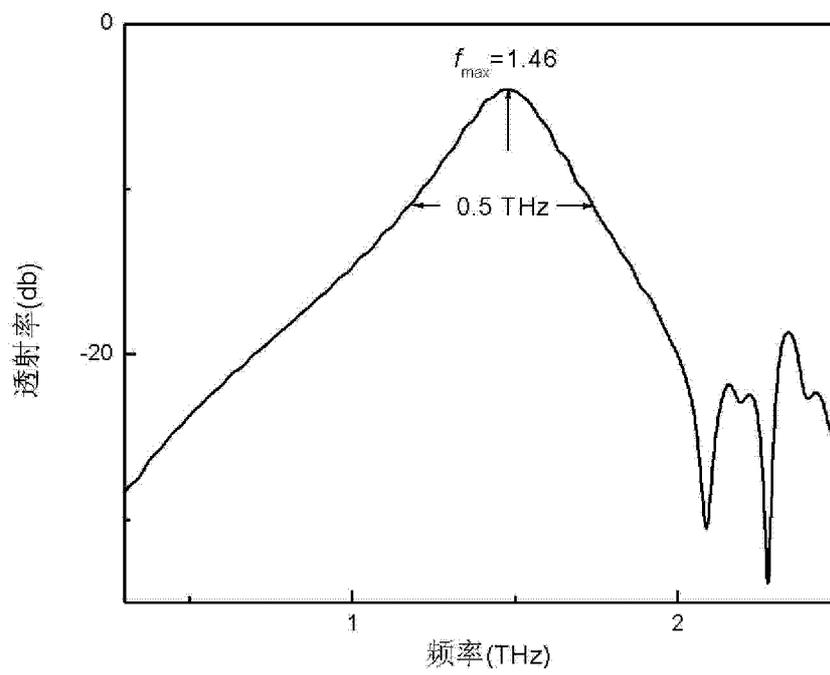


图 5