

文章编号: 1672-8785(2011)03-0001-03

太赫兹波段可调窄带滤波器

赵冬梅 周庆莉 李 磊 施宇蕾 张存林

(太赫兹光电学省部共建教育部重点实验室; 北京市太赫兹波谱与成像重点实验室;

中关村开放实验室; 首都师范大学物理系, 北京 100048)

摘 要: 提出了一种基于 FDTD 模拟的亚波长阵列结构的太赫兹波段可调窄带滤波器, 其结构尺寸由 $16\mu\text{m}$ 至 $160\mu\text{m}$ 可调, 因此可以实现滤波频率在 $2.5\text{THz} \sim 20\text{THz}$ 大范围内的调节, 最小带宽达到 0.04THz , 实现了非常好的窄带滤波效应。此外, 这种人工复合结构还可以通过改变其与太赫兹偏振夹角的方式改变太赫兹波偏振态, 同时实现窄带滤波和偏振两种调制。该结构比以往结构更简单, 便于实现和操作。因此在太赫兹成像系统中使用这种结构, 可以有效提高系统的分辨率, 对于今后的太赫兹成像研究具有重要的意义。

关键词: 太赫兹; 窄带滤波器; 偏振; FDTD

中图分类号: TB133 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.03.001

A Tunable Narrowband Terahertz Filter

ZHAO Dong-mei, ZHOU Qing-li, LI Lei, SHI Yu-lei, ZHANG Cun-lin

(Key Laboratory of Terahertz Optoelectronics, Ministry of Education; Beijing Key

Laboratory for Terahertz Spectroscopy and Imaging; Department of

Physics, Capital Normal University, BeiJing 100048, China)

Abstract: A tunable narrowband THz filter with a sub-wavelength array structure based on FDTD simulation is presented. Since the array structure is adjustable in the size range of $16\mu\text{m}$ to $160\mu\text{m}$, its filtering frequency can be tunable in a wide range of 2.5THz to 20THz with a minimum bandwidth down to 0.04THz . With this filter, excellent narrowband filtering is achieved. In addition, the structure can change the THz wave polarization by changing the angle between itself and the THz wave. So it can achieve both narrowband filtering and polarization. Compared with the traditional structures, this structure has the features of simplicity and easy operation. It can improve the resolution of THz imaging systems and is of significance to the future research on THz imaging.

Key words: Terahertz; narrowband filter; polarization; FDTD

1 引言

Maxwell 方程组的提出极大地促进了人工复

合电磁材料的发展。人工复合材料是指按周期排列、具有几何形状的基本单元。人们通常选择将金属材料植入到体材料体内或表面, 并通过

收稿日期: 2010-11-10

基金项目: 国家基础研究计划 973(2007CB310408、2006CB302901); 国家自然科学基金(10804077、11011120242、10904098); 北京市教委项目(KM200910028006); 北京市科技新星, 北京市属市管高校人才强教计划资助项目; 国家信息功能材料重点实验室, 中国科学院上海微系统与信息技术研究所资助课题

作者简介: 赵冬梅(1984-), 女, 河北承德人, 硕士研究生, 研究方向为太赫兹波谱与成像。E-mail: zhaodongmei2007@163.com

加工合成等工艺将其制成具有新颖特征的复合材料。这种合成材料由于其微结构差异在电磁场响应过程中表现出了良好的电磁特性和响应功能,因此在电磁器件的设计和制造中得到了良好的应用。其中, Pendry 在 1999 年提出的共振劈裂环结构可以实现负的电响应和磁响应,引起了人们的极大关注。

近年来,随着基于光电子学的亚皮秒脉冲产生和探测技术的发展,太赫兹 (THz) 辐射技术也越来越受到人们的关注。THz 波是一种宽带电磁波,具有非常独特的性质。它可以透过多种电介质材料以及气相物质,这些介质在 THz 波段具有丰富的吸收和色散性质。通过测量并分析样品的 THz 信号,可以获得材料的物质成分和物理、化学以及生物学信息 [1-6]。

太赫兹波段的人工复合材料更是引起了人们极大的关注。典型的太赫兹波段器件包括偏振片、滤波片和偏振补偿片 [7,8] 等。这些器件大都是亚波长的阵列结构,可满足太赫兹波段的各种滤波要求。这些器件都是通过微加工技术加工的,它们的半导体基底上生长有工作在 THz 波段的亚波长结构 [9-11]。而这些器件能够具有滤波效果是由金属结构形状决定的。因此具有一定几何形状的,按周期排列并且尺寸位于亚波长的薄的金属阵列结构是产生特殊电磁响应的根本原因。因此,改变这些周期结构的几何形状或结构尺寸,就可以根据要求制作具有不同作用的电磁响应器件。本文基于 FDTD 模拟提出了一种亚波长阵列的十字结构,该结构可以实现太赫兹波段的无偏窄带滤波,并且可以通过改变结构参数控制滤波频率的位置。这一结果不仅可以实现滤波频率的可选择性,而且更重要的是可以改变太赫兹波的偏振态。

2 过程

本文提到的亚波长结构在文献 [12] 和 [13] 中曾被认为可以制作 THz 滤波器件,但因尺寸结构的选择差异,其滤波频带较宽,不能实现窄带滤波。因此本文从这个基础出发,对这种结构作

进一步改进,并针对不同参数下的太赫兹波透过率进行分析,同时对这种结构对太赫兹波的偏振情况进行研究。本模拟采用图 1(a) 中的笛卡尔坐标系,左边为太赫兹时域波形,太赫兹波的偏振方向为 X 方向,并保证始终沿 Z 方向垂直入射。图 1(b) 所示为模拟所用的结构。其中,黄色部分是金属,厚度为 $1\mu\text{m}$;白色部分为金属层上的十字中空阵列。参数规格为 $W=2\mu\text{m}$, $G=2L$,并假设在 xy 平面内无限延伸排列。通过 FDTD 模拟,得知该结构在太赫兹波段具有良好的窄带滤波特性。

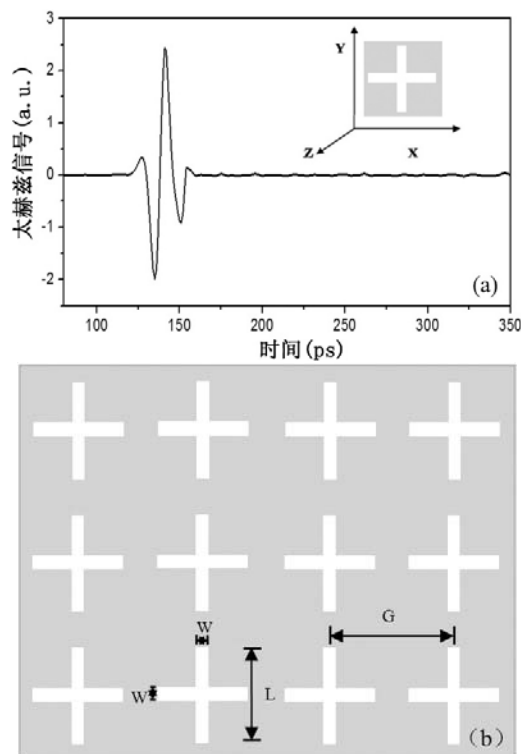


图 1 模拟结构图 (十字阵列结构, 其中黄色部分是金属, 白色部分是中空。G 为结构周期, L 为结构边长, W 为宽度)

3 结果分析

本文对不同尺寸下的太赫兹透射率进行了多次模拟。模拟中保证结构周期 G 与结构边长 L 之间始终保持 $G=2L$ 的关系,并使 G 从 $16\mu\text{m}$ 逐渐增大到 $160\mu\text{m}$ 。图 2(a) 为不同周期下的太赫兹透过谱。将不同尺寸下的太赫兹透射峰位置与周期尺寸 G 之间的关系进行描点画图,得到了图 2(b) 所示的结果。

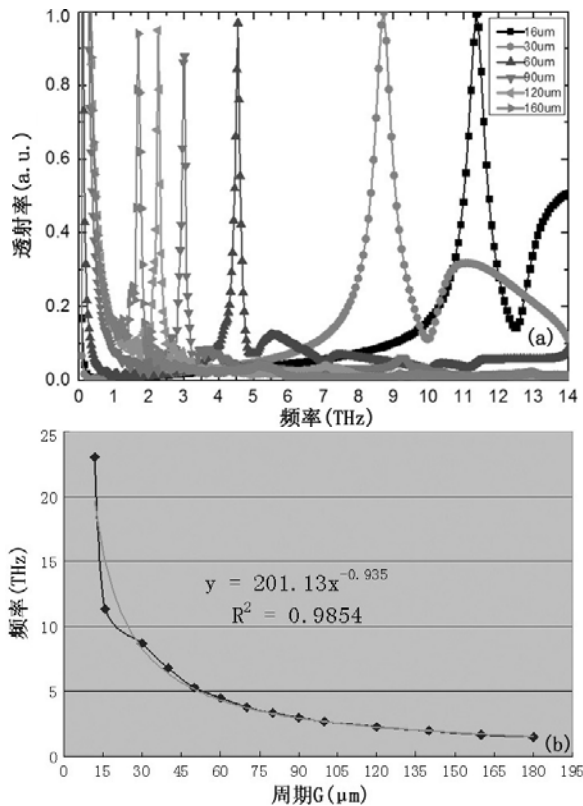


图 2 不同 G 尺寸下的太赫兹透射谱 (a) 图为周期 G 参数由 $16\mu\text{m}$ 至 $160\mu\text{m}$ 逐渐增大时的 THz 透过谱。(b) 图中横坐标为周期 G, 纵坐标为对应的太赫兹频率。蓝线为模拟结果, 红线为拟合曲线, x 代表周期 G, y 代表透过频率, R 为拟合参数)

图 2(a) 中给出了周期 G 分别为 $16\mu\text{m}$ 、 $30\mu\text{m}$ 、 $60\mu\text{m}$ 、 $90\mu\text{m}$ 、 $120\mu\text{m}$ 和 $160\mu\text{m}$ 时的透射谱。通过这个图可以直观地看出, 滤波带宽较窄, 最窄处为 0.04THz , 可以实现理想的窄带滤波。此外, 模拟时选择周期 G 与边长 L 之间的关系始终保持 $G=2L$ 不变。在此关系前提下, 得到的太赫兹滤波频带最窄, 比文献 [13] 中所提到的滤波频带窄很多。对不同周期 G 所对应的太赫兹透过频率进行提炼, 得到图 2(b) 中所示的关系。其中, 蓝线为模拟得到的周期尺寸 G 与透过频率之间的关系曲线, 红线为拟合结果。通过拟合, 得出结构周期 G (此处用 x 标示) 与透过频率 y 之间满足 $y = 201.13x^{-0.935}$ 关系, 我们可以近似将其认作反比例关系。随着尺寸的增大, 滤波频率逐渐向低频方向移动。因此, 我们得出这种十字镂空结构的滤波频率可以通过改变周期

来控制。这一结果简单并且有利于实际样品的制作。

为了进一步研究这种结构对太赫兹波的调制效应, 我们作以下模拟: 将样品旋转不同角度, 然后测量其透射谱, 即使太赫兹偏振方向与结构一边的夹角逐渐变化。在模拟中, 我们选用入射太赫兹波的偏振方向始终沿着 X 轴, 探测方向也沿着 X 轴, 得到图 3 所示的透过谱。从图中可以看出, 随着太赫兹偏振方向与样品夹角在 $0^\circ \sim 40^\circ$ 变化, 其透过峰的位置也由 10.8THz 蓝移至 11.9THz 。

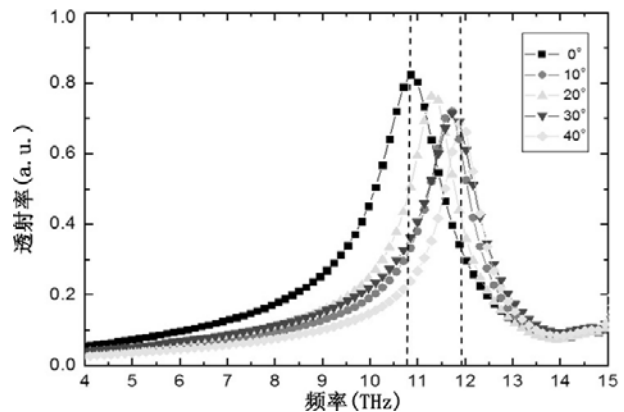


图 3 不同角度下的太赫兹透射谱 (角度为样品一边与太赫兹波偏振方向即 X 轴的夹角)

当太赫兹偏振方向沿着 X 轴, 并且探测方向也沿着 X 轴时, 若这一结构对太赫兹波无偏振影响, 其透过最大值也在 X 方向, 并且旋转样品与太赫兹偏振方向的夹角后, 其透过峰的大小与位置始终保持不变。但本文所给出的结果则显示, 当太赫兹偏振方向沿着 X 轴, 探测方向也沿着 X 轴, 并且样品与太赫兹偏振方向之间存在一定夹角时, 在 X 方向上探测到的透过峰值逐渐减小, 而且峰位出现了蓝移。也就是说, X 方向上的太赫兹分量减小了, 一部分分量转移至了其他方向, 太赫兹偏振态部分发生了改变。因此, 我们得出这一结构改变了太赫兹偏振方向, 使得原来沿 X 方向的透过值减小, 部分分量转移至 Y 方向, 改变了原有太赫兹的偏振方向。

4 总结

(下转第 9 页)