

基于超材料的偏振不敏感太赫兹宽带吸波体设计*

邹涛波¹⁾ 胡放荣^{1)†} 肖靖²⁾ 张隆辉¹⁾ 刘芳¹⁾ 陈涛¹⁾
牛军浩^{1)‡} 熊显名¹⁾

1)(桂林电子科技大学电子工程与自动化学院, 桂林 541004)

2)(空军勤务学院, 徐州 221000)

(2014年4月3日收到; 2014年4月27日收到修改稿)

本文设计了一种基于超材料的偏振不敏感太赫兹宽带吸波体. 吸波体包含两层金属和一层中间介质, 表面金属层每一个周期单元由五种尺寸接近的金属块按照相邻不同的规律排列成 5×5 的方形阵列. 各种尺寸金属块分别产生单峰谐振吸收, 五个谐振吸收峰相互靠近从而产生宽带吸收. 通过研究吸波体表面电流和电场 z 分量分布情况可知, 入射太赫兹能量的吸收主要是由 y 方向上电场引起的电偶极子振荡和 z 方向上磁场引起的磁极化产生, 而且金属层的欧姆损耗起主要作用. 仿真结果表明, 吸波体吸收率在80%以上的带宽约为1.2 THz, 最高吸收率可达98.7%, 半峰全宽(FWHM)为1.6 THz, 该宽带吸波体的厚度约为中心波长的二十分之一, 对偏振方向不敏感, 且能实现大角度吸收, 在太赫兹频段的电磁隐身、测辐射热探测器以及宽带通信等领域有潜在的应用价值.

关键词: 超材料, 太赫兹吸波体, 偏振不敏感, 宽带吸收

PACS: 81.05.Xj, 78.20.Bh, 42.25.Bs, 78.20.Ci

DOI: 10.7498/aps.63.178103

1 引言

超材料是一种新型的人工电磁材料, 其结构一般由亚波长尺寸的阵列单元构成, 具有天然材料所不具备的超常电磁性能, 利用超材料已经实现了负折射率^[1]、电磁隐身^[2]、完美棱镜^[3]和超吸收^[4]等. 近五年来, 基于超材料的太赫兹吸波体是太赫兹和超材料领域的一个研究热点. 2008年, Tao等设计并制作了第一个太赫兹频段的窄带吸波体^[5]. 此后, 太赫兹双带吸波体^[6-11]、三带吸波体^[12,13]、多带吸波体^[14,15]、频率可调吸波体^[16]和宽带吸波体^[17-27]也相继被报道.

目前, 设计宽带吸波体的方法主要有三种, 一种是文岐业^[17]、He^[18]和Van Tuong Pham^[19]等

提出的利用多层金属与介质层交替叠加实现宽带吸收; 一种是Grant^[20]、Ye^[21]和Wang^[22]等提出的在厚度方向上多层金属嵌套实现宽带吸收; 最后一种是Huang^[23]、Wang^[24]、Cheng^[25]和Wen^[26]等提出的平面内不同尺寸金属单元排列来实现宽带吸收. 其中, 前两种方法要求各层严格对准, 对工艺要求高, 制备过程复杂, 加工成本高. 第三种方法仅设计三层结构, 在工艺上容易实现, 而且成本低.

利用第三种方法设计的宽带吸波体中, Huang等提出不同尺寸的工字形结构在水平方向上平铺, 所构成的宽带吸波体吸收率在80%以上的带宽不足0.12 THz. Wang等提出表面圆金属块对角线排列构成宽带吸波体, 该吸波体能实现大入射角吸收, FWHM达1.49 THz, 但是吸波体对太赫兹波偏

* 国家自然科学基金(批准号: 61265005)、广西信息科学实验中心项目(批准号: 20130101)、广西自动检测技术与仪器重点实验室项目(批准号: YQ14114)、广西研究生教育创新计划资助项目(批准号: YCSZ2014141)和桂林电子科技大学创新团队项目资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: hufangrong@sina.com

‡ 通讯作者. E-mail: 30189252@qq.com

振方向敏感. Cheng等提出多个方形金属块平铺结构, 该结构对偏振方向不敏感, 但吸波体的吸收率在80%以上的带宽只有0.85 THz, FWHM为1.2 THz. Wen等提出两个嵌套在一起的开口谐振环置于吸波体表面的结构, 吸收率在80%以上的带宽为0.9 THz, FWHM为1.46 THz.

在许多实际的应用中, 不仅要求吸波体有大的吸收带宽, 而且要求对偏振方向不敏感. 基于此, 本文首先设计了能实现100%吸收的单峰吸波体, 分析了吸波体的谐振方式, 建立起等效电路模型. 然后, 将五种尺寸接近的单峰吸波体按照相邻不同规律排列构成宽带吸波体, 用时域有限积分方法研究了其宽带吸波机理, 讨论了不同参数变化对吸波性能的影响. 仿真结果表明, 吸波体吸收率在80%以上对应的带宽约为1.2 THz, FWHM为1.6 THz, 吸收带内相对平坦, 对偏振方向不敏感, 而且能实现大入射角吸收. 此类宽带吸波体在太赫兹频段的电磁隐身、测辐射热探测器以及宽带通信等领域有潜在的应用价值.

2 结构设计与机理

本文的设计思路是: 首先设计五个吸收峰相互靠近的完美单峰吸波体, 然后由这五个单峰吸波体按照相邻不同规律排列成5×5的阵列, 各单峰吸波体产生的谐振吸收峰相互叠加, 从而产生宽带吸收.

2.1 单峰吸波体设计

本文设计的吸波体是金属-介质-金属三层结构, 两层金属都采用金(Gold), 其电导率为 $\sigma = 4.09 \times 10^7 \text{ S/m}$ ^[10], 中间介质层为损耗聚合物(Polyimide)^[15], 其介电常数的实部 $\epsilon_r = 3.5$, 损耗角正切 $\tan\delta = 0.057$. 器件性能仿真是在基于时域有限积分法的电磁波仿真软件CST Microwave Studio 2011中进行, 采用频域求解器, x 和 y 方向为周期边界条件, z 方向为开放边界条件.

单峰吸波体结构如图1所示, 它的底面为金属薄膜, 表面金属块由一个正方形与位于四边的四个相同半圆组合而成. 两层金属厚度均为0.2 μm , 中间介质厚度为1.2 μm , x 和 y 方向的周期大小均为20 μm .

当太赫兹波垂直表面入射时, 吸波体的吸收率 A 由公式 $A = 1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2$ 计算, 其中, S_{11} 和

S_{21} 分别表示吸波体的反射系数和传输系数, 可由仿真计算得到. 由于太赫兹在金属中的趋肤深度约为70 nm, 小于金属层厚度, 故传输系数 $S_{21} = 0$, 吸收率 $A = 1 - |S_{11}|^2$, 要想获得大的吸收率 A , 必须降低反射率. 根据阻抗匹配理论, 通过改变吸波体结构参数, 可调节其等效阻抗直至与自由空间阻抗(约为377 Ω)相匹配, 此时反射率最小, 吸收率最大.

图1中 D 表示金属块的总长度, w 表示金属块中央正方形的边长, 且有 $D = 2w$. 本设计中采用五种不同尺寸的金属块, 经优化后, 尺寸分别是 $D_1 = 19 \mu\text{m}$, $D_2 = 17.86 \mu\text{m}$, $D_3 = 16.72 \mu\text{m}$, $D_4 = 15.58 \mu\text{m}$, $D_5 = 15.11 \mu\text{m}$ 的单峰吸波体吸收曲线如图2所示.

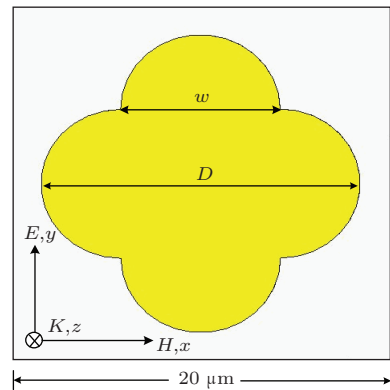


图1 单峰吸波体结构示意图

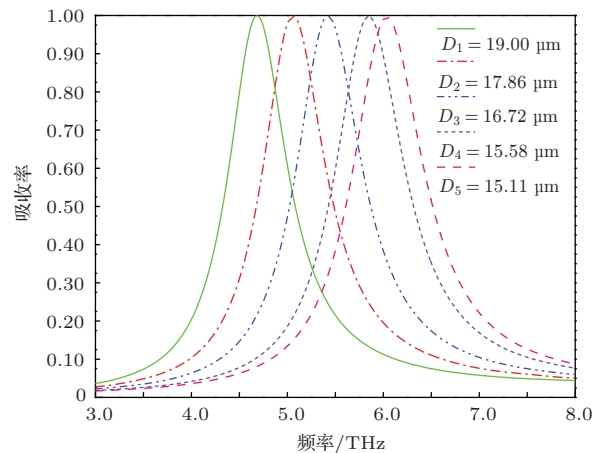


图2 (网刊彩色) 不同尺寸单峰吸波体的吸收曲线

由图2可知, 中间介质层厚度为1.2 μm 时, 五种尺寸金属块构成的吸波体吸收率几乎都达到了100%, D_1 , D_2 , D_3 , D_4 和 D_5 金属块对应的谐振吸收频率分别为4.69 THz, 5.06 THz, 5.42 THz, 5.84 THz和6.04 THz.

2.2 单峰吸波体吸波机理

为了研究吸波体的吸波机理, 我们对单峰吸波体表面电流和电场 z 分量进行了计算与分析. 以金属块尺寸为 D_3 的单峰吸波体为例, 在 5.42 THz 处设置相应的场监视器, 在太赫兹波正入射条件下计算得到的表面电流和电场 z 分量分布如图 3 所示.

由图 3 (a) 和 (b) 可知, 表面金属和金属基底形成了反平行电流, 这会导致很强的磁响应, 从而在

z 方向上产生由入射磁场引起的磁谐振. 由图 3 (c) 可知, 异性电荷沿着 y 方向分别在表面金属层的上半部分和下半部分积聚, 同时, 由图 3 (d) 可知金属基底上对应部位的电荷刚好与之相反, 这说明在 y 方向上存在由电场引起的电偶极子谐振^[24]. 这种强烈的电磁谐振, 使得电磁能量被消耗在吸波体中, 最终产生接近 100% 的吸收率. 图 3 (a) 和 (b) 所示的磁谐振可以用一个如图 4 所示的等效 LC 振荡电路来表示.

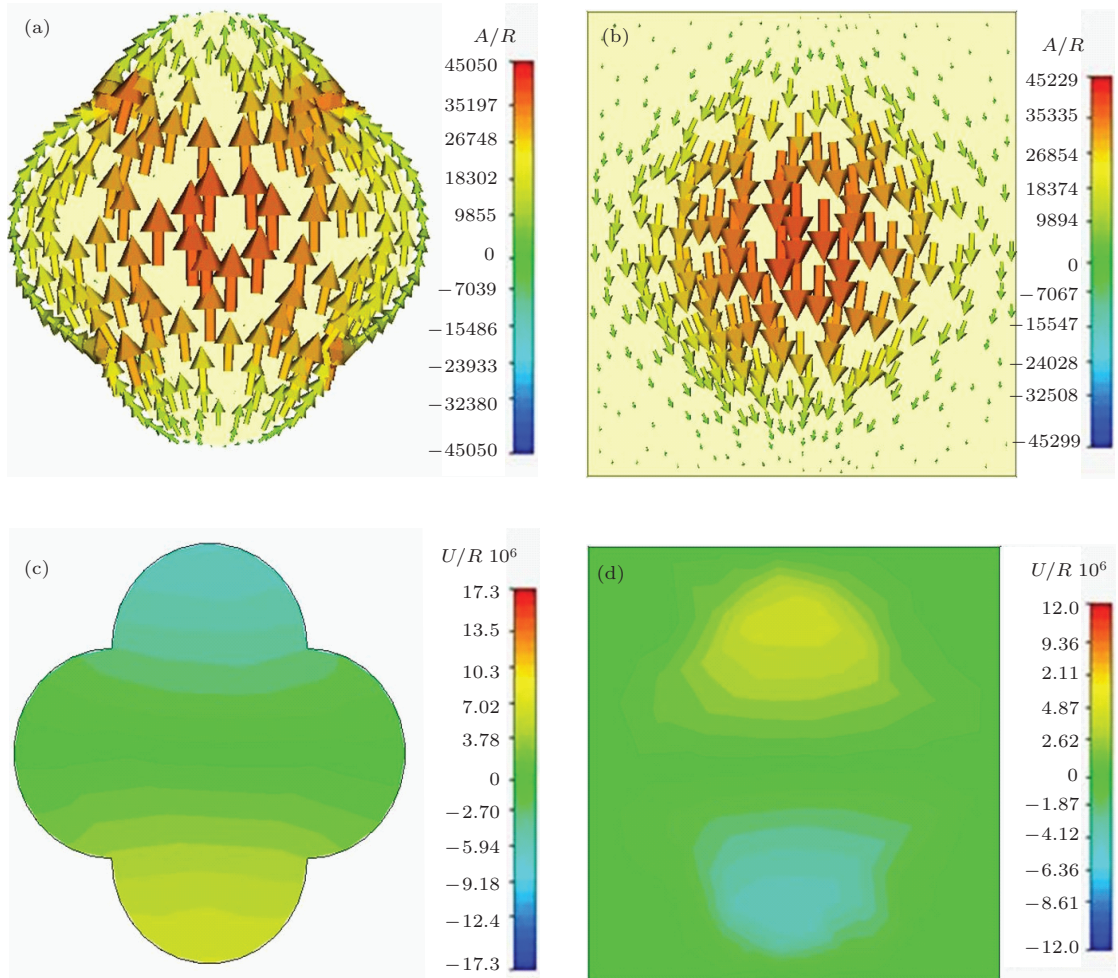


图 3 (网刊彩色) 尺寸为 D_3 的单峰吸波体计算结果 (a) 和 (c) 分别是表面金属层的表面电流和电场 z 分量分布图; (b) 和 (d) 分别是金属基底的表面电流和电场 z 分量分布图

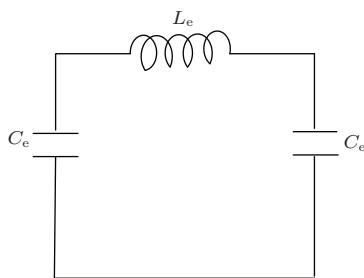


图 4 单峰吸波体的等效 LC 电路

该 LC 等效电路的谐振频率为^[21]

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{L_e C_e}{2}}}, \quad (1)$$

式中, 等效电感 L_e 正比于 Dt/w , 等效电容 C_e 正比于 $wD/(2t)$, 其中 D 和 w 分别是金属块的总长度和中央正方形的边长, t 为介质层厚度. 由 (1) 式可知, 谐振频率与等效电感和等效电容乘积 $L_e C_e$ 的平方根成反比, 而 $L_e C_e$ 正比于 D^2 , 则谐振频率 f

应与金属块尺寸 D 成反比, 这与图 2 的仿真结果完全一致.

2.3 宽带吸波体设计

本文提出的宽带吸波体是根据多吸收峰叠加扩展带宽的原理, 由图 2 所示的五个相邻谐振吸收峰叠加形成宽带吸收. 其表面金属层包含五种尺寸接近的金属块作为谐振器, 它们的排列规律是: 在每一个阵列周期中, 五种尺寸接近的金属块按照相邻不同的规则排列成一个 5×5 的方形阵列, 即每一金属块与其相邻四块尺寸均不相同, 这样就可以实现将五个相邻的谐振吸收峰叠加, 并最大限度地扩展带宽. 按照这种规律设计而成的太赫兹宽带吸波体结构如图 5 所示.

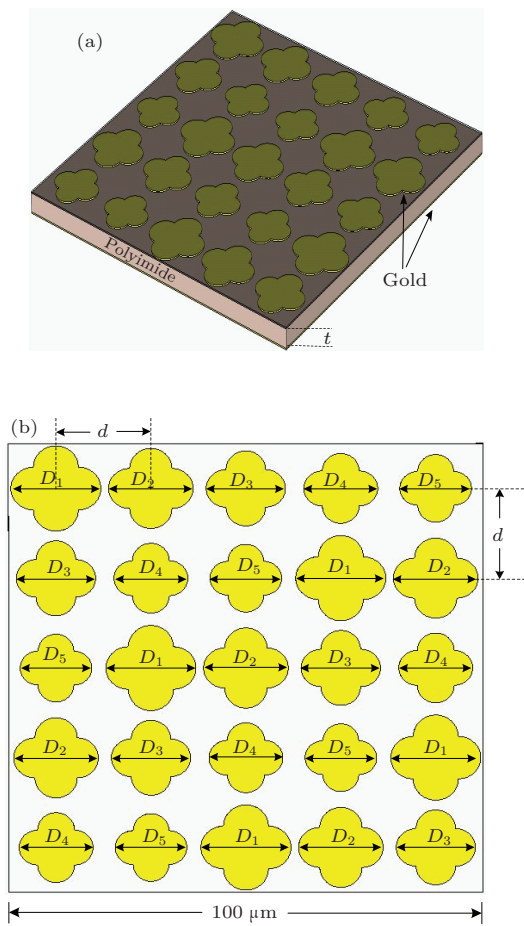


图 5 宽带吸波体一个周期单元示意图 (a) 立体图; (b) 平面图

经优化后, 宽带吸波体在 x 和 y 方向上的周期大小均为 $100 \mu\text{m}$, 相邻金属块的中心间距 $d = 20 \mu\text{m}$, 各个金属块的尺寸 D 和图 2 相同. 为实现阻抗匹配, 中介质层厚度 t 此时为 $2.65 \mu\text{m}$, 两层金属厚度仍保持 $0.2 \mu\text{m}$ 不变, 所有材料参数保持和单

峰吸波体的相同. 该宽带吸波体的仿真结果如图 6 所示.

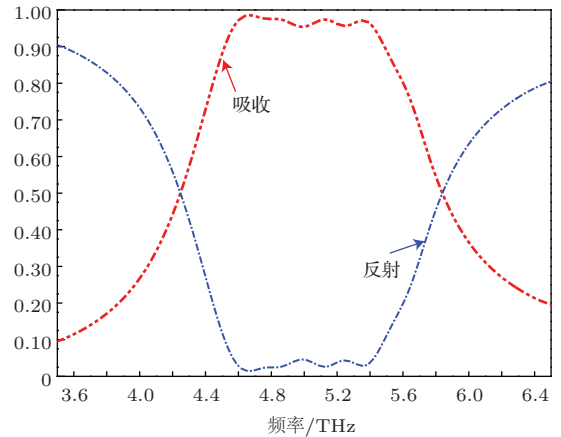


图 6 宽带吸波体的仿真结果

由图 6 可知, 宽带吸波体的吸收率最高可达到 98.7%, 吸收率 80% 以上对应的带宽约为 1.2 THz, FWHM 达到了 1.6 THz, 吸收带内相对平坦. 吸收带的中心频率约为 4.98 THz, 对应的中心波长为 $60.24 \mu\text{m}$, 大约是吸波体总厚度 $3.05 \mu\text{m}$ 的 20 倍, 说明该宽带吸波体具有超薄的特点.

2.4 宽带吸收机理

为了探讨宽带吸收的产生机理, 我们对图 7(a)–(e) 所示仅含单一尺寸金属块的吸波体进行了仿真, 在其他尺寸和材料参数与上述宽带吸波体完全相同的条件下, 各吸波体的吸收曲线如图 7(f) 所示.

由图 7(f) 可知, 随着吸波体表面金属块尺寸逐渐减小, 谐振吸收峰逐渐蓝移, 对应的吸收率逐渐减小. 谐振吸收峰的变化趋势与图 2 完全一致, 而吸收率逐渐减小是由于表面金属层的欧姆损耗变得越来越小. 同图 2 所示的吸收曲线相比较, 图 7(f) 中各吸收曲线均未达到 100% 的吸收, 因为此时吸波体的阻抗与自由空间阻抗不完全匹配. 将这五种不同尺寸的金属块按照 2.3 所述的相邻不同规律排列在一个周期单元中, 各吸收峰会互相叠加, 并且由于强烈的耦合效应而相互加强, 最终出现图 6 所示的宽带吸收效果.

为进一步研究宽带吸收机理, 我们仿真了 $f = 4.66 \text{ THz}$, $f = 4.95 \text{ THz}$, $f = 5.13 \text{ THz}$, $f = 5.36 \text{ THz}$ 和 $f = 5.8 \text{ THz}$ 五个谐振吸收频率所对应的金属基底能量损耗密度, 结果如图 8 所示.

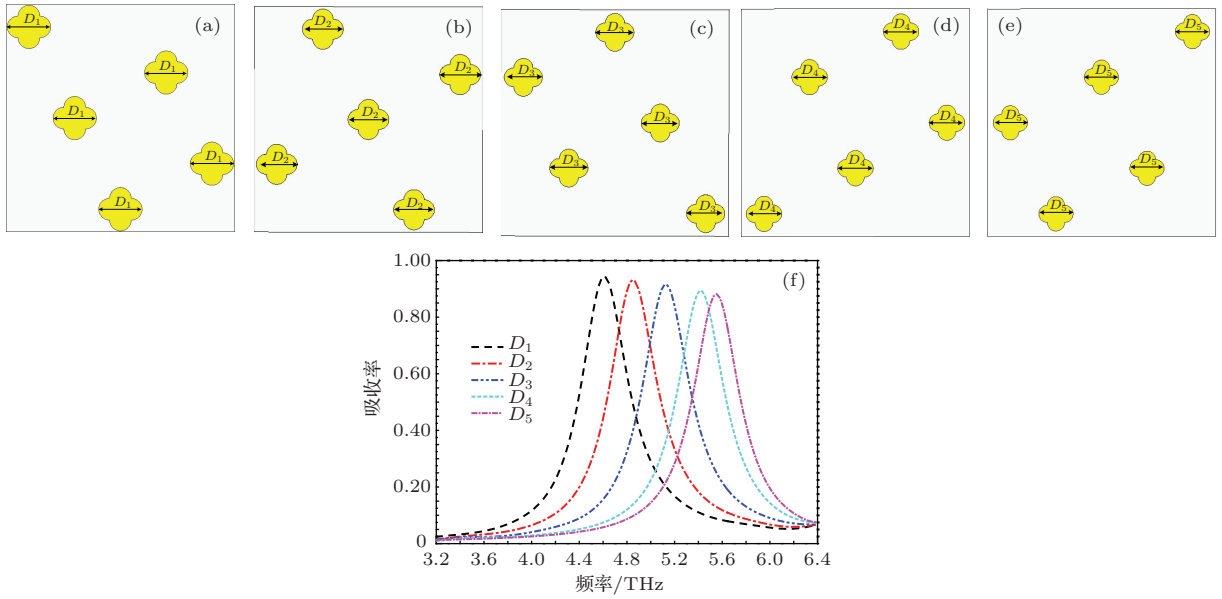


图7 (网刊彩色) 包含单一尺寸金属块的吸波体吸收曲线

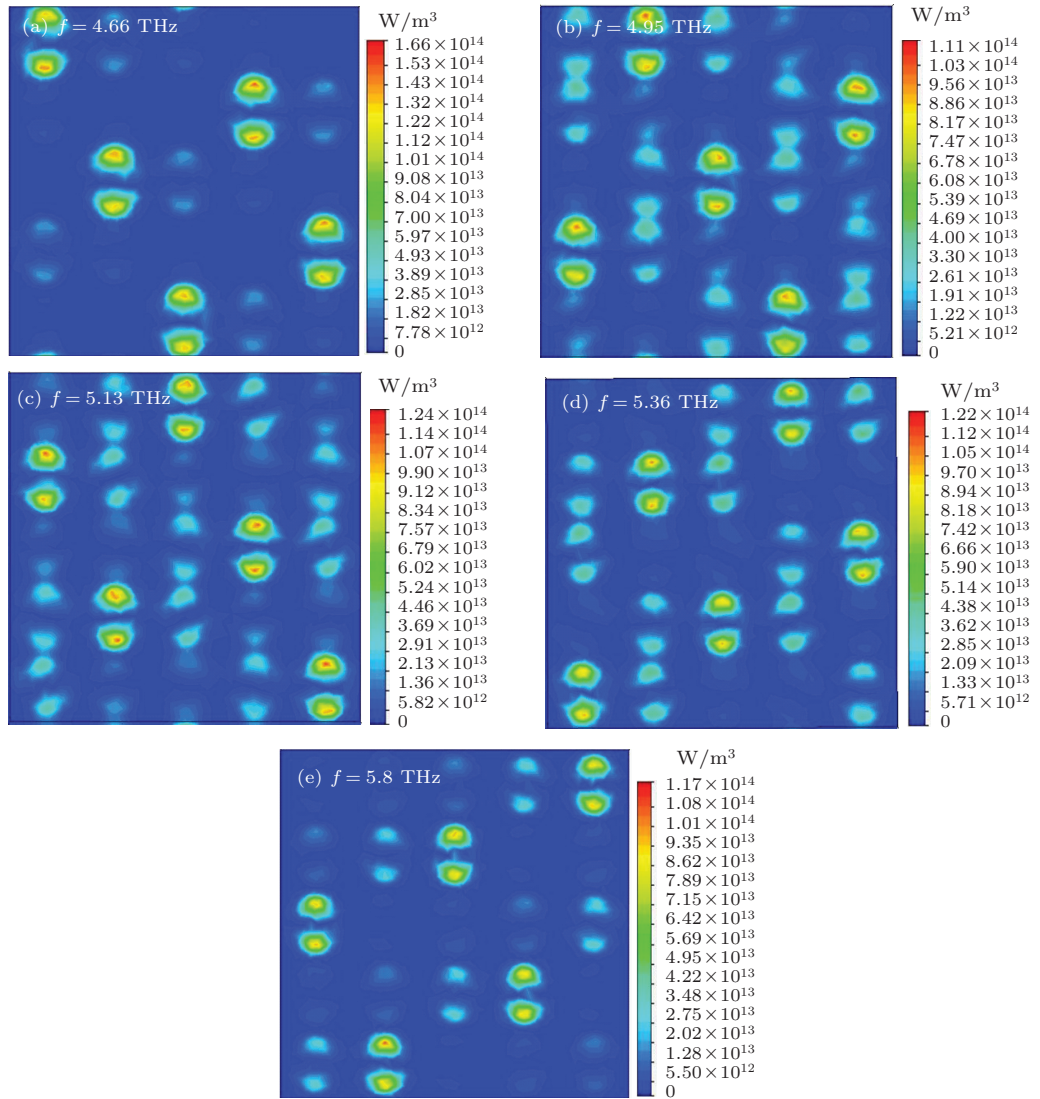


图8 (网刊彩色) 不同频率处金属基底的能量损耗密度

由图 8 可知, 能量损耗是由 y 方向上电场引起的电偶极子振荡产生, 每一个谐振吸收频率对应的能量损耗密度主要由某一种尺寸的金属块贡献, 金属块尺寸与谐振单元金属块尺寸相差越远, 对应基底位置的能量损耗密度则越小, 宽带吸波体的能量损耗是这五种不同尺寸金属块共同贡献的结果.

3 不同参数对吸收性能的影响

3.1 相邻金属块中心间距 d 的影响

由于相邻金属块之间存在强烈的电磁耦合, 因此可以分析吸波体受不同金属块中心间距 d 影响的规律. 当其他参数不变, 表层相邻金属块中心间距分别为 $d = 19 \mu\text{m}$, $20 \mu\text{m}$, $21 \mu\text{m}$ 和 $22 \mu\text{m}$ 时, 仿真得到的宽带吸波体吸收曲线如下图 9 所示.

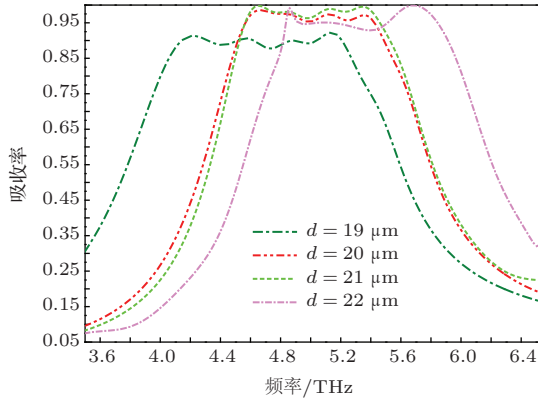


图 9 (网刊彩色) 相邻金属块中心间距 d 对吸收特性的影响

由图 9 可知, 随着相邻金属块中心间距 d 的增大, 吸收带中心频率逐渐蓝移, 这主要是因为随着中心间距 d 的增大, 相邻金属块间的电磁耦合减弱, 导致各金属块的等效电感变小, 最终使谐振频率增大. 另外, 间距 $d = 21 \mu\text{m}$ 时, 带内吸收率最大, 因为此时吸波体与自由空间的阻抗匹配最好. 综合考虑吸收带宽和吸收率的大小, 我们选择 $d = 20 \mu\text{m}$ 为最终间距.

3.2 介质材料损耗角正切的影响

设介质层材料的复介电常数 $\varepsilon = \varepsilon_r + i\varepsilon_i$, 其中介电常数的实部 $\varepsilon_r = 3.5$, 介质的损耗角正切 $\tan\delta = \varepsilon_i/\varepsilon_r$, 当损耗角正切分别为 0.057, 0.0057 和 0.00057 时, 对应的吸收曲线如图 10 所示.

由图 10 可知, 随着损耗角正切的减小, 吸收曲线下陷且吸收带宽变窄. 这是因为入射太赫兹波能

量的吸收主要归因于介质损耗和两层金属的欧姆损耗, 损耗角正切值减小则介质层的介电常数虚部减小, 从而引起介质损耗减小, 最终导致电磁能量吸收减小.

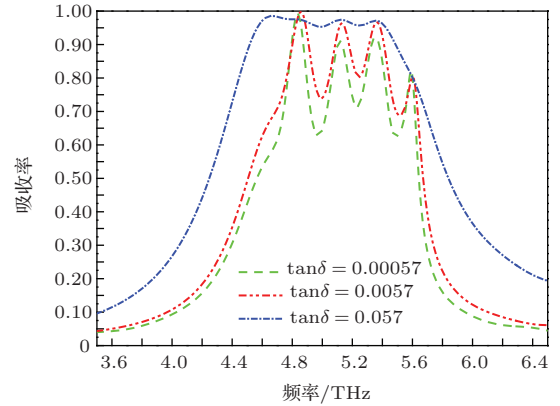


图 10 (网刊彩色) 不同损耗角正切对应的吸收率

3.3 介质层厚度的影响

为了研究介质层厚度对吸收性能的影响, 我们仿真获得了介质层厚度分别为 $t = 2.45 \mu\text{m}$, $2.55 \mu\text{m}$, $2.65 \mu\text{m}$, $2.75 \mu\text{m}$ 和 $2.85 \mu\text{m}$ 时的吸收曲线, 结果如图 11 所示.

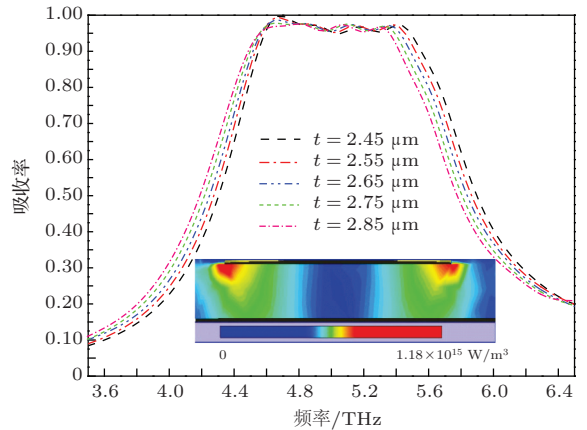


图 11 (网刊彩色) 介质层厚度对吸收率的影响

由图 11 可知, 当介质层厚度逐渐增大时, 吸波体的吸收带宽和带内吸收率变化很小, 只是吸收带中心频率出现微小的红移. 这是因为电磁波在介质层中传输时其路径相位为 [28]

$$\varphi_P = \frac{4t\sqrt{\varepsilon_r - \sin^2\theta}}{\lambda}, \quad (2)$$

其中 φ_P 为入射电磁波的路径相位, ε_r 为介质层介电常数的实部, θ 为太赫兹波的入射角, t 为介质层

厚度, λ 为入射太赫兹波波长. 由于垂直入射到均匀介质层的太赫兹波是平面波, 故可认为 φ_p 为一定值. 又由于入射角 $\theta = 0$, 介电常数实部 $\epsilon_r = 3.5$, 所以 t/λ 为定值, 即介质层厚度 t 与入射波长 λ 成正比. 又因为真空中的光速 $c = \lambda f$, 故波长 λ 与谐振吸收频率 f 成反比, 即介质层厚度 t 与吸收频率 f 成反比. 因此当介质层厚度增加时, 吸收带中心频率红移.

图 11 底部插图表示 $f = 5.13$ THz 时, 宽带吸波体中金属块 D_3 所在的吸波单元在 $y = 0$ 平面内的能量损耗密度分布. 由图可知, 能量主要损耗在金属块 D_3 下表面两端, 介质中的能量损耗很少, 这说明宽带吸波体的损耗主要是由金属层欧姆损耗引起, 故介质层厚度的改变对吸收率影响很小.

4 偏振敏感性和角度敏感性

4.1 偏振敏感性

当太赫兹波的入射角 $\theta = 0^\circ$, 位相角 $\varphi = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$ 和 45° 时, 仿真得到的吸收曲线如图 12 所示.

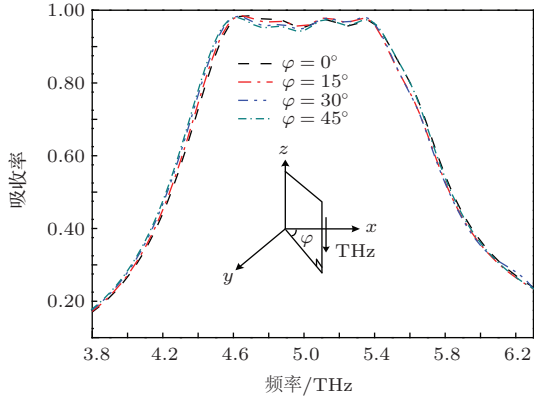


图 12 (网刊彩色) 不同位相角对应的吸收曲线

由图 12 可知, 当位相角变化时, 吸收曲线几乎不变, 这说明吸波体对入射太赫兹波的偏振方向不敏感, 这主要归因于器件结构的对称性, 这一特性对太赫兹波探测具有十分重要的意义.

4.2 角度敏感性

当入射太赫兹波的位相角 $\varphi = 0^\circ$, 入射角 $\theta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ 和 60° 时, 对应的吸收曲线如图 13 所示.

由图 13 可知, 随着入射角 θ 的增大, 吸收率逐渐减小. 这是因为, 随着入射角的增大, 入射磁场的 x 分量逐渐减小, 则在表面金属块之间的磁流密度越来越小, 于是被吸收的磁能越来越少, 从而电磁吸收也会越来越少 [25]. 尽管吸收率随入射角增大而减小, 但入射角增加到 60° 时, 吸收率 75% 以上对应的带宽仍达到 0.9 THz, 这仍然能够满足许多实际应用的要求.

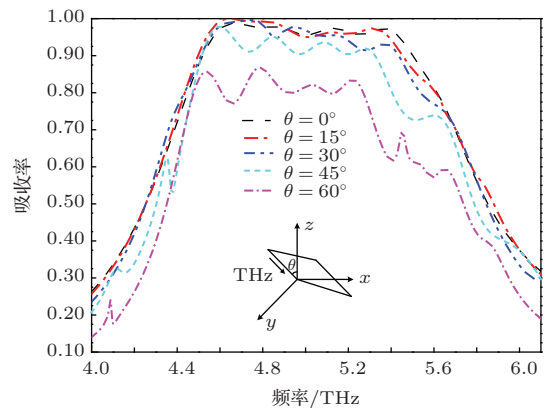


图 13 (网刊彩色) 不同入射角对应的吸收曲线

5 结 论

本文基于多谐振吸收峰叠加扩展带宽的思想, 提出了一种由五种尺寸接近的金属块按照相邻不同规律排列构成的宽带太赫兹吸波体. 该宽带吸波体吸收率 80% 以上对应的带宽约为 1.2 THz, FWHM 为 1.6 THz. 太赫兹波的吸收由 y 方向上电场引起的电偶极子振荡和 z 方向上磁场引起的磁极化产生, 能量损耗以金属层的欧姆损耗为主. 在此基础上建立起吸波体的等效 LC 电路模型, 并用来解释吸波体结构参数对中心频率偏移的影响机理. 该宽带吸波体由两层金属和一层介质构成, 结构简单, 加工容易, 成本低廉. 另外, 吸波体对偏振方向不敏感, 且具有大角度吸收和超薄的优点. 该宽带吸波体在太赫兹频段的电磁隐身、测辐射热探测器以及宽带通信等领域都有极大的应用价值. 若按比例改变吸波体的尺寸, 可以将吸收频率范围降低到目前太赫兹常用的频段 (0.3—3 THz), 也可以拓展到微波和红外等波段.

参考文献

[1] Shelby R, Smith D R, Schulz S 2001 *Science* **292** 77

- [2] Schurig D, Mock J J, Justice B J, Cummer S A, Pendry J B, Starr A F, Smith D R 2006 *Science* **314** 977
- [3] Patanjali V P, Wentao T L, Plarenta V, Srinivas S 2003 *Nature* **426** 404
- [4] Landy N I, Sajuyigbe S, Mock J J, Smith D R, Padilla W J 2008 *Phys. Rev. Lett.* **100** 207402
- [5] Tao H, Landy N I, Bingham C M, Zhang X, Averitt R D, Padilla W J 2008 *Opt. Express* **16** 7181
- [6] Wen Q Y, Zhang H W, Xie Y S, Yang Q H, Liu Y L 2009 *Appl. Phys. Lett.* **95** 241111
- [7] Ma Y, Chen Q, Grant J, Saha S C, Khalid A, Cumming D R S 2011 *Opt. Lett.* **36** 945
- [8] He X J, Wang Y, Wang J M, Gui T L, Wu Q 2011 *Prog. Electromagn. Res.* **115** 381
- [9] Wen Y Z, Ma W, Bailey J, Matmon G, Yu X M, Aeppli G 2013 *Appl. Opt.* **52** 4536
- [10] Tao H, Bingham C M, Pilon D, Fan K B, Strikwerda A C, Shrekenhamer D, Padilla W J, Zhang X, Averitt R D 2010 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **43** 225102
- [11] Ma Y B, Zhang H W, Li Y X, Wang Y C, Lai W E, Li J 2014 *Chin. Phys. B* **23** 058102
- [12] Shen X P, Yang Y, Zang Y Z, Gu J Q, Han J G, Zhang W L, Cui T J 2012 *Appl. Phys. Lett.* **101** 154102
- [13] Chen Z, Zhang Y X 2013 *Chin. Phys. B* **22** 067802
- [14] Gu C, Qu S B, Pei Z B, Xu Z, Liu J, Gu W 2011 *Chin. Phys. B* **20** 017801
- [15] Hu F R, Wang L, Quan B G, Xu X L, Li Z, Wu Z A, Pan X C 2013 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **46** 195103
- [16] Dai Y H, Chen X L, Zhao Q, Zhang J H, Chen H W, Yang C R 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 064101 (in Chinese) [戴雨涵, 陈小浪, 赵强, 张继华, 陈宏伟, 杨传仁 2013 物理学报 **62** 064101]
- [17] Mo M M, Wen Q Y, Chen Z, Yang Q H, Li S, Jing Y L, Zhang H W 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 237801 (in Chinese) [莫漫漫, 文岐业, 陈智, 杨青慧, 李胜, 荆玉兰, 张怀武 2013 物理学报 **62** 237801]
- [18] He S L, Fellow, IEEE, Chen T 2013 *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology* **3** 757
- [19] Van Tuong Pham, Park J W, Dinh Lam Vu, Zheng H Y, Rhee J Y, Kim K W, Lee Y P 2013 *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol* **4** 015001
- [20] Grant J, Ma Y, Saha S, Khalid A, Cumming D R S 2011 *Opt. Lett.* **36** 3476
- [21] Ye Y Q, Jin Y, He S L 2010 *Journal of the Optical Society of America B* **27** 498
- [22] Wang B X, Wang L L, Wang G Z, Huang W Q, Li X F, Zhai X 2014 *IEEE Photon. Technol. Lett.* **26** 111
- [23] Huang L, Chowdhury D R, Ramani S, Reiten M T, Luo S N, Taylor A J, Chen H T 2012 *Opt. Lett.* **37** 154
- [24] Wang G D, Liu M H, Hu X W, Kong L H, Cheng L L, Chen Z Q 2013 *Eur. Phys. J. B* **86** 304
- [25] Cheng Y Z, Nie Y, Gong R Z 2013 *Optics & Laser Technology* **48** 415
- [26] Wen Y Z, Ma W, Bailey J, Matmon G, Yu X M, Aeppli G 2014 *Opt. Lett.* **39** 1589
- [27] Zhang D N, Wen Q Y, Xie Y S 2011 *Chin. Opt. Lett.* **9** S10402
- [28] Liu P, Jiang J J, Chen Q, Xu X X, Miao L 2011 *Electronic Components and Materials* **30** 56 (in Chinese) [刘鹏, 江建军, 陈谦, 徐欣欣, 缪灵 2011 电子元件与材料 **30** 56]

Design of a polarization-insensitive and broadband terahertz absorber using metamaterials*

Zou Tao-Bo¹⁾ Hu Fang-Rong^{1)†} Xiao Jing²⁾ Zhang Long-Hui¹⁾ Liu Fang¹⁾ Chen Tao¹⁾
Niu Jun-Hao^{1)‡} Xiong Xian-Ming¹⁾

1) (College of Electronic Engineering and automation, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

2) (Air Force Services College, Xuzhou 221000, China)

(Received 3 April 2014; revised manuscript received 27 April 2014)

Abstract

A polarization-insensitive and broadband terahertz (THz) absorber based on metamaterial (MM) is presented. The absorber consists of two layers of metal and a single layer of medium. Each periodic cell of the upper metallic layer consists of five different sizes of metal patches which form a square array of 5×5 . In the array, the size of each metal patch is different from that of its adjacent one, and each size of the metal patch generates a single resonance absorption peak. The broadband absorption is actually produced by the overlapping of five adjacent resonance absorption peaks. By studying the distribution of the surface current and the z -component of electric field, it is easy to know that the energy of the incident THz wave is absorbed by two factors: one is the electric dipole oscillation caused by the electric field in the y direction, and the other is the magnetic polariton caused by the magnetic field in the z direction. And the ohmic loss of metal layers plays a major role on the absorption of the absorber. Simulation results show that the bandwidth achieves 1.2 THz for the absorption beyond 80%, and the maximum absorption is up to 98.7%. It's full width at half maximum (FWHM) is 1.6 THz, and the thickness of the broadband absorber is only about one twentieth of the center wavelength. In addition, the absorber is insensitive to the polarization and has a wide-angle feature, and the potential applications of the absorber are electromagnetic stealth, THz thermal radiation detectors, and THz communication.

Keywords: metamaterial (MM), terahertz (THz) absorber, polarization insensitive, broadband absorption

PACS: 81.05.Xj, 78.20.Bh, 42.25.Bs, 78.20.Ci

DOI: 10.7498/aps.63.178103

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 61265005), the foundation from Guangxi Experiment Center of Information Science, China (Grant No. 20130101), the foundation from Guangxi Key Laboratory of Automatic Detection Technology and Instrument (Grant No. YQ14114), the Innovation Project of Guangxi Graduate Education (Grant No. YCSZ2014141) and program for innovation research team of Guilin University of Electronic Technology.

† Corresponding author. E-mail: hufangrong@sina.com

‡ Corresponding author. E-mail: 30189252@qq.com