基于VO₂相变原理的多频谱可调超材料吸波体设计

王越, 冷雁冰, 王丽, 董连和, 刘顺瑞, 王君, 孙艳军*

长春理工大学光电工程学院, 长春 130022

*联系人, E-mail: custsun@126.com

收稿日期: 2018-03-29; 接受日期: 2018-05-10; 网络出版日期: 2018-07-04

国家自然科学基金(编号: 11474037, 11474041)和高等学校学科创新引智计划(111计划)资助项目

摘要 利用二氧化钒(VO₂)绝缘体相-金属相的相变特性, 将VO₂与超材料吸波体相结合设计了一种多频谱可调超材料吸波体. 采用CST Microwave Studio软件对其在太赫兹波段和红外波段的吸收率曲线进行仿真模拟, 仿真结果表明, 当温度设置为高温状态(80°C)时, VO₂表现为金属相, 此时在太赫兹波段表现为超吸收的特性; 而当温度设置为低温状态(40°C)时, VO₂表现为绝缘体相, 此时在红外波段表现为超吸收的特性; 随后分别仿真模拟了VO₂为金属相时VO₂十字架臂长和VO₂为绝缘相时金属十字架臂长对吸波体吸收特性的影响; 最后对该吸波体表面电流分布及内部的空间电场进行仿真与分析, 并阐述了其电磁吸波及多频谱可调的机理. 最终结果表明该超材料吸波体可以通过改变温度分别实现对太赫兹波段和红外波段的超吸收, 在多频谱隐身、多频谱探测和多频谱通信等领域具有潜在的应用价值.

关键词 超材料吸波体, 相变, 多频谱, 可调

PACS: 81.05.Zx, 71.30.+h, 43.58.Kr, 42.60.Fc

1 引言

超材料是由亚波长谐振单元组成的人工复合材料, 具有自然界中材料所不具备的超常电磁特性, 其电磁特性主要取决于人工设计的单元结构. 因此, 可以通过设计超材料单元结构的尺寸和形状来实现预期的超常电磁特性, 如负折射率^[1]、负磁导率^[2]、负介电常数^[2]、逆多普勒效应^[3]等. 由于这些特殊的性质使其在可见光隐身^[2]、完美透镜^[3]等领域有广泛的应用. 在这些应用中, 其性能会因电磁超材料本身的损耗而降低, 但是对于超材料吸波体来说, 这种损耗将会变得十分

有用.

超材料吸波体是由美国波士顿大学的Landy等人^[4]在2008年提出的, 其基本原理是通过与自由空间的阻抗相匹配来减小反射, 从而使得吸收最大化. 由于在隐身^[5]、探测^[6]和通信^[7]方面具有重大的应用价值, 超材料吸波体也就成为超材料领域的一个研究热点. 随着对其研究的不断深入, 一方面吸波体从微波频段^[7]逐渐扩展到太赫兹频段^[8]、红外频段^[9]以及光频段^[10], 另一方面吸波体也从单频^[6]逐渐扩展到双频^[11]、多频^[12]以及宽频^[13].

然而, 传统的超材料吸波体只能在固定的频率或

引用格式: 王越, 冷雁冰, 王丽, 等. 基于VO₂相变原理的多频谱可调超材料吸波体设计. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2018, 48: 084201
Wang Y, Leng Y B, Wang L, et al. Design of multispectral tunable metamaterial absorber based on phase transition of VO₂ (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2018, 48: 084201, doi: [10.1360/SSPMA2018-00089](https://doi.org/10.1360/SSPMA2018-00089)

有限的频率范围内工作. 尽管通过改变结构尺寸可以有效地调节其工作频率, 但是结构一旦制作完成就很难改变, 这就限制了吸波体在实际中的应用. 因此人们希望能够利用热、电、光等方式来实现超材料吸波体的主动调节和控制. 2011年, Shen等人^[14]将半导体Si与超材料结合设计了一种光控超材料, 通过控制光强实现了中心频率0.76–0.96 THz的调控; 2017年, Wang等人^[15]将InSb作为超材料吸波体的介质, 通过改变温度使其在太赫兹波段的频率调控范围达到了80.4%左右; 同年, Zhang等人^[16]基于石墨烯设计了一种宽频可调的红外超材料吸波体, 通过改变石墨烯的费米能级实现了1.05 THz的中心频率蓝移, 且其半高宽FWHM达到了10.1 THz. 然而, 目前这些超材料吸波体仅能实现单一频段的可调吸收, 已经满足不了人们对实际应用越来越高的要求.

因此本文基于VO₂的相变特性, 设计了一种多频谱可调的超材料吸波体, 使其通过温度调控可以分别实现对太赫兹波段和红外波段的超吸收, 并利用CST Microwave Studio软件仿真模拟了结构参数对该超材料吸波体的影响. 最后对该吸波体表面电流分布和空间电场进行了仿真与分析, 阐述了其电磁吸波和多频谱可调的机理. 该吸波体结构设计简单, 功能多样化, 在多频谱隐身、多频谱探测和多频谱通信等领域都具有较大的应用潜力和发展空间.

2 VO₂相变的理论分析

VO₂的相变一般是指在温度为68°C左右的条件下, 绝缘体相与金属相之间的可逆转变, 其中VO₂的绝缘体相的晶体结构是单斜晶格结构, 而金属相的晶体结构是金红石四方相结构. 相变前后两种晶体结构之间的差别是金属钒原子在晶体结构中所处的位置不同, 这也是导致其介电常数、磁导率参数产生显著可逆性变化的原因^[17].

当VO₂为绝缘体相时, 其介电常数 $\epsilon_i=9$, 对太赫兹波段和红外波段都有很高的透过率. 而当VO₂为金属相时, 其介电常数 ϵ_m 、电导率 σ_m 和趋肤深度 δ 都遵循Drude模型^[18,19]:

$$\epsilon_m(\omega) = \epsilon_\infty + i \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega + i/\tau)}, \quad (1)$$

$$\sigma_m(\omega) = \frac{\sigma_{dc}}{1 - i\omega\tau}, \quad (2)$$

$$\delta = \sqrt{2 / \omega \mu_0 \sigma_m(\omega)}, \quad (3)$$

其中, ϵ_∞ 为VO₂材料的高频极限介电常数且 $\epsilon_\infty = \epsilon_i = 9$; τ 为载流子碰撞时间; σ_{dc} 为静电导率; ω_p 为等离子频率, 表示为

$$\omega_p^2 = \frac{Ne^2}{\epsilon_0 m^*}. \quad (4)$$

对于VO₂材料, 其载流子浓度 $N=8.7 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$, 有效质量 $m^*=2m_e$.

然而在VO₂的温度从低温变到高于相变温度的过程中, 即VO₂从绝缘体相到金属相的过程中, 其内部的部分分子颗粒会首先发生相变, 而且随着温度的进一步升高, 相变分子颗粒会逐渐增多, 在其内部将会存在金属结构, 此时整个VO₂材料内部既有金属态的组分也有半导体态的组分, 而这种空间分布的不均匀性正是其宏观电磁性质发生显著变化的原因. 通常采用有效介质理论来描述处在不完全相变的VO₂的性质, 其中最为常用的是Bruggeman模型和Maxwell-Garnett模型. 由于在不完全相变时, 金属态颗粒的分布是非均匀的且金属组分的体积分数大于20%^[20], 所以一般采用Bruggeman模型来分析.

此时可以将VO₂看做介电常数为 ϵ_i 的无限大介质与若干介电常数为 ϵ_m 的随机金属颗粒共同组成的复合体系:

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{1}{4} \{ \epsilon_i(2 - 3f) + \epsilon_m(3f - 1) + \sqrt{[\epsilon_i(2 - 3f) + \epsilon_m(3f - 1)]^2 + 8\epsilon_i\epsilon_m} \}, \quad (5)$$

其中, f 为金属相的体积分数, 与温度的对应关系可以表示为

$$f = 1 - \frac{1}{1 + \exp[(T - T_0)/\Delta T]}. \quad (6)$$

对于VO₂, 其升温相变点临界温度为 $T_0=68^\circ\text{C}$, 过渡温度 $\Delta T=2^\circ\text{C}$; 其降温相变点临界温度为 $T_0=64^\circ\text{C}$, 过渡温度 $\Delta T=6^\circ\text{C}$.

利用式(1)和(4)–(6), 并结合材料介电常数与电导率的关系, 即 $\sigma = -i\epsilon_0\omega(\epsilon_{\text{eff}} - 1)$ 可以计算出相变过程中不同温度对应的VO₂的电导率, 并将其导入CST软件的材料特性中, 从而可以实现对VO₂的设置.

3 单元结构仿真结果

为了提高未来进一步在实验中的可行性, 其超材料吸波体单元微结构全部采用简单的十字架结构, 使其可通过微电子制作技术中的剥离技术制作而成, 而多层叠加的结构可通过选择适合该结构且现阶段已经成熟的薄膜沉积技术制作而成. 结合未来实验的可行性最终确认该超材料吸波体单元结构由6层结构组成, 如图1所示, 从上到下依次为: VO_2 十字架结构、 Al_2O_3 介质、 VO_2 基底、金属十字架结构、 Al_2O_3 介质和金属基底. 在仿真过程中, 假设入射波垂直于超材料表面入射, 吸波体的吸收率可由公式 $A=1-|S_{11}|^2-|S_{21}|^2$ 计算得出, 其中, S_{11} 和 S_{21} 分别表示吸波体的反射系数和透射系数, 可由软件仿真计算得出. 并对其结构参数进行优化仿真, 最终确定其结构参数为: VO_2 结构周期 $P_1=30\text{ }\mu\text{m}$, $L_1=27\text{ }\mu\text{m}$, $W_1=10\text{ }\mu\text{m}$, VO_2 的厚度均为 $T_1=0.2\text{ }\mu\text{m}$ 、 Al_2O_3 介质层的介电常数为2.28, 厚度为 $H_1=3\text{ }\mu\text{m}$; 金属结构周期 $P_2=2\text{ }\mu\text{m}$, $L_2=1.6\text{ }\mu\text{m}$, $W_2=0.5\text{ }\mu\text{m}$ 、金属均为金, 其厚度均为 $T_2=0.1\text{ }\mu\text{m}$ 、 Al_2O_3 介质层厚度为 $H_2=0.08\text{ }\mu\text{m}$; 利用软件CST对所设计的超材料吸波体进行全波仿真.

本文所提出的超材料吸波体的结构是由两种不同尺度的超材料结构叠加形成的复合结构, 两种结构在特定温度条件下分别在太赫兹波段和红外波段实现超吸收. 当结构参数固定, 对不同温度下超材料吸波体的吸收率曲线进行仿真计算, 结果如图2所示. 当温度为 80°C 时, VO_2 表现为金属相的性质, 此时在太赫兹 $0.1\text{--}5\text{ THz}$ 波段范围内出现一个中心频率为 3.18 THz 的超高吸收峰, 且其吸收率达到了98%左右; 而在红外 $3\text{--}8\text{ }\mu\text{m}$ 波段范围内的平均吸收率仅为15%左右. 当温

图1 (网络版彩图)超材料吸波体的结构示意图. (a) VO_2 十字架的单元结构示意图; (b) 金属十字架的单元结构示意图; (c) 超材料吸波体的主视图

Figure 1 (Color online) Schematic of the metamaterial absorber. (a) The unit structure schematic of the VO_2 -cross; (b) the unit structure schematic of the metal-cross; (c) the front view of the metamaterial absorber.

度为 40°C 时, VO_2 表现为绝缘体相的性质, 此时在红外 $3\text{--}8\text{ }\mu\text{m}$ 波段范围内出现一个中心频率为 $4.78\text{ }\mu\text{m}$ 的超高吸收峰, 且其吸收率同样达到了98%左右; 而在太赫兹 $0.1\text{--}5\text{ THz}$ 波段范围内的平均吸收率仅为9%左右. 由此可知, 通过改变温度可以实现对太赫兹波段和红外波段的多频带可调超吸收.

在优化结构参数的仿真过程中发现当温度为 80°C , VO_2 为金属相时, 其他尺寸不变, 仅改变 VO_2 十字架臂长 L_1 的尺寸参数, 超材料吸波体在太赫兹波段的吸收曲线如图3所示. 从图中可以看出, 当 L_1 的尺寸由 $21\text{ }\mu\text{m}$ 增加到 $27\text{ }\mu\text{m}$ 时, 其中心频率由 4.23 THz 逐渐减少到 3.16 THz , 发生了红移现象, 且其吸收率始终保持

图2 (网络版彩图)不同温度下超材料吸波体的吸收率曲线. (a) 太赫兹波段; (b) 红外波段

Figure 2 (Color online) Absorption spectra of the metamaterial absorber under different temperature. (a) Terahertz band; (b) infrared band.

图 3 (网络版彩图)超材料吸波体在不同VO₂十字架臂长下的吸收率曲线

Figure 3 (Color online) Absorption spectra of the metamaterial absorber under different length of VO₂-cross.

在98%左右. 而当 L_1 的尺寸小于21 μm 时, 也始终保持这一规律, 直到 L_1 尺寸近似等于 W_1 尺寸时.

而当温度为40°C, VO₂为绝缘体相时, 其他尺寸不变, 仅改变金属十字架臂长 L_2 的尺寸参数, 超材料吸波体在红外波段的吸收曲线如图4所示. 从图中可以看出, 当 L_2 的尺寸由1.3 μm 增加到1.9 μm 时, 其中心频率由3.90 μm 逐渐增加到6.06 μm , 同样发生了红移现象, 且其吸收率始终保持在97%左右. 根据这一特性可以在应用过程中通过设计 L_1 和 L_2 的尺寸参数以满足不同的需求, 保证其中心频率与实际应用相匹配. 继续减小 L_2 的尺寸, 仍保持频移的这种规律, 但其吸收率也会持续减小.

除此之外, 在其他尺寸不变, 仅改变金属十字架臂

图 4 (网络版彩图)超材料吸波体在不同金属十字架臂长下的吸收率曲线

Figure 4 (Color online) Absorption spectra of the metamaterial absorber under different length of metal-cross.

宽 W_1 或VO₂十字架臂宽 W_2 的条件下, 依旧会产生频移的效果, 但其频移程度小于改变 L_1 及 L_2 产生的频移, 结果如图5所示. 且其吸收峰半高宽在参数改变的过程中始终未发生明显变化. 根据这些特性可以在应用过程中通过设计 L_1 , L_2 , W_1 和 W_2 的尺寸参数以满足不同的需求, 保证其中心频率与实际应用相匹配.

随后, 分别对该超材料吸波体在不同入射角和不同偏振方向的吸收曲线进行了仿真模拟, 结果如图6和7所示.

当入射电磁波的偏振角度 $\varphi=0^\circ$, 入射角 $\theta=0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ 和 60° 时, 在温度为80°C和40°C下的仿真曲线如图6(a)和(b)所示. 由图可知, 尽管在太赫兹波段和红外波段的吸收率随入射角增大而减小, 但入射角增加

图 5 (网络版彩图)超材料吸波体在不同VO₂(a)和不同金属(b)十字架臂宽下的吸收率曲线

Figure 5 (Color online) Absorption spectra of the metamaterial absorber under different width of VO₂-cross (a) and metal-cross (b).

图 6 (网络版彩图)不同入射角下超材料吸波体的吸收率曲线. (a) 太赫兹波段; (b) 红外波段

Figure 6 (Color online) Absorption spectra of the metamaterial absorber under different incident angle. (a) Terahertz band; (b) infrared band.

到 60° 时, 吸收率依然能够分别保持在78%和83%以上, 这仍然能够说明该吸波体具有角度不敏感的特性, 亦能满足许多实际应用的要求.

当入射电磁波的入射角度 $\theta=0^\circ$, 偏振角度 $\varphi=0^\circ$, 15° , 30° 和 45° 时, 在温度为 80°C 和 40°C 下的仿真曲线如图7(a)和(b)所示. 由图可知, 当偏振方向与十字架的方向不平行时, 吸收曲线几乎不发生变化, 这说明该吸波体对入射电磁波的偏振方向不敏感, 该特性对实际应用具有十分重要的意义.

4 吸波体的机理分析

为了研究吸波体电磁吸波和多频谱可调的机理, 分别对吸波体的表面电流和电场分布进行了仿真计算与分析. 首先以温度为 80°C 时的吸波体为例, 在 3.18 THz 和 $4.78\text{ }\mu\text{m}$ 处设置相应的场监视器, 在入射波垂直入射到结构表面的条件下计算得到其表面电流分

布, 结果如图8所示. 其中图8(a)和(b)分别是 3.18 THz 下 VO_2 十字架结构和底层 VO_2 基底表面电流分布, 从图中可以明显地看出, 在电磁波的作用下, 两者的表面形成了反平行电流, 两者形成了一个电流回路, 从而导致了强烈的磁响应, 进而在 z 方向上产生了强烈的磁谐振. 并且由超材料吸波体的电场分布图8(c)可以看出, 电场主要分布在十字架结构的上下两个边缘, 从而导致了电荷发生交替积累, 形成了电偶极子共振. 也就是说, 在中心频率 3.18 THz 处, 同时实现了磁谐振和电谐振, 从而实现了中心频率的超强吸收. 并且由于此时的 VO_2 表现为金属相的特性, 入射的红外波无法透过 VO_2 基底, 仅能与 VO_2 十字架结构产生微弱的谐振效果, 如图8(d)所示. 因此在温度为 80°C 时, 该超材料吸波体可以在太赫兹波段产生超吸收的现象, 而在红外波段仅能产生较为微弱的吸收现象.

随后, 在温度为 40°C 时, 在 3.18 THz 和 $4.78\text{ }\mu\text{m}$ 处设置相应的场监视器, 对其表面电流及电场的分布再

图 7 (网络版彩图)不同偏振角下超材料吸波体的吸收率曲线. (a) 太赫兹波段; (b) 红外波段

Figure 7 (Color online) Absorption spectra of the metamaterial absorber under different polarization angle. (a) Terahertz band; (b) infrared band.

图 8 (网络版彩图)温度为80°C时, 超材料吸波体的场分布图. (a) VO₂十字架在太赫兹波段的表面电流分布; (b) VO₂基底在太赫兹波段的表面电流分布; (c) VO₂十字架在太赫兹波段的电场分布; (d) VO₂十字架在红外波段的表面电流分布

Figure 8 (Color online) The field distributions of the metamaterial absorber when temperature is 80°C. (a) Current density of VO₂-cross in terahertz band; (b) current density of VO₂-ground in terahertz band; (c) electric field of graphene VO₂-cross in terahertz band; (d) electric field of VO₂-cross in infrared band.

次进行仿真计算, 结果如图9所示.

其中图9(a)和(b)分别是4.78 μm 下金属十字架结构和金属基板的表面电流分布, 从图中同样可以明显的看出, 在电磁波的作用下, 两者的表面依然形成了反平行电流和相应的电流回路, 进而在 z 方向上产生了对应的磁谐振. 同时, 电场同样集中在金属十字架上下两个边缘, 从而导致电荷交替积累, 形成了电偶极子共振, 如图9(c)所示. 图9(d)为3.18 THz下金属十字架结构的电场分布, 此时的VO₂表现为绝缘体相的特性, 无法在太赫兹范围内形成有效谐振, 且由于金属十字架的结构尺寸相较于太赫兹波段较小, 故几乎无法在金属十字架上产生谐振, 进而无法产生对入射太赫兹波的有效吸收. 因此在温度为40°C时, 该超材料吸波体可以在红外波段产生超吸收的现象, 而在太赫兹波段仅能产生极为微弱的吸收现象.

图 9 (网络版彩图)温度为40°C时, 超材料吸波体的场分布图. (a) 金属十字架在红外波段的表面电流分布; (b) 金属基底在红外波段的表面电流分布; (c) 金属十字架在红外波段的电场分布; (d) 金属十字架在太赫兹波段的表面电流分布

Figure 9 (Color online) The field distributions of the metamaterial absorber when temperature is 40°C. (a) Current density of metal-cross in infrared band; (b) current density of metal-ground in infrared band; (c) electric field of graphene metal-cross in infrared band; (d) electric field of metal-cross terahertz band.

5 结论

基于VO₂的相变特性设计了一种多频谱可调超材料吸波体, 并研究了其结构参数对吸波体吸收特性的影响, 即当温度为80°C, VO₂为金属相时, 该吸波体在太赫兹波段具有超吸收的特性, 且改变VO₂十字架臂长的长度可以使吸波体在太赫兹波段获得不同的中心频率; 而当温度为40°C, VO₂为绝缘相时, 该吸波体在红外波段具有超吸收的特性, 且改变金属十字架臂长可以改变吸波体在红外波段的中心吸收频率. 最后通过对其表面电流和电场分布的仿真计算分析了吸波体电磁吸波和多频谱可调的机理. 结果表明, 该超材料吸波体可以通过改变温度分别实现对太赫兹波段和红外波段的超吸收, 在多频谱隐身、多频谱探测和多频谱通信等领域具有潜在的应用价值.

致谢 该研究工作受到光电工程国家级实验教学示范中心的协助.

参考文献

- 1 Shalaev V M, Cai W, Chettiar U K, et al. Negative index of refraction in optical metamaterials. *Opt Lett*, 2005, 30: 3356–3358
- 2 Schurig D, Mock J J, Justice B J, et al. Metamaterial electromagnetic cloak at microwave frequencies. *Science*, 2006, 314: 977–980
- 3 Pendry J B. Negative refraction makes a perfect lens. *Phys Rev Lett*, 2000, 85: 3966–3969
- 4 Landy N I, Sajuyigbe S, Mock J J, et al. Perfect metamaterial absorber. *Phys Rev Lett*, 2008, 100: 207402, arXiv: 0803.1670
- 5 Dayal G, Ramakrishna S A. Broadband infrared metamaterial absorber with visible transparency using ITO as ground plane. *Opt Express*, 2014, 22: 15104–15110
- 6 Wu D, Liu Y, Li R, et al. Infrared perfect ultra-narrow band absorber as plasmonic sensor. *Nanoscale Res Lett*, 2016, 11: 483
- 7 Karaaslan M, Bağmancı M, Ünal E, et al. Microwave energy harvesting based on metamaterial absorbers with multi-layered square split rings for wireless communications. *Opt Commun*, 2017, 392: 31–38
- 8 Peralta X G, Smirnova E I, Azad A K, et al. Metamaterials for THz polarimetric devices. *Opt Express*, 2009, 17: 773–783
- 9 Guo P, Chang R P H, Schaller R D. Tunable infrared hyperbolic metamaterials with periodic indium-tin-oxide nanorods. *Appl Phys Lett*, 2017, 111: 021108
- 10 Aydin K, Ferry V E, Briggs R M, et al. Broadband polarization-independent resonant light absorption using ultrathin plasmonic super absorbers. *Nat Commun*, 2011, 2: 517
- 11 Wang B X, Zhai X, Wang G Z, et al. A novel dual-band terahertz metamaterial absorber for a sensor application. *J Appl Phys*, 2015, 117: 014504
- 12 Gu C, Qu S B, Pei Z B, et al. Multiband terahertz metamaterial absorber. *Chin Phys B*, 2011, 20: 017801
- 13 Wang B X, Wang L L, Wang G Z, et al. A simple design of ultra-broadband and polarization insensitive terahertz metamaterial absorber. *Appl Phys A*, 2014, 115: 1187–1192
- 14 Shen N H, Massaouti M, Gokkavas M, et al. Optically implemented broadband blueshift switch in the terahertz regime. *Phys Rev Lett*, 2011, 106: 037403
- 15 Wang B X, Wang G Z. Temperature tunable metamaterial absorber at THz frequencies. *J Mater Sci-Mater Electron*, 2017, 28: 8487–8493
- 16 Zhang Y, Li Y, Cao Y, et al. Graphene induced tunable and polarization-insensitive broadband metamaterial absorber. *Opt Commun*, 2017, 382: 281–287
- 17 Dicken M J, Aydin K, Pryce I M, et al. Frequency tunable near-infrared metamaterials based on VO₂ phase transition. *Opt Express*, 2009, 17: 18330–18339
- 18 Nakajima M, Takubo N, Hiroi Z, et al. Photoinduced metallic state in VO₂ proved by the terahertz pump-probe spectroscopy. *Appl Phys Lett*, 2008, 92: 011907
- 19 Fan F, Hou Y, Jiang Z W, et al. Terahertz modulator based on insulator-metal transition in photonic crystal waveguide. *Appl Opt*, 2012, 51: 4589–4596
- 20 Wang H, Yang Y, Wang L. Wavelength-tunable infrared metamaterial by tailoring magnetic resonance condition with VO₂ phase transition. *J Appl Phys*, 2014, 116: 123503, arXiv: 1408.1356

Design of multispectral tunable metamaterial absorber based on phase transition of VO₂

WANG Yue, LENG YanBing, WANG Li, DONG LianHe, LIU ShunRui,
WANG Jun & SUN YanJun*

School of Opto-Electronic Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China

Recently, metamaterial absorber has attracted considerable attention because of a broad range potential application to electromagnetic stealth, electromagnetic detectors, and electromagnetic communication. And to solve the problem which traditional metamaterial absorbers can only operate at a fixed frequency or within a limited frequency range, the tunable metamaterial absorbers attract more and more attention. But the previous metamaterial absorber can only achieve adjustable absorption in a single frequency band, which has not met people's increasingly higher requirements for practical applications. To solve this problem, a multispectral tunable metamaterial absorber was designed by combining VO₂ and metamaterial absorbers using the phase transition characteristics. In this paper, the absorption rate curve in the terahertz band and infrared band had been simulated by CST Microwave Studio software. And the simulation results showed that the metamaterial exhibited meta-absorption in the terahertz band when the temperature was set to high temperature (80°C) and the VO₂ behaved as a metal phase in this temperature. However, the simulation results showed that the metamaterial exhibited meta-absorption in the infrared band when the temperature was set to low temperature (40°C) and the VO₂ behaved as an insulator phase. Furthermore, the absorptive properties of the metamaterial absorber had been simulated under different lengths of VO₂-cross when the VO₂ behaved as a metal phase and under different lengths of metal-cross when the VO₂ behaved as an insulator phase. Finally, the mechanism of electromagnetic absorption and multispectral tunable were discussion by simulating and analyzing the surface current distribution and electric field of the metamaterial absorber. The results showed that the metamaterial absorber can realize meta-absorption in the terahertz band or infrared band by changing the temperature which have potential application values in the fields of multispectral stealth, multispectral detection and multispectral communication.

metamaterial absorber, phase change, multispectral, tunable

PACS: 81.05.Zx, 71.30.+h, 43.58.Kr, 42.60.Fc

doi: [10.1360/SSPMA2018-00089](https://doi.org/10.1360/SSPMA2018-00089)