

基于金属-电介质-金属波导结构的等离子体滤波器的数值研究

杨韵茹 关建飞

Numerical study of plasmonic filter based on metal-insulator-metal waveguide

Yang Yun-Ru Guan Jian-Fei

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 65, 057301 (2016) DOI: 10.7498/aps.65.057301

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.057301>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2016/V65/I5>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于纳米天线的多通道高强度定向表面等离子体波激发

High-intensity directional surface plasmonic excitation based on the multi metallic slits with nano-antenna

物理学报.2015, 64(24): 247301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.247301>

梳状波导结构中石墨烯表面等离子体的传播性质

Propagation properties of the graphene surface plasmon in comb-like waveguide

物理学报.2015, 64(23): 237301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.237301>

环形狭缝腔阵列光学特性的研究

Finite difference time domain simulation of optical properties of annular cavity arrays

物理学报.2015, 64(22): 227301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.227301>

金纳米棒复合体的消光特性

Extinction properties of gold nanorod complexes

物理学报.2015, 64(20): 207301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.207301>

纳米银六角阵列在掺氧氮化硅中的局域表面等离激元共振特性仿真

Simulation of localized surface plasmon resonance of hexagonal Ag nanoarrays and amorphous oxidized silicon nitride

物理学报.2015, 64(17): 177301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.177301>

基于金属-电介质-金属波导结构的等离子体滤波器的数值研究*

杨韵茹 关建飞†

(南京邮电大学光电工程学院, 南京 210023)

(2015年11月13日收到; 2015年12月15日收到修改稿)

基于金属-电介质-金属波导结构, 提出了一种含双侧多支节型等离子体波导滤波器, 采用有限元法研究了其透射特性. 在该结构的透射谱中观察到了基于电磁诱导透明效应的四个窄带透射峰, 并通过模场分布有效阐释了透射谱线中峰值、谷值的产生的物理机理. 数值研究同时表明当每个支节长度线性增加时, 透射峰中心波长也将线性增加. 这一结果可用于指导可调谐、多通道窄带滤波器的设计.

关键词: 表面等离激元, 金属-电介质-金属波导, 电磁诱导透明, 滤波器

PACS: 73.20.Mf, 42.50.Gy, 42.79.Gn

DOI: 10.7498/aps.65.057301

1 引言

表面等离激元(surface plasmon polaritons, SPPs)是一种金属与介质交界面上电子在外加高频电磁场作用下发生的集体震荡, 并沿界面以疏密波的形式传输的行为. SPPs 能够被束缚在金属表面, 可以突破传统的衍射极限, 这有利于实现在纳米级尺度内控制光^[1,2]. 近年来, 各种各样能够传输SPPs的波导结构, 如楔形^[3]、V槽形^[4]、金属条和纳米线形^[5]、金属-电介质-金属(MIM)波导结构^[6]被提出. MIM波导可以在纳米级尺度限制光场, 且易于实现微米量级的传输距离^[7], 因而吸引了研究者的注意. 以光学集成为目标的一些基于MIM波导结构的器件被相继提出, 如分束器^[8]、耦合器^[9]、Y形合成器^[10]、Mach-Zehnder干涉仪^[11]及滤波器等^[12].

作为光学集成芯片中一个核心部件, 基于MIM波导结构的等离子体滤波器在近几年被广泛地研究, 如Bragg光栅波导滤波器^[13,14]、含有矩形腔^[15]、齿形腔^[16-18]、弧形腔^[19]及圆环腔^[20]的MIM等离子体波导滤波器. 基于矩形腔、弧形腔结

构的等离子体波导滤波器主要基于腔体内Fabry-Perot (F-P) 共振与干路波导的倏逝波耦合效应实现滤波, 该结构耦合效率的提升必将导致滤波带宽的展宽, 不利于窄带滤波器的设计; Bragg光栅型等离子体波导主要基于Bragg衍射理论实现滤波, 其不足之处在于结构的尺寸较大, 难以实现高密度集成; 而近来提出的单齿形谐振腔连通MIM干路波导构成的滤波器^[16]具有结构简单、耦合效率高的优势, 然而输出曲线为典型的宽带洛伦兹线型. 为了有效地压缩带宽, 双齿^[17]及多齿型^[18]腔结构陆续被提出, 研究表明单纯依赖相位相干的滤波机理设计的多种滤波器结构都无法在显著压缩滤波器通带带宽的同时有效提升透射效率. 这是因为齿形腔数目增加的同时, 结构的尺寸以及表面等离子体波的传输损耗都将增大.

2012年, Chen等^[21]提出了一种单侧多齿腔MIM波导结构, 通过合理设置各齿腔的深度及间距可以产生类电磁诱导透明(EIT)效应^[22], 导致该结构的通带带宽可压缩在纳米范围内, 为窄带滤波器的设计提供了一个有效的方案; 然而其透射率亦会随着齿数的增加而显著下降, 其中四齿模型的

* 国家自然科学基金(批准号: 61274121, 61574080)和南京邮电大学基金(批准号: NY214058)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: guanjf@njupt.edu.cn

最大透射率只能达到0.25. 本文在此基础上提出了一种双侧非对称齿型腔实现类EIT效应的滤波结构, 通过理论分析和仿真模拟研究了该结构的透射性能, 并解释了在该结构中产生多个类EIT光谱透射峰的物理机理; 同时利用干路波导上由两组非对称齿腔形成的F-P谐振效应实现多通道窄带滤波. 通过改变模型中齿腔的结构参数, 可以有效地选取滤波波长. 本文提出模型结构简单、便于制作, 为实现单片集成的可调多通道滤波器设计提供了有价值的参考.

2 理论模型

图1所示为常见的单支节型MIM等离子波导滤波器平面示意图, 在该结构的支节中产生的SPP波谐振可以实现选频的功能.

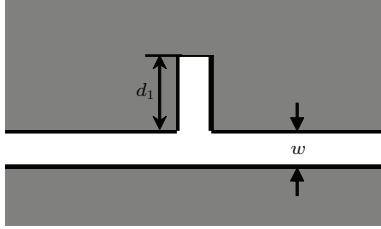


图1 单支节型MIM波导等离子滤波器

Fig. 1. Structure schematics of the MIM waveguide filter with one stub.

设定波导宽度和支节宽度均为 w , 支节长度为 d_1 , MIM波导内和支节的填充介质均设定为空气, 其相对介电常数为 $\varepsilon_d = 1$, 周围其他区域介质均为金属银. 金属银的相对介电常数与入射波频率相关, 常采用Drude模型^[23]进行计算, 即

$$\varepsilon_m(\omega) = \varepsilon_m(\infty) - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + i\gamma\omega}, \quad (1)$$

其中, $\varepsilon_m(\infty) = 3.7$, 表示在外界电磁波频率趋于无限大时金属的相对介电常数; $\omega_p = 1.38 \times 10^{16}$ Hz, 为等离子体谐振频率; $\gamma = 2.73 \times 10^{13}$ Hz, 表示自由电子碰撞频率(阻尼衰减频率); ω 为入射电磁波的频率^[24].

当电磁波在含单支节的MIM波导中传播时, 由于电磁波与结构的相互作用, 在支节中形成驻波而产生谐振. 这非常符合由散射理论^[25]得到的单支节中谐振波长与支节长度的关系:

$$\lambda_m = \frac{4n_{\text{eff}}d}{(2m+1) - (\Delta\varphi(\lambda)/\pi)}, \quad (2)$$

其中, m 为整数, λ_m 为谐振波长, $\Delta\varphi(\lambda)$ 是耦合SPPs在金属介质界面发生反射所引起的相移, d 是

支节长度, n_{eff} 为结构有效折射率. n_{eff} 是一复数, 可由色散关系^[26,27]计算得到:

$$\frac{\varepsilon_d p}{\varepsilon_m k} = \frac{1 - e^{kw}}{1 + e^{kw}}, \quad (3)$$

其中,

$$k = k_0 \sqrt{\left(\frac{\beta_{\text{spp}}}{k_0}\right)^2 - \varepsilon_d},$$

$$p = k_0 \sqrt{\left(\frac{\beta_{\text{spp}}}{k_0}\right)^2 - \varepsilon_m},$$

$\beta_{\text{spp}} = n_{\text{eff}}k_0 = n_{\text{eff}}2\pi/\lambda$. 这里, w 为波导宽度, λ 为入射电磁波波长, k_0 为波矢, β_{spp} 为电磁波传播常数, ε_m 和 ε_d 分别为金属和电介质的介电常数.

仿真模拟时, 设定图1中左边入射端口为Port1, 右边输出端口为Port2. 入射光束为高斯光束. 计算区域以最大单元为27 nm, 最小单元为0.101 nm的尺寸划分三角网格, 其他区域的三角网格尺寸为最大单元90.5 nm, 最小单元0.405 nm. 由于入射波的波长远大于MIM波导宽度, 所以本文只考虑TM基模电磁波. 定义透射率为 $T = P_{\text{out}}/P_{\text{in}}$, 其中 P_{in} 为入射光功率, P_{out} 为出射光功率.

3 仿真结果与分析

3.1 单支节型MIM波导

首先讨论单支节型结构的滤波性能, 波导和支节宽度固定为 $w = 50$ nm不变. 图2(a)显示了 $d_1 = 180, 200, 220, 240$ nm时, 单支节型MIM等离子波导滤波器在波长从400 nm到2000 nm范围内的透射谱曲线. 由图可知, 当 d_1 从180 nm增加到240 nm时, 透射率为0的波长相应地由790 nm增加到1060 nm, 其中在 $d_1 = 240$ nm的MIM波导结构中, 透射率最大值、最小值分别出现在入射波长为530和1060 nm处. 图2(b)和图2(c)分别给出了透射率最大值和最小值处的 $|H_z|$ 场分布. 从图中可以看出, 当波长为530 nm的电磁波进入支节中经过反射与波导中的电磁波同相(相位差为 2π), 发生干涉增强效应, 可以顺利地通过MIM波导; 而波长为1060 nm的电磁波进入支节经过反射, 与波导中的电磁波反相(相位差为 π), 发生干涉相消, 不能继续传播. 由理论分析可知: 波长为1060 nm的情况正好对应于方程(2)中 m 取零的结果.

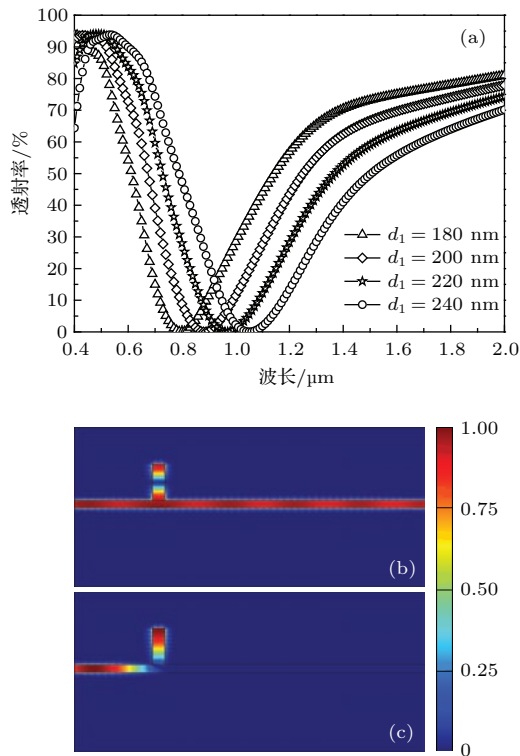


图2 (网刊彩色) 单支节型MIM波导滤波器的透射谱曲线及模场分析 (a) 支节长度不同时对应的透射谱线; (b) 波长为530 nm的 $|H_z|$ 场分布; (c) 波长为1060 nm的 $|H_z|$ 场分布

Fig. 2. (color online) Transmission spectrum and model field distributions of the MIM waveguide filter with the single stub: (a) Transmission spectrum of the waveguide filters with different stub lengths; model field distributions ($|H_z|$) of SPPs in the system at (b) $\lambda = 530$ nm, (c) $\lambda = 1060$ nm.

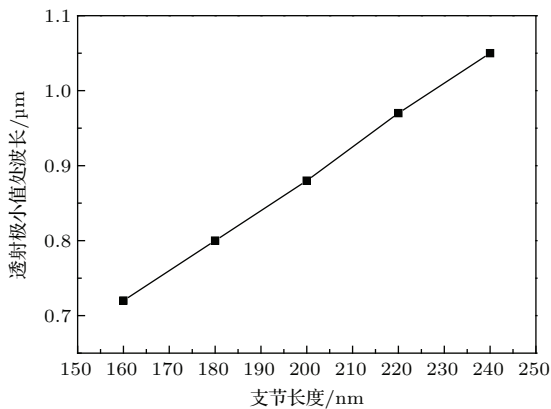


图3 支节长度与阻带波长的线性关系

Fig. 3. Wavelengths of the stopband as a function of the stub length.

通过改变单侧支节长度, 可以使透射率极小值出现在不同波长处, 这一结果可借助于经典物理学中的F-P谐振腔理论予以解释. 图3给出了这些透射率极小值对应的入射波长与支节长度之间近乎线性的关系. 由以上的理论分析和仿真模拟可知,

单支节型MIM波导结构具有滤波功能, 并且可以通过改变支节长度来选择所滤波长.

3.2 双支节型MIM波导

在图1所示的模型中干路波导另外一侧增加一个长度为 d_2 的支节而构成一个双支节型MIM波导结构, 其模型如图4(a)所示. 当一个支节长度 $d_1 = 180$ nm保持不变, d_2 分别取200, 220和240 nm时, 该结构的透射谱曲线如图4(b)所示. 从图中可以看到, 当双侧支节长度不等时, 在400—2000 nm范围内将出现两个透射零点以及介于其中的一个明显的窄带透射峰; 同时随着支节长度 d_2 的增加, 两个透射零点间距增大, 透射峰的峰值增加且带宽展宽. 这是一个典型的类EIT光谱响应, 显示了双侧支节结构有利于实现窄带滤波功能. 另一方面, 随着 d_2 取不同值时, 透射谱曲线中波长790 nm处出现的透射极小值始终不变. 而这个透射极小值对应的波长正好是 $d_1 = 180$ nm的单支节型MIM波导透射极小值的位置.

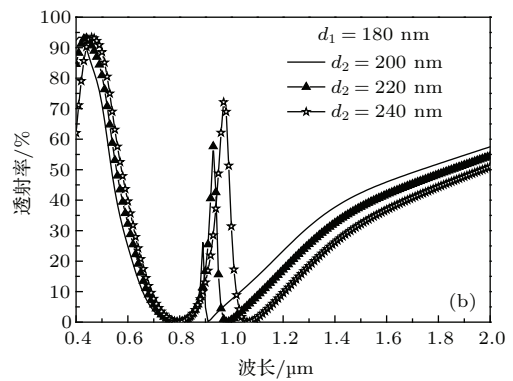
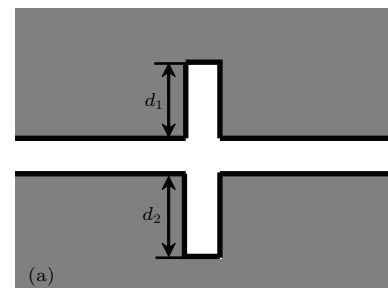


图4 双支节型MIM波导结构及其透射谱曲线 (a) 双支节型MIM波导滤波器结构; (b) 不同支节长度 d_2 所对应的透射谱

Fig. 4. Structure schematics of the MIM waveguide filter with double-sided stubs and the transmission spectrum of the system: (a) Structure schematics of the MIM waveguide filter with double-sided stubs; (b) transmission spectrum of the waveguide filters with different stub lengths of d_2 and with a given stub length of $d_1 = 180$ nm.

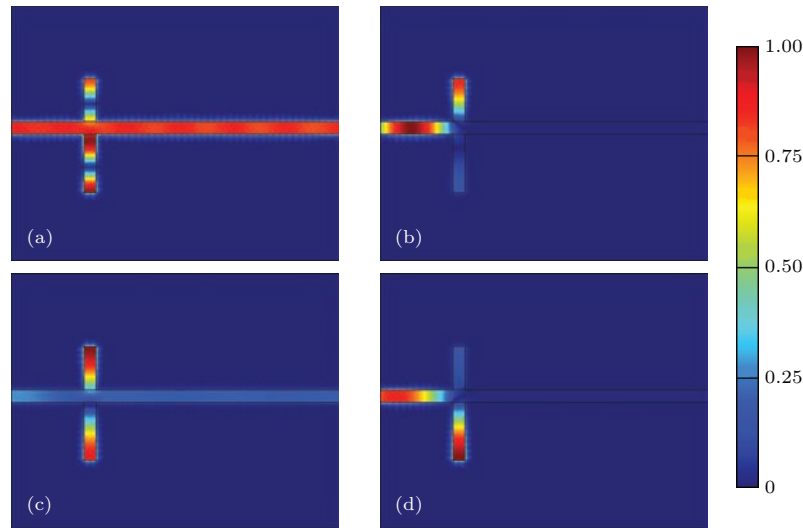


图5 (网刊彩色) 支节长度为 $d_1 = 180$ nm, $d_2 = 240$ nm 的双支节型 MIM 波导滤波器波长分别为 (a) 460 nm; (b) 790 nm; (c) 970 nm; (d) 1060 nm 处的 $|H_z|$ 场分布

Fig. 5. (color online) Model field distributions ($|H_z|$) of SPPs in the waveguide filter with stub length of $d_1 = 180$ nm and $d_2 = 240$ nm at (a) $\lambda = 460$ nm, (b) $\lambda = 790$ nm, (c) $\lambda = 970$ nm, (d) $\lambda = 1060$ nm.

以结构参数 $d_1 = 180$ nm, $d_2 = 240$ nm 的结构为例, 由方程 (2) 可知, 上支节和下支节的共振波长分别为 790 和 1060 nm. 当波长为 790 和 1060 nm 的电磁波分别进入上、下两个支节并经过反射, 与波导中的电磁波异相, 发生干涉相消, 不能继续传播, 其磁场分布如图 5 (b) 和图 5 (d) 所示. 当入射波长位于两个谐振波长之间取为 970 nm 时, SPPs 在上、下两个双支节组成的系统中产生了 EIT 效应, 这导致了透射谱在 970 nm 波长处产生了一个狭窄的透射峰, 磁场分量 $|H_z|$ 的场分布如图 5 (c) 所示. 从图 5 (c) 中可以看出, 波长为 970 nm 的电磁波经过上下支节的反射, 对干路波导中的电磁场的影响已降至最低, 进而可以形成透明的通带. 当入射波长取为 460 nm 时, 磁场分量 $|H_z|$ 场分布如图 5 (a) 所示, 电磁波经过上下支节的反射, 与波导中的电磁能量相干叠加导致透射率达到最大值, 该仿真结果与理论分析完全符合. 综上, 通过场量 $|H_z|$ 的模场分布可以有效地阐释透射谱曲线中的峰值与谷值的产生机理.

3.3 四支节型 MIM 波导

在双支节右侧 $L_s = 100$ nm 处再加一组非对称双支节构成四支节型 MIM 波导滤波器结构, 如图 6 (a) 所示, 其中支节长度以 70 nm 为步长单调递增. 为了直观地比较四支节型 MIM 波导的滤波效果与单支节型滤波效果的关系, 图 6 (b) 同时列

出了 $d_1 = 180$ nm, $d_2 = 250$ nm, $d_3 = 320$ nm, $d_4 = 390$ nm 的四支节结构和 d_1 分别取 180, 250, 320, 390 nm 的单支节型 MIM 波导结构的透射谱线. 从图 6 (b) 可以看出, 在透射谱中出现了四个透射峰, 而且透射最小值的位置与单支节模型一一对应. 由共振波方程 (2) 可知, 这些波长分别是四个支节各自对应的谐振波长, 与在双支节分析中一样, 这些波长的 SPPs 由于干涉相消而停止传播, 所以出现了透射零点. 由双支节 MIM 波导结构的结论可得: 非对称的两侧支节可以产生类 EIT 效应, 这一透射效应导致透射零点之间的透射峰产生. 然而在波长 1100 与 1400 nm 之间出现了一段传输禁带, 这主要是由于支节 d_2 和 d_3 之间有一定的间隔 L_s , 电磁波在经过这一间隔距离时产生一定的相位延迟而发生相干相消.

设定支节之间距离 $L_s = 100$ nm 和其中一个支节长度 $d_1 = 180$ nm 不变, d_2, d_3, d_4 分别取不同的值, 通过仿真模拟得到该结构的透射谱线如图 7 所示. 无论 d_2, d_3, d_4 取值如何变化, 图 7 中曲线在波长 790 nm 处总有透射率为 0. 与图 2 (a) 相比, 这个透射率为 0 的波长位置正好与单支节结构 $d_1 = 180$ nm, $d_2 = d_3 = d_4 = 0$ 的透射率最小值的波长位置重合. 可见, 在四支节型 MIM 波导中的各个支节可看成是独立的谐振腔, 该结构的滤波效果是各支节滤波效果的叠加.

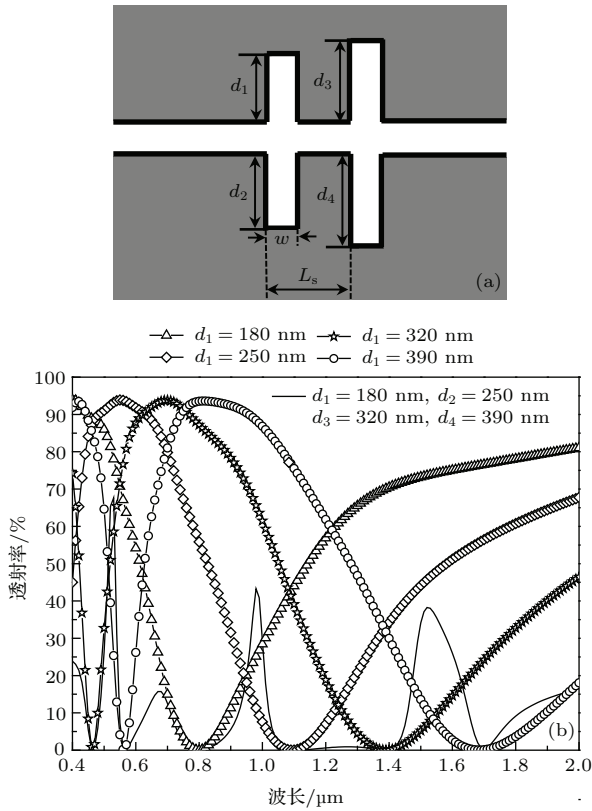


图6 四支节MIM波导结构及其透射谱曲线 (a) 四支节型MIM波导结构示意图; (b) 四支节型和单支节型MIM等离子波导滤波器透射谱的比较

Fig. 6. Structure schematics of the MIM waveguide filter with four stubs and the transmission spectrum of the system: (a) Structure schematics of the system; (b) transmission spectrum of the waveguide with four stubs and one stub.

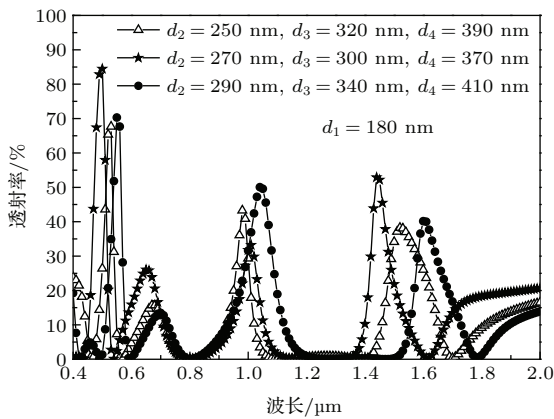


图7 四支节型MIM波导结构支节长度不同时的透射谱线
Fig. 7. Transmission spectrum of the four stubs coupled to waveguide with different stub lengths of d_2 , d_3 , d_4 and with a given stub length of $d_1 = 180$ nm.

3.4 八支节型MIM波导

使用双支节及四支节结构可以实现多通带滤波, 然而通带宽度略宽. 在四支节型MIM波

导透射谱中观察到四个明显的透射峰, 展示了四个类EIT光谱响应. 以结构尺寸为 $d_1 = 180$ nm, $d_2 = 250$ nm, $d_3 = 320$ nm, $d_4 = 390$ nm 为例, 透射峰分别出现在 $\lambda = 530, 680, 980, 1520$ nm 处, 通带带宽 $\Delta\lambda = 110, 230, 280, 300$ nm. 为了进一步压缩通带带宽, 提高滤波性能, 在原有四支节模型的基础上添加一组参数相同的四支节结构得到一种新的八支节型MIM波导滤波器结构(如图8所示), 并对其透射特性进行研究.

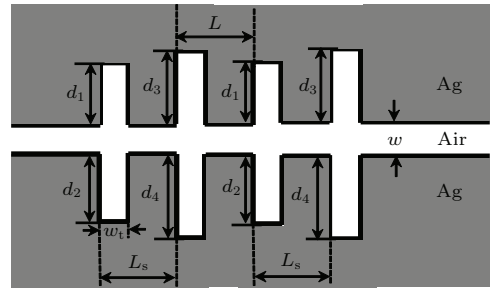


图8 八支节型MIM波导结构示意图
Fig. 8. Structure schematics of the MIM waveguide filter with eight stubs.

设定两组支节间距 L 和组内支节间距 L_s 均为 100 nm, 支节长度设为 $d_1 = 180$ nm, $d_2 = 250$ nm, $d_3 = 320$ nm, $d_4 = 390$ nm. 对该结构进行仿真模拟, 得到的透射谱线如图9所示. 从图9所示的透射谱线中可以明显地看到电磁波在传播时有四个透射峰, 并且有三段传输禁带出现. 与四支节型相比, 该结构的通带带宽分别为 60, 80, 100, 200 nm 要窄很多, 并且透射率略高. 当支节长度线性增加时, 透射峰对应的波长也增加, 第三个和第四个透射峰的透射率有所下降, 如图10(a)所示. 图10(a)

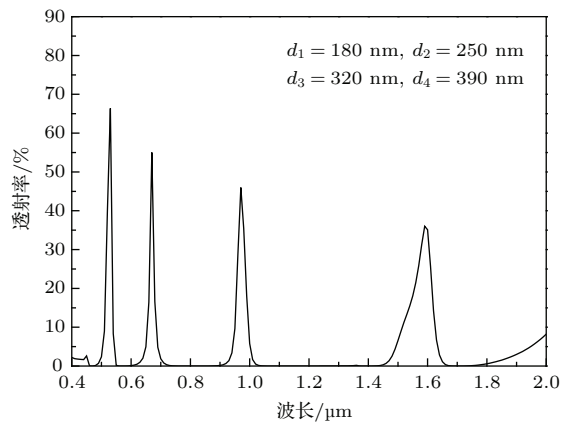


图9 八支节型MIM波导透射谱线
Fig. 9. Transmission spectrum of the eight stubs coupled to waveguide.

中黑色、红色、绿色、灰色曲线分别表示 d_1 分别取 180, 200, 220, 240 nm 时, d_2, d_3, d_4 均以 70 nm 步长递增时含八支节波导结构的透射谱线, 由图可知, 随着支节长度的单调递增, 四个透射主峰均呈现出显著的红移变化. 图 10(b) 显示了各个透射峰对应波长随支节长度变化的近似线性关系, 进而通过改变其支节的结构尺寸可以实现有选择性的调制其滤波波长.

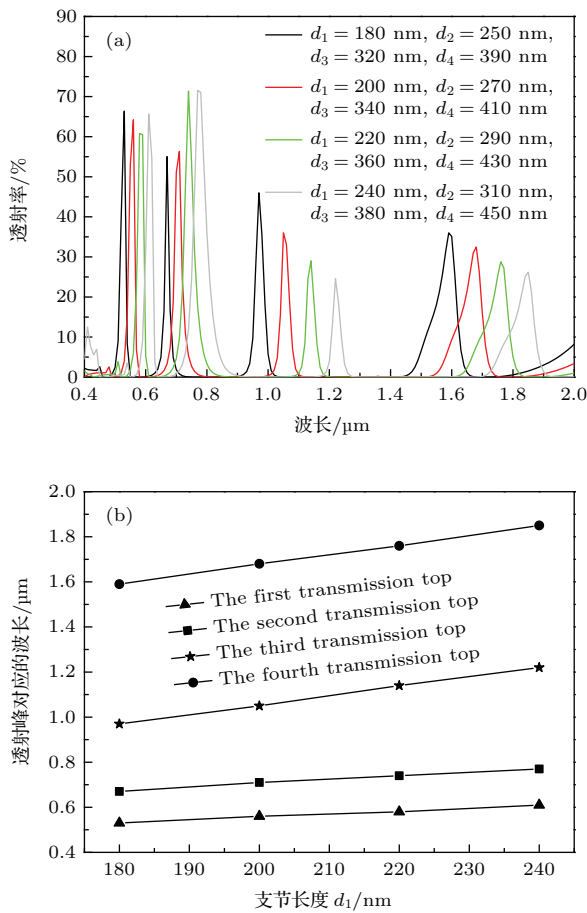


图 10 (网刊彩色) 八支节型 MIM 波导滤波器透射谱 (a) 不同支节长度对应的透射谱线; (b) 透射峰位置随支节长度变化关系

Fig. 10. (color online) Transmission spectrum of the waveguide filters with eight stubs: (a) Transmission spectrum of different stub lengths of d_1, d_2, d_3 and d_4 ; (b) wavelengths of the four transmission tops as a function of the stub lengths.

4 结 论

本文分析了含支节的 MIM 型波导滤波器的透射谱曲线, 并通过模场分布揭示了透射峰值产生的物理机理及实现条件. 在此基础上提出了一种双侧八支节型 MIM 等离子波导滤波器结构, 并分析了四个类 EIT 光谱响应的产生机理. 仿真结果显示,

随着所有支节长度的线性增加, 各个透射峰对应的波长也线性增加, 并且每个通带带宽都较窄, 滤波效果比较理想. 研究结果表明该结构可以作为一种简单的、滤波波长可调的多通道窄带滤波器的设计方案, 对实现纳米级光子集成器件具有一定的参考价值.

参考文献

- [1] Barnes W L, Dereux A, Ebbesen T W 2003 *Nature* **424** 824
- [2] Hu F, Yi H, Zhou Z 2011 *Opt. Lett.* **36** 1500
- [3] Moreno E, Rodrigo S G, Bozhevolnyi S I, Martin-Moreno L, Garcia-Vidal F J 2008 *Phys. Rev. Lett.* **100** 023901
- [4] Pile D F P, Gramotnev D K 2004 *Opt. Lett.* **29** 1069
- [5] Berini P 2000 *Phys. Rev. B* **61** 10484
- [6] Liu J Q, Wang L L, He M D, Huang W Q, Wang D, Zou B S, Wen S 2008 *Opt. Express* **16** 4888
- [7] Pieter N, Pol V D, Iwijn D V, Liesbet L, Gustaaf B 2009 *Nature Photon.* **3** 283
- [8] Veronis G, Fan S 2005 *Appl. Phys. Lett.* **87** 131102
- [9] Lee T W, Gray S K 2005 *Opt. Express* **13** 9652
- [10] Gao H, Shi H, Wang C, Du C, Luo X, Deng Q, Lu Y, Lin X, Yao H 2005 *Opt. Express* **13** 10795
- [11] Han Z, Liu L, Forsberg E 2006 *Opt. Commun.* **259** 690
- [12] Lu H, Liu X, Wang G, Mao D 2012 *Nanotechnology* **23** 444003
- [13] Park J, Kim H, Lee B 2008 *Opt. Express* **16** 413
- [14] Wang B, Wang G P 2005 *Appl. Phys. Lett.* **87** 013107
- [15] Yun B F, Hu G H, Cui Y P 2013 *Plasmonics* **8** 267
- [16] Lin X S, Huang X G 2008 *Opt. Lett.* **33** 2874
- [17] Tao J, Huang X G, Lin X S, Chen J H, Zhang Q, Jin X P 2010 *J. Opt. Soc. Am.* **27** 323
- [18] Tao J, Huang X G, Lin X S, Zhang Q, Jin X P 2009 *Opt. Express* **17** 13989
- [19] Zhang Z D, Zhao Y N, Lu D, Xiong Z H, Zhang Z Y 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 187301 (in Chinese) [张志东, 赵亚男, 卢东, 熊祖洪, 张中月 2012 物理学报 **61** 187301]
- [20] Pang S F, Zhang Y Y, Huo Y P, Xie Y, Hao L M, Zhang T 2015 *Plasmonics* **10** 1723
- [21] Chen J, Wang C, Zhang R, Xiao J 2012 *Opt. Lett.* **37** 5133
- [22] Kekatpure R D, Barnard E S, Cai W, Brongersma M L 2010 *Phys. Rev. Lett.* **104** 243902
- [23] Han Z, Forsberg E, He S 2007 *IEEE Photon. Techn. Lett.* **19** 91
- [24] Zhai X 2013 *Ph. D. Dissertation* (Changsha: Hunan University) (in Chinese) [翟翔 2013 博士学位论文 (长沙: 湖南大学)]
- [25] Haus H A 1984 *Waves and Fields in Optoelectronics* (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall) pp56-59
- [26] Economou E N 1969 *Phys. Rev.* **182** 539
- [27] Li W J, Xiang D, Li X H, Jia P 2012 *J. Univ. South China (Science and Technology)* **26** 61 (in Chinese) [李伟军, 向东, 李小华, 贾鹏 2012 南华大学学报: 自然科学版 **26** 61]

Numerical study of plasmonic filter based on metal-insulator-metal waveguide*

Yang Yun-Ru Guan Jian-Fei[†]

(College of Optoelectronic Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China)

(Received 13 November 2015; revised manuscript received 15 December 2015)

Abstract

A novel nanometric plasmonic filter comprised of double-sided eight stub resonators side-coupled with a metal-insulator-metal waveguide is proposed and demonstrated numerically by the finite element method. The numerical results show that the four transmittance peaks in a transmission spectrum range from 400 nm to 2000 nm can be achieved due to the electromagnetically-induced-transparency-like spectral responses between every two adjacent stub resonators with detuned cavity length. Based on the magnetic field distributions from the two dimensional model, the physical origins of transmittance peaks and dips are clarified by phase analysis of Fabry-Perot resonance effect. In addition, the central wavelengths of transmittance peaks can be tuned by adjusting the cavity length of each stub resonator, which means the waveguide filter could be utilized to develop ultracompact and tunable narrowband photonic filters for high integration.

Keywords: surface plasmons polaritons, metal-insulator-metal waveguides, electromagnetically induced transparency, filter

PACS: 73.20.Mf, 42.50.Gy, 42.79.Gn

DOI: [10.7498/aps.65.057301](https://doi.org/10.7498/aps.65.057301)

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 61274121, 61574080) and the Nanjing University of Posts and Telecommunications Foundation, China (Grant No. NY214058).

[†] Corresponding author. E-mail: guanjf@njupt.edu.cn