

补充材料

球形双曲色散超材料腔的多重窄带回音廊模式
及透明显示应用*

李艳[†] 任思萌 褚博 燕汝江 于群星 孙辉 邵立 钟发成[‡]
(郑州航空工业管理学院材料学院, 郑州 450046)

我们减少最外层介质层, 对 7 层银/介质交替组成的球形双曲色散超构材料 (HMM) 腔进行研究, 这里我们设银层厚度为 $d=5\text{nm}$, 介质层厚度为 $s=4\text{nm}$, 从内到外介质层折射率分别为 $n_1=1.8$, $n_2=1.45$, $n_3=1.45$, 结构的散射效率谱, 如图 S1 (a) 所示。发现这里的 7 层银/介质交替组成的 HMM 腔和正文图 1 中 8 层银/介质交替组成的 HMM 腔都只有偶极电分量在所示波段起主要贡献, 准静态近似成立。通过 8 层银/介质交替组成的 HMM 腔和 7 层银/介质交替组成的 HMM 腔进行对比, 发现 HMM 腔所激发的电共振($\text{TM}_{n,m}$)个数仅与金属层的数目相关。因此, 当考虑到彩色透明显示的应用(构建红绿蓝波段的三重窄带共振), 可以将 HMM 腔简化到三层银和两层介质层, 即可激发出三个窄带的回音廊模式。

可以清楚地看到, 随着第一介质层折射率(n_1)的增大, 如图 S2(a)所示, $\text{TM}_{1,1}$ 的共振位置几乎不发生变化, $\text{TM}_{1,2}$ 、 $\text{TM}_{1,3}$ 均发生红移。且 $\text{TM}_{1,2}$ 模式强度减弱, $\text{TM}_{1,1}$ 模式强度逐渐增强。随着第二介质层折射率(n_2)的增大, 如图 S2(b)所示, $\text{TM}_{1,2}$ 共振位置几乎不发生变化, $\text{TM}_{1,1}$ 向更长波长移动, 且模式强度逐渐减弱, $\text{TM}_{1,3}$ 模式强度逐渐增强。

在图 S3(a)中进一步固定 $n_2=1.45$ 时, 可以清楚地看到第一层介质折射率 n_1 对 $\text{TM}_{1,1}$, $\text{TM}_{1,2}$, $\text{TM}_{1,3}$ 三个模式的影响。当 $n_1>1.4$ 时, $\text{TM}_{1,3}$ 共振才会出现在

可见光波段，且 $TM_{1,1}$ ， $TM_{1,2}$ ， $TM_{1,3}$ 均随着 n_l 的增大，发生红移。但当 $n_l > 2.2$ 时 $TM_{1,3}$ 共振强度明显变弱；在图 S3(b) 中可以清楚地看到当第二层介质折射率 n_2 增大时， $TM_{1,2}$ ， $TM_{1,3}$ 模式红移不明显，但 $TM_{1,1}$ 模式发生剧烈的红移。当 $n_2 > 1.8$ 时 $TM_{1,1}$ 模式红移到可见光波段以外，且共振强度明显变弱。在图 S3(c) 中可以清楚地看到当第一层银壳层厚度 d_l 增大时， $TM_{1,1}$ ， $TM_{1,3}$ 均随着 d_l 的增大，发生红移， $TM_{1,2}$ 模式先红移再蓝移，且共振强度减弱。在图 S3(d) 中可以清楚地看到当第一层介电层厚度 s_l 增大时， $TM_{1,1}$ ， $TM_{1,2}$ 均随着 s_l 的增大，发生红移，当 $s_l > 2$ 时， $TM_{1,3}$ 共振才会出现在可见光波段，且共振强度逐渐增强。

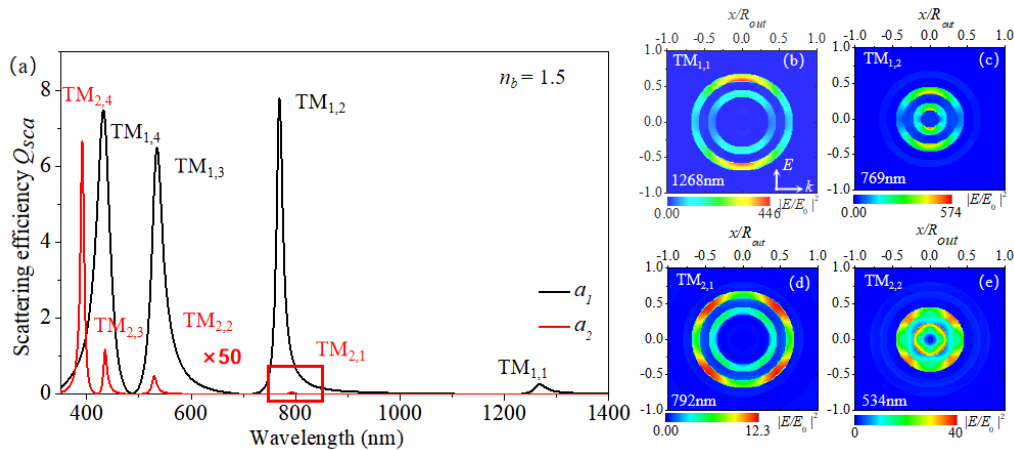


图 S1 (a) 7 层银($d=5\text{nm}$)/介质层($s=4\text{ nm}$, $n_l=1.8$, $n_2=1.45$, $n_3=1.45$)交替包裹组成的球形 HMM 腔的散射谱，黑线代表偶极电贡献 (a_1)，红线代表四极电贡献 (a_2)。为了更清楚地显示电四极子的贡献，将其散射效率值扩大了 50 倍；(b) 结构在 $TM_{1,1}$ 模式共振波长 $\lambda \approx 1268\text{nm}$ 处的电场强度分布图；(c) HMM 腔在 $TM_{1,2}$ 模式共振波长 $\lambda \approx 769\text{nm}$ 处的电场强度分布图；(d) HMM 腔在 $TM_{2,1}$ 模式共振波长 $\lambda \approx 792\text{nm}$ 处的电场强度分布图；(e) HMM 腔在 $TM_{2,2}$ 模式共振波长 $\lambda \approx 534\text{nm}$ 处的电场强度分布图。

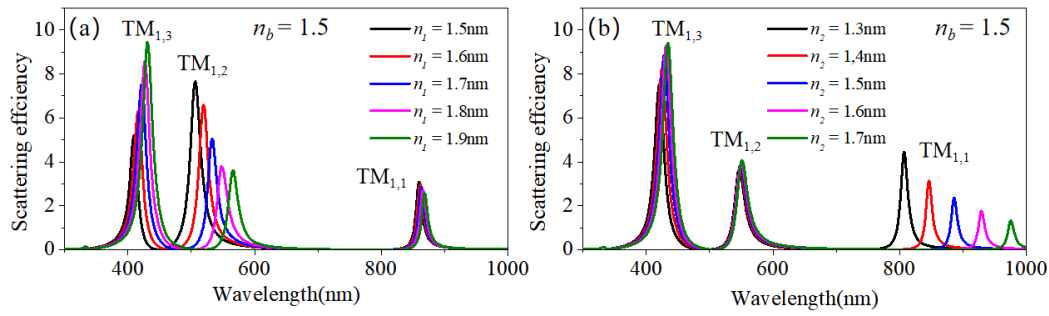


图 S2 (a)球形双曲色散腔在改变介质层折射率 $n_i=1.5-1.9$ 时的散射效率谱；(b)球形双曲色散腔在改变介质层折射率 $n_2=1.3-1.7$ 时的散射效率谱。

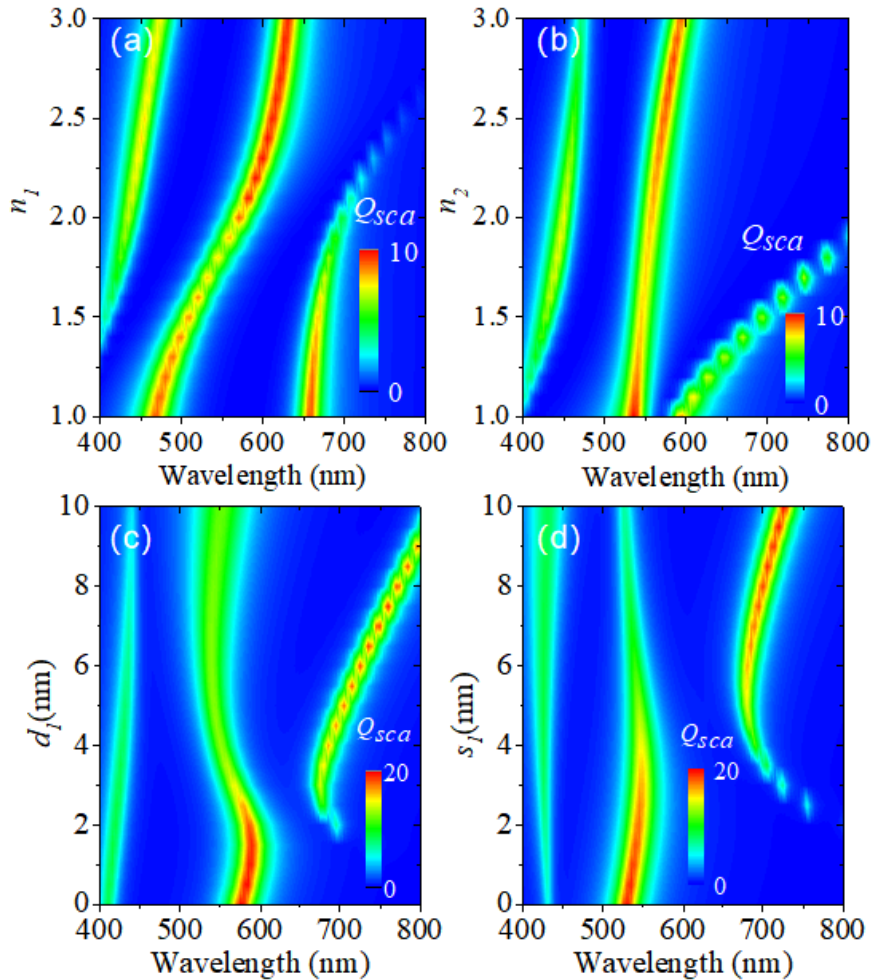


图 S3 HMM 腔中 $R_{in}=5\text{nm}$, $s_2=9\text{nm}$, 和 $d_2=8\text{nm}$ 固定情况下, (a)进一步固定 $s_1=4\text{nm}$, $d_1=5\text{nm}$, $n_2=1.45$, 介质折射率 n_1 从 1.0 到 3.0 变化时, HMM 腔的散射效率变化谱; (b) 进一步固定 $s_1=4\text{nm}$, $d_1=5\text{nm}$, $n_1=1.8$, 当介质折射率 n_2 从 1.0 到 3.0 变化时, HMM 腔的散射效率变化谱; (c) 进一步固定 $n_1=1.8$, $n_2=1.45$, $s_1=4\text{nm}$, 银壳层厚度 d_1 从 0 nm 到 10 nm 变化时, HMM 腔的散射效率变化谱; (d) 进一步固 $n_1=1.8$, $n_2=1.45$, $d_1=5\text{nm}$, 介质层厚度 s_1 从 0nm 到 10nm 变化时 HMM 腔的散射效率变化谱。