

# 一种应用于双单元 MIMO 天线的 电磁带隙结构与仿真

刘卓<sup>1</sup>, 安宇宁<sup>2</sup>, 高攸纲<sup>1</sup>, 刘茂<sup>3</sup>, 毕军建<sup>4</sup>, 谭志良<sup>4</sup>

(1 北京邮电大学电子工程学院, 北京, 100876 2.北京邮电大学信息与通信工程学院 3.  
解放军 95866 部队, 071051 4.军械工程学院, 石家庄, 050003)

**摘要:** 本文设计了一种应用于工作频率为 2.6GHz 的双单元多输入多输出 (MIMO) 天线的新型电磁带隙结构 (EBG)。本文基于传统的蘑菇状结构, 将贴片改进为螺旋状, 调整偏移了过孔圆柱位置, 并采用了电磁带隙结构单元的整体倒“T”形状布局。过孔的位置以及结构单元的间隔基于 HFSS 电磁仿真软件进行了优化, 使新的结构在对天线系统传输特性影响很低的情况下更好的减小两个天线单元之间的耦合干扰。

**关键词:** 电磁带隙结构, MIMO 天线, 电磁耦合

**Abstract:** The paper presents a new kind of Electromagnetic Band Gap structure for a 2.6 GHz MIMO Antenna System. The structure has the unique shape of the patch, the inverted T shape layout of the structure unit cells, and the change of metal cylinder position,. The cylinder's position is optimized in the HFSS software, and the simulated results shows that the mutual coupling is largely improved with the S21 parameter from -24dB to -32dB. The return loss and the radiation characteristic still remain in a reasonable level. So the EBG structures are effective and reliable for the MIMO antenna system

**Keywords:** Electromagnetic Band Gap structure, MIMO antenna, mutual coupling.

## 引言

电磁带隙结构 (EBG) 是一种具有带阻特性的周期性排列结构, 在很多领域有重要的应用, 已用来改善天线性能, 增加功率放大器的效率和输出功率, 宽带衰减器以及频率选择表面等[1]。电磁带隙结构具有同相反射相位特性, 有助于降低天线剖面; 此外还具有表面波抑制带隙特性, 有助于改善天线的性能。比如增加天线的增益、减小侧向和后向辐射和减小天线单元之间的互耦等[2-4]。

MIMO 系统工作原理是在通信链路的两端分别采用多个天线, 信号通过多天线系统进行同步传送接收, 它在较大程度上利用了传播中的多径分量, 可以有效地抗多径衰落。因此应用于 MIMO 系统的终端天线引发了广泛深入的研究。

本文设计了一种新型的电磁带隙结构, 应用于 2.6GHz 的双单元 MIMO 天线系统, 实现了在对天线系统传输特性影响很低的情

况下, 减小了两个天线单元之间的电磁耦合。

## 1. 电磁带隙结构的设计

由于电磁带隙结构具有抑制表面波的特性, 因此可以通过合理的设计与布局来减小天线单元之间的互耦。

传统的蘑菇状电磁带隙结构单元如图 1 所示。它由于结构简单以及能够很好的减小耦合等优点而被广泛采用。然而对于某一特定的工作频率来说, 其尺寸往往较大, 不利于在电子系统中集成。因此, 寻找一种能够通过增加等效电阻或等效电容的方法来缩小电磁带隙结构的尺寸成为一个比较热门的研究方向。

本文中设计的一种由传统电磁带隙结构发展而来的新的结构能够有效地解决上述问题。该结构单元的左视图与俯视图分别如图 2 和图 3 所示, 由一个裁剪成旋转形状的金属贴片, 以及和贴片平面垂直的金属圆柱过孔构成。其中金属贴片位于两种电介质

交界面处，金属过孔贯穿第二种电介质，两端分别连接贴片和金属底板。图中相关参数的尺寸规格如下： $L=8\text{mm}$ ， $a=1\text{mm}$ ， $D=0.6\text{mm}$ ， $h_1=0.51\text{mm}$ ， $h_2=2\text{mm}$ ，其中“ $L$ ”是贴片的外围长度，“ $a$ ”是贴片中缝隙的宽度，“ $D$ ”是金属过孔的直径，“ $d$ ”是圆柱金属过孔的轴心偏离贴片中心的距离，“ $h_1$ ”是第一种电介质的厚度，“ $h_2$ ”是第二种电介质的厚度。本文中第一种电介质选取介电常数为 4.4 的 FR4\_epoxy 材料，第二种电介质选取为介电常数为 10.2 的 Rogers RO3010。

蘑菇状电磁带隙结构单元的等效回路如图 4 所示，其中“ $C$ ”为等效电容，主要来源于两相邻贴片间的边缘电容；“ $L_1$ ”为等效电感，主要来源于相邻两个贴片、地板与金属过孔形成的电流环。等效“ $LC$ ”回路的谐振频率由公式（1）所示。

新设计的电磁带隙结构单元贴片部分由连接中心的四个螺旋结构分支构成，螺旋结构导致增加了相邻结构单元之间的等效电感“ $L_2$ ”，所以此时的等效“ $LC$ ”回路如图 5 所示，对应的谐振频率由公式（2）所示。

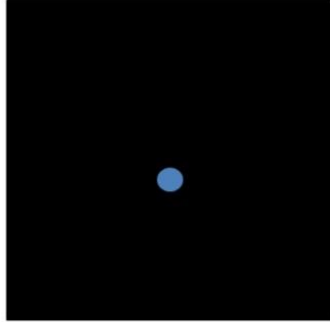


图 1 传统蘑菇状 EBG 结构单元

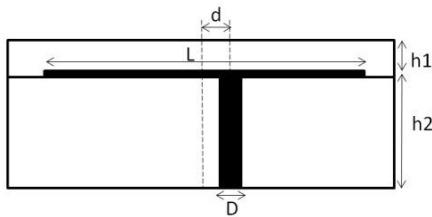


图 2 新 EBG 结构单元左视图

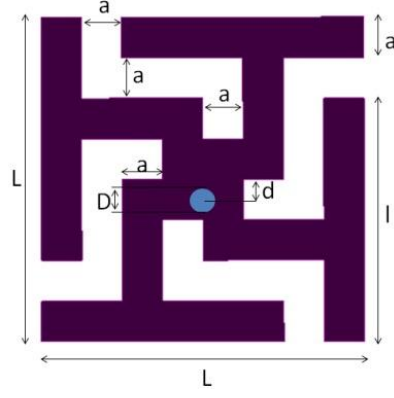


图 3 新 EBG 结构俯视图

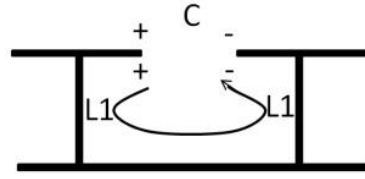


图 4 蘑菇状 EBG 单元等效回路

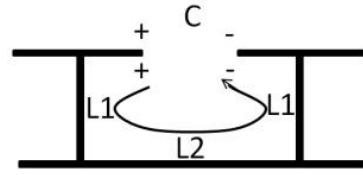


图 5 新 EBG 单元等效回路

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{2L_1C}} \quad (1)$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{(2L_1 + L_2)C}} \quad (2)$$

显然电磁带隙结构的谐振频率主要取决于等效电感与等效电容。即可以通过合理设计电磁带隙结构单元的相关参数来实现减小 MIMO 天线系统两个单元之间的耦合作用。本文中 EBG 结构整体布局设计如图 6 所示，7 个结构单元构成了一个倒“T”形状，两个相邻单元之间间距为 0.1mm。其中参数“ $d$ ”，即圆柱过孔的轴心偏移贴片中心的距离，会通过进一步分析进行优化。

本文中的 MIMO 天线系统由两个完全相同的子单元构成，如图 7 所示，天线的相关参数尺寸为： $W_1=15.6\text{mm}$ ， $W_2=1.3\text{mm}$ ， $W_3=1.05\text{mm}$ ， $W_4=1.05\text{mm}$ ， $W_5=1\text{mm}$ ，

$L1=19\text{mm}$ ,  $L2=5\text{mm}$ 。加入 EBG 结构的天线系统整体布局如图 8 所示,其中  $X=46\text{mm}$ ,  $X1=20\text{mm}$ ,  $X2=20\text{mm}$ ,  $X3=6\text{mm}$ ,  $X4=10.4\text{mm}$ ,  $X5=2.2\text{mm}$ ,  $Y1=17.5\text{mm}$ ,  $Y2=17\text{mm}$ ,  $Y3=5.5\text{mm}$ 。两个天线单元位于

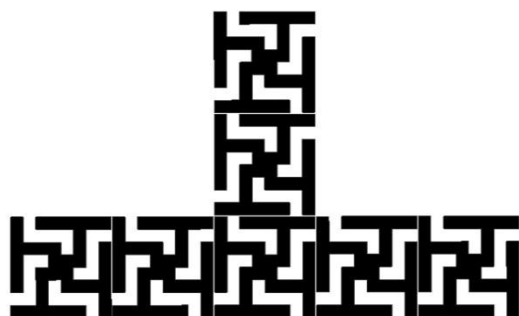


图 6 EBG 结构整体布局

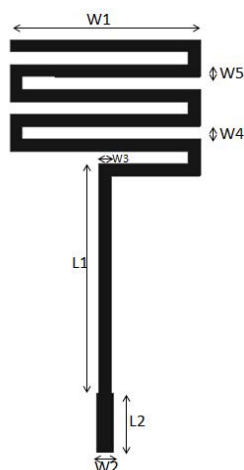


图 7 单个 MIMO 天线结构单元

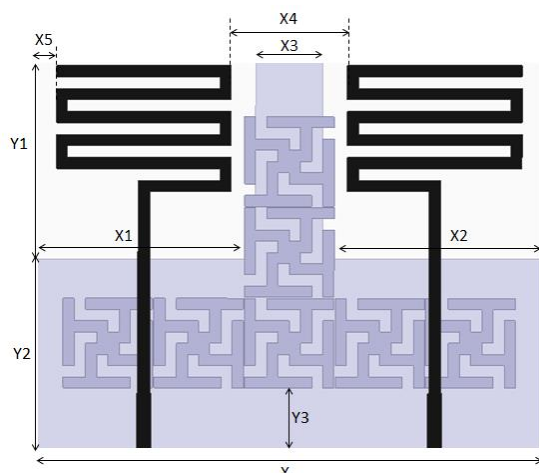


图 8 加入 EBG 结构 MIMO 天线系统整体布局

第一种电介质之上,在第二种电介质下为倒“T”形状的金属底板,而 EBG 结构的金属贴片则位于两种电介质的夹层中,通过贯穿第二种电介质的圆柱金属过孔连接至底板。

## 2. 仿真结果与讨论

MIMO 天线系统和 EBG 结构在电磁仿真软件 HFSS 中进行了全波仿真。为了尽量降低在工作频率  $2.6\text{GHz}$  时两个天线单元间的耦合,参数“ $d$ ”,即圆柱金属过孔的轴心偏离贴片中心的距离通过详细讨论进行优化。不同过孔偏移尺寸情况下  $S_{21}$  参数仿真结果如图 9 所示,随着过孔偏移程度逐渐加大,谐振频率会从高频到低频进行移动。当  $d=0.6\text{mm}$  时,可以达到  $2.6\text{GHz}$  的谐振频率,此时的  $S_{21}$  参数值为  $-32\text{dB}$ 。

当过孔在贴片的正中心位置时,只有一个谐振频率;而本文中将过孔位置适当偏移,这样就会产生两个谐振频率,分别向低频和低频移动[5]。在一定范围内,偏移量越大会导致两个谐振频率的移动幅度更大,由此  $d=0.6\text{mm}$  时实现了在  $2.6\text{GHz}$  频率处的谐振。

和未加入 EBG 结构的 MIMO 天线系统相比,加入后对  $S_{11}$  和  $S_{21}$  参数的影响分别如图 10 和图 11 所示。可以看到加入 EBG 结构后在  $2.6\text{GHz}$  时对回波损耗的影响很小,  $S_{11}$  参数保持  $-15\text{dB}$  以下;而加入 EBG 结构之后  $S_{21}$  参数由  $-24\text{dB}$  降到  $-32\text{dB}$ ,两个天线单元之间的耦合在很大程度上得到降低。

## 3. 结论

本文设计了一种新型的应用于工作频率  $2.6\text{GHz}$  的电磁带隙结构,在贴片形状、结构单元整体布局和过孔位置等方面有所创新,并应用电磁仿真软件 HFSS 对过孔偏移程度进行了优化分析,得到  $0.6\text{mm}$  为最佳偏移量。此时天线及电磁带隙结构系统整体在传输特性影响很低的情况下达到使两个天线单元之间的耦合由  $-24\text{dB}$  降低至  $-32\text{dB}$  的良好效果。

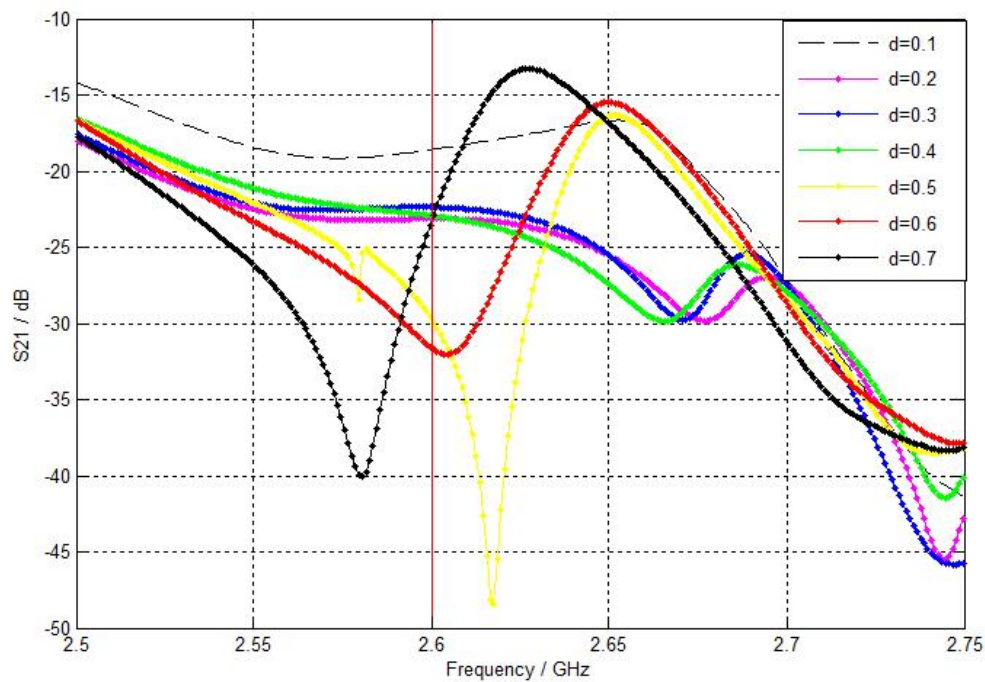


图 9 不同过孔偏移尺寸情况下 S21 参数仿真

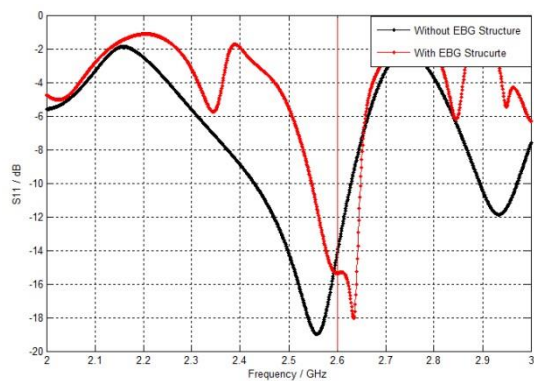


图 10 加入 EBG 结构前后的 S11 参数变化

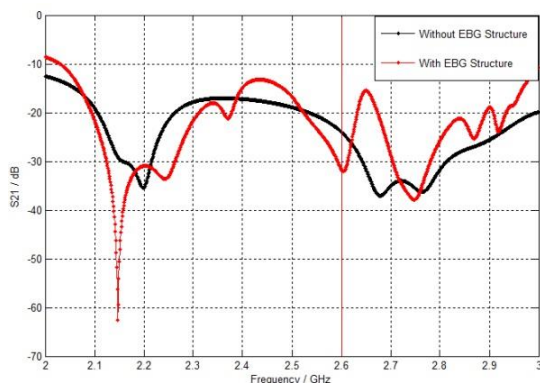


图 11 加入 EBG 结构前后的 S21 参数变化

## 参考文献

- [1]赵小莹, 周乐柱. 不同参量的二维介质电磁带隙的反射及传输特性研究. 北京大学学报(自然科学版), 2005 (03) .
- [2]Gonzalo R, Maagt P de, Soroll a M. Enhanced patch antenna performance by suppressing surface waves using photonic band-gap substrates[ J ] . IE EE Trans on Microwave Theory and Techniques , 1999, 47( 11) : 2131-2138.
- [3]陈曦, 梁昌洪, 刘松华, 梁乐.级联电磁带隙结构对双频微带天线互耦的影响.强激光与粒子束, 2010(10),Vol. 22, No.10.
- [4]Yang Fan, Rahmat Samii Y. Microstrip antennas integrated with electromagnetic band gap (EBG) structures: A low mutual coupling design for array applications[ J ] . IEEE Trans on Antennas and Propagation, 2003, 51( 10) : 2939-2949.
- [5]张丰敏, 杜正伟, 王蕾, 龚克. 一种展宽电磁带隙结构的带隙带宽的新方法.电子学报, 2007 (06) ,Vol.35,No6 (A) .