

# 用于偶极子天线的高增益异向介质覆层设计

郭 榕 翁子彬 焦永昌

(西安电子科技大学天线与微波技术国家重点实验室, 西安 710071)

**摘 要:** 分析了基于金属柱阵列的高增益异向介质覆层, 将偶极子的增益由 2.15dB 提高到 14.5dB, 且具有主瓣窄、副瓣电平低的特点。并提出利用 PCB 印制板工艺腐蚀出带状金属条替代金属柱制作异向介质覆层以减轻重量, 便于加工。该结构同样能极大提高增益, 且更具有工程实用性。

**关键词:** 异向介质覆层, 高增益, 金属条带

## The Design of High Gain Metamaterial Cover Used in the Dipole Antenna

GUO Rong, WENG Zi-bin, JIAO Yong-chang

(National Laboratory of Antenna and Microwave Technology, Xidian University, Xi'an 710071, China)

**Abstract:** In this paper, we analyze a high gain metamaterial cover based on metal cylinder array, and use it to increase the gain of dipoles from 2.15dB to 14.5dB, with narrow beam and low side-lobe levels. And then provides the use of metal strips etched on printed circuit board (PCB) process to substitute the metal cylinders in order to reduce weight and be easy in processing. The structure can also greatly increase the gain of dipoles and possess good practical engineering application.

**Key words:** Metamaterial, High gain, Metal strip

## 引 言

近几年来, 异向介质 (metamaterials) 由于其高阻抗面, 负折射率, 反向波等一些自然界中已有介质所不存在的电磁特性而备受关注。双负性材料 (double negative materials, 简称 DNG materials) 是指在特定频率范围内同时具有负介电常数和负磁导率的异向材料<sup>[1]</sup>。

2001 年, 美国加州大学 San Diego 分校的 D. R. Smith 等人根据英国帝国理工学院 J.B. Pendry 的研究结果, 用细金属导线 (Rod) 阵列构造介电常数  $\epsilon$  为负的介质, 以及用开路环谐振器 (SRR: Split Ring Resonator) 阵列构造磁导率  $\mu$  为负的介质, 首次构造出  $\epsilon$  与  $\mu$  同时为负的人工介质<sup>[2]</sup>。

本文将 J.B. Pendry 提出的构造介电常数  $\epsilon$  为负的铜导线阵列结构应用于天线覆层, 利用其结构在选定频率下的低折射率特性会聚电磁波, 极大提高天线的增益。并利用铜带代替铜导线改变其形状,

减少重量、降低成本且便于加工, 并分析了覆层对天线驻波特性的影响。

## 1 基于金属柱的高增益异向介质覆层设计

早在 1961 年, Rotman[3] 用细导线模拟等离子体, 它们的等效介电常数可以由表示为:

$$\epsilon_{eff} = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \quad (1)$$

其中  $\omega_p$  是等离子体频率,  $\omega$  是入射电磁波的频率。这里给出粗导线等效介电常数的修正公式<sup>[4]</sup>,

$$\epsilon_{eff} = 1 - k \frac{2\pi/(\epsilon_0 \mu_0 a d \ln(ax/r))}{\omega^2} = 1 - \frac{\omega_{pl}^2}{\omega^2} \quad (2)$$

其中  $a$  是粗导线之间的间距, 这里  $k$  取 1~2, 我们可以利用其谐振频率  $\omega$  在电等离子体频率  $\omega_{pl}$  以下这一特性, 构造负的等效介电常数。在一些实际工程中, 当  $\epsilon_{eff}$  接近零时就能体现特殊的性质<sup>[5]</sup>。当点源置于折射率  $n < 1$  的媒质中, 射线呈现会聚效

应,且折射率越接近 0,其会聚效果越明显。折射率  $n = \sqrt{\mu_r \epsilon_r}$ , 对于上面所分析的导线阵列,由于磁场作用在金属铜带上的效应很弱,基本可以忽略,因此其磁导率可以近似看成常数,故当等效介电常数  $\epsilon_{eff}$  接近零时,  $n$  也趋向于零。本文通过构造异向介质覆层并合适选取  $\omega$ , 使等效介电常数  $\epsilon_{eff}$  接近零,由此可以构造由导线构成的低折射率平板,用于实现天线的高增益。

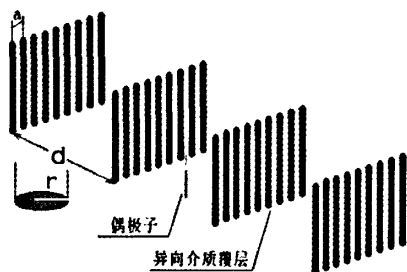


图1 金属圆柱异向介质覆层

当电场方向平行于导线时,在一定频率下材料的等效介电常数可使其呈现低折射率效应,故这里我们就可以构造一维的高增益覆层,应用于偶极子天线以实现电磁波会聚,提高增益。其结构如图1所示。该导线阵列共四层,层间距  $d=43\text{mm}$ ,导线半径为  $r=2.59\text{mm}$ ,长  $320\text{mm}$ 。同一覆层由9条导线构成,导线间距  $a=36\text{mm}$ 。我们设定偶极子的工作频率为  $2.6\text{GHz}$ 。这里  $\ln(a/r)=2.8$  (如图1,  $a$  为导

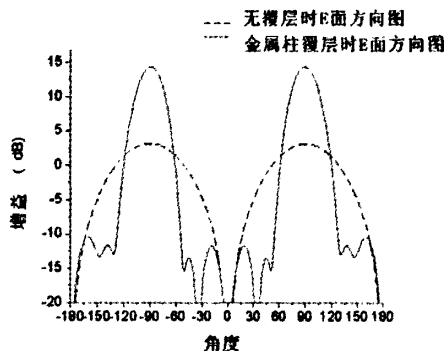


图2 有无覆层时偶极子E面方向图

线之间的间距), 取  $k=2$ , 根据公式(2)我们可以得到该覆层的等效相对介电常数为 0.02, 其折射率为 0.14。利用电磁商业软件 HFSS 仿真该结构, 分别

给出无覆层和加了覆层后偶极子的E面H面的方向图,如图2和图3。可以清楚的看到,由于覆层的低折射率,实现了对偶极子E面和H面的会聚,使其主方向的增益由普通偶极子的 2.1dB 提高到 14.5dB,实现高定向性。

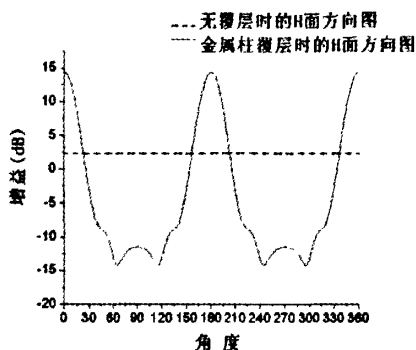


图3 有无覆层时偶极子H面方向图

## 2 基于金属条的高增益异向介质覆层设计

为了减轻重量,便于加工,这里利用 PCB 印制板工艺腐蚀出带状金属条替代金属圆柱线,如图4所示。金属条带的宽度  $w=5.18\text{mm}$ ,厚度  $h=0.07\text{mm}$ ,间距  $a=34.6\text{mm}$ ,长  $320\text{mm}$ ,我们利用金属条覆层代替图1的金属柱覆层,层间距做了适当调整,变为  $d=41\text{mm}$ ,其工作频率仍在  $2.6\text{GHz}$ 。利用商业软件 HFSS 仿真建立该结构模型,我们可以得到其E面和H面的方向图,其与金属柱覆层的对比图见图5和图6。我们可以看到,采用金属带同样可以达到类似的效果,且这种设计可以利用 PCB 板腐蚀工艺得到,便于加工,极大减小了覆层的重量,降低了成本,有利于实际的工程应用。

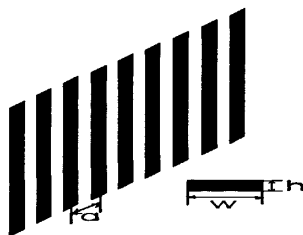


图4 由金属条构成的异向介质覆层

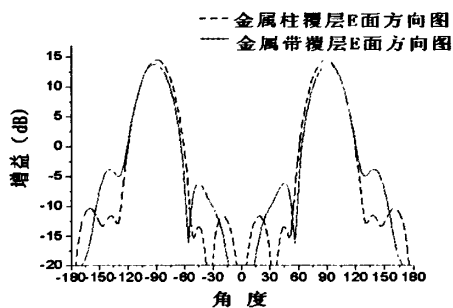


图 5 加金属柱和金属条覆层时偶极子的 E 面方向图

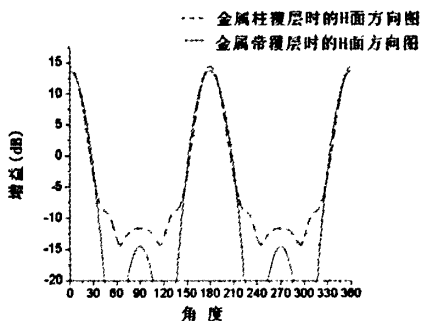
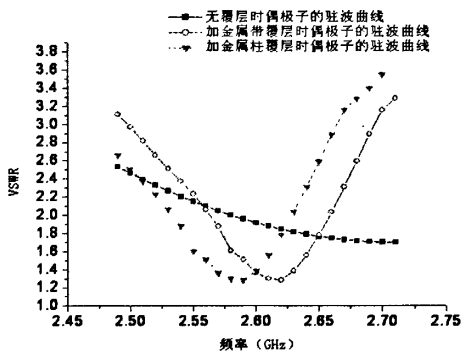
图 6 加金属柱和金属条覆层时偶极子的 H 面方向图  
万方数据

图 7 加异向介质前后偶极子驻波的对比如

## 4 结论

本文利用异向介质覆层,极大地提高了偶极子天线的增益,同时验证了导线阵列对于特定频段的会聚特性。文中提出应用 PCB 印制板工艺腐蚀出带状金属条替代金属柱制作异向介质覆层以减轻重量、便于加工,且同样能极大提高增益。同时,给出了其驻波特性,分析了覆层对于偶极子天线驻波的影响。本文对于异向介质在天线中的应用有极大的参考价值。

## 参 考 文 献

- [1] V. G. Veselago. The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of  $\epsilon$  and  $\mu$ . Sov. Phys. Uspekhi, 1968,10(4): 509~514
- [2] J. B. Pendry, A. J. Holden, W. J. Stewart, et al., Extremely Low Frequency Plasmons in Metallic Mesostructures, Phys. Rev. Lett., 1996,76(25): 4773~4776
- [3] W. Rotman. Plasmons Simulation by Artificial Dielectrics and Parallel-Plate Media. IRE Trans. Antennas Propagat, 1962, AP-10: 82~95
- [4] J.B. Pendry. Extremely Low Frequency Plasmons in Metallic Microstructures Phys. Rev. Lett., 1996
- [5] S. Enoch, G. Tayeb, P. Sabouroux, N. Guerin, and P. Vincent. A metamaterial for Directive Emission. Physical Review Letters, 2002, 89(21)

## 3 驻波特性分析比较

如图 7 所示,加入覆层后,会对驻波有一定影响,可以看出有覆层和没加覆层时带宽变化明显,这是因为此种覆层结构其通带频段较窄,只对较窄频段内实现低折射率,且由图中可以看出,由于覆层的作用,使偶极子天线的中心频率向低端偏移。故在实际应用中,我们应该合理考虑覆层影响,选择适当的工作频段,以达到最佳的效果。

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训：

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势：

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们：

- ※ 易迪拓培训官网：<http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网：<http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店：<http://shop36920890.taobao.com>