

共形异向介质覆层在单极子天线上的应用

翁子彬, 焦永昌, 王乃彪

(西安电子科技大学 天线与微波技术重点实验室, 陕西 西安 710071)

摘要: 当点源置于竖直放置的圆柱形低折射率介质 ($n < 1$) 中时, 其射线在竖直面会产生会聚特性而在水平面仍保持全向特性. 据此原理, 提出由金属柱阵列构成的圆柱共形异向介质覆层, 并应用于单极子天线. 利用矩量法对覆层的传输特性进行分析, 并对基于此种覆层结构的单极子天线进行了实验验证. 测试结果表明, 该覆层在对单极子 E 面方向图进行会聚的同时保持 H 面方向图的全向特性, 可使单极子的增益由 5.0 dB 提高到 7.8 dB.

关键词: 共形异向介质; 全向性; 低折射率

中图分类号: TN821.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2400(2007)02-0219-03

Application of the conformal metamaterial in a monopole antenna

WENG Zi-bin, JIAO Yong-chang, WANG Nai-biao

(Key Lab. of Antennas and Microwave Technology, Xidian Univ., Xi'an 710071, China)

Abstract: A source embedded in a vertically installed cylinder of the low-refractive medium ($n < 1$) will be concentrated in a narrow cone in the vertical plane and maintain its omni directivity in the horizontal plane. The ideas developed here are applied to the monopole using the conformal metamaterial cover which is composed of metallic cylinder arrays, the transmission properties of this metamaterial is analyzed by the method of moments, and the monopole antenna system based on the metamaterial cover is measured. Results show that the pattern of the monopole becomes more convergent in the E plane and maintains its omni-directivity in the H plane and that the gain of the monopole is increased from 5.0 dB to 7.8 dB.

Key Words: conformal metamaterial; omni-directivity; low-refractive

介电常数和磁导率是描述物质基本电磁特性的物理量. 2001 年, D. R. Smith 等人用细金属导线 (Rod) 阵列构造介电常数 ϵ 为负的介质, 用开路环谐振器 (SRR) 阵列构造磁导率 μ 为负的介质, 首次实现 ϵ 与 μ 同时为负的人工介质^[1-3].

笔者将 J. B. Pendry 提出的铜导线阵列结构应用于天线设计^[4], 提出了一种新型圆柱共形异向介质覆层, 并将其用于单极子天线. 相比于其他覆层在天线定向辐射中的应用, 笔者通过共形设计, 寻求异向介质覆层在全向天线中的应用. 该覆层能在提高单极子天线增益的同时保持其全向特性, 为异向介质共形覆层在全向线天线阵及其他领域的进一步应用打下良好的理论和实验基础.

1 理论分析

金属周期结构材料可以模拟自然界中不存在的均匀介质. 由于金属内部电子的等离子体谐振, 对射入其中的电磁波会产生一种特性响应. J. B. Pendry 提出, 以一定周期排列的金属网格, 当其周期尺寸可以和波长相比拟时, 能构造出一种低等离子体频率的均匀介质, 并利用物理学中的等离子体振子理论, 通过引入等效

电子密度和等效电子质量的概念,得到介电常数与阵列参数之间的关系模型

$$\epsilon_{\text{eff}} = 1 - \omega_p^2 / \omega^2 \quad , \tag{1}$$

其中 ω_p 是等离子体频率,由阵列参数决定; ω 是入射电磁波的频率. 过去的很多理论和实验都表明了采用该等效参数来描述由金属柱阵列构成的异向介质的可行性,其等效介电常数可以由式(1) 表示. 当电场平行于金属柱的入射电磁波的频率小于 ω_p 时,其等效介电常数为负值,这即是双负材料中负介电常数的产生原理. 从另一个角度来说,当入射波频率略大于 ω_p 时,其等效介电常数的值可接近零. 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,从而使其折射率 $n = (\epsilon_r \mu_r)^{1/2}$ 接近于零^[5].

在这里分析一下点源置于折射率接近零的圆柱形异向介质中的情形. 如图 1 所示,在 XOZ 平面,由点源发出的射线在低折射率材料和空气的分界面处发生会聚,由于折射率接近于零,其折射光线将沿接近垂直分界面的方向射出. 在 XOY 平面,由于点源发出的光线垂直入射到分界面上,其折射光线保持原方向,垂直于分界面射出. 由此可以看到,在该异向介质中的点源在 XOZ 面实现会聚而在 XOY 面保持其全向特性.

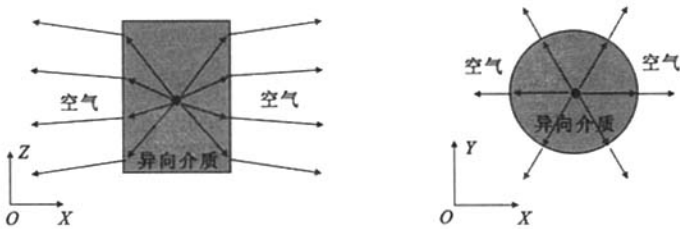


图 1 置于折射率接近零的异向介质中的点源其射线的传播示意图

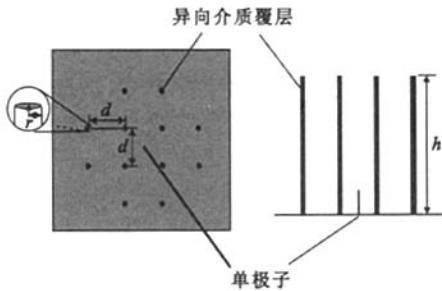


图 2 共形异向介质覆层结构示意图

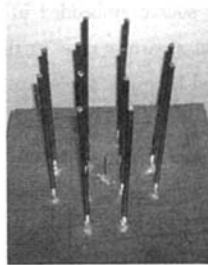


图 3 实物模型

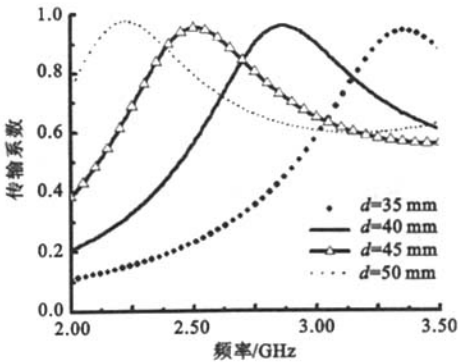


图 4 金属柱阵列的传输系数随 d 变化的曲线($r = 2\text{ mm}$)

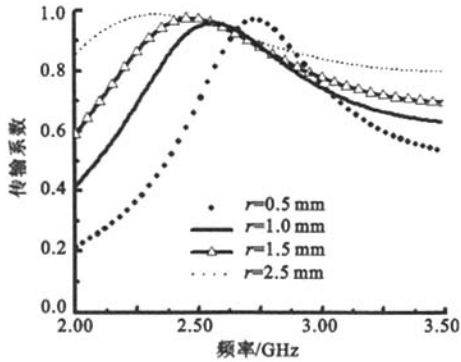


图 5 金属柱阵列的传输系数随 r 变化的曲线($d = 43\text{ mm}$)

为了将上述设计思想应用于天线,在提高增益的同时保持全向特性,笔者设计了一种圆柱共形异向介质结构. 该结构由 12 根金属柱围绕单极子排列而成,如图 2 和图 3 所示. 图 4 和图 5 给出利用矩量法仿真金属柱阵列的传输特性随金属柱半径及间距的变化曲线^[6]. 由式(1)可知,入射电磁波的频率小于 ω_p 时,其等效介电常数为负值,波在介质内表现为倏逝波,故在低频端呈现阻带特性,该传输特性也证明了利用等离子体模型分析金属柱阵列的有效性. 由其传输特性可以看出,其等效等离子体频率 ω_p 随着覆层间距的增大而减小,随着金属柱半径的增大而增大,故可根据需要选择合适的尺寸来确定其等离子体频率.

2 实验验证

为了便于加工和实验,选取金属柱半径 $r=2\text{ mm}$,金属柱之间的间距 $d=45\text{ mm}$. 为了减少覆层上方的漏射,取金属柱的高度 $h=120\text{ mm}$,单极子高度 $L=28\text{ mm}$,半径为 0.5 mm ,置于金属柱阵列中心,地板尺寸为 $160\text{ mm}\times 160\text{ mm}$,实物模型如图 3 所示. 由图 4 可以看出该尺寸材料的等效等离子体频率约为 2.5 GHz . 为了验证上节所述的设计思想,分别对加覆层和不加覆层的单极子天线进行了测试. 实验在远场进行,分别在 2.55 GHz , 2.60 GHz 两个频点对加覆层的单极子天线的 E 面(XOZ 面)和 H 面(XOY 面)方向图进行测量. 对于没加覆层的单极子天线,由于在一定频率范围内其增益、方向图变化不大,故只须测量工作频率为 2.60 GHz 时的增益及方向图. 发射天线采用 BJ22 开口波导天线,接收天线距离发射天线 10 m 以保证其远场条件,标准增益天线采用 S 波段最佳角锥喇叭天线,其驻波曲线如图 6,天线参数及远场归一化方向图如表 1 及图 7 所示. 测试结果表明,单极子带宽变窄, E 面方向图实现了会聚,两个频点的波瓣宽度也明显地变窄,增益有很大提高. 而在 H 面,加了共形异向介质覆层的单极子仍保持良好的全向特性. 当工作频率为 2.55 GHz 时,由于其更接近等效等离子体频率,由式(1)可知其等效介电常数较小而折射率较低,故其会聚效果较 2.60 GHz 时要明显.

表 1 无覆层及加覆层时单极子天线参数

	工作频率/GHz	增益/dB	半功率波瓣宽度/(°)	不圆度/dB
无覆层	2.60	5.0	66	<3
加覆层	2.55	7.8	30	<3
	2.60	7.0	41	<3

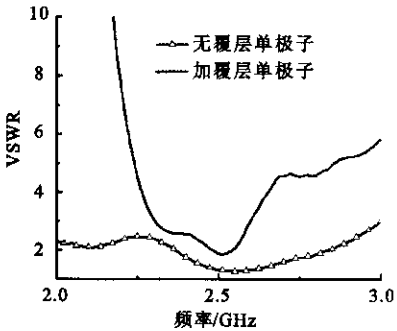


图 6 加覆层与不加覆层时的驻波曲线

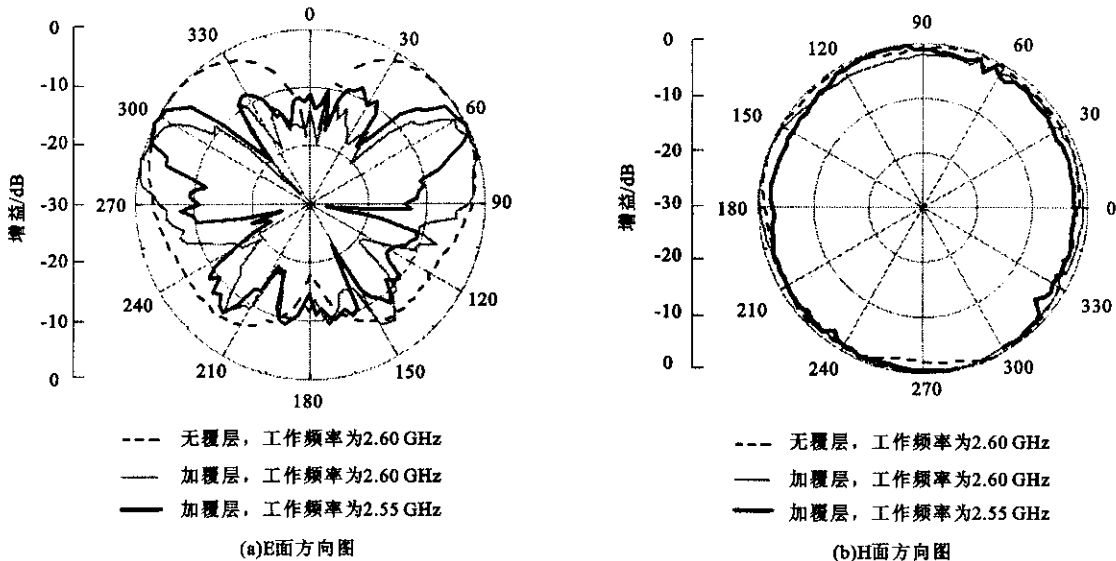


图 7 无覆层的单极子方向图及加共形覆层后的单极子方向图

3 结束语

笔者将共形异向介质覆层应用于单极子天线,在提高增益的同时保持了单极子天线的全向特性. 虽然对
万方数据 (下转第 273 页)

序的灵活性以及消息验证、次序验证、消息机密性、消息的不可否认性和鲁棒性. 基于身份公钥密码系统和椭圆曲线上双线性对的使用,降低了方案实施的代价. 与已有多重签名方案相比,笔者提出的多重签名方案具有高效性,能很好地应用于低带宽和资源受限的通信网络.

参考文献:

[1] Zheng Y. Digital Signcryption or How to Achieve $\text{Cost (Signature \& Encryption)} \ll \text{Cost (Signature)} + \text{Cost (Encryption)}$ [C]//Advances in Cryptology-Crypto'97; LNCS 1294. Berlin; Springer-Verlag, 1997; 165-179.

[2] Mitomi S, Miyaji A. A General Model of Multisignature Schemes with Message Flexibility, Order Flexibility, and Order Verifiability [J]. IEICE Trans on Fundamentals, 2001, E84-A(10), 88-99.

[3] Pang X, Catania B, Tan K L. Securing Your Data in Agent-based P2P Systems[C]//In Proceedings of Eight International Conference on Database Systems for Advanced Applications (DASFAA'03). Kyoto; IEEE Computer Society, 2003; 55-65.

[4] Seo S H, Lee S H. A Secure and Flexible Multi-signcryption Scheme [C]//ICCSA 2004; LNCS 3 046. Berlin; Springer-Verlag, 2004; 689-697.

[5] Shamir A. Identity-based Cryptosystems and Signature Schemes [C]//Advances in Cryptology, Crypto'84; LNCS 196. New York; Springer-Verlag,1984; 47-53.

[6] Zhang Futai, Zhao Fuxiang, Wang Yumin. A Signature Scheme with Shared Verification Based on Verifiable Secret Sharing[J]. Journal of Xidian University, 2002, 29(2); 210-214.

(编辑: 齐淑娟)

(上接第 221 页)

于单个单极子天线,由于覆层的高度增加过多,限制了其实际应用范围,但是,当该覆层应用于线天线阵时,其增加的长度相比线阵的长度就比较小了,且由于其单元增益较高,使用较少单元排阵即可实现高增益,有利于线天线阵的小型化.

参考文献:

[1] Smith D R, Padilla W J, Vier D C, et al. Composite Medium with Simultaneously Negative Permeability and Permittivity [J]. Phys Rev Lett, 2000, 84(18); 4 184-4 187.

[2] Smith D R, Kroll N. Negative Refractive Index in Left-handed Materials[J]. Phys Rev Lett, 2000, 85(14); 2 933-2 936.

[3] Shelby R A, Smith D R, Schultz S. Experimental Verification of a Negative Index of Refraction[J]. Science, 2001, 292 (18); 77-79.

[4] Pendry J B, Holden A J, Stewart W J, et al. Extremely Low Frequency Plasmons in Metallic Mesostructures[J]. Phys Rev Lett, 1996, 76(25); 4 773-4 776.

[5] Enoch S, Tayeb G, Sabouroux P, et al. A Metamaterial for Directive Emission[J]. Physical Review Letters, 2002, 89 (21); 21 390-21 392.

[6] Zhai Huiqing, Li Long, Liang Changhong. The Hybrid Method of MoM-PO for Antenna Radiation of Line-surface Structure Object[J]. Journal of Xidian University, 2003, 30(4); 502-505.

(编辑: 郭 华)

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)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)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)，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>