

基于多层 LCP 技术的毫米波段超宽带槽天线

金大鹏 肖绍球 王秉中

(电子科技大学物理电子学院, 成都 610054)

摘要: 基于多层液晶聚合物电路工艺, 本文提出了一种毫米波段的超宽带锥形槽天线。多层电路板由 8 层金属层和 7 层液晶聚合物构成。为了增强带宽, 我们把两层张角不同的锥形槽分别放在第三层和第五层金属上。由于使用金属地板, 后向辐射较小。设计结果表明毫米波段的超宽带锥形槽天线的工作频率在 33GHz-60GHz (相对带宽 58%)。对三个频率点的方向图计算证明在整个工作频率范围内可以获得椭圆极化。研究表明液晶聚合物工艺适合于发展小型高性能的毫米波天线。

关键词: 超宽带天线, 液晶聚合物, 锥形槽天线, 多层电路

Ultra Wide-Band (UWB) Slot Antenna Based on Liquid Crystal Polymer (LCP) Material for Millimeter Wave Application

JIN Dapeng, Xiao Shaoqiu, Wang Bingzhong

(School of Physical Electronics, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract: An millimeter wave ultra-wide band (UWB) tapered slot antenna is presented based on a multilayer liquid crystal polymer (LCP) circuit process. The multilayer circuit board consists of eight copper layers and seven LCP layers. In order to enhancing the bandwidth, two overlapped tapered slots with different flare angle are applied in the 3rd and the 5th copper layers, respectively. A low backward radiation characteristic is achieved due to using the ground-backed structure. The designed results indicate that the millimeter wave UWB slot antenna can work in the frequency band of 33GHz-60GHz (a relative bandwidth of 58%). The radiation patterns are calculated at three typical frequencies and the analysis demonstrates that an elliptical polarization performance is obtained within the total operation frequency band. The study also demonstrates that the LCP process is suitable for developing lightweight and high performance millimeter wave antennas.

Keywords: Ultra Wide-Band (UWB) antenna; liquid crystal polymer; tapered slot antenna; multilayer circuit

1 引言

无线宽带通信的迅猛发展需要能传输高比特率的新型宽带天线。毫米波段是短距离高比特率无线通信的重要波段。所以近年来, 毫米波段小型高性能的超宽带天线吸引了大量的研究人员在这方面进行研究工作。

天线设计的另一个重要趋势是集成天线的射频前端电路。在过去几年中, 低温共烧陶瓷技术(LTCC)大量用于射频前端电路。但是, LTCC 由于其相对较高的介电常数会导致阻抗带宽较窄和明显的表面

波, 并不是一种理想的用于天线集成的材料。最近, 提出了将液晶聚合物(LCP)材料用于微波和毫米波射频前端电路集成和封装。LCP 作为一种新材料, 损耗比 LTCC 更低, 非常适用于制造微波, 毫米波设备, 因而有很好的应用前景。其优点如下: 低损耗(频率为 60GHz 时, 损耗角正切值 0.002-0.004), 灵活性, 密封性(吸水率小于 0.004%) [1]。正是基于以上优点, LCP 可用于制造高频器件。

2 超宽带槽天线设计

2.1 单层槽天线的结构设计

锥形槽天线是一种重要的超宽带天线类型,显示了一些优点如宽带和高增益[2]。此类天线的基本设计原则见文献[3]。在传统的锥形槽天线中接地板是没有使用的,能量辐射到锥形槽的两侧。在设计集成天线,一般需要把天线安装在金属地板之上,但是金属板会严重影响天线性能,如减少工作带宽。因此,带地板的锥形槽天线设计是一项重要的工作和严峻的挑战。

图 1 是 LCP 工艺结构的侧视图。电路板由 8 层金属和 7 层介质组成,厚度分别为 $h_1=50\mu\text{m}$, $h_2=18\mu\text{m}$, 介质层的相对介电常数是 2.9。



图 1 LCP 工艺结构图

我们基于多层 LCP 电路板设计带地板的覆盖毫米波低频段的超宽带槽天线。立体结构如图 2 所示。能量通过最上层的微带线馈入天线,线性锥形槽放在第三层金属上,通过微带一槽线将能量从馈线耦合到辐射槽,见图 4。对于微带馈线来讲,第三层金属相当于地板,因此用金属柱将辐射槽和接地板连在一起。第二,四,五,六,七的金属蚀刻形成空气隙,由两个长方体组成,形状类似于“凸”字,如图 5 所示。这两个长方体的尺寸分别是 $L_9 \times W_7 \times h_1$, $L_{10} \times W_8 \times h_1$ 。空气隙主要作用是增加介质层的厚度,展宽带宽。另外,由于金属层只是蚀刻去一部分,可以加强机械强度。优化后的结构尺寸见表格 1。

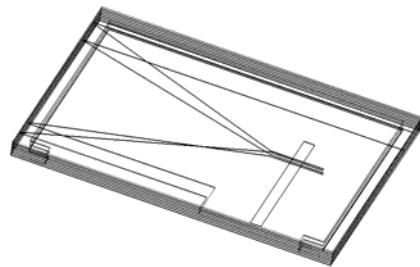


图 2 立体结构图

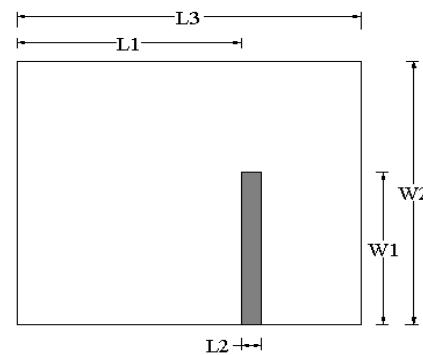


图 3 第一层微带线

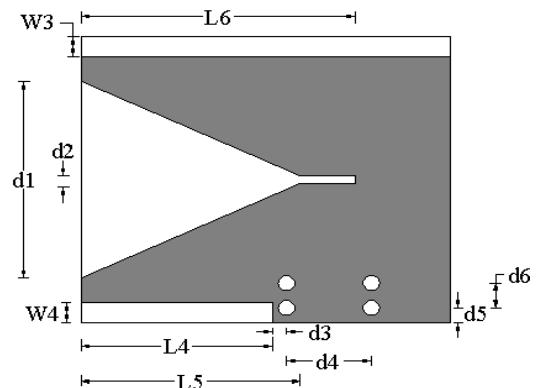


图 4 第三层辐射槽

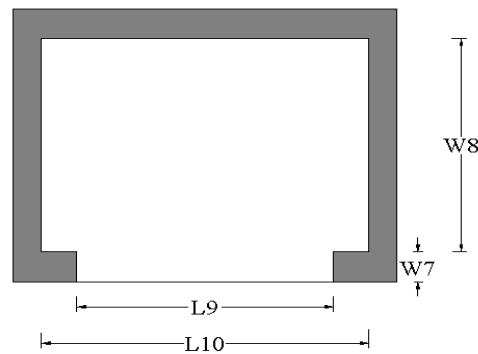


图 5 第 2, 4, 5, 6, 7 层的空气隙

表 1 单层锥形槽的尺寸

L1	8.80mm	d2	0.10mm
L2	0.32mm	d3	0.2mm
L3	13.50mm	d4	3.52mm
W1	6.75mm	d5	0.20mm
W2	11.50mm	d6	0.50mm
L4	7.00mm	L9	9.00mm
L5	7.30mm	L10	11.50mm
W3	1.00mm	W7	1.25mm
W4	1.00mm	W8	9.00mm
d1	8.50mm		

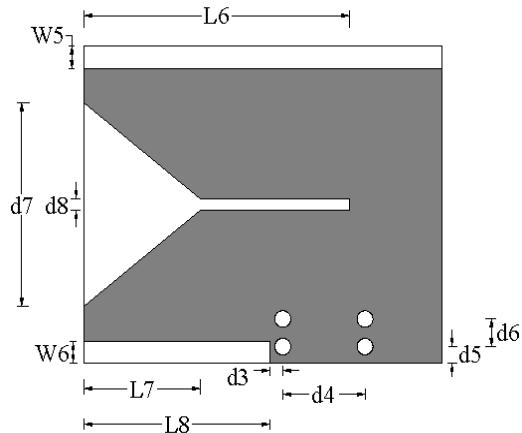


图 7 第五层锥形槽

2.1.2 天线的仿真结果

使用 Ansoft HFSS 9.0 和 CST 2005 软件对这种天线模型进行了仿真, 仿真结果如图 6 所示。反射系数小于-10dB 的带宽仅从 40GHz 至 52GHz。42GHz 和 47GHz 两个谐振点的增益分别为 2.1dBi, 3.0dBi。两种软件的仿真结果表明很难达到设计要求。

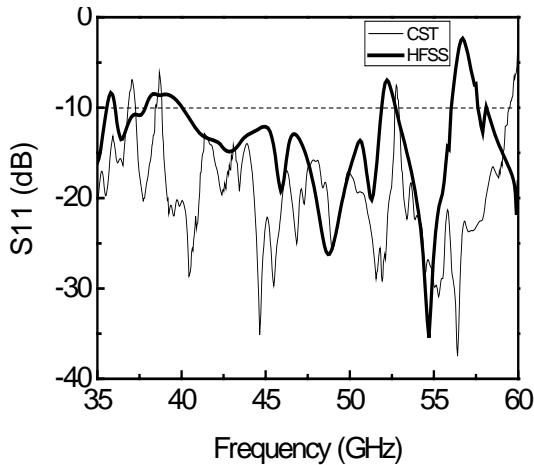


图 6 单层锥形槽的 S11 图

2.2 双层槽天线的结构设计

单层槽天线的仿真结果不能满足实际应用对带宽的要求。为了进一步展宽带宽, 考虑到此类天线主要由直线渐变缝隙辐射, 因此在原来的基础上, 将第五层金属蚀刻成另一个不同尺寸的锥形槽, 见图 7。结构尺寸见表格 2。

表 2 第五层锥形槽尺寸

d3	0.2mm	L6	10.00mm
d4	3.52mm	L7	3.50mm
d5	0.20mm	L8	7.00mm
d6	0.50mm	W5	1.20mm
d7	8.20mm	W6	1.20mm
d8	0.20mm		

2.2.2 天线的仿真结果

同样, 我们使用 Ansoft HFSS 9.0 和 CST 2005 两种软件对天线模型进行了仿真, 见图 9。从 S11 图可以看出双层的锥形槽大大展宽了带宽, 反射系数小于-10dB 的带宽从 33GHz—60GHz, 覆盖毫米波低频段。在三个谐振点 39GHz, 42.6GHz, 52.7GHz 的增益分别为 2.1dBi, 3.0dBi, 3.2dBi, 方向图如下所示。

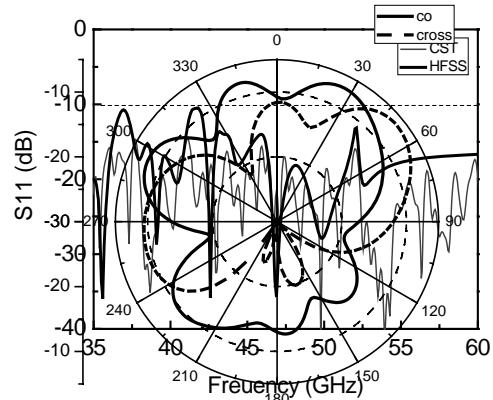


图 8 双层锥形槽的 S11 图

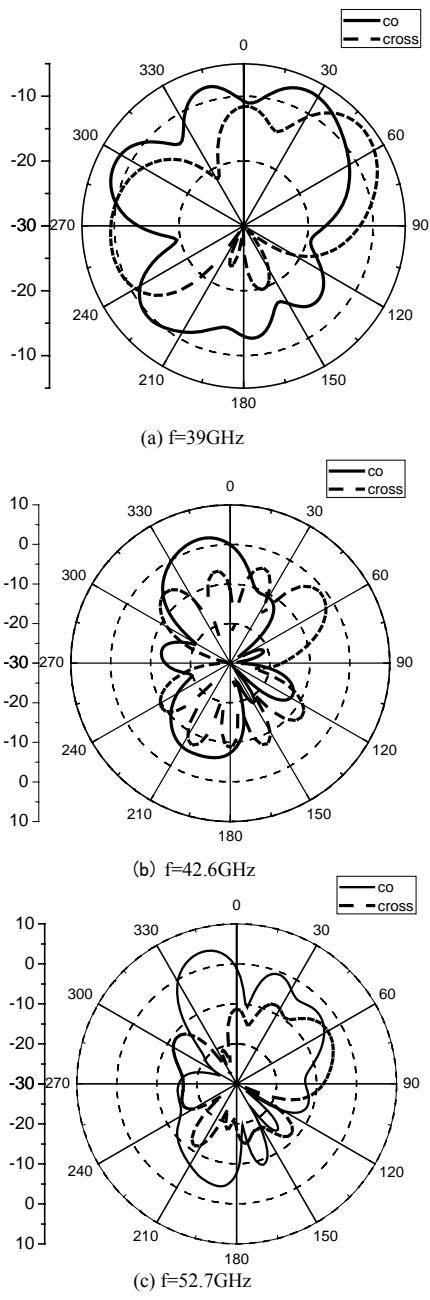


图 9 天线的方向图($\phi=0^\circ$)

从图 9 可以看出, 锥形槽天线显示出明显的多频特性。谐振点的位置主要有渐变缝隙的长度决定, 当渐变缝隙的长度变长时, 同一频段的谐振点变多。而且, 渐变缝隙的张角对谐振点的回波损耗值有影响。通过方向图发现, 此类天线具有十分稳定的方向图, 随着频率的升高, 天线的方向性在逐渐增强, 波束宽度在变窄但波束指向始终不变。

3 结论

本文基于 LCP 电路工艺, 提出了一种毫米波段的超宽带锥形槽天线。为了进一步展宽带宽, 首次提出用两个锥形槽相结合的设计方案。带金属地板的结构可以有效抑制天线的后向辐射。设计的结果表明, 该天线可以工作在 33GHz—60GHz, 整个工作带宽内方向图基本一致。由于天线是椭圆极化, 因此可以工作在复杂的环境中。该研究表明, LCP 电路工艺适合发展低成本, 重量轻和高性能的毫米波天线。

参 考 文 献

- [1] D. C. Thompson, O. Tantot, H. Jallageas, G. E. Ponchak, M. M. Tentzeris, and J. Papapolymerou, "Characterization of Liquid Crystal Polymer (LCP) Material and Transmission Lines on LCP Substrates from 30-110 GHz," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 52, pp.1343-1352, Apr., 2004
- [2] K. F. Lee and W. Chen, "Advances in microstrip and printed antennas," John Wiley & Sons, Inc. 1997
- [3] K. S. Yngvesson, D. H. Schaubert, T. L. Korzeniowski, E. L. Kollberg, T. Thungren, and J. F. Johansson, "Endfire tapered slot antennas on dielectric substrates," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. AP-33, no. 12, pp.1392-1400, Dec.1985

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,一直致力于专注于微波、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>