

具有Parylene-C保形涂层的加载电容柔性天线

Flexible Capacitively Loaded Antenna with Parylene-c Conformal Coating

Yijie Qiu(1,2), Yei Hwan Jung(2), Subin Lee(1,2), Juhwan Lee(2) and Ting-Yen Shih(2); Yuehang Xu(1), Ruimin Xu(1) and Weigan Lin(1); Justin C. Williams(2), Nader Behdad(2) and Zhenqiang Ma(2), 中国科技大学(1)和威斯康星大学麦迪逊分校(2)

本文设计了一种可应用于无线局域网和超宽带系统的用parylene-c涂覆的小型平面柔性单极天线。该天线在聚酰亚胺薄膜上制作，并包含可折叠和可弯曲的由微带线馈电的辐射带。为减小尺寸，在辐射带开路端加载了一个平行板电容器。该天线可工作在2.4-2.484GHz和3.8-10.6GHz。本文也呈现了折弯情况下的远场辐射图。

柔性电子器件剖面窄、质量轻，并且可以贴合弯曲的表面。^[1]近几十年已出现大量相关研究，涉及医疗保健、移动通信、柔性屏幕、可穿戴个人通讯设备和生物医学遥测等领域。^[2-3]

为了将诸如无线局域网（WLAN）和超宽带（UWB）技术等不同的通信标准同时应用在单个可携带设备上，对于轻量、多频段天线的设计已经进行了许多研究。^[4-6]根据IEEE 802.11无线局域网标准，WLAN的频带划分为2.4-2.484GHz、5.15-5.35GHz和5.725-5.825GHz。在2002年，美国联邦通信委员会正式将3.1-10.6GHz频段分配给免许可的UWB通信应用。

单极天线因其结构简单、剖面窄而广泛地应用于通信系统中，这种天线质量轻，并且具有宽带特性。其结构多样，可采用的有弧形、半椭圆边缘^[8]、U型^[9]等。为进一步缩小尺寸、改善输入匹配，也可采用几种加载技术，比如电容加载^[10]、电感加载^[11]和多谐振器加载^[9]。但是，现今大多数采用加载技术的天线并非在薄、柔性介质基板上制作。

本文介绍了一种可同时在WLAN和UWB高频带内工作的柔性单极天线，采用了电

容加载技术。天线厚度仅为127 μm ，涂覆了10 μm 的parylene-c保护薄膜以减少腐蚀影响。在平面和弯曲情况下的输入端回波损耗、幅度辐射图和增益测量结果表明，该天线可以在弯曲或变形时不出现明显性能恶化。由于使用了parylene-c保形涂层，该天线在恶劣环境下依然可以正常工作。

天线结构与设计

图1为天线的几何结构和尺寸，图2是制作出的天线实物图（包含一个超小型的SMA接头）。图中可清晰地看出天线柔软性良好。该天线在杜邦公司的Kapton HN聚酰亚胺薄膜基板上制作，薄膜厚度为127 μm ，介电常数为3.5，损耗角正切值为0.0008。天线总体尺寸为28mm \times 18mm。

该天线为双面印制，包含一个50 Ω 的微带馈电、一个双阶阻抗变换器、一个开路带、一个辐射弯曲带和一个圆片负载电容。在上面的两个矩形金属接地片通过六个金属过孔与聚酰亚胺薄膜下面的接地面连接起来。

基板上面的两个对称的金属接地片是为了方便连接SMA end-launch连接器用于测量

而设计的。再将一个二阶阻抗变换器连接在50Ω传输线馈电上，来改善宽带输入阻抗匹配。7.5mm长开路带进一步优化工作频带内的输入端回波损耗，因此只要改变带长就可以对天线的中心频率进行微调。

考虑到聚酰亚胺基板厚度只有127μm，可以轻易实现平行电容板加载。基板下面的圆片以及上面的宽2.3mm的开路带共同决定了加载的总电容。已知面积S和厚度d，容性负载的电容值约为：

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d} \quad (1)$$

ϵ_r 是聚酰亚胺基板的相对介电常数 ($\epsilon_r=3.5$)， ϵ_0 是电常数 ($\epsilon_0=8.85 \times 10^{-12}$)，电容器的面积约为 $3.01 \times 10^{-6} \text{m}^2$ ，通过公式计算出的电容约为0.7pF。

Parylene-c产品可以在市场上买到，该材料具有质量轻、无应力、光学透明和化学/生物惰性等优点，是一种良好的阻隔材料。不仅如此，它的介电常数很低 ($\epsilon_r=2.95$)，损耗也很低 (6GHz时 $\tan \delta \approx 0.002$)。^[12]本设计中选用Parylene-c作为涂覆层，厚度约为10μm，恶劣环境下的可靠性得以提高。

天线制作

单极天线在威斯康星大学麦迪逊分校的威斯康星微电子应用中心完成制作。图3为制作加工的过程图。为了打出精确的过孔，做出矩形部件形状，先用紫外线切割127μm厚的薄膜（杜邦的Kapton HN）。作为微型制作的常规手段，切割好的薄膜放在涂覆聚二甲基硅氧烷（PDMS）的玻璃板上进行层压。首先在薄膜上面和过孔上均匀喷溅一层1μm厚的镀铜，接下来再用光刻铜板完成蚀刻过程，这

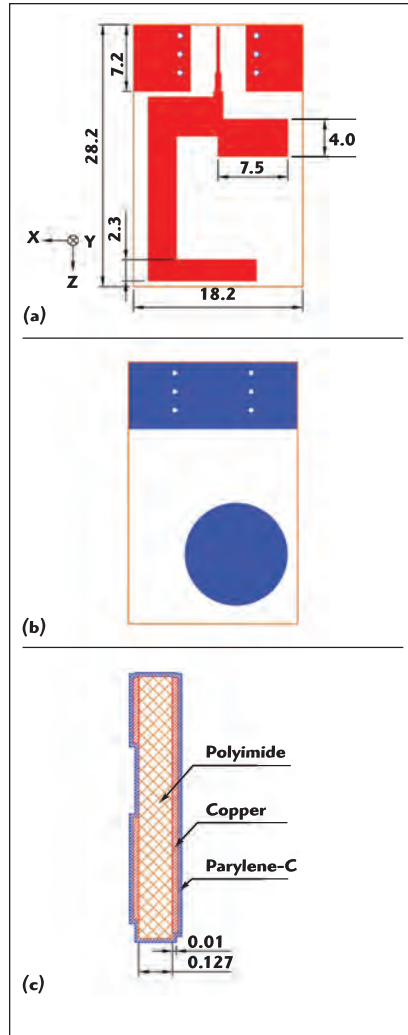


图1. 单极天线几何结构 (单位mm)：(a) 上面 (b) 下面 (c) 剖面。



图2. 天线实物图。

一步做出了圆片与接地金属片。为了形成天线结构，还要把薄膜翻过来送到另一片PDMS涂覆的玻璃板上，这一面同样也要镀铜后用光刻完成蚀刻过程，至此天线的制作完成。最后只要将制作完成的天线从玻璃基板上剥

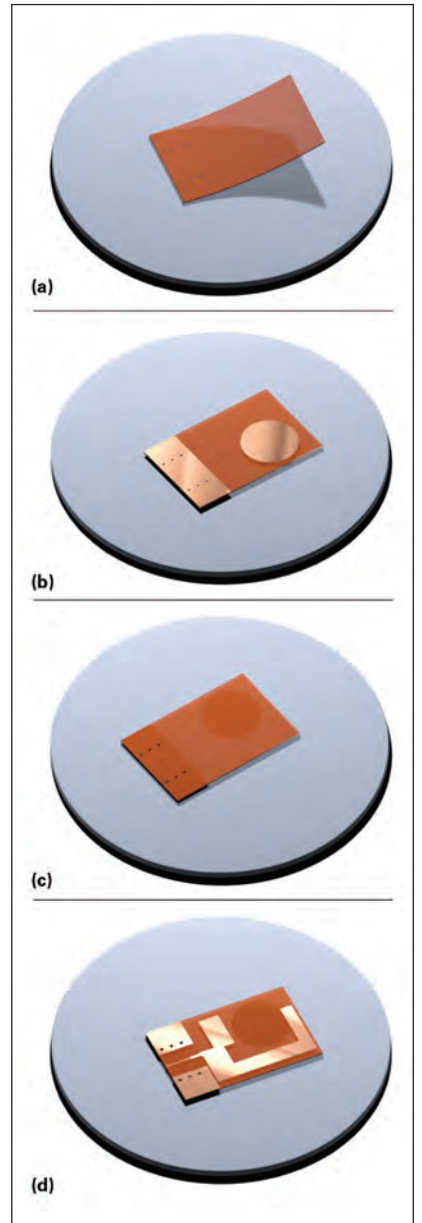


图3. 制作过程：(a)在玻璃板上进行薄膜层压 (b) 沉淀并蚀刻铜层 (c) 取下翻面后送至另一个玻璃板上 (d) 对另一面沉淀并蚀刻铜层。

下即可。

微带线馈电处焊接一个Amphenol Connex公司的SMA end launch jack连接器。考虑到基板非常薄，焊接时为了防止熔化，温度应控制得尽可能低（约200℃）。

接好SMA连接器后，天线被送到涂覆室在表面上涂覆一层10 μm厚的parylene-c。处理方法是先把固态

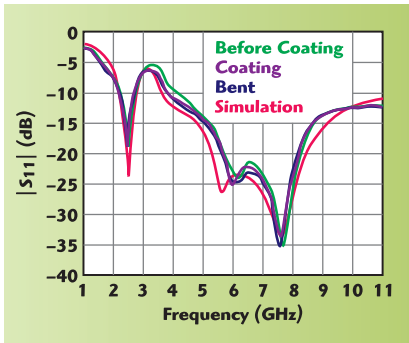


图4. 天线仿真与实际测量的回波损耗。

parlylene-c二聚物放在蒸馏器里加热到150度进行热解，气态的二聚物会转化成单体，最后将该单体转移到室温下的真空沉积室，在天线的聚酰亚胺基板上形成一层薄膜。

测量结果

天线输入端的回波损耗、辐射图和增益均用Satimo球面近场测量系统测得。图4是仿真与实测结果的比较，由图可知二者表现了良好的一致性。制成的天线在2.4-2.484GHz和3.8-10.6GHz频率范围内有-10dB的阻抗带宽，这两个频率分别对应WLAN和UWB高频带。

图4还比较了涂覆parlylene-c前后的回波损耗变化，由图可以看出10 μ m的parlylene-c涂层对其影响不大。其原因是，parlylene-c涂层材料

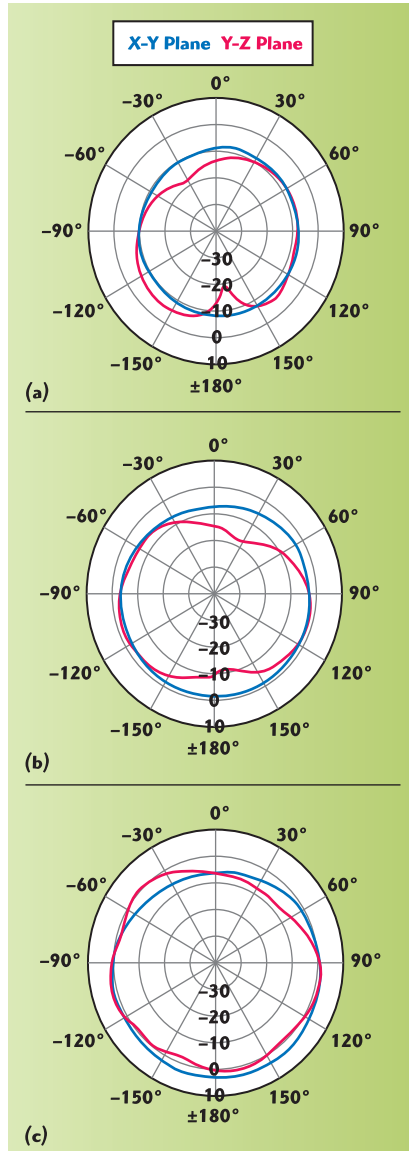


图5. 不同频率下测得的辐射图：(a) f=2.44GHz (b) f=5.8GHz (c) f=10.6GHz。



图6. 天线在泡沫塑料块上弯曲。

的介电常数与基板材料的介电常数相近而且10 μ m远远小于127 μ m。

图5是消声室内平放的天线在2.44GHz、5.8GHz和10.6GHz频率下测得的辐射图。2.44GHz、5.2GHz和10.6GHz下的天线增益峰值约为-3.8dBi、1.1dBi和2.8dBi。

将天线放在半径为40mm的塑料泡沫 ($\epsilon_r=1.06$) 上弯曲并测量其回波损耗，如图6所示。与图4中结果比较可发现平面与弯曲的天线回波损耗测量结果差异很小。图7为2.44GHz与5.8GHz频率上两种情况下的辐射图对比。可以明显看出，即使在泡沫柱体上进行弯曲，天线的全向辐射图维持不变。

结论

本文介绍了可应用于无线局域网和超宽带系统的柔性单极天线。该天线在杜邦的Kapton HN聚酰亚胺薄膜上制成，并采用parlylene-c保形涂

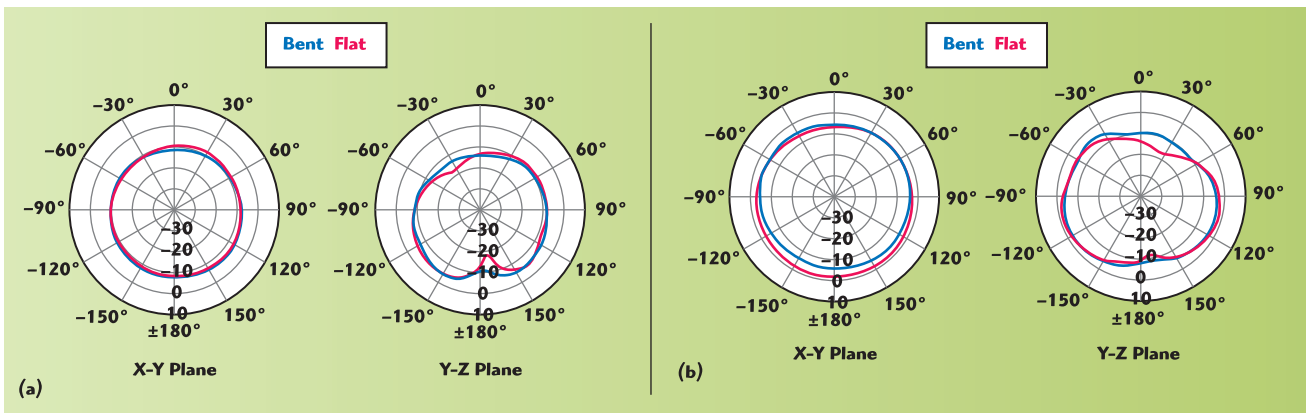


图7. 平放和弯曲的天线的辐射图：(a) f=2.44GHz (b) f=5.8GHz。

层, 天线具有优异的机械和电特性。又在天线弯曲情况下进行了测量, 回波损耗和辐射性能只发生了极小的恶化。柔软灵活、制作简单、辐射特性好以及可靠性高等优点使得该天线在柔软/保形无线应用中具有有良好的适应性。(高文瑾译; 邢文胜校) ■

致谢

该项工作在美国青年科学家总统奖(授予编号为FA9550-09-1-0482)和中国国家自然科学基金委员会(授予编号为No.61474020)的支持下。空军科学研究所的Gernot Pomrenke博士担任项目经理。Yijie Qiu、Yei Hwan Jung与Subin Lee对本文具有同等贡献。

参考文献

1. A. Nathan, A. Ahnood, M.T. Cole, S. Lee, Y. Suzuki, P. Hiralal, F. Bonaccorso, T. Hasan, L. Garcia-Gancedo, A. Dyadyusha, S. Haque, P. Andrew, S. Hofmann, J. Moultrie, D. Chu, A. J. Flewitt, A. C. Ferrari, M. J. Kelly, J. Robertson, G. Amarutunga and W. I. Milne, "Flexible Electronics: The Next Ubiquitous Platform," Proceedings of the IEEE, Vol. 100, May 2012, pp. 1486-1517.
2. K. Zhang, J.H. Seo, W. Zhou and Z. Ma, "Fast Flexible Electronics Using Transferrable Silicon Nanomembranes," Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 45, No. 14, March 2012, p. 143001.
3. H.R. Khaleel, H.M. Al-Rizzo and D.G. Rucker, "Compact Polyimide-Based Antennas for Flexible Displays," Journal of Display Technology, Vol. 8, No. 2, February 2012, pp. 91-97.
4. K. Jun-Won, J. Tae-Hwan, R. Hong-Kyun, W. Jong Myung, E. Chang-Soo and L. Dong-Kook, "Compact Multiband Microstrip Antenna Using Inverted-L- and T-Shaped Parasitic Elements," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 12, September 2013, pp. 1299-1302.
5. Q. Yijie, J. Yei Hwan, L. Subin, S. Ting-Yen, L. Juhwan, X. Yue Hang, R. Xu, W. Lin; N. Behdad and Z. Ma, "Compact Parylene-c-Coated Flexible Antenna for WLAN and Upper-band UWB Applications," Electronics Letters, Vol. 50, No. 24, November 2014, pp. 1782-1784.
6. A.T. Mobashsher and R.W. Aldhaberi, "CPW-Fed Folded Antenna With Forward-Directed Radiation Patterns for Handheld Dual-Band RFID Reader Applications," Microwave Journal, Vol. 57, No. 2, February 2014, pp. 90-98.
7. J. H. Lu and C. H. Yeh, "Planar Broadband Arc-Shaped Monopole Antenna for UWB System," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 60, No. 7, July 2012, pp. 3091-3095.
8. X. Kuiwen, Z. Zhongbo, L. Huan, H. Jiangtao, L. Changzhi and R. Lixin, "A Printed Single-Layer UWB Monopole Antenna With Extended Ground Plane Stubs," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 12, February 2013, pp. 237-240.
9. H. Wei, Y. Ying-Zeng, Y. Xi and F. Peng, "Compact Multiresonator-Loaded Planar Antenna for Multiband Operation," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 61, No. 5, January 2013, pp. 2838-2841.
10. L. Changrong, G. Yong-Xin and X. Shaoqiu, "Capacitively Loaded Circularly Polarized Implantable Patch Antenna for ISM Band Biomedical Applications," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 62, No. 5, February 2014, pp. 2407-2417.
11. M.A. Othman, T.M. Abuefadel and A.M.E. Safwat, "Dual and Wide-Band Inductively-Loaded Dipole-Based Antennas for WLAN/UMTS Applications," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 61, No. 3, November 2012, pp. 1430-1435.
12. M. Jimin, B. Kim, D. Ha and W.J. Chappell, "Parylene Interposer as Thin Flexible 3-D Packaging Enabler for Wireless Applications," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 59, No. 12, December 2011, pp. 3410-3418.

- VNA矢网电缆组件
- 低损耗测试电缆组件
- 精密转接器
- 校准件



Up to 67GHz

欢迎光临 EuMW Show 2016
展位号121

