

doi: 103969/j. issn. 0490-6756. 2016. 03. 014

介质覆盖层对微带天线带宽的展宽作用

郑 治, 陈 星, 许光辉, 王 昊, 黄卡玛

(四川大学电子信息学院, 成都 610065)

摘 要: 覆盖层可以显著地提高天线的增益, 并且覆盖层技术已经得到了广泛的应用. 但是, 覆盖层在提高天线增益的同时, 也对天线的回波损耗产生影响, 而关于这方面的研究较少. 本文以均匀介质覆盖层和底馈微带天线为例, 以数值仿真为手段, 着重研究了覆盖层对天线回波损耗的影响. 仿真结果显示, 通过设计适当的结构参数, 如覆盖层与微带天线的距离以及微带天线的馈电位置等等, 覆盖层在大幅提高微带天线增益的同时, 还可以改善其阻抗带宽. 本文加工并测试了一款覆盖层天线, 其增益为 14.5 dBi, $|S_{11}| < -10$ dB 阻抗带宽为 11.19%, 进一步验证了上述结论的正确性.

关键词: 覆盖层; 均匀介质板; 微带天线; 阻抗带宽

中图分类号: O441.4; O451 **文献标识码:** A **文章编号:** 0490-6756(2016)02-0326-05

Using homogenous dielectric superstrate to enhance the bandwidth of a microstrip antenna

ZHENG Zhi, CHEN Xing, XU Guang-Hui, WANG Hao, HUANG Ka-Ma

(College of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: A superstrate is able to significantly increase the gain of an antenna, and this superstrate based technology has been widely used. However, the studies about the effects of superstrates on the return loss of the antenna are limited. In this work, taking homogenous dielectric superstrates and a probe-fed microstrip antenna as examples, using numerical simulations, the effect of superstrates on the return loss of an antenna is investigated. The simulation results show, by proper design of some structural parameters, such as the distance between the superstrate and the antenna, the feeding location of the antenna and so on, the dielectric superstrate can improve both the gain and the impedance bandwidth. A prototype is fabricated and measured, and the measured results shows that it has a gain of 14.5 dBi and a $|S_{11}| < -10$ dB impedance bandwidth of 11.19%, which verifies the simulations.

Key words: Superstrate; Homogenous dielectric slab; Microstrip antenna; Impedance bandwidth

1 引 言

微带天线以其重量轻、小体积、易加工和易集

成等特性而得到了广泛的应用^[1-3]. 虽然如此, 微带天线也具有增益较低的缺点. 微带天线低增益的缺点可以通过加载覆盖层的方式得到克

收稿日期: 2015-04-12

基金项目: 国家自然科学基金委员会与中国工程物理研究院联合基金(U1230112)

作者简介: 郑治(1985-), 男, 辽宁本溪人, 博士研究生, 研究方向为天线设计. E-mail: king-z-love@163.com

通讯作者: 陈星. E-mail: xingc@live.cn

服^[4,5]. 覆盖层技术自其在上个世纪五十年代提出以来^[6], 已经得到了长足的发展和广泛的应用. 通过适当的设计, 覆盖层不仅仅可以实现天线的高定向性^[7], 还可以在此基础上进一步实现宽增益带宽^[8], 双频或多频辐射^[9], 双极化或圆极化辐射^[10]等优异的辐射特性.

虽然如此, 正如上述所说, 绝大多数工作集中于研究覆盖层对天线方向图特性的影响. 而覆盖层在影响天线增益的同时, 也不可避免地影响到其回波损耗, 而这方面的研究较少. 文献[11]发现当均匀介质板做为覆盖层时, 其缩窄了底馈微带天线的阻抗带宽. 类似地, 文献[12]发现介质覆盖层缩窄了缝隙耦合微带天线的阻抗带宽. 但是, 在上述文献中, 介质覆盖层的面积都被假设为无限大或者足够大(以至可以认为是无限大). 这都与该面积应为有限的实际情况相违背.

因此, 本文探讨了在覆盖层面积为有限的情况下, 介质覆盖层对底馈微带天线阻抗带宽的影响. 首先, 利用全波仿真, 本文研究了一系列结构参数, 如覆盖层与天线的距离, 微带天线的馈电位置以及介质覆盖层的厚度和相对介电常数, 对阻抗带宽的影响. 然后, 本文加工并测试了一个天线样本, 以验证仿真所得结论的正确性.

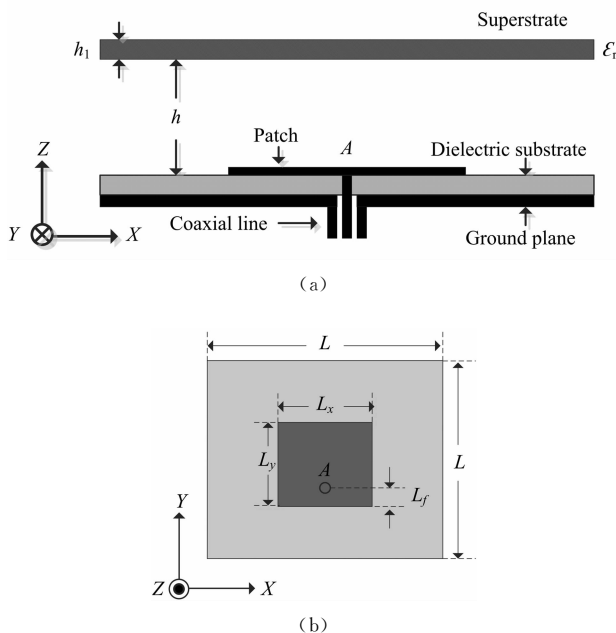


图 1 天线结构图

(a) 加载覆盖层微带天线的侧视图; (b) 微带天线的俯视图

Fig. 1 Antenna configuration

(a) Side view of the covered microstrip antenna;

(b) Top view of the microstrip antenna

2 天线结构

天线结构图如图 1 所示. 加载覆盖层微带天线的结构侧视图如图 1(a)所示, 覆盖层与微带天线的接地介质板具有同样的面积, 并且它们之间的距离为 h . 为方便加工, 本文选取厚度 $h_1 = 2 \text{ mm}$, 相对介电常数 $\epsilon_r = 15.0$ 的均匀介质板做为覆盖层. 微带天线的俯视图如图 1(b)所示, 它工作在 5.8 GHz , 其辐射贴片的长 $L_x = 19.4 \text{ mm}$, 宽 $L_y = 14.6 \text{ mm}$, 附着在厚度为 2 mm , 边长 $L = 100 \text{ mm}$, 相对介电常数为 2.55 的正方形接地介质板上, 其馈电位置 A 距贴片边缘的距离 $L_f = 3.5 \text{ mm}$. 该微带天线的边射方向性系数以及回波损耗 ($|S_{11}|$) 如图 2 所示. 由图 2 可知, 该微带天线在 5.8 GHz 处的方向性系数为 6.1 dBi , 其 $|S_{11}| < -10 \text{ dB}$ 的阻抗带宽为 5.38% ($5.623 \sim 5.935 \text{ GHz}$).

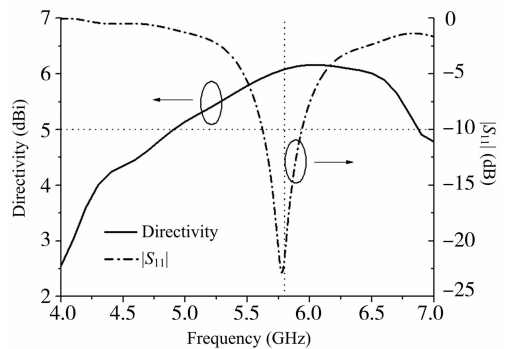


图 2 微带天线的边射方向性系数以及回波损耗
Fig. 2 Broadside directivity and return loss of the microstrip antenna

3 参数优化

为了研究介质覆盖层对底馈微带天线性能的影响, 特别是对阻抗带宽的影响, 本节进行了一系列参数优化. 这些参数包括: 距离 h , 馈电位置 L_f 以及介质覆盖层的厚度 h_1 和相对介电常数 ϵ_r .

3.1 距离 h

为获得最大的边射方向性系数, 通常选取距离 h 为 0.5λ ^[13], λ 为自由空间中工作波长(这里为 51.7 mm). 于是, 作者考察了 h 在 0.5λ 附近变化时, 加载覆盖层微带天线的性能变化, 如图 3 所示. 从图 3(a)中可以看出, 随着 h 的提高, 最大方向性系数(对每个 h 而言)向低频方向移动. 当 h

= 27.0 mm 时, 该天线获得了其在 5.8 GHz 处的最大方向性系数, 其值为 14.5 dBi. 从图 3(b) 可以看出, 当介质覆盖层面积为有限时(这里为 $100 \times 100 \text{ mm}^2$), 相应加载该覆盖层的微带天线具有双谐振频率. 可以看到, 随着 h 的提高, 在高频方向, 一个新的谐振点逐渐地出现. 同时, 两个谐振点均向低频方向移动, 但是, 第一个谐振点的阻抗匹配先得到改善而后恶化, 而第二个谐振点的阻抗匹配却一直得到改善. 既然第二个谐振点出现在第一个谐振点的邻域, 因此有理由相信加载覆盖层微带天线的阻抗带宽很可能得到展宽. 但是, 很不幸, 正如图 3(b) 所示, 两谐振点之间的阻抗匹配总是大于 -10 dB , 这大幅地降低了阻抗带宽.

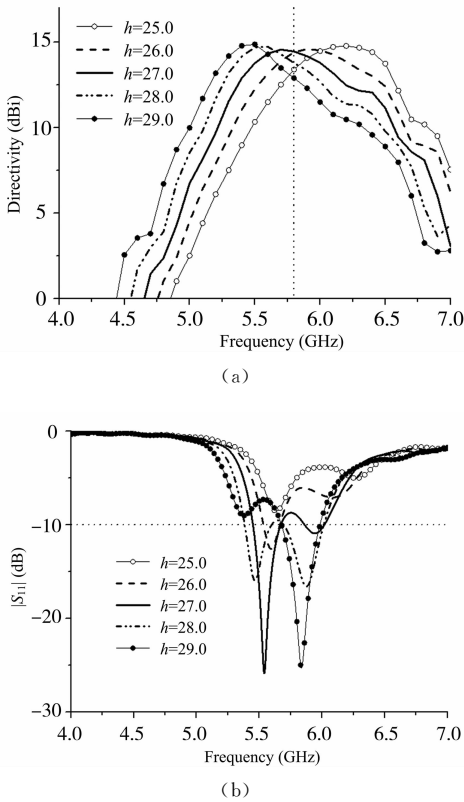


图 3 加载覆盖层微带天线的性能随距离 h 的变化
(a) 边射方向性系数; (b) 回波损耗

Fig. 3 The performances of the covered microstrip antenna against the distance h

(a) Broadside directivity; (b) Return loss

3.2 馈电位置 L_f

众所周知, 对于底馈微带天线而言, 馈电位置对其阻抗匹配的影响很大. 因此, 本文也研究了馈电位置对加载覆盖层微带天线性能的影响, 如图 4 所示. 这里距离 h 被设置为 27.0 mm, 因为根据

3.1 小节, 此时, 该天线在 5.8 GHz 获得了最大方向性系数. 从图 4(a) 可以看到, L_f 几乎不影响加载覆盖层微带天线的方向性系数. 但是, 从图 4(b) 可以看出, L_f 对回波损耗的影响很大, 随着 L_f 的降低, 第一谐振点轻微地向高频方向移动, 第二谐振点略微地向低频方向移动, 并且其阻抗匹配得到了明显的改善. 当 $L_f = 2.3 \text{ mm}$ 时, 该天线获得了最宽的阻抗带宽 10.97% (5.524 ~ 6.160 GHz), 该阻抗带宽为未加载覆盖层时 (5.38%) 的两倍多.

既然距离 h 可以强烈地影响加载覆盖层微带天线的方向性系数和回波损耗, 而馈电位置 L_f 仅仅可以明显地影响其回波损耗, 那么在设计该类覆盖层天线时, 可以先调整距离 h 以满足方向性系数的要求, 再调整 L_f 以满足阻抗带宽的要求.

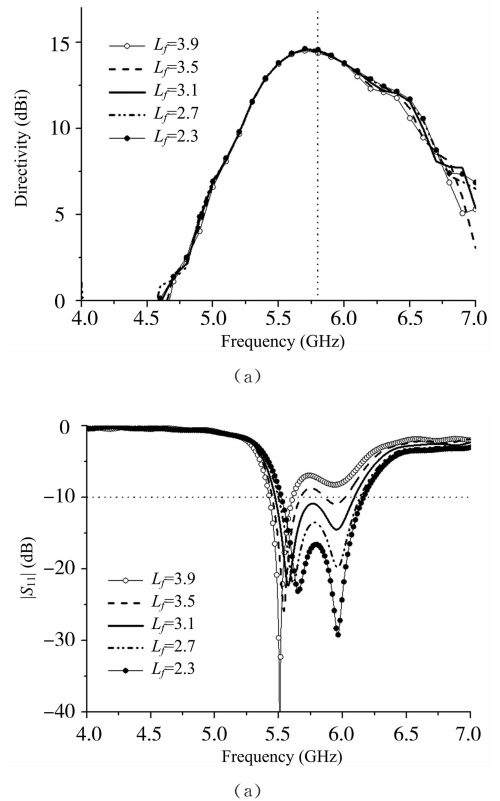


图 4 加载覆盖层微带天线的性能随馈电位置 L_f 的变化
(a) 边射方向性系数; (b) 回波损耗

Fig. 4 The performances of the covered microstrip antenna against the feeding location L_f

(a) Broadside directivity; (b) Return loss

3.3 介质覆盖层的厚度 h_1 和相对介电常数 ϵ_r

根据文献[13], 介质覆盖层的厚度 h_1 和相对介电常数 ϵ_r 是影响加载覆盖层微带天线方向性系数的重要参数, 因此本小节将讨论这两个参数对

天线性能的影响,特别是对回波损耗的影响.对于每一组厚度 h_1 和相对介电常数 ϵ_r 的组合,本文都依据 3.2 小节中总结的设计方法对距离 h 和馈电位置 L_f 做相应的调整,以获得最佳的天线性能,最终结果总结于表 1.

表 1 介质覆盖层自身结构参数 h_1 和 ϵ_r 对天线性能影响的对比

Tab. 1 Comparison of the covered antennas' properties with different h_1 and ϵ_r

| Number | Structural parameters | | | | Properties | |
|--------|-----------------------|--------------|-------------|---------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| | h_1 (mm) | ϵ_r | h (mm) | L_f (mm) | Directivity (5.8 GHz) (dBi) | Impedance bandwidth (%) |
| 1 | 2.0 | 15.0 | 27 | 2.3 | 14.5 | 10.97 |
| 2 | 3.3 | 15.0 | 26 | 2.3 | 14.5 | 11.33 |
| 3 | 4.0 | 15.0 | 25 | 2.3 | 15.4 | 10.55 |
| 4 | 2.0 | 10.2 | 28 | 2.3 | 13.8 | 10.24 |
| 5 | 2.0 | 20.0 | 27 | 2.3 | 15.0 | 11.27 |

在表 1 中,天线 1、2、3 为三款厚度 h_1 取值不同的覆盖层天线,而天线 1、4、5 则为 3 款相对介电常数 ϵ_r 取值不同的覆盖层天线,这 5 款天线均具有较宽的阻抗带宽(均高于 10%),这说明 h_1 和 ϵ_r (需是高相对介电常数)对天线阻抗带宽的影响不大.同时,这也从侧面说明,当介质覆盖层面积有限时,其对微带天线阻抗带宽的展宽作用是普遍存在的,并不受覆盖层本身特性的限制.对比天线 1、4、5 的方向性系数,可以发现,随着 ϵ_r 的提高,相应天线的方向性系数在提高,这与文献 [13] 中的结论是一致的.虽然如此,根据文献 [13],当 $h_1 = 0.25\lambda_r$ 时, λ_r 为介质中工作波长,相应的加载覆盖层微带天线获得最大的边射方向性系数,但在这里,当 $h_1 = 3.3 \text{ mm}(0.25\lambda_r)$ 时,其方向性系数为 14.5 dBi,要小于天线 3 ($h_1 = 4.0 \text{ mm}$) 的 15.4 dBi,这说明,在覆盖层的面积为有限时,一些在覆盖层为无限时成立的规律可能不成立,比如该“四分之一波长”规律.

4 实测结果

为了验证之前章节的仿真结果,作者加工了上述提及的微带天线和相对介电常数为 15.0、厚度为 2 mm 的均匀介质板,并使用尼龙柱(已验证其对天线性能几乎没有影响)组装了加载覆盖层微带天线,如图 5 所示.加载覆盖层微带天线的口径面积为 $100 \times 100 \text{ mm}^2$,覆盖层与微带天线之间的距离为 $h = 27 \text{ mm}$,微带天线的馈电位置为 $L_f = 2.3 \text{ mm}$,微带

天线的其他结构参数保持如“2 天线结构”小节所述.

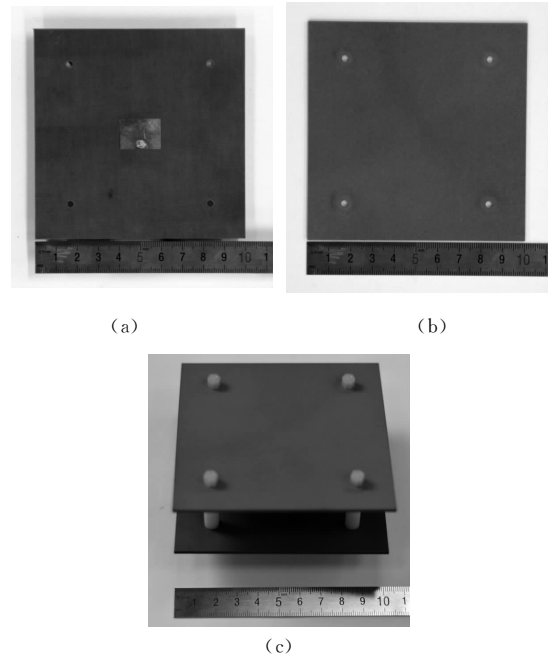


图 5 加工的实物

(a) 微带天线; (b) 相对介电常数为 15.0 的 2 mm 厚均匀介质板; (c) 加载覆盖层微带天线

Fig. 5 The prototypes

(a) The microstrip antenna; (b) The dielectric slab with $\epsilon_r = 15.0$ and a thickness of 2 mm; (c) The covered microstrip

该加载覆盖层微带天线的实测回波损耗和 5.8 GHz 方向图以及它们和相应仿真结果的对比如图 6 和图 7 所示.由图 6 可以看到,实测的阻抗带宽为 11.19% (5.526 ~ 6.175 GHz),与仿真结果吻合很好.由图 7 知,实测与仿真的方向图也吻合很好,天线的增益达 14.5 dBi.这些实测结果证实了:在提高微带天线增益的同时,介质覆盖层也可以显著地改善其阻抗带宽.

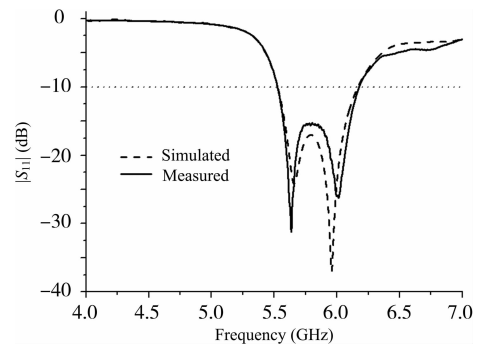


图 6 加载覆盖层微带天线的仿真与实测回波损耗对比

Fig. 6 Comparison of the simulated and measured $|S_{11}|$ of the covered microstrip antenna

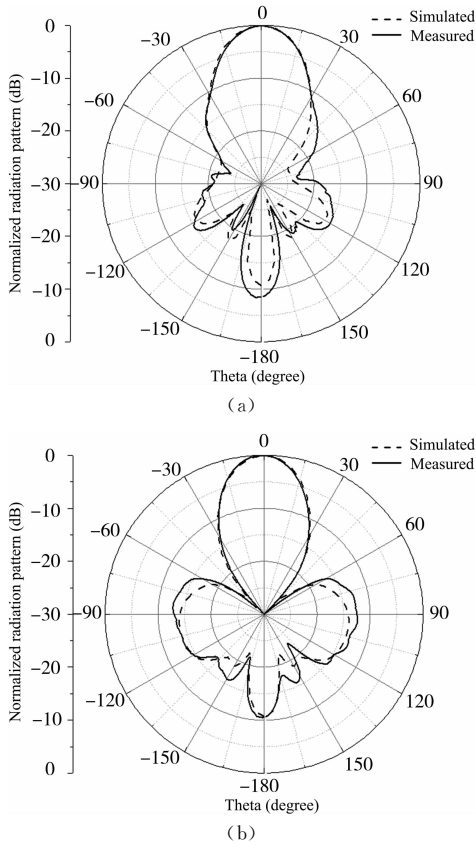


图 7 加载覆盖层微带天线的仿真与实测 5.8 GHz 方向图对比

(a) E 面; (b) H 面

Fig. 7 Comparison of the 5.8 GHz simulated and measured directivity pattern

(a) E plane; (b) H plane

5 结束语

本文研究了介质覆盖层对底馈微带天线的性能,特别是阻抗带宽的影响.利用数值仿真,本文对一系列结构参数进行了分析.由于覆盖层的面积是有限的,作者发现了与前人研究结果不同的现象,即介质覆盖层可以同时显著地改善微带天线的增益和阻抗带宽.随后,本文加工并测试了一款覆盖层天线,验证了上述发现.这一发现有助于人们设计高增益、宽阻抗宽带的覆盖层天线,对工程实践有着重要意义.

参考文献:

[1] Garg R. Microstrip antenna design handbook [M].

- [s. l.]: Artech House, 2001.
- [2] 肖婷,郭庆功.一种应用于 WLAN/WIMAX 的三频微带天线 [J]. 四川大学学报:自然科学版, 2014, 51(1): 018.
- [3] 赵凤,华伟,程小双.一种用于 WLAN 的双频紧凑型天线 [J]. 四川大学学报:自然科学版, 2013, 50(4): 787.
- [4] Attia H, Yousefi L, Ramahi O. High-gain patch antennas loaded with high characteristic Impedance superstrates [J]. IEEE Antenn Wirel Propag Let, 2011, 10: 858.
- [5] Al-Tarifi M A, Anagnostou D E, Amert A K, *et al.* Bandwidth enhancement of the resonant cavity antenna by using two dielectric superstrates [J]. IEEE Trans Antenn Propag, 2013, 61(4): 1898.
- [6] Trentini G V. Partially reflecting sheet arrays [J]. IRE Trans Antenn Propag, 1956, 4(4): 666.
- [7] Weily A R, Esselle K P, Sanders B C, *et al.* High-gain 1D EBG resonator antenna [J]. Microw Opt Techn Let, 2005, 47(2): 107.
- [8] Liu Z G, Zhang W X, Fu D L, *et al.* Broadband Fabry-Perot resonator printed antennas using FSS superstrate with dissimilar size [J]. Microw Opt Techn Let, 2008, 50(6): 1623.
- [9] Zeb B A, Ge Y, Esselle K P, *et al.* A simple dual-band electromagnetic band gap resonator antenna based on inverted reflection phase gradient [J]. IEEE Trans Antenn Propag, 2012, 60(10): 4522.
- [10] Muhammad S A, Sauleau R, Valerio G, *et al.* Self-polarizing fabry - perot antennas based on polarization twisting element [J]. IEEE Trans Antenn Propag, 2013, 61(3): 1032.
- [11] Shen X H, Vandenbosch G A E, Vande Capelle A R. Study of gain enhancement method for microstrip antennas using moment method [J]. IEEE Trans Antenn Propag, 1995, 43(3): 227.
- [12] Meagher C J, Sharma S K. A wideband aperture-coupled microstrip patch antenna employing spaced dielectric cover for enhanced gain performance [J]. IEEE Trans Antenn Propag, 2010, 58(9): 2802.
- [13] Jackson D R, Alexopoulos N G. Gain enhancement methods for printed circuit antennas [J]. IEEE Trans Antenn Propag, 1985, 33(9): 976.