

一种新型毫米波磁电偶极子天线阵列设计

陆贵文 李明鉴*

(香港城市大学毫米波国家重点实验室 中国香港)

摘要: 该文将磁电偶极子天线作为辐射阵子, 并应用一种共面波导馈电网络, 研究并设计了一种新型 4×4 毫米波天线阵列。这种设计不仅具有很宽的阻抗带宽和增益带宽, 而且价格低廉易于生产。仿真和测试结果表明, 此天线阵列的相对阻抗带宽为 54.5%, 3 dB 增益带宽为 37.1%, 在工作频带内(40.2~70.0 GHz), 最大增益为 18.1 dBi。而基于其他技术设计的 4×4 毫米波天线阵列(如微带天线、偶极子天线)工作频带宽度一般在 20%左右, 增益一般在 16~17 dBi。所以该文提出的天线阵列设计具有明显的优势。另外, 仿真设计结果和实测的电参数数据有较好的一致性。

关键词: 毫米波天线阵列; 磁电偶极子天线; 宽带天线

中图分类号: TN821

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2015)10-2517-04

DOI: 10.11999/JEIT150038

Novel Millimeter-wave Magneto-electric Dipole Antenna Array

Luk Kwai-man Li Ming-jian

(State Key Laboratory of Millimeter Waves, City University of Hong Kong, Hong Kong SAR, China)

Abstract: This paper presents a new 4×4 millimeter-wave antenna array, which adopts the magneto-electric dipole as the radiating element and a type of coplanar waveguide feed network to excite the array. This design not only provides very wide impedance and gain bandwidths, but also has features of low cost and ease in fabrication. The simulated and measured results reveal that this array exhibits a wide impedance bandwidth of 54.5% and a wide 3 dB gain bandwidth of 37.1%. Over the operating frequency band (40.2~70.0 GHz), the maximum gain is 18.1 dBi. However, other 4×4 millimeter-wave antenna arrays, designed based on microstrip patch antenna or electric dipole antenna, have the operating bandwidth of about 20% and the gain of 16~17 dBi. Hence, the proposed antenna has an obvious advantage. In addition, the simulated and measured results have a good agreement.

Key words: Millimeter-wave antenna array; Magneto-electric dipole antenna; Wideband antenna

1 引言

为了实现海量数据传输和弥补匮乏的可用频谱, 提高载波频率是必然的解决方案。因此, 毫米波技术(30~300 GHz)有可观的商用前景。随着毫米波技术的不断革新, 多种技术被应用于不同的毫米波频段, 例如 39 GHz 高速信息链、60 GHz 短距传输信息链、77 GHz 汽车雷达和 94 GHz 成像雷达。但是, 由于毫米波具有较大大气传输损耗的固有物理特性, 因此高增益天线阵列将更为广泛地应用于各类毫米波无线通信系统^[1-14]。

微带贴片天线阵列已被设计在毫米波频段, 并且采用一些频带拓宽技术来满足不同应用的带宽需求, 这些技术包括 L 形探针馈电^[1]、U 形槽贴片^[2]、

背腔结构^[3,4]、口径耦合馈电^[5]和高介电常数介质贴片^[6,7]等。然而, 为了实现这些宽带结构, 其中大部分设计采用了低温共烧陶瓷技术(LTCC)来满足天线的多层结构设计需要。相比传统印刷电路板技术, 这大大增加了生产成本。隙缝天线阵列作为一种传统的天线, 是另一种毫米波天线设计方案^[8-10]。其中, 文献[8]和文献[9]采用印刷电路板技术制作, 成本较低, 但它们带宽相对较窄, 不能满足有些应用的要求。另外, 一些其他种类的天线也被设计在毫米波频段, 例如八木天线^[11]、偶极子天线^[12]、栅格天线^[13]、螺旋天线^[14]等。这些天线具有宽频带特性, 但仍然结构相对复杂, 不易于大规模生产。

磁电偶极子天线最初是由 Luk 等人^[15]在 2006 年提出。这种天线结合了一个电偶极子和一个磁偶极子, 来实现单向辐射。其中, 电偶极子和磁偶极子分别由一个平面电偶极子和一个 $1/4$ 波长短路微带贴片天线实现。这种天线具有许多优良的电特性, 如较宽的频带、稳定的增益、低交叉极化、低后向

收稿日期: 2015-01-08; 改回日期: 2015-06-03; 网络出版: 2015-07-18

*通信作者: 李明鉴 mingjianli2@um.cityu.edu.hk

基金项目: 中国香港 RGC 项目(9041677(CityU 119511))

Foundation Item: The RGC Item of Hong Kong (9041677(CityU 119511))

辐射以及几乎相等的 E 面和 H 面辐射方向图。本文基于工作在微波频段的磁电偶极子天线设计了一种新型毫米波磁电偶极子天线阵列。此天线阵列设计工作在 60 GHz, 具有宽频带高增益等优点, 并且采用传统印刷电路板技术制作, 生产成本相对较低。

2 天线阵列设计

2.1 磁电偶极子工作原理

磁电偶极子的组合辐射原理如图 1 所示, 电偶极子的电场辐射方向图在 E 面为“8”字形辐射在 H 面为“O”字形辐射, 而磁偶极子的电场辐射方向图在 E 面为“O”字形辐射在 H 面为“8”字形辐射。磁电偶极子的方向图正是由两种辐射方向图合成, 所以前向辐射会得到加强而后向辐射会相互抵消, 可以得到心形方向图。故此, 磁电偶极子具有低后向辐射的特点。

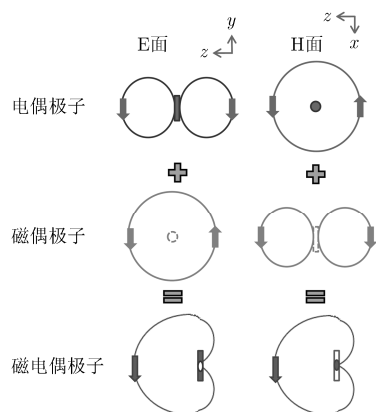
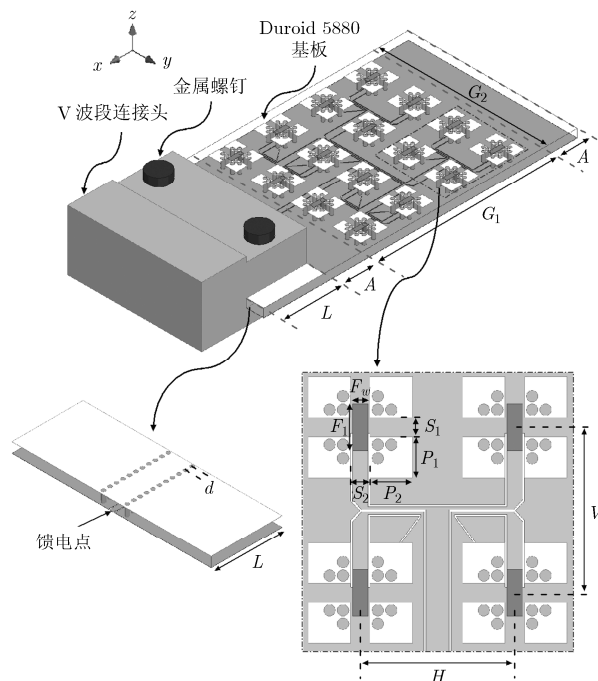


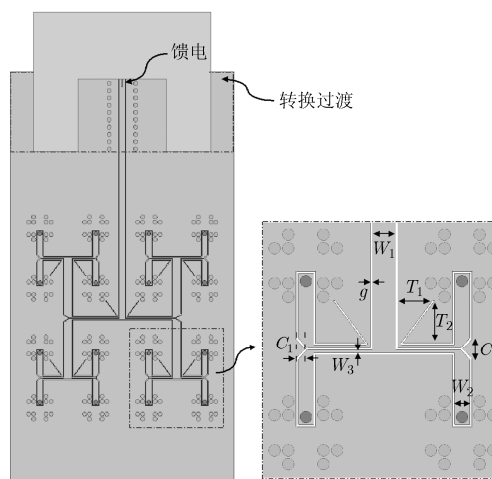
图1 磁电偶极子的辐射原理

2.2 天线阵列结构

磁电偶极子天线阵列结构如图 2 所示, 包括了 16 个天线阵子和 1 个共面波导馈电网络, 这种馈电网络不仅摒弃在 T 形结上使用空气桥, 而且可以提供成对的差分输出^[1], 更重要的是, 这种共面结构的馈电网络可以印制在不同厚度的基板上而正常工作。因此, 采用这种馈电网络激励的磁电偶极子天线阵列就可以印制在单层基板上, 且可以选用 $\lambda/4$ (0.787 mm) 的相对较厚的基板便于实现磁电偶极子中的 $1/4$ 波长短路微带贴片天线部分。每一个天线阵子由一个 L 形探针馈电激励, 且探针的输入端改进为共面波导传输线输入, 这是为了阵子可以和馈电网络连结方便。其中, 本文选用的天线阵子的初步工作发表在文献[16]。另外, 由于馈电网络提供成对的差分输出, 在 x 轴方向每对相邻的阵子为相对放置且相隔距离为 $V = 4.3 \text{ mm}$ ($0.85\lambda_0$)。在 y 轴方向的阵子放置距离为 $H = 4 \text{ mm}$ ($0.8\lambda_0$)。一个 V 波段



(a) 天线3D图, 正面俯视图及转换过渡



(b) 天线背面图

图2 天线阵列结构

接头(Southwest Microwave: 1892-04A-6)被安置在天线基板边端, 可将信号通过一个渠化共面波导转换过渡传输到馈电网络。由于这个 V 波段连接头上表面高过天线口径面, 所以在天线阵列与接头之间的基板被延长了一段长度(A)来减弱对接头对天线的影, 而且基板的另一端也被延长(A)来保证辐射方向图的对称性。因此, 天线基板的整体尺寸为 $(G_1 + L + 2 \times A) \times G_2 \times H = 29.71 \text{ mm} \times 16 \text{ mm} \times 0.787 \text{ mm}$ 。具体的尺寸如表 1 所示。

3 结果与分析

本设计在仿真的基础上, 加工了实物并对其进行了测量。天线实物通过使用矢量网络分析仪

表 1 天线阵列参数(mm)

参数	G_1	G_2	A	d	t	L	H	V	F_w	F_1	S_1
数值	17.2	16	3.4	0.52	0.787	5.71	4	4.3	0.4	1.2	0.5
参数	S_2	P_1	P_2	T_1	T_2	W_1	W_2	W_3	C_1	C_2	g
数值	0.5	1.05	1.1	1.1	0.9	0.6	0.4	0.08	0.23	0.5	0.05

Agilent E8361A 在 40~70 GHz 频率范围内对所设计天线的阻抗特性行了测量，并使用室内毫米波远场辐射测量系统对其辐射特性进行了测量。

天线仿真和实测驻波比及增益如图 3 所示。其仿真及实测的阻抗带宽分别为 51.8%(41.2~70.0 GHz)和 54.5%(40.2~70.0 GHz)。在工作频带内，其 3 dB 增益带宽为 37.1%(45.6~66.4 GHz)，最大增益为 18.1 dBi(60.2 GHz)。天线实物的辐射测量仅在 50~70 GHz 内完成，这是由于我们的辐射测试系统只能在这个范围内使用。图 4 为天线在 50 GHz, 55 GHz, 60 GHz, 65 GHz 的仿真及测试辐射方向图。可以看到，方向图展示了天线的单向辐射特性，且 E 面和 H 面比较对称。在工作频带内，实测交叉极化基本小于 -20 dB，仿真前后比大于 20 dB。另外，由于在 60 GHz 的仿真天线辐射效率为 76%，所以以 $G_1 \times G_2 = 17.2 \text{ mm} \times 16.0 \text{ mm}$ 为天线口径的实测口径效率为 61.4%。

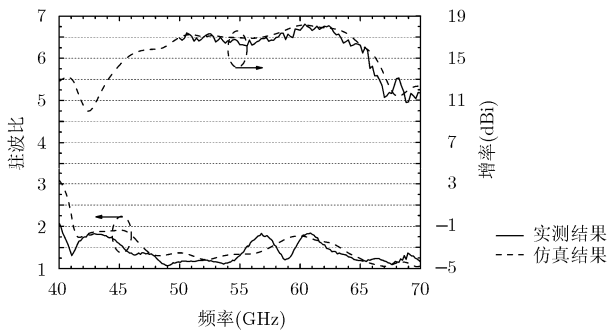


图 3 仿真及实测天线驻波比及增益

4 结束语

本文通过结合工作在毫米波频带的磁电偶极子天线和一种共面波导馈电网络，设计了一款新型宽频毫米波天线阵列。仿真及实测结果证明此天线具有良好的阻抗特性和辐射特性，相对阻抗带宽和 3 dB 增益带宽均超过了 37%，且最大增益也可达到 18.1 dBi。更重要的是，此天线可采用印制电路板工艺实现，具有生产成本低，易于大规模生产的特点，可满足未来工作在 60 GHz 无线通讯系统的需要。

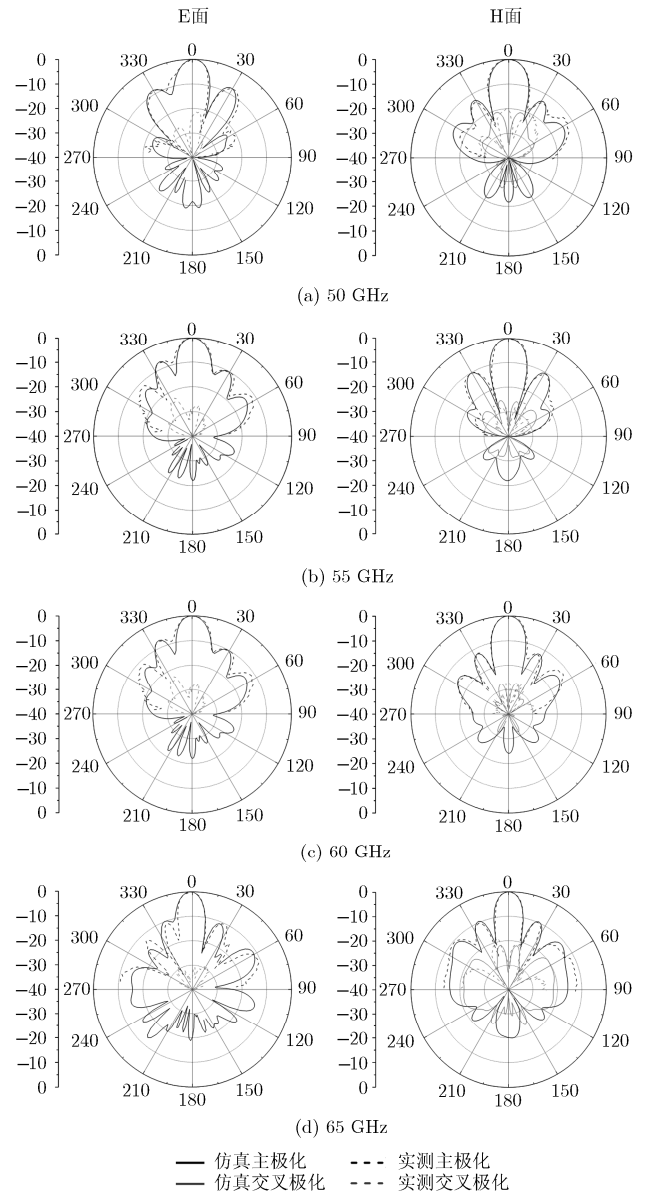


图 4 仿真及实测天线辐射方向图

参考文献

[1] Li Ming-jian and Luk Kwai-man. Low cost wideband microstrip antenna array for 60-GHz applications[J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2014, 62(6): 3012-3018.

[2] Sun Hu-cheng, Guo Yong-xin, and Wang Zi-liang. 60 GHz circularly polarized U-slot patch antenna array on LTCC[J].

- IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2013, 61(1): 430-435.
- [3] Chin Kuo-sheng, Jiang Wen, Che Wen-quan, *et al.* Wideband LTCC 60 GHz antenna array with a dual-resonant slot and patch structure[J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2014, 62(1): 174-182.
- [4] Li Yu-jian and Luk Kwai-man. Low-cost high-gain and broadband substrate-integrated-waveguide-fed patch antenna array for 60-GHz band[J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2014, 62(11): 5531-5538.
- [5] Yeap Siew Bee, Chen Zhi-ning, and Qing Xian-ming. Gain-enhanced 60-GHz LTCC antenna array with open air cavities[J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2011, 59(9): 3470-3473.
- [6] 李雨键, 陆贵文. 60 GHz 高介电常数介质贴片天线阵[C]. 全国天线年会, 广州, 2013: 734-737.
Li Yu-jian and Luk Kwai-man. 60 GHz dense dielectric patch antenna array[C]. National Conference on Antennas, Guangzhou, 2013: 734-737.
- [7] Li Yu-jian and Luk Kwai-man. A 60 GHz dense dielectric patch antenna array[J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2014, 62(2): 960-963.
- [8] Chen Xiao-ping, Wu Ke, Han Liang, *et al.* Low-cost high gain planar antenna array for 60 GHz band applications[J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2010, 58(6): 2126-2129.
- [9] Xu Jun-feng, Chen Zhi-ning, Qing Xian-ming, *et al.* Bandwidth enhancement for a 60 GHz substrate integrated waveguide fed cavity array antenna on LTCC[J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2011, 59(3): 826-832.
- [10] Gong Ke, Chen Zhi-ning, Qing Xian-ming, *et al.* Substrate integrated waveguide cavity-backed wide slot antenna for 60 GHz bands[J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2012, 60(12): 6023-6026.
- [11] Kramer O, Djerafi T, and Wu Ke. Very small footprint 60 GHz stacked yagi antenna array[J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2011, 59(9): 3204-3210.
- [12] Chu Hui, Guo Yong-xin, and Wang Zi-liang. 60 GHz LTCC wideband vertical off-center dipole antenna and arrays[J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2013, 61(1): 153-161.
- [13] Zhang Bing and Zhang Yue-ping. Grid array antennas with subarrays and multiple feeds for 60 GHz radios[J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2012, 60(5): 2270-2275.
- [14] Liu Chang-rong, Guo Yong-xin, Bao Xiao-yue, *et al.* 60-GHz LTCC integrated circularly polarized helical antenna array [J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2012, 60(3): 1329-1335.
- [15] Luk Kwai-man and Wong Hang. A new wideband unidirectional antenna element[J]. *International Journal of Microwave and Optical Technology*, 2006, 1(1): 35-44.
- [16] Luk Kwai-man and Li Ming-jian. Magneto-electric dipole antennas for millimeter-wave applications[C]. 2013 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings, Seoul, Korea, 2013: 304-306.
- 陆贵文: 男, 1958 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为贴片天线、平面天线、介质谐振器天线及天线测量技术。
李明鉴: 男, 1987 年生, 博士后, 研究方向为宽带天线、毫米波天线与阵列、圆极化天线。