

文章编号: 2096-1618(2023)01-0023-05

# 一种用于5G移动终端的双极化多输入多输出天线设计

陈东, 李荣强, 秦世川, 罗宇龙  
(成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都 610225)

**摘要:**提出一种用于5G移动终端的8端口多输入多输出(multiple input multiple output, MIMO)缝隙天线阵列。该天线阵列由4个双极化天线单元组成,分别放置在尺寸为150 mm×75 mm的系统基板的4个角落。天线单元顶层由一对正交放置的微带馈线和一对方形不规则金属环组成,该方形不规则环可用来改善天线的隔离度。天线单元底层为一外圆内方的缝隙结构,用于实现天线的宽频带特性。实验结果表明,多输入多输出天线阵列获得了3.3~4.1 GHz的-6 dB阻抗带宽,优于16 dB的隔离度且高于88%的辐射效率。此外,该天线在工作频段内的包络相关系数(ECC, envelope correlation coefficient)远小于0.5。可见,该多输入多输出天线阵列具有宽频带和高辐射效率等特性,适合用于5G移动终端系统。

**关键词:**5G;双极化天线;多输入多输出;移动终端;缝隙天线

**中图分类号:**TN92

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2023.01.004

## 0 引言

多输入多输出(MIMO)技术是5G移动终端系统中广泛应用的一种技术<sup>[1]</sup>。研究发现,多径环境下的天线信道容量与发射和接收天线的数量有关<sup>[2]</sup>。多天线之间接收信号要求具有低相关性,要求包络相关系数(ECC)满足小于0.3的移动通信标准<sup>[3]</sup>。由于移动终端尺寸的限制,需要在现有尺寸下放置多个天线,要求天线单元体积小且辐射效率高。此外,还要考虑各个天线单元之间的隔离度。这些要求对于5G移动终端MIMO天线系统具有较大的挑战,也是5G移动终端天线研究的重点和难点<sup>[4-5]</sup>。

近年来,移动终端中的MIMO天线已被广泛研究。文献[6]设计了一款8端口MIMO天线阵列,通过正交偏振和方形缝隙接地板结构来改善天线间的隔离度,在2.55~2.6 GHz的工作频段内其单元间的隔离度高于11 dB,但其带宽偏窄,只有50 MHz。文献[7]设计了一款采用自互补结构的双极化正交MIMO天线阵列,其-6 dB阻抗带宽为3.55~3.65 GHz,各个端口之间隔离度优于11 dB。此外,文献[8-14]也给出了一些移动终端MIMO的天线阵列。同样,它们的带宽或隔离度也需要进一步改善。本文提出一种用于5G移动终端的8端口MIMO缝隙天线阵,该天线阵列具有3.3~4.1 GHz的阻抗带宽,优于16 dB的隔离度,同时还能获得高于88%的天线辐射效率。

## 1 双极化天线单元

双极化天线单元的结构如图1所示,其中黄色代表的是理想导体,绿色代表的是介质板。天线顶层由一对呈正交的微带馈线和一对方形不规则环组成,底层则由外圆内方的环形缝隙构成。正交的微带馈线对环形缝隙天线进行馈电,分别提供垂直和水平极化,因而构成双极化天线。根据电磁场理论,呈正交放置的微带馈线与天线底层外圆内方的缝隙结构通过电磁耦合作用,与传统的方形缝隙结构相比,外圆内方缝隙结构能产生更宽的阻抗带宽。而一对方形不规则环作为寄生结构位于缝隙的上方,不仅可用来调节谐振频率,还能改变天线表面的电流分布,从而改善天线单元的阻抗带宽和增加端口间的隔离度。该天线单元的介质基板材料采用的是相对介电常数为4.4、损耗角正切为0.02的玻璃环氧树脂(FR4),厚度为1.6 mm。经高频电磁仿真软件优化后的天线单元的结构参数如表1所示。

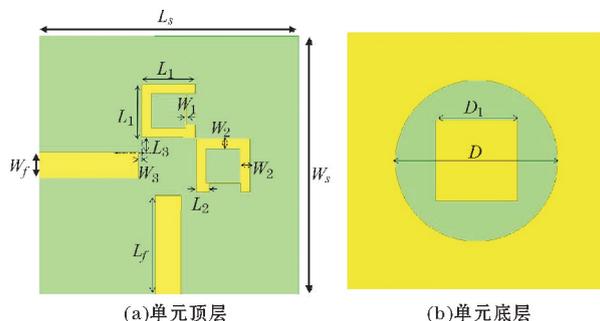


图1 天线单元结构图

收稿日期:2022-04-01

基金项目:四川省科技厅重点研发资助项目(2022YFS0033);教育部产学研合作协同育人资助项目(202002133011)

表1 天线设计参数值

参数	取值/mm	参数	取值/mm
$W_s$	30	$L_s$	30
$W_f$	3.0	$L_f$	11.4
$W_1$	0.1	$L_1$	6.18
$W_2$	1.1	$L_2$	1.49
$W_3$	0.41	$L_3$	1.74
$D$	18.8	$D_1$	9.49

图2展示了天线单元顶层设计的演化过程,底层如图1(b)所示。天线单元1由一对呈正交放置的微带线组成,如图2(a)所示,天线单元1的 $S$ 参数仿真结果如图3(a)所示,仿真结果表明,-6 dB工作频带为3.6~4.8 GHz,隔离度在10 dB左右。天线单元2在天线1的基础上加了一个方形不规则环结构,如图2(b)所示,天

线单元2的仿真结果如图3(b)所示。与天线1的仿真结果相比,天线单元2的谐振频率左移到了3.6 GHz附近,同时端口间的隔离度也整体提高了2 dB左右。天线单元3则在天线1的基础上加了一对方形不规则环结构,如图2(c)所示,同时也是本次设计的双极化天线单元。仿真结果如图3(c)所示,工作频带为3.15~4.25 GHz,隔离度在17 dB左右,同时谐振中心频点也在3.6 GHz附近。从3个天线单元的仿真结果对比来看,一对呈正交放置的方形不规则环金属结构,不仅能调节谐振中心频点,还能显著提高端口间的隔离度,从最初的10 dB提高到17 dB左右。3个天线单元的底层都采用相同的外圆内方的缝隙结构接地板。从图3的3个天线单元的仿真结果可以看出,3个天线单元的-6 dB的频带都很宽,都超过了1 GHz的频带宽度。

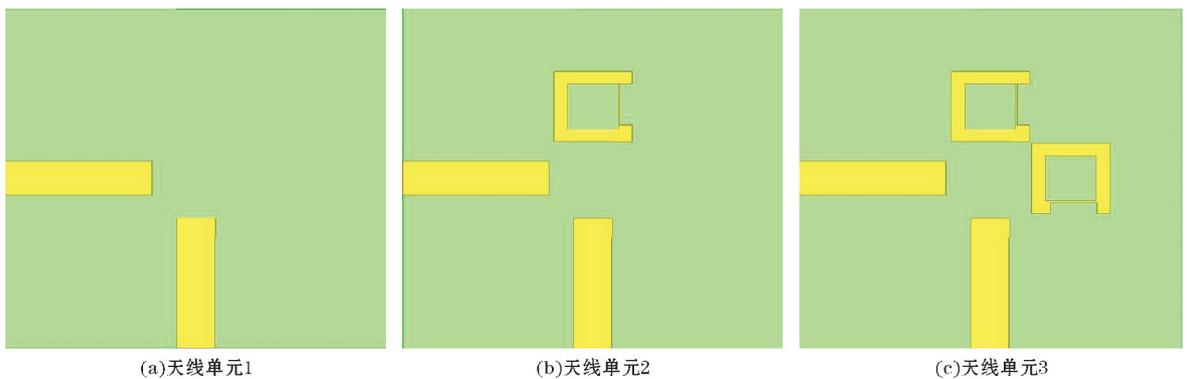
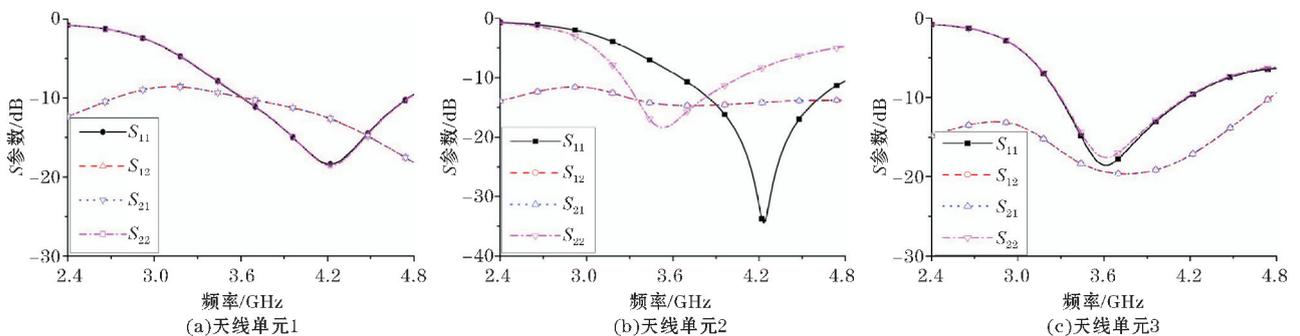


图2 天线单元顶层结构进化图

图3 天线单元的 $S$ 参数仿真结果

为阐明双极化天线馈电端口间具有高隔离度的原理,图4给出了双极化天线单元端口1和端口2分别馈电时的电流分布图。可见,当端口1和端口2分别馈电时,天线的电流主要分布在外圆内方的缝隙附近,且电流方向垂直,因而天线具有较好的双极化特性,能产生较高的端口隔离度。

## 2 5G 智能移动终端多输入多输出天线

### 2.1 天线阵列设计及仿真结果分析

图5为所提出的5G智能移动终端MIMO天线阵

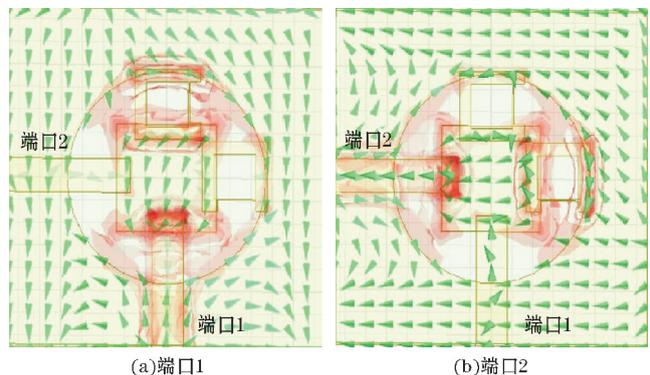


图4 天线单元馈电时的电流分布

列的结构设计图,天线阵列总尺寸为 $150\text{ mm}\times 75\text{ mm}$ ,主要由 4 个双极化天线单元组成,分别放置在智能移动终端中介质板的 4 个角落,此外,在系统基板较短的一边设计了一对宽为 $3.0\text{ mm}$ 、长为 $17.5\text{ mm}$ 的矩形缝隙结构,该矩形缝隙位于双极化天线单元中间,能进一步改善天线单元间的隔离度。

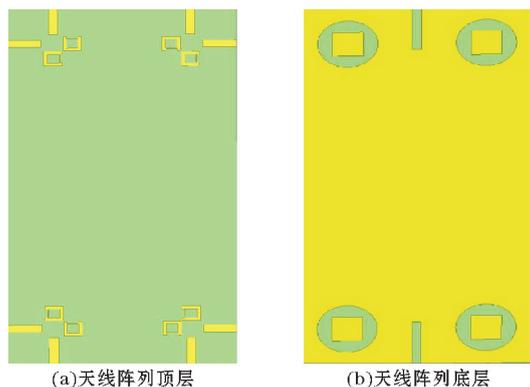
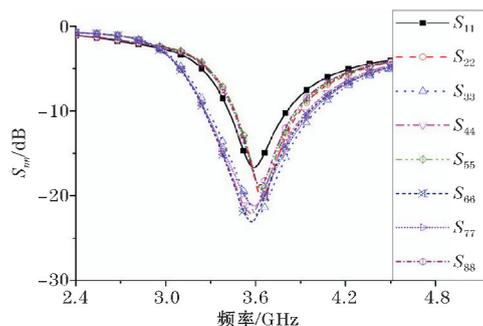
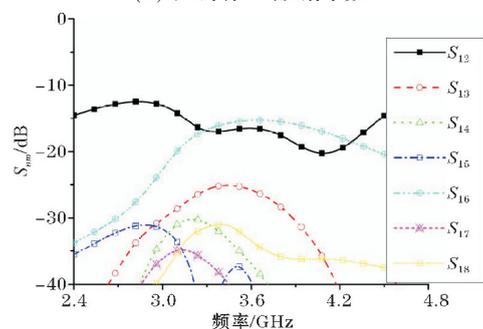


图 5 移动终端天线结构图



(a) 天线端口的反射系数



(b) 部分端口的隔离度

图 6 移动终端天线 S 参数仿真结果

移动终端 MIMO 天线阵列的反射系数( $S_{nn}, n=1, 2, \dots, 8$ )和隔离度( $S_{mn}, m=1, 2, \dots, 8, n=1, 2, \dots, 8$ )的仿真结果如图 6 所示。从图 6(a)的仿真结果可以看出,各个端口元件具有相似的反射系数特性,即在 $-6\text{ dB}$ 以下有着 $3.3\sim 4.1\text{ GHz}$ 的带宽。同时在该频带内,各个端口元件之间有着优于 $16\text{ dB}$ 的隔离度,部分仿真结果如图 6(b)所示。

移动终端 MIMO 天线阵列的辐射效率和增益的仿真结果如图 7 所示,在 $3.3\sim 4.1\text{ GHz}$ 有着高于 $88\%$ 的天线辐射效率和约 $3.8\text{ dBi}$ 的增益。包络相关系数(ECC)是判断多端口 MIMO 天线的一个重要性能指标。通过该指标可以计算天线不同端口信号之间的相关性,越低

的 ECC 意味着 MIMO 天线阵列的性能就越好。设计的 MIMO 天线阵列具有代表性的 ECC 仿真曲线如图 8 所示,频率在 $3.3\sim 4.1\text{ GHz}$ 时 $\text{ECC}<0.014$ ,满足工程上可接受的标准 $\text{ECC}<0.5$ 。

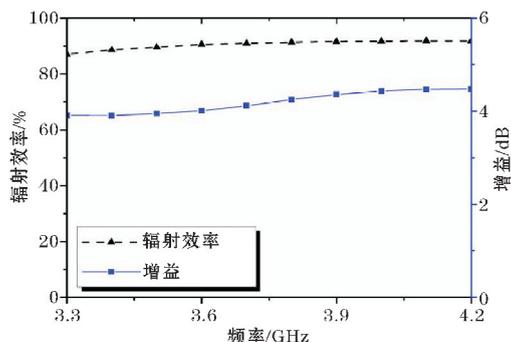


图 7 移动终端天线辐射效率和增益图

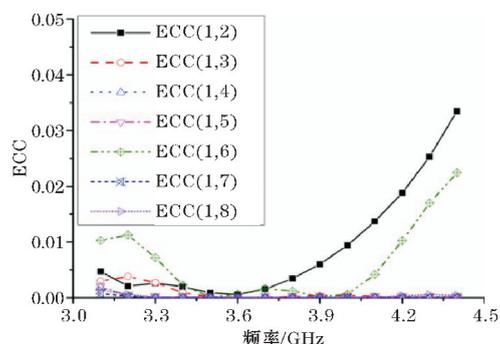
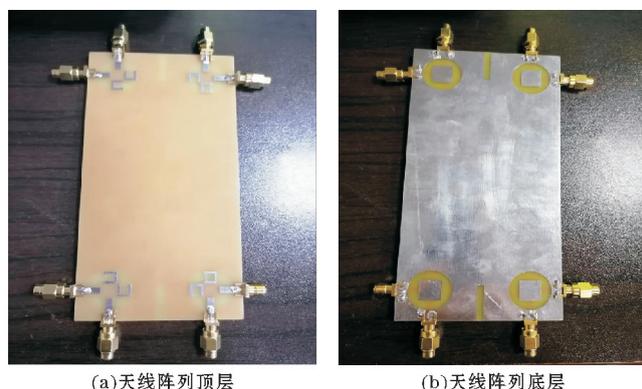


图 8 移动终端天线 ECC 图

## 2.2 天线阵列的加工及测试结果分析

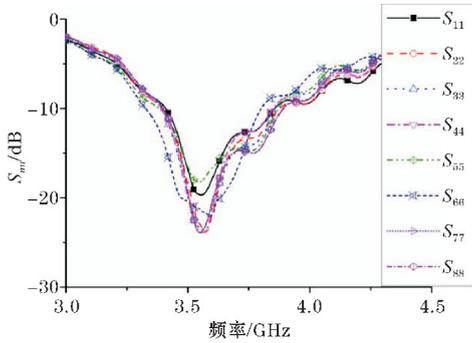
在 FR-4 基板上加工制作了移动终端 MIMO 天线阵列,如图 9 所示,并测量了各个端口的反射系数( $S_{nn}$ )和部分隔离度( $S_{mn}$ ),测试结果如图 10 所示。图 10 的测试结果表明,各个端口的反射系数和部分隔离度与图 6 的仿真结果基本一致,具有 $3.3\sim 4.1\text{ GHz}$ 的 $-6\text{ dB}$ 带宽,且带宽内各个端口元件之间有着优于 $16\text{ dB}$ 的隔离度。使用中电科思仪科技股份有限公司出产的 9820TB 天线技术教学实验系统完成了辐射方向图的测试,图 11 为移动终端 MIMO 天线阵列在 $3.6\text{ GHz}$ 频点时的 E 面和 H 面的仿真和测试辐射方向图,可以看出其测试结果与仿真结果具有较好的一致性。



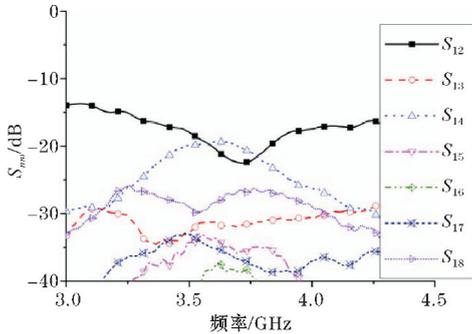
(a) 天线阵列顶层

(b) 天线阵列底层

图 9 加工的移动终端天线阵列

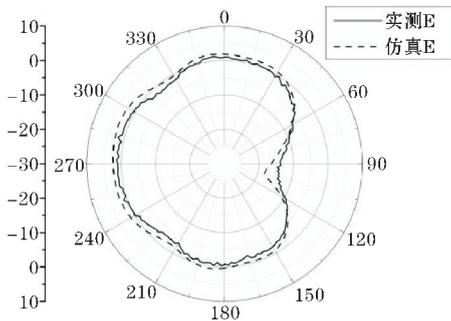


(a) 天线端口的反射系数

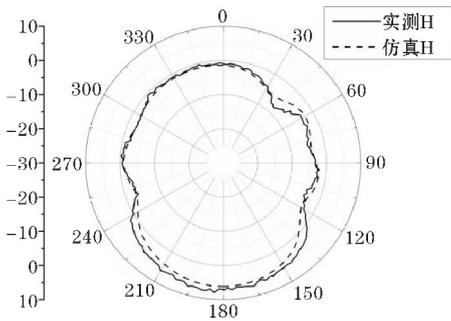


(b) 部分端口的隔离度

图10 移动终端天线S参数测试结果



(a) E面



(b) H面

图11 移动终端天线仿真和测试辐射方向图

为更好展现所设计的移动终端 MIMO 天线阵列的性能,选取参考文献中的类似天线进行比较,如表 2 所示。从表 2 可以看到,本文设计的天线阵列的阻抗带宽、隔离度和辐射效率具有明显的优势。

表2 天线性能比较

对比文献	阻抗带宽/ GHz	隔离度/ dB	辐射效率/ %	ECC	尺寸/ mm
文献[5]	3.4~3.8	>15	75	<0.01	150×75
文献[6]	2.55~2.6	>11	/	<0.15	136×68
文献[7]	3.55~3.65	>11	/	<0.02	150×75
文献[8]	3.4~3.6	>12	/	<0.13	150×75
文献[9]	3.3~3.6	>10	80	<0.1	167×70
文献[10]	3.4~3.6	>12	70	<0.15	150×64
本文	3.3~4.1	>16	88	<0.014	150×75

### 3 结束语

提出一种用于 5G 移动终端系统的 MIMO 天线阵列,该天线阵列由 4 个双极化天线单元组成。为提高各个天线单元间的隔离度,在系统基板的两条短边添加了一对矩形缝隙结构。所提出的移动终端 MIMO 天线阵列具有 3.3~4.1 GHz 的 -6 dB 带宽,优于 16 dB 的隔离度且高于 88% 的天线辐射效率。MIMO 天线阵列整体性能良好,适合用于 5G 移动终端系统。

致谢:感谢成都信息工程大学本科教学工程项目(JYJG2022062)对本文的资助

### 参考文献:

- [1] Kammoun A, Debbah M, Alouini M S. Design of 5G full dimension massive MIMO systems [J]. IEEE Transactions on Communications, 2017, 66 (2): 726-740.
- [2] Osseiran A, Boccardi F, Braun V, et al. Scenarios for 5G mobile and wireless communications: The vision of the METIS project [J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52 (5): 26-35.
- [3] Qin Z, Geyi W, Zhang M, et al. Printed eight-element MIMO system for compact and thin 5G mobile handset [J]. Electronics Letters, 2016, 52 (6): 416-418.
- [4] Hussain R, Alreshaid A T, Podilchak SK, et al. Compact 4G MIMO antenna integrated with a 5G array for current and future mobile handsets [J]. IET Microwaves Antennas & Propagation, 2017, 11 (2): 271-279.
- [5] Parchin N O, Al-Yasir Y I A, Ali A H, et al. Eight-element dual-polarized MIMO slot antenna system for 5G smartphone applications [J]. IEEE Access,

- 2019,27(7):15612–15622.
- [6] Li M Y, Xu Z Q, Ban Y L, et al. Eight-port orthogonally dual-polarised MIMO antennas using loop structures for 5G smartphone [J]. *IET Microwaves Antennas & Propagation*, 2017, 11(12):1810–1816.
- [7] Parchin N O, Al-Yasir Y I A, Noras J M, et al. Dual-polarized MIMO antenna array design using miniaturized self-complementary structures for 5G smartphone applications [J]. *European Conference on Antennas and Propagation*, 2019, 52(5):1–4.
- [8] Chang L, Yu Y, Wei K, et al. Polarization-orthogonal co-frequency dual antenna pair suitable for 5G MIMO smartphone with metallic bezels [J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2019, 67(8):5212–5220.
- [9] 郭兰图, 袁琴, 李煜, 等. 基于 5G 智能终端 8 单元 MIMO 天线设计 [J]. *杭州电子科技大学学报 (自然科学版)*, 2019, 39(5):8–12.
- [10] Zhu H, Guan X, Ren B, et al. Dual-band eight-element MIMO antenna consisted of tightly arranged hybrid antenna pairs for 5G smartphone [J]. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 2021, 31(12):1–10.
- [11] Parchin N O, Basherlou H J, Al-Yasir Y I A, et al. A broadband multiple-input multiple-output loop antenna array for 5G cellular communications [J]. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 2020, 127(5):6–17.
- [12] Sun L, Feng H, Li Y, et al. Compact 5G MIMO mobile phone antennas with tightly arranged orthogonal-mode pairs [J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2018, 66(11):6364–6369.
- [13] 虞成城, 任周游, 赵安平. 一种用于 5G 移动通信终端的双频 MIMO 天线系统 [J]. *微波学报*, 2019, 35(6):40–44.
- [14] Li M Y, Ban Y L, Xu Z Q, et al. Tri-polarized 12-antenna MIMO array for future 5G smartphone applications [J]. *IEEE Access*, 2017, 56(6):6160–6170.

## A Dual-polarized Multiple input Multiple output Antenna Design for 5G Mobile Terminals

CHEN Dong, LI Rongqiang, QIN Shichuan, LUO Yulong

(College of Electrical Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** This paper proposes an eight-port Multiple Input Multiple Output (MIMO) slot antenna array for 5G mobile terminals. The antenna array consists of four dual-polarized antenna elements, which are placed at the four corners of the system substrate with a size of 150 mm×75 mm. The top layer of the antenna unit consists of a pair of orthogonally placed microstrip feeders and a pair of square irregular metal rings, which can be used to improve the isolation of the antenna. The bottom layer of the antenna unit is a slot structure with an outer circle and an inner square, which is used to realize the broadband characteristics of the antenna. The experimental results show that the Multiple Input Multiple Output antenna array achieves -6 dB impedance bandwidth of 3.3–4.1 GHz, better than 16 dB isolation and higher than 88% radiation efficiency. In addition, the envelope correlation coefficient (ECC) of the antenna in the working frequency band is much less than 0.3. It can be seen that the Multiple Input Multiple Output antenna array has the characteristics of wide frequency band and high radiation efficiency, and is suitable for use in 5G mobile terminal systems.

**Keywords:** 5G; dual-polarized antenna; multiple input multiple output; mobile terminal; slot antenna