



(12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 209730164 U

(45)授权公告日 2019.12.03

(21)申请号 201920745108.1

(22)申请日 2019.05.22

(73)专利权人 吉林医药学院

地址 132013 吉林省吉林市丰满区吉林大街5号

(72)发明人 欧仁侠 房吉博 李俊瑶 杨哲 刘亚伟 张华磊

(51)Int.Cl.

H01Q 1/36(2006.01)

H01Q 1/38(2006.01)

H01Q 1/52(2006.01)

H01Q 15/24(2006.01)

H01Q 1/22(2006.01)

A61B 1/04(2006.01)

(ESM)同样的发明创造已同日申请发明专利

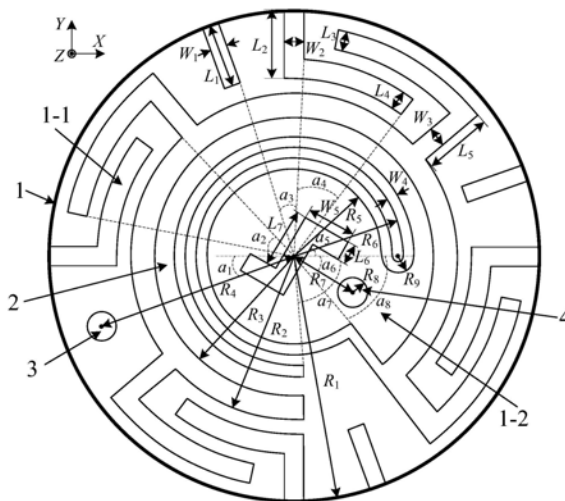
权利要求书1页 说明书8页 附图7页

(54)实用新型名称

基于石墨烯的摄入式胶囊内窥镜的宽带圆极化环形天线

(57)摘要

本实用新型公开了基于石墨烯的摄入式胶囊内窥镜的宽带圆极化环形天线,天线的辐射贴片和地板材质均为多层石墨烯薄膜,多层石墨烯薄膜材质的载流子密度较高,导电性能优良,用多层石墨烯薄膜制作天线能够增加阻抗带宽和增益,有效提升传输效率并降低损耗。在外侧环形贴片上开四对L形槽,使电流方向发生交替变化,在空间上形成幅值相等且相位差值为90度的正交分量,产生圆极化特性。在内侧环形曲流槽圆形贴片开一条环形曲流槽,改变天线辐射表面中心电流分布,缩小天线尺寸。该天线体积仅为  $\pi \times (4.5)^2 \text{mm}^3$ ,具有宽频带、圆极化、抗干扰、电磁兼容性好、体积小等特点,适用于ISM 2.4GHz 频段,能满足摄入复杂环境的工作要求。



CN 209730164 U

1. 基于石墨烯的摄入式胶囊内窥镜的宽带圆极化环形天线, 由介质基板(1)、石墨烯环形辐射贴片(2)、短路探针(3)、同轴接头(4)、石墨烯地板(5)构成; 所述的石墨烯环形辐射贴片(2)和石墨烯地板(5)材质均为多层石墨烯薄膜; 其特征在于:

a. 所述的石墨烯环形辐射贴片(2)由外侧环形贴片(1-1)和内侧环形曲流槽圆形贴片(1-2)组成, 在外侧环形贴片(1-1)上开四对且方向相反的L形槽, 四对L形槽平均分布在外侧环形贴片(1-1)圆周上, L形槽由一段矩形和一个扇环组合而成, 在四对L形槽之间开一矩形槽, 内侧环形曲流槽圆形贴片(1-2)是在圆形贴片上开两个开口圆环槽, 分别为内侧开口圆环槽和外侧开口圆环槽, 内侧开口圆环槽和外侧开口圆环槽的一端由一个半圆环槽相连接, 内侧开口圆环槽另一端同一个矩形槽相连接, 通过矩形槽将内侧开口圆环槽延伸至圆形贴片边缘, 从而形成一条环形曲流槽, 在内侧环形曲流槽圆形贴片(1-2)的中心开一个Z形缝隙, 外侧环形贴片(1-1)和内侧环形曲流槽圆形贴片(1-2)通过一个半圆环导带相连接;

b. 所述的短路探针(3)设置在石墨烯环形辐射贴片(2)的外侧环形贴片(1-1)上, 位于两对L形槽之间的中心位置;

c. 所述的同轴接头(4)位于石墨烯环形辐射贴片(2)内侧环形曲流槽圆形贴片(1-2)上, 同轴接头(4)的内芯与石墨烯环形辐射贴片(2)相连接, 同轴接头(4)的外芯与石墨烯地板(5)相连接;

d. 所述的石墨烯地板(5)采用完整的圆形结构, 在摄入式胶囊内窥镜内部形成屏蔽层。

2. 根据权利要求1所述的基于石墨烯的摄入式胶囊内窥镜的宽带圆极化环形天线, 其特征在于所述的多层石墨烯薄膜厚度为 $0.01\text{mm}\sim 0.03\text{mm}$ , 介质基板(1)的半径 $R_1$ 为 $4.5\text{mm}\sim 5.5\text{mm}$ 。

3. 根据权利要求1所述的基于石墨烯的摄入式胶囊内窥镜的宽带圆极化环形天线, 其特征在于所述的宽带圆极化环形天线外表面镀一层生物相容材料派瑞林C型, 厚度为 $0.03\text{mm}$ , 介电常数 $\epsilon_r$ 为2.95, 损耗正切 $\tan\delta$ 为0.013。

## 基于石墨烯的摄入式胶囊内窥镜的宽带圆极化环形天线

### 技术领域

[0001] 本实用新型涉及摄入式胶囊内窥镜天线技术领域,具体涉及基于石墨烯的摄入式胶囊内窥镜的宽带圆极化环形天线,适用于ISM 2.4GHz频段的圆极化摄入式胶囊内窥镜装置。

### 背景技术

[0002] 传统内窥镜是诊断和治疗消化道疾病比较直接和常用的方法,通常由显示器和安装视频摄像头的光纤组成,然而,传统内窥镜在治疗过程中都是通过口腔或肛门直接插入,这不仅给患者带来较大的痛苦,而且还容易引起并发症,导致病人因恐惧而放弃治疗,同时,由于人体消化道存在多曲狭长的生理特点,传统内窥镜存在一定的检查盲区,内窥镜无法进入小肠的中端和近端,导致小肠的三分之二无法被检测。随着智能生物医学技术的迅猛发展,摄入式胶囊内窥镜将逐渐取代传统插入式内窥镜,摄入式胶囊内窥镜是一种集成生物医学、信息通讯、图像处理、光电工程的消化系统无创无痛诊断技术,它可以克服传统内窥镜的缺点,直接对人体消化系统进行安全无创的检查。摄入式胶囊内窥镜装置通常包括图像传感器、LED 光源、电池、发射器、接收器、天线等,摄入式胶囊内窥镜摄入到人体消化道内,通过胃肠蠕动向下推进,通过摄像头采集拍摄食道、胃、大肠和小肠的内壁,通过天线将采集的信息传输到体外接收装置用于存储和分析,最终实现对整个消化系统的无创检测。天线是摄入式胶囊内窥镜装置的关键器件,主要功能是将图像传感器采集的人体消化道内数据以电磁波的形式传输至体外接收装置,天线的性能直接影响图像和视频数据传输的精确度和实时性。为获取高分辨率图像和视频信息来诊断病变位置,需要提高数据传输的帧速率来提高诊断的准确性,同时也要考虑胶囊内窥镜被摄入后在不同环境下的工作性能,这就要求天线具有较低的功耗、较宽的带宽和较强的抗干扰能力,设计宽带、圆极化、小型化的天线能够很好的满足上述要求,同时,圆极化天线还可以抑制胶囊在不同消化器官内部环境和运动产生的极化失配。摄入式天线小型化的方法主要是延长电流路径增加电尺寸、改变介质基板结构、采用高介电常数介质基板、采取加载技术增加有源网络等。非专利文献1:公开一种用于生物遥测的915MHz ISM波段的宽带圆极化植入式天线,在圆形辐射贴片中心开一个角槽,增加两对关于圆心对称的槽,延长电流路径,降低谐振频率,通过增加短路探针减小天线的设计尺寸,但该天线的缺点是带宽有限。非专利文献2:公开了一种用于无线胶囊内窥镜系统的共形圆极化天线,该天线辐射贴片由矩形线圈、不对称U形导带和突出的L形短枝节组成,通过不对称 U形导带产生圆极化特性,通过地板上的两个金属孔馈电,天线与胶囊内壁共形,共形天线可以减少对胶囊内部体积的使用,提高系统集成度,同时提高增益和辐射效率,但共形天线没有完整的地板,与其它设备之间的抗干扰性能和电磁兼容能力较其它类型天线较弱。非专利文献3:公开了一种用于胶囊内窥镜装置的圆极化天线,该天线与胶囊外壁共形,形成自封装结构,提高了天线的辐射效率和增益,该共形天线具有完整的地板,在胶囊内部区域形成屏蔽层,提高了抗干扰和电磁兼容性能,但该天线设计调试较为复杂。将天线设计在胶囊内部能够避免天线与人体组织的接触,防止收到组

织液的腐蚀。螺旋天线具有带宽宽、容易实现圆极化等特性,但常规的螺旋天线体积较大。石墨烯材料的导电性能是普通材料的50倍,石墨烯具有的蜂窝结构,能够产生较高的载流子密度,导电性能优良,同时,石墨烯材料的导电率具有动态可调节性,石墨烯材料凭借独特的性能和优势在机械、光学、电学、热学等领域受到广泛关注。在印刷天线中使用石墨烯材料能够大大提升天线效能,实现高效动态调节、高透明度、提升传输效率并降低损耗,满足摄入式无线通信系统对天线的微型化需求,同时也能大大增加通信距离。国内外学者对石墨烯材料在天线领域的研究主要集中在太赫兹天线、方向图可重构天线、滤波天线、柔性天线、可穿戴天线,对石墨烯在摄入式天线的研究相对较少。

[0003] 引用文献列表

[0004] 非专利文献1:Yudi Zhang,Changrong Liu,Xueguan Liu,Ke Zhang,Xinmi Yang.A Wideband Circularly Polarized Implantable Antenna for 915MHz ISM-Band Biotelemetry Devices.IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters,2018,17(8):1473-1477.

[0005] 非专利文献2:Rongqiang Li,Yong-Xin Guo,and Guohong Du.A Conformal Circularly Polarized Antenna for Wireless Capsule Endoscope Systems.IEEE Transactions on Antennas and Propagation,2018,66(4):2119-2124.

[0006] 非专利文献3:杨贤涛,植入式医疗设备的圆极化天线研究,华南理工大学硕士学位论文,2017:62-74.

### 实用新型内容

[0007] 本实用新型的目的是提供一种基于石墨烯的摄入式胶囊内窥镜的宽带圆极化环形天线,该天线具有宽频带、圆极化、抗干扰、电磁兼容性好、体积小等特性,易于集成到摄入式胶囊内窥镜装置中,适用于ISM 2.4GHz频段,能满足摄入复杂环境后的工作要求。

[0008] 本实用新型的技术方案是:基于石墨烯的摄入式胶囊内窥镜的宽带圆极化环形天线,由介质基板1、石墨烯环形辐射贴片2、短路探针3、同轴接头4、石墨烯地板5构成;所述的石墨烯环形辐射贴片2和石墨烯地板5材质均为多层石墨烯薄膜,多层石墨烯薄膜材质的载流子密度较高,导电性能优良,用多层石墨烯薄膜制作天线能够增加阻抗带宽和增益,有效提升传输效率并降低损耗;其特征在于:

[0009] a.所述的石墨烯环形辐射贴片2由外侧环形贴片1-1和内侧环形曲流槽圆形贴片1-2组成,在外侧环形贴片1-1上开四对且方向相反的L形槽,四对L形槽平均分布在外侧环形贴片1-1圆周上,L形槽由一段矩形和一个扇环组合而成,在四对L形槽之间开一矩形槽,通过在外侧环形贴片1-1上开四对L形槽可以使电流方向发生交替变化,在空间上形成幅值相等且相位差值为90度的正交分量,从而产生圆极化特性,同时可以延长天线表面电流路径,降低摄入式宽带圆极化环形天线的谐振频率,内侧环形曲流槽圆形贴片1-2是在圆形贴片上开两个开口圆环槽,分别为内侧开口圆环槽和外侧开口圆环槽,内侧开口圆环槽和外侧开口圆环槽的一端由一个半圆环槽相连接,内侧开口圆环槽另一端同一个矩形槽相连接,通过矩形槽将内侧开口圆环槽延伸至圆形贴片边缘,从而形成一条环形曲流槽,能够改变天线辐射表面中心的电流分布,进一步缩小天线的尺寸,在内侧环形曲流槽圆形贴片1-2的中心开一个Z形缝隙,调整Z形缝隙的尺寸和旋转角度可以改善天线的阻抗匹配并提高

极化纯度,外侧环形贴片1-1和内侧环形曲流槽圆形贴片1-2通过一个半圆环导带相连接;

[0010] b.所述的短路探针3设置在石墨烯环形辐射贴片2的外侧环形贴片1-1上,位于两对L形槽之间的中心位置,增加短路探针3可以优化阻抗匹配,缩小天线的尺寸;

[0011] c.所述的同轴接头4位于石墨烯环形辐射贴片2内侧环形曲流槽圆形贴片1-2上,同轴接头4的内芯与石墨烯环形辐射贴片2相连接,同轴接头4的外芯与石墨烯地板5相连接;

[0012] d.所述的石墨烯地板5采用完整的圆形结构,在摄入式胶囊内窥镜内部形成屏蔽层,能够有效避免天线对胶囊内部其它电子器件产生干扰,提高天线的抗干扰性能和电磁兼容性能。

[0013] 所述的多层石墨烯薄膜厚度为0.01mm~0.03mm,介质基板1的半径 $R_1$ 为4.5mm~5.5mm。

[0014] 所述的石墨烯环形辐射贴片2的外侧环形贴片1-1内圆半径 $R_2$ 为3mm~3.5mm,外侧环形贴片1-1中左侧L形槽的矩形长 $L_2$ 为1.7mm~1.9mm,宽 $W_2$ 为0.3mm~0.5mm,左侧圆环槽的角度 $a_4$ 为30~45度,左侧圆环槽外圆半径与内圆半径之差 $L_4$ 为0.3mm~0.5mm,右侧L形槽的矩形长 $L_5$ 为1.6mm~2.0mm,宽 $W_3$ 为0.3mm~0.5mm,右侧圆环槽的角度 $a_2$ 为30~45度,右侧圆环槽外圆半径与内圆半径之差 $L_3$ 为0.3mm~0.5mm,四对L形槽之间开的矩形槽的长 $L_1$ 为2.4mm~2.8mm,宽 $W_1$ 为0.3mm~0.4mm,矩形槽与左侧L形槽之间的角度 $a_3$ 为18~22度,内侧环形曲流槽圆形贴片1-2的半径 $R_3$ 为2.6mm~3.1mm,在内侧环形曲流槽圆形贴片1-2中圆形贴片上的外侧开口圆环槽内圆半径 $R_6$ 为2.1mm~2.4mm,内侧开口圆环槽内圆半径 $R_5$ 为1.6mm~2.1mm,两个开口圆环槽的外圆半径与内圆半径之差 $W_4$ 为0.2mm~0.3mm,内侧开口圆环槽和外侧开口圆环槽的一端由一个半圆环槽相连接,半圆环槽的外圆半径 $R_9$ 为0.3mm~0.4mm,半圆环槽的外圆半径与内圆半径之差与内侧开口圆环槽和外侧开口圆环槽保持一致,外侧开口圆环槽的开口角度 $a_7$ 为85~90度,内侧开口圆环槽另一端同一个矩形槽相连接,通过矩形槽将内侧开口圆环槽延伸至圆形贴片边缘,矩形槽的宽度与内侧开口圆环槽和外侧开口圆环槽外圆半径与内圆半径之差 $W_4$ 保持一致,内侧开口圆环槽的开口角度 $a_8$ 为45~60度,在内侧环形曲流槽圆形贴片1-2的中心开一个Z形缝隙,Z形缝隙的中间矩形长 $L_7$ 为1.1mm~1.3mm,宽 $W_5$ 为0.8mm~1.2mm,Z形缝隙上下矩形的高 $L_6$ 为0.3mm~0.5mm,Z形缝隙的旋转角度 $a_5$ 为55~65度。

[0015] 所述的短路探针3距石墨烯环形辐射贴片2中心的距离 $R_4$ 为4mm~4.3mm,短路探针3圆心位置与石墨烯环形辐射贴片2水平对称轴的夹角 $a_1$ 为16~24度,短路探针3半径与同轴接头4的内芯半径相等。

[0016] 所述的同轴接头4距石墨烯环形辐射贴片2中心的距离 $R_7$ 为1.2mm~1.6mm,同轴接头4的内芯半径 $R_8$ 为0.2mm~0.4mm,同轴接头4圆心位置与石墨烯环形辐射贴片2水平对称轴的夹角 $a_6$ 为40~50度。

[0017] 所述的宽带圆极化环形天线外表面镀一层生物相容材料派瑞林C型,厚度为0.03mm,介电常数 $\epsilon_r$ 为2.95,损耗正切 $\tan\delta$ 为0.013,防止宽带圆极化环形天线与人体消化器官或组织液直接接触而产生短路电流,增强宽带圆极化环形天线的生物相容性。

[0018] 本实用新型的效果在于:本实用新型设计了一种基于石墨烯的摄入式胶囊内窥镜的宽带圆极化环形天线,摄入式宽带圆极化环形天线的辐射贴片和地板材质均为多层石墨

烯薄膜,多层石墨烯薄膜材质的载流子密度较高,导电性能优良,用多层石墨烯薄膜制作天线能够增加阻抗带宽和增益,有效提升传输效率并降低损耗。通过在外侧环形贴片上开四对L形槽,可以使电流方向发生交替变化,在空间上形成幅值相等且相位差值为90度的正交分量,从而产生圆极化特性,同时可以延长摄入式宽带圆极化环形天线表面电流路径,降低摄入式宽带圆极化环形天线的谐振频率。在内侧环形曲流槽圆形贴片增加一条环形曲流槽,能够改变天线辐射表面中心的电流分布,进一步缩小天线的尺寸,在内侧环形曲流槽圆形贴片的中心开一个Z形缝隙,调整Z形缝隙的尺寸和旋转角度可以改善天线的阻抗匹配并提高极化纯度。石墨烯地板采用完整的圆形结构,在摄入式胶囊内窥镜内部形成屏蔽层,能够有效避免天线对胶囊内部其它电子器件产生干扰,提高摄入式宽带圆极化环形天线的抗干扰性能和电磁兼容性能。该摄入式宽带圆极化环形天线为平面结构,天线的体积仅为 $\pi \times (4.5)^2 \text{mm}^3$ ,具有宽频带、圆极化、抗干扰、电磁兼容性好、体积小等特点,适用于ISM 2.4GHz频段,能满足摄入复杂环境后的工作要求。

### 附图说明

- [0019] 图1是本实用新型实施例的正面结构示意图。
- [0020] 图2是本实用新型实施例的侧面结构示意图。
- [0021] 图3是本实用新型实施例的背面结构示意图。
- [0022] 图4是本实用新型实施例外侧环形贴片1-1中左侧圆环槽的角度 $a_1$ 、右侧圆环槽的角度 $a_2$ 对天线阻抗带宽和轴比带宽的影响。
- [0023] 图5是本实用新型实施例内侧环形曲流槽圆形贴片1-2中内侧开口圆环槽内圆半径 $R_5$ 、外侧开口圆环槽内圆半径 $R_6$ 对天线阻抗带宽和轴比带宽的影响。
- [0024] 图6是本实用新型实施例内侧环形曲流槽圆形贴片1-2中Z形缝隙的高 $L_7$ 、宽 $W_5$ 对天线阻抗带宽和轴比带宽的影响。
- [0025] 图7是本实用新型实施例多层石墨烯薄膜厚度 $T$ 对天线性能的影响。
- [0026] 图8是本实用新型实施例摄入人体不同消化器官中对天线性能的影响。
- [0027] 图9是本实用新型实施例摄入到胃的增益和轴比曲线。
- [0028] 图10是本实用新型实施例摄入到小肠的增益和轴比曲线。
- [0029] 图11是本实用新型实施例摄入到结肠的增益和轴比曲线。
- [0030] 图12是本实用新型实施例仿真与实测阻抗带宽和轴比带宽曲线。

### 具体实施方式

[0031] 本实用新型的具体实施方式是:如图1所示,基于石墨烯的摄入式胶囊内窥镜的宽带圆极化环形天线,由介质基板1、石墨烯环形辐射贴片2、短路探针3、同轴接头4、石墨烯地板5构成;所述的石墨烯环形辐射贴片2和石墨烯地板5材质均为多层石墨烯薄膜,多层石墨烯薄膜材质的载流子密度较高,导电性能优良,用多层石墨烯薄膜制作天线能够增加阻抗带宽和增益,有效提升传输效率并降低损耗;其特征在于:所述的石墨烯环形辐射贴片2由外侧环形贴片1-1和内侧环形曲流槽圆形贴片1-2组成,在外侧环形贴片1-1上开四对且方向相反的L形槽,四对L形槽平均分布在外侧环形贴片1-1圆周上,L形槽由一段矩形和一个扇环组合而成,在四对L形槽之间开一矩形槽,通过在外侧环形贴片1-1上开四对L形槽可

以使电流方向发生交替变化,在空间上形成幅值相等且相位差值为90度的正交分量,从而产生圆极化特性,同时可以延长天线表面电流路径,降低摄入式宽带圆极化环形天线的谐振频率,内侧环形曲流槽圆形贴片1-2是在圆形贴片上开两个开口圆环槽,分别为内侧开口圆环槽和外侧开口圆环槽,内侧开口圆环槽和外侧开口圆环槽的一端由一个半圆环槽相连接,内侧开口圆环槽另一端同一个矩形槽相连接,通过矩形槽将内侧开口圆环槽延伸至圆形贴片边缘,从而形成一条环形曲流槽,能够改变天线辐射表面中心的电流分布,进一步缩小天线的尺寸,在内侧环形曲流槽圆形贴片1-2的中心开一个Z形缝隙,调整Z形缝隙的尺寸和旋转角度可以改善天线的阻抗匹配并提高极化纯度,外侧环形贴片1-1和内侧环形曲流槽圆形贴片1-2通过一个半圆环导带相连接;所述的短路探针3设置在石墨烯环形辐射贴片2的外侧环形贴片1-1上,位于两对L形槽之间的中心位置,增加短路探针3可以优化阻抗匹配,缩小天线的尺寸;所述的同轴接头4位于石墨烯环形辐射贴片2内侧环形曲流槽圆形贴片1-2上,同轴接头4的内芯与石墨烯环形辐射贴片2相连接,同轴接头4的外芯与石墨烯地板5相连接;所述的石墨烯地板5采用完整的圆形结构,在摄入式胶囊内窥镜内部形成屏蔽层,能够有效避免天线对胶囊内部其它电子器件产生干扰,提高天线的抗干扰性能和电磁兼容性能。

[0032] 所述的多层石墨烯薄膜厚度为0.01mm~0.03mm,介质基板1的半径 $R_1$ 为4.5mm~5.5mm。

[0033] 所述的石墨烯环形辐射贴片2的外侧环形贴片1-1内圆半径 $R_2$ 为3mm~3.5mm,外侧环形贴片1-1中左侧L形槽的矩形长 $L_2$ 为1.7mm~1.9mm,宽 $W_2$ 为0.3mm~0.5mm,左侧圆环槽的角度 $a_4$ 为30~45度,左侧圆环槽外圆半径与内圆半径之差 $L_4$ 为0.3mm~0.5mm,右侧L形槽的矩形长 $L_5$ 为1.6mm~2.0mm,宽 $W_3$ 为0.3mm~0.5mm,右侧圆环槽的角度 $a_2$ 为30~45度,右侧圆环槽外圆半径与内圆半径之差 $L_3$ 为0.3mm~0.5mm,四对L形槽之间开的矩形槽的长 $L_1$ 为2.4mm~2.8mm,宽 $W_1$ 为0.3mm~0.4mm,矩形槽与左侧L形槽之间的角度 $a_3$ 为18~22度,内侧环形曲流槽圆形贴片1-2的半径 $R_3$ 为2.6mm~3.1mm,在内侧环形曲流槽圆形贴片1-2中圆形贴片上的外侧开口圆环槽内圆半径 $R_6$ 为2.1mm~2.4mm,内侧开口圆环槽内圆半径 $R_5$ 为1.6mm~2.1mm,两个开口圆环槽的外圆半径与内圆半径之差 $W_4$ 为0.2mm~0.3mm,内侧开口圆环槽和外侧开口圆环槽的一端由一个半圆环槽相连接,半圆环槽的外圆半径 $R_9$ 为0.3mm~0.4mm,半圆环槽的外圆半径与内圆半径之差与内侧开口圆环槽和外侧开口圆环槽保持一致,外侧开口圆环槽的开口角度 $a_7$ 为85~90度,内侧开口圆环槽另一端同一个矩形槽相连接,通过矩形槽将内侧开口圆环槽延伸至圆形贴片边缘,矩形槽的宽度与内侧开口圆环槽和外侧开口圆环槽外圆半径与内圆半径之差 $W_4$ 保持一致,内侧开口圆环槽的开口角度 $a_8$ 为45~60度,在内侧环形曲流槽圆形贴片1-2的中心开一个Z形缝隙,Z形缝隙的中间矩形长 $L_7$ 为1.1mm~1.3mm,宽 $W_5$ 为0.8mm~1.2mm,Z形缝隙上下矩形的高 $L_6$ 为0.3mm~0.5mm,Z形缝隙的旋转角度 $a_5$ 为55~65度。

[0034] 所述的短路探针3距石墨烯环形辐射贴片2中心的距离 $R_4$ 为4mm~4.3mm,短路探针3圆心位置与石墨烯环形辐射贴片2水平对称轴的夹角 $a_1$ 为16~24度,短路探针3半径与同轴接头4的内芯半径相等。

[0035] 所述的同轴接头4距石墨烯环形辐射贴片2中心的距离 $R_7$ 为1.2mm~1.6mm,同轴接头4的内芯半径 $R_8$ 为0.2mm~0.4mm,同轴接头4圆心位置与石墨烯环形辐射贴片2水平对称

轴的夹角 $a_6$ 为40~50度。

[0036] 所述的宽带圆极化环形天线外表面镀一层生物相容材料派瑞林C型,厚度为0.03mm,介电常数 $\epsilon_r$ 为2.95,损耗正切 $\tan\delta$ 为0.013,防止宽带圆极化环形天线与人体消化器官或组织液直接接触而产生短路电流,增强宽带圆极化环形天线的生物相容性。

[0037] 实施例:具体制作过程如实施方式所述。选择Rogers R03210介质基板,介电常数 $\epsilon_r=10.2$ ,损耗正切 $\tan\delta=0.003$ ,厚度 $H=0.635\text{mm}$ ,同轴接头采用标准SMA接头。摄入式宽带圆极化环形天线的辐射单元和地板的材质均为多层石墨烯薄膜,多层石墨烯薄膜材质的载流子密度较高,导电性能优良,用多层石墨烯薄膜制作天线能够增加阻抗带宽和增益,有效提升传输效率并降低损耗。多层石墨烯薄膜厚度为0.03mm,介质基板1的半径 $R_1$ 为5mm。石墨烯环形辐射贴片2的外侧环形贴片1-1内圆半径 $R_2$ 为3.34mm,外侧环形贴片1-1中左侧L形槽的矩形长 $L_2$ 为1.8mm,宽 $W_2$ 为0.4mm,左侧圆环槽的角度 $a_4$ 为34度,左侧圆环槽外圆半径与内圆半径之差 $L_4$ 为0.4mm,右侧L形槽的矩形长 $L_5$ 为1.8mm,宽 $W_3$ 为0.4mm,右侧圆环槽的角度 $a_2$ 为37度,右侧圆环槽外圆半径与内圆半径之差 $L_3$ 为0.4mm,通过在外侧环形贴片上开四对L形槽可以使电流方向发生交替变化,在空间上形成相位差值为90度的正交分量,从而产生圆极化特性,同时可以延长天线表面电流路径,降低摄入式天线的谐振频率。四对L形槽之间开的矩形槽的长 $L_1$ 为2.6mm,宽 $W_1$ 为0.34mm,矩形槽与左侧L形槽之间的角度 $a_3$ 为20度,内侧环形曲流槽圆形贴片1-2的半径 $R_3$ 为2.85mm,在内侧环形曲流槽圆形贴片1-2中圆形贴片上的外侧开口圆环槽内圆半径 $R_6$ 为2.23mm,内侧开口圆环槽内圆半径 $R_5$ 为1.79mm,外侧开口圆环槽和内侧开口圆环槽的外圆半径与内圆半径之差 $W_4$ 为0.22mm,内侧开口圆环槽和外侧开口圆环槽的一端由一个半圆环槽相连接,半圆环槽的外圆半径 $R_9$ 为0.33mm,半圆环槽的外圆半径与内圆半径之差与外侧开口圆环槽和内侧开口圆环槽保持一致,外侧开口圆环槽的开口角度 $a_7$ 为87度,内侧开口圆环槽另一端同一个矩形槽相连接,通过矩形槽将内侧开口圆环槽延伸至圆形贴片边缘,矩形槽的宽度与外侧开口圆环槽和内侧开口圆环槽外圆半径与内圆半径之差 $W_4$ 保持一致,内侧开口圆环槽的开口角度 $a_8$ 为51度,在内侧环形曲流槽圆形贴片1-2增加一条环形曲流槽,能够改变天线辐射表面中心的电流分布,进一步缩小天线的尺寸。在内侧环形曲流槽圆形贴片1-2的中心开一个Z形缝隙,Z形缝隙的中间矩形长 $L_7$ 为1.2mm,宽 $W_5$ 为1mm,Z形缝隙上下矩形的高 $L_6$ 为0.4mm,Z形缝隙的旋转角度 $a_5$ 为60度。在内侧环形曲流槽圆形贴片1-2的中心开一个Z形缝隙,调整Z形缝隙的尺寸和旋转角度可以改善天线的阻抗匹配并提高极化纯度。短路探针3距石墨烯环形辐射贴片2中心的距离 $R_4$ 为4.17mm,短路探针3圆心位置与石墨烯环形辐射贴片2水平对称轴的夹角 $a_1$ 为21度,短路探针3半径与同轴接头4的内芯半径相等。同轴接头4距石墨烯环形辐射贴片2中心的距离 $R_7$ 为1.4mm,同轴接头4的内芯半径 $R_8$ 为0.3mm,同轴接头4圆心位置与石墨烯环形辐射贴片2水平对称轴的夹角 $a_6$ 为45度。宽带圆极化环形天线外表面镀一层生物相容材料派瑞林C型,厚度为0.03mm,介电常数 $\epsilon_r$ 为2.95,损耗正切 $\tan\delta$ 为0.013,防止宽带圆极化环形天线与人体消化器官或组织液直接接触而产生短路电流,增强宽带圆极化环形天线的生物相容性。

[0038] 选取外侧环形贴片1-1中左侧圆环槽的角度 $a_4$ 、右侧圆环槽的角度 $a_2$ 分析对天线阻抗带宽和轴比带宽的影响,如图4所示,分别选取 $a_4=30$ 度、 $a_2=32$ 度、 $a_4=34$ 度、 $a_2=37$ 度和 $a_4=40$ 度、 $a_2=45$ 度这三种情况对天线性能进行分析,从图4中可以看出,随着左侧圆环槽和右侧圆环槽角度的增加,摄入式宽带圆极化环形天线的谐振频率向低频方向移动,轴比

性能最佳频率点也跟随其向低频方向移动,天线的谐振程度变化较小,说明左侧圆环和右侧圆环角度的变化对天线的阻抗匹配影响不大,轴比性能受左侧圆环槽和右侧圆环槽角度影响较大,原因是左侧圆环槽和右侧圆环槽角度的增加,引起外侧环形贴片上的L形槽尺寸增加,从而延长天线表面电流路径,降低摄入式天线的谐振频率,通过引入四对L形槽可以使电流在X轴方向和Y轴方向发生交替变化,在空间上形成正交分量,通过调整L形槽的尺寸,可以使电流在X轴方向和Y轴方向的分量具有相等的幅值,在空间上形成幅值相等且相位差值为90度的正交分量,从而产生圆极化特性。当 $a_1=34^\circ$ 、 $a_2=37^\circ$ 时,摄入式天线能够获得较好的性能,阻抗带宽和轴比带宽都覆盖所需的ISM2.4GHz频段。

[0039] 选取内侧环形曲流槽圆形贴片1-2中内侧开口圆环槽内圆半径 $R_5$ 、外侧开口圆环槽内圆半径 $R_6$ 分析对天线阻抗带宽和轴比带宽的影响,如图5所示,分别选取 $R_5=1.6\text{mm}$ 、 $R_6=2.1\text{mm}$ 、 $R_5=1.79\text{mm}$ 、 $R_6=2.23\text{mm}$ 、 $R_5=2.1\text{mm}$ 、 $R_6=2.4\text{mm}$ 这三种情况对天线性能进行分析,从图5中可以看出,随着内侧开口圆环槽内圆半径 $R_5$ 、外侧开口圆环槽内圆半径 $R_6$ 的增加,摄入式宽带圆极化环形天线的谐振频率向低频方向移动,谐振程度逐渐减小,轴比性能最佳频率点变化较小,说明内侧开口圆环槽内圆半径和外侧开口圆环槽内圆半径尺寸的变化对摄入式天线的阻抗匹配影响较大,对轴比性能影响较小,原因是通过在环形曲流槽圆形贴片1-2引入环形曲流槽,能够改变天线辐射表面中心的电流分布,进一步缩小天线的尺寸。当 $R_5=1.79\text{mm}$ 、 $R_6=2.23\text{mm}$ 时,摄入式天线能够获得较好的性能,阻抗带宽和轴比带宽都覆盖所需的ISM2.4GHz频段。

[0040] 选取内侧环形曲流槽圆形贴片1-2中Z形缝隙的高 $L_7$ 、宽 $W_5$ 分析对天线阻抗带宽和轴比带宽的影响,如图6所示,分别选取 $L_7=1.1\text{mm}$ 、 $W_5=0.8\text{mm}$ 、 $L_7=1.2\text{mm}$ 、 $W_5=1\text{mm}$ 、 $L_7=1.3\text{mm}$ 、 $W_5=1.2\text{mm}$ 这三种情况对天线性能进行分析,从图6中可以看出,随着Z形缝隙尺寸的增加,摄入式天线的谐振频率和轴比性能最佳频率点变化不大,谐振程度逐渐增加,轴比性能最低值也逐渐减小。原因是引入Z形缝隙可以改善天线的阻抗匹配并提高极化纯度。当 $L_7=1.2\text{mm}$ 、 $W_5=1\text{mm}$ 时,摄入式天线能够获得较好的性能,阻抗带宽和轴比带宽都覆盖所需的ISM2.4GHz 频段。

[0041] 选取多层石墨烯薄膜厚度 $T$ 为 $0.02\text{mm}$ 、 $0.03\text{mm}$ 、 $0.04\text{mm}$ ,分析多层石墨烯薄膜厚度对天线性能的影响如图7所示,从图中可以看出,随着多层石墨烯薄膜厚度的增加,摄入式宽带圆极化环形天线谐振程度明显增加,谐振频率偏移量较小,轴比性能最佳频率点变化较小,轴比性能最低值逐渐减小,说明圆极化摄入式天线的阻抗匹配和轴比性能得到明显改善。原因是随着多层石墨烯薄膜厚度增大,多层石墨烯薄膜的导电性能逐渐增强,从而使多层石墨烯薄膜的损耗得到改善,摄入式宽带圆极化环形天线的阻抗匹配和轴比性能从而得到改善。选取多层石墨烯薄膜的厚度 $T$ 为 $0.03\text{mm}$ 时,摄入式宽带圆极化环形天线的性能满足ISM2.4GHz 频段的工作需求。

[0042] 摄入式宽带圆极化环形天线将随胶囊内窥镜装置被摄入到不同的人体消化器官中,采用 CST人体高精度模型,分析摄入式宽带圆极化环形天线的摄入位置和环境对天线阻抗带宽的影响,将设计的天线摄入到人体模型中的胃、小肠和结肠中进行仿真测试和对比分析,摄入式宽带圆极化环形天线摄入不同消化器官中对天线阻抗带宽和轴比带宽的影响如图8所示,摄入式宽带圆极化环形天线在人体模型不同消化器官中的摄入位置距体表的距离分别为 $34\text{mm}$ 、 $38\text{mm}$ 、 $46\text{mm}$ ,圆极化摄入式天线在胃、小肠和结肠中阻抗带宽和阻抗匹

配均能满足工作要求,谐振频率偏移较小,说明不同摄入位置对天线的阻抗特性影响较小,摄入式宽带圆极化环形天线在胃、小肠和结肠中的阻抗带宽和轴比带宽能够覆盖ISM 2.4GHz频段。

[0043] 分析摄入式宽带圆极化环形天线不同摄入位置的辐射特性,摄入式宽带圆极化环形天线摄入到胃、小肠和结肠的增益和轴比曲线对比结果分别如图9、10、11所示,从图中可以看出,摄入式宽带圆极化环形天线摄入胃后的主辐射方向和最佳轴比角度为85度,摄入式宽带圆极化环形天线摄入小肠后的主辐射方向和最佳轴比角度为-38度,摄入式宽带圆极化环形天线摄入结肠后的主辐射方向和最佳轴比角度为12度,摄入式宽带圆极化环形天线在不同消化器官中的峰值增益都存在一定程度的降低,摄入式宽带圆极化环形天线在胃、小肠、结肠位置的峰值增益分别为-22.3dBic、-29.8dBic和-37.6dBic,主要原因是不同消化器官导致不同的介质损耗,不同摄入深度影响电磁能量的损耗,摄入式宽带圆极化环形天线在三个消化器官中的摄入深度逐渐加深,引起了峰值增益的逐渐降低。对应三个位置的轴比分别为4.6dB、3.8dB 和0.9dB,由于人体的不对称性和复杂性,摄入式宽带圆极化环形天线的圆极化特性存在一定恶化,通过对人体组织模型调试优化可以改善圆极化性能满足需求。

[0044] 对摄入式宽带圆极化环形天线安全性进行综合分析,设置摄入式宽带圆极化环形天线输入功率为1W,对人体平均SAR值分布进行分析,经仿真计算,摄入式宽带圆极化环形天线在胃的最大1-/10-gSAR值124.5/24.7W/kg,摄入式宽带圆极化环形天线在小肠的最大1-/10-gSAR 值182.4/34.6W/kg,摄入式宽带圆极化环形天线在结肠位置的最大1-/10-gSAR值 118.4/23.9W/kg,经计算可以得出,为符合FCC及IEEE对SAR值的安全标准,摄入式天线最大允许输入功率为8.36mW、51.2mW,摄入式宽带圆极化环形天线满足上述条件下的电磁辐射对人体消化组织是安全无害的。

[0045] 将圆极化摄入式天线放置在模拟人体消化组织环境中,使用矢量网络分析仪测试天线的阻抗带宽,通过体外天线配合的间接方式测试天线的轴比带宽,阻抗带宽和轴比带宽的仿真结果与测试结果如图12所示,摄入式天线的仿真阻抗带宽为2.26GHz~2.61GHz,谐振频率为 2.45GHz,仿真轴比带宽为2.41GHz~2.55GHz,实测阻抗带宽为2.39GHz~2.57GHz,谐振频率为2.49GHz,实测轴比带宽为2.44GHz~2.54GHz,轴比带宽能够覆盖工作频率,实测与仿真结果一致性良好,摄入式宽带圆极化环形天线工作带宽较宽,工作频带内阻抗特性和轴比特性良好。谐振频率和轴比带宽中心向高频方向发生一定偏移,发生频率偏移的原因是加工测试误差和模拟人体消化组织环境所导致。

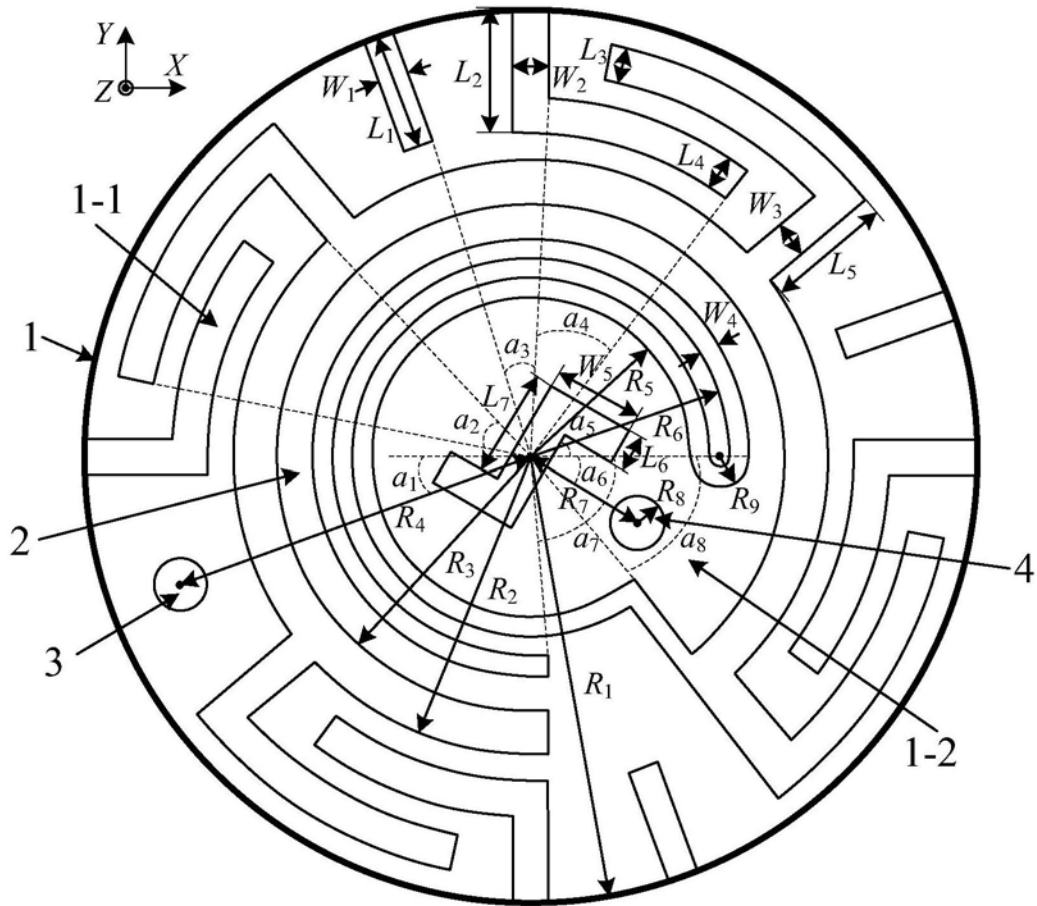


图1

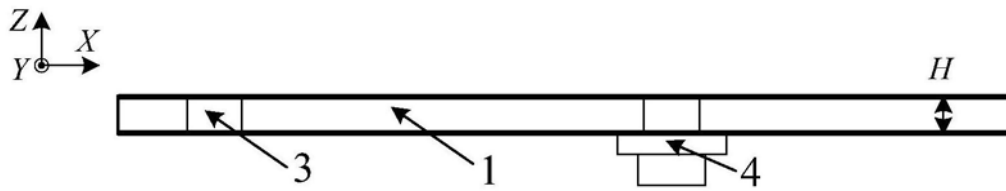


图2

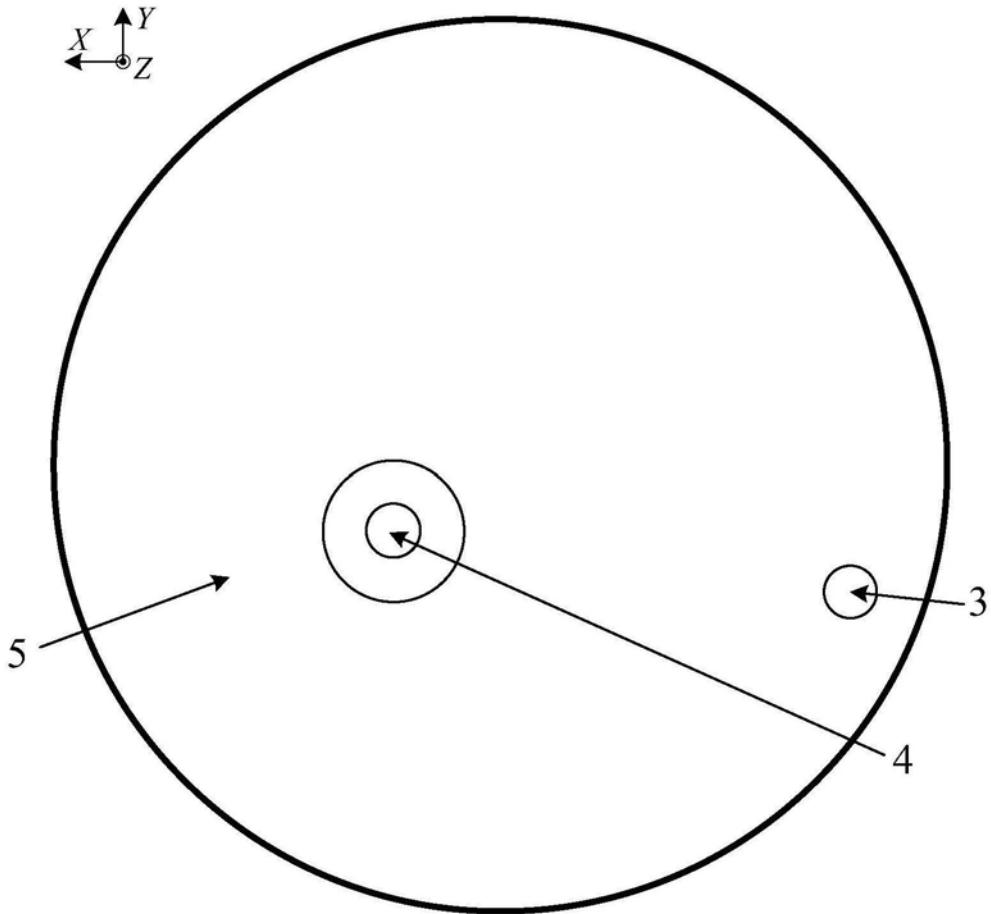


图3

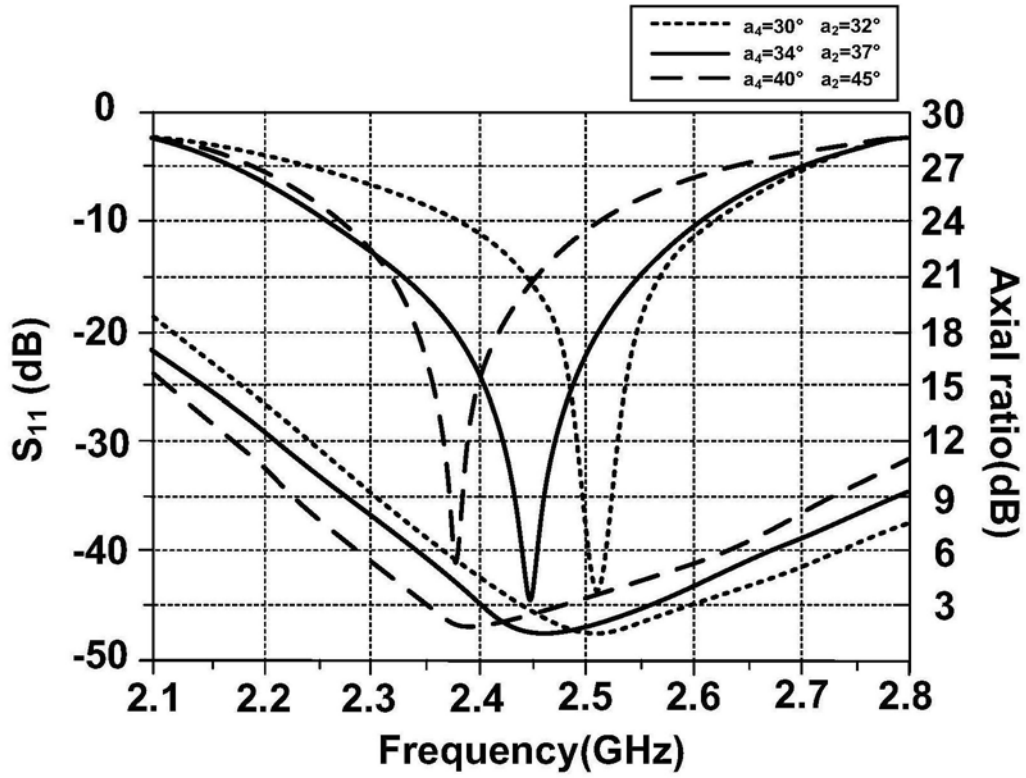


图4

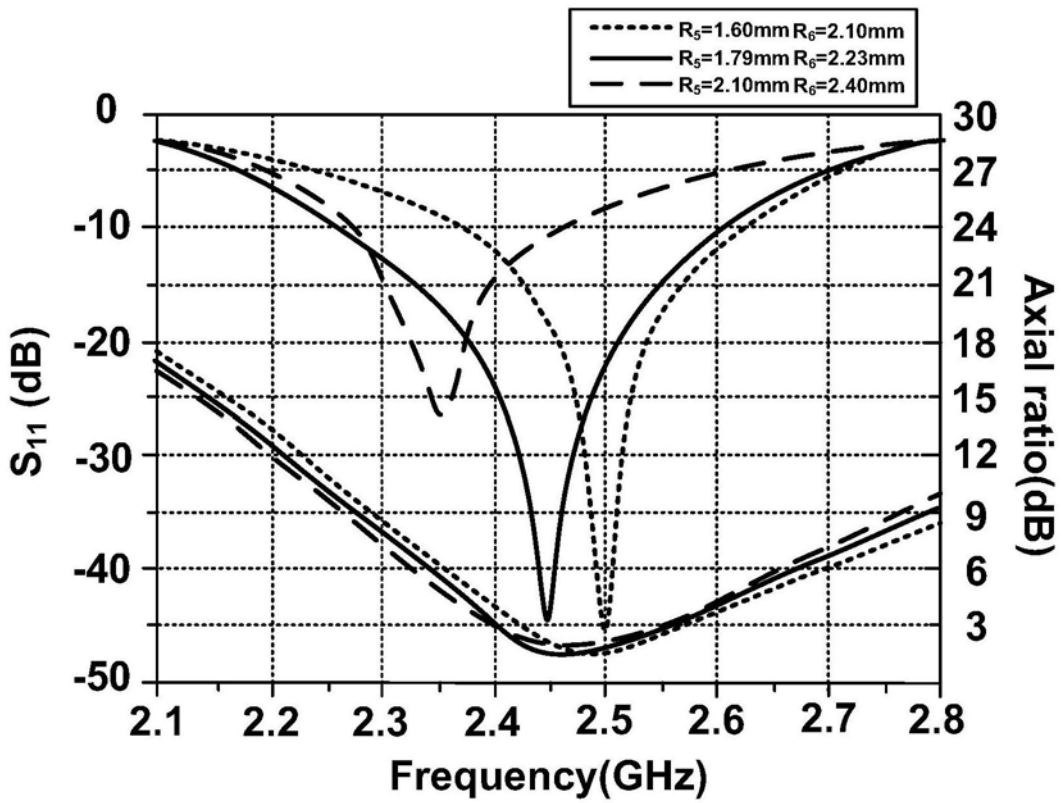


图5

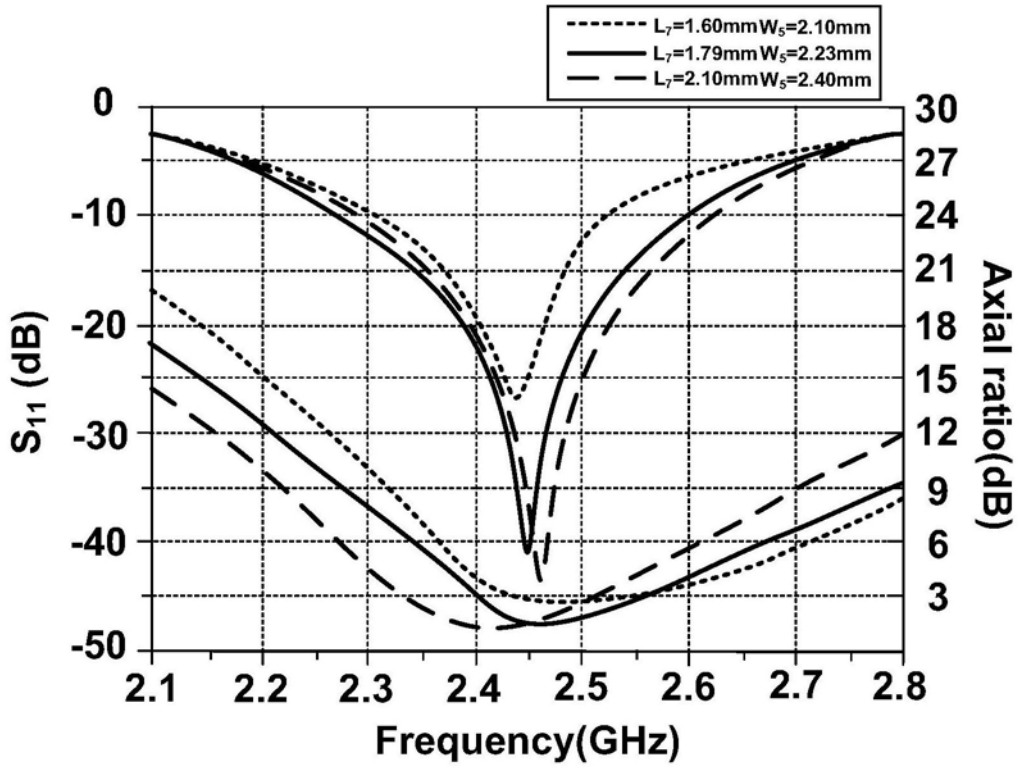


图6

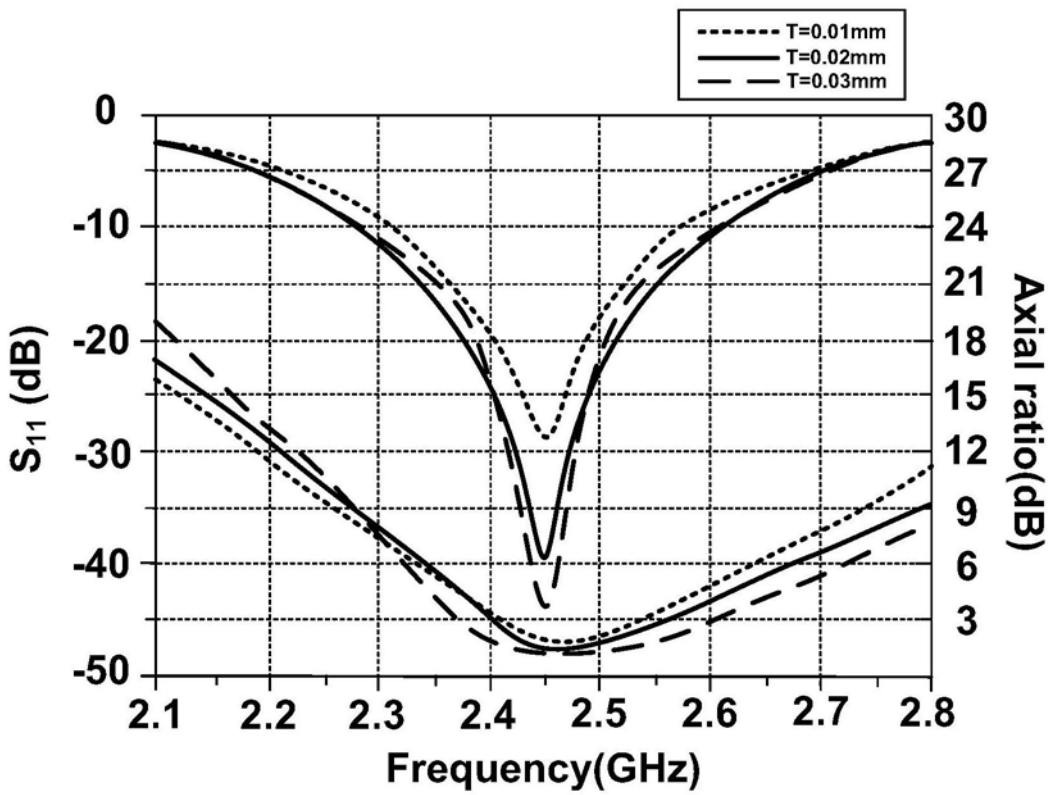


图7

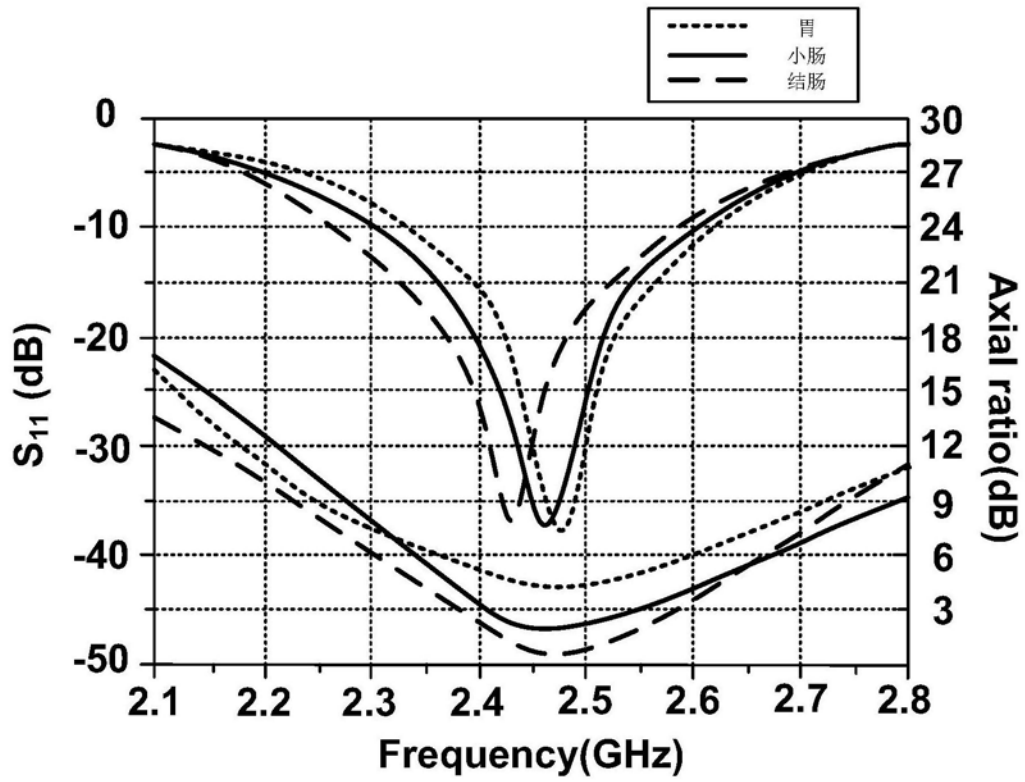


图8

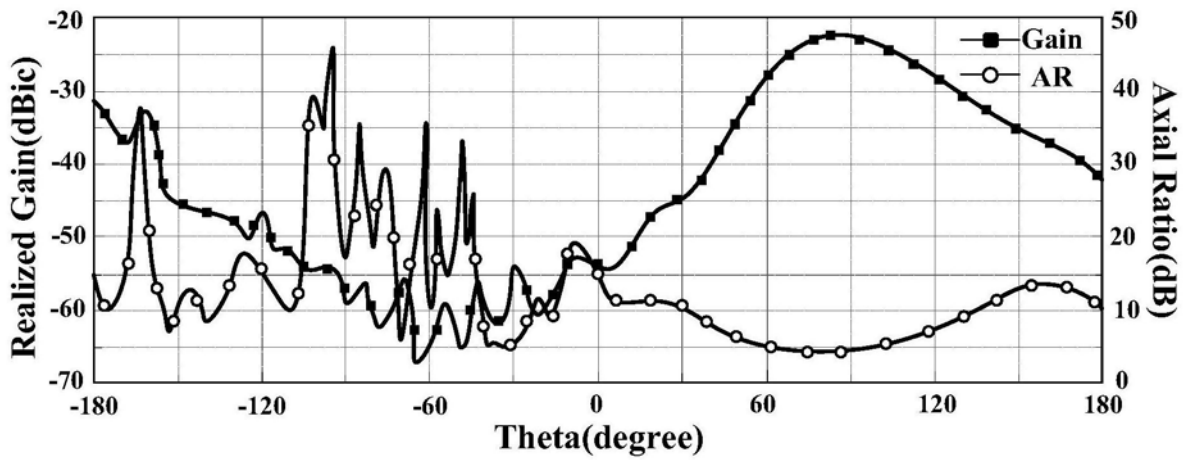


图9

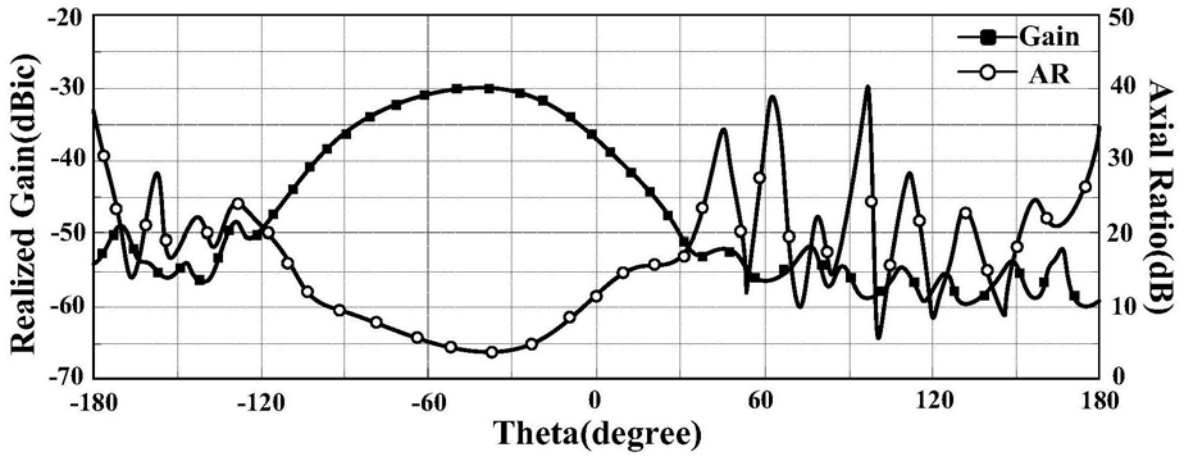


图10

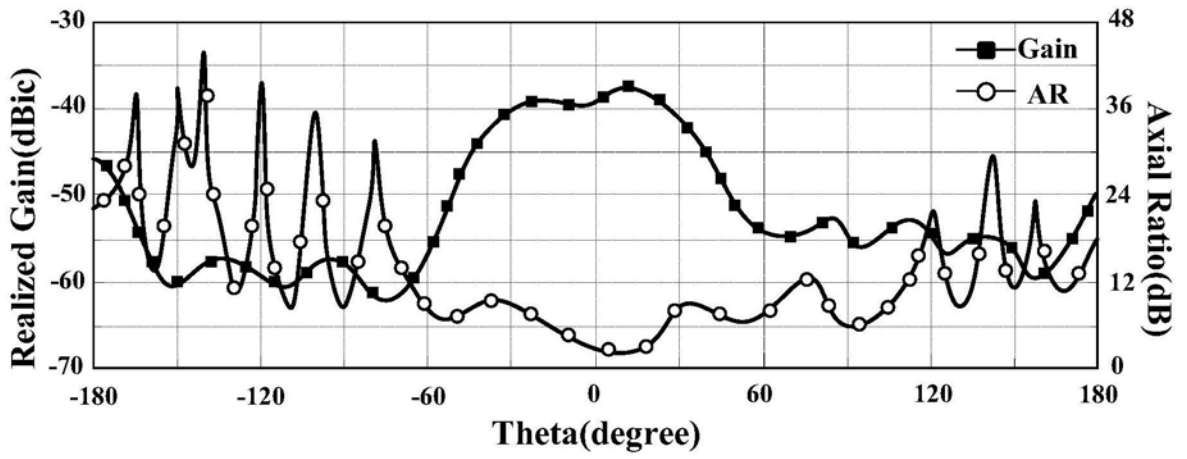


图11

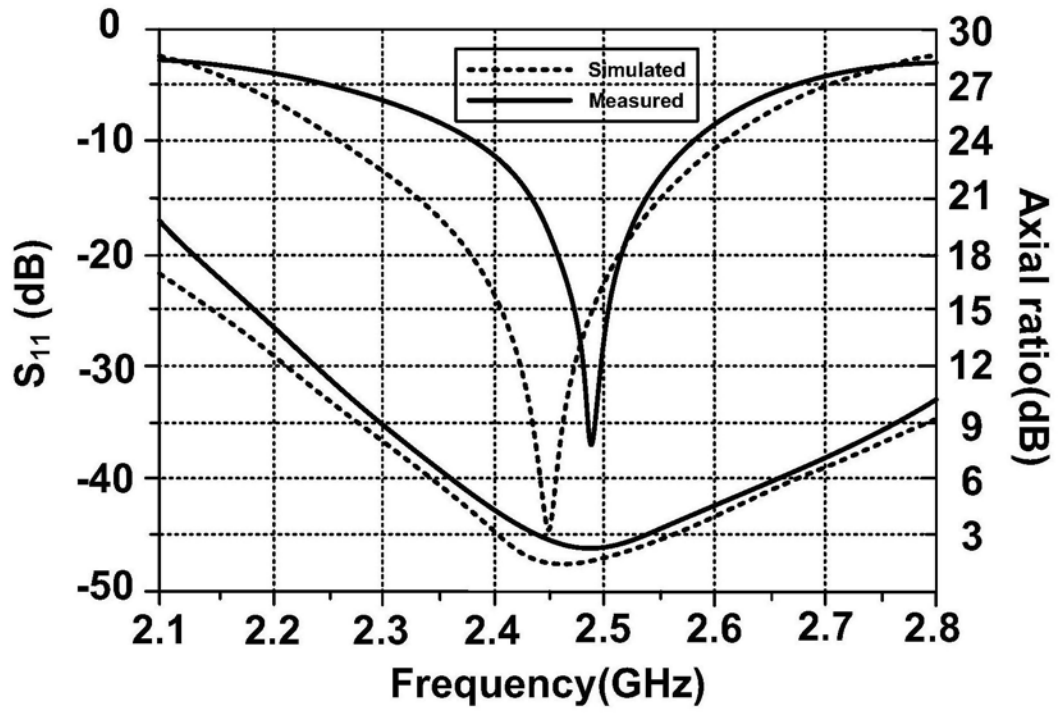


图12

专利名称(译)	基于石墨烯的摄入式胶囊内窥镜的宽带圆极化环形天线		
公开(公告)号	<a href="#">CN209730164U</a>	公开(公告)日	2019-12-03
申请号	CN201920745108.1	申请日	2019-05-22
[标]申请(专利权)人(译)	吉林医药学院		
申请(专利权)人(译)	吉林医药学院		
当前申请(专利权)人(译)	吉林医药学院		
[标]发明人	欧仁侠 李俊瑶 杨哲 刘亚伟 张华磊		
发明人	欧仁侠 房吉博 李俊瑶 杨哲 刘亚伟 张华磊		
IPC分类号	H01Q1/36 H01Q1/38 H01Q1/52 H01Q15/24 H01Q1/22 A61B1/04		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

本实用新型公开了基于石墨烯的摄入式胶囊内窥镜的宽带圆极化环形天线，天线的辐射贴片和地板材质均为多层石墨烯薄膜，多层石墨烯薄膜材质的载流子密度较高，导电性能优良，用多层石墨烯薄膜制作天线能够增加阻抗带宽和增益，有效提升传输效率并降低损耗。在外侧环形贴片上开四对L形槽，使电流方向发生交替变化，在空间上形成幅值相等且相位差值为90度的正交分量，产生圆极化特性。在内侧环形曲流槽圆形贴片开一条环形曲流槽，改变天线辐射表面中心电流分布，缩小天线尺寸。该天线体积仅为 $\pi \times (4.5)^2 \text{mm}^3$ ，具有宽频带、圆极化、抗干扰、电磁兼容性好、体积小等特点，适用于ISM 2.4GHz频段，能满足摄入复杂环境的工作要求。

