

团 体 标 准

T/SDMT XXXX —2024

共形天线工艺流程规范

Specification for process flow of conformal antenna

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东大科电子科技有限公司提出。

本文件由山东省机械工业科学技术协会归口。

本文件起草单位：山东大科电子科技有限公司。

本文件主要起草人：王瑞俊、×××、……。

共形天线工艺流程规范

1 范围

本文件规定了共形天线工艺流程规范的准备、要求。
本文件适用于激光刻蚀共形天线工艺流程规范。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

本文件无规范性引用文件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

激光刻蚀 Laser etching

利用激光束在材料表面进行蚀刻的一种加工技术。

3.2

共形天线 Conformal antenna

与物体结构外形保持一致且不给其共形设备带来额外负担的一种天线。

3.3

共形阵列天线 Conformal array antenna

在平面阵列天线方向计算时，阵列天线的方向性函数等于阵函数乘以单元天线的方向函数，而在共形阵列天线中，不同天线单元所在的位置不同，其轴线方向也不同，方向图是有区别的。因此，共形阵的方向图不能表示成一个显式，必须采用数值计算方法。另外，共形天线般属于电大、超电大尺寸，且电磁结构十分复杂，目前缺乏可供使用的商用软件，只能对某些简单情况近似求解。

4 准备

4.1 镀铜天线基板其介质材料为聚酰亚胺、聚醚醚酮、聚四氟乙烯、碳纤维等板状基材，通过磁控溅射工艺进行表面种子铜的制备，然后通过电镀加厚铜，镍金工艺后进行激光刻蚀制作线路，这存在如下问题：基板及其铜箔的耐热性能，对于机载天线是没有问题的，对于高速导弹的高温要求，则满足不了。其次，还要解决陶瓷表面金属化、金属表面陶瓷化、厚膜工艺尺寸精确控制、材料热膨胀匹配及电路金属材料在高温下的稳定性问题。

4.2 对于共形天线而言,当波束扫描到某方向时,并不是所有天线单元都对主波束有贡献,为避免增加副瓣电平和降低天线效率,必须断开或者改善对主波束无贡献的单元激励,这样势必增加馈电网络的复杂性。在很多情况下,共形天线的复杂性、成本和重量主要取决于馈电网络。

4.3 共形天线的单元天线间距接近 $A/2$,距离很近,天线单元之间的耦合问题效果不好。耦合将导致天线阵的电流分布发生变化,引起副瓣电平抬高、增益下降和主瓣宽度变宽等。

4.4 一般情况下,共形天线是非金属材料 and 金属材料的组合体,共形天线的表面不再配置传统的天线罩。当共形天线直接暴露在飞行器外时,雷电防护问题就显得十分突出。出于电磁辐射方面的考虑,共形天线多安装在飞行器上比较突出的位置,这些位置属于雷电1区,雷电先导很容易附着到这些地方,如果雷电附着到共形天线上,则可能损坏天线,甚至天线的接收设备,极端情况下甚至会造成机毁人亡。在传统的天线加天线罩情况下,雷电防护的任务主要由天线罩承担。对于共形天线而言,雷电防护的主要任务是避免雷电附着或者使雷电附着所造成的损失在可接受的范围内。

4.5 利用绘制软件,在铜覆膜陶瓷基板上绘制出客户所需要的图形,并保存为dxf文件格式。

4.6 将dxf文件在计算机CAD控制界面上打开,设置好激光最大功率120p,最小功率115p,激光波长1030nm,脉宽480fs,单脉冲最大能量10mJ,激光束质量因子 $M2 \leq 1.3$,重复频率25~1000KHZ可调,入射光斑直径7.8mm,聚焦后光斑直径 $21 \mu\text{m}$ 等参数,设置完成后保存为rd文件格式,保存文件。

4.7 保存文件中的参数录入激光刻蚀机中,开启设备,打开水冷系统和排风系统,将需要刻蚀的铜覆膜陶瓷基板放入机器中,对设备进行调试,调试无误后,开启激光喷头进行激光刻蚀。

要求

5.1 主要工艺流程

天线基板→超声波清洗→150℃高温烘烤(3h)→真空磁控溅射镀铜(1 μm)→电镀铜(10 μm)、镍(2 μm ~3 μm)、金(1 μm)→飞秒激光刻蚀天线图形(精度线宽30 μm 、线距30 μm)→装配。

5.2 天线基板

作为天线的辐射面,一般为微米级至亚毫米级的金属层,该金属层需要贴合在支撑材料的外表面,并具有很好的结合强度。因此,非金属材料表面制作性能优良且结合强度好的金属层是制造共形天线的关键。碳纤维基板,聚酰亚胺树脂基板,聚醚醚酮树脂基板,聚四氟乙烯树脂基板,由于其优良的耐热性能、耐辐射性能与耐火性、半阻燃性能、电绝缘性、耐大气老化性等特点,在这些树脂件表面真空磁控溅射铜层,使树脂与铜层结合力强度达到客户的需求,近年来逐渐被应用到共形天线上。

5.3 超声波清洗

对于天线基板,在表面磁控溅射镀铜前,需要对其表面进行超声波除油污清洗,将天线基板放入含有酒精溶液容器,然后将其放入超声波清洗机中,温度设定为60℃,振荡清洗30分钟,清洗完毕后,将天线基板取出后用去离子水清洗表面,然后放入去离子水的容器中,再次振荡清洗15分钟。

5.4 高温烘烤

将清洗完后的基板进行150℃高温烘烤,烘烤时间不少于3h。烘烤温度差 $\pm 10^\circ\text{C}$ 。烘烤中应连续,冷却方式采用箱内自然降温,当温度低于50℃时可移除烤箱。

5.5 真空磁控溅射镀铜

将天线基板放入真空离子溅射镀膜机内，靶材与样品间距固定为15cm，真空温度设置为100℃，将真空室抽至本底真空 $(3.0\sim 7.0)\times 10^{-4}$ pa，然后充入高纯度氩气(99.99%)为实验气体，真空度调整为 $(1.2\sim 1.8)\times 10^{-1}$ pa，打开离子源，对天线基材进行等离子体清洗，清洗时间为10分钟，以除去表面残留物和油污，保证最终成品质量。

天线基板在等离子清洗后，设置偏压100V，镀钛功率设置为10kW，打开镀钛电源，镀钛层厚度90nm，镀钛结束后，关闭钛电源。镀铜功率设置为25kW，打开镀铜电源，镀铜厚度1 μ m。镀铜结束后，关闭铜电源，设备关机，等镀膜机内温度降为50℃以下时，开炉取出天线基板，迅速真空包装，为下一步电镀铜做准备。

5.6 电镀铜

将基板放入酸洗槽（用于清洗基板表面，去除油污、锈蚀等杂质），浸泡10分钟左右，随后用去离子水冲洗干净。然后，把处理过的基板放入电镀槽（用于在基板表面镀上一层铜膜），槽中使用铜盐水溶液作为电镀溶液，设定电流密度为1.5A/dm，电压为2.0V，通过电流的作用，将铜离子还原到器件表面，形成均匀、致密的铜层，铜层一般10 μ m，同原理镀镍层一般2 μ m~3 μ m、镀金一般1 μ m。电镀时间为20min，随后用去离子水清洗。最后，将处理过的基板放入水洗槽（用于清洗电镀液残留的药剂），用去离子水冲洗干净后晾干。

5.7 飞秒激光刻蚀天线图形

基板完成镀铜后，必须去除多余的铜层，形成天线图形。利用CAD控制界面绘制出天线图形的平面展开图，系统就能按照天线的设计型面数据为基准在基板上进行刻蚀，其中激光扫描速率最高可达7000mm/s，最小扫描线宽为0.01mm，通过计算机对天线图形提取扫描路径，扫描刻蚀一般3~4次。由于铜的融限比较低，因此激光束对铜膜能直接消除，从而制作出精细的图案，所得图形可达到精度线宽30 μ m、线距30 μ m。

5.8 装配

在完成激光刻蚀天线图形后，需要将它们装配起来。在洁净的车间里温度在25℃左右相对恒温室内，戴上一一次性手套，用干燥的纸（纸需要用烘烤，确保没有水分，防止铜氧化）先将镀铜面包装好在把其他面完整包装好，包装好后放到真空密封袋中，进行密封。