



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX/IEC 62047-41:2021

微机电系统(MEMS)技术 射频 MEMS 环行器和隔离器

Microelectromechanical system(MEMS) technology—Radio frequency MEMS
circulators and isolators

(IEC 62047-41: 2021, Semiconductor devices - Micro-electromechanical devices -
Part 41: RF MEMS circulators and isolators, IDT)

(送审稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 通用术语	1
3.2 射频特征参数	2
4 基本额定值和特征参数	2
4.1 标识和型号	2
4.2 应用和规格说明	3
4.3 极限值和工作条件	3
4.4 射频特征参数	4
4.5 可靠性参数	4
4.6 附加信息	4
5 测量方法	5
5.1 通则	5
5.2 插入损耗(L_{ins})	6
5.3 隔离度(L_{iso})	10
5.4 回波损耗(L_{ret})	12
5.5 电压驻波比($VSWR$) (可选项)	14
5.6 输入阻抗(Z_{in}) (可选项)	15
5.7 磁泄漏 (可选项)	17
6 可靠性测试	18
6.1 通则	18
6.2 功率容量	18
6.3 寿命	19
6.4 温度循环	19
6.5 冲击测试	19
6.6 振动测试	19
6.7 键合强度和可焊性测试	19
附录 A (资料性) 环行器和隔离器简介	20
参 考 文 献	22

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。

本文件等同采用IEC 62047-41:2021《半导体器件 微机电器件 第41部分：射频MEMS环行器和隔离器》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

——为与现行的MEMS领域国家标准命名方式协调一致，本国家标准的名称为《微机电系统(MEMS)技术 射频MEMS环行器和隔离器》；

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。

本文件由全国微机电技术标准化技术委员会（SAC/TC 336）提出并归口。

本文件起草单位：XXXXXX。

本文件主要起草人：XXX

微机电系统(MEMS)技术

射频 MEMS 环行器和隔离器

1 范围

本文件规定了射频MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems)环行器和隔离器的术语、基本额定值、特征参数以及测量方法。

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。

GB/T 4937.12 半导体器件 机械与气候试验方法 第12部分：扫频振动（GB/T 4937.12—2018，IEC 60749-12：2002，IDT）

GB/T 4937.21 半导体器件 机械与气候试验方法 第21部分：可焊性（GB/T 4937.21—2018，IEC 60749-21:2011，IDT）

GB/T 4937.22 半导体器件 机械与气候试验方法 第22部分：键合强度（GB/T 4937.22—2018，IEC 60749-22：2002，IDT）

GB/T 26111 半导体器件 微机电器件 第1部分：术语和定义（GB/T 26111—2023，IEC 62047-1:2016，MOD）

IEC 60747-1:2010 半导体器件 第1部分：总则（Semiconductor devices – Part 1: General）

注：GB/T 17573-1998 半导体器件 分立器件和集成电路 第1部分：总则（IEC 60747-1：1983，IDT）

IEC 60749-10 半导体器件 机械与气候试验方法 第10部分：机械冲击（Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods—Part 10: Mechanical shock）

IEC TS 61967-3，集成电路-电磁辐射测量-第3部分-辐射发射测量-表面扫描法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 通用术语

3.1.1

环行器 circulator

进入其任一端口的入射波按照静偏磁场确定的方向传入下一端口的三端口器件。

注1：当偏磁场反向时，顺序也反向。

注2：这种特性可用于限定电磁波的传输方向。

[来源：GB/T 14733.2—2008，2.17，726-17-08，有修改]

3.1.2

隔离器 isolator

在一个传输方向的衰减相较于另一传输方向大得多的二端口器件。

[来源：GB/T 14733.2—2008，2.17，726-17-19，有修改]

3.2 射频特征参数

3.2.1

插入损耗 insertion loss

L_{ins}

在传输系统中由插入网络引起的损耗，以插入网络之前馈送到接在网络之后的那部分系统的功率与插入网络之后馈送到该系统同一部分的功率之比表示。

注1：插入损耗的单位通常为分贝。

[来源：GB/T 14733.2—2008，2.6，726-06-07，有修改]

3.2.2

隔离度 isolation

L_{iso}

在传输信号的反方向的功率衰减幅度。

3.2.3

回波损耗 return loss

L_{ret}

指定端口的入射功率与该端口的反射功率之比。

注1：回波损耗单位通常为分贝。

[来源：IEC 60747-16-4:2004，3.3，有修改]

3.2.4

磁泄漏 magnetic leakage

B_{leak}

射频MEMS 环行器或隔离器的最大空间场强。

4 基本额定值和特征参数

4.1 标识和型号

射频MEMS环行器和隔离器产品的标识宜标明射频MEMS环行器和隔离器的功能及其应用。宜包括具有不同操作、配置和驱动机制的射频MEMS环行器和隔离器的制造技术的详细信息，还宜包括封装方法，引脚标识和封装材料。

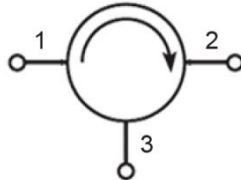
射频MEMS 环行器和隔离器应按以下顺序进行标识：

- a) 制造商名称或者商标；
- b) 器件型号和序列号；

- c) 生产年月或者生产批号;
- d) 引脚定义 (可选项);
- e) 工厂代码 (可选项)。

4.2 应用和规格说明

应给出射频MEMS环行器和隔离器的应用信息, 包括射频MEMS环行器和隔离器的框图和使用系统, 宜在框图中标注所有端口, 并说明其功能, 如图1和图2所示。

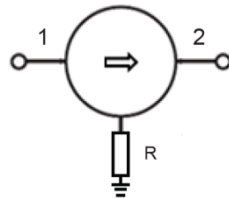


标引序号说明:

- 1— 端口 1;
- 2— 端口 2;
- 3— 端口 3。

注: 图中箭头方向代表射频MEMS环行器的信号传输方向。

图1 射频 MEMS 环行器端口



标引序号说明:

- 1— 端口 1;
- 2— 端口 2;
- R— 终端负载。

注: 图中箭头方向代表射频MEMS隔离器的信号传输方向。

图2 带有终端负载的射频 MEMS 隔离器端口

4.3 极限值和工作条件

宜给出射频MEMS环行器和隔离器的极限工作条件和参数说明, 特别是电性能极限值 (功率容量) 和温度条件 (如工作温度、贮存温度和焊接温度)。

表1 极限值和工作条件

参数	符号	单位	最小值 (Min)	最大值 (Max)
功率容量	P_{max}	W	×	√
工作温度	T_{op}	°C	√	√

焊接温度	T_{sol}	°C	×	√
贮存温度	T_{stg}	°C	√	√

4.4 射频特征参数

应按表2的形式给出射频特征参数的最小值（Min）、标称值（Typ）、最大值（Max）。

表2 射频特征参数

参数	符号	单位	最小值 (Min)	标称值 (Typ)	最大值 (Max)
插入损耗	L_{ins}	dB	×	√	√
隔离度	L_{iso}	dB	√	√	×
回波损耗	L_{ret}	dB	×	√	√
中心频率	f_0	GHz	×	√	×
电压驻波比 (可选项)	$VSWR$	/	×	√	√
阻抗 (可选项)	R	Ω	×	√	×
磁泄漏 (可选项)	B_{leak}	A/m	×	×	√

4.5 可靠性参数

所有特殊的机械特性和环境适用等级都应进行规定。特性应以表3所示体现，应包括符号、单位、最小（Min）、标称值（Typ）、最大值（Max）。

表3 可靠性参数

参数	符号	单位	最小值 (Min)	标称值 (Typ)	最大值 (Max)
功率容量	P_{max}	W	×	×	√
寿命	t_{life}	h	√	×	×
冲击	A_{shock}	g	√	×	×
振动	$A_{vibration}$	m/s^2	√	×	×
键合强度	F	N	√	×	×
可焊性	×	×	×	×	×
温度循环	T	°C	√	×	√

4.6 附加信息

其它附加信息如操作注意事项、物理信息（如外形尺寸、端口、附件等）、封装信息、PCB接口、以及装配信息等宜给出说明。

5 测量方法

5.1 通则

5.1.1 一般注意事项

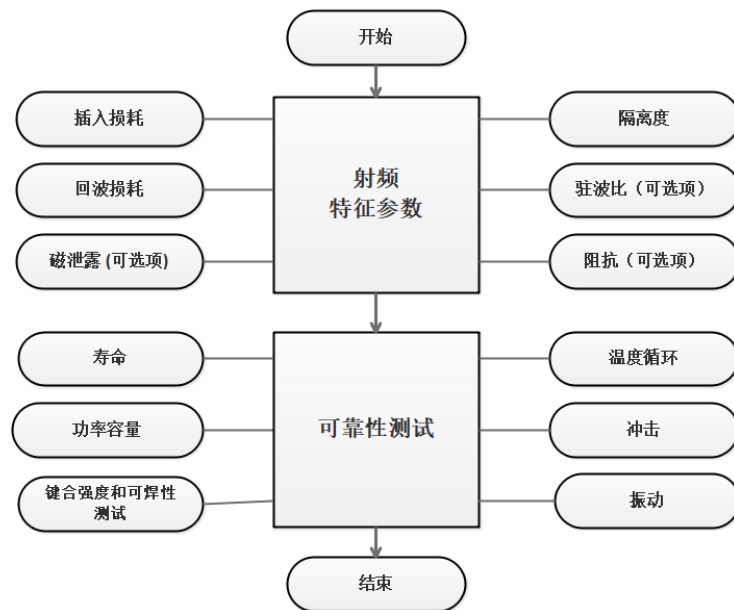
测量精度、测量器件和仪器的保护按照IEC 60747-1:2010中6.3、6.4和6.6进行。信号电平可以采用功率或电压进行表征，若无特殊规定，本文件采用功率进行表述。

5.1.2 特性阻抗

本文件中电路图所示的测量系统的特性阻抗为50Ω。如果不是50Ω，应规定其值。

5.1.3 测量步骤

射频MEMS环行器和隔离器射频特征参数和可靠性的测试步骤如图3所示。



注：射频 MEMS 环行器和隔离器测量步骤如图 3 所示。将环行器或隔离器安装到测试夹具之后，通过使用网络分析仪或其他等效测试设备进行射频特征参数测量。如测量结果满足要求，则继续进行可靠性测试（寿命，冲击，振动，键合强度和可焊性测试等）。

图3 射频 MEMS 环行器和隔离器测量步骤

5.1.4 注意事项

本文件中射频MEMS环行器和隔离器包含芯片型和封装型两种形式。测量之前，器件宜安装在合适的测试夹具上，采用矢量网络分析仪测量。

由于网络分析仪阻抗通常为50Ω，宜考虑网络分析仪与射频MEMS环行器或隔离器间的阻抗匹配。

在射频MEMS环行器或隔离器连接到测试夹具之前,宜先对网络分析仪、电缆和连接器等进行校准,通常两端口校准足以满足误差需要(即通过连接标准连接器校准开路阻抗、短路阻抗、直通、50Ω负载阻抗,并且将测量数据存储下来用以校准射频MEMS环行器或隔离器测量)。

校准后,将测试电缆与带有50Ω连接器的环行器或隔离器测试夹具相连。读取网络分析仪显示屏上的S参数。两端口S参数对应的反射系数 S_{11} 和透射系数 S_{21} 分别为回波损耗和插入损耗。

如果需要测量不同的频率范围,则应重复整个校准流程。

5.2 插入损耗(L_{ins})

5.2.1 测量目的

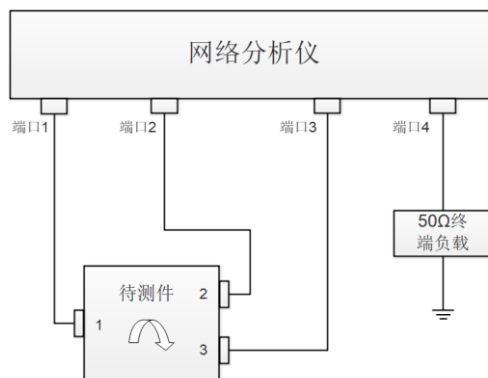
测量规定条件下的插入损耗。

5.2.2 测量电路图

网络分析仪可具备两个或多个用于测量的端口,测量宜根据网络分析仪选择对应的测量方法。

a)方法A 四端口网络分析仪:

- 1) 环行器的插入损耗测试电路图如图4所示。环行器是一个3端口器件,在采用4端口网络分析仪进行测试时宜将网络分析仪的四端口接终端负载。



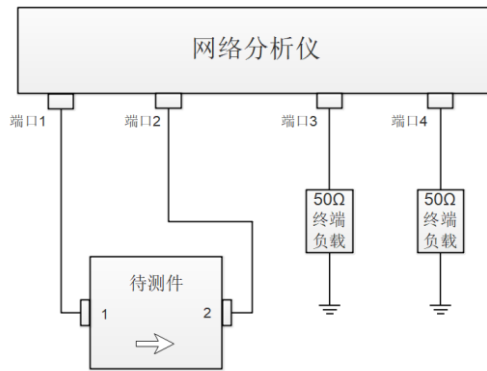
注1: 测试也可采用其它等效的设备来代替网络分析仪。

注2: 图中待测件中的1、2、3分别代表了待测件的1、2、3端口。

注3: 图中待测件箭头代表了待测件的信号传输方向1→2→3。

图4 采用四端口网络分析仪环行器的测试电路图

- 2) 隔离器的插入损耗测试电路图如图5所示。隔离器是2端口器件,测试时用网络分析仪的两个端口,另外两个网络分析仪端口接50Ω终端负载。

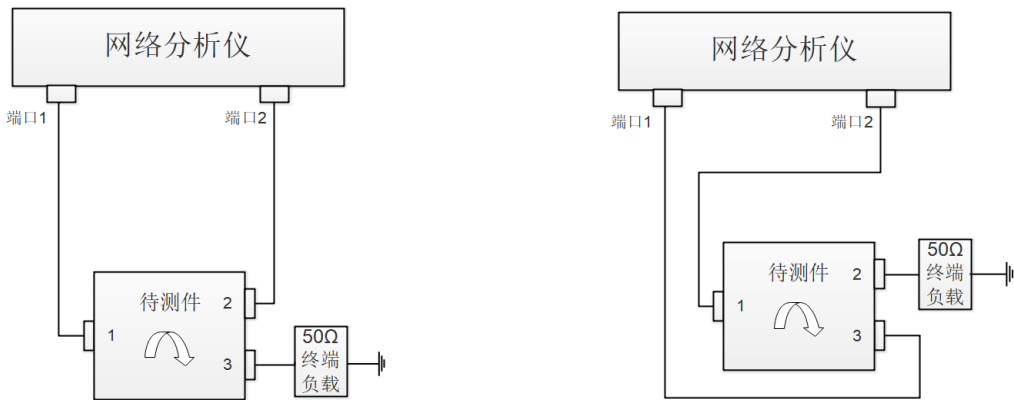


- 注 1：测试也可采用其它等效的设备来代替网络分析仪。
 注 2：图中待测件中的 1、2 分别代表了待测件的 1、2 端口。
 注 3：图中待测件箭头代表了待测件的信号传输方向 1→2。

图5 采用四端口网络分析仪隔离器的测试电路图

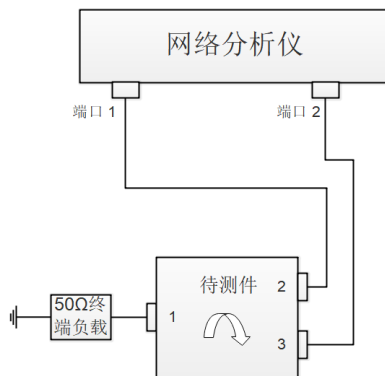
b)方法B 两端口网络分析仪：

- 1) 环行器的插入损耗测试电路图如图6所示。电缆连接宜与环行器的信号传输方向相一致。
 另外由于环行器是3端口器件，因此在测试期间环行器第三端口应接终端负载。



a)传输方向从端口1到2

b)传输方向从端口3到1

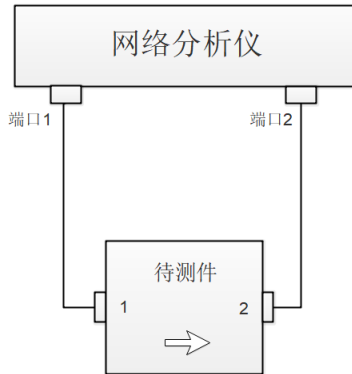


c) 传输方向从端口2到3

- 注 1：测试也可采用其它等效的设备来代替网络分析仪。
- 注 2：图中待测件中的 1、2、3 分别代表了待测件的 1、2、3 端口。
- 注 3：图中待测件箭头代表了待测件的信号传输方向 1→2→3。

图6 采用两端口网络分析仪射频 MEMS 环行器的测试电路图

2) 隔离器的插入损耗测试电路图如图7所示。隔离器是2端口器件，因此用网络分析仪的两个端口。



- 注 1：测试也可采用其它等效的设备来代替网络分析仪。
- 注 2：图中待测件中的 1、2 分别代表了待测件的 1、2 端口。

图7 采用两端口网络分析仪射频 MEMS 隔离器的测试电路图

5.2.3 测试原理

当功率施加到环行器或隔离器的输入端口时，插入损耗为在传输方向上测得的输出功率与入射功率的比值。环行器或隔离器的插入损耗是从测得的S参数中得到的，通常以分贝(dB)表示，并通过公式(1)至(3)计算得到。

$$L_{ins(21)} = -20 \log(|S_{21}|) \dots\dots\dots(1)$$

$$L_{ins(32)} = -20 \log(|S_{32}|) \dots\dots\dots(2)$$

$$L_{ins(13)} = -20 \log(|S_{13}|) \dots\dots\dots(3)$$

式中： $L_{ins(21)}$, $L_{ins(32)}$, $L_{ins(13)}$ 分别为环行器1-2端口，2-3端口，3-1端口的插入损耗。

如图6所示，环行器是三端口器件，所测得的插入损耗的有三个： $L_{ins(21)}$, $L_{ins(32)}$, $L_{ins(13)}$ ，如图7所示，隔离器是二端口器件，仅有一个插入损耗参数 $L_{ins(21)}$ ，典型的插入损耗曲线如图8所示。

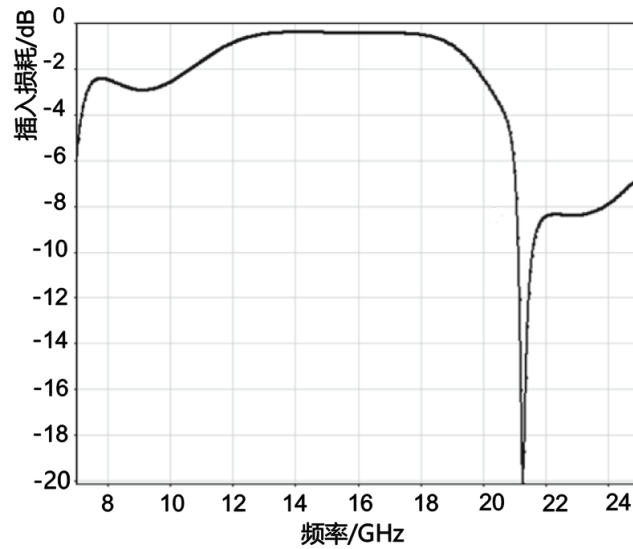


图8 射频 MEMS 环行器或隔离器的插入损耗

5.2.4 注意事项

插入损耗 L_{ins} 的测试不应受输入输出端口的影响。

5.2.5 测试步骤

5.2.5.1 方法 A

对于四端口网络分析仪，测试步骤如下：

- a) 射频MEMS环行器或隔离器宜适当封装并安装在测试夹具上；
- b) 测试夹具、网络分析仪、电缆和连接器等在测试之前应进行校准；
- c) 测试夹具宜使用具有 50Ω 连接器的测试电缆，并将其连接到网络分析仪上。环行器连接如图4所示；隔离器连接如图5所示；
- d) 宜预先设置网络分析仪并为标准 S 参数测量，选择传输测量（ S_{21} ， S_{32} 和 S_{13} ）：
 - 1) 设置信号源的频率范围，包括起止频率，测量点数等；
 - 2) 选择扫频类型，一般选择线性扫频；
 - 3) 设定适当的输出功率；
 - 4) 设置对数幅度显示状态。
- e) 进行测量：
 - 1) 缩放显示比例以使得图像曲线清晰地显示在屏幕上；
 - 2) 读取 S 参数（ S_{21} ， S_{32} 和 S_{13} ）值，则每个频点对应的参数值即为插入损耗： $L_{ins(21)}=S_{21}$ ， $L_{ins(32)}=S_{32}$ ， $L_{ins(13)}=S_{13}$ 。

注： $L_{ins(21)}=S_{21}$ ， $L_{ins(32)}=S_{32}$ ， $L_{ins(13)}=S_{13}$ 中“=”为对应含义，非等于含义。

5.2.5.2 方法 B

采用两端口网络分析仪的测试步骤如下：

- a) 射频MEMS环行器或隔离器宜适当封装并安装在测试夹具上；
- b) 测试夹具、网络分析仪、电缆和连接器等在测试之前应进行校准；

c) 测试夹具宜使用具有50Ω连接器的测试电缆，并将其连接到网络分析仪上。环行器连接如图6a所示；隔离器连接如图7所示；

d) 宜预先设置网络分析仪并为标准S参数测量，选择传输测量（ S_{21} ）：

- 1) 设置信号源的频率范围，包括起止频率，测量点数等；
- 2) 选择扫频类型，一般选择线性扫频；
- 3) 设定适当的输出功率；
- 4) 设置对数幅度显示状态。

e) 进行测量：

- 1) 缩放显示比例以使得图像曲线清晰地显示在屏幕上；
- 2) 读取S参数（ S_{21} ）值， S_{21} 曲线上每个频点的值即为插入损耗： $L_{ins(21)}=S_u$ 。

f) 测量插入损耗 $L_{ins(13)}$ ：

环行器测试宜按如图6b)所示连接。重复过程d)到e)， S_{21} 曲线上每个频点对应的参数值即为插入损耗： $L_{ins(13)} = S_{21}$ ；

g) 测量插入损耗 $L_{ins(32)}$ ：

环行器测试宜按如图6c)所示连接。重复过程d)和e)， S_{21} 曲线上每个频点对应的参数值即为插入损耗： $L_{ins(32)}=S_{21}$ 。

注： $L_{ins(21)}=S_u$ ， $L_{ins(13)} = S_{21}$ ， $L_{ins(32)}=S_{21}$ 中“=”为对应含义，非等于含义。

5.2.6 规定条件

规定条件如下：

- a)频率范围；
- b)输入功率。

5.3 隔离度(L_{iso})

5.3.1 测试目的

测量规定条件下的隔离度。

5.3.2 测试电路图

采用4端口网络分析仪进行环行器的隔离度测试电路图如图4所示，隔离器的隔离度测试电路图如图5所示。

采用2端口网络分析仪环行器的隔离度测试电路图如图6所示，隔离器的隔离度测试电路图如图7所示。

5.3.3 测试原理

当入射功率施加到环行器或隔离器时，功率会产生衰减，当其在传输信号的相反方向上，会被视为隔离。环行器或隔离器的隔离度是从测得的S参数中获得的。隔离度通常以分贝(dB)表示，并通过公式(4)至(6)获得。

$$L_{iso(12)} = -20 \log(|S_{12}|) \dots\dots\dots(4)$$

$$L_{iso(23)} = -20 \log(|S_{23}|) \dots\dots\dots(5)$$

$$L_{iso(31)} = -20 \log(|S_{31}|) \dots\dots\dots(6)$$

式中： $L_{iso(12)}$ ， $L_{iso(23)}$ ， $L_{iso(31)}$ 分别为环行器1-2端口，2-3端口，3-1端口的隔离度。

如图6所示，环行器是三端口器件，所测得的隔离度的有三个： $L_{iso(12)}$ ， $L_{iso(23)}$ ， $L_{iso(31)}$ ，如图7所示，隔离器是二端口器件，仅有一个隔离度参数 $L_{iso(12)}$ ，典型的隔离度曲线如图9所示。

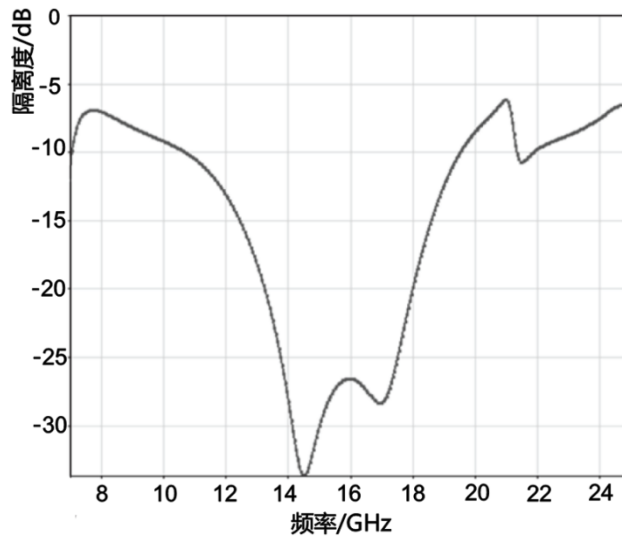


图9 射频 MEMS 环行器或隔离器的隔离度

5.3.4 注意事项

隔离度 L_{iso} 的测量不应受输入输出端口的影响。

5.3.5 测试步骤

5.3.5.1 方法 A

对于四端口网络分析仪，测试步骤如下：

- a) 射频MEMS环行器或隔离器宜适当封装并安装在测试夹具上；
- b) 测试夹具、网络分析仪、电缆和连接器等在测试之前应进行校准；
- c) 测试夹具宜使用具有 50Ω 连接器的测试电缆，并将其连接到网络分析仪上。环行器连接如图4所示；隔离器连接如图5所示；

d) 宜预先设置网络分析仪并设置为标准 S 参数测量，选择传输测量（ S_{12} ， S_{31} 和 S_{23} ）：

- 1) 设置信号源的频率范围，包括起止频率，测量点数等；
- 2) 选择扫频类型，一般选择线性扫频；
- 3) 设定适当的输出功率；
- 4) 设置对数幅度显示状态；

e) 进行测量：

- 1) 缩放显示比例以使得图像曲线清晰地显示在屏幕上；

- 2) 读取 S 参数（ S_{12} ， S_{23} 和 S_{31} ）值，则曲线上每个频点对应的参数值即为隔离度： $L_{iso(12)}=S_{12}$ ，

$L_{iso(23)}=S_{23}$ ， $L_{iso(31)}=S_{31}$ 。

注： $L_{iso(12)}=S_{12}$ ， $L_{iso(23)}=S_{23}$ ， $L_{iso(31)}=S_{31}$ 中“=”为对应含义，非等于含义。

5.3.5.2 方法 B

采用两端口网络分析仪的测试步骤如下：

- a) 射频MEMS环行器或隔离器宜适当封装并安装在测试夹具上；

- b) 测试夹具、网络分析仪、电缆和连接器等在测试之前应进行校准；
 - c) 测试夹具宜使用具有50Ω连接器的测试电缆，并将其连接到网络分析仪上。环行器连接如图6a)所示；隔离器连接如图7所示；
 - d) 宜预先设置网络分析仪并设置为标准S参数测量，选择测量（S₁₂）：
 - 1) 设置信号源的频率范围，包括起止频率，测量点数等；
 - 2) 选择扫频类型，一般选择线性扫频；
 - 3) 设定适当的输出功率；
 - 4) 设置对数幅度显示状态。
 - e) 进行测量：
 - 1) 缩放显示比例以使得图像曲线清晰地显示在屏幕上；
 - 2) 读取S参数（S₁₂）值，曲线上每个频点的S₁₂值即为隔离度：L_{iso(12)}=S₁₂。
 - f) 测量隔离度L_{iso(31)}：

环行器测试宜按如图6b)所示连接。重复过程d)到e)，曲线上每个频点的S₁₂值即为隔离度：L_{iso(31)}=S₁₂；
 - g) 测量隔离度L_{iso(23)}：

环行器测试宜按如图6c)所示连接。重复过程d)和e)曲线上每个频点的S₁₂值即为隔离度：L_{iso(23)}=S₁₂。
- 注：L_{iso(12)}=S₁₂，L_{iso(23)}=S₁₂，L_{iso(31)}=S₁₂中“=”为对应含义，非等于含义。

5.3.6 规定条件

规定条件如下：

- a)频率范围；
- b)输入功率。

5.4 回波损耗(L_{ret})

5.4.1 测试目的

测量规定条件下的回波损耗。

5.4.2 测试电路图

采用4端口网络分析仪进行环行器的回波损耗测试电路图如图4所示，隔离器的回波损耗测试电路图如图5所示。

采用2端口网络分析仪环行器的回波损耗测试电路图如图6所示，隔离器的回波损耗测试电路图如图7所示。

5.4.3 测试原理

当入射功率施加到环行器或隔离器的输入端口时，回波损耗为反射功率与同一端口的入射功率的比值。环行器或隔离器的回波损耗从测得的S参数中获得。回波损耗通常以分贝(dB)表示，并通过公式(7)至(9)得到。

$$L_{ret(11)} = -20\log(|S_{11}|) \dots\dots\dots(7)$$

$$L_{ret(22)} = -20\log(|S_{22}|) \dots\dots\dots(8)$$

$$L_{ret(33)} = -20\log(|S_{33}|) \dots\dots\dots(9)$$

式中：L_{ret(11)}，L_{ret(22)}，L_{ret(33)}分别为环行器1端口，2端口，3端口的回波损耗。

如图6所示，环行器是三端口器件，所测得的回波损耗的有三个：L_{ret(11)}，L_{ret(22)}，L_{ret(33)}，如图7所示，隔离器是二端口器件，有两个回波损耗参数L_{ret(11)}，L_{ret(22)}。典型的回波损耗曲线如图10所示。

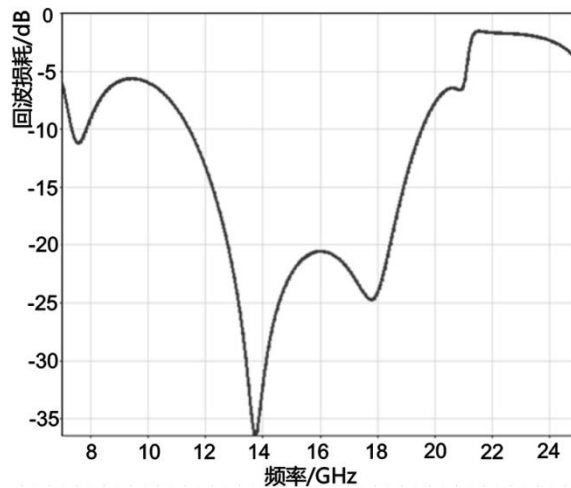


图10 射频 MEMS 环行器或隔离器的回波损耗

5.4.4 注意事项

回波损耗 L_{ret} 的测量不应受输入输出端口的影响。

5.4.5 测试步骤

5.4.5.1 方法 A

对于四端口网络分析仪，测试步骤如下：

- a) 射频MEMS环行器或隔离器宜适当封装并安装在测试夹具上；
- b) 测试夹具、网络分析仪、电缆和连接器等在测试之前应进行校准；
- c) 测试夹具宜使用具有 50Ω 连接器的测试电缆，并将其连接到网络分析仪上。环行器连接如图4所示。隔离器连接如图5所示；
- d) 宜预先设置网络分析仪并设置为标准 S 参数测量，选择传输测量（ S_{11} ， S_{22} 和 S_{33} ）：
 - 1) 设置信号源的频率范围，包括起止频率，测量点数等；
 - 2) 选择扫频类型，一般选择线性扫频；
 - 3) 设定适当的输出功率；
 - 4) 设置对数幅度显示状态。
- e) 进行测量：
 - 1) 缩放显示比例以使得图像曲线清晰地显示在屏幕上；
 - 2) 读取 S 参数（ S_{11} ， S_{22} 和 S_{33} ）值，则每个频点对应的参数值即为回波损耗： $L_{ret(11)}=S_{11}$ ， $L_{ret(22)}=S_{22}$ ， $L_{ret(33)}=S_{33}$ 。

注： $L_{ret(11)}=S_{11}$ ， $L_{ret(22)}=S_{22}$ ， $L_{ret(33)}=S_{33}$ 中“=”为对应含义，非等于含义。

5.4.5.2 方法 B

采用两端口网络分析仪的测试步骤如下：

- a) 射频MEMS环行器或隔离器宜适当封装并安装在测试夹具上；
- b) 测试夹具、网络分析仪、电缆和连接器等在测试之前应进行校准；
- c) 测试夹具宜使用具有 50Ω 连接器的测试电缆，并将其连接到网络分析仪上。环行器连接如图6a)所示，隔离器连接如图7所示；
- d) 宜预先设置网络分析仪并设置为标准 S 参数测量，选择测量（ S_{11} 、 S_{22} ）：

- 1) 设置信号源的频率范围，包括起止频率，测量点数等；
- 2) 选择扫频类型，一般选择线性扫频；
- 3) 设定适当的输出功率；
- 4) 设置对数幅度显示状态。
- e) 进行测量：
 - 1) 缩放显示比例以使得图像曲线清晰地显示在屏幕上；
 - 2) 读取S参数值，每个频点对应的参数值(S_{11} , S_{22})即为回波损耗： $L_{ret(11)}=S_{11}$, $L_{ret(22)}=S_{22}$ 。
- f) 测量回波损耗 $L_{ret(33)}$ ：

环形器测试宜按如图6b)所示连接。重复过程d)到e)，每个频点对应的 S_{11} 值即为回波损耗： $L_{ret(33)}=S_{11}$ 。

注： $L_{ret(11)}=S_{11}$, $L_{ret(22)}=S_{22}$, $L_{ret(33)}=S_{11}$ 中“=”为对应含义，非等于含义。

5.4.6 规定条件

规定条件如下：

- a) 频率范围；
- b) 输入功率。

5.5 电压驻波比(VSWR) (可选项)

5.5.1 测试目的

测量规定条件下的电压驻波比。

5.5.2 测试电路图

采用4端口网络分析仪进行环形器的电压驻波比测试电路图如图4所示，隔离器的电压驻波比测试电路图如图5所示。

采用2端口网络分析仪环行器的电压驻波比测试电路图如图6所示，隔离器的电压驻波比测试电路图如图7所示。

5.5.3 测试原理

电压驻波比是传输线上电场强度的最大电压与临近最小点电压的比值，用于表征传输线的失配性，可用式(10)-(12)表示：

$$VSWR_1 = \frac{1+|S_{11}|}{1-|S_{11}|} \dots\dots\dots (10)$$

$$VSWR_2 = \frac{1+|S_{22}|}{1-|S_{22}|} \dots\dots\dots (11)$$

$$VSWR_3 = \frac{1+|S_{33}|}{1-|S_{33}|} \dots\dots\dots (12)$$

式中： $VSWR_1$, $VSWR_2$, $VSWR_3$ 分别为环形器 1 端口，2 端口，3 端口的电压驻波比。

5.5.4 注意事项

应尽量减少信号源的谐波及杂散响应以使其能够忽略且电压驻波比的测量不应受输入输出端口的影响。

5.5.5 测试步骤

5.5.5.1 方法 A

对于四端口网络分析仪，测试步骤如下：

- a) 射频MEMS环行器或隔离器宜适当封装并安装在测试夹具上；
- b) 测试夹具、网络分析仪、电缆和连接器等在测试之前应进行校准；
- c) 测试夹具宜使用具有 50Ω 连接器的测试电缆，并将其连接到网络分析仪上。环行器连接如图4所示，隔离器连接如图5所示；

d) 宜预先设置网络分析仪并设置为标准 S 参数测量，选择传输测量（ S_{11} ， S_{22} 和 S_{33} ）：

- 1) 设置信号源的频率范围，包括起止频率，测量点数等；
- 2) 选择扫频类型，一般选择线性扫频；
- 3) 设定适当的输出功率；
- 4) 设置显示状态，通常设置为SWR格式。

e) 进行测量：

- 1) 缩放显示比例以使得图像曲线清晰地显示在屏幕上；
- 2) 读取 S 参数（ S_{11} ， S_{22} 和 S_{33} ）值，则每个频点对应的参数值即为VSWR： $VSWR_1=S_{11}$ ， $VSWR_2=S_{22}$ ，

$VSWR_3=S_{33}$ 。

注： $VSWR_1=S_{11}$ ， $VSWR_2=S_{22}$ ， $VSWR_3=S_{33}$ 中“=”为对应含义，非等于含义。

5.5.5.2 方法 B

采用两端口网络分析仪的测试步骤如下：

- a) 射频MEMS环行器或隔离器宜适当封装并安装在测试夹具上；
- b) 测试夹具、网络分析仪、电缆和连接器等在测试之前应进行校准；
- c) 测试夹具宜使用具有 50Ω 连接器的测试电缆，并将其连接到网络分析仪上。环行器连接如图6a所示，隔离器连接如图7所示；

d) 宜预先设置网络分析仪并设置为标准 S 参数测量，选择测量（ S_{11} 、 S_{22} ）：

- 1) 设置信号源的频率范围，包括起止频率，测量点数等；
- 2) 选择扫频类型，一般选择线性扫频；
- 3) 设定适当的输出功率；
- 4) 设置显示状态，通常设置为SWR格式。

e) 进行测量：

- 1) 缩放显示比例以使得图像曲线清晰地显示在屏幕上；
- 2) 读取 S 参数（ S_{11} 、 S_{22} ）值，则每个频点对应的参数值即为VSWR： $VSWR_1=S_{11}$ ， $VSWR_2=S_{22}$ 。

f) 测量驻波比 $VSWR_3$ ：

环行器测试宜按如图6b所示连接。重复过程d)到e)，则每个频点对应的 S_{11} 参数值即为VSWR： $VSWR_3=S_{11}$ 。

注： $VSWR_1=S_{11}$ ， $VSWR_2=S_{22}$ ， $VSWR_3=S_{11}$ 中“=”为对应含义，非等于含义。

5.5.6 规定条件

规定条件如下：

- a) 频率范围；
- b) 输入功率。

5.6 输入阻抗(Z_{in})（可选项）

5.6.1 测试目的

测量规定条件下的输入输出阻抗。

5.6.2 测试电路图

采用4端口网络分析仪进行环行器的输入阻抗测试电路图如图4所示，隔离器的输入阻抗测试电路图如图5所示。

采用2端口网络分析仪环行器的输入阻抗测试电路图如图6所示，隔离器的输入阻抗测试电路图如图7所示。

5.6.3 测试原理

出于平衡环行器或隔离器电路或者减少反射损失等角度考虑，互联时需要考虑阻抗，通常情况下，负载阻抗通常设置成 50Ω ，因此，为了最有效传输射频信号，环行器或隔离器的特征阻抗也需要与 50Ω 相匹配。环行器或隔离器特性阻抗可从史密斯圆图（Smith Chart）上得到，史密斯圆图的中心是 50Ω 点。如图11所示，环行器阻抗可从史密斯圆图上（ S_{11} 、 S_{22} 、 S_{33} ）得到；隔离器阻抗可从史密斯圆图上（ S_{11} 、 S_{22} ）得到。

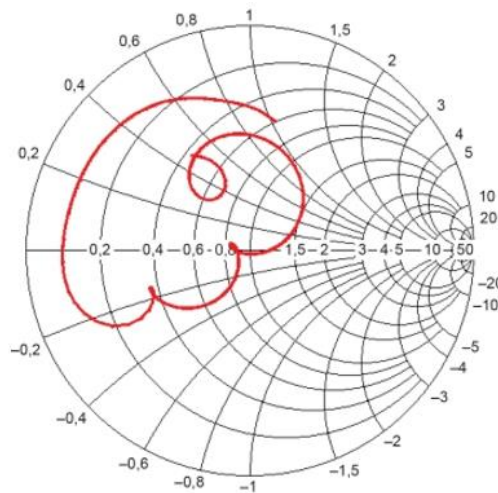


图11 射频 MEMS 环行器或隔离器输入阻抗史密斯圆图

5.6.4 注意事项

阻抗的测量不应受输入输出端口的影响。

5.6.5 测试步骤

5.6.5.1 方法 A

对于四端口网络分析仪，测试步骤如下：

- a) 射频MEMS环行器或隔离器宜适当封装并安装在测试夹具上；
- b) 测试夹具、网络分析仪、电缆和连接器等在测试之前应进行校准；
- c) 测试夹具宜使用具有 50Ω 连接器的测试电缆，并将其连接到网络分析仪上。环行器连接如图4所示，隔离器连接如图5所示；
- d) 宜预先设置网络分析仪并设置为标准S参数测量，选择传输测量（ S_{11} ， S_{22} 和 S_{33} ）：
 - 1) 设置信号源的频率范围，包括起止频率，测量点数等；

- 2) 选择扫频类型，一般选择线性扫频；
 - 3) 设定适当的输出功率；
 - 4) 设定相应格式，通常设置为史密斯圆图格式。
- e) 进行测量：
- 1) 缩放显示比例以使得图像曲线清晰地显示在屏幕上；
 - 2) 读取 S_{11} 的实部和虚部 A_1 和 B_1 ， S_{22} 的实部和虚部 A_2 和 B_2 ， S_{33} 的实部和虚部 A_3 和 B_3 ，则每个端口在每个频点对应的的复数阻抗值为： $Z_{in(1)}=A_1+jB_1$ ， $Z_{in(2)}=A_2+jB_2$ 和 $Z_{in(3)}=A_3+jB_3$ 。

5.6.5.2 方法 B

采用两端口网络分析仪的测试步骤如下：

- a) 射频MEMS环行器或隔离器宜适当封装并安装在测试夹具上；
- b) 测试夹具、网络分析仪、电缆和连接器等在测试之前应进行校准；
- c) 测试夹具宜使用具有 50Ω 连接器的测试电缆，并将其连接到网络分析仪上。环行器连接如图6a)所示，隔离器连接如图7所示；
- d) 宜预先设置网络分析仪并设置为标准 S 参数测量，选择测量（ S_{11} 、 S_{22} ）：
 - 1) 设置信号源的频率范围，包括起止频率，测量点数等；
 - 2) 选择扫频类型，一般选择线性扫频；
 - 3) 设定适当的输出功率；
 - 4) 设定相应格式，通常设置为史密斯圆图格式。
- e) 进行测量：
 - 1) 缩放显示比例以使得图像曲线清晰地显示在屏幕上；
 - 2) 读取 S_{11} 的实部和虚部 A_1 和 B_1 ， S_{22} 的实部和虚部 A_2 和 B_2 ，则每个端口的阻抗值为： $Z_{in(1)}=A_1+jB_1$ ， $Z_{in(2)}=A_2+jB_2$ 。
- f) 测量输入阻抗 $Z_{in(3)}$ ：

环行器测试宜按如图6b)所示连接。重复过程d)到e)，读取 S_{11} 的实部和虚部 A_1 和 B_1 则每个频点对应的输入阻抗值为： $Z_{in(3)}=A_1+jB_1$ 。

5.6.6 规定条件

规定条件如下：

- a) 频率范围；
- b) 输入功率。

5.7 磁泄漏（可选项）

5.7.1 测试目的

测量规定条件下的环行器或隔离器的磁泄漏。

5.7.2 系统框图

环行器或隔离器磁泄漏测试系统示意图如图12所示。

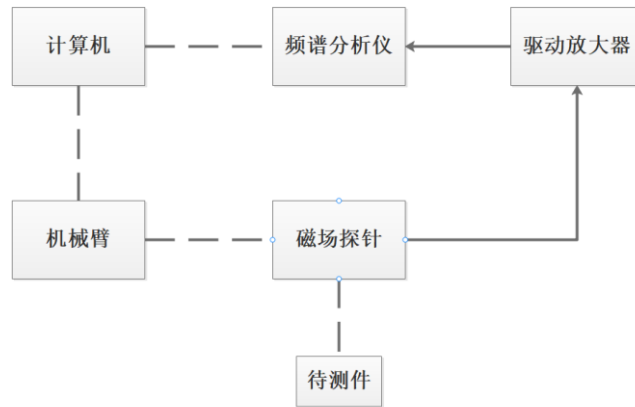


图12 近场扫描测量系统

5.7.3 测试原理

近场扫描测量系统基于IEC TS 61967-3的表面扫描方法测量待测件平面上方的切向磁场的磁场幅度。探头与待测件之间的距离约为1mm，该平面的扫描测量范围通常为设备外部尺寸的3至5倍。扫描测量空间分辨率在x和y方向上通常约为1mm。

5.7.4 注意事项

遵守近场扫描测量系统的注意事项。

5.7.5 测试步骤

测试步骤如下：

- a) 将待测件固定在不导磁的测试夹具上；
- b) 在待测件上方进行近场扫描，测量切向磁场的磁场幅度。
- c) 生成三维场分布云图测量结果。

5.7.6 规定条件

规定条件如下：

- a) 扫描测量范围；
- b) 环境残留磁场强度。

6 可靠性测试

6.1 通则

射频MEMS环行器和隔离器的可靠性测试，包括寿命测试、功率容量、温度循环、振动测试、冲击测试等。

6.2 功率容量

本试验的目的是测试射频MEMS环行器或隔离器工作时所允许通过的最大射频功率，可与寿命测试同时进行。

6.3 寿命

本试验的目的是评估射频 MEMS 环行器和隔离器的寿命,通常是射频 MEMS 环行器和隔离器在最高工作温度下,施加规定的功率并连续工作,直到射频 MEMS 环行器和隔离器失效或者达到规定的时间。最简单的寿命评价方法是给射频 MEMS 环行器和隔离器施加连续波信号并监测输出射频信号功率,射频 MEMS 环行器或隔离器寿命试验装置见图13,试验程序如下:

- a) 信号发生器产生的信号经过功率放大器放大到规定的功率值;
- b) 在射频 MEMS 环行器或隔离器的输入端施加放大后的信号;
- c) 采用功率计测试射频 MEMS 环行器或隔离器的输出端功率;
- d) 在规定的时间内进行测试射频 MEMS 环行器或隔离器常温射频特征参数是否满足指标要求。

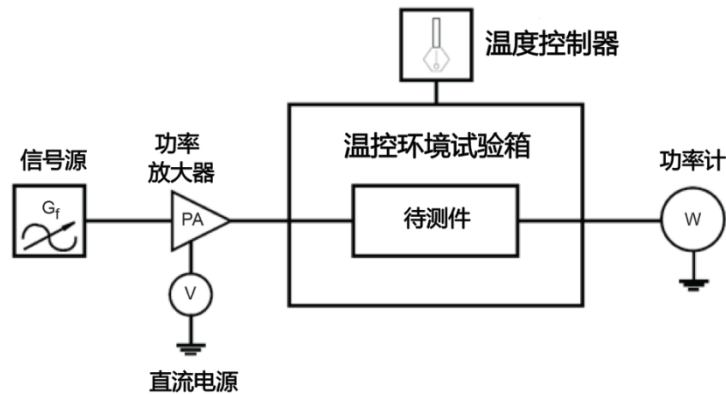


图13 射频 MEMS 环行器和隔离器寿命测试框图

6.4 温度循环

本试验的目的是通过温度循环试验来评价射频 MEMS 环行器和隔离器的可靠性。温度范围宜根据应用条件进行规定。将射频 MEMS 环行器或隔离器安装于温度循环试验箱或温控站中进行试验,并且器件宜安装在合适的测试夹具上,通过网络分析仪进行监控其性能。

6.5 冲击测试

本试验的目的是通过机械冲击试验来评价射频 MEMS 环行器和隔离器的可靠性。按 IEC 60749-10 进行试验,试验后,射频参数应满足规定的特性。

6.6 振动测试

本试验的目的是通过机械振动试验来评价射频 MEMS 环行器和隔离器的可靠性。按 GB/T 4937.12 进行试验,试验后,射频参数应满足规定的特性。

6.7 键合强度和可焊性测试

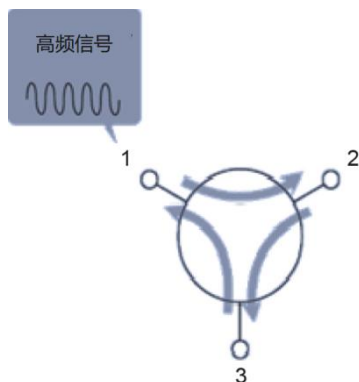
该测试的目的是评估封装或组装过程中的可靠性,例如芯片型器件的引线键合或封装型器件的焊接。

引线键合是组装和封装工艺的典型方法。应进行键合拉力测试和剪切测试以评估键合强度,并记录测量的力以用于过程监控。引线键合强度测试按照 GB/T 4937.22 进行。

对于表面贴装环行器或隔离器,拉力测试已不适用。该方法旨在通过可焊性试验程序评估器件端子对所用焊料的浸润性,可焊性测试按照 GB/T 4937.21 进行。

附录 A
(资料性)
环行器和隔离器简介

环行器是一种无源非互易3端口器件，其中进入任何端口的微波或射频信号仅单向传输（顺时针或逆时针）到下一个端口。如图A.1所示，从端口1进入的高频信号只传输到端口2，进入端口2的高频信号只传输到端口3。并且进入端口3的高频信号将被传输到端口1。这样，传输只发生在一个确定的方向，而不会发生在相反的方向。



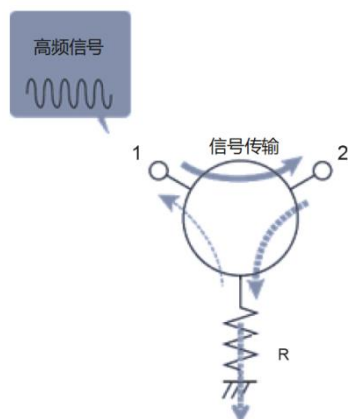
标引序号说明：

- 1— 端口 1；
- 2— 端口 2；
- 3— 端口 3。

注：图中箭头方向代表环行器的信号传输方向。

图A.1 环行器中信号传输示意图

隔离器是一种特殊的环行器，其中某一端子连接负载。如图 A.2 所示，和环行器一样，从端口 1 输入的高频信号通过最小的损耗传输到端口 2。但是从端口 2 进入的高频信号被终端的负载吸收，并且几乎不会传输到端口 1。理想情况下，负载端的反射为零，但通常存在一些不匹配使得有部分信号反射至端口 1，由于隔离器是一个二端口器件，所以从外面看，进入端口 2 的功率似乎在隔离器中被消耗掉了，只有一小部分传输到端口 1。



标引序号说明：

1—端口 1；

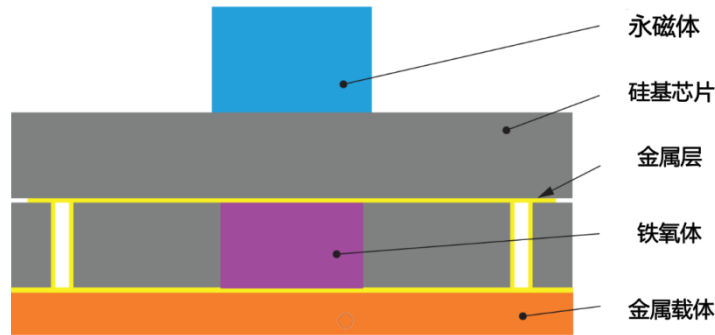
2—端口 2；

R—终端负载。

注：图中箭头方向代表隔离器的信号传输方向。

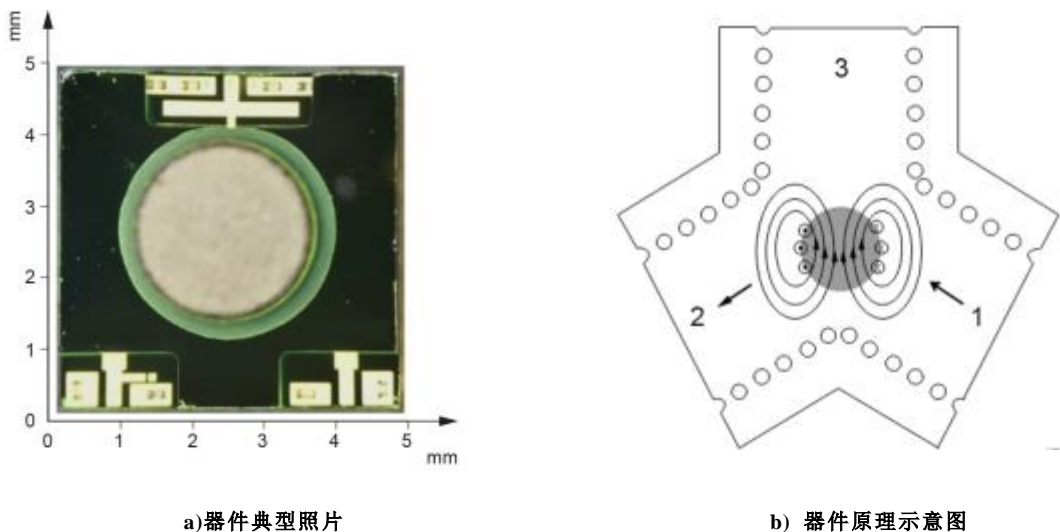
图A.2 隔离器中信号传输示意图

射频MEMS环行器或隔离器是一种基于MEMS工艺制造的器件，其中工艺包括光刻、沉积、湿法和干法蚀刻、键合和TSV互连工艺等。如图 A.3 所示，典型的MEMS环行器或隔离器由磁铁（高度1mm至1.5 mm），硅基芯片（高度0.25mm至0.4mm），铁氧体和金属载体组成（高度0.2mm至0.5mm）。硅基芯片内部嵌有铁氧体，TSV和其他硅通孔结构位于下硅片，金属层位于上硅片的底层，提供信号过渡。



图A.3 射频 MEMS 环行器或隔离器典型结构

如图A.4所示,基于先进的MEMS制造工艺使得射频MEMS环行器和隔离器具有体积小、重量轻、低插损和高隔离度、较宽的温度范围、较高的耐受功率能力和在2GHz~50GHz下抗干扰能力强等特点。此外，射频MEMS环行器和隔离器可以实现大批量制造。



a) 器件典型照片

b) 器件原理示意图

图A.4 典型的射频 MEMS 环行器或隔离器

参 考 文 献

- [1] IEC 60747-16-4:2004, Semiconductor devices – Part 16-4: Microwave integrated circuits – Switches
- [2] IEC 60050-726:1982, International electrotechnical vocabulary – Part 726: Transmission lines and waveguides