



材料测试方案介绍

持续为客户创造价值，推动科技发展与进步



C 目录 ontents

一、材料测量基础

二、如何选择最佳的材料测量方法

三、材料测量方法

- Coaxial Probe(同轴探头法)
- Transmission Line(传输线法)
- Free-Space(自由空间法)
- Resonant Cavity(谐振腔体法)

生活中无处不在的材料

“材料”

可以为任何事物，例如：

- 雷达吸波材料
- 食品
- 沥青
- 陶瓷
- 煤
- 水泥
- 生物组织 (包括血液, 脑组织)
- 等等

这些事物有什么共性???

都需要测量介电常数!!!



材料测试应用

行业	应用/产品
电子	电容器、基片、PCB、PCB天线、铁氧体、磁记录头、吸收器、SAR体模材料、传感器
航空航天/国防	隐身技术、RAM（雷达波吸收材料）、雷达天线罩
工业材料	陶瓷和复合材料：IC封装、航空航天与汽车零部件、水泥、涂料和生物植入
	聚合物和塑料：纤维、基片、薄膜、绝缘材料
	水凝胶：一次性尿片、软性隐形眼镜
	液晶：显示器
	橡胶、半导体和超导体
	其它包含此类材料的产品：轮胎、涂料、粘合剂等
食品和农业	食品保鲜（变质）研究、微波食品开发、包装、含水率测量
林业和矿业	木材/纸制品含水率测量、含油量分析
制药和医疗	药物研究和生产、生物植入体、人体组织和定征、生物量、化学浓缩、发酵



典型应用1：在国防航空中的应用

◆ 雷达吸波材料以及隐身材料

- 微波吸波材料
- 用来控制天线中的雷达反射或者不被雷达探测到
- 柔韧或刚硬的薄片, 泡沫, 或涂料

◆ 天线罩材料

- 用来保护天线, 同时可允许信号通过
- 保护天线系统免受外部环境影响的结构物
- 柔韧或刚硬的薄片, 固体块, 用户自定义形状
- 天线罩材料经历了如下发展路径:氧化铝陶瓷→微晶玻璃→石英陶瓷→陶瓷基复合材料,并逐步向宽频带、多模通讯与精确制导方向发展





典型应用2：在电子通信中的应用

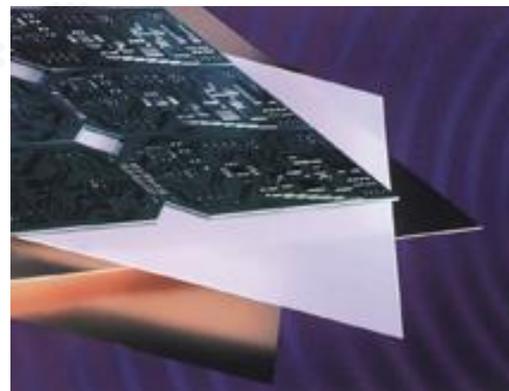
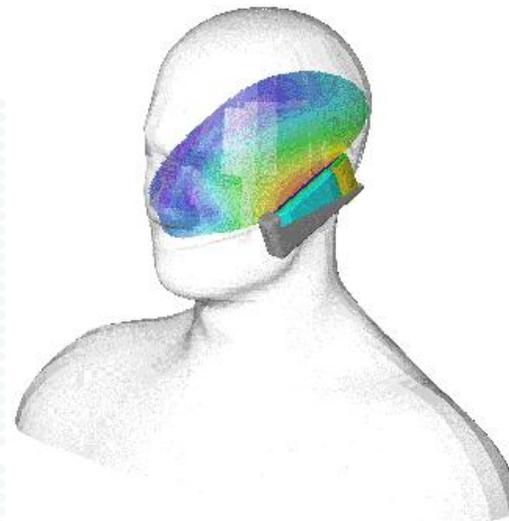
◆ Specific Absorption Rate (SAR) 人体模型

- 用来测量电磁辐射对人体的影响.
- 手机入网EMC检测时会涉及到这项指标的测量
- 通常为冻胶或厚的胶体
- 仿真体液的介电常数：帕森金治疗盒

◆ PCB衬底

- 通常为FR4, 陶瓷等

◆ 陶瓷材料



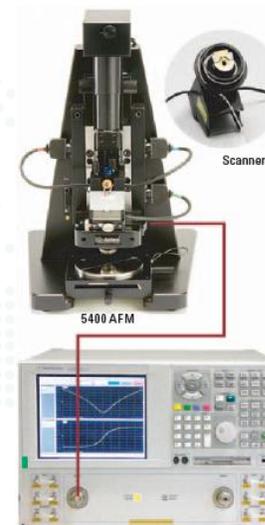
典型应用3：在生物/医学/化学以及新材料的应用

◆ 癌症研究

- 区分出恶性细胞和良性细胞

◆ 纳米材料

- SMM微波扫描显微镜(Scanning Microwave Microscope)



材料介电常数及损耗角正切简介

描述电磁场如何影响材料以及电磁场
在材料里如何发生变化

$$\kappa = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$$

$$\text{Loss tan gent} = \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'}$$

- ◆ 实部代表存储能量，虚部代表耗散能量
- ◆ 材料和外加电磁场的相互作用

Dk 也就是 ϵ_r'

Df 也就是损耗角正切 (loss Tangent)

C 目录 ontents

一、材料测量基础

二、如何选择最佳的材料测量方法

三、材料测量方法

- Coaxial Probe(同轴探头法)
- Transmission Line(传输线法)
- Free-Space(自由空间法)
- Resonant Cavity(谐振腔体法)

材料介电常数及损耗角正切 常用测试方法

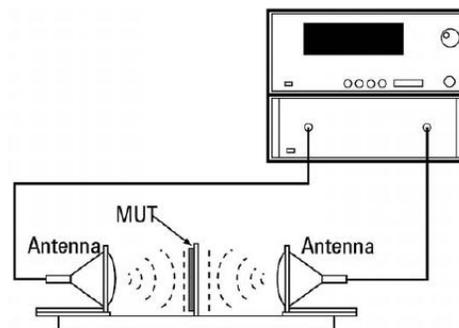
传输线法



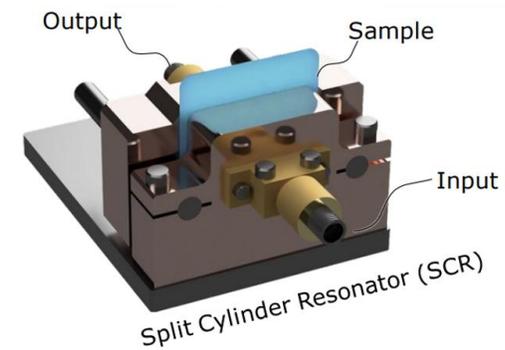
同轴探头



自由空间



谐振腔



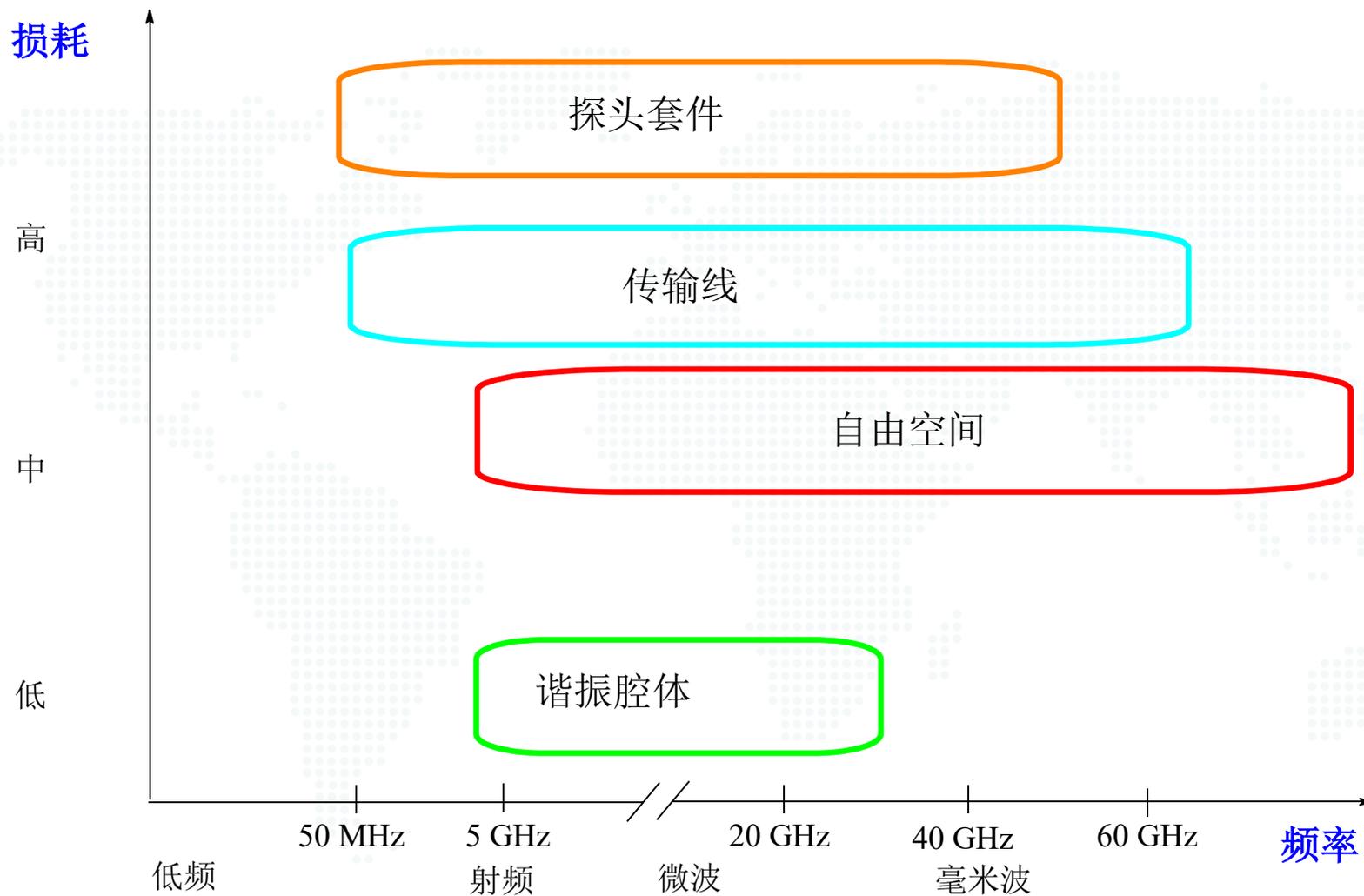


哪种方法最合适?

取决于

- ✓ 频率范围
- ✓ 大概的介电常数 ϵ_r 和 磁导率 μ_r 值
- ✓ 所需的测量精度
- ✓ 材料属性 (例如是否均匀、各向同性)
- ✓ 材料的形态 (例如液体, 粉末, 固体等)
- ✓ 样品尺寸限制
- ✓ 破坏性或非破坏性测量
- ✓ 能接触或不能接触测量
- ✓ 温度条件
- ✓ 成本
- ✓ 等等 ...

材料测试方法总结



材料测试方法总结

探头套件

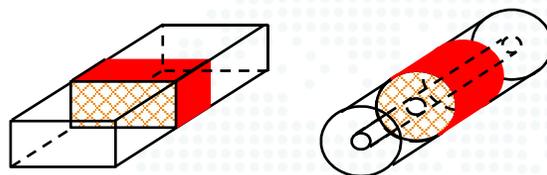
ϵ_r



宽带, 方便, 不具有破坏性
最适合损耗物质; 液体或半固体

传输线

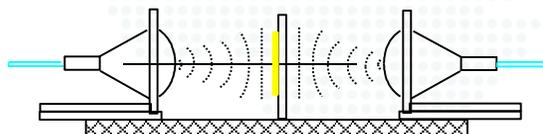
ϵ_r and μ_r



宽带
最适合损耗至低损耗物质; 可加工的固体

自由空间

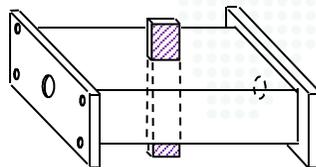
ϵ_r and μ_r



宽带, 非接触
最适合高温; 大块, 平板样品

谐振腔体

ϵ_r and μ_r



单频点, 准确
最适合低损物质; 小型样品,
衬底, 薄膜, PCB

材料介电常数及损耗正切 常用测试方法

哪种测试方法好？要看具体需求.....

01

传输线法适合测试损耗较大的如吸波材料

03

自由空间法适合测试板状材料，对材料没有破坏性



02

探头法适合测液体，人体软组织，平整的绝缘材料以及粉末

04

谐振腔法又细分为多种，建议最好符合ASTM或IPC国家标准规范

C 目录 ontents

一、材料测量基础

二、如何选择最佳的材料测量方法

三、材料测量方法

- Coaxial Probe(同轴探头法)
- Transmission Line(传输线法)
- Free-Space(自由空间法)
- Resonant Cavity(谐振腔体法)

同轴探头法介绍



优点

- 方便, 容易使用
- 基本不需要对样品进行加工
- 非破坏性(针对很多材料)
- 适合液体或半固体
- 很宽的频率范围 (0.2 ~ 20 GHz 取决于 ϵ_r)

缺点

- 一般要求样品厚度 > 1 cm (典型)
- 固体的表面必须是平的
- 有限的 ϵ_r 精度($\pm 5\%$), 低损耗精度($\pm 0.05 @ \tan \delta$)
- 不适合高 ϵ_r , 低 ϵ_r'' 材料
- 不能测量 μ_r

同轴探头法方案推荐

属性 \ 探头	高温探头	细长探头	高性能探头
频率范围	200MHz – 20GHz	500MHz – 50GHz	500MHz – 50GHz
探头形状	平	细长	细长
能忍受高温	X		X
完全密封			X
低成本		X	
推荐的应用	Quick check for hard flat solids, low frequency liquids when big diameter is not a problem	Curing and other consumable applications, and When cost is an issue	Medical, Chemical, Food, Extreme Temp, Sterile, and other applications that need a sealed probe.



高温探头



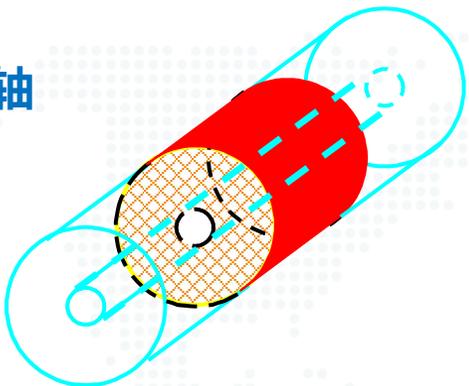
细长探头



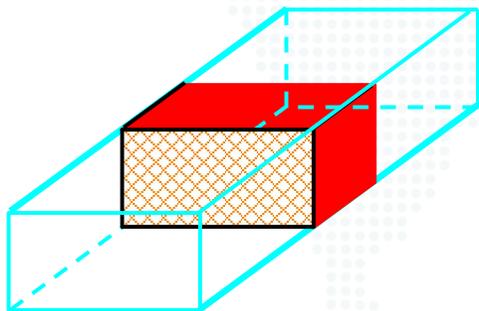
高性能探头

传输线法介绍

同轴



波导



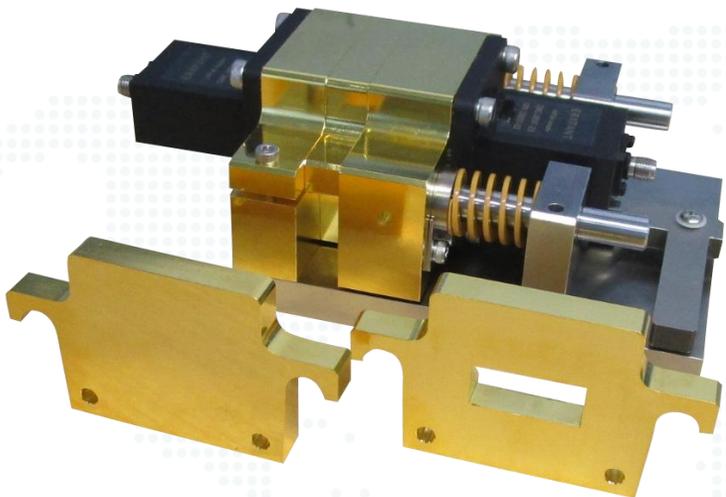
优点

- 能测出 ϵ_r 和 μ_r
- 夹具简单
- 很宽的频率范围

缺点

- 频率受限 > 100 MHz (波导件)
- 需要对样品形状精确的加工 (破坏性)
- 不适合测量低损耗物质, 典型的精度为 2% @ ϵ'_r , 0.01 @ $\tan \delta$
- 液体的话还需器皿

传输线法方案推荐（波导夹具，8.2~40GHz）



✓ 操作简单

✓ 测量重复性好

✓ 包含TRL校准件，不需要额外购买校准件

✓ 可测量各向异性材料

频率 (GHz)	波导接口	夹具内部尺寸 (mm)	夹具厚度 (mm)	连接器
8.2 – 12.4	WR90	22.86 X 10.16	10	2.92 mm (f)
12.4 – 18	WR62	15.80 X 7.90	7.5	
18 – 26.5	WR42	10.67 X 4.32	5	
26.5 – 40	WR28	7.11 X 3.56	3	

传输线法方案推荐（同轴空气线，DC~50GHz）

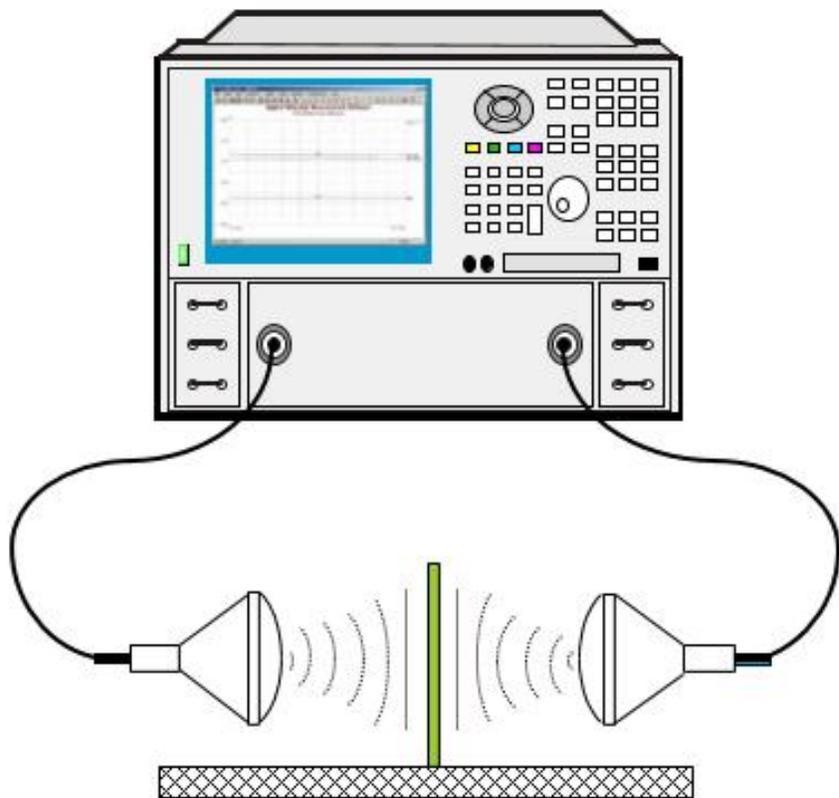


✓ 覆盖频带宽

✓ 测量各向同性材料

频率 (GHz)	接口类型	外导体内径 (mm)	内导体外径 (mm)	长度 (mm)
DC – 18	Type N	7	3.04	124.873
DC – 18	7 mm	7	3.04	99.898
DC – 26.5	3.5 mm	3.5	1.52	74.924
DC – 50	2.4 mm	2.4	1.0423	49.991

自由空间法介绍



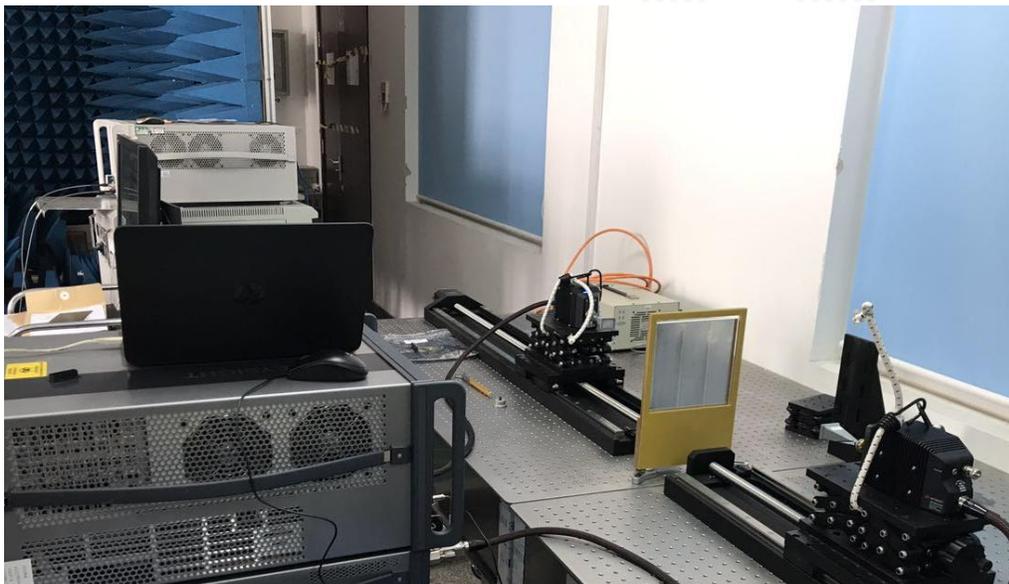
优点

- 非接触, 非破坏性, 适合高温
- TRL或GRL校准
- 时域选通消除误差

缺点

- 校准时需考虑
 - ✓ 需要特殊的校准件 (TRL, LRM) 或专门的校准方法 (GRL)
 - ✓ 需要精确的控制样品和天线之间的距离 (TRL)
- 不适合测量低损耗物质, 典型的精度为 $2\% @ \epsilon'_r$, $0.01 @ \tan \delta$
- 需要大、平、细的样品

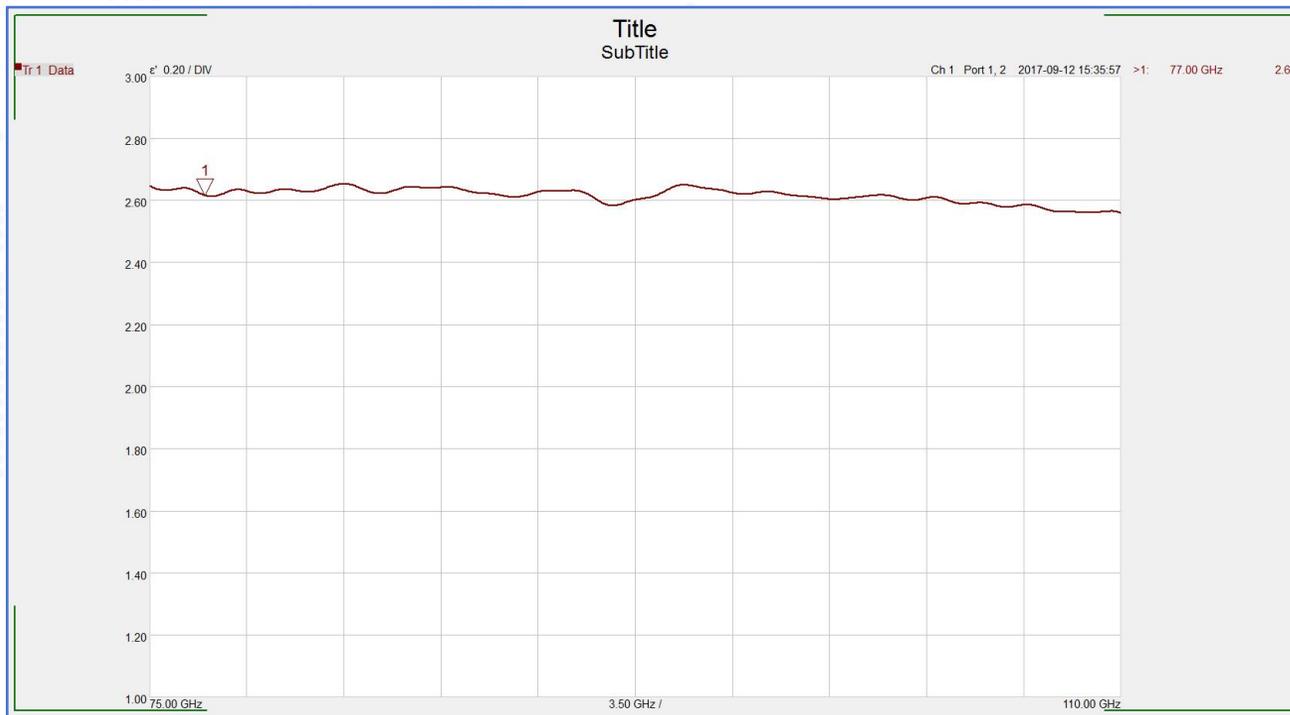
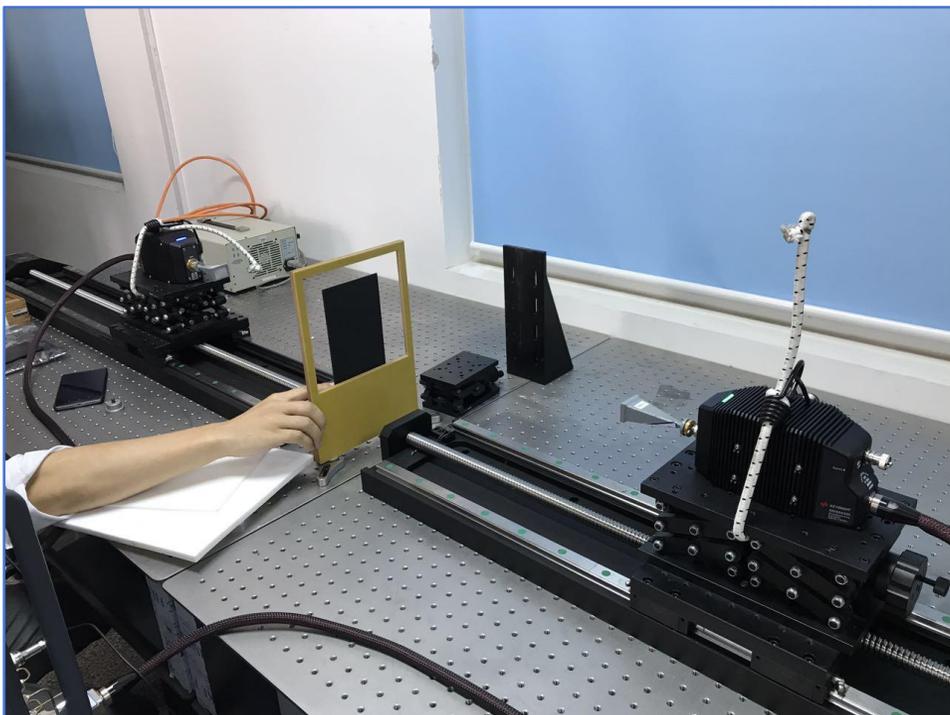
自由空间法方案推荐



- 不同型号覆盖18 – 330 GHz各个频段
- 提供矢网、扩频模块、材料测试软件和自由空间法夹具的完整方案

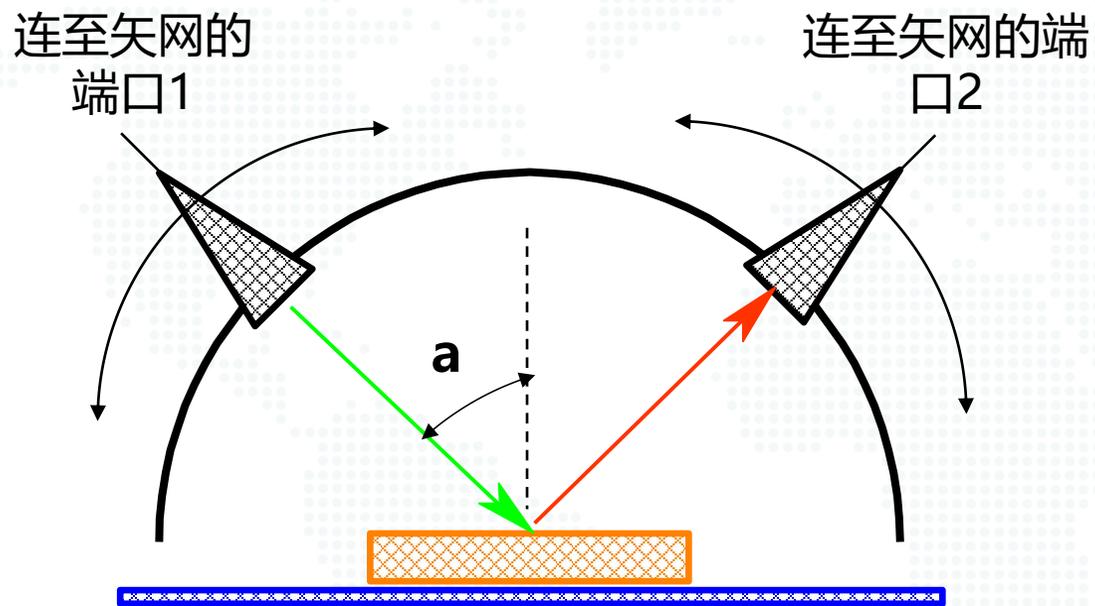
波导频段	频率范围 (GHz)
K-band	18 – 26.5
R-band	26.5 – 40
Q-band	33 – 50
U-band	40 – 60
V-band	50 – 75
E-band	60 – 90
W-band	75 -110
D-band	110 – 170
G-band	140 – 220
J-band	220 - 330

自由空间法成功案例

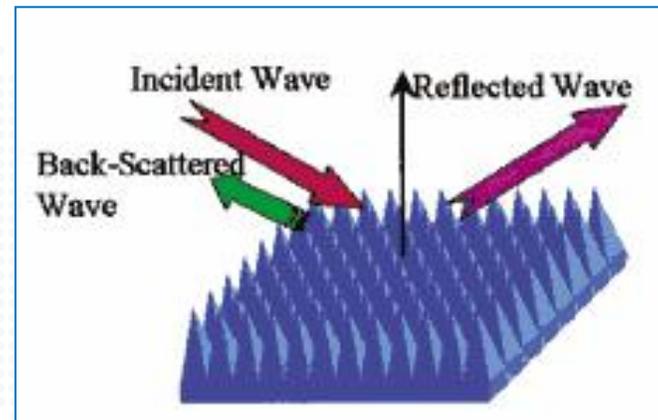


浙江某汽车企业测量汽车雷达天线罩在77 GHz的介电常数

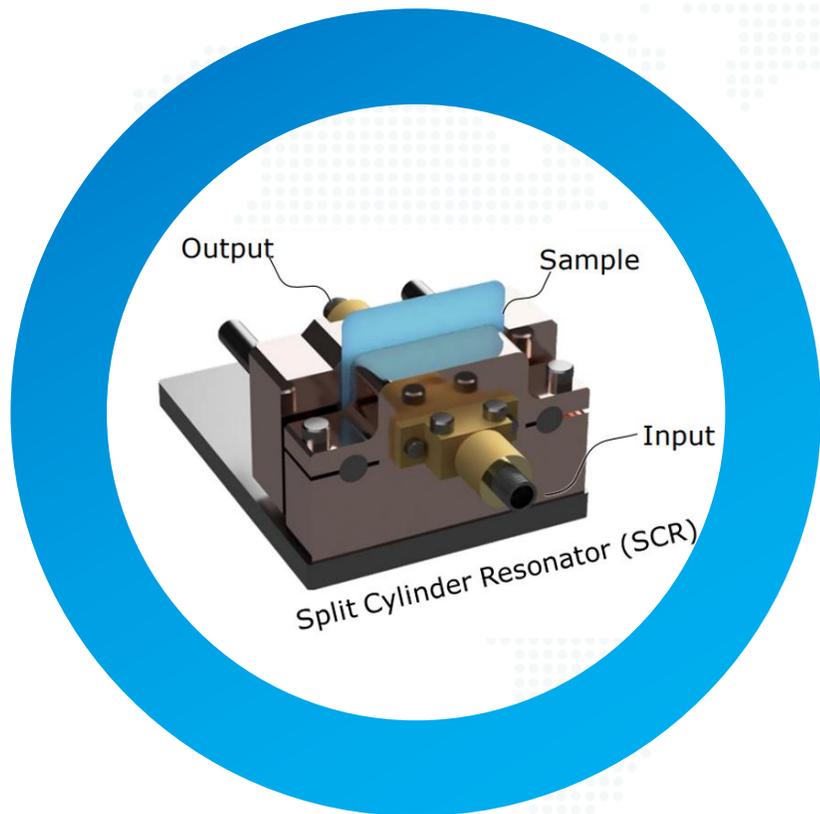
弓形架法测量吸波材料反射率



利用矢量网测出被测材料的S21



谐振腔法介绍



优点

- 测试精度高
- 可以测试低损材料(如陶瓷,PTFE等)
- ASTM 协会(国际材料试验协会)测试规范,受到业界广泛认可
- 国标对应的规范为 GB/T 7265.1 固体电介质微波复介电常数的测试方法: 微扰法
- 测试样品通常为细长的圆柱或长方体,易于加工

缺点

- 测试频段窄
- 国外方案频点少
- 国外价格贵,不能定制

TM谐振腔



- 频率覆盖1 GHz – 10 GHz (单频点)
- 测量长条形材料
- 可用于测量粉末状低损材料
- 操作简单, 重复性好

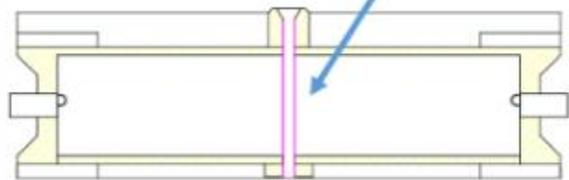
频率 (GHz)	样品孔直径 (mm)	连接器类型
1	2.6	2.92 mm (f)
2		
2.45		
3		
5		
5.8		
10		

基于TM谐振腔的粉末状固体材料测量（低损）

1/2/2.45/3/5
/5.8/10GHz



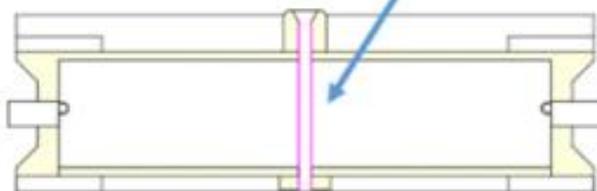
guide tube



cross section

measure
empty resonance

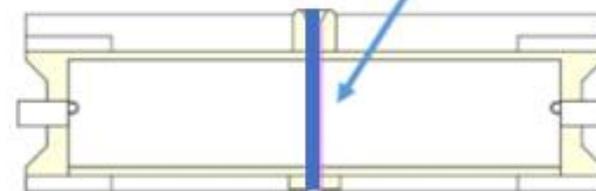
empty tube



cross section

measure
resonance with powder

tube with powder



cross section



TM谐振腔成功案例



北京某研究所测量四种粉末材料在10 GHz的的Dk和Df值

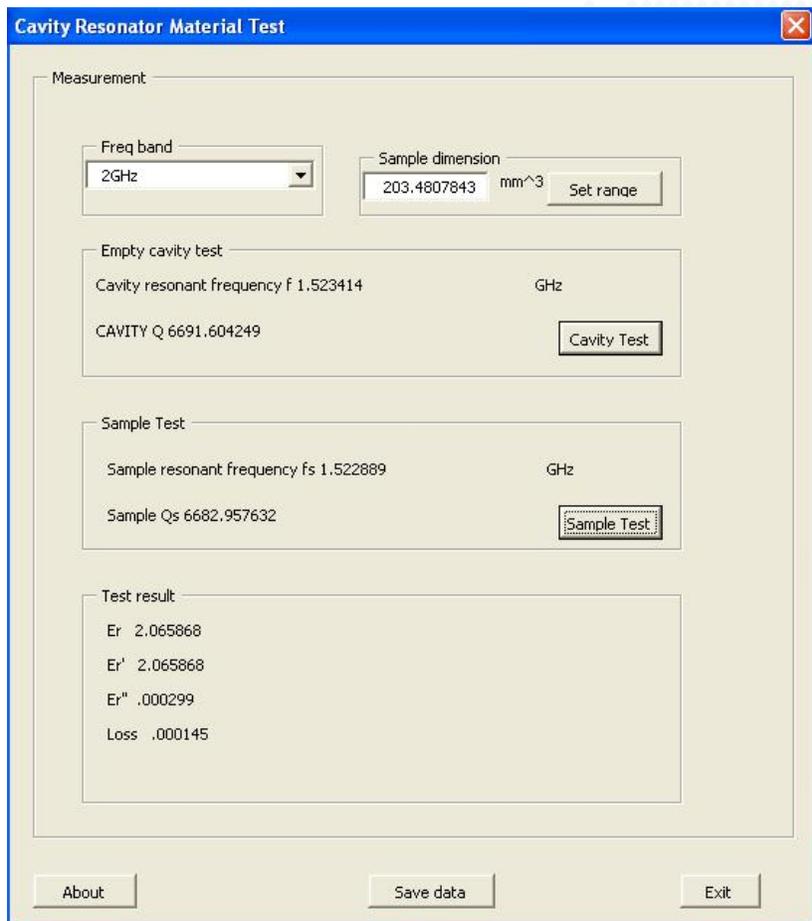
两次测量有绝佳的一致性

◆ 我们可以提供高性能、定制化谐振腔

可定制谐振腔频率范围	1GHz ~ 25GHz范围内的任意频点
测试电磁波模式	TE101模
测试规范	ASTM规范 国标: GB/T 7265.1
测试参数	介电常数 (ϵ) : < 80 损耗正切 ($\tan\delta$) : >1.0E-3
测试精度	介电常数 (ϵ) : $\pm 5\%$



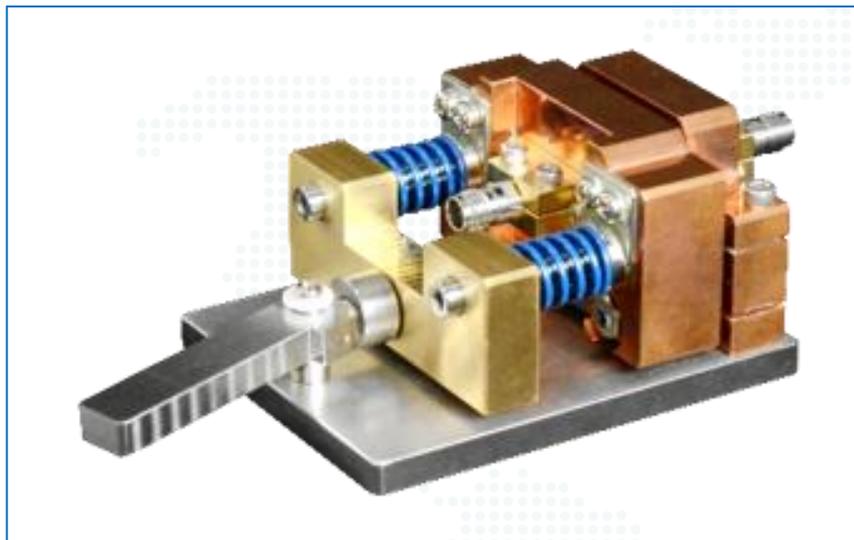
TE谐振腔成功案例



- 深圳某高频陶瓷片式电感上市公司定制谐振腔和配套测试软件
- 贵州振华集团旗下的云科定制了一系列的谐振腔和配套的测试软件
- 某地质研究所测试冻土的复介电常数方案
- 武汉某大学定制谐振腔用于2.5GHz频点材料测试

A	B	C	D
Er	Er'(DK)	Er''	Loss Tangent(Df)
2.068208	2.068208	0.000241	0.000117

分离圆柱体 (SCR) 谐振腔



- 频率覆盖10 GHz – 80 GHz (单频点)
- 测量薄膜材料
- 操作简单, 重复性好

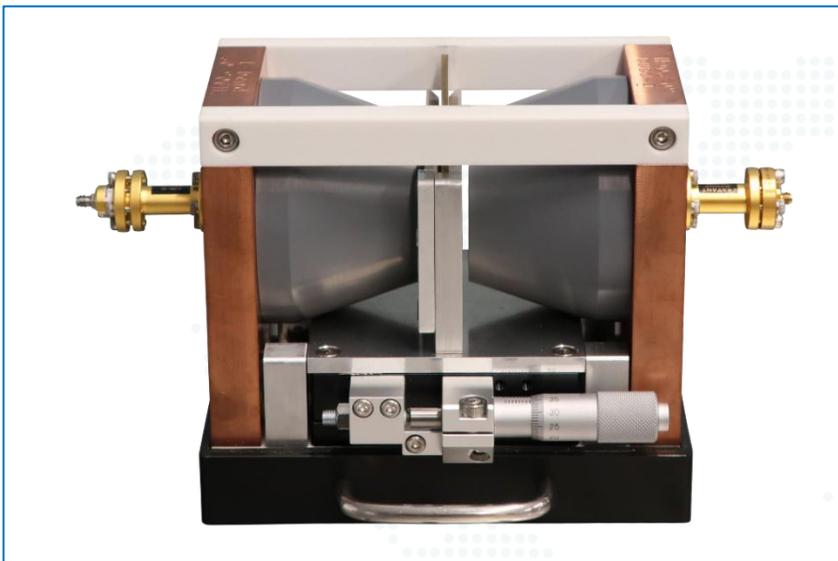
频率 (GHz)	样品尺寸 (mm)	连接器类型
10	75 X 62	
20	45 X 34	2.92 mm (f)
24		
28		
35		
40		
50		2.4 mm (f)
60		1.85 mm (f)
80		1.0 mm (f)

SCR谐振腔成功案例

COP film (flipping the sample each time)				
	28GHz Dk	40GHz Dk	28GHz Df	40GHz Df
Meas 1	2.36965	2.35451	0.000716	0.000755
Meas 2	2.36980	2.35486	0.000724	0.000751
Meas 3	2.36968	2.35440	0.000723	0.000753
Meas 4	2.36973	2.35466	0.000714	0.000748
Meas 5	2.36950	2.35381	0.000718	0.000752
Meas 6	2.36968	2.35376	0.000722	0.000753
Meas 7	2.37036	2.35367	0.000717	0.000752
Meas 8	2.37012	2.35412	0.000716	0.000760
Meas 9	2.37007	2.35382	0.000720	0.000755
Meas 10	2.37012	2.35420	0.000716	0.000754
Average	2.36987	2.35418	0.000719	0.000753
St Dev	0.00028	0.00042	0.000003	0.000003

- 上海某公司测量COP薄膜材料的Dk和Df值
- 十次测量有绝佳的重复性

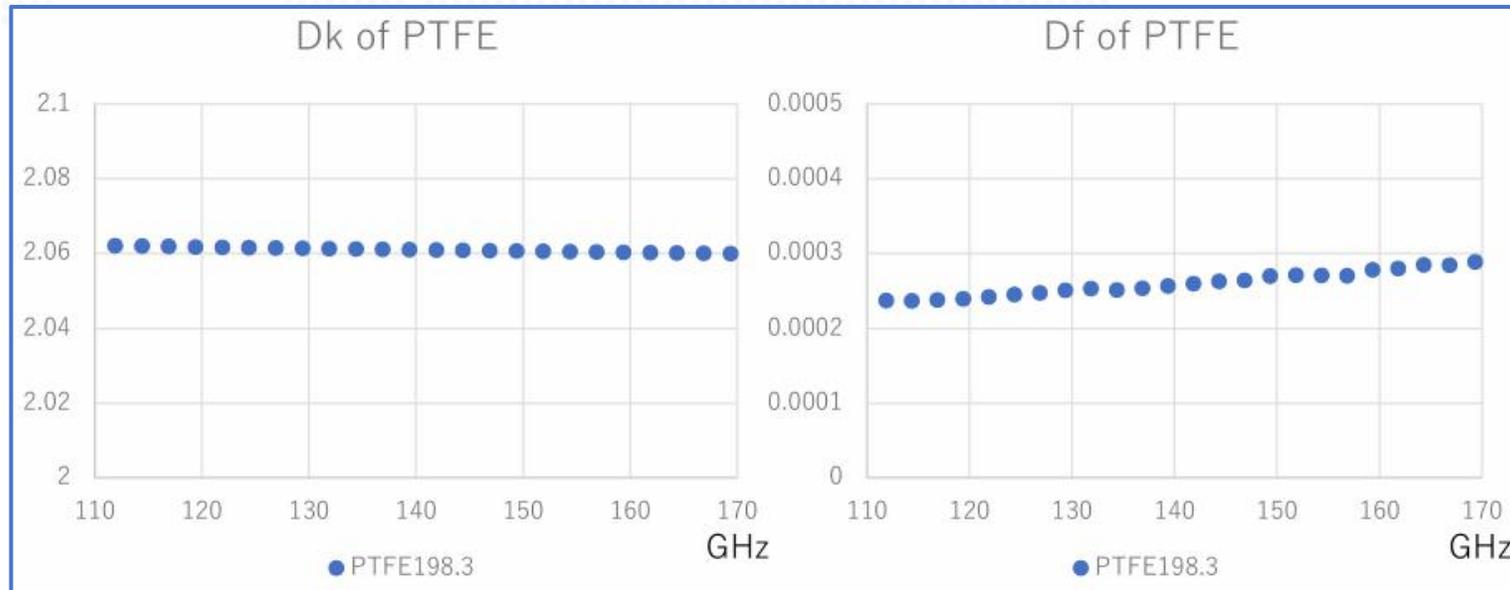
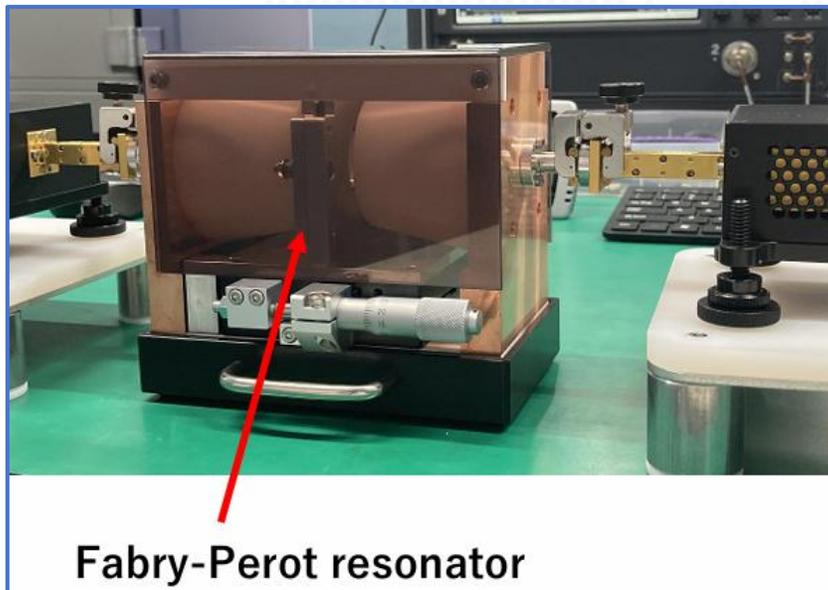
Fabry-Perot谐振腔



- 频率覆盖25 GHz – 330 GHz (每个谐振腔覆盖2.5 GHz间隔的多频点)
- 测量薄膜材料
- 操作简单, 重复性好

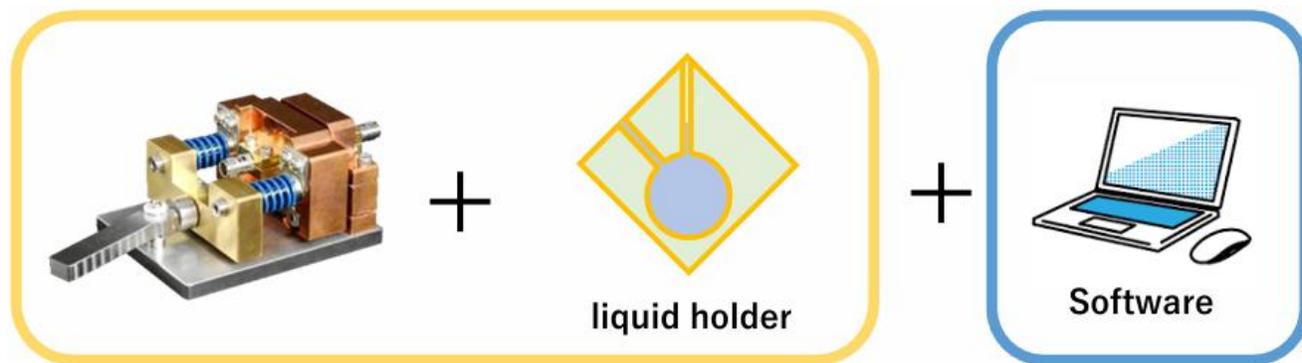
频率范围 (GHz)	接头类型
25 – 110	1.0 mm (f)
60 – 90	WR-12
75 – 110	WR-10
110 – 170	WR-06
140 – 220	WR-05
220 – 330	WR-03

Fabry-Perot谐振腔成功案例

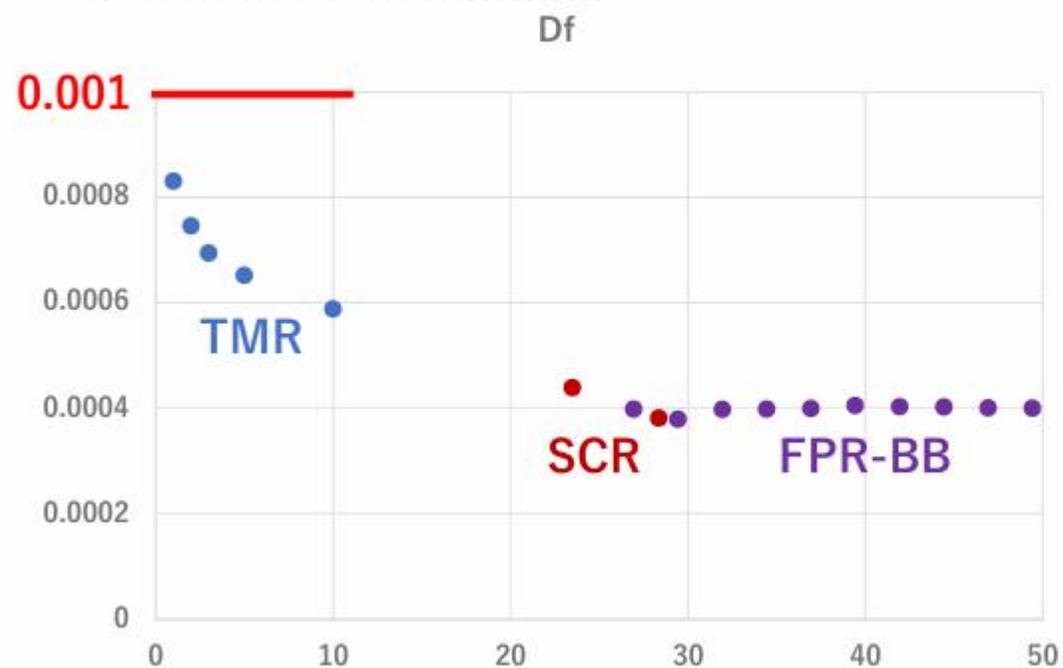
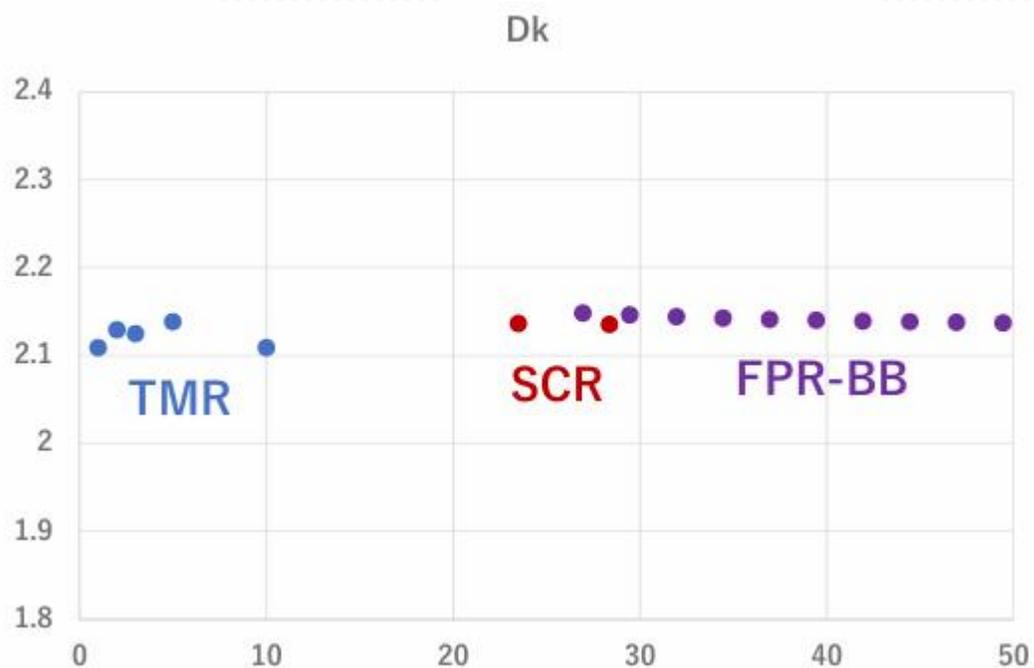


北京某大学测量PTFE在110-170 GHz的Dk和Df值

基于谐振腔的液冷材料测量



- 频率范围覆盖1 GHz – 330 GHz
- D_f 到 4×10^{-4} 量级可以精确测量
- 不同谐振腔之间重复性好





联系方式： 于先生
电话： +86 189 8875 6718
邮箱： tao.yu@topsync.com
公司网站： www.topsync.com



深圳市涛鑫电子科技有限公司
ShenZhen TopSync Electronic Technology Co., Ltd

持续为客户创造价值，推动科技发展与进步

