

安徽华东光电技术研究所有限公司

安徽华东光电技术研究所有限公司

超导高频相关部件研究进展汇报

报告人： 李 荣



目 录

➤ 公司简介

➤ 微波真空事业部简介

➤ 微波真空功率器件产品展示

➤ 微波真空无源器件产品展示

➤ 其他微波真空器件产品展示

➤ 大科学装置相关工艺技术

➤ 微波真空器件通用工艺和设施

公司简介

安徽华东光电技术研究所组建于1987年，位于芜湖市国家级高新技术开发区，园区“华夏科技园”占地500亩。2017年为适应市场化竞争需求，加强内部管理，采取公司化运营，更名为**安徽华东光电技术研究所有限公司**。

公司是专业承担特种微波与微电子、特种光源、特种显示等电子元器件科研生产任务的地方科研生产单位。目前主营业务主要包括：**微波固态器件与组件、混合集成电路、微波真空器件、特种光源与气体放电器件、智能设备与系统等产品的研发、生产、销售与维修保障。**

安徽华东光电技术研究所



华夏科技园

公司简介

——创新平台



国家发改委
国家发改委

- 国家工程实验室
- 国家企业技术中心



国家科技部
国家科技部
国家科技部
国家科技部

- 太赫兹器件研究与应用国际联合研究中心
- 国家工程技术研究中心
- 省部共建国家重点实验室（培育基地）
- 国家级创新型企业



安徽省科技厅
安徽省科技厅
安徽省科技厅

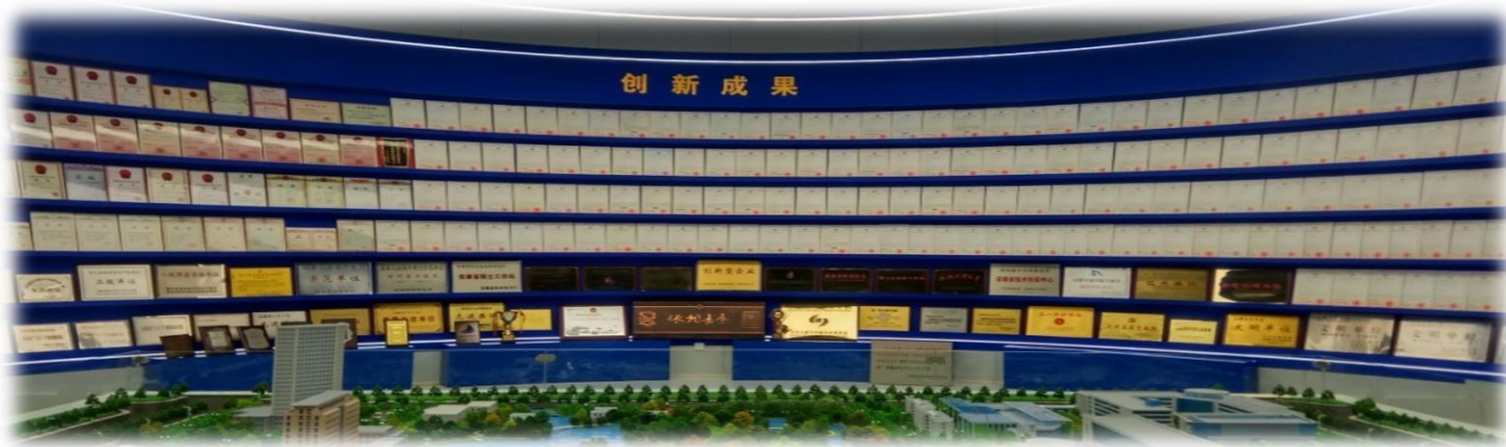
- 安徽省特种显示与成像技术创新中心
- 安徽省现代成像与显示技术重点实验室
- 安徽省微波器件工程技术研究中心

安徽省发改委

- 安徽省微波应用工程研究中心

建所以来，我所高举自主创新、对外合作和JM融合三大行动旗帜，共承担国家重点科研攻关任务、国家火炬计划任务、国家863计划任务、国家重大工业试验任务及国家重大科学仪器设备开发专项等国家级、省部级以上重大科研项目**200多项**，为70%以上的重点飞机型、天宫系列空间站、神舟飞船、新一代大型舰船等**100多项国家重点工程和重点装备**配套了大量高新技术产品。

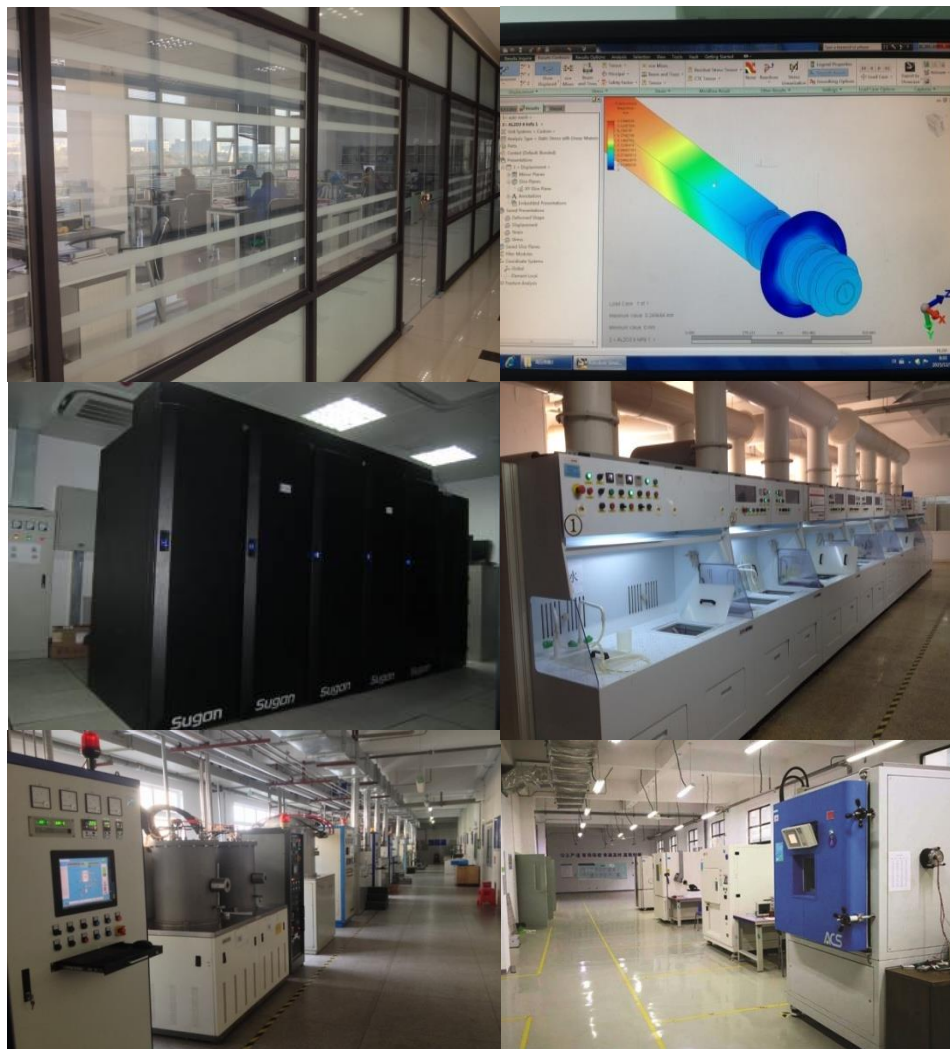
我所已获国家专利（含国防专利）**1020余项**，其中发明专利比例占**超过40%**，先后荣获**国家科技进步奖特等奖一项、二等奖一项、三等奖三项；军队科技进步奖一等奖一项、三等奖一项；省市科技进步奖十余项。**



公司简介

——条件建设

建所以来，我所已建成**11条**国内一流的科研生产线，其中包括**4条**贯彻国军标生产线，建立了覆盖**微波、毫米波、太赫兹**等多个专业方向的研发设计仿真平台，研发与工艺试验设备及软件原值**超过2亿元**，拥有**研发与工艺设备477台（套）**，包括微波功率参数测试系统、太赫兹矢量网络分析仪、激光加工系统、激光焊接系统、等离子体增强化学气相沉积等先进设备；**检测试验设备56台套**，**各类研发设计仿真软件30余种**，拥有最高**800GHz**微波、毫米波与太赫兹产品的研发、制造与检验能力，所检测中心已经通过**国家CNAS认证**。



公司简介

——人才队伍

公司现有研究与开发与科研管理人员150余人，其中**享受国务院特殊津贴4人**，国家有突出贡献中青年专家称号2人、安徽省创新创业领军人才特殊支持计划专家2人、安徽省战略性新兴产业技术领军人才5人、高级以上职称22人，中级职称32人，博士2人，硕士38人。公司还有一支以独联体国家为主的国外高端专家队伍长期在所内工作，其中**4人获得中国政府国家友谊奖**，**2人获得安徽省政府黄山友谊奖**。



公司简介

——国内外合作

微波真空器件技术领域

国际合作：外聘30多名外国专家担任兼职教授，定期来我所工作，并带来国外最先进的科研成果。

国内合作：◆与合肥工业大学联合组建光电技术研究院。

◆同东南大学、电子科技大学等高校建立战略合作关系。

◆同中科院电子学研究所、西北核技术研究所等科研院所签订战略合作协议。



目 录

➤ 公司简介

➤ 微波真空事业部简介

➤ 微波真空功率器件产品展示

➤ 微波真空无源器件产品展示

➤ 其他微波真空器件产品展示

➤ 大科学装置相关工艺技术

➤ 微波真空器件通用工艺和设施

微波真空事业部简介

微波真空器件事业部是专门从事**微波真空无源器件、微波真空功率器件及其关键工艺技术**研究的专业事业部。



微波大楼

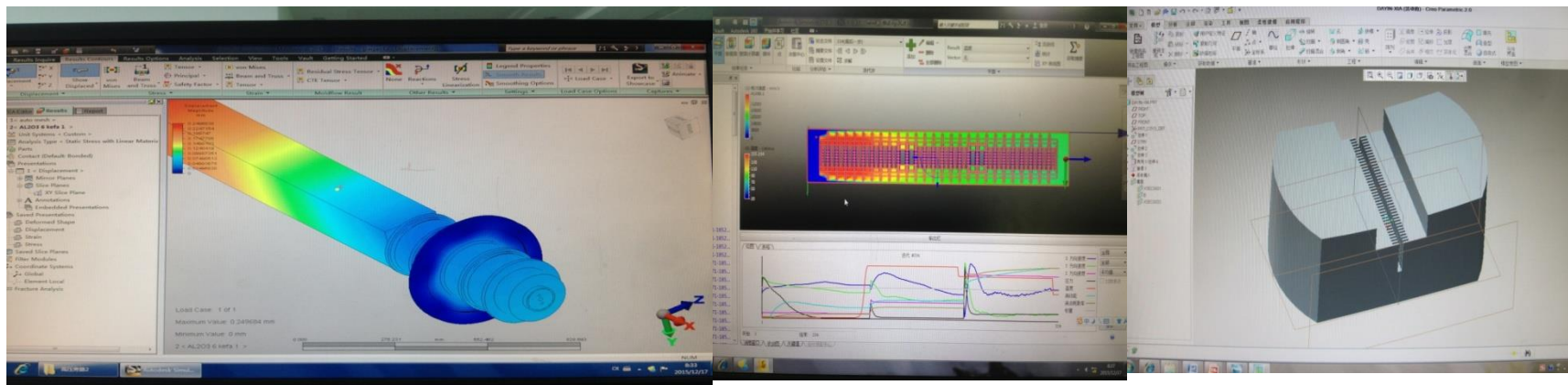
事业部下设研发部、生产制造部、市场部、综合管理部。产品广泛应用于通信、仪器仪表、雷达、航空航天、特种电子装备等领域。事业部依托强大的技术实力、高可靠性的产品质量和优质的专业服务，成为国内重要的微波元器件供应商之一，客户单位覆盖**中航、中船重工、中电科、中电、中核、中科院**等单位。

微波真空事业部简介

设计开发平台

事业部建有计算机仿真实验室

- ◆ 使用HFSS、CST、TAU和MTSS等软件进行电磁三维仿真；
- ◆ 使用ANSYS和Mechanical等软件进行热分析设计、应力分析设计以及可靠性设计。



微波真空事业部简介

工艺制造平台

事业部拥有各类生产设备200多台套，洁净厂房4000平米左右，千级净化厂房1000多平米，万级净化厂房近3000平米。此外还针对超导高频组件生产建立的十级净化生产车间200多平
涉及关键工艺：

- ◆ 陶瓷材料制备工艺；
- ◆ 陶瓷金属化工艺；
- ◆ 阴极材料制备工艺；
- ◆ 表面处理工艺；
- ◆ 高温焊接工艺。



微波真空事业部简介

工艺技术体系

- 1、表面处理工艺：清洗、镀镍、镀锌、高RRR值镀铜、镀银、镀金等技术条件；
- 2、焊接工艺：电子束焊、激光焊、钎焊、高频焊、电阻焊、氩弧焊等焊接和热处理设备设施以及工艺条件；
- 3、陶瓷金属化工艺：A95瓷、A99瓷、氧化铝单晶瓷、SiC、AlN等陶瓷的金属化工艺体系；
- 4、生产过程检测工艺
- 5、产品真空漏气密性检测工艺
- 6、高真空产品烘烤除气工艺
- 7、微波真空产品测试、老炼工艺
- 8、产品微波性能检验测试工艺
- 9、各种环境、寿命试验工艺
- 10、阴极的设计加工：具有完整的钨钨阴极研制工艺技术体系，具备独立的阴极研制能力



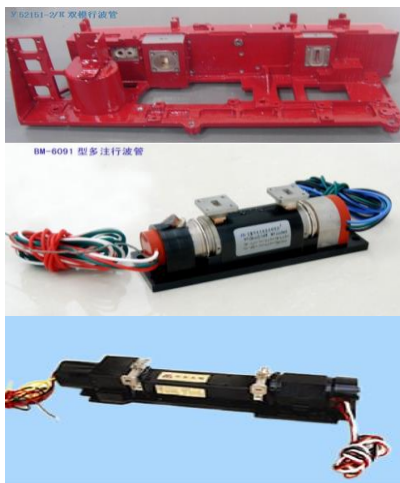
目 录

- 公司简介
- 微波真空事业部简介
- 微波真空功率器件产品展示
- 微波真空无源器件产品展示
- 其他微波真空器件产品展示
- 大科学装置相关工艺技术
- 微波真空器件通用工艺和设施

微波真空功率器件产品展示

1、行波管产品

- 单注耦合腔行波管
- 多注耦合腔行波管
- 螺旋线行波管



2、磁控管产品

- 应用于机载电视
制导吊舱发射机中，
作为微波功率源的
磁控管



3、太赫兹产品

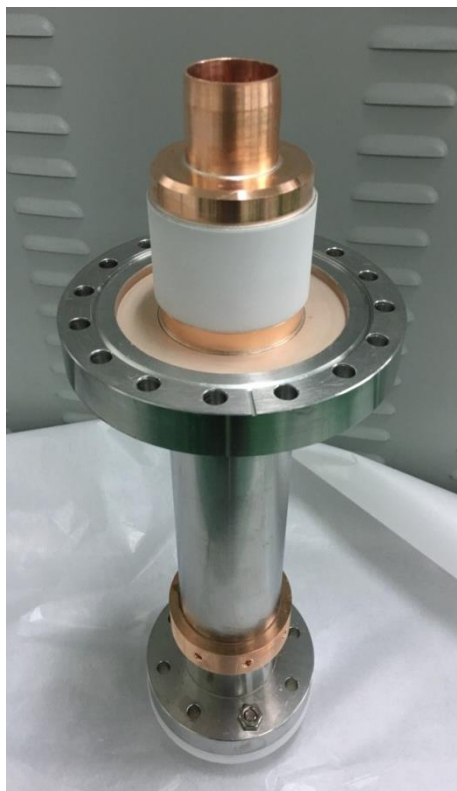
- 返波管
- 绕射辐射振荡器



目 录

- 公司简介
- 微波真空事业部简介
- 微波真空功率器件产品展示
- 微波真空无源器件产品展示
- 其他微波真空器件产品展示
- 大科学装置相关工艺技术
- 微波真空器件通用工艺和设施

微波真空无源器件-大科学装置产品展示

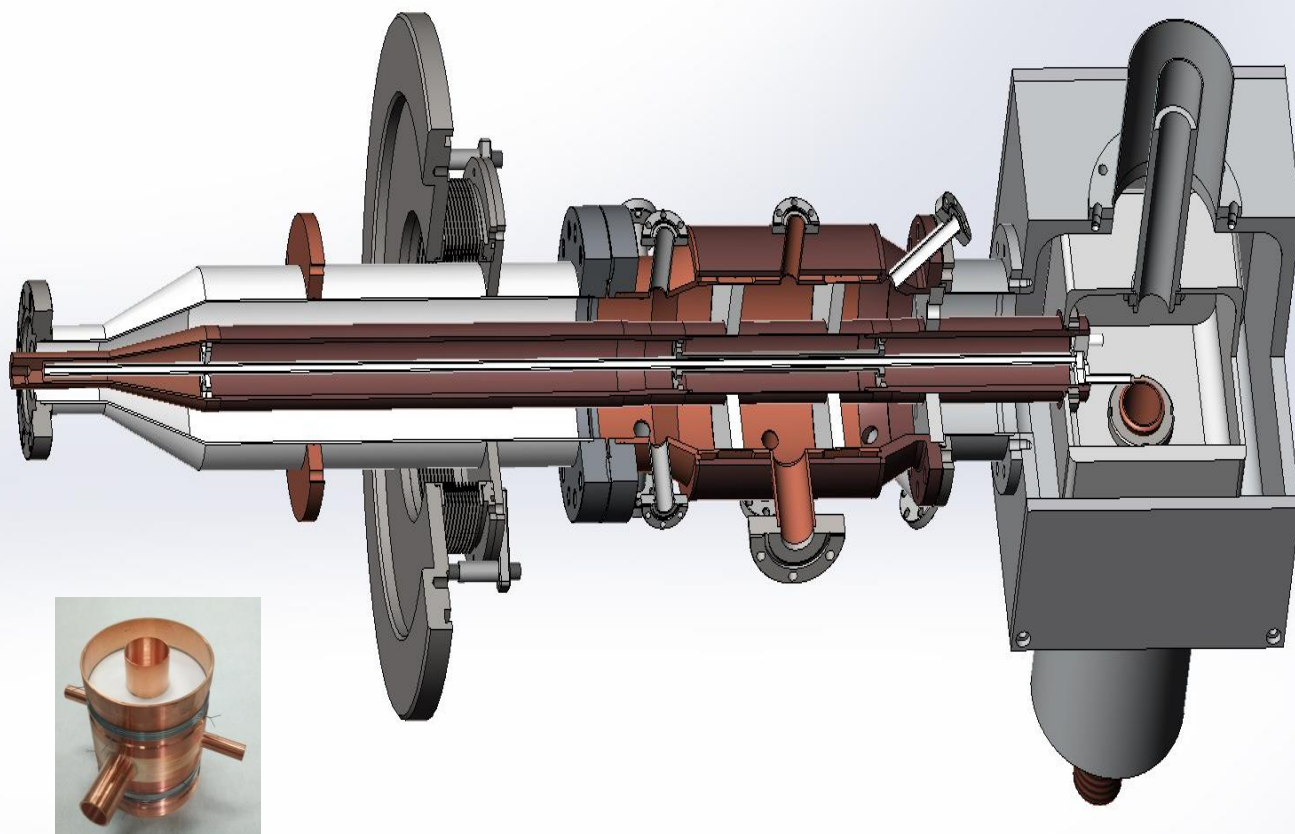


参数名称	指标
工作频率	162.5MHz
传输损耗	$\leq 0.2\text{dB}$
传输功率	$\geq 20\text{kW}$ (CW)
真空漏率	优于 $1\text{E-}9\text{mbar}\cdot\text{L/s}$
材料磁导率	≤ 1.05
冷却方式	风冷
装配结构	陶瓷金属焊接
陶瓷镀膜	TiN
微波面镀膜	镀铜15-30微米
RRR $\in$	30,80

冷-热双窗耦合器

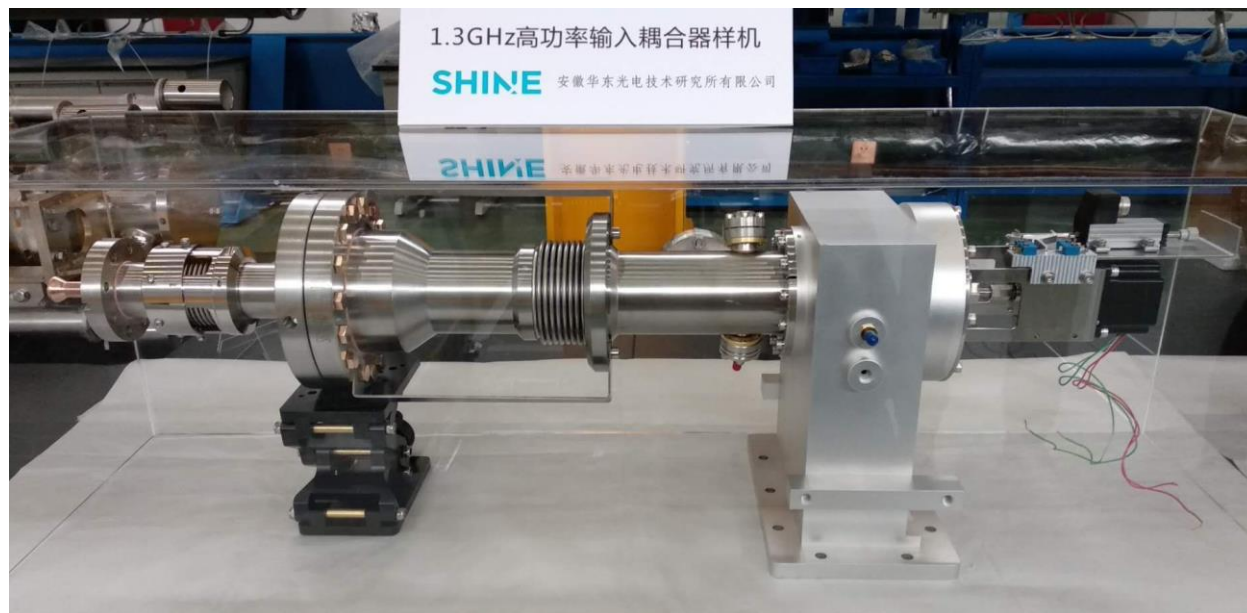
微波真空无源器件-大科学装置产品展示

参数名称	指标
工作频率	162.5MHz
传输损耗	$\leq 0.2\text{dB}$
传输功率	$\geq 14\text{kw}$ (CW)
真空漏率	优于 $1\text{E-}9\text{mbar}\cdot\text{L/s}$
材料磁导率	≤ 1.05
冷却方式	风冷
装配结构	陶瓷金属焊接
陶瓷镀膜	TiN
微波面镀膜	镀铜15-30微米
RRR $\in$	30,80



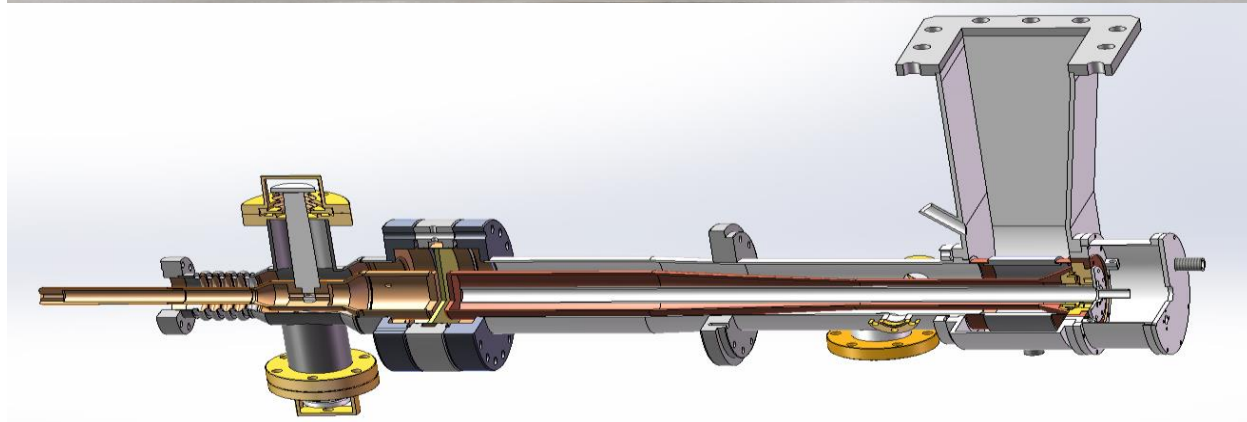
162.5MHz双窗耦合器

微波真空无源器件-大科学装置产品展示



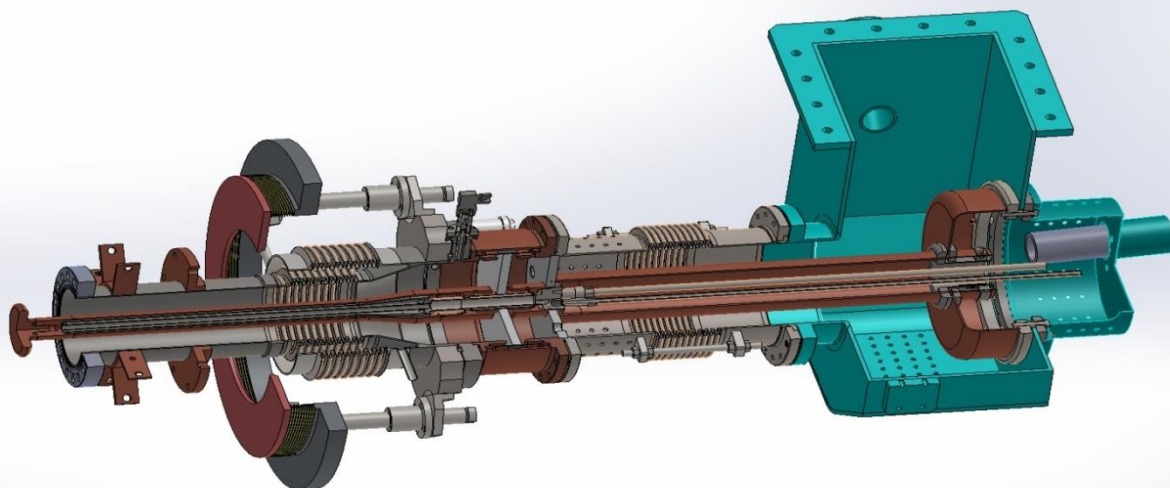
1.3GHz耦合器

参数名称	指标
工作频率	1.3GHz
传输损耗	$\leq 0.2\text{dB}$
传输功率	$\geq 14\text{kw}$ (CW)
真空漏率	优于 $1\text{E}-9\text{mbar}\cdot\text{L/s}$
材料磁导率	≤ 1.05
装配结构	陶瓷金属焊接
陶瓷镀膜	TiN
微波面镀膜	镀铜15-30微米
RRR $\in$	30,80



1.3GHz双窗耦合器

微波真空无源器件-大科学装置产品展示



参数名称	指标
工作频率	650MHz
传输损耗	$\leq 0.2\text{dB}$
传输功率	$\geq 200\text{kw (CW)}$
真空漏率	优于 $1\text{E-9mbar}\cdot\text{L/s}$
材料磁导率	≤ 1.05
冷却方式	液冷
装配结构	陶瓷金属焊接
陶瓷镀膜	TiN
微波面镀膜	镀铜15-30微米
RRR $\in$	30,80

650MHz高功率输入耦合器

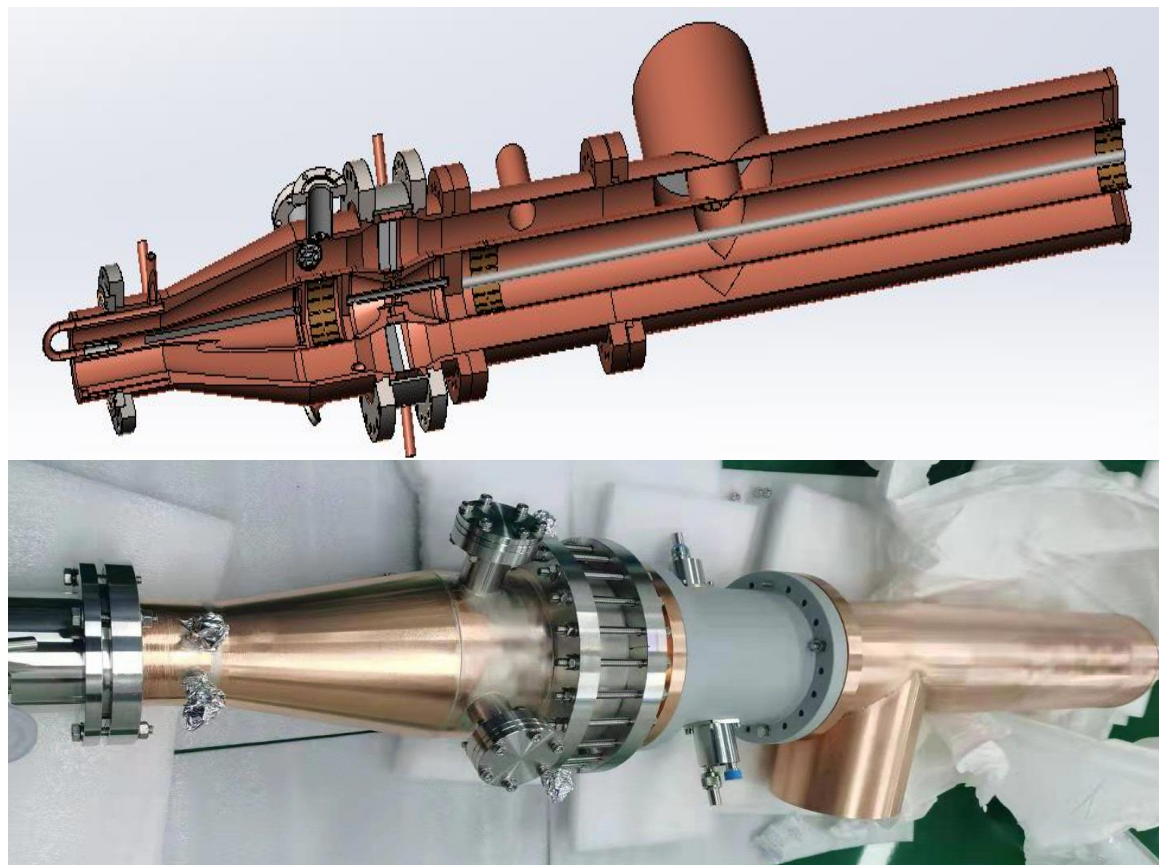
微波真空无源器件-大科学装置产品展示



参数名称	指标
工作频率	500MHz
传输损耗	$\leq 0.2\text{dB}$
传输功率	$\geq 250\text{kW}$ (CW)
真空漏率	优于 $1\text{E}-9\text{mbar}\cdot\text{L/s}$
材料磁导率	≤ 1.05
冷却方式	液冷
装配结构	陶瓷金属焊接
陶瓷镀膜	TiN
微波面镀膜	镀铜15-30微米
RRR $\in$	30,80

500MHz高功率输入耦合器

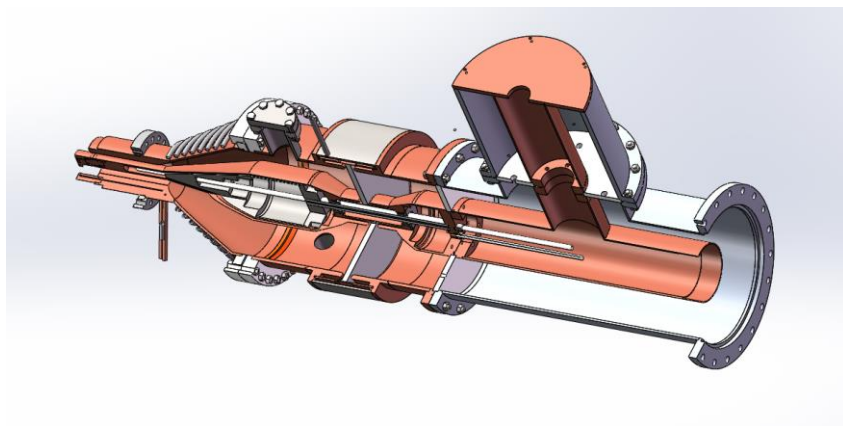
微波真空无源器件-大科学装置产品展示



参数名称	指标
工作频率	162.5MHz
传输损耗	$\leq 0.2\text{dB}$
传输功率	$\geq 160\text{kw}$ (CW)
真空漏率	优于 $1\text{E}-9\text{mbar}\cdot\text{L/s}$
材料磁导率	≤ 1.05
冷却方式	液冷
装配结构	陶瓷金属焊接
陶瓷镀膜	TiN

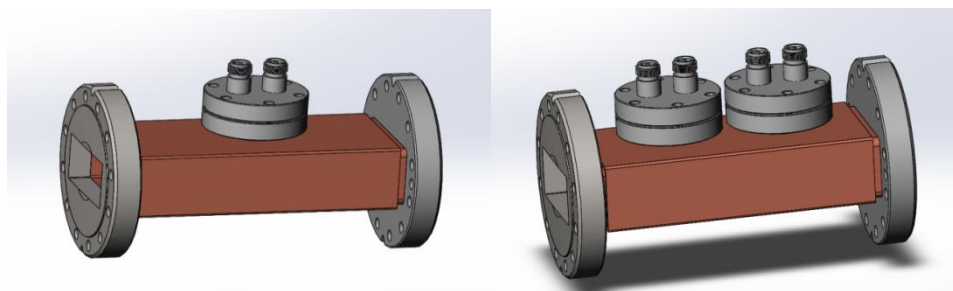
超重RFQ耦合器

微波真空无源器件-大科学装置产品展示



BNCT02-RFQ耦合器

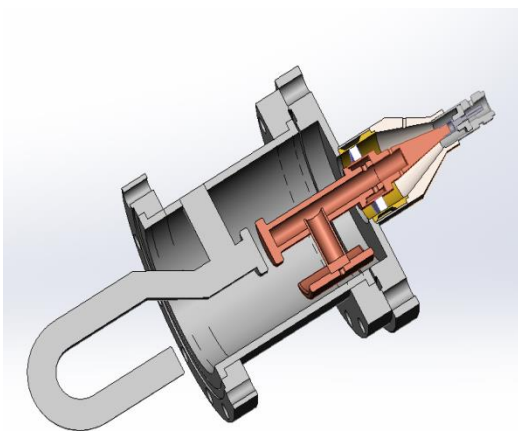
参数名称	指标
工作频率	180MHz
占空比	80%
功率	脉冲95kW，平均76kW
真空漏率	优于 $2\text{E-}11\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{m}$
材料磁导率	≤ 1.05
陶瓷表面	镀TiN（7-15）纳米



定向耦合器

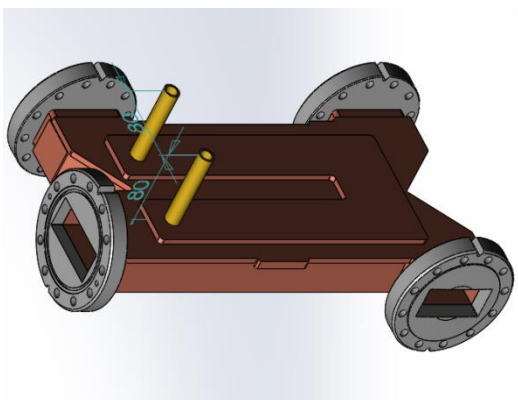
参数名称	指标
工作频率	2998MHz
耦合度	$\geq 60\text{dB}$
隔离度	$\leq -40\text{dB}$
真空漏率	优于 $1\text{E-}9\text{mbar}\cdot\text{L/s}$
材料磁导率	≤ 1.05
微波面镀膜	镀铜15-30微米

微波真空无源器件-大科学装置产品展示



高阶模耦合器

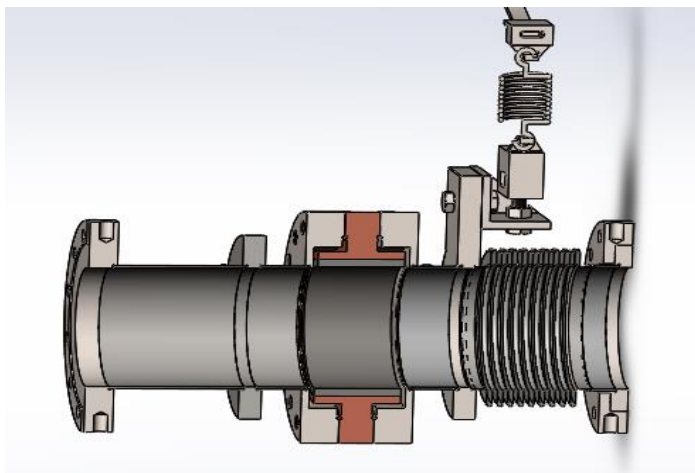
参数名称	指标
工作频率	1.3GHz
传输损耗	$\leq 0.2\text{dB}$
传输功率	$\geq 1000\text{w}$ (CW)
真空漏率	优于 $1\text{E}-9\text{mbar}\cdot\text{L/s}$
材料磁导率	≤ 1.05
冷却方式	自然冷却
装配结构	陶瓷金属焊接
陶瓷镀膜	TiN



S波段功分器组件

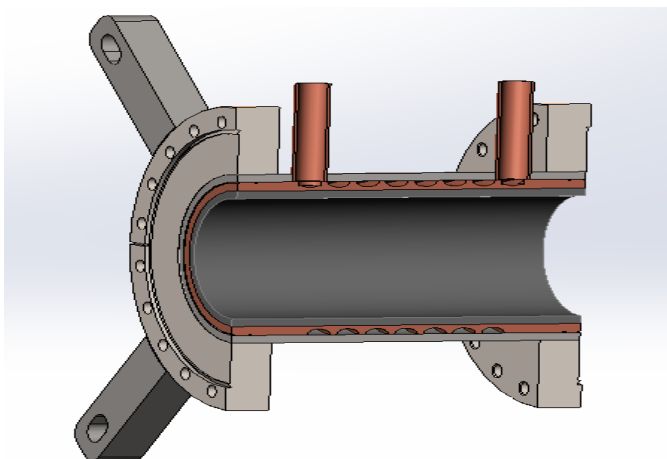
参数名称	指标
工作频率	2998.8MHz
耦合度	$3\text{dB}\pm 0.2\text{dB}$
驻波比	$\text{VSWR} < 1.1$
隔离度	$\geq 40\text{dB}$
幅度平衡度	$\pm 0.2\text{dB}$
相位平衡度	$90^\circ \pm 0.2^\circ$
冷却方式	液冷

微波真空无源器件-大科学装置产品展示



1.3GHz高次模吸收器

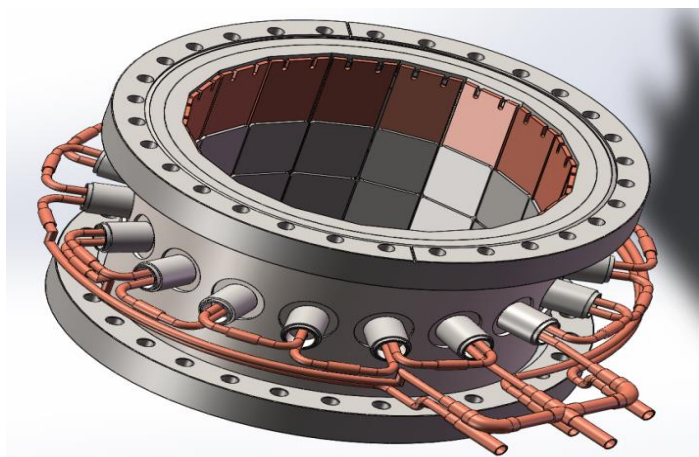
参数名称	指标
工作频率	1.3GHz
吸收材料	SiC掺杂材料
吸收效率	≥50%
真空漏率	优于1E-9mbar*L/s
材料磁导率	≤1.05
微波面镀铜	厚度（15-30）微米
镀铜面RRR值	30-80
冷却方式	自然冷却
装配方式	热压缩



1.5GHz高次模吸收器

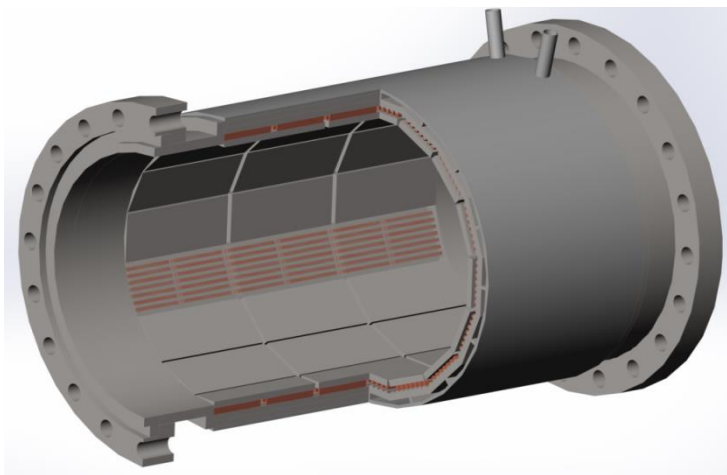
参数名称	指标
工作频率	1.5GHz
吸收材料	SiC掺杂材料
吸收效率	≥50%
功率容量	≥1kW（连续）
真空漏率	优于1E-9mbar*L/s
材料磁导率	≤1.05
冷却方式	液冷
液冷流量	9L/min
装配方式	热压缩

微波真空无源器件-大科学装置产品展示



500MHz高次模吸收器

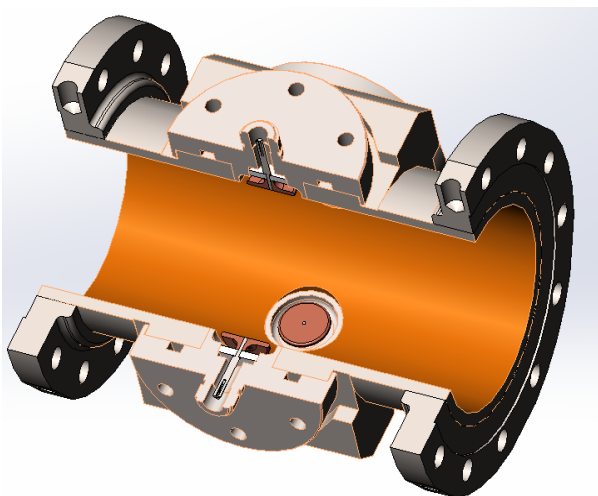
参数名称	指标
工作频率	500MHz
吸收材料	铁氧体材料
吸收效率	≥50%
单片功率容量	≥550W（连续）
真空漏率	优于1E-9mbar*L/s
材料磁导率	≤1.05
冷却方式	液冷
装配方式	陶瓷金属焊接



650MHz高次模吸收器

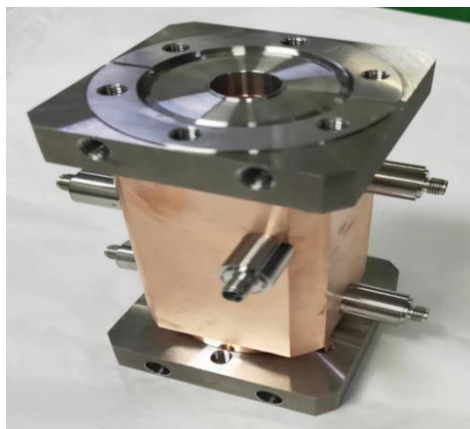
参数名称	指标
工作频率	650MHz
吸收材料	AlN掺杂材料
吸收效率	≥80%
功率容量	≥5.2kw
真空漏率	优于1E-9mbar*L/s
材料磁导率	≤1.05
冷却方式	液冷
装配方式	陶瓷金属焊接

微波真空无源器件-大科学装置产品展示



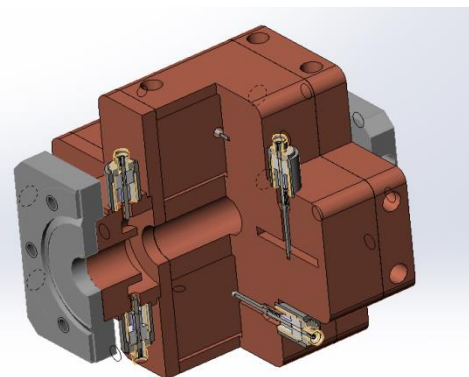
低温BPM

参数名称	指标
工作环境	4k
工作带宽	1.5MHz
频率一致性	$\leq \pm 1\text{MHz}$
束流探测接口	N型
束流检测口阻抗	50 Ω
真空漏率	优于1E-9mbar*L/s
材料磁导率	≤ 1.05
微波面镀膜	镀铜15-30微米



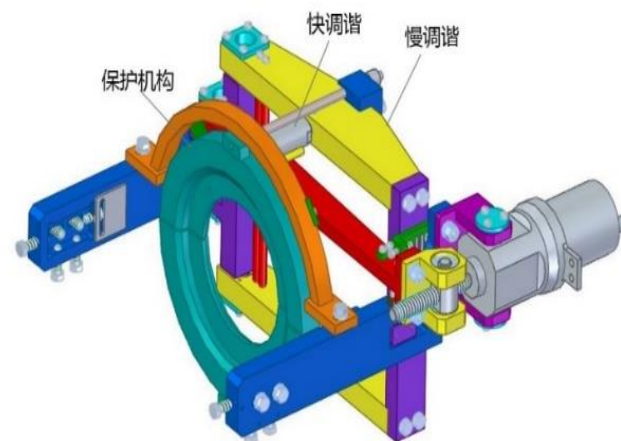
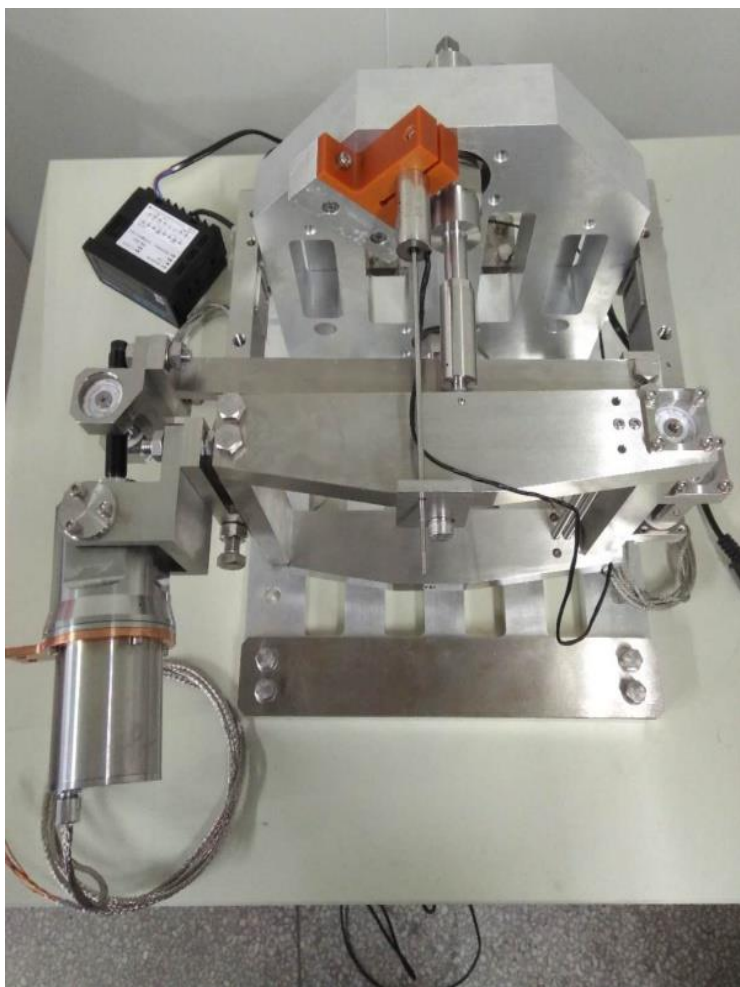
200ns-BPM

参数名称	指标
工作频率	5771.5MHz
工作带宽	1.5MHz
频率一致性	$\leq \pm 0.3\text{MHz}$
束流探测接口	SMA型
束流检测口阻抗	50 Ω
真空漏率	优于1E-9mbar*L/s
材料磁导率	≤ 1.05



300ns-BPM

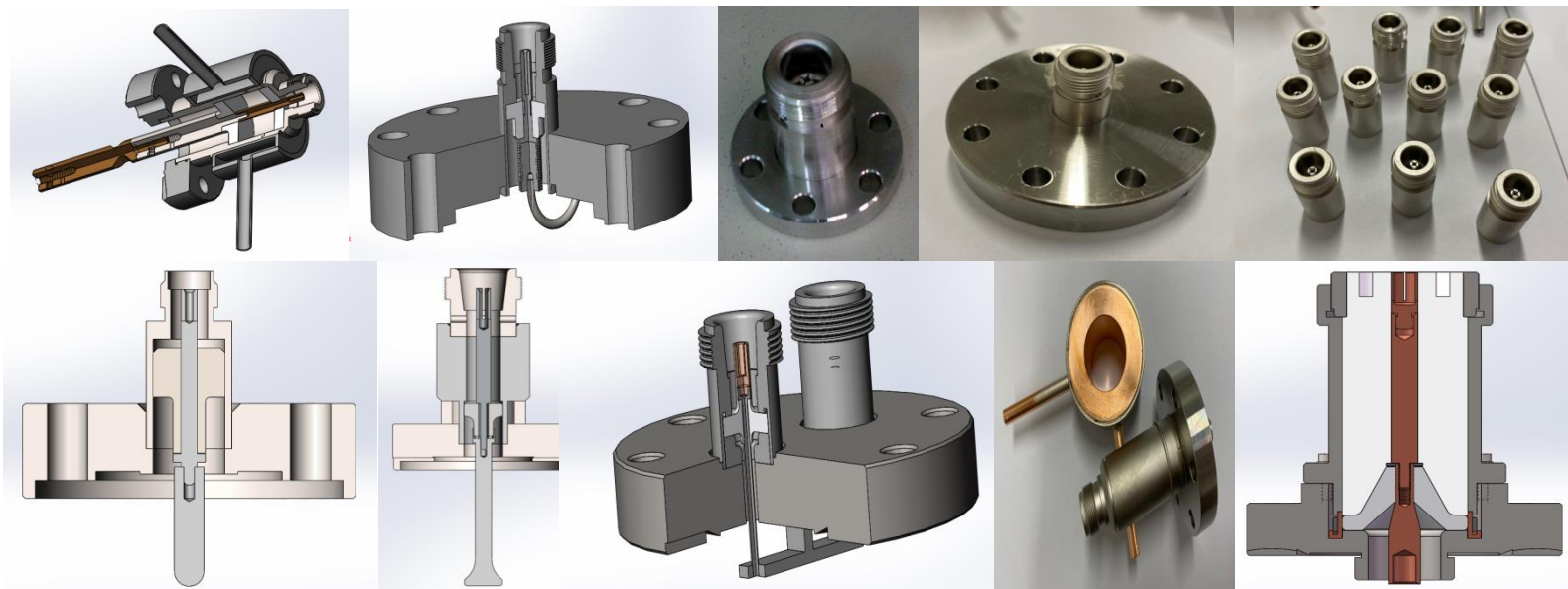
微波真空无源器件-大科学装置产品展示



参数名称	指标
慢调谐运动范围	1300 μ m
慢调谐频率范围	250kHz
慢调谐分辨率	1-2Hz/step
快调谐运动范围	3 μ m
快调谐频率范围	1kHz
快调谐分辨率	<1Hz
快调谐运动精度	3nm
调谐器刚度	30N/ μ m
工作环境	真空20k—60k
寿命	20年

调谐器

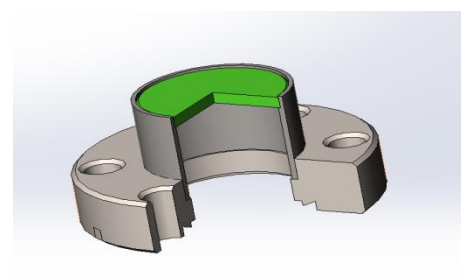
微波真空无源器件-大科学装置产品展示



各种型号N型馈通

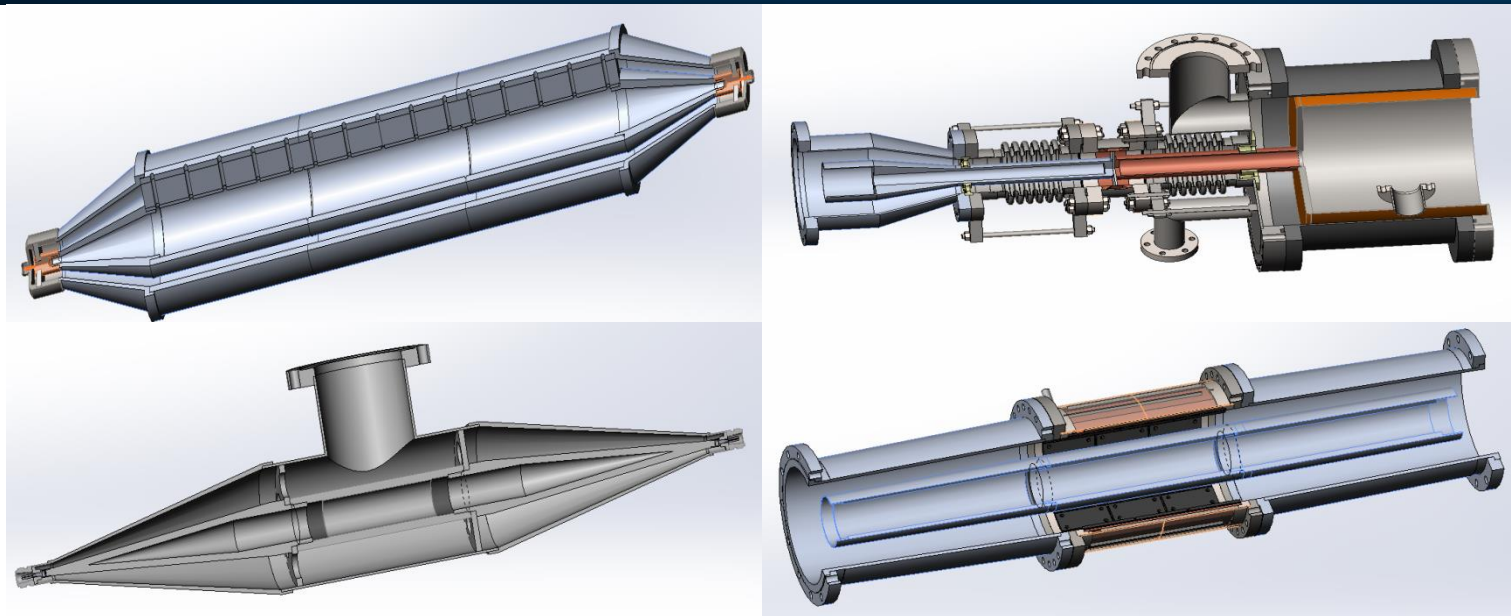


各种SMA型馈通



宝石观察窗组件

微波真空无源器件-大科学装置产品展示



高次模吸收器测试工装



各种陶瓷金属封接件产品

铝镁合金圈

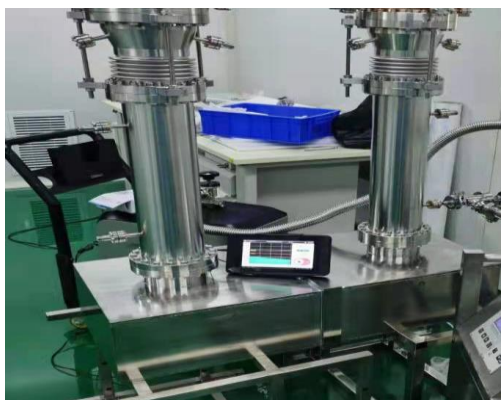
微波真空无源器件-大科学装置产品展示



中科院高能所纵向kicker组件



散裂中子源耦合器测试工装



500MHz耦合器测试工装



超导腔腔间波纹管

微波真空无源器件-大科学装置产品展示

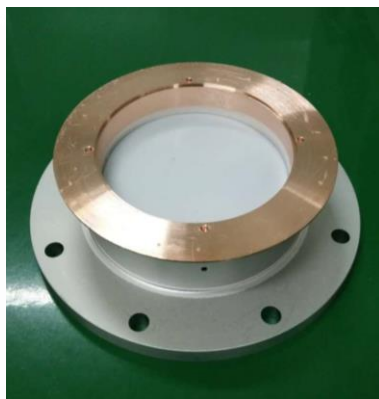
交付单位	产品名称	产品型号	交付数量
中国科学院近代物理研究所	超导腔耦合器	162.5MHz	18
	双热窗耦合器	162.5MHz	24
	超重RFQ耦合器	/	9
	半波长超导腔调谐器	Taper型	6
上海光源	高功率输入耦合器	1.3GHz	18
	耦合器	500MHz	5
	高次模吸收器	500MHz	3
	谐波腔高次模吸收器	/	1
中国科学院大连化学物理研究所	高功率输入耦合器	1.3GHz	10
	高次模吸收器	1.3GHz	4
	调谐器	1.3GHz	10
中国科学院高能物理研究所	高阶模耦合器	P波段	4
	CEPC高阶模耦合器	/	2
	定向耦合器	/	52
	超导腔调谐器	/	1
	高阶模吸收器	P波段/CEPC	2+1



目 录

- 公司简介
- 微波真空事业部简介
- 微波真空功率器件产品展示
- 微波真空无源器件产品展示
- 其他微波真空器件产品展示
- 大科学装置相关工艺技术
- 微波真空器件通用工艺和设施

其他微波真空器件展示



医疗加速器用波导窗

参数名称	指标
工作频率	2998MHz
传输损耗	$\leq 0.2\text{dB}$
传输功率	3MW / 3KW
驻波比	$\text{VSWR} \leq 1.1$
介质材料	氧化铝瓷A-95 / 单晶
真空漏率	优于 $1\text{E}-9\text{mbar}\cdot\text{L/s}$
冷却方式	液冷
接口形式	FAP-32法兰接口

参数名称	指标
阳极电压	10—60kv
灯丝电压	7.2v
灯丝电流	2.2A
阴极电流	250mA/400mA/600mA/1A/1.2A /1.4A
控制方式	阴极控制/栅极控制
栅极电压	-350v
控制电压	300v
电子注半径	$\leq 1.1\text{mm}$
射程	$\geq 15\text{mm}$
结构	陶瓷金属封接



参数名称	指标
工作频率	2856MHz
传输损耗	$\leq 0.2\text{dB}$
传输功率	50MW / 45KW
驻波比	$\text{VSWR} \leq 1.05$
介质材料	氧化铝瓷A-99
真空漏率	优于 $1\text{E}-9\text{mbar}\cdot\text{L/s}$
冷却方式	液冷
接口形式	BJ32波导接口

工业辐照用波导窗



加速器领域用电子枪

目 录

- 公司简介
- 微波真空事业部简介
- 微波真空功率器件产品展示
- 微波真空无源器件产品展示
- 其他微波真空器件产品展示
- 大科学装置相关工艺技术
- 微波真空器件通用工艺和设施

大科学装置相关工艺技术—不锈钢镀铜



电镀样品

高压水冲淋

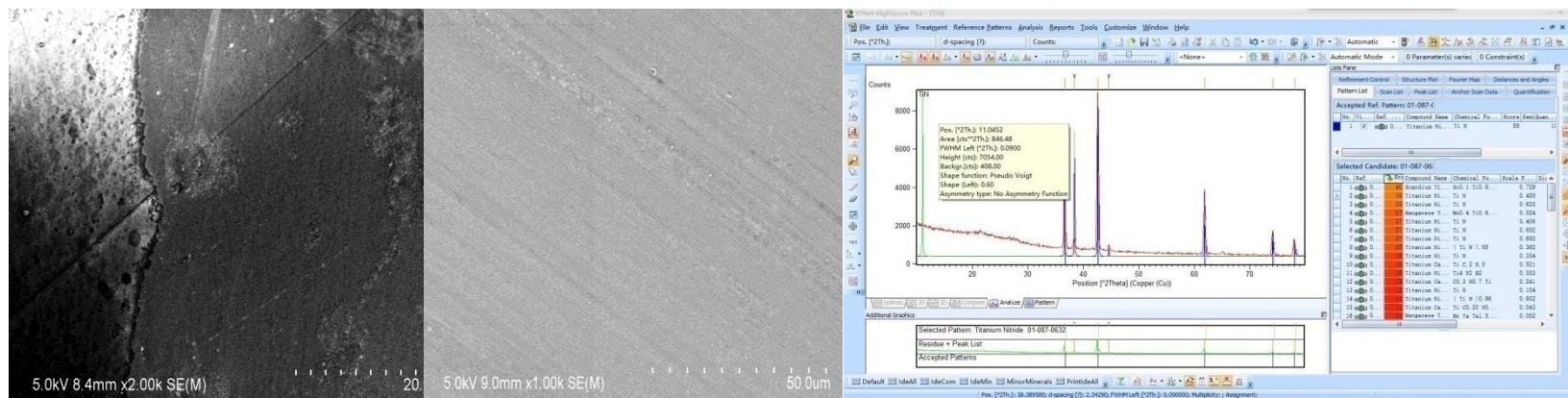
SEM观察样品表面形貌

测试样品	室温电压读数(uV)	4.2K电压读数(uV)	样品RRR	样件	镀铜膜实测值 (μm)		膜厚范围 (30μm)
未镀铜样件	27.2486	18.6744	1.459	外导体 (带波纹管)	34~36 (直段)	24 (波谷)	±20% (直段) ±30% (波纹管)
镀铜样件	6.5479	0.11471	57.081			30 (波中) 35 (波峰)	

样品铜层RRR值测试结果

铜层厚度测试结果

大科学装置相关工艺技术—陶瓷镀TiN膜



基片上TiN膜层形貌

TiN成分分析（匹配度88%）

样件	位置	膜厚值 Å	图片	样件	位置	膜厚值 Å	图片	样件	位置	膜厚值 Å	图片
冷端	内0度上	117		冷端	内90度上	107		冷端	内180度上	105	
冷端	内0度中	132		冷端	内90度中	128		冷端	内180度中	132	
冷端	内0度下	115		冷端	内90度下	110		冷端	内180度下	108	

基片上TiN膜层厚度测试

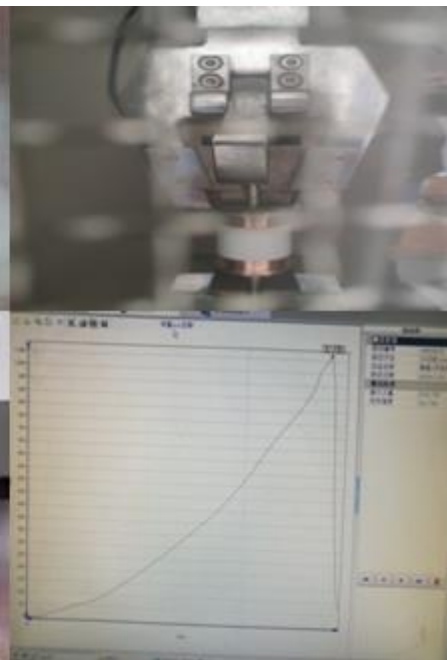
大科学装置相关工艺技术—陶瓷金属封接



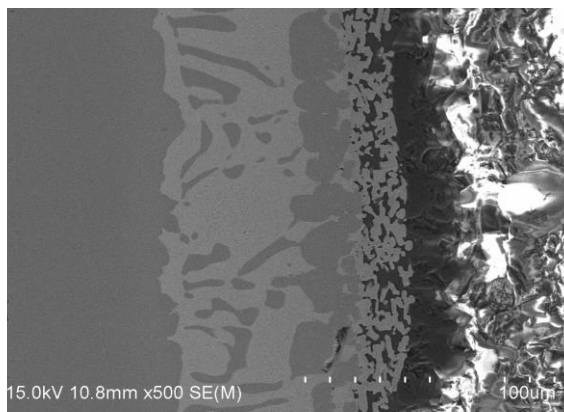
样品制备



液氮冲击



拉力测试



焊接面形貌

序号	名称	真空度 (mbar/s)	漏率 (Pam ³ /s)	最大拉力 P (N)	抗拉强度 σ (MPa)
1	国产热端陶瓷组件1	8.5×10^{-3}	4.1×10^{-10}	28517.55	132.95
2	国产热端陶瓷组件2	1.4×10^{-2}	3.3×10^{-10}	27312.28	127.33
3	国产冷端陶瓷组件	6.6×10^{-3}	2.0×10^{-10}	15990.57	125.42
4	摩根冷端陶瓷组件	2.5×10^{-2}	3.8×10^{-10}	16507.42	129.47

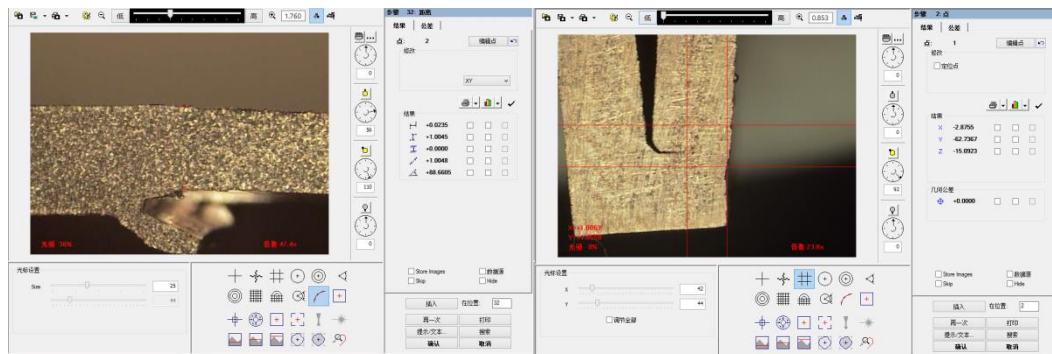
拉力测试值

大科学装置相关工艺技术—电子束焊接



焊接样件

焊缝位置	焊缝深度/mm
冷端电子束样件1a	1.12
冷端电子束样件1b	1.25
冷端电子束样件2a	1.21
冷端电子束样件2b	1.18
热端电子束样件1a	0.98
热端电子束样件1b	0.93
热端电子束样件2a	0.96
热端电子束样件2b	0.89



焊接熔深检测

目 录

- 公司简介
- 微波真空事业部简介
- 微波真空功率器件产品展示
- 微波真空无源器件产品展示
- 其他微波真空器件产品展示
- 大科学装置相关工艺技术
- 微波真空器件通用工艺和设施

其他微波真空产品通用工艺和设施

1、机械加工通用工艺及设施

集数控加工，车、钳、刨、磨、铣为一体的高水平综合加工能力



2、表面处理工艺及设施

各种微波真空器件材料表面去油、酸洗、电镀为的材料表面处理能力



3、焊接工艺及设施

各种材料的电子束焊、点焊、激光焊、氩弧焊、高频焊以及以氢气炉、真空炉为载体的高温钎焊等综合焊接能力



其他微波真空产品通用工艺和设施

4、真空漏率检测工艺及设施

微波真空行业通用的氦质谱检漏工艺，可检真空漏率小于 $1 \times 10^{-10} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$



5、陶瓷表面镀TiN膜工艺及设施

在较高的真空环境下用电子束轰击TiN靶材，在陶瓷表面进行TiN镀膜的工艺能力



6、组件超净清洗工艺

利用超纯水（电阻率 $\geq 18 \text{M}\Omega$ ）对各产品组件进行超净清洗和冲淋工艺



其他微波真空产品通用工艺和设施

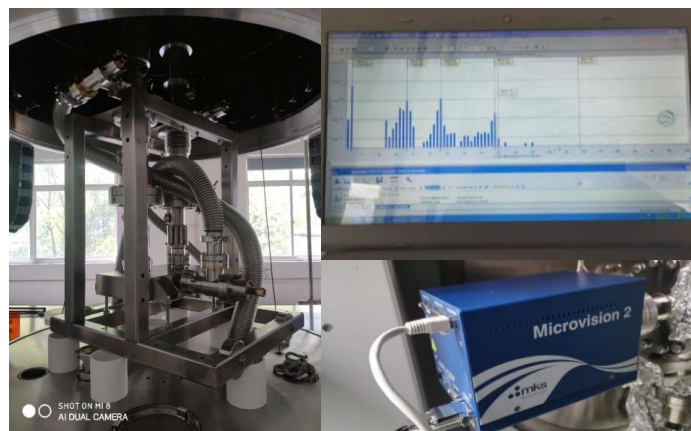
7、氮气吹扫工艺及设施

用过滤的去离子氮气对组件进行吹扫，并利用尘埃粒子计数器进行检测



8、烘烤除气工艺及设施

对微波真空器件可进行高温烘烤除气，并利用残余气体分析仪（RGA）进行检测



9、测试老炼工艺及设施

可对产品进行脉冲和连续波功率老炼，并进行相关功率参数测试



安徽华东光电技术研究所有限公司

感谢各位聆听

李荣：18949559192

