

第十五届PerkinElmer原子光谱用户会

ICPOES与ICPMS射频发生器原理、构造与维护

- 高光晔
- 2018-8-14



40
YEARS OF
MAKING
LIFE BETTER
IN CHINA

ARE YOU
IN?



什么是等离子体？

- 1、高电离的气体。（电离度大于0.1%）
- 2、电中性（正负电荷相等）



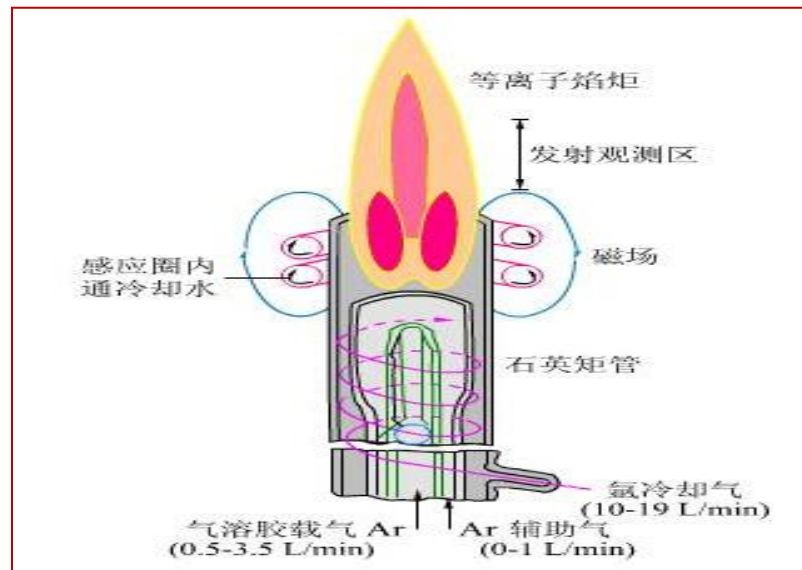
什么是ICP（电感耦合等离子体）？

- 何为ICP：
 - 1、高温常压气体；（稳定达到10000K）
 - 2、RF发生器使电感线圈发生高频震荡磁场；
 - 3、高频磁场把能量耦合到氩气中，使Ar电离；
 - 4、呈电中性, Ar离子与电子数目相同；
 - 5、有大量亚稳态Ar原子；
- 组成：RF发生器、匹配系统（如果需要）、工作线圈、矩管
- 主要参数：频率、功率范围与利用率、功率与频率稳定性。
- RF发生器类型：自激与它激、水冷与风冷、电子管与晶体管。
- RF观测方式：水平、垂直。



ICP等离子体的形成

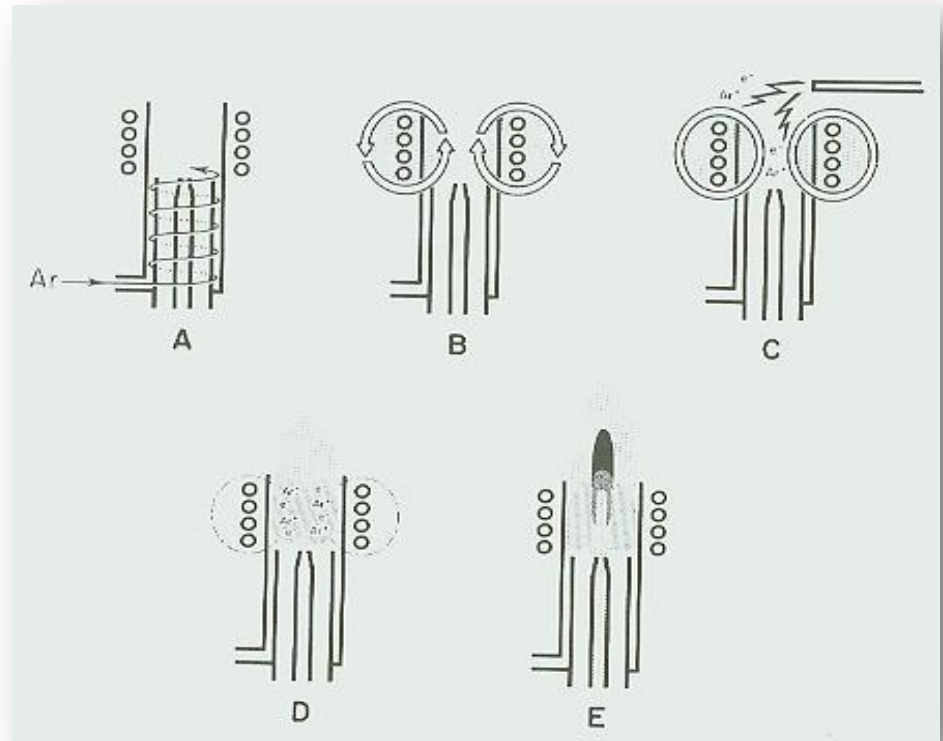
- 1) 高频电流产生电磁场，通过电磁感应在被电离的气体种产生感应电流，加热气体，把电能转换为气体分子，电子，离子的动能
- 2) 电火花点火，雪崩电离形成等离子体
- 3) 稳定的高频电源和气流供给



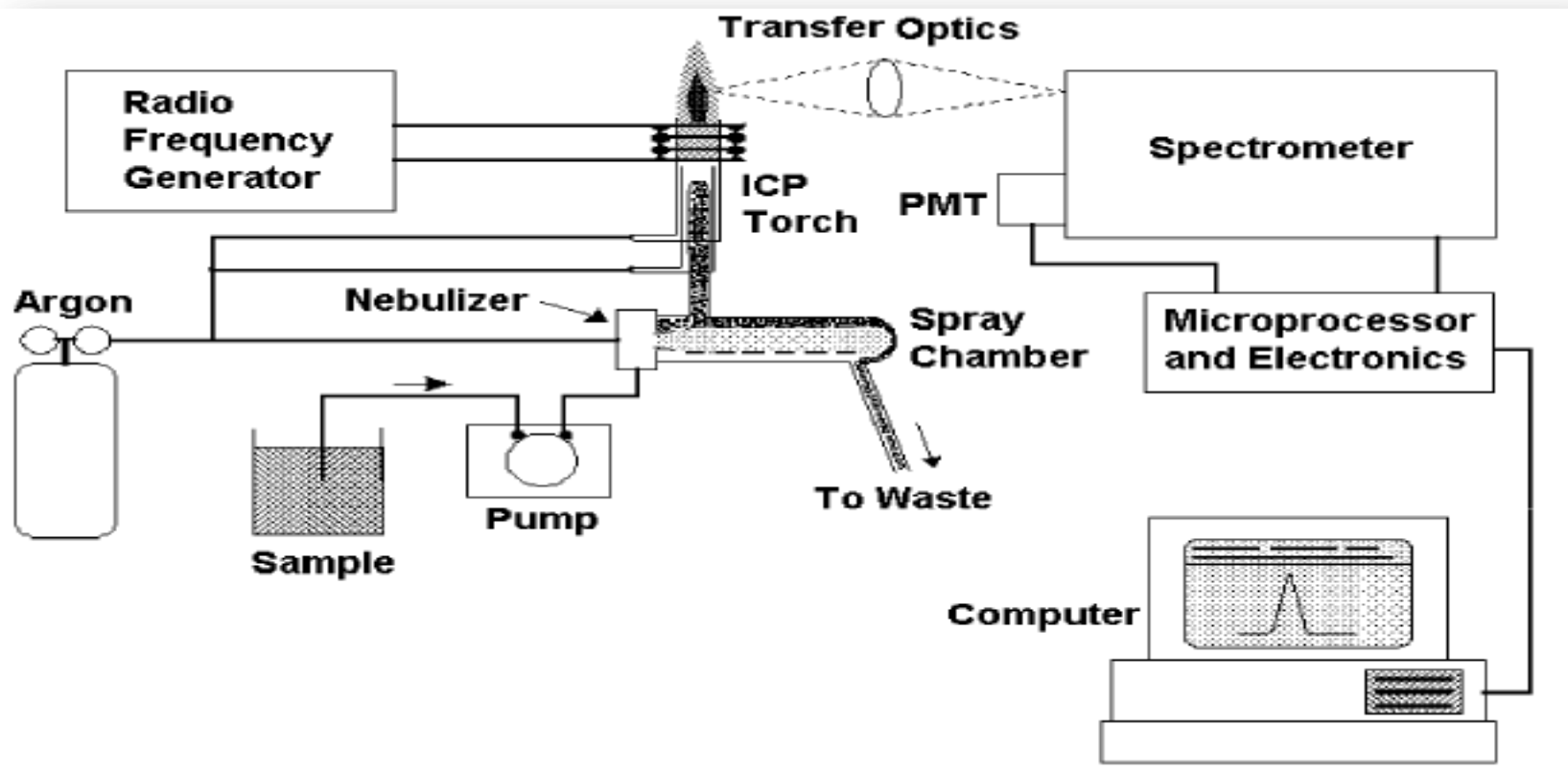
ICP等离子体的形成

Cross section of an ICP torch and load coil depicting an ignition sequence.

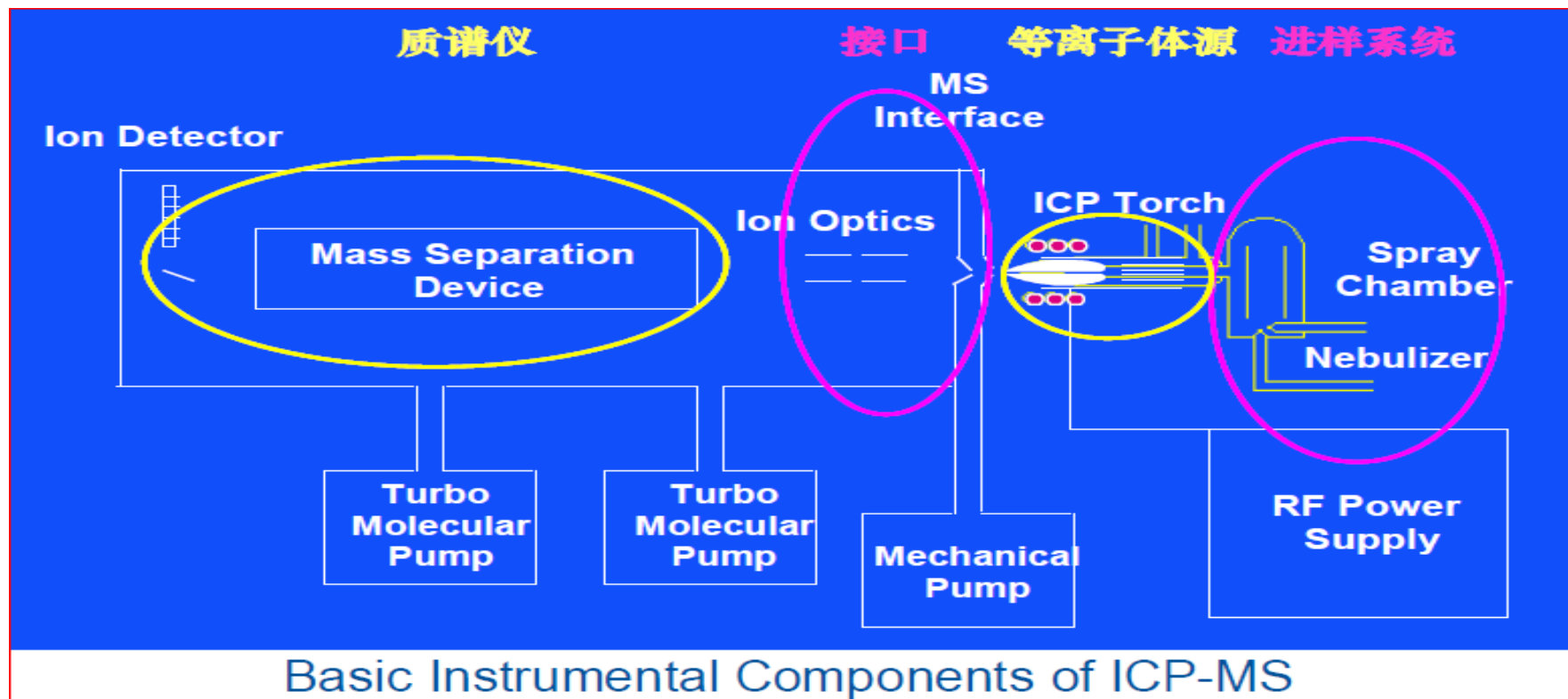
- A. Argon gas is swirled through the torch**
- B. RF power is applied to the load coil.**
- C. A spark produces some free electrons in the argon.**
- D. The free electrons are accelerated by the RF Fields causing further ionization and forming a plasma.**
- E. The sample aerosol- carrying nebulizer flow punches a hole in the plasma.**



ICP-OES的仪器结构简图

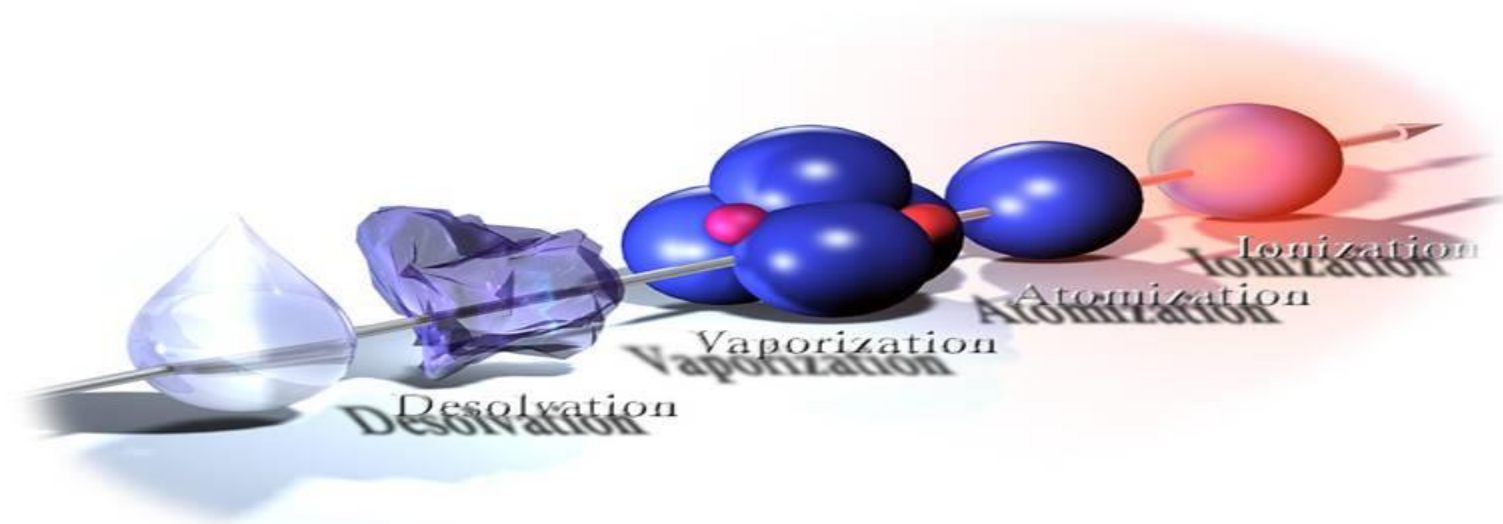


ICP-MS的仪器结构简图



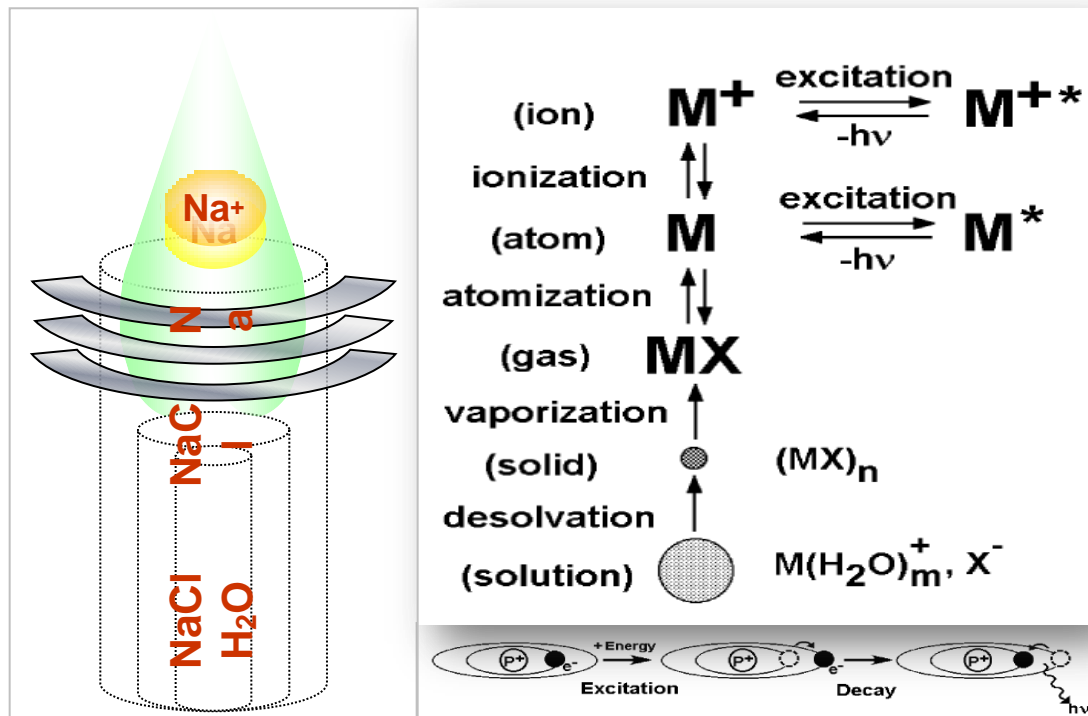
样品被激发过程

- 步骤 – 雾化, 去溶, 蒸发, 原子化和离子化



ICP中样品的变化过程

Several changes occur in the sample as it heats in the plasma



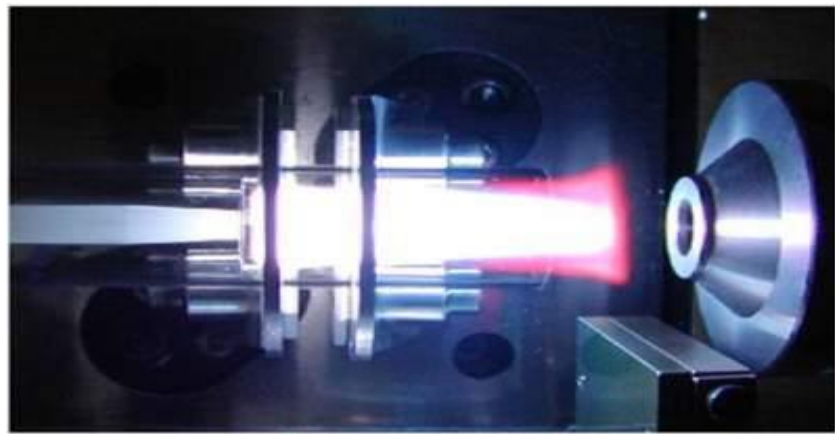
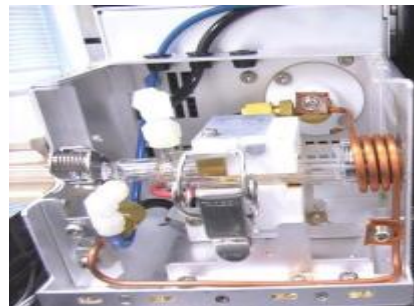
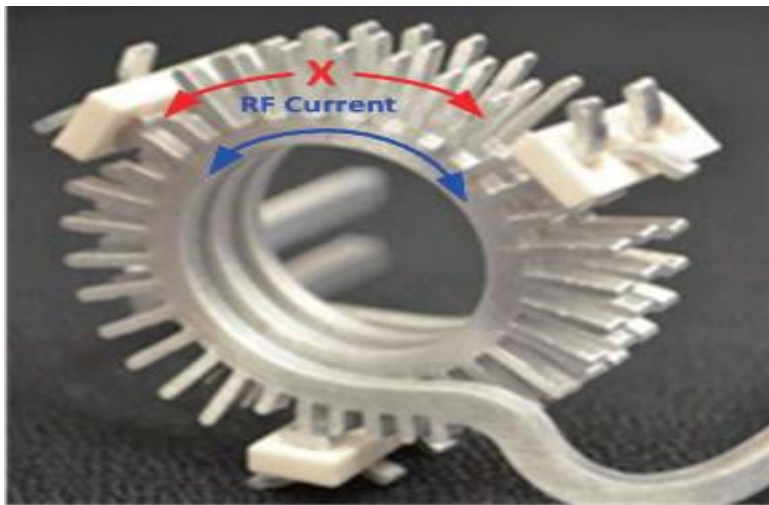
ICPOES与ICPMS对RF发生器要求的共同点与差异

- 共同点：
 - 1、点火容易、功率稳定。
 - 2、能量转化效率高、皮实可靠。
 - 3、调谐快速、耐受基体能力强。
- ICPOES对ICP的特性要求：
 - 1、**原子、离子合理配分**。（中档功率1000-1300W）
 - 2、适合大的样品进样量。（2mL/min或更多）
 - 3、高跃迁几率，低背景发射。
- ICPMS的ICP的特性要求：
 - 1、一价离子高产率。（中高功率1300-1600W）
 - 2、**控制离子动能**。（控制等离子体电位，气体流量控制）
 - 3、减低二次放电的可能。

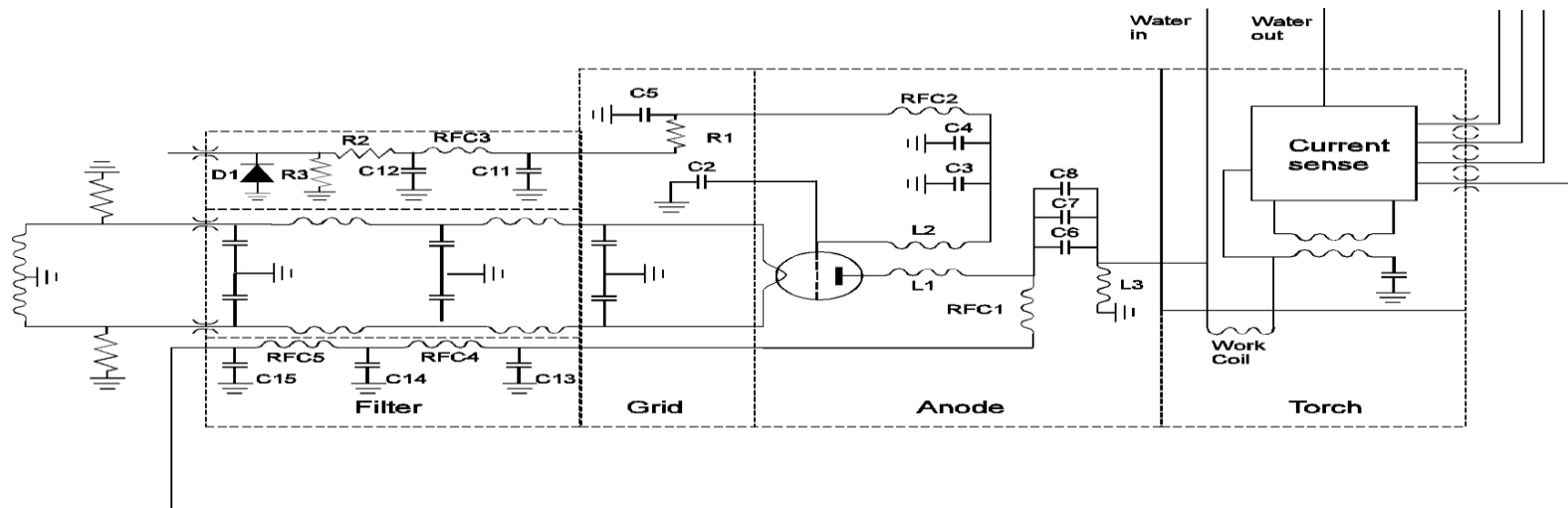


RF发生器的特性化设计

- 工作线圈（平板）的感抗选择。
- 工作线圈（平板）的形状设计。
- 频率的选择。

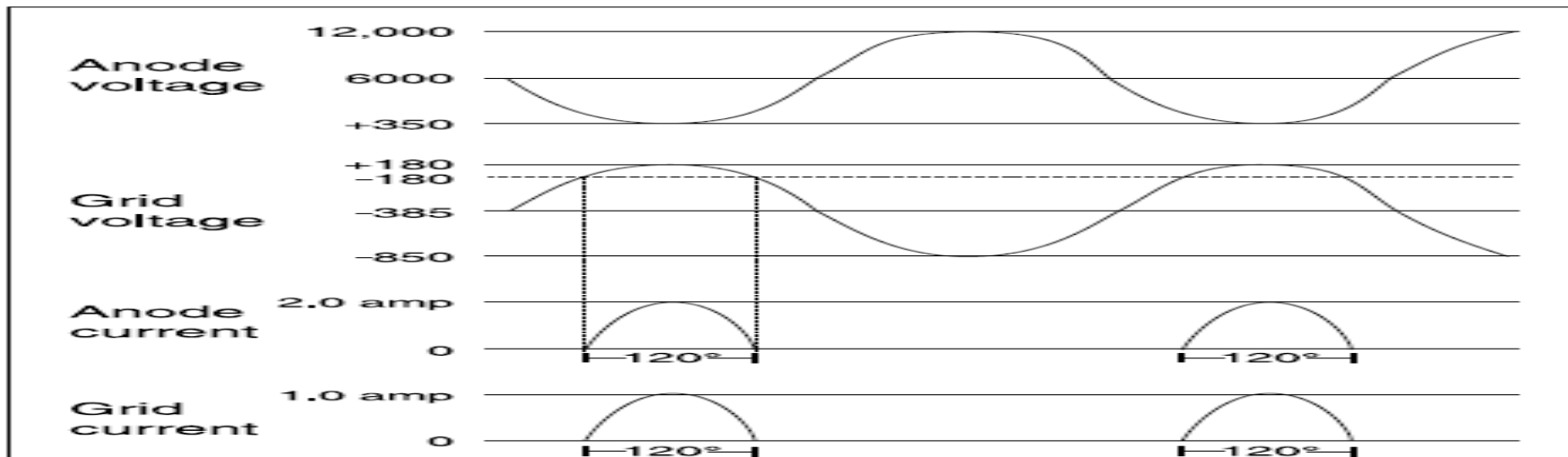


RF发生器的原理与结构：电子管放大型



- 工作线圈（workcoil）与并联匹配电感（L3）、串联箱体电感（L1）及大功率管的内部电容组成LC震荡电路，震荡频率由电感、功率管电容及阳极寄生电容决定
 $f=1/[2\pi \sqrt{LC}]$
- L2把阳极信号耦合采集并作为正反馈加到栅极，维持震荡。
- 功率输出的大小由加载到阳极电压控制。

电子管放大RF电路的阳极与栅极电流



- 自激型RF放大电路的实质是把阳极信号采集作为正反馈加载到栅极，再被放大输出，两者的频率完全一致，但**相位相差 180°** 。
- 每个周期中只有1/3是有效输出。
- 自激放大电路的频率是可以小幅度变化的，匹配电感L3的作用是确保工作线圈随负载变化时，振荡电路的频率在功率管的工作参数中。

如何监控电子管（功率管）的阳极与栅极电流

Instrument

Main | Diagnostics | Torch Position | Maintenance |

Filter: Plasma Ignition_Service [Edit List...]

System	Subsystem	Component	Status	Override	Value
Plasma	Interlocks	Interface Temp. RB	27.717 C		
Plasma	Interlocks	RFG Temp. RB	29.557 C		
Plasma	Interlocks	Torch Box Closed RB	Ok		
Plasma	Interlocks	Torch Box in Place 1 RB	Ok		
Plasma	Interlocks	Torch Box in Place 2 RB	Ok		
Plasma	Interlocks	Torch Box Rotation Lock	Locked		
Plasma	Interlocks	Torch Box Temp. RB	28.721 C		
Plasma	Interlocks	Torch Mount Position RB	Ok		
Plasma	Peristaltic	Pump Speed	0 rpm		
Plasma	RF Generator	Power	1600 Watts		
Plasma	RF Generator	RFG Cooling Fan	Off		
Plasma	RF Generator	RFG Filament Current RB	0.024 Amps		
Plasma	RF Generator	RFG Filament Voltage RB	0 Volts		
Plasma	RF Generator	RFG Grid Current RB	0 mAmps		
Plasma	RF Generator	RFG Plate Current RB	0 mAmps		
Plasma	RF Generator	RFG Plate Voltage RB	2 Volts		
Plasma	RF Generator	RFG State RB	Idle		

RF发生器的发展：电子管放大型（优缺点）

优点：

- 1、结构简单，皮实可靠。
- 2、不使用机械转动的调谐电容。

缺点：

- 1、功率转换效率差 功率管发热高 需大气流冷却

2

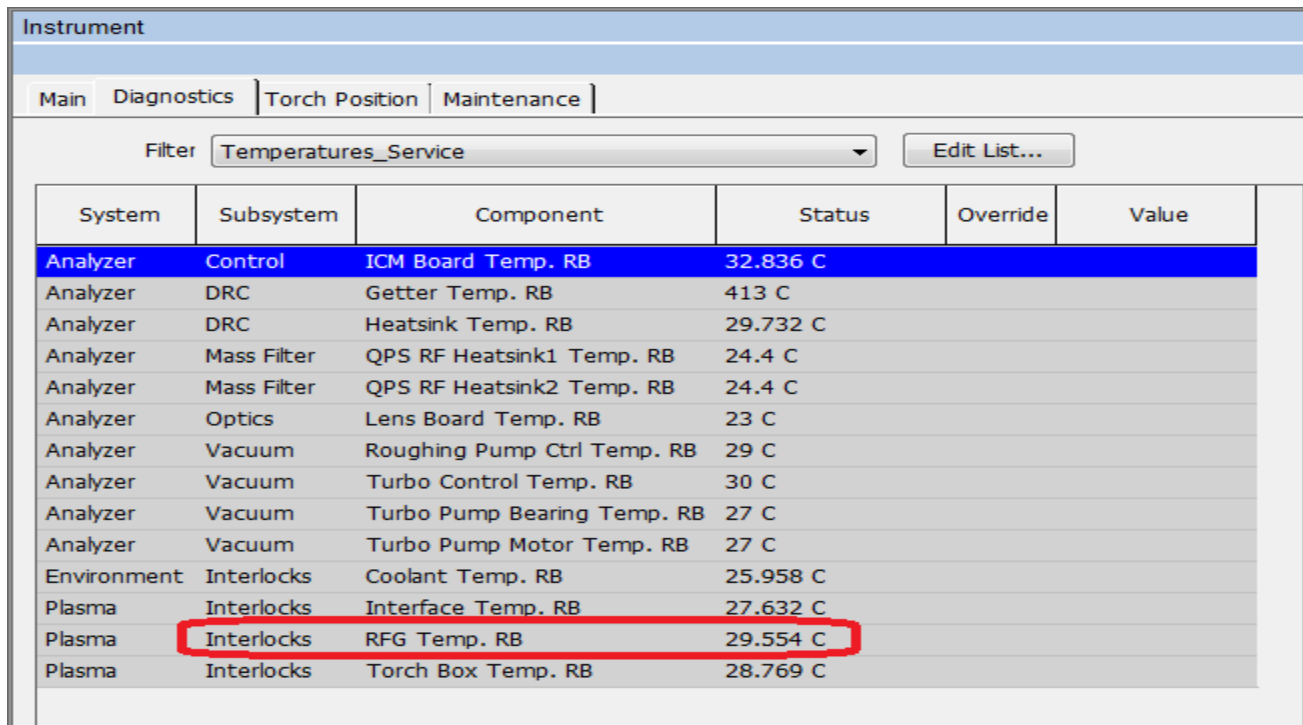


Power tube

- CPI EIMAC 3CX1500D3
- Output 1800 W max.
- Frequency 40 MHz (+/- 200 kHz)
- Anode voltage 6 kV max. (operating)
7 kV max. (during ignition)
- Anode current 460 mA max.
- Grid current 80 mA (typical) at max. power
- Air cooled Dual centrifugal air blower

如何监视功率管的工作温度

点火后RFG工作温度一般在60-70度，不能大于100度。



The screenshot shows the 'Instrument' diagnostics window with the 'Diagnostics' tab selected. The filter is set to 'Temperatures_Service'. The table below lists various temperature points across different systems and subsystems.

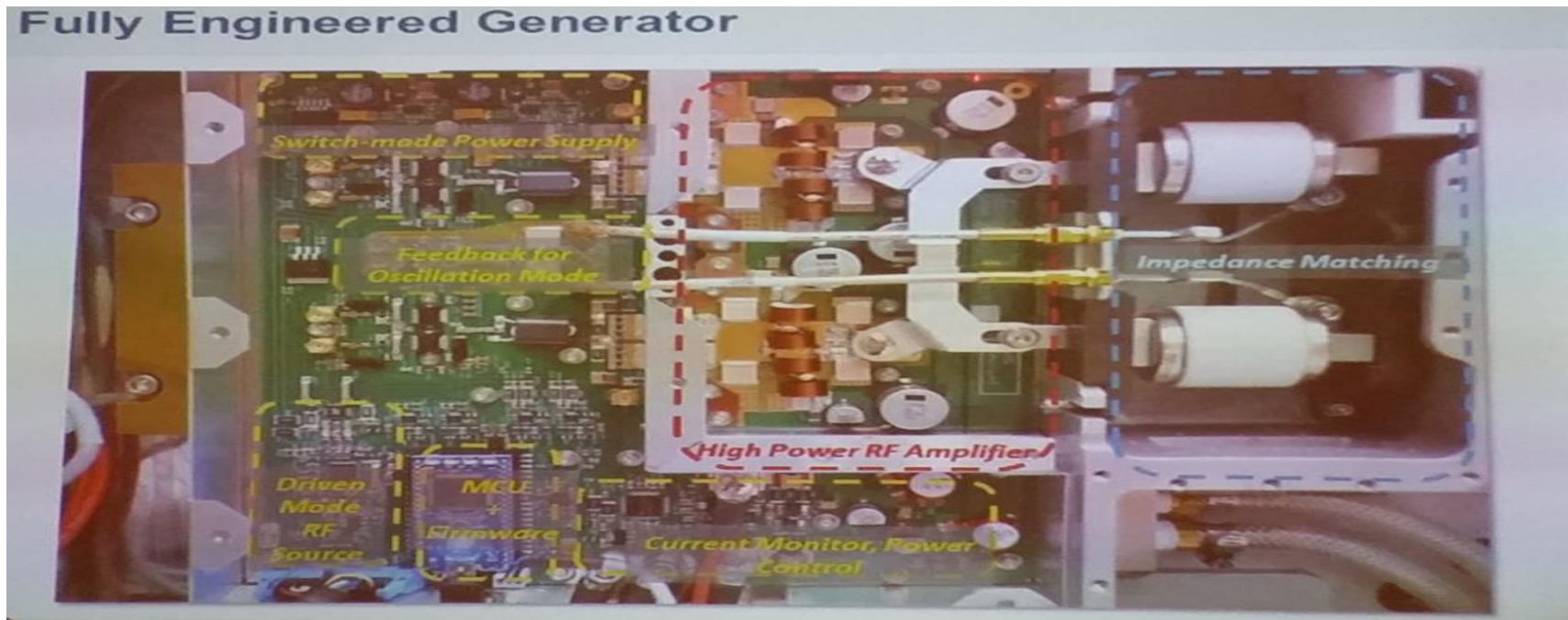
System	Subsystem	Component	Status	Override	Value
Analyzer	Control	ICM Board Temp. RB	32.836 C		
Analyzer	DRC	Getter Temp. RB	413 C		
Analyzer	DRC	Heatsink Temp. RB	29.732 C		
Analyzer	Mass Filter	QPS RF Heatsink1 Temp. RB	24.4 C		
Analyzer	Mass Filter	QPS RF Heatsink2 Temp. RB	24.4 C		
Analyzer	Optics	Lens Board Temp. RB	23 C		
Analyzer	Vacuum	Roughing Pump Ctrl Temp. RB	29 C		
Analyzer	Vacuum	Turbo Control Temp. RB	30 C		
Analyzer	Vacuum	Turbo Pump Bearing Temp. RB	27 C		
Analyzer	Vacuum	Turbo Pump Motor Temp. RB	27 C		
Environment	Interlocks	Coolant Temp. RB	25.958 C		
Plasma	Interlocks	Interface Temp. RB	27.632 C		
Plasma	Interlocks	RFG Temp. RB	29.554 C		
Plasma	Interlocks	Torch Box Temp. RB	28.769 C		

电子管（功率管）放大大型RF发生器的维护

- 过滤网更换与功率管寿命检查

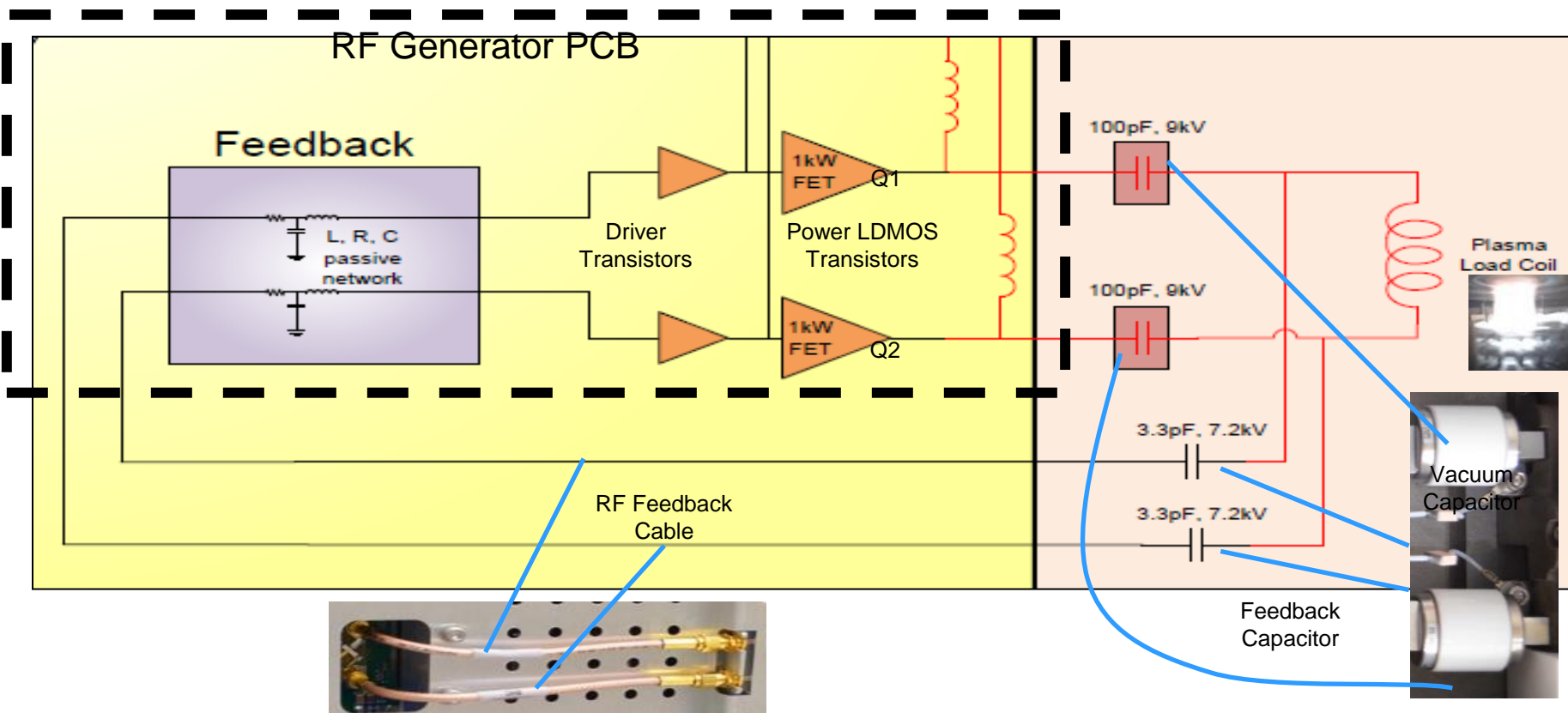
Instrument			
Main Diagnostics Torch Position Maintenance			
Component	Criteria	Status	Amount Remaining
Air Intake Filters	Calendar Time		147 days
Argon Filter	Calendar Time		115 days
Detector	Charge		98.1819 %
Foreline Trap	Calendar Time		355 days
Getter	Calendar Time		330 days
ICP Power Tube	Tube Operating Time		2789 hours
Mist Eliminator	Calendar Time		330 days
Pump Oil		Off	
Recirculator - Air Filter	Calendar Time		147 days
Recirculator - Fluid	Calendar Time		147 days
Recirculator - Fluid Filter	Calendar Time		330 days
RF Generator Filters	Calendar Time		330 days
Torch Box Filters	Calendar Time		330 days
Vacuum Gauge	Vacuum Filament Voltage		2.3 volts

RF发生器的原理与构造： 固态放大， 阻抗匹配变频调谐型



在电子管年代，调谐的目的是使阳极与栅极波形相位相差 180° ，对于固态RF发生器其本质是高频信号的来路与回路相位相反（相差 180° ），那么在项圈两侧加相位相反的两路RF，就可以把电感线圈变成类似电阻结构，不再需要匹配电路，只要控制好功率即可。

固态放大RF发生器的原理与构造：阻抗匹配变频调谐



如何监控固态放大RF发生器的工作状态（工作电流）

仪器诊断

过滤器

系统	子系统	组件	状态	覆盖	值
分析器	故障	电感耦合等离子体故障条件读回	确定		
等离子体	控制	等离子体状态读回	关		
等离子体	联锁	射频发生器恒温器读回	正常		
等离子体	射频发生器	上一个射频发生器命令读回			
等离子体	射频发生器	功率			1600 Watts
等离子体	射频发生器	功率读回			0 Watts
等离子体	射频发生器	固态射频发生器 错误/状态			1000
等离子体	射频发生器	固态射频发生器错误/状态 信息			0
等离子体	射频发生器	SS射频发生器直流电源电压			0.3 Volts
等离子体	射频发生器	固态射频发生器Q1电流			0 A
等离子体	射频发生器	固态射频发生器Q2电流			0 A
等离子体	射频发生器	固态射频发生器温度			30.1 C

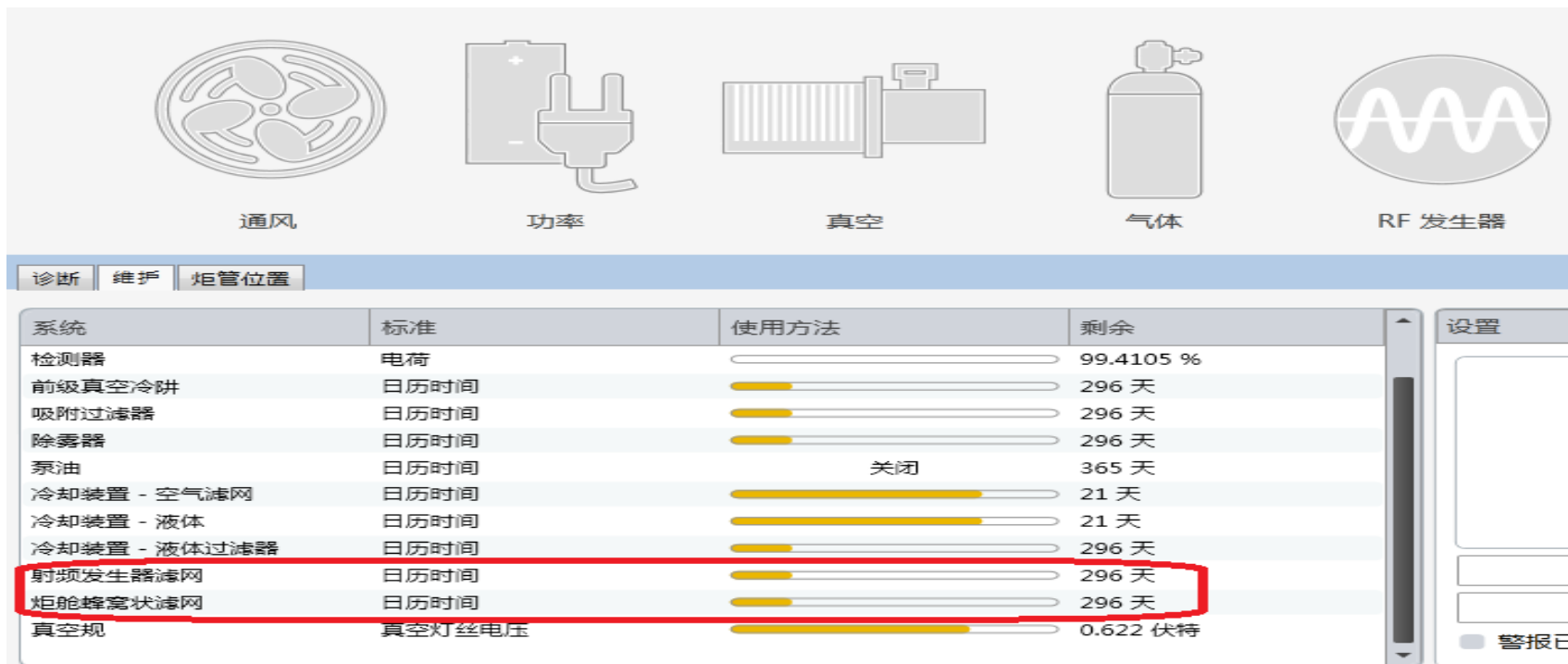
如何监控固态放大RF发生器的工作状态（工作温度）

仪器诊断

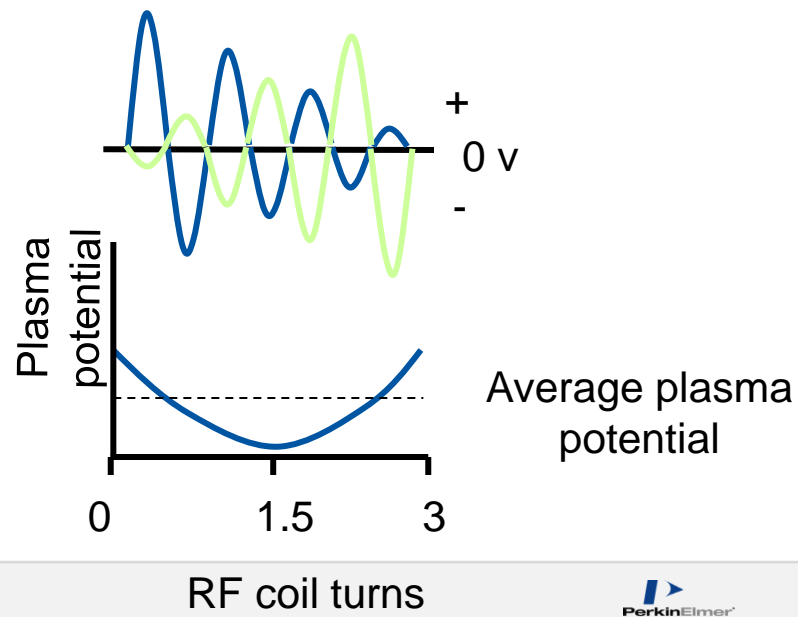
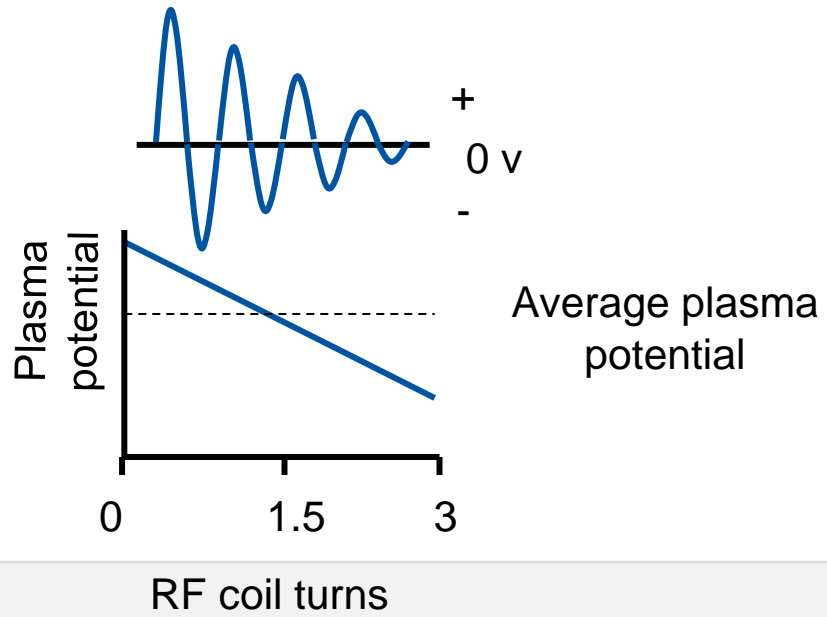
过滤器

系统	子系统	组件	状态	覆盖	值
分析器	控制	ICM 板温度读回	41.381 C		
分析器	DRC	吸气剂温度读回	28 C		
分析器	DRC	散热片温度读回	36.946 C		
分析器	质量过滤器	四极杆电源射频散热片 1 温度读回	33.6 C		
分析器	质量过滤器	四极杆电源射频散热片 2 温度读回	35 C		
分析器	光学	透镜板温度读回	32 C		
分析器	真空	低真空泵控制器温度读回	71 C		
分析器	真空	涡轮控制温度读回	36 C		
分析器	真空	涡轮泵轴承温度读回	41 C		
分析器	真空	涡轮泵电机温度读回	43 C		
环境	联锁	冷却剂温度读回	27.091 C		
环境	冷却	帕尔贴冷却温度开关	5 C		
环境	冷却	帕尔贴冷却温度读回	0 C		
环境	冷却	帕尔贴冷却启用或关闭	Off		
等离子体	联锁	接口温度读回	33.752 C		
等离子体	联锁	炬管箱温度读回	31.315 C		
分析器	DRC	池内分流器温度	36.21 C		
等离子体	气	氦气分流器温度	30.64 C		
等离子体	射频发生器	固态射频发生器温度	30.1 C		

固态RF发生器的维护

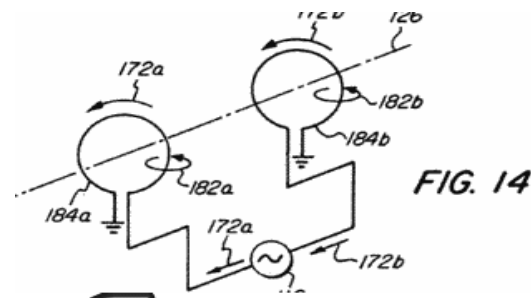
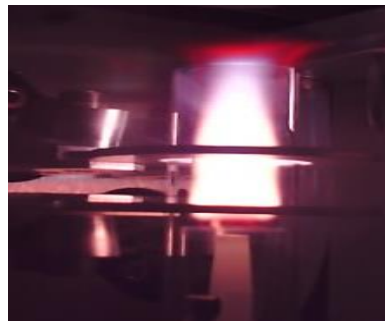
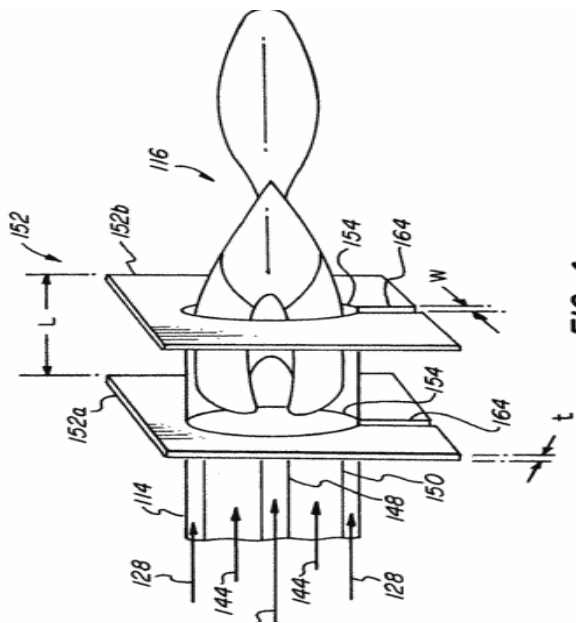


PerkinElmer对RF发生器设计的贡献之一：PlasmaLok接地方式



PerkinElmer对RF发生器设计的贡献之二：平板等离子体

不熄火即可更换进样系统，体现了平板等离子体的强悍的调谐速度和耐受复杂基体的能力。



PerkinElmer公司对RF发生器设计的贡献之二：平板等离子体

Traditional Helical System (views shown with different camera exposures)



Figure 1. The figure on the left shows the angled base of the plasma which coincides with the angled shape of the load coil. The figure on the right shows the upward tilt of the axial channel and plasma tip as well as the differences in plasma density above and below the central channel.

Innovative Flat Plate System on Avio 200 ICP-OES (views shown with different camera exposures)

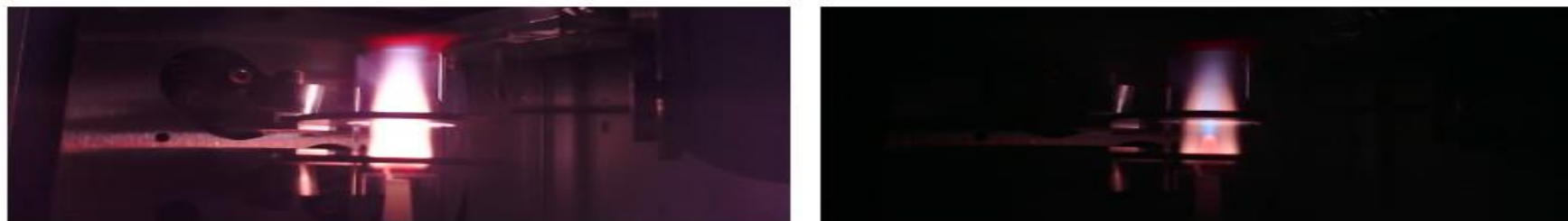


Figure 2. The figure on the left shows the flatness of the plasma base. It is also broader than the rounded helical plasma base (shown above) which prevents sample escape around the edges. The figure on the right shows the symmetry of the plasma around the axial channel with no distortion in shape.

- 平板放电首先解决线圈形状对ICP的限制

- 横向扩散金属氧化物晶体管LDMOS的使用

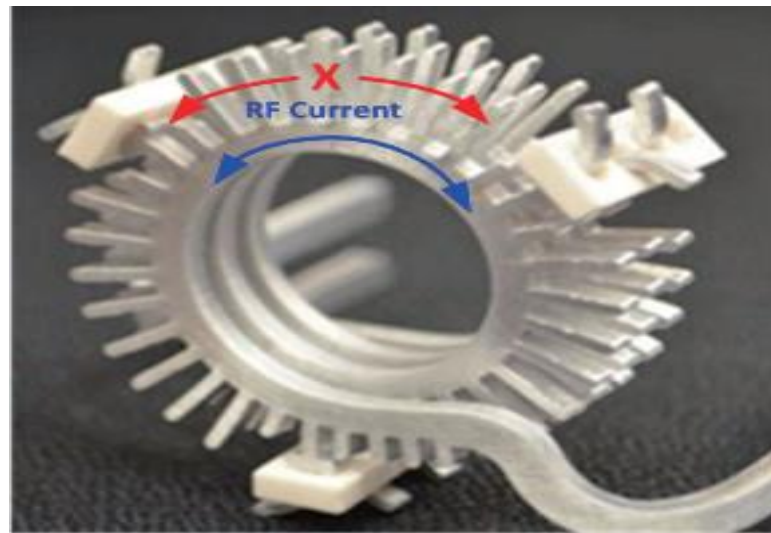
横向扩散金属氧化物半导体_LDMOS_晶体管特性与应用_百度文库

★★★★★ 评分:3.5/5 2页

2011年2月28日 - 科技信息 高校理科研究 横向扩散金属氧化物半导体(LDMOS)晶体管特性与应用 2 王婷1, 耿夫利 1, 卓丽1(1.徐州空军学院基础部电工电子教研室 2.中国矿业...



PerkinElmer对RF发生器设计的贡献之四：自冷加感线圈LumiCoil



大面积的加感线圈在提升散热能力的同时，通过磁性耦合激励杂散射频电流通过金属表面，形成磁链结构，抑制线圈各匝间同轴射频电流，有效避免射频泄露，突破美军对仪器射频频率的限制。

