



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111935893 B

(45) 授权公告日 2021.07.16

(21) 申请号 202010715223.1

审查员 郁亚红

(22) 申请日 2020.07.23

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111935893 A

(43) 申请公布日 2020.11.13

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 王传胜 林鑫 李飞 张仕忠 余西龙

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理事务所(普通合伙) 11390

代理人 焦海峰

(51) Int. Cl.

H05H 1/00 (2006.01)

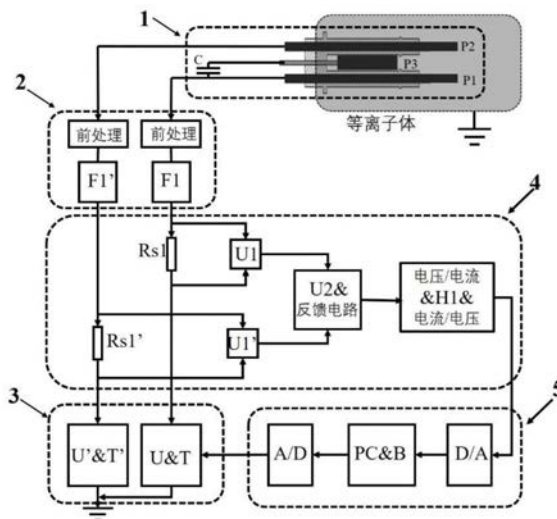
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种三电极结构的静电探针系统

(57) 摘要

本发明公开一种三电极结构的静电探针系统,三电极探针单元收集电子电流和离子电流,通过耐高压射频降噪单元去除射频噪声;去除射频噪声后的电流经取样电阻后输入到功放单元,经功放单元的接地端构成探针回路;功放单元将信号控制及数据处理单元产生的周期性扫描电压信号放大并加载到三电极探针单元的探针极;电流采集单元同时采集探针极和参考极的电流信号,先通过工频干扰抑制器主动消除工频噪声,再经过隔离器输入到信号控制及数据处理单元处理得到电子密度和电子温度数据。实现对射频噪声的补偿和对工频噪声的主动消除,进而得到高信噪比的伏安特性曲线,能够实现对含有强烈射频噪声和工频干扰的等离子体电子温度和电子密度的准确测量。



1. 一种三电极结构的静电探针系统,其特征在于,包含:三电极探针单元(1)、耐高压射频降噪单元(2)、功放单元(3)、电流采集单元(4)和信号控制及数据处理单元(5),三电极探针单元(1)设置为探针极P1、参考极P2和补偿极P3组成的三电极探头;

所述三电极探针单元(1)收集电子电流和离子电流,通过耐高压射频降噪单元(2)去除射频噪声;

去除射频噪声后的电流经取样电阻后输入到功放单元(3),经功放单元(3)的接地端构成探针回路;同时所述功放单元(3)将信号控制及数据处理单元(5)产生的周期性扫描电压信号放大并加载到三电极探针单元(1)的探针极P1;

所述电流采集单元(4)同时采集探针极P1和参考极P2的电流信号,先通过工频干扰抑制器主动消除工频噪声,该信号再经过隔离器输入到所述信号控制及数据处理单元(5)处理得到电子密度和电子温度数据;

所述三电极探针单元(1)包括三电极探头和隔直电容C,三电极探头的输入端设置有探针极P1、参考极P2和补偿极P3,补偿极P3通过隔直电容C连接到探针极P1,所述耐高压射频降噪单元(2)的输入端与三电极探针单元(1)的探针极P1和参考极P2的输出端相连;

所述三电极探针单元(1)的探针极P1在扫描电压的作用下收集电子电流和离子电流,参考极P2为工频干扰消除的信号源,在等离子体对地电势的作用下收集等离子体噪声的电子电流和离子电流,补偿极P3为探针极P1补偿等离子体空间电势振动;

所述三电极探针单元(1)的探针极P1和参考极P2结构相同且均采用金属制成,通过探针极P1收集等离子体中的带电粒子;参考极P2信号作为工频干扰消除的信号源,为电流采集单元(4)的工频干扰抑制器提供消除工频干扰的输入信号;补偿极P3采用面积大于探针极P1面积5倍以上的金属制成,补偿等离子体空间电势振动。

2. 根据权利要求1所述一种三电极结构的静电探针系统,其特征在于,所述耐高压射频降噪单元(2)设置为两套完全相同的耐高压无源滤波器及前处理电路,滤波器阻带衰减系数大于60dB,最高承受振幅100V电压作用;通过前处理电路实现阻抗匹配和保护滤波器,通过滤波器去除射频噪声。

3. 根据权利要求1所述一种三电极结构的静电探针系统,其特征在于,所述功放单元(3)设置为完全相同的运算放大器U、U'和隔离变压器T、T',功放单元(3)的运算放大器U先对扫描电压信号进行初步放大,经过初步放大的信号再经过隔离变压器T进行二次放大,两级放大后扫描电压振幅最大达100V,以获得完整的伏安特性曲线;同时通过隔离变压器实现探针扫描电压与功放单元(3)输入电压的隔离;参考极电路不加载扫描电压信号,通过运算放大器U'和隔离变压器T'保持参考极与探针极电路负载相同。

4. 根据权利要求1所述一种三电极结构的静电探针系统,其特征在于,所述电流采集单元(4)包括高性能取样电阻 R_s 和 R_s' 、运算放大器 U_1 和 U_1' 、工频干扰抑制器和隔离电路,

运算放大器 U_1 采集探针极P1取样电阻两端的共模电压信号S1,S1信号包含有效电流信号和工频噪声干扰信号;通过运算放大器 U_1' 获得参考极取样电阻两端电压信号S2,S2只包含工频噪声信号,作为消除S1中工频噪声干扰信号的信号源;电压信号S1和电压信号S2同时输入到工频干扰抑制器。

5. 根据权利要求4所述一种三电极结构的静电探针系统,其特征在于,所述工频干扰抑制器包括运算放大器 U_2 和反馈电路,

运算放大器U2与外部电阻电子器件组成减法器,通过减法器减去电压信号S1中的电压信号S2成分,通过反馈电路主动调整电压信号S2的信号大小,实现对电压信号S1中电压信号S2成分的最佳消除。

6. 根据权利要求4所述一种三电极结构的静电探针系统,其特征在于,所述隔离电路包括电压电流转换电路、隔离器H1和电流电压转换电路,

工频干扰抑制器输出的信号首先经过电压电流转换电路变换为电流信号并经过一定偏置后输入到隔离器H1,通过隔离器H1对电流采集单元(4)和信号控制及数据处理单元(5)的隔离,通过隔离器H1的电流经过电流电压转换电路变换为电压信号并被信号控制及数据处理单元(5)记录和处理。

7. 根据权利要求1所述一种三电极结构的静电探针系统,其特征在于,所述信号控制及数据处理单元(5)负责控制扫描信号和处理伏安特性曲线获得电子密度和电子温度数据,包括以工控机、板卡、D/A转换器、A/D转换器和电脑,

软件控制工控机产生扫描电压信号,经板卡和D/A转换器转换后输入给功放单元(3)中与探针极相连的功放电路中放大,A/D转换器将电流采集单元的模拟电流信号转变为数字电流信号后被工控机记录,之后经过电脑处理获得电子密度和电子温度数据。

一种三电极结构的静电探针系统

技术领域

[0001] 本发明属于等离子体诊断技术领域,具体涉及一种三电极结构的静电探针系统。

背景技术

[0002] 静电探针诊断因其结构简单,成本低廉以及诊断参数多样而广受关注。静电探针诊断的基本原理是插入到等离子体中的一根金属针在电压的作用下会吸引等离子体中的离子和电子,从而形成电流。通过测量探针电压和电流获得含有等离子体电子密度和电子温度等信息的伏安特性曲线,然后可根据曲线结合探针理论计算得到等离子体的关键参数例如电子温度、电子密度等。

[0003] 目前的静电探针系统对含有射频噪声和工频干扰的等离子体诊断时存在困难,这类噪声的存在导致伏安特性曲线信噪比差,无法得到电子温度和电子密度数据,这一问题在大功率等离子体设备例如深空探测气动热防护领域中极为重要的MW级高频感应风洞中尤其明显,因此消除上述噪声获得高信噪比伏安特性曲线成为了诊断等离子体参数的关键。针对以上噪声问题的处理,目前主要采用Isaac D Sudit和Francis F Chen 1993的文章里提出的探针结构,即使用扼流圈实现对射频干扰定频限波。但运用此技术的探针只能应用于与限波频率匹配的放电系统,其他放电频率不能直接使用,并且由于噪声一般呈现包络分布特性,并非为无限窄的单一频率,因此该方法并不能完全消除噪声,因大功率设备中噪声的绝对值较大,这一问题导致的伏安特性变形尤其明显。另外工频干扰等低频噪声在实验室等离子体中广泛存在,特别是对于射频、微波等放电而言,电源会耦合工频成分,该噪声会导致伏安特性曲线振动。由于工频频率难以通过滤波方法消除,需要单独处理,造成参数诊断困难。根据现有静电探针诊断公开发表资料显示,目前尚没有针对静电探针诊断中对工频等低频噪声干扰抑制的技术。

发明内容

[0004] 针对现有技术中存在的问题,本发明的目的在于提供一种三电极结构的静电探针系统,使用包含探针极、补偿极和参考极的三电极探针,结合噪声抑制电路实现了对探针电流中噪声的抑制,能够获得高信噪比伏安特性曲线,解决了对具有射频噪声和工频干扰的等离子体关键参数能否精确诊断的难题。补偿极通过隔直电容与探针极相连,实现对探针极周围等离子体的空间电势振动的有效补偿;耐高压射频抑制单元实现对射频频段范围内的噪声的有效抑制;参考极结合电流采集单元实现对工频噪声的主动消除,同时将整套探针的电路系统置于金属屏蔽盒内避免空间电磁场的干扰。

[0005] 本发明采取的技术方案为:

[0006] 一种三电极结构的静电探针系统,包含:三电极探针单元、耐高压射频降噪单元、功放单元、电流采集单元和信号控制及数据处理单元,三电极探针单元设置为探针极P1、参考极P2和补偿极P3组成的三电极探头;

[0007] 所述三电极探针单元收集电子电流和离子电流,通过耐高压射频降噪单元去除射

频噪声；

[0008] 去除射频噪声后的电流经取样电阻后输入到功放单元，经功放单元的接地端构成探针回路；同时所述功放单元将信号控制及数据处理单元产生的周期性扫描电压信号放大并加载到三电极探针单元的探针极P1；

[0009] 所述电流采集单元同时采集探针极P1和参考极P2的电流信号，先通过工频干扰抑制器主动消除工频噪声，该信号再经过隔离器输入到所述信号控制及数据处理单元处理得到电子密度和电子温度数据。

[0010] 进一步的，所述三电极探针单元包括三电极探头和隔直电容C，三电极探头的输入端设置有探针极P1、参考极P2和补偿极P3，补偿极P3通过隔直电容C连接到探针极P1，所述耐高压射频降噪单元的输入端与三电极探针单元的探针极P1和参考极P2的输出端相连。

[0011] 进一步的，所述三电极探针单元的探针极P1在扫描电压的作用下收集电子电流和离子电流，参考极P2为工频干扰消除的信号源，在等离子体对地电势的作用下收集等离子体噪声的电子电流和离子电流，补偿极P3为探针极P1补偿等离子体空间电势振动。

[0012] 进一步的，所述三电极探针单元的探针极P1和参考极P2结构相同且均采用金属制成，通过探针极P1收集等离子体中的带电粒子；参考极P2作为工频干扰消除的信号源，参考极P2为电流采集单元的工频干扰抑制器提供消除工频干扰的输入信号；补偿极P3采用面积大于探针极P1面积5倍以上的金属制成，通过补偿极P3补偿等离子体空间电势振动。

[0013] 进一步的，所述耐高压射频降噪单元设置为两套完全相同的耐高压无源滤波器及前处理电路，滤波器阻带衰减系数大于60dB，最高承受振幅100V电压作用，可满足对大功率放电系统噪声衰减的需求，耐高压特性极大简化了前处理电路，提高了系统的可靠性；通过前处理电路阻抗匹配和保护滤波器，通过滤波器去除射频噪声。

[0014] 进一步的，所述功放单元设置为完全相同的运算放大器U、U' 和隔离变压器T、T'，功放单元的运算放大器U先对扫描电压信号进行初步放大，经过初步放大的信号再经过隔离变压器T进行二次放大，两级放大后扫描电压振幅最大达100V，以获得完整的伏安特性曲线；同时通过隔离变压器实现探针扫描电压与功放单元输入电压的隔离；参考极电路不加载扫描电压信号，通过运算放大器U' 和隔离变压器T' 保持参考极与探针极电路负载相同，避免由于器件差异引起新的噪声。

[0015] 进一步的，所述电流采集单元包括高性能取样电阻 R_s 和 R_s' 、运算放大器U1和U1'、工频干扰抑制器和隔离电路，

[0016] 运算放大器U1采集探针极P1取样电阻两端的共模电压信号S1，S1信号包含有效电流信号和工频噪声干扰信号；通过运算放大器U1' 获得参考极取样电阻两端电压信号S2，S2只包含工频噪声信号，作为消除S1中工频噪声干扰信号的信号源；电压信号S1和电压信号S2同时输入到工频干扰抑制器。

[0017] 更进一步的，所述工频干扰抑制器包括运算放大器U2和反馈电路，

[0018] 运算放大器U2与外部电阻电子器件组成减法器，通过减法器减去电压信号S1中的电压信号S2成分，通过反馈电路主动调整电压信号S2的信号大小，实现对电压信号S1中电压信号S2成分的最佳消除。

[0019] 更进一步的，所述隔离电路包括电压电流转换电路、隔离器H1和电流电压转换电路，

[0020] 工频干扰抑制器输出的信号首先经过电压电流转换电路变换为电流信号并经过一定偏置后输入到隔离器H1,通过隔离器H1对电流采集单元和信号控制及数据处理单元的隔离,避免可能的强噪声信号(例如放电过程中变换功率时产生的冲击扰动,或者诊断脉冲射频放电时脉冲激励源产生的强扰动等),通过隔离器H1的电流经过电流电压转换电路变换为电压信号并被信号控制及数据处理单元记录和处理。

[0021] 进一步的,所述信号控制及数据处理单元负责控制扫描信号和处理伏安特性曲线获得电子密度和电子温度数据,包括以工控机、板卡、D/A转换器、A/D转换器和探针数据处理软件,

[0022] 软件控制工控机产生扫描电压信号,经板卡和D/A转换器转换后输入给功放单元中与探针极相连的功放电路中放大,A/D转换器将电流采集单元的模拟电流信号转变为数字电流信号后被工控机记录,之后经过探针数据处理软件处理获得电子密度和电子温度数据。

[0023] 本发明的有益效果为:

[0024] 本发明基于独特的三电极探针结构理念、通过射频噪声抑制电路和工频干扰抑制器相结合的设计方案,可实现对射频噪声的补偿和对工频噪声的主动消除,进而得到高信噪比的伏安特性曲线,能够实现对含有强烈射频噪声和工频干扰的等离子体电子温度和电子密度的准确测量。

[0025] (1) 本发明综合考虑了射频干扰、工频噪声等问题,提出一种全新的三电极探针结构,设计射频噪声抑制电路和工频干扰抑制器相结合的电路方案,可实现对射频噪声的补偿和对工频噪声的主动消除。

[0026] (2) 本发明包括工频等低频噪声主动消除电路,该电路将参考极信号作为输入信号,通过自动缩放操作实现对工频噪声及一些低频噪声的整体主动消除。

[0027] (3) 本发明包括的射频噪声抑制单元可实现对2MHz~50MHz射频等高频噪声衰减65dB以上,可承受电压100V电压干扰,减少前处理电路,提高系统可靠性,极大提高系统在不用等离子体源间的通用性。

[0028] (4) 本发明包括集成化电子学电路模块,并置于等离子体外部,无需热防护系统,同时避免热效应导致的干扰;自主开发的数据处理软件可同时处理多路数据,方便并联扩展成多探针系统。

[0029] (5) 本发明包括可实现多种波形和10Hz~10kHz扫描信号输出形式,扫描电压可在 $\pm 30\sim\pm 100\text{V}$ 范围内多波形调节,可实现快速多周期采集伏安特性曲线,并进行滤波等处理,获得高精度的电子密度和电子温度等数据。

附图说明

[0030] 图1为一种三电极结构的静电探针系统示意图;

[0031] 图2为本发明实施例中一种三电极结构的静电探针系统的三电极探头剖面结构示意图;

[0032] 图3为本发明实施例中一种三电极结构的静电探针系统的三电极探头整体结构示意图;

[0033] 图4为本发明实施例中的一种三电极结构的静电探针系统测得的伏安特性曲线;

[0034] 图5为本发明实施例中的一种三电极结构的静电探针系统实施例的诊断结果:电子密度;

[0035] 图6为本发明实施例中的一种三电极结构的静电探针系统实施例的诊断结果:电子温度;

[0036] 其中,1、三电极探针单元;2、耐高压射频降噪单元;3、功放单元;4、电流采集单元;5、信号控制及数据处理单元。

具体实施方式

[0037] 为将本发明的技术优势和目的性描述的更加清楚,下面结合附图以及实施例进行分析。实施例所使用的具体设备、器件及参数只为阐述本发明的优势,并不对本发明产生限制。

[0038] 本发明为一种三电极结构的静电探针系统,克服了等离子体中的射频噪声和工频噪声对探针数据的干扰问题,如图4所示,获得高信噪比的伏安特性曲线,如图5、图6所示,最终得到了高精度的电子温度和电子密度数据。

[0039] 如图1、图2、图3所示,一种三电极结构的静电探针系统,该探针系统包含:三电极探针单元1、耐高压射频降噪单元2、功放单元3、电流采集单元4和信号控制及数据处理单元5,所述三电极探针单元用于收集电子电流和离子电流,包括三电极探头和隔直电容C。

[0040] 三电极探头输入端包括探针极P1、参考极P2和补偿极P3,探针极P1和参考极P2分别接噪声抑制单元极,补偿极P3接隔直电容C1,探针极P1由金属制成,用于收集等离子体中的带电粒子;参考极P2作为工频干扰消除的信号源,其结构和材料与探针极P1完全相同,为所述电流采集单元4的工频干扰抑制器提供消除工频干扰的输入信号;补偿极P3为面积大于探针极P1面积5倍以上的金属,通过隔直电容C连接到探针极P1,用于补偿等离子体空间电势振动。

[0041] 补偿极P3通过隔直电容C与探针极P1相连,耐高压射频降噪单元2的输入端与三电极探针单元1的参考极P2和探针极P1的输出端相连,输出的电流分别经过两套完全相同的前处理电路及耐高压无源滤波器F、F' 降噪,去除射频噪声后的电流经的取样电阻Rs1和Rs1' 输入到所述功放单元的运算放大器U、U' 及隔离变压器T、T',经功放单元3的接地端构成探针回路;电流采集单元4通过取样电阻Rs1和Rs1' 采集探针极P1和参考极P2的电流信号,通过工频干扰抑制器消除工频噪声,再经过隔离器输入到信号控制及数据处理单元5的A/D转换器,将电流采集单元4的模拟电流信号转变为数字电流信号,被工控机处理得到电子密度和电子温度数据;软件控制工控机产生扫描电压信号,经板卡PC&B和D/A转换后输入给功放单元3中与探针极相连的功放电路。

[0042] 所述三电极探针单元的探针极P1在扫描电压的作用下收集电子电流和离子电流,参考极P2作为工频干扰消除的信号源,在等离子体对地电势的作用下收集等离子体噪声的电子电流和离子电流,补偿极P3通过隔直电容与探针极P1相连,为探针极P1补偿等离子体空间电势振动;所述耐高压射频降噪单元2用于去除射频噪声;去除射频噪声后的电流经取样电阻后输入到所述功放单元3,经功放单元3的接地端构成探针回路;同时所述功放单元3将所述信号控制及数据处理单元5产生的周期性扫描电压信号放大并加载到所述三电极探针单元的探针极P1;所述电流采集单元4同时采集探针极P1和参考极P2的电流信号,首先通

过工频干扰抑制器主动消除工频噪声,该信号再经过隔离器输入到所述信号控制及数据处理单元5处理得到电子密度和电子温度数据。

[0043] 本发明实施例中所述三电极探针单元中的三电极探头包括探针极P1,补偿极P2和参考极P3及绝缘陶瓷管,其中探针极P1和参考极P2尺寸为 $\phi 0.3 \times 8\text{mm}$ 钨丝,补偿极P3使用 $3 \times 8\text{mm}$ 的不锈钢薄片制备而成,补偿极经30pF的隔直电容C与探针极P1相连,对探针极P1周围的等离子体空间电势振荡进行补偿。

[0044] 耐高压射频降噪单元2用于去除射频频段噪声,为两套完全相同的耐高压无源滤波器及前处理电路,滤波器满足对大功率放电系统噪声衰减的需求,耐高压特性极大简化了前处理电路,提高了系统的可靠性;前处理电路主要用于阻抗匹配同时保护滤波器,滤波器用于去除射频噪声。

[0045] 本发明实施例中所述耐高压射频降噪单元2具体包括:巴特沃斯无源滤波器和前处理RC电路,滤波器阻带衰减系数大于60dB,滤波器可承受最高100V峰值电压,具有2MHz截止频率,通带纹波小于1dB,1MHz以后衰减60dB以上,阻带截止频率大于120MHz,RC电路对探针极负载和滤波器进行匹配。

[0046] 所述功放单元3用于放大所述信号控制及数据处理单元5产生的周期性扫描电压信号,并加载在所述三电极探针单元的探针极P1,包括完全相同的运算放大器U、U'和隔离变压器T、T'。

[0047] 功放单元3的运算放大器U先对扫描电压信号进行初步放大,经过初步放大的信号再经过隔离变压器T进行二次放大,两级放大后扫描电压振幅最大可达100V,以便于获得完整的伏安特性曲线(如图4所示)。同时隔离变压器实现探针扫描电压与功放单元3输入电压的隔离;参考极P2电路不加载扫描电压信号,运算放大器U'和隔离变压器T'的作用是保持参考极P2与探针极P1电路负载相同,避免由于器件差异引起新的噪声。

[0048] 本发明实施例中所述功放单元3包括运放OPA445和OPA541大功率运算放大器组成的U和U',器件带宽0~1MHz,最大增益40dB,供电电压最高 $\pm 45\text{V}$,最大允许电流5A;隔离变压器T、T'实现5倍放大并对探针单元和功放单元隔离。

[0049] 电流采集单元4用于采集探针电流,包括高性能取样电阻 R_s 和 R_s' 、运算放大器U1和U1'、工频干扰抑制器和隔离电路。

[0050] 运算放大器U1采集探针极P1取样电阻两端的共模电压信号S1,该信号包含有效电流信号和工频噪声干扰信号;U1'用于获得参考极P2取样电阻两端电压信号S2,S2只包含工频噪声信号,作为消除S1中工频噪声的信号源;S1和S2同时输入到工频干扰抑制器。

[0051] 所述工频干扰抑制器包括运算放大器U2和反馈电路。

[0052] 运算放大器U2与外部电阻等电子器件组成减法器,用于减去S1中的S2成分,反馈电路用于主动调整S2信号大小,实现对S1中S2成分的最佳消除。

[0053] 所述隔离电路包括电压电流转换电路、隔离器H1和电流电压转换电路。

[0054] 工频干扰抑制器输出的信号首先经过电压电流转换电路变换为电流信号并经过一定偏置后输入到隔离器,隔离器实现对电流采集单元4和信号控制及数据处理单元5的隔离,避免可能的强噪声信号破坏采集卡,通过隔离器的电流经过电流电压转换电路变换为电压信号并被信号控制及数据处理单元5记录和处理。

[0055] 本发明实施例中所述电流采集单元4包括:高性能电阻 $R_s = R_s' = 1\text{k}\Omega$ (0.1%误

差);U1,U1',U2代表的运算放大器为AD810AN,该放大器带宽1MHz,电流20mA;隔离器采用光电隔离器HCNR201,其线性度0.01%,带宽1MHz,电流20mA,及相应的电流电压转换电路。

[0056] 如图4、图5、图6所示,信号控制及数据处理单元5负责控制扫描信号和处理伏安特性曲线获得电子密度和电子温度数据。包括以工控机、板卡、D/A转换器、A/D转换器和自主开发的探针数据处理软件。

[0057] 软件控制工控机产生扫描电压信号,经板卡和D/A转换后输入给功放单元3中与探针极P1相连的功放电路中放大。A/D转换器将电流采集单元的模拟电流信号转变为数字电流信号后被工控机记录,之后经过自主开发的探针数据处理软件处理获得电子密度和电子温度数据(如图5、图6所示)。

[0058] 本发明实施例中所述信号控制及数据处理单元5包括研华工控机、NI板卡、Labview程序、A/D转换器和D/A转换器,本实施例中采用的扫描电压频率为500Hz。

[0059] 以上所述并非是对本发明的限制,应当指出:对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明实质范围的前提下,还可以做出若干变化、改型、添加或替换,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

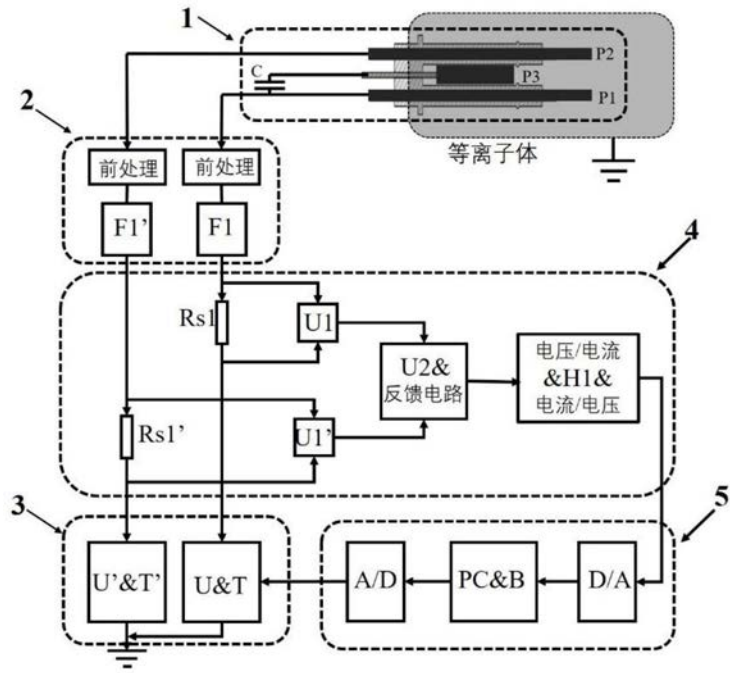


图1

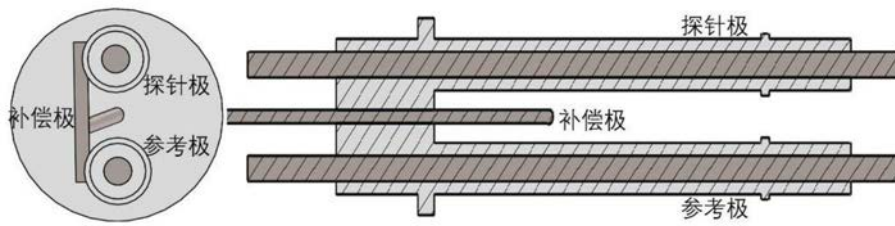


图2

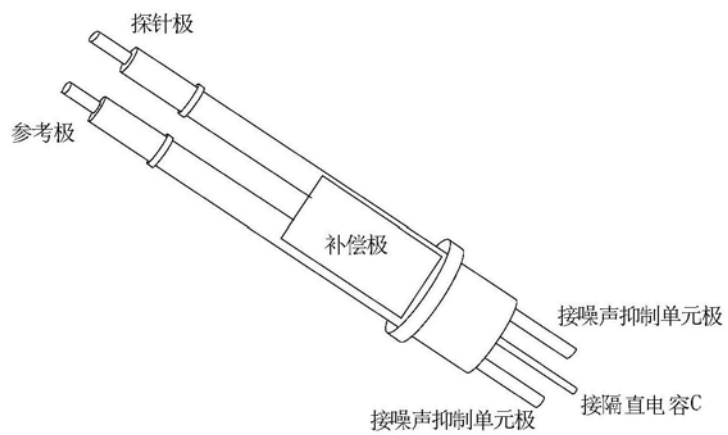


图3

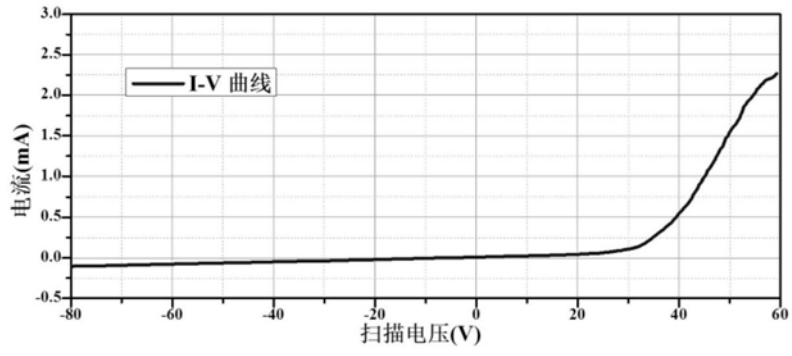


图4

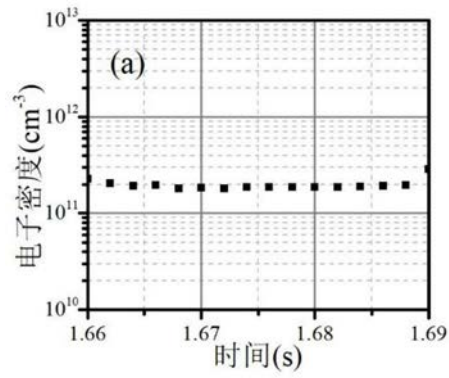


图5

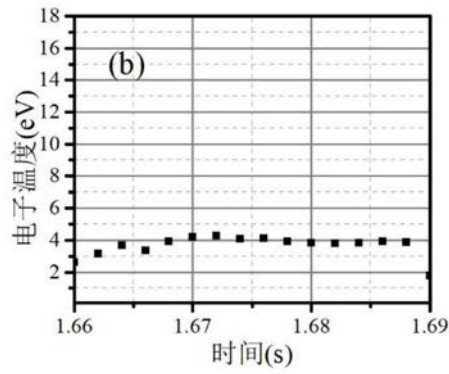


图6