



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102520125 B

(45) 授权公告日 2014. 09. 10

(21) 申请号 201110424782. 8

(22) 申请日 2011. 12. 17

(73) 专利权人 中国科学院等离子体物理研究所  
地址 230031 安徽省合肥市蜀山区蜀山湖路  
350 号

(72) 发明人 吴婧 谢春意 丁芳 徐倩  
罗广南

(74) 专利代理机构 安徽合肥华信知识产权代理  
有限公司 34112

代理人 余成俊

(51) Int. Cl.

G01N 33/00 (2006. 01)

G21B 1/11 (2006. 01)

(56) 对比文件

JP H0469590 A, 1992. 03. 04, 全文.

JP S62299788 A, 1987. 12. 26, 全文.

JP H01191092 A, 1989. 08. 01, 全文.

CN 1787115 A, 2006. 06. 14, 全文.

Y. Morimoto et al.. Correlation between hydrogen isotope profiles and. 《Journal of Nuclear Materials》. 2004, 第 329 卷 894-898 页.

赵利平等. 托卡马克装置中氢同位素滞留研究现状. 《核技术》. 2011, 第 34 卷 (第 4 期), 283-290 页.

吕广宏等. 磁约束核聚变托卡马克等离子体. 《中国材料进展》. 2010, 第 29 卷 (第 7 期), 42-47 页.

审查员 吴菲

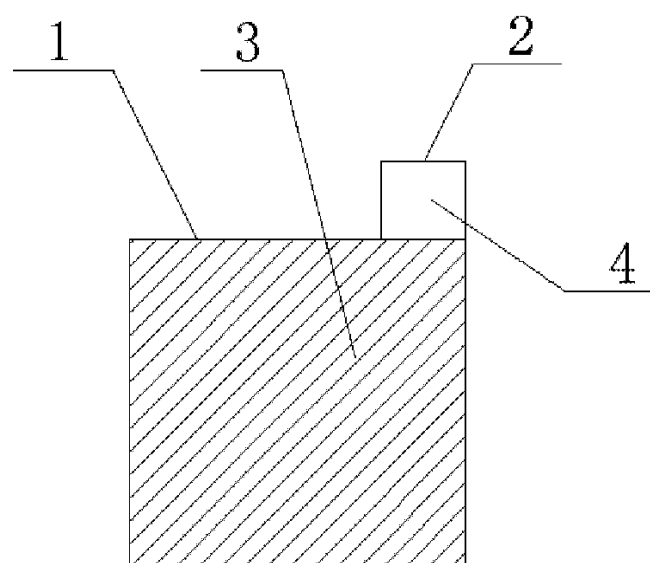
权利要求书1页 说明书3页 附图1页

(54) 发明名称

一种具有参考角结构的面向等离子体实验部件

(57) 摘要

本发明公开了一种具有参考角结构的面向等离子体实验部件, 包括有实验部件和设置在实验部件一端的参考角, 参考角为实验部件加工时预留在实验部件上的可消减结构, 参考角的一面作为原始表面, 实验部件的一面作为实验表面, 所述原始表面上设有实验用标记。本发明可以在等离子体辐照实验前, 将参考角切下, 其表面、侧面及体的相关数据作为原始数据, 通过与经过等离子体辐照实验的实验部件数据的参比, 表征材料的腐蚀、沉积、杂质迁移及滞留。该设计简单易行, 加工方便, 对比性较好, 可用于核聚变实验装置中面向等离子体材料的测试及等离子体与壁材料相互作用实验。



1. 一种具有参考角结构的面向等离子体实验部件,其特征在于:包括有实验部件和设置在实验部件一端的参考角,参考角的材质与其紧邻的实验部件材质相同,与其紧邻的实验部件表面制备条件相同,具有相同的基体、表面结构和形貌,所述参考角为实验部件加工时预留在实验部件上的可消减结构。

2. 根据权利要求1所述的一种具有参考角结构的面向等离子体实验部件,其特征在于:所述实验部件的材质为面向等离子体材料,所述面向等离子体材料为石墨,或钼,或钨,实验时消去参考角并嵌装于托卡马克装置的第一壁上,表面与第一壁平齐。

3. 根据权利要求1所述的一种具有参考角结构的面向等离子体实验部件,其特征在于:所述实验部件在加工时预留有参考角结构,去除参考角结构后,其尺寸和形状与第一壁部件或偏滤器部件一致,作为第一壁部件或偏滤器部件参与核聚变实验装置的等离子体辐照实验。

4. 根据权利要求1所述的一种具有参考角结构的面向等离子体实验部件,其特征在于:所述参考角的一面作为原始表面,所述实验部件的一面作为实验表面,所述原始表面和实验表面上都设有相同的实验用标记,所述原始表面为不经过实验场中的等离子体辐照的表面;所述原始表面和实验表面上的实验用标记为涂层、刻槽、沉孔,实验标记以外的表面部分与实验场中其他第一壁或偏滤器的普通表面一致。

5. 根据权利要求4所述的一种具有参考角结构的面向等离子体实验部件,其特征在于:所述实验表面为在面向等离子体的正面或在侧面。

## 一种具有参考角结构的面向等离子体实验部件

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种核聚变实验装置,具体为一种具有参考角结构的面向等离子体实验部件。

### 背景技术

[0002] 在实现聚变到最终实用的道路上,材料是关键性问题之一。在聚变装置中,PFM 直接面对等离子体、并与等离子体发生相互作用,容易发生各种 PWI 改性变化,影响 PFM 使用寿命,其逸出的杂质还可能危及等离子体的稳定和聚变装置的运行安全。PWI 问题也被认为是国际热核聚变实验堆(International Thermonuclear Experimental Reactor, ITER)项目建设的最关键问题之一,其作用机制包括材料表面的溅射、注入、熔化、蒸发、吸附/脱附、扩散/捕获、聚集起泡、晶界析出氢、中子辐照损伤等,研究方向主要包括材料的腐蚀、沉积、杂质迁移、滞留,金属材料的起泡、熔化、脆化等。

[0003] 目前为止,国内托卡马克装置所使用的第一壁部件主要为具有厚 SiC 涂层的掺杂石墨瓦(合肥等离子体物理研究所,东方超环 EAST、合肥超环 HT-7)、石墨瓦和碳纤维板(西南核工业物理研究所,环流二号 HL-2A、环流新一号 HL-1M),而被考虑作为将来使用的第一壁材料主要有真空等离子体喷涂的钨涂层材料(VPS-W)、块体钨(monoblock-W)、平板钨(flat-W)等。第一壁材料的工业制备过程,使得第一壁部件尤其是涂层材料的部件表面具有不均一性。以具有厚 SiC 涂层的掺杂石墨瓦为例,其制备过程是将掺杂石墨的瓦毛坯分别放置于高温真空炉的上、中、下三层,升温使炉底预置的硅粉气化,并与掺杂石墨表面发生化学气相渗透和化学气相反应,生成一定厚度的 SiC 涂层。由于瓦毛坯在炉中的垂直位置不同,同一炉中的瓦表面的涂层厚度并不能保证一致性,其中上层的瓦表面涂层较薄,下层的涂层较厚,而同一层的不同瓦块,也可能存在一定的不均一性。而由于设备控制的精确度限制,不同炉次所生产的同一位置处的瓦块,表面涂层的厚度也存在一定的不均一性。这种不均一性,在表面涂层的高度落差上,可能达到 30 微米甚至更大。又例如目前等离子体所联合国内相关单位正在研发的 VPS-W,其涂层制备采用的是 W 粉的逐层扫描。这一过程中,弥散在真空腔体内的钨粉尘容易被捕获进逐层扫描的钨层间,易导致钨层内产生分层和空隙。另外由于走枪步长调整的不合理,往往容易造成喷涂表面出现波峰波谷的形貌,进一步造成了涂层不均匀性。上述的不均一性,对第一壁部件在托卡马克装置内的使用没有明显影响,但却会给实验分析带来极大的干扰。

[0004] 当前 PFM 和 PWI 的主要实验方法包括原位(In-situ)与事后(Post-Mortem)分析。其中原位分析需要借助大量的实时诊断方式,数据方式具有一定的相对性。事后分析是在一段时间的等离子体辐照实验后,取出实验样品,直接对样品进行分析,数据较为直接、可靠。与事后分析相关的实验一般分为短周期实验与长周期实验。短周期实验一般通过核聚变实验装置的窗口,依赖送样杆将样品送入等离子体边界环境,其在装置内的位置受到极大的限制。长周期实验一般通过直接选取第一壁及偏滤器的瓦块,或者选取瓦块位置上所夹持的小样品,在整轮等离子体辐照实验之后取出,再进行分析,其选取位置不受限制,

可以进行较为全面的研究不同位置、不同等离子体条件下的 PFM 和 PWI 实验。长周期实验所依赖的第一壁及偏滤器瓦块本身进行事后分析的,其实验样品的尺寸和形状由所依赖的部件决定,以 EAST 为例,第一壁部件尺寸通常为 90mm×60mm×20mm,甚至更大,而事后分析所要求的样品尺寸一般都较小,如中国科学技术大学理化科学实验中心的 Sirion200 场发射扫描电子显微镜要求的样品高度不超过 15mm,北京大学重离子物理研究所所提供的卢瑟福背散射方法的分析样品直径不超过  $\Phi 60\text{mm}$ ,所以实验前原始数据的采集,不能从将进行实验的部件上直接获得,而一般选取相同工艺生产的部件进行切割成小尺寸样品后再分析。但是,工业生产所带来的部件表面的不均一性,尤其是对于一整轮实验后只有微米甚至纳米量级的变化来说,极大的影响了事后分析的可行性和准确性。

## 发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种具有参考角结构的面向等离子体实验部件,以解决现有技术的事后分析时由于实验部件表面的不均一性而极大的影响了事后分析的可行性和准确性的问题。

[0006] 为达到上述目的,本发明采用的技术方案为:

[0007] 一种具有参考角结构的面向等离子体实验部件,其特征在于:包括有实验部件和设置在实验部件一端的参考角,所述参考角为实验部件加工时预留在实验部件上的可消减结构。

[0008] 所述的一种具有参考角结构的面向等离子体实验部件,其特征在于:所述实验部件的材质为面向等离子体材料,优选石墨,或钼,或钨,实验时消去参考角并嵌装于托卡马克装置的第一壁上,表面与第一壁平齐。

[0009] 所述的一种具有参考角结构的面向等离子体实验部件,其特征在于:所述实验部件在加工时预留有参考角结构,去除参考角结构后,其尺寸和形状与第一壁部件或偏滤器部件一致,作为第一壁部件或偏滤器部件参与核聚变实验装置的等离子体辐照实验。

[0010] 所述的一种具有参考角结构的面向等离子体实验部件,其特征在于:所述参考角的一面作为原始表面,所述实验部件的一面作为实验表面,所述原始表面和实验表面上都设有相同的实验用标记,所述原始表面为不经过实验场中的等离子体辐照的表面;所述原始表面和实验表面上的实验用标记可以为常用标记,实验用标记优选涂层、刻槽、沉孔,实验标记以外的表面部分与实验场中其他第一壁或偏滤器的普通表面一致。

[0011] 所述的一种具有参考角结构的面向等离子体实验部件,其特征在于:所述实验表面可以在面对等离子体的正面,也可以在侧面。

[0012] 本发明的有益效果为:

[0013] 在实验部件加工时侧面预留突出的参考角,完成标记等制备工作后再将参考角切下作为对比参照,由于参考角与实验部件原为一体,所有制备条件相同,因此在近距离范围内具有最大的一致性。在等离子体辐照实验前切下的参考角,其表面、侧面及体内的相关数据作为原始数据。通过原始表面及块体内部与经过等离子体辐照实验的实验部件数据的参比,可以最大精度的获得氢同位素及氦在材料表面、侧面及体内滞留实验数据;通过原始表面及块体内部与经过等离子体辐照实验的实验部件数据的参比,可以最大精度的获得材料腐蚀、表面沉积、杂质迁移等实验数据。

[0014] 本发明简单易行,加工方便,对比性较好,有效地避免了实验部件表面不均一性的问题,可用于核聚变实验装置中面向等离子体材料的测试及等离子体与壁材料相互作用实验。

#### 附图说明

[0015] 图 1 为本发明的结构示意图。

[0016] 图 2 为本发明侧视图。

#### 具体实施方式

[0017] 如图 1 所示,本发明包括有实验部件 1 和设置在实验部件 1 一端的参考角 2,所述参考角 2 为实验部件 1 加工时预留在实验部件 1 上的可消减结构。

[0018] 实验部件 1 的材质为面向等离子体材料,优选石墨,或钼,或钨,实验时消去参考角 2 并嵌装于托卡马克装置的第一壁上,表面与第一壁平齐。

[0019] 参考角 2 的一面作为原始表面 4,实验部件 1 的一面作为实验表面 3,所述原始表面 4 和实验表面 3 上都设有相同的实验用标记,实验标记外的表面部分为与实验场中其他第一壁或偏滤器表面一致的普通表面;原始表面 4 和实验表面 3 上的实验用标记可以为常用标记,实验用标记优选涂层、刻槽、沉孔。

[0020] 参考角 2 在实验部件加工及实验用标记制备时预留,因而材质与其紧邻的实验部件材质相同,与其紧邻的实验部件 1 表面制备条件相同,具有同样的基体、表面结构和形貌及实验用标记。参考角 2 突出于实验部件 1 侧面,与实验部件 1 连为一体,在实验部件 1 制备完成后切下,其表面及侧面的数据可以作为实验部件经过等离子体辐照实验后的表面及侧面数据的对比参照。

[0021] 实验表面 3 可以在面对等离子体的正面,也可以在侧面。

[0022] 本发明在制备过程中实验部件 1 和参考角 2 结构作为一个整体进行制备,并根据实验需要,通过刻槽、打孔、加涂层、预腐蚀等不同的实验手段,增加相同结构和性质的实验用标记,可以根据实验需要调整实验用标记的位置和尺寸。参考角 2 的尺寸符合事后分析的要求,根据实验需要,可以调整参考角 2 的形状、尺寸和数量,以及在实验部件 1 侧边所处的位置。

[0023] 实验部件 1 背面可以加工沉孔,用于插入测温热电偶;实验部件 1 中可以加工螺栓孔,用于实现实验部件 1 与背面热沉的连接。

[0024] 具体实验时,在安装实验部件 1 前将参考角 2 切下,将剩下的部件安装入核聚变实验装置内进行等离子体辐照实验,其中最近邻参考角 2 的位置为实验点。

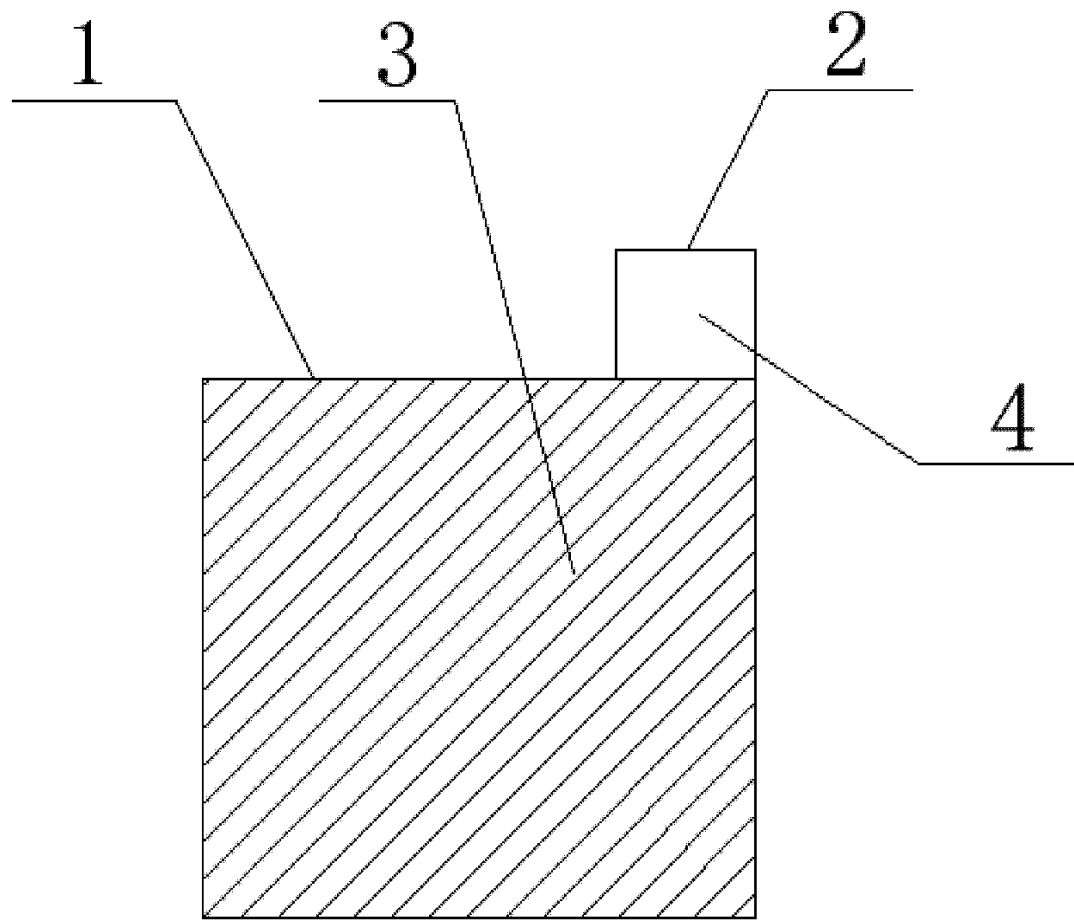


图 1

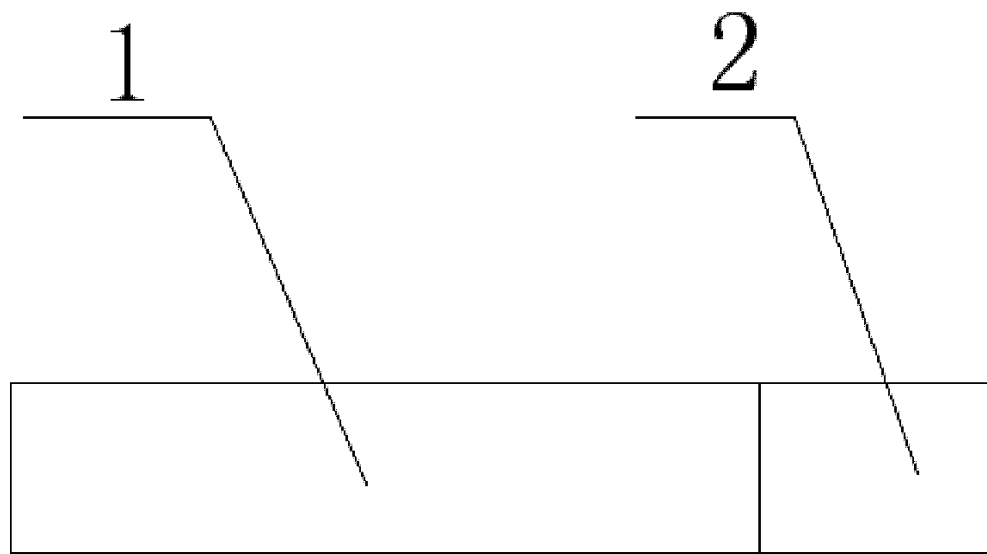


图 2