



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 203466162 U

(45) 授权公告日 2014. 03. 05

(21) 申请号 201190000794. 1

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2011. 10. 10

H01J 37/08 (2006. 01)

(30) 优先权数据

1017173. 4 2010. 10. 12 GB

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2013. 04. 12

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2011/067626 2011. 10. 10

(87) PCT国际申请的公布数据

W02012/049110 EN 2012. 04. 19

(73) 专利权人 VG 系统有限公司

地址 英国剑桥郡

(72) 发明人 B. 巴纳德

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 臧永杰 卢江

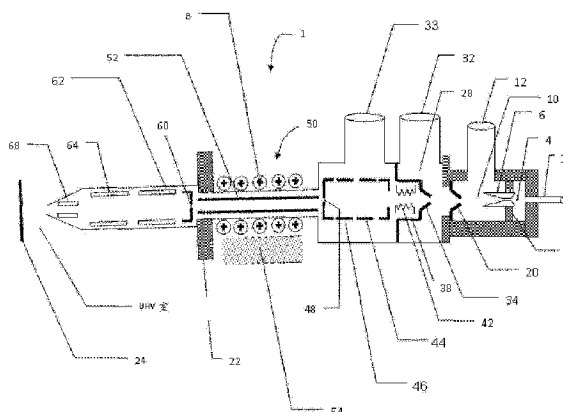
权利要求书1页 说明书16页 附图7页

(54) 实用新型名称

可转换的气体团簇和原子离子枪

(57) 摘要

在此提供了一种可转换的离子枪,该离子枪包括:用于产生气体团簇的一个气体膨胀喷嘴(4);用于电离这些气体团簇和气体原子的一个电离室;以及一个可变(优选地一个磁性扇区)质量选择器(50),该可变质量选择器用于质量选择这些电离气体团簇和电离气体原子以便产生在基本上包括电离气体团簇与基本上包括电离气体原子之间可变的一个离子束。优选地,该枪包括一个电浮式飞行管(52)用于调整在该质量选择器内时的这些离子的能量。



1. 一种可转换的离子枪,包括:
 - 一个气体膨胀喷嘴,该气体膨胀喷嘴用于在气体原子的存在下通过一种气体穿过该喷嘴的膨胀来产生气体团簇;
 - 一个电离室,该电离室用于电离这些气体团簇和气体原子;
 - 一个可变质量选择器,该可变质量选择器用于质量选择这些电离气体团簇和电离气体原子,以便产生在基本上包括电离气体团簇与基本上包括电离气体原子之间可变的离子束。
2. 如权利要求 1 所述的可转换的离子枪,其中该气体膨胀喷嘴包括一个微制造的金属膨胀喷嘴。
3. 如权利要求 1 或 2 所述的可转换的离子枪,其中该气体膨胀喷嘴包括直径不大于 100 微米的一个孔口。
4. 如权利要求 1 或 2 所述的可转换的离子枪,其中该可变质量选择器包括一个磁性可变质量选择器和用于调整在该磁性可变质量选择器内的这些离子的能量的一个电浮式离子光学装置。
5. 如权利要求 4 所述的可转换的离子枪,其中该电浮式离子光学装置包括一个电浮式飞行管。
6. 如权利要求 4 所述的可转换的离子枪,其中该电浮式离子光学装置是至少部分地定位于该磁性可变质量选择器内。
7. 如权利要求 4 所述的可转换的离子枪,其中在该团簇模式中,将一个电压施加至该浮式离子光学装置以便当这些离子穿过该磁性扇区时阻碍这些离子,和 / 或在原子模式中,将一个电压施加至该浮式离子光学装置以便当这些离子穿过该磁性扇区时加速这些离子。
8. 如权利要求 4 所述的可转换的离子枪,其中该可变质量选择器包括一个磁性可变质量选择器,该磁性可变质量选择器在使用中产生小于 0.2 特斯拉的一个磁场强度。
9. 如权利要求 1 或 2 所述的可转换的离子枪,其中这些离子是在 6 keV 或更少的源能量下在该电离室中形成。
10. 如权利要求 1 或 2 所述的可转换的离子枪,其中可以独立于该可变质量选择器对这些离子的尺寸的选择来选择这些离子的源能量。
11. 如权利要求 1 或 2 所述的可转换的离子枪,其中在这些离子进入到该可变质量选择器之前,这些离子是由一个引出电极从该电离室中引出并且由一个聚光透镜聚焦。
12. 如权利要求 1 或 2 所述的可转换的离子枪,其中该可变质量选择器是能够作为一个高通质量选择器工作的。
13. 如权利要求 1 或 2 所述的可转换的离子枪,其中该可变质量选择器包括具有一个可编程的电磁体的一个磁性扇区以便改变由该磁性扇区选择的这些离子的质量范围。
14. 如权利要求 13 所述的可转换的离子枪,其中该磁性扇区使这些质量选择的离子遵循一个弯曲的路径。
15. 如权利要求 14 所述的可转换的离子枪,其中该弯曲路径具有在该磁性扇区的入口与出口之间的在 1 度与 5 度之间的一个弯曲。

可转换的气体团簇和原子离子枪

发明领域

[0001] 本发明涉及离子枪的领域并且具体地说是可以产生可用于蚀刻表面以供表面分析的气体团簇离子束的离子枪。本发明还涉及这类离子枪的用途和处理表面的方法。在优选的实施例中,本发明涉及离子束用于在分析一个表面(例如,通过 XPS 分析)之前或过程中清洗和/或蚀刻所述表面的用途。

背景技术

[0002] 在通过以下技术如 X 射线光电谱(XPS)、俄歇电子能谱(AES)或二次离子质谱(SIMS)进行的表面分析中,例如,由离子枪产生的离子束、特别是氩离子束被广泛地用于轰击待分析的表面。这类束被用于,例如,在通过上述技术进行分析之前清洗具有污染物的表面和/或蚀刻穿过表面层来显现底层结构以便能进行该表面的深度剖析(depth profiled)分析。难以产生具有足够低能量的氩离子束以避免在蚀刻过程中对一些类型的表面、尤其是具有有机材料的表面的损伤以及随之发生的关于该表面的化学和分子信息的损失。为了避免上述损伤,已知的是要求使用具有非常低能量、典型地小于 10eV 的粒子的离子束。使用一个简单的氩离子束时这是不可能的,在这种离子束中由于空间电荷效应难以创建和聚焦这类低能量束。在此,术语氩离子束是指具有多个电离的独立氩原子(Ar^+)的束。

[0003] 已经通过使用 C_{60} 、或其他富勒烯的离子束,最初针对 SIMS 并且最近针对 XPS 分析进行了改进。在 GB 2386747A 和 US 2008/0042057A1 中披露了使用 C_{60} 离子束的装置和方法。采用大分子的其他离子束,如晕苯离子束以及使用其他多环芳香烃(PAH)分子的离子束,也采用如 GB2460855A 中所描述的。这类大分子被产生为具有典型地 10keV 或更大的高能量,但在碰撞时碎裂成单独地具有非常低能量的更小团簇和原子。然而,至少对于 XPS 分析而言,使用基于碳的离子束导致表面碳沉积,这种表面碳沉积可以停止蚀刻过程并且改变样品的化学性质,从而导致错误的结果。还尝试了采用金属团簇的离子束,但是难以形成大的团簇。

[0004] 一种替代途径一直是使用通过电离和加速氩团簇所产生的离子束,这些氩团簇是通过氩气穿过一个喷嘴的超音速膨胀而产生。以这种方式,可以容易地形成具有几百氩原子至几万氩原子的团簇。这已被广泛地用在 SIMS 中并且在 JP 08-122283 A、JP 2008-116363 A 以及 WO 2009/131022 中已经被提议用于 XPS。然而,这种技术还没有针对 XPS 中的应用进行商用开发,据认为这是由于产生具有恰当尺寸的氩团簇的聚焦束以便产生有用的蚀刻速率而不破坏样品化学性质的工程困难。

[0005] 惰性气体团簇源大体上从 20 世纪 70 年代开始被广泛使用(参见 Hagena 和 Obert,膨胀超音速射流中的团簇形成:压力、温度、喷嘴尺寸以及试验气体的影响(Cluster Formation in Expanding Supersonic Jets:Effect of Pressure, Temperature, Nozzle Size and Test Gas),化学物理杂志(The Journal of Chemical Physics)1972 年 3 月第 56 卷第 5 期第 1793 页)。商业上它们被用于抛光晶片。然而,这类商业开发的焦点一直在

使用典型地大于 150 微米的相对大的膨胀喷嘴源来产生强电流离子束（例如，几微安）上。这需要使用大的高速真空泵。具有几千原子的大惰性气体团簇在这些晶片抛光应用中是典型地优选的。这类气体团簇源通常不适合用于与如与表面分析系统（如 XPS 系统）一起使用的更小真空系统一起使用。

[0006] 本发明是根据以上而做出的。

发明内容

[0007] 根据本发明的一个方面，提供的是一种处理一个或多个表面的方法，该处理方法包括：

[0008] 提供一个可转换的离子枪，该离子枪在以下设定之间可转换：用于产生基本上包括辐照一个表面用的电离气体团簇的离子束的团簇模式设定，与用于产生基本上包括辐照一个表面用的电离气体原子的离子束的原子模式设定；并且

[0009] 选择性地以该团簇模式操作该离子枪，从而基本上用电离气体团簇辐照一个表面，或以该原子模式操作该离子枪，从而基本上用电离气体原子辐照一个表面。

[0010] 该方法还可以包括将该离子枪转换至另一模式，然后以该另一模式操作该离子枪。以这种方式，可以操作该枪以便当在团簇模式中时基本上用电离气体团簇辐照一个表面并且当在原子模式中时基本上用电离气体原子辐照一个表面。根据本发明的该一个或多个表面的处理是优选地用于通过一种或多种表面分析方法进行的该一个或多个表面的分析。典型地，该处理可以包括一个表面清洗过程或一个表面蚀刻过程，例如，用于通过一种或多种表面分析方法进行的一个表面的深度剖析。以下描述这些表面分析方法的详细内容。

[0011] 根据本发明的另一个方面，提供的是一种可转换的离子枪，该离子枪包括：

[0012] 一个气体膨胀喷嘴，该气体膨胀喷嘴用于在气体原子的存在下通过一种气体穿过该喷嘴的膨胀来产生气体团簇；

[0013] 一个电离室，该电离室用于电离这些气体团簇和气体原子；

[0014] 一个可变质量选择器，该可变质量选择器用于质量选择这些电离气体团簇和电离气体原子以便产生在基本上包括电离气体团簇与基本上包括电离气体原子之间可变的离子束。

[0015] 优选地，该离子枪包括一个磁性可变质量选择器，如一个磁性扇区；以及一个电浮式离子光学装置，该电浮式离子光学装置优选地是一个电浮式飞行管，优选地至少部分地定位于该磁性可变质量选择器内，用于调节在该磁性质量选择器内的这些离子的能量。以下进一步详细地描述这些和其他优选的特征。

[0016] 根据本发明的又另一个方面，提供的是一种可转换的离子枪，该离子枪包括：

[0017] 一个气体膨胀喷嘴，该气体膨胀喷嘴用于在气体原子的存在下通过一种气体穿过该喷嘴的膨胀来产生气体团簇；

[0018] 一个电离室，该电离室用于电离这些气体团簇和气体原子；

[0019] 一个可变质量选择器，该可变质量选择器用于质量选择这些电离气体团簇和电离气体原子以便产生包括具有选定质量的气体团簇和 / 或电离气体原子的离子束，其中该可变质量选择器包括一个磁性可变质量选择器和用于调节在该磁性质量选择器内时这

些离子的能量的一个电浮式离子光学装置。

[0020] 该浮式离子光学装置是用于与这些离子的源能量相比调整这些离子的能量,例如,以使得在该磁性质量选择器内它们可以具有在该磁性质量选择器内的一个局部能量,该局部能量是不同于、优选地实质上不同于这些离子的源能量。该电浮式离子光学装置优选地是至少部分地定位于该磁性可变质量选择器内。

[0021] 根据本发明的再另一个方面,提供的是一种可转换的离子枪的用途,该离子枪具有可选择的团簇模式和原子模式设定以便使用一个离子束辐照一个表面,其中在该团簇模式中的用途产生基本上包括电离气体团簇的一个离子束;并且在该原子模式中的用途产生基本上包括电离气体原子的一个离子束。

[0022] 根据本发明的多个另外方面,提供的是一种可转换的离子枪,该离子枪在以下模式之间可转换:用于产生基本上包括辐照一个表面用的电离气体团簇的离子束的团簇模式,与用于产生基本上包括辐照一个表面用的电离气体原子的离子束的原子模式,其中该离子枪具有以下各项中的一个或多个:

[0023] i.) 一个磁性可变质量选择器以便选择该离子束中的这些离子的质量;以及用于调节在该磁性质量选择器内时这些离子的能量的一个电浮式离子光学装置;

[0024] ii.) 一个金属膨胀喷嘴;

[0025] iii.) 一个微制造的金属膨胀喷嘴;

[0026] iv.) 一个金属膨胀喷嘴,其中一个孔口在直径上不超过 100 微米。

[0027] 根据本发明的多个另外方面,提供的是一种处理一个或多个表面的方法,该处理方法包括:

[0028] 提供一个可转换的离子枪,该离子枪在以下模式之间可转换:用于产生基本上包括辐照一个表面用的电离气体团簇的离子束的该可转换的离子枪的团簇模式,与用于产生基本上包括辐照一个表面用的电离气体原子的离子束的该可转换的离子枪的原子模式;并且

[0029] 使用该离子枪来以该团簇模式和/或原子模式辐照该一个或多个表面;

[0030] 该方法具有以下中的一个或多个:

[0031] i.) 一个磁性可变质量选择器以便选择该离子束中的这些离子的质量;以及用于调节在该磁性质量选择器内时这些离子的能量的一个电浮式离子光学装置;

[0032] ii.) 一个金属膨胀喷嘴;

[0033] iii.) 一个微制造的金属膨胀喷嘴;

[0034] iv.) 一个金属膨胀喷嘴,其中一个孔口在直径上不超过 100 微米。

[0035] v.) 该气体是氩;

[0036] vi.) 在团簇模式中,在该离子束中的这些团簇具有在 50 至 2000 原子范围内的尺寸下限;

[0037] vii.) 在团簇模式中,在该离子束中的这些团簇具有在 1 至 50eV、更优选地 1 至 10eV 范围内的每原子能量;

[0038] viii.) 这些离子的源能量是 5keV 或更少。

[0039] 在多个再另外的方面,本发明提供一种离子枪用于产生包括辐照一个表面用的电离气体团簇的离子束,其中该离子枪具有以下各项中的一个或多个:

[0040] i.) 一个磁性可变质量选择器以便选择该离子束中的这些离子的质量 ; 以及用于调节在该磁性质量选择器内时这些离子的能量的一个电浮式离子光学装置 ;

[0041] ii.) 一个磁性可变质量选择器, 该磁性可变质量选择器包括一个磁性扇区以便选择该离子束中的这些离子的质量 ; 以及用于调节在该磁性扇区内时这些离子的能量的一个电浮式飞行管 ;

[0042] iii.) 用于形成电离气体团簇的一个金属气体膨胀喷嘴 ;

[0043] iv.) 用于形成电离气体团簇的一个微制造的金属膨胀喷嘴 ;

[0044] v.) 用于形成电离气体团簇的一个金属膨胀喷嘴, 其中一个孔口在直径上不超过 100 微米。

[0045] vi.) 用于用 5keV 或更少的源能量形成这些离子的一个电离室。

[0046] 仍然在多个再另外的方面, 本发明提供一种处理一个或多个表面的方法, 该处理方法包括 :

[0047] 提供一个离子枪用于产生包括辐照一个表面用的电离气体团簇的离子束 ; 并且

[0048] 使用该离子枪来用电离团簇辐照该一个或多个表面 ;

[0049] 该方法包括以下各项中的一个或多个 :

[0050] i.) 使用一个磁性可变质量选择器和用于调节在该磁性可变质量选择器内时这些离子的能量的一个电浮式离子光学装置, 来选择该离子束中的这些离子的质量 ;

[0051] ii.) 通过一个金属膨胀喷嘴来形成这些离子 ;

[0052] iii.) 通过一个微制造的金属膨胀喷嘴来形成这些离子 ;

[0053] iv.) 通过一个膨胀喷嘴来形成这些离子, 该膨胀喷嘴中一个孔口在直径上不超过 100 微米。

[0054] v.) 用 5keV 或更少的源能量形成这些离子。

[0055] 该可转换的离子枪是一个离子束源, 该离子束源使得能够通过独立的质量和能量选择来精密控制该离子束, 以便将该束中的这些离子的每原子能量选择为对于待蚀刻的样品是最适当的能量。

[0056] 有益地, 本发明中使用的离子枪能够产生广泛不同类型的处理, 因为它在以下两项之间可转换 : 产生具有电离气体原子的一个束, 典型地具有相对高的每原子能量 (例如, 至少 500eV/ 原子), 与具有电离气体团簇的一个束, 典型地具有相对低的每原子能量 (例如, 不大于 50eV/ 原子)。因此, 有利地, 本发明提供一种双模式离子枪, 该离子枪可以用于实现广泛不同类型的表面处理。这样避免现有技术中的这种需求 : 在一个或不同分析室中分别提供用于产生高能量清洗和 / 或蚀刻的高能量电离气体原子的一个离子枪和用于产生低能量清洗和 / 或蚀刻的电离气体团簇的一个离子枪。本发明因此通过只要求一个离子枪和通过只要求 一个电源而降低了分析设备的成本。同时, 本发明还提供以下能力 : 使获得原子和团簇离子束的能力适应典型地在一个表面分析系统上可利用的有限空间。

[0057] 这些电离气体原子具有比这些电离气体团簇更高的每原子能量, 因为该团簇中的能量被分散于许多原子之间。用电离气体原子辐照一个表面可以适合用于比用电离气体团簇的辐照更强力的清洗和或更快的蚀刻, 并且可以用在更坚硬的表面上, 如不同类型的无机表面, 例如金属或金属氧化物表面。这些电离气体团簇可以适合用于更软的表面和 / 或易于受到来自高能量辐照的化学损伤的表面, 例如有机表面。可以被处理的有机表面可以

包括,但不限于,聚合物类、生物材料类等。本发明因此还提供穿过具有软质材料和硬质材料的一个多层结构进行深度剖析的能力。相比之下现有技术方法将要求两个离子枪:用于这些硬质层用的高能量原子束的一个源和用于这些更软的层用的低能量团簇束的一个单独源。通常从成本或空间的角度来看,提供两个离子束源是不可行的,并且因此,具有软质材料和硬质材料的这类多层结构的准确分析在现有技术中是不可能的。

[0058] 将该双模式能力结合至一个单个可转换的离子枪中提供给用户穿过所有类型的材料的深度剖析的灵活性。例如,该可转换的离子枪提供使用该气体团簇离子束穿过“软质”聚合物材料的深度剖析的一种新能力以及当要求允许穿过金属质材料的更厚层剖析时切换至该原子离子束的能力。

[0059] 从尺寸和成本的角度而言,本发明还具有以下优点:如果采用更小的团簇,可以提供一种有效和高效的离子源,并且因此,本发明的优选特征涉及用于该气体团簇离子束的具有选定的小尺寸的气体团簇的产生和/或选择。使用更小尺寸的团簇例如能在该源中使用一种更低的能量用于加速这些离子。例如,一个现有技术氩团簇离子枪典型地用 10 或 20keV 的源能量进行操作,而本发明可以用 6keV 或以下、或 5keV 或以下或 4keV 或以下的源能量进行操作,但仍具有高蚀刻效率。本发明的具体特征在此方面是针对与现有技术相比,优先产生更小尺寸的团簇。有利喷嘴特征的采用例如在此方面是有用的。

[0060] 该电离气体团簇的每原子能量还具有一个优选地低能量,例如优选地在 1 至 50eV 的范围内,但可以使用 1 至 100eV。优选地,该电离气体团簇的每原子能量是不大于 10eV,例如它是在 1 至 10eV 的范围内。一个电离气体团簇的每原子能量在此意指一个团簇的能量除以该团簇中包含的原子的数量。一个电离气体原子的每原子能量当然仅仅是该原子的能量。

[0061] 当在用于产生基本上包括辐照一个表面用的电离原子的束的该原子模式中操作时,该每原子能量典型地是在 100eV 至 10keV 的范围内,例如在 500eV 至 10keV 的范围内。该原子离子束中仅高能电离原子可以用于快速地蚀刻穿过较不敏感的样品表面。

[0062] 用这些电离气体团簇和气体原子辐照一个表面的作用典型地是处理这一个或多个表面以便改变这一个或多个表面。优选地,通过该辐照来处理这一个或多个表面以便从这一个或多个表面去除污染和/或蚀刻这一个或多个表面。去除污染(即清洗)优选地是在通过该表面分析方法进行分析之前进行。蚀刻意指去除一个或多个表面层并且蚀刻可用于,例如,通过该表面分析方法进行的深度剖析。可以在该表面分析方法过程中进行蚀刻。

[0063] 用这些电离气体团簇辐照的表面可以是与用电离气体原子辐照的表面相同或不同的表面。作为一个实例,当在一个第一表面上进行一种表面分析方法时,具有厚厚的一层污染的该第一表面可以经受在一种高能量清洗工艺中用电离气体原子的辐照(即处于原子模式中的离子枪)以便去除该污染,然后经受在一种更低能量蚀刻步骤中用电离气体团簇的辐照(即处于团簇模式中的离子枪)。在要求一种更慢的、更温和的蚀刻的情况下,使用气体团簇的更低能量蚀刻步骤可以是有用的。可替代地,作为另一实例,该第一表面可以经受在一种更低能量清洗方法中用电离气体团簇的辐照以便以一种非常受控制的方式去除该污染从而将该污染去除、但很少或没有样品被去除,然后经受用电离气体原子的辐照以便实现该表面的迅速或更深的蚀刻。可替代地,作为另一实例,可以仅使用具有电离气体原子的束来处理(例如清洗和/或蚀刻)该第一表面(例如在该第一表面具有一种更硬质

材料的情况下),并且可以使用具有电离气体团簇的束来处理(例如清洗和/或蚀刻)与该第一表面不同的一个第二表面(例如在该第二表面具有一种比该第一材料更软的材料的情况下)。因此,具有电离气体团簇和电离气体原子的这些束可以用于处理同一表面或不同表面。显然该离子枪在任何时刻是以该团簇模式设定或原子模式设定(即,以团簇离子束模式或原子离子束模式)中的任一者进行操作。这些不同离子枪设定因此不能同时使用。

[0064] 使用具有电离气体原子的束可以是用于实现该表面的更快和/或更深的处理,例如,更快和/或更深的清洗和/或蚀刻。使用具有电离气体原子的束可以是用于实现(例如)在具有某些无机材料的(例如)更硬基板上的处理。另一方面,使用具有电离气体团簇的束可以是用于实现该表面的更慢和/或更浅的处理,例如,更快和/或更深的清洗和/或蚀刻。使用具有电离气体团簇的束可以是用于实现(例如)在具有某些有机材料的(例如)更软基板上的处理。

[0065] 这一个或多个表面是被定位于减压中,即真空环境,典型地在一个真空分析室内部,例如,一个高或超高(UHV)真空室。根据本发明的离子枪优选地是安装于该真空室上以便引导一个离子束到该表面处。

[0066] 该离子枪是适合用于处理一个或多个表面以便通过一种或多种表面分析方法进行分析。这些表面分析方法可以是任何表面分析方法,这些方法要求清洗一个表面和/或蚀刻一个表面以便进行所要求的分析。本发明尤其可用于其中要求表面的深度剖析的分析方法并且在该表面进行分析的同时可以采用该离子束来蚀刻该表面。以这种方式,分析是在一个深度方向进行,从而得到随着该表面的深度变化的化学信息(即深度剖析)。

[0067] 适合的表面分析方法可以是以下各项中的一种或多种:X射线光电子能谱(XPS)、俄歇电子能谱(AES)、二次离子质谱(SIMS)、紫外光电子能谱(UPS)以及本领域已知的其他方法。本发明尤其可用于XPS,并且更尤其可用于其中要求该表面的深度剖析的XPS,并且在该表面进行XPS分析的同时可以采用该离子束来蚀刻该表面。

[0068] 该离子枪中用于形成该气体团簇离子束或原子气体离子束所采用的气体优选地是一种惰性气体,例如像氦、氖、氩、氪或氙。最优选地,该气体是氩。该气体优选地不是一种含碳气体,从而避免表面的碳污染,表面的碳污染是使用(例如) C_{60} 的现有技术离子枪的一个问题。可以使用的另一种可能的不含碳的气体是氧(O_2)。可以使用其他气体。

[0069] 该离子枪包括一个膨胀喷嘴,该膨胀喷嘴形成一个气体团簇源的一部分以便从注入到它之中的气体产生气体团簇。该离子枪进一步包括一个电离室或电离器以便电离所形成的气体团簇以及电离存在的单个气体原子。

[0070] 该团簇源通过该喷嘴产生气体团簇,这些气体团簇伴随单个气体原子,即还未形成团簇的原子。

[0071] 该膨胀喷嘴是一个喷嘴,通过该喷嘴可以发生该气体的超音速膨胀以便形成气体团簇。该喷嘴因此具有一个进气口和一个出气口。如本领域中已知的,该喷嘴是通过一种气体从该团簇源的在进口侧上的一个加压区域穿过该喷嘴到该团簇源的在出口侧上的一个减压区域中的膨胀来产生气体团簇。该膨胀喷嘴具有一个孔,该气体穿过该孔以便形成团簇,该孔优选地是具有直径100微米或更小、更优选地90微米或更小、例如80或85微米的一个孔。优选地该孔具有大致上圆形的形状。该喷嘴可以是,例如,一个锥形喷嘴(圆锥形喷嘴)、一个拉瓦尔(laval)喷嘴、或一个音速喷嘴,优选地是一个拉瓦尔喷嘴。该喷嘴

可以是由玻璃或金属制作的。优选地该喷嘴是由金属制成。优选地,该喷嘴是微制造的以便在该喷嘴中产生一个非常小的、均匀形状的孔。该喷嘴中的这样一个非常小的、均匀形状的孔改进了具有相对小尺寸外形(profile)的团簇的再现能力以便更有效率地利用这些团簇用于表面处理并且利用根据本发明的离子枪的离子光学部件和质量选择器的特征。与常规玻璃喷嘴相比,这样一个喷嘴是一种改进,这些常规喷嘴可能遭受在制造过程中由于为了产生一个可接受的喷嘴的失败尝试而引起的材料消耗、以及一个喷嘴与另一个之间尺寸和形状的更低均匀性。

[0072] 对于该团簇模式中的工作,在该团簇源的加压区域(即在该喷嘴的进口侧上)中的压力(进口压力)优选地是在2至20巴、更优选地2至5巴的范围内,但典型地据发现约3巴至4巴是高效的。对于该原子模式中的工作,该进口压力可以是与用于该团簇模式中的工作相同并且该质量选择器则仅选择该离子束中的电离原子而不是电离团簇。然而,对于该原子模式中的工作,优选地是使用低于团簇形成时所处的进口压力的一个进口压力。优选地,用于原子模式工作的进口压力是低于2巴,典型地低于1巴。在该喷嘴的出口侧上,这些气体团簇或原子被首先引入的减压区域优选地是小于1毫巴(即 1×10^{-3} 巴)。

[0073] 例如在该气体团簇离子束用于XPS深度剖析的应用中,相对小的团簇是优选的(例如高达几百原子,例如高达500原子每团簇)并且具有几十nA的束电流足够用于蚀刻大多数样品。具有典型地小于100微米的一个更小喷嘴直径在本发明中是优选的,已发现这种直径优先地在气体团簇离子束源中形成比现有技术喷嘴更小尺寸的团簇。以这种方式,具有更高比例的更小气体团簇能使一个更有效的束用于蚀刻,因为该束具有更大数量的更小尺寸的团簇以及更少的更大团簇,这些更大团簇对于蚀刻不是那么有效。使用这样一种小尺寸喷嘴还具有以下优点:本发明的离子枪不要求在一个XPS系统上不切实际的大量的泵并且因此降低了泵抽复杂性和成本。为了设计和产生可再现地定尺寸和成形的喷嘴,优选地采用一种微制造技术以便产生具有所要求的特征的特征的金属喷嘴。因此通过使用可再现地定尺寸和成形的喷嘴还更加可再现地控制该团簇尺寸。可以采用一个简单的锥形或圆锥形的“音速”喷嘴,但一个抛物线形拉瓦尔喷嘴是优选的。以这种方式,可以简化这些差分泵抽要求并且降低成本,并且通过用这种喷嘴尺寸选择一种适合的工作方案,可以针对小气体团簇的产生来优化该离子枪源。

[0074] 典型地由该团簇源产生一系列团簇尺寸。由该源产生的团簇尺寸可以是在从10至10,000原子或更多的范围内。优选地电离气体团簇是由该可变质量选择器来选择用于输出在该离子束中,这些电离气体团簇具有优选地至少50原子、更优选地至少100原子的团簇尺寸(即,所选择的和传送的团簇的最低尺寸)。有效的团簇尺寸下限的一个实例因此是200(即,选择具有200原子和更大的团簇)。该团簇尺寸下限优选地是不大于2000原子、更优选地不大于1000原子、仍然更优选地不大于500原子并且最优选地不大于400原子。因此,电离气体团簇是由该可变质量选择器来选择用于输出在该离子束中,这些电离气体团簇具有所希望地在50-2000原子范围内并且最令人希望地在50-400范围内的尺寸下限。这样确保选择更小尺寸的团簇并且该小喷嘴尺寸确保存在更高比例的更小尺寸的团簇。在使用最优选的气体(该气体是氩)的情况下,上述团簇尺寸是尤其优选的尺寸。

[0075] 一个电离室从这些团簇和/或原子形成离子。该电离室是如本领域中已知的一个典型的电离器。典型地该电离室包括一个或多个可加热的灯丝,这些灯丝是负电偏压的;以

及一个阳极如该室本身,该阳极是正电偏压至高电压(例如 2 至 20keV)以便使电子由该加热的灯丝发射而朝向该阳极并且因而电离存在的这些团簇和原子。产生的这些离子(团簇和原子)因此典型地是在 2 至 20keV、优选地 2 至 10keV 范围内的能量(在此被称为源能量)下形成,但该能量可以是高于或低于这一范围。当这些离子碰撞该样品的表面时,在该表面如典型的情况是处于接地电位的情况下,该源能量界定这些离子的能量。这即是提供给它们适当的 每原子能量用于清洗和 / 或蚀刻待处理的具体表面。一般能使该源能量低于现有技术中使用的源能量。优选地,这些离子的能量是 6keV 或更少、更优选地 5keV 或更少并且最优选地 4keV 或更少,例如在 2 至 6keV、2 至 5keV 或 2 至 4keV 的范围内。使用更小尺寸的团簇使得能够使用更低的能量并同时保持这些电离气体团簇中足够的每原子能量。这种减少的能量降低了电源的成本和尺寸。优选地在进入到该可变质量选择器中之前,这些离子优选地是由一个引出透镜从该电离室中引出并且通过一个聚光透镜聚焦。

[0076] 如下文更详细地描述,可以独立于这些离子(团簇和原子)的质量(尺寸)的选择来选择这些离子的源能量。提供给这些离子的能量可以因此被选择至一个希望值并且可以单独地(即独立地)选择该质量从而来选择电离团簇或原子的适当尺寸。因而可以通过该质量选择器调整所希望的每原子能量,例如以将该离子束中团簇的每原子能量调整至具有典型地在 1eV 与 50eV 或更低之间的一个值。优选地,该离子的每原子能量是刚好大到足够从该表面蚀刻离子,而不造成表面下的化学损伤。

[0077] 磁性扇区被广泛地用于质量选择,并且尤其是当与静电场相结合时(如在维恩过滤器(Wein filter)中),可以得到良好的质量分辨。然而当与高质量一起工作、如遇到像氦团簇的惰性气体团簇时,要求这类装置是较大的,因为要实现质量选择,它们需要使用大的电磁体。出于这个原因,以前的氦团簇离子源典型地使用了一个永磁体以便产生具有足够强度的一个固定磁场来使氦原子和具有小尺寸的氦团簇偏转并且选择一个固定范围的团簇尺寸。然而,具有永磁体的这类装置不具有良好界定的质量选择行为。此外,在这类情况下,该质量选择是不可变的,或至少不独立于被输入到该磁场的这些离子的能量而可变,因为该磁体是永久的。

[0078] 在本发明中,可以在该离子枪中使用一个质量选择器(质量过滤器)以便针对待蚀刻的样品选择具有最适当尺寸的电离团簇和 / 或原子以实现该离子的所希望的每原子能量。该离子枪的质量选择器是一个可变质量选择器,这意指它可以独立于被输入至它的这些离子的源能量而改变由它选择的质量。该可变质量选择器用作一个过滤器以便选择具有选定质量的电离气体团簇和 / 或原子,该选定质量在此意指一个具体质量或更通常地一个质量范围。

[0079] 该可变质量选择器可以选择允许通过该质量选择器的一个质量范围的离子以使得选择如在该离子枪的团簇模式中基本上包括电离气体团簇的离子束;或该质量选择器可以选择一个质量范围的离子以使得选择如在该离子枪的原子模式中基本上包括电离气体原子的离子束。这种灵活性程度在现有技术团簇离子枪中未实现。在团簇模式中,该离子束基本上包括电离团簇。以这种方式,不存在任何显著量的电离原子,这减少了电离原子可能造成的任何损伤。在团簇模式中的离子束的电离原子含量,在该束通过该质量选择器之后,可以是小于所有电离粒子的 1%。在该原子离子模式中,该离子束基本上包括电离原子。在该原子离子束中一些电离团簇的存在不是问题。在包括一个磁场的优选的质量选择器中

选择这些团簇离子或原子离子消除了可能另外造成非均匀剖析的任何不带电荷的团簇或原子。中性原子和团簇的含量可以是小于该离子束的 1%。

[0080] 该可变质量选择器优选地定位于该离子枪中,按离子飞行方向处于该团簇源和电离室的下游。该可变质量选择器进一步优选地定位于至少一个离子引出透镜和至少一个聚光透镜的下游。该可变质量选择器优选地定位于该真空室(例如 UHV 室)的外部,待辐照的表面定位于该真空室中。

[0081] 该可变质量选择器优选地可作为一个高通质量选择器操作(即选择处于或高于给定质量下限的质量)或可以是可作为一个带通质量选择器操作(即选择在一个给定质量带或具有质量上限和下限的范围内的质量)。

[0082] 在本发明中,优选的是使用一个磁性质量选择器、更优选地一个磁性扇区、尤其一个短磁性扇区作为该可变质量选择器。该磁性扇区优选地是可作为一个高通质量选择器操作(即选择处于或高于给定质量下限的质量)和/或可以是可作为一个带通质量选择器操作(即选择在一个给定质量带或具有质量上限和下限的范围内的质量)。

[0083] 优选地,该磁性扇区具有一个长度(即在离子飞行的方向上的长度),该长度不会以显著量增加在该离子枪内的离子飞行路径,例如该磁性扇区的长度优选地不超过从该源(喷嘴进口)至该样品的离子路径长度的约一半、仍然更优选地不超过约三分之一。在一个实施例中例如,从该源至该样品的离子路径是约 600mm,其中仅 200mm 是该磁性扇区的长度。更短的磁性扇区是有利的,因为气体团簇不断散落并且更短的路径长度增加了完整的团簇到达该样品表面的机率。在本发明中,由于针对这些团簇的更低质量方案(即,产生并且质量选择了相对小的团簇)以及浮式飞行管的使用,短的磁性扇区长度是可能的。

[0084] 该磁性扇区优选地包括一个电磁体、更优选地一个可编程电磁体。该磁性扇区因此优选地是可编程的以便改变它选择的质量范围。该磁性扇区的电磁体优选地可以由一个可变电源来控制或编程,该可变电源优选地是在电子控制之下,如计算机控制。以这种方式,该磁性扇区可以用作一个高通或带通(优选地高通)质量过滤器以便消除低于一定尺寸的团簇和原子,即,用于在该团簇模式设定中的该离子枪的操作,其中该高通质量下限可以改变。通过在该高通过滤器中使用一个可编程的电磁体,还有可能在原子离子枪的更常规的模式中操作该枪。在其中例如使用一个永磁体来获得高通过滤的离子枪中,不可能以这些双模式进行操作。

[0085] 该磁性扇区要求所选择的离子遵循一个弯曲路径。弯曲的程度是典型地较小的,例如 1 至 5 度、优选地 1.5 至 4 度并且最优选地是约 2 度。可以使用更大的角度,但将要求更长的磁性扇区或更高的磁场。使用一个典型地具有 3mm 的束孔口时,比这更低的角度将不允许中性物质被从该离子束中有效地消除。因此,优选地,该弯曲路径具有在该扇区的入口与出口之间的例如 1.5 至 4 度的弯曲。使用一个扇区从而还有利地使得能从该束中去除中性气体物质以使得它们不会辐照该表面。否则,中性物质可能造成在聚焦的和扫描的离子束区域之外的蚀刻。在本发明中,优选地该电磁体磁体能够选择例如在 50 至 400 氩原子范围内的一个最小质量(即质量下限)。这样一个团簇尺寸是小于已经典型地在别处使用的并且允许该离子源被设计成以比其他离子源低得多的离子能量工作,并同时保持用于蚀刻材料的表面所要求的相同的每原子能量。该离子枪的总体设计因此可以是更小和更便宜,例如具有一个更简单的磁性扇区设计,因为这些源能量更低。典型地,本发明的离子枪

可以在约 4keV 的离子能量下工作,这与典型地对于其他源的 10keV 或 20keV 形成对比。本发明中优选的质量选择器因此可以是便宜的、简单的以及可编程的。它还可以提供一个短的飞行路径,该短的飞行路径对于产生气体团簇的有效离子束是显著有益的,因为已知团簇具有短寿命。

[0086] 该可变质量选择器优选地包括一个电浮式离子光学装置,该电浮式离子光学装置优选地是一个电浮式飞行管。在工作中将一个电压施加至该变能量离子光学装置以使得,与该质量选择器的磁场结合,该质量选择的更灵活的调整变成可能,并且从而可以实现以广泛不同的团簇和原子模式的工作。该浮式离子光学装置上的电压是独立于该源能量或电压来选择和施加。以这种方式该质量选择器的磁场不必仅仅取决于这些离子的源能量,而是可以使用该浮式离子光学装置来调节在该质量选择器的磁场内的这些离子的能量,以便使一个更简单的磁性质量选择器设计能成为可能,例如具有更低的磁场。该浮式离子光学装置因此减轻了对该磁性扇区中一个更高磁场或一个更长飞行路径的需要。该浮式离子光学装置优选地是至少部分地定位于该质量选择器的磁场内,即优选地至少部分地在该质量选择器内。更优选地,该浮式离子光学装置是定位于该质量选择器内并且基本上沿该磁性质量选择器的长度延伸。以这种方式,该装置可以基本上沿在该质量选择器内的离子飞行路径的长度控制该离子能量。

[0087] 一个电浮式飞行管因此优选地用于该离子枪中,其中这些离子通过该浮式飞行管。该电浮式飞行管优选地是至少部分地定位于该质量选择器的磁场内(优选地该磁性扇区),即优选地至少部分地定位于该质量选择器内,以使得随着这些离子通过该磁场(扇区),它们通过该浮式飞行管。更优选地,该浮式飞行管是定位于该磁性扇区内并且基本上沿该磁性扇区的长度延伸。该浮式飞行管优选地基本上沿在该磁性质量选择器内部的这些离子的飞行路径的长度延伸,例如其中该浮式飞行管基本上沿该磁性扇区的长度延伸。在工作中将一个电压施加至该浮式飞行管以使得,与该质量选择器的磁场结合,该质量选择的更灵活的调整成为可能,并且从而可以实现以广泛不同的团簇和原子模式的工作。该浮式飞行管的电压是独立于该源能量或电压来选择和施加。

[0088] 以下在使用该磁性扇区的优选实施例的背景中更详细地描述该浮式飞行管的用途。将该电压施加至该浮式飞行管以便当这些离子通过该磁性扇区时改变这些离子的能量。该磁性扇区对离子的选择取决于该离子能量和该磁场强度,这取决于由该磁性扇区的磁场引起的这些离子的偏转度。产生的这些离子的源能量可以按另外的方式规定所要求的磁场的范围,但该浮式飞行管可以改变在该磁场中时的这些离子的能量以便使得能使用一个简单磁体,例如具有相对小范围的磁场强度变化。例如,在该团簇模式中,当这些离子通过该磁性扇区时,施加至该浮式飞行管的电压可以阻碍这些离子(即减少它们的能量)。这与该编程的磁场结合,对所选择的质量范围提供额外控制。在原子模式中,当这些离子通过该磁性扇区时,施加至该浮式飞行管的电压可以使它们加速并且因此使在低电流下的空间电荷效应最小化。例如,对于一个给定离子源能量,使用该浮式飞行管来调节在它附近的离子能量时,与仅使用该磁性扇区形成对比,使用该磁性扇区的质量选择可以在良好控制下在更宽范围的质量内改变。

[0089] 在一个已知的离子枪中,用一个特定源能量形成这些离子并且在该束被质量过滤时,该束将保持在这一能量。已知改变这些离子的能量是有益的以便优化该样品蚀刻过程。

然而,由于在随后质量过滤的设计中缺乏灵活性,这是不可完全实现的。例如,如果要求一个高离子能量,则然后将必定要求一个大的磁场,这在实践中、尤其是在有成本效益的方式中可能是难以实现的。在实践中,不使用昂贵的磁性合金难以产生远高于 0.2 特斯拉的磁场。相反,如果要求一个低离子能量,则然后将必定要求一个小的磁场,而这导致不良的质量选择性能。精细地或快速地控制磁场强度也是复杂和昂贵的。本发明中使用一个浮式飞行管允许该离子枪独立地改变这些离子的源能量和在该质量选择器处的这些离子的能量以便优化离子能量和质量选择。该浮式飞行管的使用因而使一个简单的高通磁性扇区能与(例如)不同离子能量一起使用,同时保持独立的质量选择和在一个质量范围上的质量选择以便使该离子枪能选择团簇或原子离子。

[0090] 例如,选择团簇或原子离子的能力将常规地要求该磁场强度中的大的变化,用一个小的且便宜的磁场这点是不容易实现的。然而,本发明使得能使用一个更简单的、更小的磁场磁性扇区,该磁场磁性扇区具有例如适合于一束原子离子的质量选择的一个更低磁强度,但因为该浮式离子光学装置可以用于阻碍这些离子(减少它们的能量),该磁场磁性扇区可以使得能使用同一磁性扇区来质量选择一束团簇离子。使给定质量的离子经由给定角度偏转所要求的磁场将标定(scaled)为该离子的能量的平方根。因此在本发明中,例如,这些离子可以在该飞行管中从 4keV 的源能量由该浮式飞行管阻碍至 1keV 的能量,以使得仅需要没有该浮式飞行管的情况下将要求的磁场强度的一半。这使得能例如在实践中在该质量选择器中使用小于 0.2 特斯拉的磁场强度。在实践中这是一个相当大的益处,因为不使用昂贵的磁性合金难以产生高于 0.2 特斯拉的场。对于处理具有非常脆弱材料的表面可能要求的更大团簇而言,这种益处变得甚至更大。

[0091] 虽然已经在此作为用于该质量选择器的优选实施例描述了一个磁性扇区,将清楚的是可以使用其他类型的可变质量选择器来进行本发明的变化,尤其是可作为一个高通或带通质量过滤器操作的质量选择器。以下是替代质量选择器的实例,这些替代的质量选择器可以取代该优选的磁性扇区,但与该磁性扇区相比具有各种缺点。可以使用一个维恩过滤器但要求另外的在可用空间中难以建造的静电电极,以及附加的另外电子器件。可以使用,例如,如在质谱仪中使用的一个聚焦磁性扇区并且提供优异的质量分辨并且用作一个带通质量过滤器。然而,这些对于本申请而言典型地太大和复杂,在本申请中一个高质通过过滤器(high mass pass filter)是足够的。可以使用一个 RF 四极过滤器但由于 r. f. 控制电子器件其制造和构建是相对昂贵的。此外它们对于高质量(例如高于 500amu)不能很好地工作。一个飞行时间质量选择器被用于 SIMS 的团簇源中,其中要求短的脉冲但不适合用于连续束。使用一个高通磁性扇区来形成该优选的质量选择器是便宜、简单以及可编程的。

[0092] 该离子枪因此使用一个可变质量选择器,该可变质量选择器可以独立于被输入至该质量选择器的这些离子的能量而改变由该质量选择器选择的质量,该可变质量选择器优选地包括一个变能量离子光学装置,该变能量离子光学装置优选地是一个浮式飞行管。因此,该离子枪包括一个变能量离子光学设计,这种设计允许独立于团簇尺寸而改变团簇能量,并且因此将这些碎裂的离子的能量(每原子能量)选择为对于待蚀刻的样品而言最适当的能量。

[0093] 该离子枪优选地进一步包括常规离子光学部件以便使该离子束扫描经过一个表面(例如一对 X-Y 扫描电极)和/或使该离子束聚焦以便将该束带到在待处理的表面处或

附近的一个焦点和 / 或在该表面处实现所希望的离子束斑尺寸（例如一个物镜透镜）。

[0094] 详细说明

[0095] 现将参照附图通过非限制性实施例和实例来更详细地描述本发明。

附图说明

[0096] 图 1 示出从根据本发明的一个离子枪的侧面的示意性视图。

[0097] 图 2 示出从根据本发明的一个离子枪的气体膨胀喷嘴的侧面的示意性视图。

[0098] 图 3 示出从该离子枪质量选择器的区域中在图 1 中所示的实施例的侧面的扩大示意图。

[0099] 图 4 示出从根据本发明的一个离子枪的侧面的另一示意性视图,其中示出了示意性的电源连接和控制。

[0100] 图 5 示出用常规氦离子束和使用根据本发明的一个离子枪的团簇离子束清洗污染的 PTFE 表面的结果。

[0101] 图 6 示出使用根据本发明的一个离子枪用原子氦离子束在硅晶片的氧化表面上蚀刻和深度剖析的结果。

[0102] 图 7 示出在 PTFE 表面上蚀刻和深度剖析的结果。

具体实施方式

[0103] 参见图 1, 示出从根据本发明的离子枪 1 的侧面的示意性视图。使用中的离子枪通过凸缘 22 被固定至一个 UHV 分析室（未图示）的一个端口,在这种情况下该凸缘是一个 UHV 康弗拉特 (conflat) 凸缘。在该 UHV 分析室中,一个样品 24 位于离子枪 1 的瞄准线中。该 UHV 室中的压力是小于 10^{-6} 毫巴并且例如对于 XPS 分析典型地是 2×10^{-7} 毫巴。该 UHV 室配置有分析工具以便使得能在样品 24 上进行 XPS 和任选地 AES 和 / 或其他表面分析。根据本发明的离子枪与在一个高或超高真空环境上的使用完全兼容。在用于这种用途的优选实施例中,该离子枪是可烘烤的并且可以在使用之前与该真空室一起烘烤。

[0104] 离子枪 1 总体上呈具有如现在描述地布置的一系列部件的柱体形式。该离子枪在它的上游端具有一个高压源室 4 并且通过呈进气管 2 的形式的一个进气口将氦气（例如）从一个增压气缸（未图示）引入至源室 4 中。氦是用于与该离子枪一起使用的优选气体,但可以使用其他气体并且还可以使用气体的混合物。该进口和源室 4 中的氦的压力是约 4 巴。在源室 4 的前壁 8 中是一个气体膨胀喷嘴 6,该喷嘴被成形和定尺寸以用于从源室 4 穿过该喷嘴的氦的超音速膨胀。该喷嘴是一个微制造的金属喷嘴并且在图 3 中更详细地示出它的形状。如图 3 中所示的喷嘴 6 在源室 4 中在它的末端具有一个锥形进口 16 和在一个泵抽的真空室 10 中终止的一个锥形出口 18,出口 18 具有 5 度半角锥度。该进口和出口是由具有 100 微米直径或更小的一个孔口 14 来连接。在替代实施例中,可以使用其他形状的喷嘴,如一个拉瓦尔喷嘴或一个音速喷嘴,后者是由一个开孔组成,该开孔没有用于容纳气流的任何成形的区段。

[0105] 该氦通过喷嘴 6 被膨胀至泵抽的真空室 10 中,该真空室是由一个真空泵（未图示）连续抽气至具有约 0.5 毫巴或更小的低真空,室 10 是经由抽气孔口 12 来抽气。随着氦膨胀穿过喷嘴 6,该膨胀气体快速冷却并且形成了具有氦原子的团簇。随着气体通过其膨胀

被加速至超音速,该气体形成一个束,从而在与该喷嘴相距一段距离处创建了一个马赫盘。就在该马赫盘之前,使用经过精心设计以最小化对该超音速束的破坏的一个具有圆锥形外形的分离器 20,从该膨胀束的中心引出团簇和非团簇的单个原子。

[0106] 为了在该分析室中保持一个高真空,采用呈泵抽的真空室 28 形式的第二阶段的差分泵抽,该泵抽的真空室是由一个真空泵(未图示)连续泵抽至具有小于 10^{-3} 毫巴、典型地 4×10^{-4} 毫巴的一个中度真空,室 28 是经由泵抽孔口 32 来泵抽。在第二泵抽阶段 28 之后,该束穿过一个准直器椎体 34 中的一个小孔口进入一个电离室 38 之中。电离室 38,连同下游离子光学器件和质量选择阶段,经由 泵抽孔口 33 被连续泵抽至高真空,其中压力是小于 10^{-4} 毫巴并且典型地是 10^{-5} 毫巴。

[0107] 在电离室 38 中,通过以下方式将来自加热的灯丝 42 的、热产生的电子注入至该电离室中,即通过:使这些灯丝 42 在一个负电位(在这种情况下 100 伏特)相对于该室偏压。该电离室中的这些团簇和这些单个氦原子中的一小部分从而通过电子碰撞被电离以便产生带正电荷的离子。将 4keV 的正电压施加至在其中产生这些离子的该电离室,并且这一正电压决定当这些离子到达样品 24 的表面时这些离子的最终能量。这一电压因此称为源电压。在这种情况下由该离子束辐照的表面 24 被保持在接地电位。在以下这些实例中,将 4keV 用作该正离子源电压但可以使用在 2 至 20keV 范围内的电压,尽管 6keV 或更少的电压是优选的。具有宽范围尺寸的氦团簇的离子以及具有单个氦原子的离子存在于该束中并且由一个引出电极或透镜 44 从电离室 38 在该离子枪柱体中进一步向下游引出,比电离室 38 稍微更负的一个电位被施加至该引出电极或透镜。一旦被引出,这些离子由一个聚光透镜 46 聚焦至具有 3mm 直径的一个束孔口 48 中,该孔口界定该离子束的有效尺寸。在操作中,如果需要,使用该聚光透镜的散焦(de-focussing)可以允许该离子束流被减少。

[0108] 该离子束然后进入大体上在 50 处指示的一个质量选择器。该质量选择器包括位于一个磁性扇区的磁场 B 内的一个电浮式飞行管 52,该磁性扇区包括安装于该离子枪的真空系统的外部的一个软铁磁体(未图示)。磁场 B 被对齐为横向于该离子束通过飞行管 52 的飞行方向。在图 1 中磁场 B 是如由 + 符号指示被引导至图纸之中。磁场 B 是可以过安装于该真空系统外部的一个电磁体 54 编程的,该电磁体产生横向磁场。使用该电磁体来编程该磁性扇区以便使具有所选择的的质量的离子偏转,以便如在下面更详细描述地在一个选择孔口 60 处选择基本上包括具有选定尺寸(质量)的氦团簇或基本上包括原子氦离子的一个束。

[0109] 在现有技术设计中,其中一个束孔口和飞行管是处于接地电位,通过该飞行管的这些离子的能量将是处于由该源电压界定的全部源能量。在这种离子光学设计中由磁场进行的任何质量选择必须被设计成在这一能量下工作。相反,在本发明的设计中,可以将飞行管 52 浮动至独立于该源电压的一个电压。在所示的实施例中,可以将界定束的孔口 48 和飞行管 52 的所有区段浮动至独立于该源电压的一个电压。典型地,为了选择具有团簇的一个束,例如在要蚀刻一种“更软的”聚合物材料的情况下,选择将飞行管 52 浮动在比该源电压小 1kV 的一个电压下以便在该飞行管内产生具有 1keV 能量的一个束(例如使用 4keV 的源电压和 3keV 的飞行管电压)。在这种配置中,这些团簇离子在比该源能量更低的能量下穿过飞行管 52,从而使该质量选择器的设计和它的光学器件更简单。具体而言,通过降低这些团簇的能量,可以使用一个更低强度磁场以便实现对具有所要求的的质量的团簇的选

择。可替代地,如果要求低源能量,那么可以使用浮式飞行管 52 来加速这些离子用于质量选择。使用该飞行管来适当地并且独立于该源能量地调节该离子能量允许在该质量选择器的设计中改进的灵活性。通过用一个更低电流(并且因此更低磁场)来编程电磁体 54,可以选择原子氦离子以便形成通过选择孔口 60 的束从而能蚀刻“更硬的”材料。总体上本发明的设计使得能使用一个更低强度磁场用于选择团簇或原子离子,因为另外使用该浮式飞行管来调节该质量选择器内的这些离子的能量,尤其是例如当选择具有团簇的一个束时来减少这些离子的能量。而现有技术设计将要求不切实际的和昂贵的宽范围的磁场扫描来实现类似的作用。现有技术质量选择器设计将是不切实际的,因为要实现所要求的磁场,它们将是过大和过重的因而不能从一个典型 XPS 分析室上的一个端口安装。产生更高磁场还可能要求使用更昂贵的磁性合金,这可能是花费高昂的。相反,本发明的质量选择器可以是仅使用一个软铁磁体来实施。

[0110] 参见图 3 以便更详细地示出该质量选择,飞行管 52 形成该质量选择器的一部分,并且安装于该真空系统外部的磁性扇区(未图示)的电磁体 54 产生一个 横向磁场 B。在团簇模式中,该电磁体被编程以便使具有所选择的质量(典型地具有高于 200-2000 原子的质量下限的一个质量)的团簇离子 72 的一个束经由 2 度的一个角度偏转以便通过选择孔口 60 退出。具有更低质量的离子 74 被经由一个更大的角度偏转并且不穿过选择孔口 60。具有更高质量的离子 76 被经由一个更小角度偏转并且,如果足够重,将不会穿过孔口 60。类似地,将该 2 度偏转结合至该离子枪柱体的设计中确保了中性团簇和原子(例如非电离的物质或由更大的团簇的碎裂形成的物质)将不会穿过孔口 60,因为它们未被该磁场偏转。在没有以这种方式去除中性物质的情况下,这类物质,如果具有足够低的质量,将对样品造成显著损伤。可能不会引起样品损伤的具有高质量的中性物质仍可能导致该样品的不均匀蚀刻,因为它们不能被偏转电极扫描。使用一个永磁体作为该质量过滤器时这个重要益处是不可能的。在所示的实施例中描述的质量选择器可以因此提供一个带通过滤器。然而,如果被合适地设计,这种类型的过滤器的特性中的固有不对称性允许这个磁性扇区有效地用作一个高通过滤器。在本申请中一个高通过滤器是比一个简单的窄带通过滤器更可取的,因为它产生一个更高的束流。

[0111] 在穿过选择孔口 60 之后,经过质量选择的离子穿过一对扫描偏转器或偏转电极 62、64 用于定位该束和/或在样品表面处执行该束的光栅或扫描功能并且最终穿过一个物镜透镜 68 以便使该束聚焦在样品 24 处。在穿过该物镜透镜之后,该束的能量恢复至它的原始源电压。

[0112] 在一个工作模式中,一起使用偏转器 62、64 和聚焦物镜透镜 68 以使该束以一种光栅图案在样品 24 的表面上聚焦和扫描以便确保在大于该束尺寸的一个弧坑(crater)上的均匀蚀刻。对于深度剖析,这种技术是比使用大面积的未聚焦的束更可取的,虽然这种未聚焦的束可以是适合于简单应用如简单清洗。

[0113] 参见图 4,示出具有示意性电源连接的图 1 的离子枪的部件。一个系统计算机(系统 PC) 110 经由一个电源接口 112 控制用于这些部件的不同高压电源 114,该计算机是经由一个 USB 接口连接至该电源接口的。电源接口 112 还控制到达该电磁体的磁性绕组的灯丝电流和磁体电流。

[0114] 可以用于参见图 1 至 4 描述的离子枪的每个工作模式的典型工作条件如下。

[0115] 氩团簇束模式：

[0116] 进气口压力 3.5 巴

[0117] 源能量电压 4,000V

[0118] 引出透镜电压 3,600V

[0119] 聚光透镜电压 3,500V

[0120] 浮式飞行管电压 2,000V

[0121] 物镜透镜电压 2,300V

[0122] 电离能电压 -120V

[0123] 扇区中的磁场 0.13 特斯拉

[0124] 原子氩束模式：

[0125] 进气口压力 0.6 巴

[0126] 源能量电压 4,000V

[0127] 引出透镜电压 3,000V

[0128] 聚光透镜电压 3,700V

[0129] 浮式飞行管电压 0V

[0130] 物镜透镜电压 2,300V

[0131] 电离能电压 -70V

[0132] 扇区中的磁场 0.01 特斯拉

[0133] 在表面分析之前可以使用该离子枪来清洗一个表面或它可以被用于蚀刻一个样品至所希望的深度。具体而言，该离子枪可以是适合用于深度剖析 XPS 测量，其中在该样品表面的一个区域上进行 XPS 分析，而同时使用本发明的离子枪来蚀刻该区域中的这个表面以便增加该 XPS 分析的深度并且从而揭示该样品在深度方向中的组成。本离子枪使得能够通过一个团簇离子束或原子离子束的适当选择来在软质或硬质样品上进行这样的深度剖析。对于软质材料，例如聚合物材料，用于蚀刻该表面而无对其的显著损伤所要求的每原子能量典型地是从几 eV 至几十 eV，而对于更硬的材料它可以是更高的并且可以选择一个原子离子束。调整到达待蚀刻的材料的该离子能量的能力允许用户优化针对待得到的化学信息的剖析。

[0134] 以下实例说明本发明的不同操作。

[0135] 实例 1

[0136] 为了说明它的有效性，从使用根据本发明的离子枪来蚀刻“按来样的”一个 PTFE 聚合物样品得到数据，该数据具有如图 5A 所示的、示出该样品的 C-F2 氟碳键连同该表面上的一层“外源碳”污染的 XPS 谱。试图用一个常规氩离子束 (200eV) 来去除这种表面污染对该样品造成如图 5B 中所示化学损伤。然而，当用根据本发明的离子枪蚀刻该表面时，在团簇模式 (源能量 4keV；最小团簇尺寸 = 200 原子；最大每原子能量 = 20eV) 中用一个团簇束蚀刻产生了如图 5C 中所示的一个清洁的、未损伤的谱。

[0137] 实例 2

[0138] 参见图 6，示出硅晶片上的 XPS 结果，其上最初具有一个氧化硅薄膜。图 6A 示出在蚀刻之前，即在蚀刻时间 = 0s 并且蚀刻水平 = 0 时，来自该晶片的 Si2p XPS 扫描。蚀刻水平是与蚀刻的深度有关的任意单位，一旦通过使用一个校准样品确定蚀刻速率，该蚀刻水

平就可以被转化成真实“深度”。在未蚀刻的晶片的扫描中,对于纯的未氧化的硅(大峰)和氧化硅(小峰)可以看到单独的峰。然后将离子枪设定至它的氩原子离子模式,并且在4keV的源能量下作为电离的单个氩原子的氩离子辐照该晶片的表面以便穿过该氧化硅表面膜进行深度剖析。如图6B中所示,在178的蚀刻水平下,在该深度剖析完成之后该晶片的XPS谱显示了仅未氧化的硅。图6C中的XPS深度剖析示出该外源碳和该表面氧化物的逐渐去除。仅用一个团簇离子束穿过如硅和氧化硅这样相对硬质材料的深度剖析将确实很慢。

[0139] 实例 3

[0140] 参见图7,示出使用该离子枪在它的团簇模式中用与实例1中相同的设定,在另一个非常精细的样品,即PTFE基板上的一个氟聚合物膜上的深度剖析的XPS结果。众所周知PTFE容易被离子束轰击损伤。如图7A中所示,在蚀刻之前和在该深度剖析过程中,观察到一个良好分辨的氟聚合物谱,该谱示出该样品化学性质的详细信息。在蚀刻穿过该膜之后,观察到如图7B中所示的未损伤的PTFE基板的一个谱,该谱仅示出PTFE的C-F₂键合的碳,其中没有对应于任何断裂的C-F或C-C键的峰。图7C中所示的深度剖析示出穿过一个未损伤的氟聚合物膜至一个未损伤的PTFE膜中的转变。

[0141] 如在此使用的,包括权利要求在内,除非上下文另外说明,否则在此术语的单数形式应当理解为包括复数形式,并且反之亦然。例如,除非上下文另外说明,否则在此包括权利要求中的单数引用,如“一种”或“一个”是指“一个或多个”。

[0142] 贯穿本说明书的描述和权利要求,词语“包括”、“包含”、“具有”和“含有”以及这些词语的变化形式(例如“包括(comprising)”和“包含(comprises)”等)表示“包括但不限于”并且不旨在(并且不会)排除其他部件。

[0143] 应当理解的是,可以作出本发明的前述实施例的变化形式,同时仍落在本发明的范围之内。除非另有说明,否则本说明书中披露的每个特征可以由服务于相同、等同或类似目的的替代特征来代替。因此,除非另有说明,否则所披露的每个特征只是一个一般系列的等同或类似特征中的一个实例。

[0144] 使用在此提供的任何一个以及全部实例、或示例性语言(“例如”、“如”、“举例而言”以及相似语言),仅旨在更好地说明本发明并且不表示对本发明的范围进行限制,除非另外要求。本说明书中的任何语言都不应当被理解为是在指示:任何未提出权利要求的元件是对本发明的实现至关重要的。

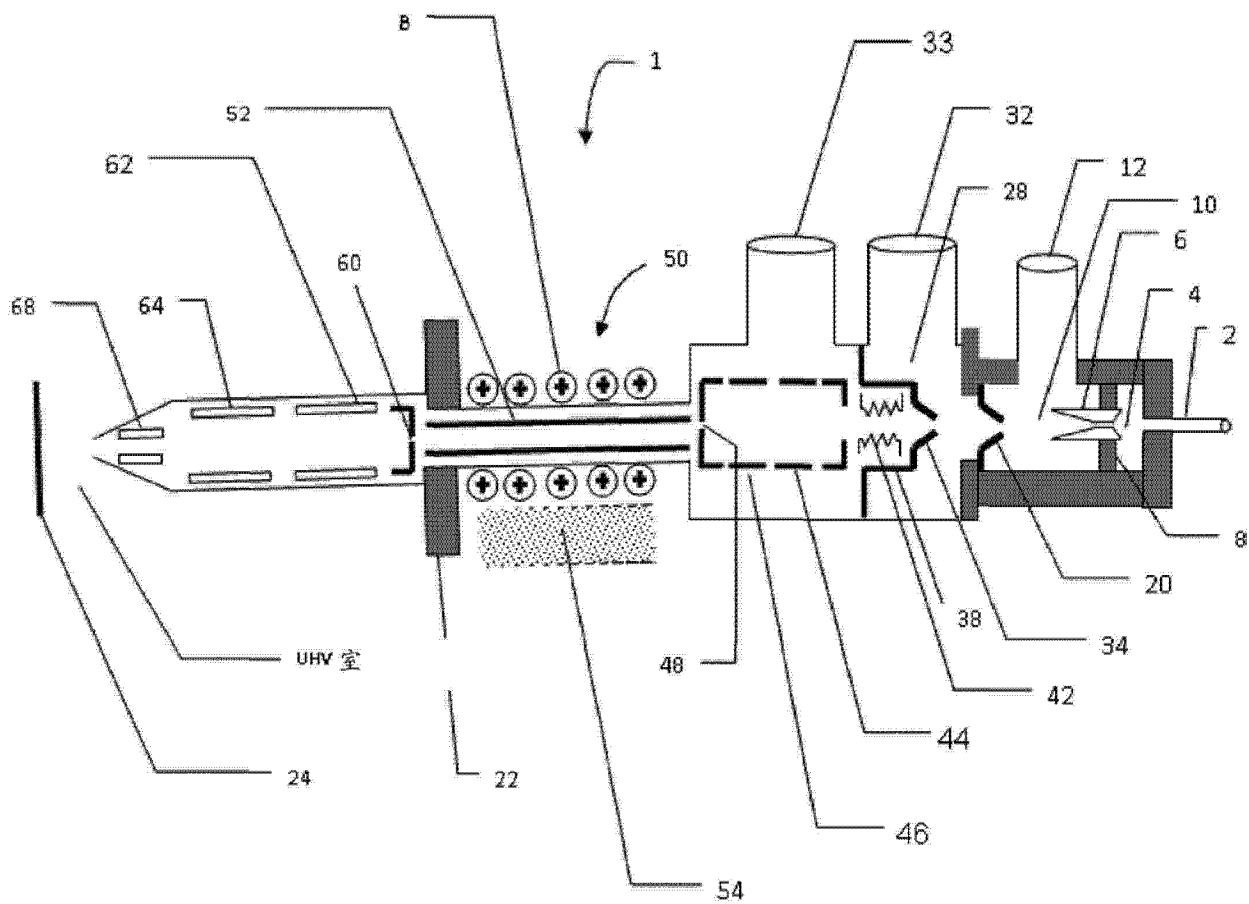


图 1

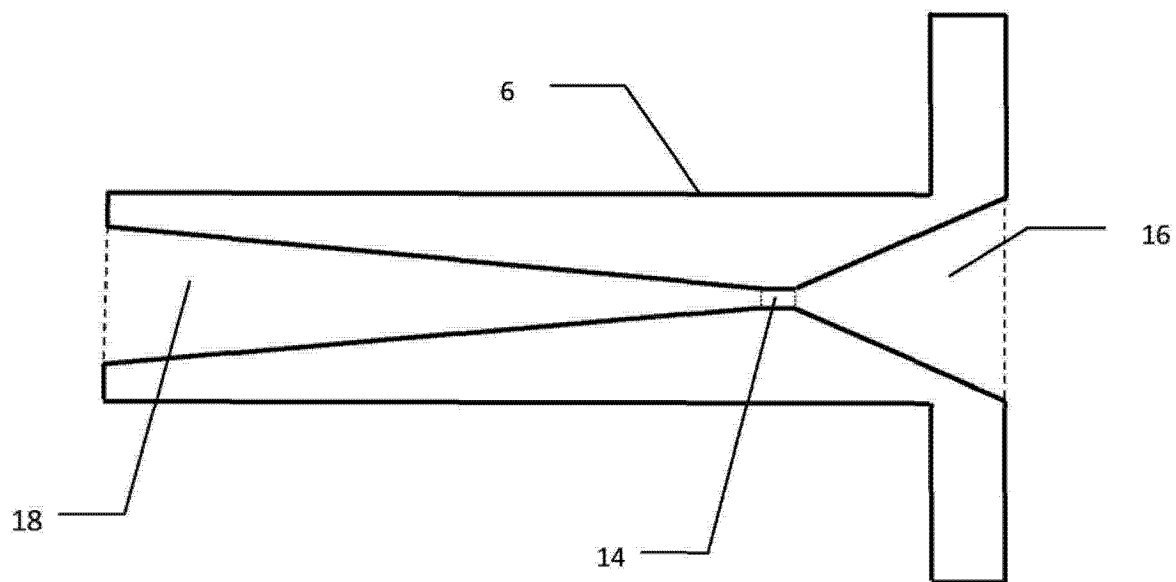


图 2

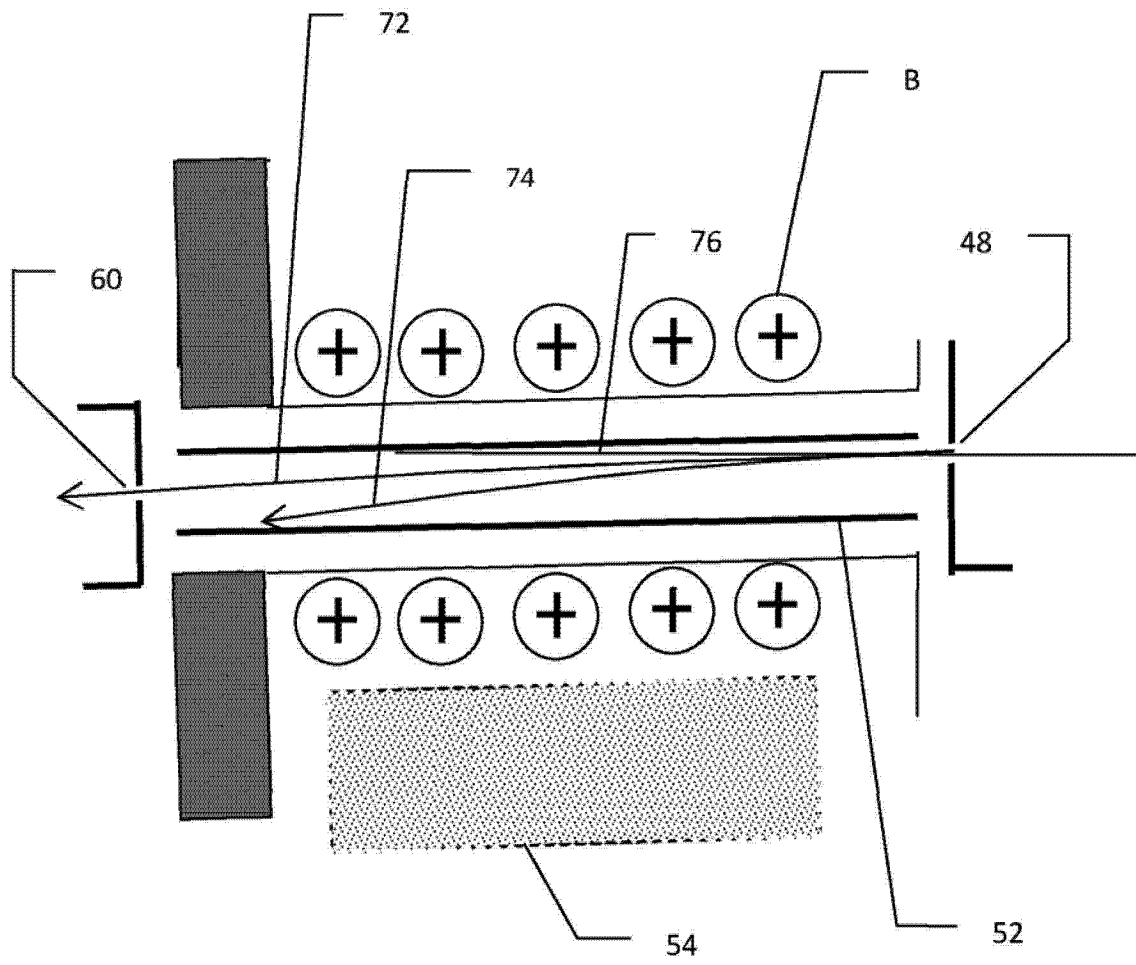


图 3

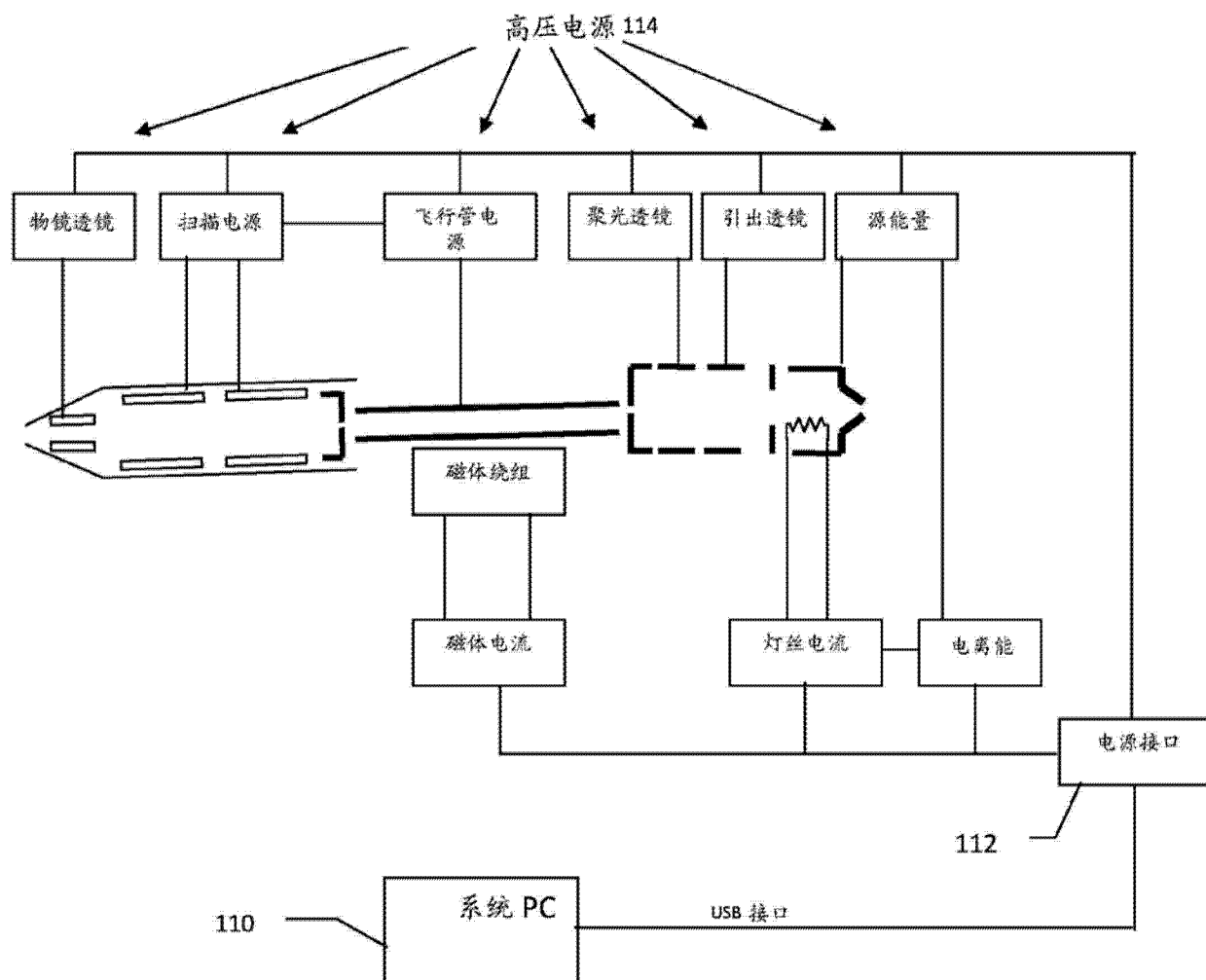
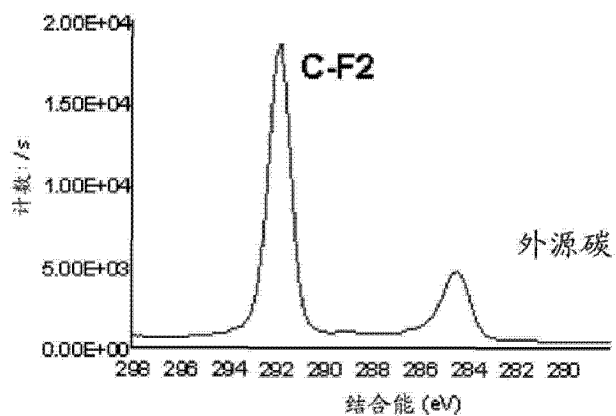


图 4



按来样的PTFE

图 5A

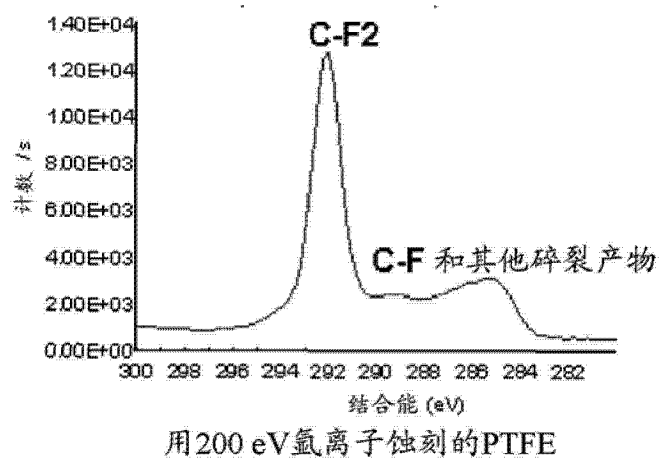


图 5B

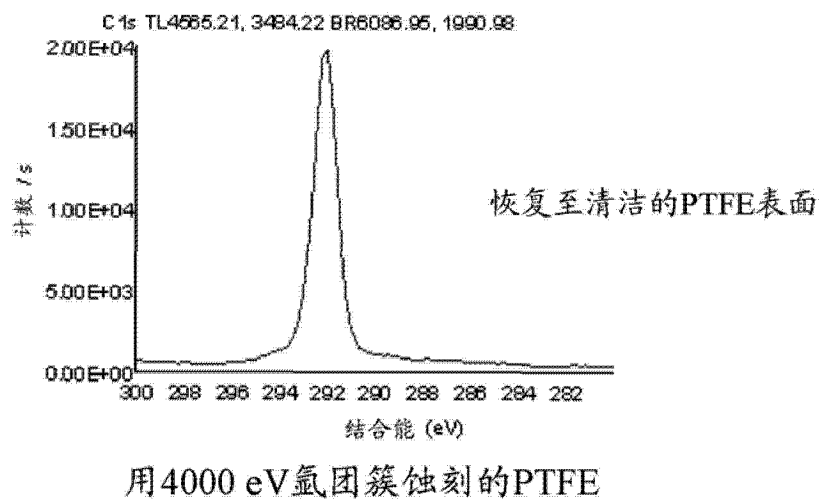


图 5C

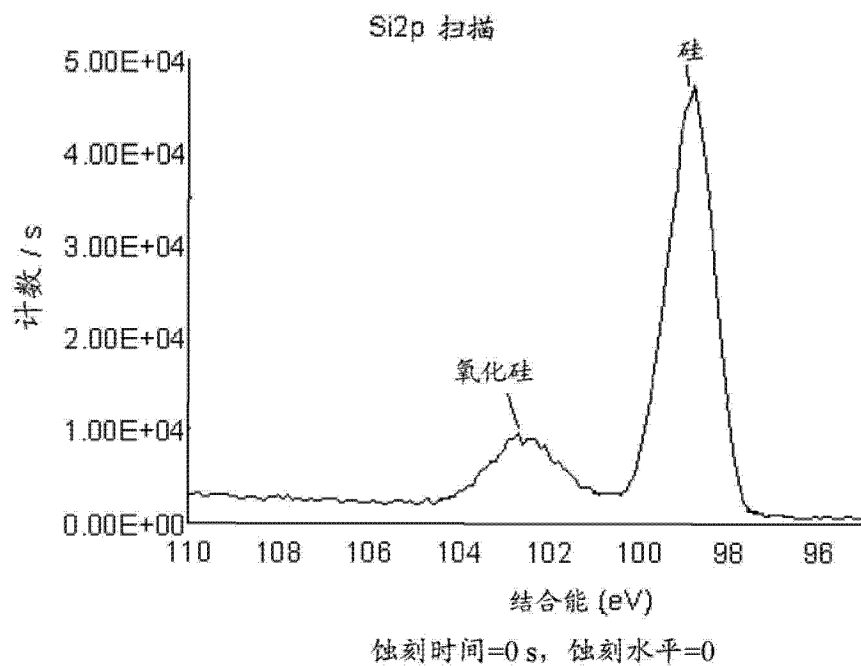


图 6A

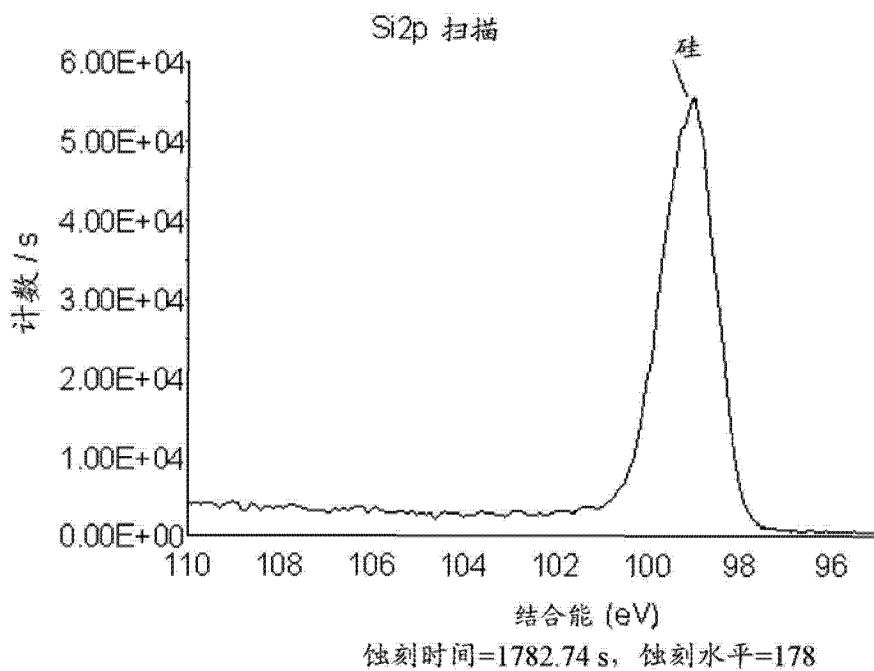


图 6B

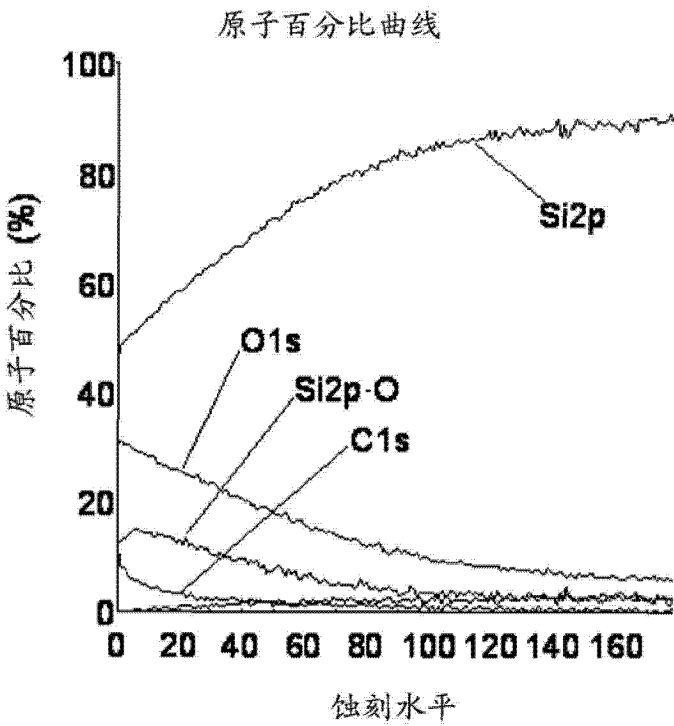


图 6C

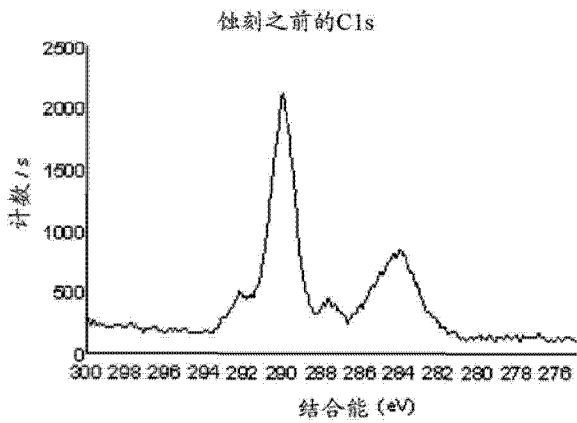


图 7A

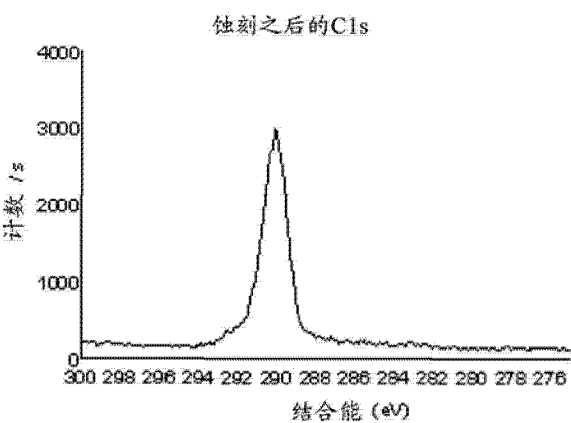


图 7B

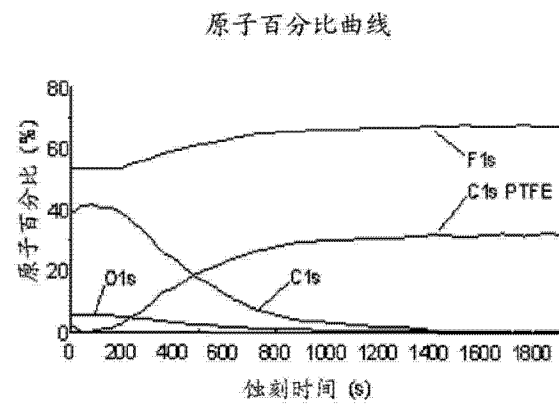


图 7C