

PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的地区
保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

- 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

电子源制造方法

技术领域

本公开涉及电子源技术领域，更具体地，涉及一种场发射的电子源制造方法。

背景技术

金属中的自由电子在特定条件下可以发射出来，若用金属构成阴极并做成极细的针尖状，在真空中施以数千伏电压，金属中的电子即可从阴极冷金属中发射，这种发射电子的方法称为场发射，属于冷阴极发射。

对于电子源而言，最重要的指标就是亮度，直接决定了其束流品质。在引出电压 V_0 下，亮度可如公式 (1) 所示：

$$B = \frac{I}{S \times \Omega} \propto \frac{I}{d^2 \times \alpha^2} \quad (1)$$

其中， B 为亮度， I 为发射电流， S 为等效发射面积， d 为等效直径， Ω 为空间发射角， α 为发射半角。此外，亮度 B 正比于加速电压 V_a ，如公式 (2) 所示。

$$B \propto V_a \quad (2)$$

由公式 (1) 可知，为得到高亮度，需要尽可能得提升 I ，以及减小 α 和 d 。此外，获得一定的发射电流所需要的引出电压 V_0 越低越好，而这需要针尖的发射面具有较低的功函数以及较尖锐的头部结构。另外，电子源的另外一个关键指标就是单色性，可用能散 δE 表示。

综合上述考虑，最理想的电子源就是冷场发射电子源 (cold field emission electron sources, 简称 CFE)，CFE 的亮度高过其它种类电子源约一个量级以上，且有很小的能散 ($\sim 0.3\text{eV}$)。此外，为了尽量追求极限直径，近年来具有低功函数的原子级电子源成为研究热点，即发射点仅有一个或者数个原子组成。

在实现本公开构思的过程中，发明人发现现有技术中 CFE 至少存在如下问题：第一，CFE 稳定性往往很差，需在极高真空下 ($10^{-9} \sim 10^{-8} \text{ Pa}$) 才能工作，这严重限制了其使用范围。而即使在该环境下，也需定期处理以获得较稳定的工作状态。第二，受离子轰击的影响，CFE 较容易烧毁。第三，前述问题在较大发射电流下变得更为严重，现有的 CFE 一般可长时间稳定工作的总发射电流为 ~ 10 微安，且利用率很低。鉴于前述弊端，在高亮度电子源领域占据主导地位的是肖特基式场发射电子源 (Schottky thermal-field emission

source)。

发明内容

有鉴于此，本公开提供了一种可以制造出稳定的、具有较大的场发射电流、可以在较差真空度下工作的电子源的制造方法。

本公开的一个方面提供了一种电子源制造方法，包括：在至少一个针尖上形成一个或多个固定的发射点，所述发射点包括针尖表面的金属原子与气体分子形成的反应产物。由于形成的发射点是固定在针尖表面的金属原子与气体分子形成的反应产物根植于针尖表面，而非游离在针尖表面的气体分子或游离颗粒物等，不会如现有技术中的游离状的物质聚集在一起形成新的发射点而导致过电流烧毁，有效提升了稳定性，此外，形成的发射点包括针尖表面的金属原子与气体分子形成的反应产物，相对于金属原子或其它金属化合物（如金属硼化物等）而言，在工作环境中（存在气体分子）具有更好的稳定性，如更加不容易与工作环境中的例如氢气等发生作用或反应，进一步提升了电子源的稳定性。另外，本公开提供的电子源制造方法制造的发射点可以为一个或数个金属原子与气体分子形成的反应产物，即可以通过控制形成的发射点的数量来形成具有低功函数的原子级电子源。此外，该反应产物使表面功函数显著降低，表面发射点尖锥的形成也使发射能力显著提高。另外，可以通过制备更多数量的发射点来提升场发射电流的电流值。这样就可以制造出稳定的、具有较大的场发射电流的电子源。

根据本公开的实施例，在电场下使所述金属原子与所述气体分子反应形成所述发射点。这样便于在针尖的指定位置，尤其是具有电场优势的位置形成发射点，如针尖的突起处。

根据本公开的实施例，在一个具体实施例中，至少一个针尖包括衬底和所述衬底上的一个或多个比所述衬底其它部位的场强高的高场强结构，其中，至少一个所述高场强结构的外表面包括金属原子，该高场强结构表面的金属原子凭借场强优势在相同的环境中更容易与气体分子形成反应产物，以优先在高场强结构生成发射点。在另一个具体实施例中，至少一个针尖包括衬底和所述衬底上的一个或多个比所述衬底其他部位反应活性大的活性区域，其中，至少一个所述活性区域外表面包括金属原子，该活性区域表面的金属原子凭借活性优势在相同的环境中更容易与气体分子形成反应产物，以优先在活性区域生成发射点。在另一个具体实施例中，至少一个针尖包括衬底和所述衬底上的一个或多个比所述衬底其它部位的场强高的高场强结构，所述高场强结构的至少部分表面是反应活性大的活性区域，其中，所述活性区域外表面包括金属原子，该活性区域表面的金属原子凭借场强

优势和活性优势在相同的环境中更容易与气体分子形成反应产物，以优先在活性区域生成发射点。

根据本公开的实施例，所述高场强结构包括突起。

根据本公开的实施例，所述突起的尺寸为亚纳米至 100 纳米量级。

根据本公开的实施例，所述突起通过以下任意一种或多种方法形成：热处理、施加电场、热-电场处理、刻蚀或者纳米加工，或者如下方法：例如在单晶金属针尖上面镀一层金属原子，通过热处理重塑形成突起。

根据本公开的实施例，对于包括突起的针尖，在真空条件下与气体分子的反应中，所述突起的至少部分表面的金属原子比所述衬底的其他表面部分具有相同或更大的反应活性，即突起表面至少部分区域（如指定区域）上有反应活性相对其他区域大的金属原子。对于不包括突起的针尖，在真空条件下与气体分子的反应中，所述衬底的活性区域的表面的金属原子比所述衬底的其他表面部分具有更大的反应活性。

根据本公开的实施例，所述方法还可以包括如下操作：通过调节所述针尖的衬底和/或高场强结构的尺寸和形状以调节电子束束流角的大小，或者，通过调节高场强结构和/或活性区域的尺寸调节发射点的数量，或者，通过调节衬底的结构和/或高场强结构调节电子源发射电流的电压的大小或一致性，或者，通过调节针尖顶部的形状以调节发射电流方向。这样便于制造出能满足用户各种需求的电子源。例如通过场致刻蚀、场蒸发等方法形成的针尖突起上形成发射点，发射电流为 1 微安时，电压可以低于 -0.5 KV（例如引出电压为 -0.4KV），从而使电子枪结构设计更简单。

根据本公开的实施例，所述气体分子包括含氢元素气体分子以及以下任意一种或多种：含氮元素气体分子、含碳元素气体分子或者含氧元素气体分子。

根据本公开的实施例，所述含氢元素气体分子由引入的含氢元素气体分子构成和/或由真空环境中残存的气体分子构成，相应地，可以通过调节含氢元素气体分子的引入速率调节所述发射点的形成速率，如含氢元素气体分子引入速率处于较高速率时可以提升所述发射点的形成速率。

根据本公开的实施例，所述含氢元素气体分子可以包括氢气分子，所述金属原子可以为钨原子，相应地，所述发射点为氢钨化合物。这样可以在现有的钨针的基础上制造出稳定的、具有较大的场发射电流的电子源，且与现有技术的兼容度较高。

根据本公开的实施例，所述电场为通过施加偏压形成的；其中，所述施加偏压包括以下任意一种或多种：施加正偏压、施加负偏压或者施加正偏压和负偏压相结合。其中，施

加偏压的方式包括但不限于直接给针尖施加偏压或者给针尖附近的部件施加偏压以产生电场，该电场作用与针尖上形成一定的场强以使针尖表面的金属原子与气体分子形成反应产物。

根据本公开的实施例，对于施加正偏压，形成的场强的范围包括 $1\sim 50\text{ V/nm}$ ，这样可以避免由于正偏压引起的场致刻蚀、场致蒸发等导致无法形成发射点。对于施加负偏压，形成的场强的范围包括 $1\sim 30\text{ V/nm}$ ，这样可以避免发射电流过大导致针尖被烧毁或针尖的形貌发生改变。

根据本公开的实施例，当施加负偏压形成发射点时，可以首先给所述针尖施加负偏压，产生电流值为微安量级的发射电流，然后，维持预设时长或调节所述负偏压直至产生预定值的发射电流，接着，调节负偏压使得所述电子源的发射电流小于毫安量级，避免针尖形貌改变或烧毁。

根据本公开的实施例，当施加正偏压形成发射点时，给所述针尖施加正偏压并维持预设时长，所述正偏压的值小于形成所述突起的场致蒸发偏压的值。

根据本公开的实施例，可以通过调节所述施加偏压的值或者调节预设时长的值来调节形成的发射点的数量。这样就可以实现原子级别的电子源或者大发射电流的电子源。

根据本公开的实施例，制造电子源的环境可以包括以下任意一种：针尖温度 $\leq 1000\text{K}$ 时，压强 $\leq 10^{-3}\text{Pa}$ ，或者， $500\text{K}\leq$ 针尖温度 $\leq 800\text{K}$ 时，压强 $\leq 10^{-6}\text{Pa}$ ，或者，当针尖温度 $\leq 150\text{K}$ 时，压强 $\leq 10^{-6}\text{Pa}$ 。由于发射点形成和工作温度较低，电子源结构不改变，在工作时电子源结构不改变，施加电压值不发生变化。

根据本公开的实施例，所述方法还可以包括如下任意一种或多种操作：通过调节发射点的数量以调节发射点的均匀性，或者，通过调节发射点的数量以调节电流的大小，或者，通过增加发射点的数量来增加发射电流的稳定性。

根据本公开的实施例，所述方法还可以包括如下操作：在至少一个针尖上形成一个或多个固定的发射点之后，通过施加电场使得气体分子吸附在发射点上，以去除至少一个发射点。

根据本公开的实施例，所述衬底材料是导电材料，或者，所述高场强结构材料是导电材料，或者，所述衬底和/或高场强结构表面是金属原子，或者，所述高场强结构材料与衬底材料相同或者不同，或者，所述衬底和/或高场强结构表面的金属原子材料与高场强结构材料相同或者不同，当不同时，所述衬底和/或高场强结构表面的金属原子通过蒸镀或者电镀等方式形成，或者，所述衬底和/或高场强结构表面的金属原子材料与衬底材料

相同或者不同，当不同时，所述衬底和/或高场强结构表面的金属原子通过蒸镀或者电镀等方式形成。

根据本公开的实施例，可选地，所述衬底材料是导电材料并且熔点高于 1000K，或者所述高场强结构材料是导电材料并且熔点高于 1000K，或者所述衬底和/或高场强结构表面的金属原子的材料为熔点高于 1000K 的金属材料，以及所述金属原子与气体分子的反应产物包括在真空条件下熔点高于 1000K 的金属原子与气体分子的反应产物。

根据本公开的实施例，可选地，高场强结构或者反应活性大的区域位于所述衬底的表面中心位置，或者，高场强结构位于尺寸大于设定阈值的衬底上，或者，所述金属原子位于所述高场强结构顶端或者所述衬底的表面中心位置。

根据本公开的实施例，所述发射点的消失温度低于所述衬底、所述高场强结构和所述金属原子的消失温度的小值，且所述发射点的消失温度高于所述电子源的工作温度；或者所述发射点的消失温度低于所述衬底、所述高场强结构和所述金属原子的消失温度的小值，且所述发射点的消失温度高于所述电子源的工作温度和吸附于任一针尖上的气体分子的脱吸附温度的大值。

根据本公开的实施例，所述发射点的尺寸为纳米级或亚纳米级；以及通过调节工作电压，针尖发射点发射电流值可达 10mA 量级。

根据本公开的实施例，其中，所述电子源具有冷场发射特点，通过调节引出电压调节发射电流大小。

附图说明

通过以下参照附图对本公开实施例的描述，本公开的上述以及其他目的、特征和优点将更为清楚，在附图中：

图 1 示意性示出了根据本公开实施例的电子源的制备过程示意图；

图 2 示意性示出了根据本公开另一实施例的电子源的制备过程示意图；

图 3A 示意性示出了根据本公开实施例的用于形成发射区域的针尖结构的示意图；

图 3B 示意性示出了根据本公开实施例的高场强结构的示意图；

图 3C 示意性示出了根据本公开实施例的突起表面金属原子的示意图；

图 4 示意性示出了根据本公开另一实施例的用于形成发射区域的针尖结构的示意图；

图 5 示意性示出了根据本公开另一实施例的用于形成发射区域的针尖结构的示意图；

图 6 示意性示出了根据本公开实施例的发射点形成过程的示意图；

图 7 示意性示出了根据本公开实施例的施加正偏压形成发射点的过程示意图；

图 8 示意性示出了根据本公开实施例的发射点数量和发射图案均匀性的关系的示意图；

图 9 示意性示出了根据本公开实施例的调节发射点的数量的示意图；

图 10 示意性示出了根据本公开实施例的调节束流角的示意图；以及

图 11 示意性示出了根据本公开实施例的电子源使用过程的示意图。

具体实施方式

以下，将参照附图来描述本公开的实施例。但是应该理解，这些描述只是示例性的，而并非要限制本公开的范围。在下面的详细描述中，为便于解释，阐述了许多具体的细节以提供对本公开实施例的全面理解。然而，明显地，一个或多个实施例在没有这些具体细节的情况下也可以被实施。此外，在以下说明中，省略了对公知结构和技术的描述，以避免不必要地混淆本公开的概念。

在此使用的术语仅仅是为了描述具体实施例，而并非意在限制本公开。在此使用的术语“包括”、“包含”等表明了所述特征、步骤、操作和/或部件的存在，但是并不排除存在或添加一个或多个其他特征、步骤、操作或部件。

在此使用的所有术语（包括技术和科学术语）具有本领域技术人员通常所理解的含义，除非另外定义。应注意，这里使用的术语应解释为具有与本说明书的上下文相一致的含义，而不应以理想化或过于刻板的方式来解释。

在使用类似于“A、B 和 C 等中至少一个”这样的表述的情况下，一般来说应该按照本领域技术人员通常理解该表述的含义来予以解释（例如，“具有 A、B 和 C 中至少一个的操作”应包括但不限于单独具有 A、单独具有 B、单独具有 C、具有 A 和 B、具有 A 和 C、具有 B 和 C、和/或具有 A、B、C 的操作等）。在使用类似于“A、B 或 C 等中至少一个”这样的表述的情况下，一般来说应该按照本领域技术人员通常理解该表述的含义来予以解释（例如，“具有 A、B 或 C 中至少一个的操作”应包括但不限于单独具有 A、单独具有 B、单独具有 C、具有 A 和 B、具有 A 和 C、具有 B 和 C、和/或具有 A、B、C 的操作等）。本领域技术人员还应理解，实质上任意表示两个或更多可选项目的转折连词和/或短语，无论是在说明书、权利要求书还是附图中，都应被理解为给出了包括这些项目之一、这些项目任一方、或两个项目的可能性。例如，短语“A 或 B”应当被理解为包括“A”或“B”、或“A 和 B”的可能性。

以下首先对现有技术中的场发射行为进行说明以便更好地理解本公开的技术方案。

现有的电子源，如钨（310）单晶针尖的电子源在使用过程中会经历如下三个阶段，首先，是较清洁的电子源，随着气体的吸附，进入稳定期（Stability），然而，随着气体的进一步吸附，电流噪声逐渐出现，进入不稳定期（Instability），电子源稳定性变差，需 Flash 处理（短时间加热至约 2000℃），以重新回到稳定状态。如不及时处理，表面会逐渐出现污染物，发射电流开始剧烈波动，最终导致烧毁。

关于上述烧毁，发明人进一步的研究，表明其与离子轰击密切相关。这是由于电子发射后会电离周围空间的气体分子，进而轰击到针尖。一个可能就是针尖表面被轰击形成多个突起，多个突起分别作为发射点，最后导致过多电流，造成烧毁。还有一种机制，就是吸附到针尖表面的气体分子或其和其它物质的结合物，在电场作用下不断移动，最终在一个表面的缺陷点（如由离子轰击产生）汇集成一个纳米级突起作为发射点，发射点的迅速长大导致了过流，最终导致了针尖的烧毁。

进一步地，前述问题在较大发射电流下变得更为严重。一般可长时间稳定工作的总发射电流为~10 微安，且利用率很低。鉴于前述弊端，在高亮度电子源领域占据主导地位的是肖特基式场发射电子源（Schottky thermal-field emission source）。

本质上讲，对 CFE 而言，任何材料都不能避免气体吸附和离子轰击的影响。但是，如工作在大电流下（>10 微安），电子激励脱气（特别在电子轰击引出极），就会进一步劣化真空度，使得针尖发射稳定性很差，波动幅度极大，更加无法长期稳定工作。因而，如何提供出稳定的、较大的场发射电流，一直是冷场发射电子源发展历程中最主要的挑战。

为了避免上述气体吸附和离子轰击的影响，当前场发射电子源（一般指金属针尖）仅能在超高真空中工作（ $<10^{-8}$ Pa），这严重制约了 CFE 的适用范围，发明人针对于此又进行了进一步深入研究，发现以下特点，真空中残留气体成分有 H_2 ，CO， CO_2 ，而主要成分则是 H_2 。 H_2 的吸附会导致清洁表面的发射能力逐渐变差。可以说在该真空范围， H_2 的影响从根本上决定了针尖的场发射性能。因此，如何应对 H_2 的影响成为实现高稳定度针尖的关键。现有技术中也存在一些技术方案可以缓解气体吸附的问题，例如，通过进一步提高腔体真空度至 1×10^{-9} Pa 量级，Keigo Kasuya 等发明了一种技术（mild flashings at 700℃），使得 W（310）面一直处于一个较清洁的发射状态，延长了其使用时间并获得了高发射能力。该专利的技术方案目前已广泛应用于 Hitachi 的电子显微镜产品中。

此外，还存在一些技术方案直接利用一些针尖表面游离颗粒物（atomic clusters）作为发射点，也是尝试的一种解决方式。这些游离颗粒物，可以通过在较差真空度下长时间放置形成的污染物，电场作用使得这些游离颗粒物可以移动到针尖某处。这种发射点发射角很小（ $\sim 5^\circ$ ），引出电压极低，亮度可以达到传统 W (310) 的 10 倍以上。尽管不能够形成较大的发射电流（一般可以稳定地给出 ~ 10 nA），但是展现出了极好的稳定性（ $< 1 \times 10^{-7}$ Pa）。一个可能推论就是，极小的束流角和发射面积可以有效降低离子轰击的影响。然而，如前所述，这种游离颗粒物是不固定的，发明人发现，在电流较大时（ > 1 μ A），这种电子源容易烧毁，且在工作工程中，还会有这种物质不断出现，逐渐改变其发射状态，很难长时间维持。另外一个问题就是暴露大气时，由于这种物质的尺寸和气体分子可以比拟，极易受到气体的干扰。

基于以上种种分析、推理及实验，发明人提供了本公开的电子源制造方法以提高一种电子源，实现可长期稳定的工作，能提供较大的场发射电流，能在较差的真空环境下工作，且在暴露在大气中时也不易受到气体的干扰。

本公开提供的电子源制造方法，在至少一个针尖上形成一个或多个固定的发射点，所述发射点包括针尖表面的金属原子与气体分子形成的反应产物。由于利用针尖表面的金属原子作为反应物质，其与气体分子形成的反应产物根植于针尖表面，且由于该反应产物是金属原子与气体分子在类似于工作条件下反应形成的反应产物，该反应产物再次与气体分子反应的活性不大，因此稳定性较高，此外，由于可以控制反应产物的数量，因此，可以通过增加反应产物的数量来实现提供较大的场发射电流。另外，由于反应产物是金属原子与气体分子反应形成的反应产物，即使暴露在大气中也不易受气体的干扰。

上述发射点可以通过施加电场使金属原子与气体分子进行反应的方式形成。

在一个实施例中，所述电场为通过施加偏压形成的；其中，所述施加偏压包括以下任意一种或多种：施加正偏压、施加负偏压或者施加正偏压和负偏压相结合。通过施加电场而使得针尖表面的金属原子与气体分子形成的反应产物，具体可以采用多种实现方式，例如，直接给针尖施加电压在针尖表面形成较高的场强以促使针尖表面的金属原子和气体分子发生反应形成的反应产物；也可以是给针尖附近的场强产生结构（如电极等）施加电压形成电场，进而在针尖表面形成较高的场强以促使针尖表面的金属原子和气体分子发生反应形成的反应产物。总之，在针尖表面形成的场，及该场的形成方式不做限定，只要能在针尖表面形成场，该场能促使针尖表面金属原子与周围气体分子反应形成反应产物即可。

以下以在针尖施加偏压形成电场的方式在针尖表面上形成发射点为例进行说明。

图 1 示意性示出了根据本公开实施例的电子源的制备过程示意图。

如图 1 所示，从图 1 的左图中可以看到，在针尖上施加偏压之后，针尖表面和环境中的气体分子会不断的向高场强处移动，接着，在高电场的作用下，促使针尖表面的至少部分金属原子与气体分子生成反应产物，即发射点。右图是对左图中虚线框中图像的放大示意图，左图下方的虚线框为示意性的衬底。从左图可以看到，在给针尖施加偏压后，由于针尖顶端，如突起处的场强最强，环境中的气体分子和针尖表面吸附的气体分子（左图中的灰色小点）会逐渐向针尖顶端聚集，这也是造成现有技术中的钨单晶的电子源发射能力下降的原因之一。从右图可以看出，随着气体分子聚集到电子源的针尖处，通过在针尖处形成场（如电场等）以促使气体分子与针尖表面的金属原子（白色小点）形成反应产物（黑色圆点，即发射点，简称 Ma1），该发射点会根植于针尖表面，而非游离在针尖表面。

图 2 示意性示出了根据本公开另一实施例的电子源的制备过程示意图。

如图 2 所示，图中的阴影部分表示具有大反应活性的区域，发射点形成在上述大反应活性的区域。具体地，大反应活性的区域的表面可以为与气体分子反应活性大的金属原子组成，这样使得这些金属原子可以在如电场的作用下优先与气体分子形成反应产物，以在指定区域形成发射点，如图中黑色圆点所示。

图 3A 示意性示出了根据本公开实施例的用于形成发射区域的针尖结构的示意图。

如图 3A 所示，至少一个针尖包括衬底和所述衬底上的一个或多个比所述衬底其它部位的场强高的高场强结构，其中，至少一个所述高场强结构的外表面包括金属原子。衬底可以为针尖接近顶端的部分，也可以是在针尖表面另外形成的导电材料等。

图 3B 示意性示出了根据本公开实施例的高场强结构的示意图。

如图 3B 所示，高场强结构的形状可以为尖锥形、台形、椭球形、半球形等，高场强结构的数量可以为 1 个、3 个、5 个、10 个等，在此不做限定。

需要说明的是，所述高场强结构材料与衬底材料可以相同或者不同。此外，所述衬底和/或高场强结构表面的金属原子材料与高场强结构材料相同或者不同，当不同时，所述衬底和/或高场强结构表面的金属原子可以通过蒸镀或者电镀方式形成。另外，所述衬底和/或高场强结构表面的金属原子材料与衬底材料可以相同或者不同，当不同时，所述衬底和/或高场强结构表面的金属原子可以通过蒸镀或者电镀方式形成。此外，所示衬底的材料、所述高场强结构的材料与所述针尖的本体的材料相同或不同，在此不做限定。

如图 3B 所示，所述高场强结构可以包括突起(Protrusion)，对应图 3A 中的 Lo1 位置。其中，所述突起的尺寸可以为亚纳米至 100 纳米量级。由于突起处具有高场强优势，当给

针尖施加电压时，在场强的作用下，突起表面的至少部分金属原子会与气体分子形成反应产物。这样就可以简单快捷地在针尖表面的指定位置处形成发射点。此外，突起形成的发射点的数量可控，例如，可以通过增加施加的偏压的时长或者增大突起的尺寸来形成更多的发射点以增大发射电流等。

所述突起通过以下任意一种或多种方法形成：热处理、施加电场、热-电场处理、刻蚀或者纳米加工等，或者如下方法：例如在单晶金属针尖上面镀一层金属原子，通过热处理重塑形成突起。需要说明的是，只要能在针尖表面形成突起的方法都适用，在此不做限定。

可选地，所述衬底材料是导电材料，所述高场强结构材料是导电材料，所述衬底和/或高场强结构表面是金属原子。其中，当所述金属原子的种类和针尖本体或衬底的种类不相同时，可以是通过蒸镀、电镀等方式在针尖表面形成的不同种类的金属原子。优选地，所述衬底材料、高场强结构材料熔点高于 1000K，该金属原子熔点高于 1000K，稳定性更好，且便于利用 Flash（短时高温加热）技术等进行热处理以对针尖进行清洁。例如，该金属材料可以包括以下任意一种或多种：钨、钼、铌、钽、铯、钪、钇、铕、铈、钕、钯、铟、金、铬、钒、锆、钛、或者六硼化金属，例如，其中某一种金属原子单独作为针尖表面的金属原子，或者其中几种金属原子形成的叠层，如钛层\钨层\钼层形成的叠层等，又或者其中几种金属原子混合形成的非单质的金属层，在此不做限定。在一个优选的实施例中，所述金属原子为钨原子，所述气体分子包括氢气，相应地，所述发射点为氢钨化合物。

图 3C 示意性示出了根据本公开实施例的突起表面金属原子的示意图。

需要强调的是，所述衬底、所述高场强结构和所述针尖的本体的材料都可以是金属材料，或不是金属材料（如导电材料即可），当电子源不包括高场强结构时，只要保证所述衬底的表面包括反应活性大的金属原子，且所述衬底可以引入电流即可；当电子源包括高场强结构时，只要保证所述高场强结构的表面包括金属原子，且所述高场强结构可以引入电流即可。

在一个优选的实施例中，高场强结构位于所述衬底的表面中心位置，或者，高场强结构位于尺寸大于设定阈值的衬底上，如尺寸较大的衬底上，或者，所述金属原子位于所述高场强结构顶端的表面中心位置。

此外，可以通过调节所述针尖的衬底和/或高场强结构的尺寸和形状以调节电子束束流角的大小，还可以通过调节高场强结构和/或活性区域的尺寸调节发射点的数量，也可

以通过调节衬底的结构和/或高场强结构调节电子源发射电流的电压的大小或一致性，并且可以通过调节针尖顶部的形状以调节发射电流方向。例如，增大衬底尺寸，则束流角减小；场蒸发使突起高度降低，则束流角减小；突起的尺寸越小，则发射点数量减少越少等。其中，引出电压可低于-0.5KV，如引出电压为-0.4KV。

图4示意性示出了根据本公开另一实施例的用于形成发射区域的针尖结构的示意图。

如图4所示，至少一个针尖包括衬底和所述衬底上的一个或多个比所述衬底其他部位反应活性大的活性区域，对应Lo2位置，其中，至少一个所述活性区域外表面包括金属原子。活性区域如图4的阴影区域所示。活性区域的个数可以为1个、3个、5个、10个等，在此不做限定，发射点可以优先形成在位于针尖顶部区域的活性区域中。

需要说明的是，对于不包括突起的针尖，在真空条件下与气体分子的反应中，所述衬底的活性区域的表面的金属原子比所述衬底的其他表面部分具有更大的反应活性。衬底的材料和所述针尖的本体的材料可以相同或不同。所述活性区域的金属原子可以通过蒸镀或者电镀等方式形成，例如，通过电镀在针尖的轴线与表面相交处形成一定面积的金属原子层，该金属原子层的材料相较于衬底的其它表面的材料与气体分子具有更高的反应活性。相应地，在真空条件下与气体分子的反应中，所述衬底的活性区域的表面的金属原子比所述衬底的其他表面部分具有更大的反应活性。

在一个优选的实施例中，反应活性大的区域位于所述衬底的表面中心位置，或者，所述金属原子位于所述衬底的表面中心位置。

本公开提供的电子源，至少一个针尖包括衬底和所述衬底上的一个或多个比所述衬底其他部位反应活性大的活性区域，其中，至少一个所述活性区域外表面包括金属原子，该活性区域表面的金属原子凭借活性优势在相同的环境中更容易与气体分子形成反应产物，以优先在活性区域生成发射点。

图5示意性示出了根据本公开另一实施例的用于形成发射区域的针尖结构的示意图。

如图5所示，至少一个针尖包括衬底和所述衬底上的一个或多个比所述衬底其它部位的场强高的高场强结构，所述高场强结构的至少部分表面是反应活性大的活性区域，对应Lo3位置，其中，所述活性区域外表面包括金属原子。

在本实施例中，对于包括突起的针尖，在真空条件下与气体分子的反应中，所述突起的至少部分表面的金属原子比所述衬底的其他表面部分具有相同或更大的反应活性，这样可以更加精准的控制发射点在突起的指定区域上形成，如在图5的突起上的阴影区域形成发射点。活性区域表面的金属原子的形成方式可以参考上一实施例中形成活性区域的方式，

在此不再详述。

本公开提供的电子源，至少一个针尖包括衬底和所述衬底上的一个或多个比所述衬底其它部位的场强高的高场强结构，所述高场强结构的至少部分表面是反应活性大的活性区域，其中，所述活性区域外表面包括金属原子，该活性区域表面的金属原子凭借场强优势和活性优势在相同的环境中更容易与气体分子形成反应产物，以优先在活性区域生成发射点。

图 6 示意性示出了根据本公开实施例的发射点形成过程的示意图。

通过在强电场作用下的气体分子和表面原子的化学反应实现形成发射点 Ma1，Ma1 的形成在一定温度下进行。发射点的形成过程是基于对针尖表面的一个小区内氢气吸附行为的深入研究后确定的制备方法。

在一个实施例中，当施加负偏压形成发射点时，可以包括如下操作：首先，给所述针尖施加负偏压，产生电流值为微安量级的发射电流，然后，维持预设时长或调节所述负偏压直至产生预定值的发射电流，接着，调节负偏压使得所述电子源的发射电流小于毫安量级，避免针尖形貌改变或烧毁。

在另一个实施例中，当施加正偏压形成发射点时，给所述针尖施加正偏压并维持预设时长，所述正偏压的值小于形成所述突起的场致蒸发偏压的值。

例如，可以提供钨单晶 (111) 的针尖，经过如上所述的方法在针尖上形成突起，如经过 Flash 处理（加热至 1200K，持续 3s，期间还可以辅以偏压等），这样可以在针尖的表面中间位置形成一个纳米级的突起，其表面是清洁的，参考图 6a 所示，当对针尖加负压至 -2KV 时，形成了场发射模式（field electron emission mode）。为避免离子轰击造成的影响，Ma1 形成温度在 ~50K。在发射点形成的全程，发射电流 (I_E) 一直控制在 5nA 以内，真空度在 10^{-7} Pa。

如图 6b 至图 6e 所示，气体吸附首先导致发射能力下降，荧光屏组件 103 的显示界面上的发射图案逐渐变暗，发射电流逐渐降低，即现有的钨清洁表面的发射能力逐渐下降。

如图 6f 所示，随着时间推移，发射图案近乎完全消失，此时，传统的钨清洁表面发射能力几乎全部消失。

如图 6g 所示，随着继续给电子源施加偏压，本公开所述的发射点开始形成，此时的发射点和之前的发射物质的构成不同，以钨为例进行说明，之前的发射物质为钨单晶的钨原子，此时的发射点为针尖表面的钨原子与气体分子，如钨原子与氢气分子的反应产物，该反应产物固定在针尖表面。

如图 6h 至图 6k 所示, 随着继续给电子源施加偏压或者持续等待, 最终该发射点变得更亮。

如图 6l 所示, 最终, 形成高发射能力的发射点, 发射电流进一步电流增大, 通过对比图 6a 和图 6l, 可以清楚看到, 发射点的发射能力明显提升, 且发射点更加集中在中间突起位置。

在上述过程中, 由于电流一直控制的很小, 且荧光屏与针尖离得很远, 且真空度很好, 可排除离子轰击的影响。另外, 加正高压可以形成相同的场发射特性的物质。而此时完全没有发射电流, 说明, 离子轰击导致的游离的原子级颗粒物没有参与发射点 Ma1 的形成过程。

在发射点 Ma1 的形成过程中, 气体 (如 H_2) 经过了吸附, 在电场下离解, 进一步与表面金属原子产生结合, 形成某种 H-W 反应产物 (compound), 属于 Ma1 的一种, 这种 compound 似乎直接与表面结合, 并不移动。如其它位置也可以形成类似物质, 但是其并不发生移动, 一直是位置稳定的发射点。

与发射能力相关的参数中, 单个发射点的发射能力可以达到 30uA 以上, 远远超过现有的 CFE 的单点发射能力 (~10 微安), 若是形成一个密集的发射区域, 发射图连成一片, 总电流可达 100uA 量级。若增大发射面积, 可以实现 mA 的发射电流。

在不同的真空度下, 具有不同的发射能力。一般来说, 高真空时, 发射电流大, 低真空时, 最大发射电流迅速衰减。形成的发射点的针尖 (The tip terminated by emission site) 具有场发射一致性, 即发射电流的电压具有一致性, 例如, 发射电流为 1 微安时, 电压为 -1.2 ± 0.1 KV。

以下以一个完整的制造流程进行示例性说明。

(一) 关于制造条件

发射点是在真空环境且处于一定温度范围中, 在电场作用下促使针尖表面的金属原子与气体分子生成的反应产物。其中, 电场可以为施加正偏压或负偏压形成的电场, 例如, 施加正偏压时, 场强应为 1~50 V/nm; 施加负偏压时, 场强应为 1~30V/nm。

具体地, 制造设备可以包括真空腔、制冷头 (该制冷头可以包括加热装置)、样品台、加热片、电源、气体引入装置和荧光屏组件, 其中, 真空腔的本底真空度 $\leq 10^{-3}$ Pa (一般应优于 10^{-6} Pa)。制冷头 cold head 上有一个绝缘的样品台 (sample holder), 可以实现在 sample holder 上设置一加热装置 (如加热片、加热棒), 温度可以在 10~500K 之间调整。将预处理好的针尖 (如钨单晶针尖, 该钨单晶针尖可以是具有突起的针尖, 突起的尺寸是 nm 或

亚 nm 级,也可以是具有较大反应活性的区域的针尖)放置在样品台上,对该针尖加电压,电压可以是正高压 V_P ,也可以是负高压 V_N 。电源可以为双路输出高压电源,输出范围 $\pm 0\sim 30\text{kv}$ 。气体引入装置用于引入反应气体分子,如 H_2 ,也可以是其它反应气体,例如含 H 元素气体,水, CH_4 等,气体通入量可以动态调整,一般引入时真空度 $< 10^{-4}\text{Pa}$ (需要说明的是,也可以直接利用强室内残余气体分子,其主要成分为氢气),具体地,所述气体分子包括含氢元素气体分子以及以下任意一种或多种:含氮元素气体分子、含碳元素气体分子或者含氧元素气体分子。此外,可以通过调节含氢元素气体分子的引入速率调节所述发射点的形成速率。荧光屏组件用于将粒子束图像转换成光图像,当信号很小时,可以采用荧光屏-多通道板组件将信号进行放大。当对针尖加电压时,可以引出粒子束,该施加的电压可以是正压、也可以是负压;当正压时,有成像气体时,输出正离子束;当负压时,输出电子束。由于发射点形成和工作温度较低,在工作时电子源结构不改变,施加电压值不发生变化,电压值稳定使电子枪的设计更简单。

(二) 关于制造过程

1、首先形成高场强结构,形成高场强结构的过程可以包括如下操作。

在针尖表面形成场强较强的区域,例如突起,优选地,在针尖正中心形成突起。

其中,突起的材料可以和衬底相同,也可以是异质的。例如,突起的材料是导体,突起最表面的一层或者几层原子是金属原子,突起的尺寸是 nm 级或亚 nm 级,突起可以通过电化学刻蚀、场离子刻蚀、热处理、施加电场、纳米加工等方法或者几种方法的组合形成,或者如下方法:例如在单晶金属针尖上面镀一层金属原子,通过热处理重塑形成突起。

2、使得针尖处于合适的真空环境中,其中,真空环境中包含指定的元素,具体可以包括如下操作。

将针尖置于真空腔室后进行抽真空,然后,通入气体,可以是 H_2 、 N_2 、含 H 元素的气体,例如主要是 H_2 或含 H 元素气体,通过调节气体分子的数量,可以影响发射点的形成速度。此外,气体也可以是真空腔室中残余的气体,例如 H_2 、 H_2O 、 CO 、 CO_2 等。腔室的真空度应当小于 10^{-3}Pa ,较优地,真空度可以小于 10^{-6}Pa 。

3、在施加偏压之前可以调整针尖的温度。针尖温度应低于 1000K;优选地,低温低于 150K,高温位于 500~800K 范围;针尖温度高于 1000K 时,形成的发射点会被去除。如表 1 所示,为发射点的形成条件。

表 1 发射点形成条件表

温度 \ 电场	负偏压	正偏压
低温低于 150K	可形成	可形成
室温	可形成	可形成
高温 500~800K	可形成	可形成

例如, 针尖温度 $\leq 1000\text{K}$ 时, 压强 $\leq 10^{-3}\text{Pa}$, 或者, $500\text{K} \leq$ 针尖温度 $\leq 800\text{K}$ 时, 压强 $\leq 10^{-6}\text{Pa}$, 或者, 当针尖温度 $\leq 150\text{K}$ 时, 压强 $\leq 10^{-6}\text{Pa}$ 。由于发射点形成和工作温度较低, 电子源结构不改变, 在工作时电子源结构不改变, 施加电压值不发生变化。

4、给针尖施加偏压。在电场的作用下, 气体分子和高场强结构(如突起)表面金属原子进行反应, 形成根植于表面的发射点, 施加的偏压可以是正偏压或者负偏压, 或者两者组合。

其中, 当施加正偏压时, 施加的正偏压的电压应低于场致蒸发的电压, 场强应为 $1\sim 50\text{V/nm}$; 当施加负偏压时, 施加的负偏压应低于烧毁电压, 场强应为 $1\sim 30\text{V/nm}$, 此外, 施加负偏压时要及时调节电压, 以免电流过大导致针尖形状改变或烧毁, 一般地, 应当控制针尖的电流小于 mA 量级。

在一个具体实施例中, 以负偏压作用下形成发射点为例进行说明。首先, 将预处理好的针尖(如具有突起且表面清洁的针尖)放置在真空环境中, 优选地, 真空度为 $1\text{E}^{-7}\text{Pa}$ 。对针尖的温度进行调节, 针尖温度应低于 1000K , 针尖温度优选地为低于 150K 的低温或者为 $500\sim 800\text{K}$ 范围的高温, 当针尖温度高于 1000K 时, 形成的发射点会被去除。

然后, 对针尖施加负偏压, 在电场的作用下, 气体分子或吸附在针表面的离子不断向针尖的特定区域移动, 特定区域可以为高场强结构区域和/或具有较大反应活性区域。

接着, 当负偏压加至一定值(如 -3KV), 气体分子与针尖表面的金属原子(例如钨)反应形成发射点, 产生微小发射电流, 例如小于 $1\mu\text{A}$, 随着发射点持续形成, 发射点数量逐渐增多, 总发射电流逐渐增大, 例如 $1\mu\text{A}\sim$ 数十(tens of) μA 。

然后, 持续等待或调节电压, 发射电流剧烈增大至数百(hundreds of) $\mu\text{A}\sim 1\text{mA}$, 要及时快速降低或切断负偏压, 以免针尖烧毁, 一般地, 控制电流小于 mA 数量级, 通过多次缓慢施加负高压, 以获得预定的发射电流。

需要说明的是, 上述施加负偏压过程中, 如果针尖包括如图 3B 所示的突起结构(如对针尖施加正偏压进行场刻蚀得到的超级针结构, 即针尖施加过正偏压), 当负偏压加至一定值(如 -1.2KV), 气体分子与针尖表面的金属原子(例如钨)反应形成发射点, 产生微小发射电流, 例如小于 $1\mu\text{A}$; 可以提高电压使发射点持续形成, 发射电流长至 tens of μA

(如 $30\mu\text{A}$)；之后持续等待或提高电压，场发射点持续形成；场发射点数量逐渐增多，总发射电流逐渐增大。其中，突起结构是对针尖施加正偏压进行场刻蚀得到的超级针结构，当场刻蚀的电压一致时，可以使发射电流的电压具有一致性，例如场刻蚀电压为 $+8\text{KV}$ ，形成了突起，那么稳定发射电流的电压为 -1KV 。

参考图 6 所示，W 针尖 (111) 的突起的清洁表面形成发射点过程如下所示，针尖温度为 $\sim 50\text{K}$ ，真空度为 $10\text{E}^{-7}\text{Pa}$ ；对针尖施加负偏压，W 针尖 (111) 突起清洁表面的场发射图案如图 6a 所示，维持测试，在电场的作用下，气体分子向突起位置移动；由于气体吸附，场发射图案不断变暗甚至完全消失，如图 6a~6g 所示。继续维持负偏压，在一定电场作用下，气体分子与突起表面金属原子进行反应，形成根植于表面的发射点。

在另一个具体实施例中，以正偏压作用下形成发射点为例进行说明。首先，将预处理好的针尖放置在真空环境中，优选地，真空度为 $1\text{E}^{-7}\text{Pa}$ ；针尖具有清洁表面，对针尖的温度进行调节，针尖温度应低于 1000K ，当针尖温度高于 1000K 时，形成的发射点会被去除。

然后，对针尖施加正偏压（例如 $+8\text{KV}$ ），维持一定时间（例如 2 分钟）；正偏压的值应小于场蒸发电压。在电场的作用下，气体分子不断向针尖特定区域移动，反应形成反应产物作为发射点，正偏压与负偏压的所起作用相同，都是为了形成一定的场强。其中，可以调节正偏压的值或者调节维持时间来调节发射点的形成数量。

图 7 示意性示出了根据本公开实施例的施加正偏压形成发射点的过程示意图。

参考图 6 所示，当施加正偏压时，图 6a 所示的清洁表面发射和图 6a~6f 所示的清洁表面发射图案变暗的过程可能观察不到，只能观察到图 6g~6l 所示的发射点的形成过程。如图 7 所示，例如在如图 3B 所示的突起结构表面形成发射点的实施例中，施加正偏压后，直接形成发射点。使用时，对针尖施加负偏压，加至一定值时，例如 -1.2KV ，已经形成的场发射点会发射电流。

需要说明的是，场发射点形成过程中，由于电流一直控制的很小，且荧光屏与针尖离得很远，且真空度很好，可排除离子轰击的影响。另外，加正高压同样可以形成相同的场发射特性的物质，而此时完全没有发射电流，这就说明，离子轰击导致的游离原子级颗粒物没有参与发射点的形成。因此，在发射点形成过程中，气体分子（如 H_2 ）经过了吸附，在电场下离解，进一步与表面金属原子（如钨原子）产生结合，形成某种 H-W 反应产物（compound）。该 compound 似乎直接与针尖表面结合，并不移动，例如，其它针尖的其他位置也可以形成类似物质，但是其并不发生移动，一直是位置稳定的发射点。一般来说，高真空时，电流大，低真空时，最大发射电流迅速衰减。

图 8 示意性示出了根据本公开实施例的发射点数量和发射图案均匀性的关系的示意图。

从图中可以看到，发射点的数量与发射图案均匀性存在对应关系，当发射点越多时，发射图案越均匀。可以通过增加发射点的数量来增加发射图案的均匀性。具体地，可以通过增加突起的尺寸来使得突起可以容纳更多的发射点，例如，突起具有相同的表面积时：发射点数量少，发射电流小，图案不均匀；发射点数量多，发射电流大，图案均匀。

本公开提供的电子源制造方法制造的电子源，形成的发射点具有高发射能力，具有发射点小、能散小和稳定的优点，其中，单个发射点在 nm 或亚 nm 级别，形成的发射点的针尖（The tip terminated by emission site）是场发射电子源，可以通过调节电压来引出和控制电流。例如，单个发射点的发射电流可以达到 30uA 以上，若是形成一个密集的发射区域，发射点连成一片，总电流可达 100uA 量级。若增大形成面积，可以实现 mA 级的电流。在不同的真空度下，具有不同的发射能力。

此外，在大电流下，单个发射点会在同一位置闪烁（重复消失再出现），因此可通过增加发射点数量来增加电流的稳定性。刚反应形成的发射点表面清洁，未吸附气体，具有最大的发射能力，维持工作，由于气体会继续吸附在发射点上，发射能力会下降甚至几乎消失。这种特性可用于去除不需要的发射点，例如，周围的一些发射点，因此，所述方法还可以包括如下操作：在至少一个针尖上形成一个或多个固定的发射点之后，通过给所述电子源施加电场使得气体分子吸附在发射点上，以去除至少一个发射点。例如，通过给所述电子源施加电压以形成电场，在电场的作用下使得气体分子吸附在发射点上，以使得至少一个发射点不发射电流。

以上示例是以具有高场强结构的电子源为例进行说明，但是，上述发射点的形成过程同样适用于具有反应活性大的区域的电子源，在此不再赘述。

图 9 示意性示出了根据本公开实施例的调节发射点的数量的示意图。

如图 9 所示，可以通过调节突起的尺寸来调节发射点的数量，这是由于突起为纳米级，发射点也可以是纳米级，每个突起能容纳的发射点的数量有限，因此，小的突起上可以形成的发射点的数量会少一些。当增大针尖突起尺寸时，可以通过调节电压形成更多的发射点，从而增大发射电流。

图 10 示意性示出了根据本公开实施例的调节束流角的示意图。

如图 10 所示，其中， α 和 β 分别表示束流角，h1 和 h2 分别表示突起的高度。可以通过调整衬底的尺寸和/或突起的尺寸来调节束流角的大小。例如，突起尺寸相同时，衬底

尺寸越小，束流角 α 越大，相反的，突起尺寸相同时，衬底尺寸越大，束流角 β 越小。此外，当衬底尺寸相同时，突起的高度 h_1 越高，束流角 α_1 越大，相反的，突起尺寸相同时，突起的高度 h_2 越低，束流角 β_1 越小。

综述，可以通过增大衬底的尺寸和/或降低场蒸发突起的高度，可以减小束流角。

此外，还可以调节衬底的形状，来改变发射电流方向，例如，与针尖轴线不重合的衬底的发射电流的方向，和与针尖轴线重合的衬底的发射电流的方向不同。另外，控制针尖突起和衬底的结构（例如通过场蒸发或场刻蚀），可以使发射电流的电压具有一致性（如经过场致刻蚀形成的突起，刻蚀电压为 $V_1 \pm 0.5\text{KV}$ ，那么稳定发射电流的电压为 $V_2 \pm 0.1\text{KV}$ ）。

图 11 示意性示出了根据本公开实施例的电子源使用过程的示意图。

如图 11 所示，当给电子源施加负偏压发射电流时，针尖表面的游离物和环境中的气体分子会逐渐吸附在针尖表面使得电子源发射能力下降。由于发射点固定在针尖表面，且发射点消失温度高于上述气体分子的脱吸附温度，因此，可以通过加热使得上述游离物或气体分子从针尖表面脱离，进而恢复电子源的发射能力。

本公开的另一个方面提供了一种电子枪，包括如上所述的方法制备的电子源，以及冷却装置、加热装置和气体引入装置。其中，所述电子源用于发射电子，所述冷却装置用于给所述电子源散热，所述电子源通过电绝缘热导体固定在所述冷却装置上，所述加热装置用于给所述电子源加热调节温度，所述气体引入装置用于引入包含氢元素的气体。由于该电子枪的电子源表面的发射点的形成温度和工作温度较低，在工作时电子源结构不改变，施加电压值不发生变化，电压值也更加稳定，使电子枪的设计更简单。

本领域技术人员可以理解，本公开的各个实施例和/或权利要求中记载的特征可以进行多种组合和/或结合，即使这样的组合或结合没有明确记载于本公开中。特别地，在不脱离本公开精神和教导的情况下，本公开的各个实施例和/或权利要求中记载的特征可以进行多种组合和/或结合。所有这些组合和/或结合均落入本公开的范围。

以上对本公开的实施例进行了描述。但是，这些实施例仅仅是为了说明的目的，而并非为了限制本公开的范围。尽管在以上分别描述了各实施例，但是这并不意味着各个实施例中的措施不能有利地结合使用。本公开的范围由所附权利要求及其等同物限定。不脱离本公开的范围，本领域技术人员可以做出多种替代和修改，这些替代和修改都应落在本公开的范围之内。

权利要求

1. 一种电子源制造方法，包括：

在至少一个针尖上形成一个或多个固定的发射点，所述发射点包括针尖表面的金属原子与气体分子形成的反应产物。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，在电场下使所述金属原子与所述气体分子反应形成所述发射点。

3. 根据权利要求 1 所述的方法，其中：

至少一个针尖包括衬底和所述衬底上的一个或多个比所述衬底其它部位的场强高的高场强结构，其中，至少一个所述高场强结构的外表面包括金属原子，并且/或者

至少一个针尖包括衬底和所述衬底上的一个或多个比所述衬底其他部位反应活性大的活性区域，其中，至少一个所述活性区域外表面包括金属原子，并且/或者

至少一个针尖包括衬底和所述衬底上的一个或多个比所述衬底其它部位的场强高的高场强结构，所述高场强结构的至少部分表面是反应活性大的活性区域。

4. 根据权利要求 3 所述的方法，其中，所述高场强结构包括突起。

5. 根据权利要求 4 所述的方法，其中，所述突起的尺寸为亚纳米至 100 纳米。

6. 根据权利要求 4 所述的方法，其中，所述突起通过以下任意一种或多种方法形成：热处理、施加电场、热-电场处理、刻蚀或者纳米加工。

7. 根据权利要求 4 所述的方法，其中：

对于包括突起的针尖，在真空条件下与气体分子的反应中，所述突起的至少部分表面的金属原子比所述衬底的其他表面部分具有相同或更大的反应活性；以及

对于不包括突起的针尖，在真空条件下与气体分子的反应中，所述衬底的活性区域的表面的金属原子比所述衬底的其他表面部分具有更大的反应活性。

8. 根据权利要求 3 所述的方法，还包括：

通过调节所述针尖的衬底和/或高场强结构的尺寸和形状以调节电子束束流角的大小；并且/或者

通过调节高场强结构和/或活性区域的尺寸调节发射点的数量；并且/或者

通过调节衬底的结构和/或高场强结构的结构调节电子源发射电流的电压的大小或一致性；并且/或者

通过调节针尖顶部的形状以调节发射电流方向。

9. 根据权利要求 2 所述的方法, 其中, 所述气体分子包括含氢元素气体分子以及以下任意一种或多种: 含氮元素气体分子、含碳元素气体分子或者含氧元素气体分子。

10. 根据权利要求 9 所述的方法, 其中:

所述含氢元素气体分子由引入的含氢元素气体分子构成和/或由真空环境中残存的气体分子构成; 以及

通过调节含氢元素气体分子的引入速率调节所述发射点的形成速率。

11. 根据权利要求 9 所述的方法, 其中:

所述含氢元素气体分子包括氢气分子;

所述金属原子为钨原子;

所述发射点为氢钨化合物。

12. 根据权利要求 2 所述的方法, 所述电场为通过施加偏压形成的; 其中, 所述施加偏压包括以下任意一种或多种: 施加正偏压、施加负偏压或者施加正偏压和负偏压相结合。

13. 根据权利要求 12 所述的方法, 其中:

对于施加正偏压, 形成的场强的范围包括 1~50 V/nm; 以及

对于施加负偏压, 形成的场强的范围包括 1~30V/nm。

14. 根据权利要求 12 所述的方法, 其中:

当施加负偏压形成发射点时, 给所述针尖施加负偏压, 产生电流值为微安量级的发射电流;

维持预设时长或调节所述负偏压直至产生预定值的发射电流;

调节负偏压使得所述电子源的发射电流小于毫安量级, 避免针尖形貌改变或烧毁。

15. 根据权利要求 12 所述的方法, 其中, 当施加正偏压形成发射点时, 给所述针尖施加正偏压并维持预设时长, 所述正偏压的值小于形成所述突起的场致蒸发偏压的值。

16. 根据权利要求 12 所述的方法, 其中,

通过调节所述施加偏压的值或者调节预设时长的值来调节形成的发射点的数量。

17. 根据权利要求 2 所述的方法, 其中:

针尖温度 $\leq 1000\text{K}$ 时, 压强 $\leq 10^{-3}\text{Pa}$; 或者

$500\text{K} \leq$ 针尖温度 $\leq 800\text{K}$ 时, 压强 $\leq 10^{-6}\text{Pa}$; 或者

当针尖温度 $\leq 150\text{K}$ 时, 压强 $\leq 10^{-6}\text{Pa}$ 。

18. 根据权利要求 2 所述的方法, 还包括:

通过调节发射点的数量以调节发射点的均匀性; 并且/或者

通过调节发射点的数量以调节电流的大小；并且/或者
通过增加发射点的数量来增加发射电流的稳定性。

19. 根据权利要求 1 所述的方法，还包括：

在至少一个针尖上形成一个或多个固定的发射点之后，通过施加电场使得气体分子吸附在发射点上，以去除至少一个发射点。

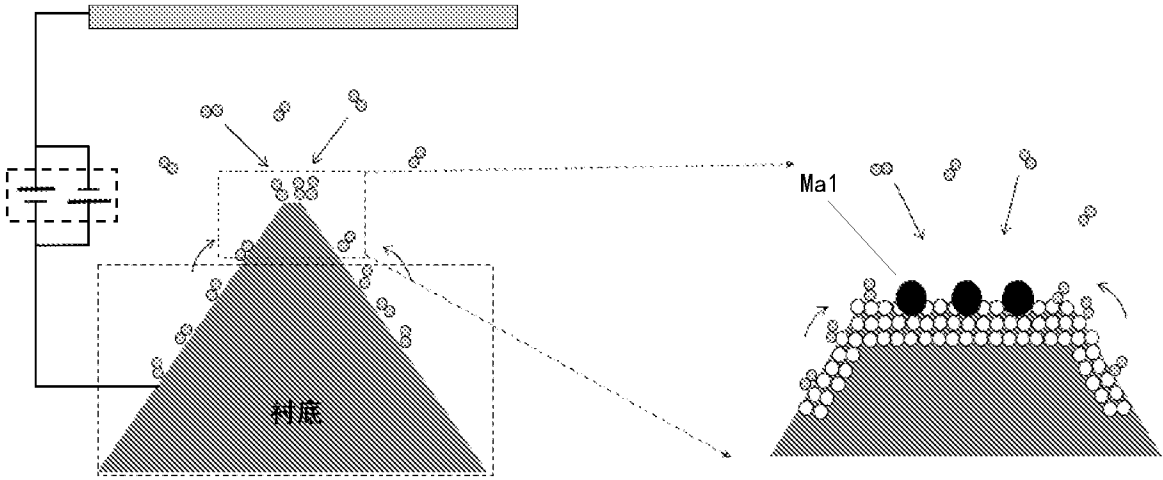


图 1

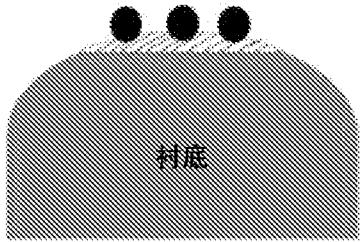


图 2

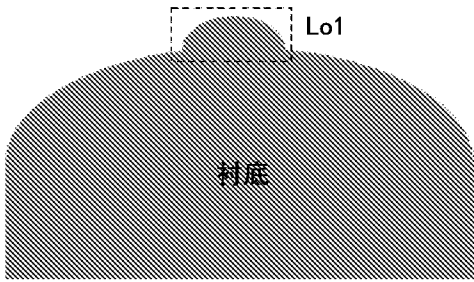


图 3A

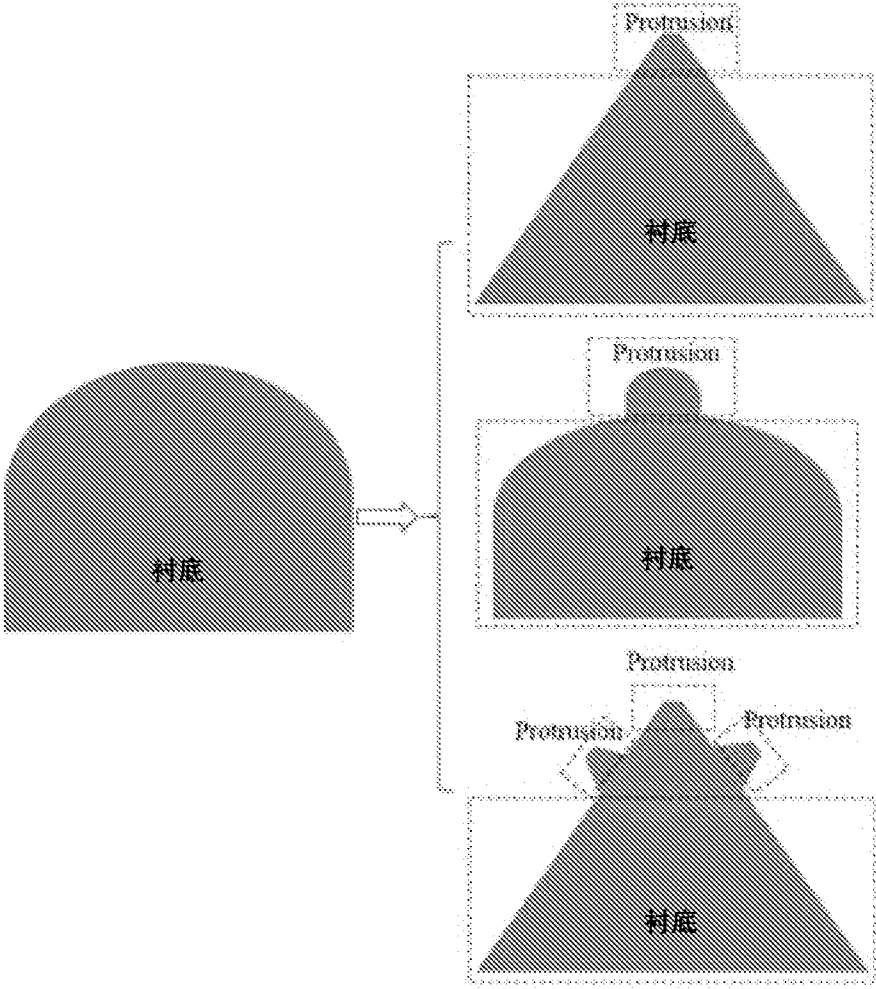


图 3B

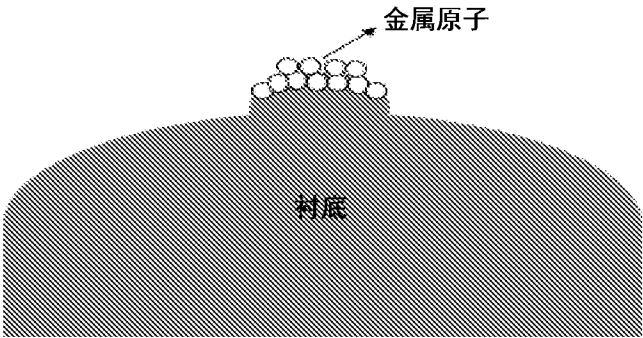


图 3C

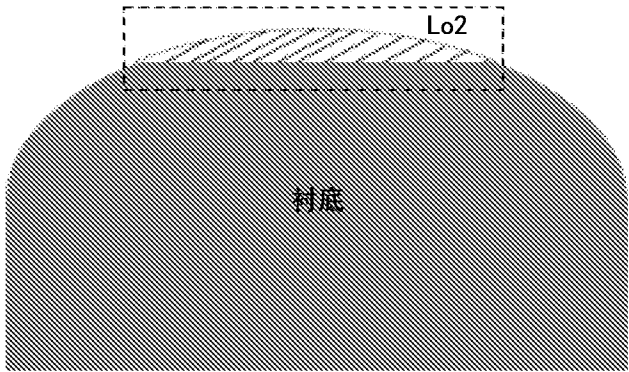


图 4

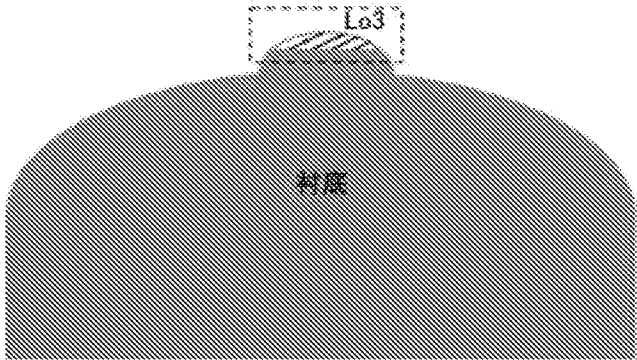


图 5

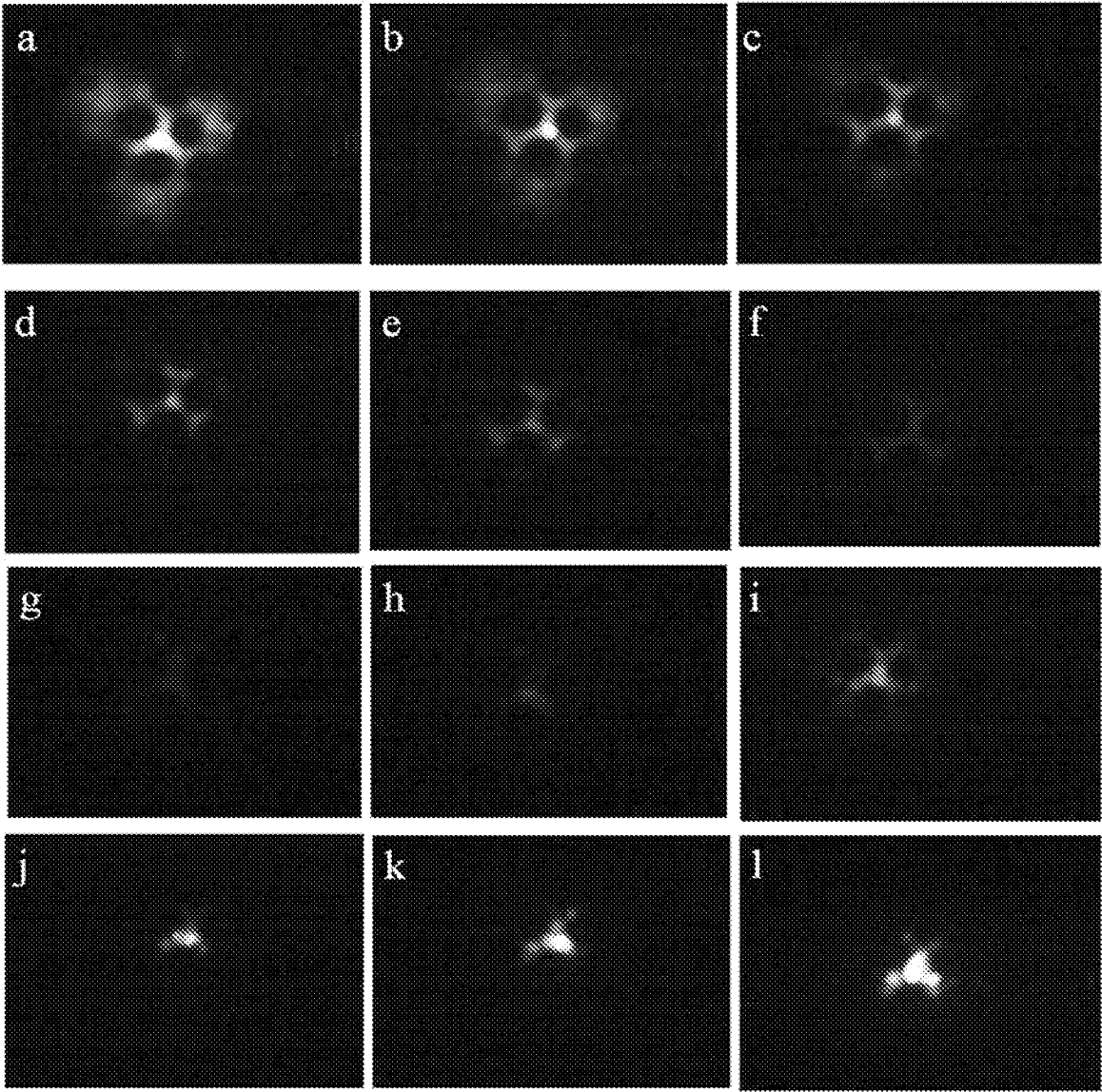


图 6

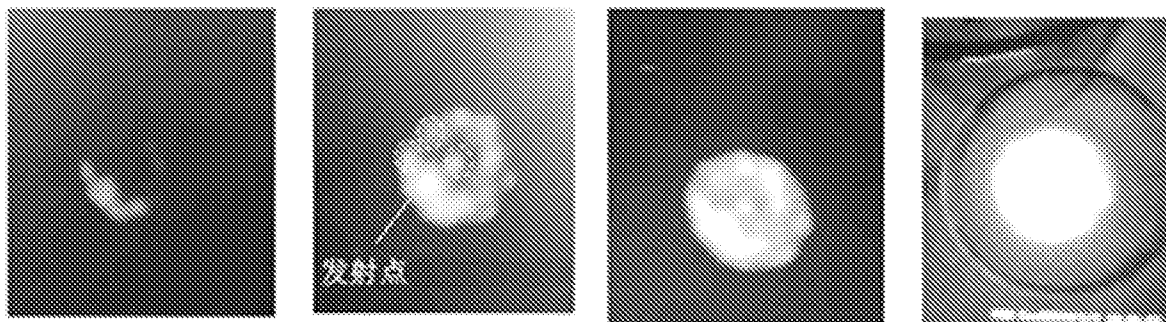


图 7

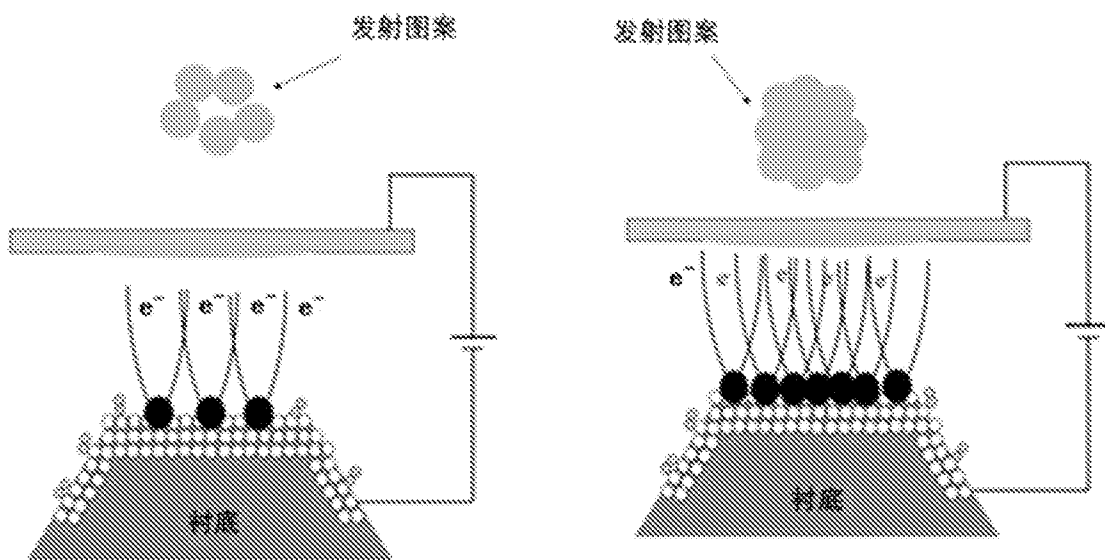


图 8

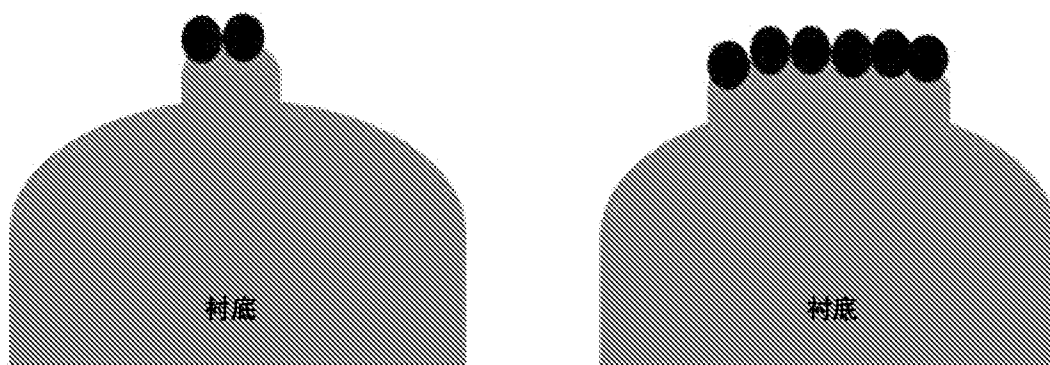


图 9

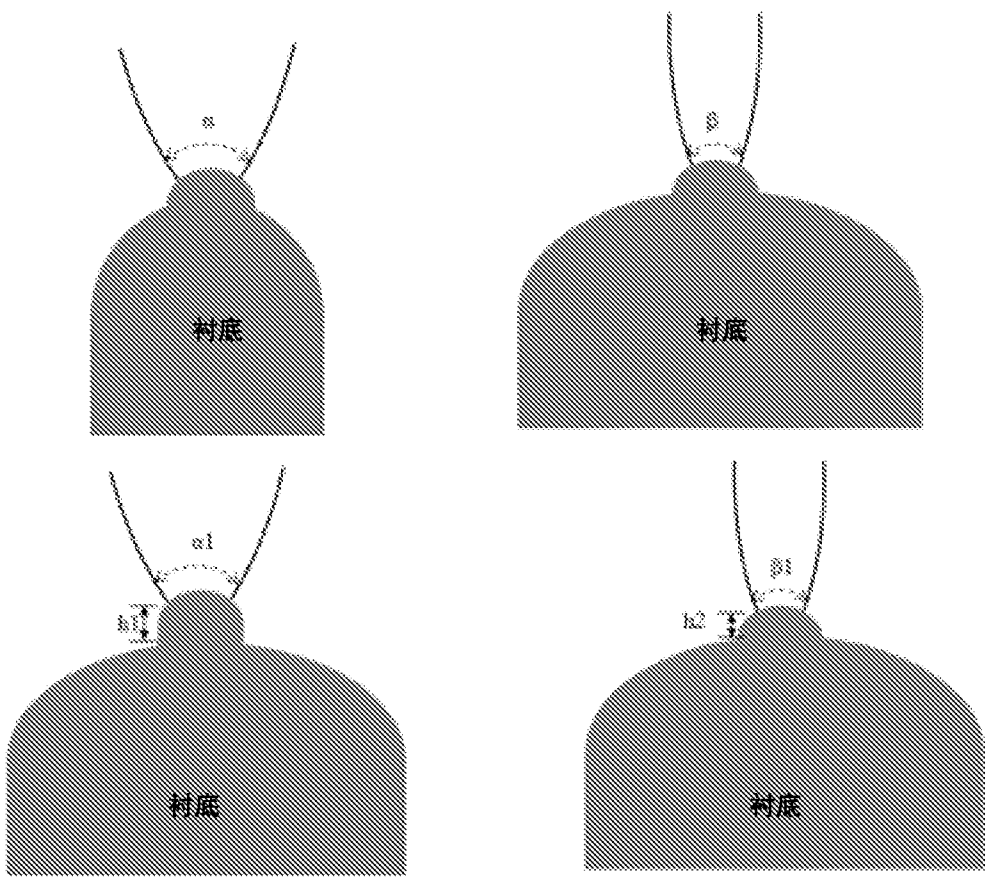


图 10

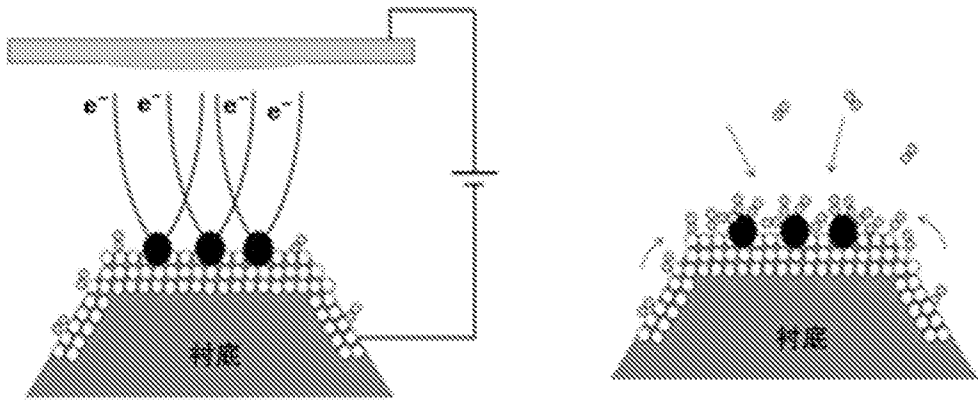


图 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/124330

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01J 37/02(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 电子源, 场发射, 发射源, 电子发射, 冷阴极, 放电, 粒子源, 正极, 负极, 阴极, 阳极, 电极, 针尖, 尖端, 气体, 分子, 反应, 氢化, 化氢, 氢气, 氧气, 氮气, electron, emission, emit, field, cold, cathode, discharge, electrode, anode, tip, needle, gas, react, hydride, oxygen, nitrogen

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 102629538 A (WUJIANG YANGSHENG CATHODE MATERIAL CO., LTD.) 08 August 2012 (2012-08-08) description, paragraphs [0008]-[0057], and figures 1-9	1-19
X	CN 1242592 A (CASIO COMPUTER CO., LTD.) 26 January 2000 (2000-01-26) description, p. 2, paragraph 7 to p. 8, paragraph 3, p. 11, paragraph 4, and p. 14, paragraph 4 to p. 16, paragraph 3, and figures 5-10	1-19
A	CN 101425438 A (TSINGHUA UNIVERSITY ET AL.) 06 May 2009 (2009-05-06) entire document	1-19
A	CN 102842474 A (CHINA ELECTRONIC TECHNOLOGY GROUP CORPORATION NO. 38 RESEARCH INSTITUTE) 26 December 2012 (2012-12-26) entire document	1-19
A	US 5705887 A (OSRAM SYLVANIA INC.) 06 January 1998 (1998-01-06) entire document	1-19



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 June 2019

Date of mailing of the international search report

10 July 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

National Intellectual Property Administration; PRC (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2018/124330

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	102629538	A	08 August 2012	EP	2787522	A1	08 October 2014
				CN	102629538	B	19 March 2014
				JP	2015518245	A	25 June 2015
				WO	2013152613	A1	17 October 2013
				JP	6458727	B2	30 January 2019
				US	2015054398	A1	26 February 2015
				US	9812279	B2	07 November 2017
				EP	2787522	A4	27 April 2016
CN	1242592	A	26 January 2000	KR	99078161	A	25 October 1999
				KR	100374883	B1	06 March 2003
				TW	416083	B	21 December 2000
				JP	2000251834	A	14 September 2000
				US	6281626	B1	28 August 2001
CN	101425438	A	06 May 2009	US	7988515	B2	02 August 2011
				CN	101425438	B	30 March 2011
				US	2009117674	A1	07 May 2009
CN	102842474	A	26 December 2012	EP	2575158	A4	26 June 2013
				US	2013112138	A1	09 May 2013
				JP	2013535089	A	09 September 2013
				EP	2575158	A1	03 April 2013
				JP	5559431	B2	23 July 2014
				US	9017562	B2	28 April 2015
				WO	2012174993	A1	27 December 2012
				EP	2575158	B1	22 April 2015
				CN	102842474	B	25 November 2015
US	5705887	A	06 January 1998	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/124330

A. 主题的分类 H01J 37/02 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类																				
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) H01J 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNPAT, CNKI, WPI, EPDOC: 电子源, 场发射, 发射源, 电子发射, 冷阴极, 放电, 粒子源, 正极, 负极, 阴极, 阳极, 电极, 针尖, 尖端, 气体, 分子, 反应, 氢化, 化氢, 氢气, 氧气, 氮气, electron, emission, emit, field, cold, cathode, discharge, electrode, anode, tip, needle, gas, react, hydride, oxygen, nitrogen																				
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 102629538 A (吴江汤晟阴极材料有限公司) 2012年 8月 8日 (2012 - 08 - 08) 说明书第[0008]-[0057]段, 附图1-9</td> <td>1-19</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 1242592 A (卡西欧计算机株式会社 等) 2000年 1月 26日 (2000 - 01 - 26) 说明书第2页第7段至第8页第3段、第11页第4段、第14页第4段至16页第3段, 附图5-10</td> <td>1-19</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101425438 A (清华大学 等) 2009年 5月 6日 (2009 - 05 - 06) 全文</td> <td>1-19</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102842474 A (中国电子科技集团公司第三十八研究所) 2012年 12月 26日 (2012 - 12 - 26) 全文</td> <td>1-19</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 5705887 A (OSRAM SYLVANIA INC.) 1998年 1月 6日 (1998 - 01 - 06) 全文</td> <td>1-19</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	CN 102629538 A (吴江汤晟阴极材料有限公司) 2012年 8月 8日 (2012 - 08 - 08) 说明书第[0008]-[0057]段, 附图1-9	1-19	X	CN 1242592 A (卡西欧计算机株式会社 等) 2000年 1月 26日 (2000 - 01 - 26) 说明书第2页第7段至第8页第3段、第11页第4段、第14页第4段至16页第3段, 附图5-10	1-19	A	CN 101425438 A (清华大学 等) 2009年 5月 6日 (2009 - 05 - 06) 全文	1-19	A	CN 102842474 A (中国电子科技集团公司第三十八研究所) 2012年 12月 26日 (2012 - 12 - 26) 全文	1-19	A	US 5705887 A (OSRAM SYLVANIA INC.) 1998年 1月 6日 (1998 - 01 - 06) 全文	1-19
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
X	CN 102629538 A (吴江汤晟阴极材料有限公司) 2012年 8月 8日 (2012 - 08 - 08) 说明书第[0008]-[0057]段, 附图1-9	1-19																		
X	CN 1242592 A (卡西欧计算机株式会社 等) 2000年 1月 26日 (2000 - 01 - 26) 说明书第2页第7段至第8页第3段、第11页第4段、第14页第4段至16页第3段, 附图5-10	1-19																		
A	CN 101425438 A (清华大学 等) 2009年 5月 6日 (2009 - 05 - 06) 全文	1-19																		
A	CN 102842474 A (中国电子科技集团公司第三十八研究所) 2012年 12月 26日 (2012 - 12 - 26) 全文	1-19																		
A	US 5705887 A (OSRAM SYLVANIA INC.) 1998年 1月 6日 (1998 - 01 - 06) 全文	1-19																		
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																				
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																				
国际检索实际完成的日期 2019年 6月 25日		国际检索报告邮寄日期 2019年 7月 10日																		
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		受权官员 黄万国 电话号码 86-10-53961457																		

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/124330

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	102629538	A	2012年 8月 8日	EP	2787522	A1	2014年 10月 8日
				CN	102629538	B	2014年 3月 19日
				JP	2015518245	A	2015年 6月 25日
				WO	2013152613	A1	2013年 10月 17日
				JP	6458727	B2	2019年 1月 30日
				US	2015054398	A1	2015年 2月 26日
				US	9812279	B2	2017年 11月 7日
				EP	2787522	A4	2016年 4月 27日
CN	1242592	A	2000年 1月 26日	KR	99078161	A	1999年 10月 25日
				KR	100374883	B1	2003年 3月 6日
				TW	416083	B	2000年 12月 21日
				JP	2000251834	A	2000年 9月 14日
				US	6281626	B1	2001年 8月 28日
CN	101425438	A	2009年 5月 6日	US	7988515	B2	2011年 8月 2日
				CN	101425438	B	2011年 3月 30日
				US	2009117674	A1	2009年 5月 7日
CN	102842474	A	2012年 12月 26日	EP	2575158	A4	2013年 6月 26日
				US	2013112138	A1	2013年 5月 9日
				JP	2013535089	A	2013年 9月 9日
				EP	2575158	A1	2013年 4月 3日
				JP	5559431	B2	2014年 7月 23日
				US	9017562	B2	2015年 4月 28日
				WO	2012174993	A1	2012年 12月 27日
				EP	2575158	B1	2015年 4月 22日
				CN	102842474	B	2015年 11月 25日
US	5705887	A	1998年 1月 6日	无			