

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01L 21/205 (2006.01)

C30B 29/04 (2006.01)

C23C 16/27 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200380100213.1

[45] 授权公告日 2007 年 9 月 12 日

[11] 授权公告号 CN 100337310C

[22] 申请日 2003.12.22

[21] 申请号 200380100213.1

[30] 优先权

[32] 2002.12.27 [33] JP [31] 379229/2002

[86] 国际申请 PCT/JP2003/016492 2003.12.22

[87] 国际公布 WO2004/061167 日 2004.7.22

[85] 进入国家阶段日期 2004.8.11

[73] 专利权人 住友电气工业株式会社

地址 日本大阪府

[72] 发明人 难波晓彦 今井贵浩 竹内久雄

[56] 参考文献

EP0646968A 1995.4.5

US20010043903A1 2001.11.22

JP11-054443A 1999.2.26

JP60-112697A 1985.6.19

JP1-261299A 1989.10.18

JP61-236691A 1986.10.21

JP63-288991A 1988.11.25

JP1-261299A 1989.10.18

The search for donors in diamond KALISH, R, DIAMOND AND RELATED MATERIALS, Vol. 10 2001

金刚石 n 型掺杂的研究进展 韩佳宁 赵庆勋 辛红丽 文钦若, 河北大学学报(自然科学版), 第 22 卷第 01 期 2002

审查员 刘晓静

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

代理人 程金山

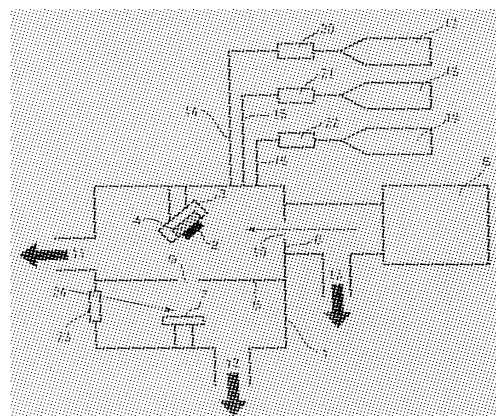
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 1 页

[54] 发明名称

低电阻率 n - 型半导体金刚石及其制备方法

[57] 摘要

本发明涉及掺杂锂的金刚石: 掺杂了锂和氮的低电阻率的 n - 型半导体金刚石, 以及制备这种金刚石的方法。低电阻率的 n - 型半导体金刚石一共包含 10^{17} cm^{-3} 或者更多的锂原子和氮原子, 其中锂原子被掺杂到碳原子晶格间隙位置, 氮原子被掺杂到碳原子的置换位置上, 锂和氮保持互相相邻的排列。为了得到低电阻率的 n - 型半导体金刚石, 在金刚石气相合成方法中, 利用真空紫外光通过光激发光离解源材料和用准分子激光照射锂源材料以散射并提供锂原子, 使得金刚石得以被制造出来。



1. 一种低电阻率 n -型半导体金刚石，一共包含 10^{17}cm^{-3} 或者更多的锂原子和氮原子，其特征在于，低电阻率 n -型半导体金刚石中锂原子浓度 C_{Li} 和氮原子浓度 C_N 是 $0.1 \leq C_{Li}/C_N \leq 10.0$ 。

2. 根据权利要求 1 所述的低电阻率 n -型半导体金刚石，其特征在于：低电阻率 n -型半导体金刚石是单晶金刚石。

3. 根据权利要求 1 所述的低电阻率 n -型半导体金刚石，其特征在于：锂原子被掺杂到构成金刚石的碳原子之间的晶格间隙位置，氮原子被掺杂到它们置换碳原子的置换位置上，锂原子和氮原子保持互相相邻的排列。

4. 根据权利要求 3 所述的低电阻率 n -型半导体金刚石，其特征在于：锂原子和氮原子的中心到中心间的距离为大于等于 0.145nm ，但小于等于 0.155nm 。

5. 根据权利要求 3 所述的低电阻率 n -型半导体金刚石，其特征在于：具有大于等于 0.05eV 但小于等于 0.2eV 的激活能。

6. 根据权利要求 3 所述的低电阻率 n -型半导体金刚石，其特征在于：具有 $10^3\Omega\cdot\text{cm}$ 或者更小的电阻率。

7. 一种利用气相合成技术在基底上制备同时掺杂锂原子和氮原子的低电阻率 n -型半导体金刚石的方法，其特征在于：利用真空紫外光通过光激发光离解源材料。

8. 根据权利要求 7 所述的制备同时掺杂锂原子和氮原子的低电阻率 n -型半导体金刚石的方法，其特征在于：放置在腔室里的锂氧化物被准分子激光束照射，以便从所述氧化物散射锂原子。

9. 根据权利要求 7 所述的制备同时掺杂锂原子和氮原子的低电阻率 n -型半导体金刚石的方法，其特征在于：氮和碳源材料是气态的，它们的供应量是 $0.001 \leq \text{氮量}/\text{碳量} \leq 0.1$ 。

10. 根据权利要求 9 所述的制备同时掺杂锂原子和氮原子的低电阻率 n -型半导体金刚石的方法，其特征在于：氮源材料是氮气或者氨。

11. 根据权利要求7所述的制备同时掺杂锂原子和氮原子的低电阻率 n -型半导体金刚石的方法, 其特征在于: 真空紫外光的波长大于等于 65nm, 但小于等于 75nm。

12. 根据权利要求7所述的制备同时掺杂锂原子和氮原子的低电阻率 n -型半导体金刚石的方法, 其特征在于: 气相合成过程中压力大于等于 1330Pa, 但小于等于 20000Pa。

13. 根据权利要求7所述的制备同时掺杂锂原子和氮原子的低电阻率 n -型半导体金刚石的方法, 其特征在于: 气相合成过程中基底温度大于等于 100℃, 但小于等于 1000℃。

低电阻率 n -型半导体金刚石及其制备方法

技术领域

本发明涉及掺杂锂和氮的低电阻率 n -型半导体金刚石，还涉及这种金刚石的制备方法。具体而言，锂原子被掺杂到单晶金刚石中碳原子晶格间隙位置，氮原子被掺杂到其中的碳原子置换位置上，掺杂剂保持互相相邻的排列。然后本发明涉及通过气相合成发明的低电阻率 n -型半导体金刚石的制备方法——通过依赖于使用真空紫外光的光离解初级粒子的气相合成。

背景技术

金刚石被用作半导体材料已经有一段时间了，它的作为半导体装置基础的实际应用研究正在进行。

在金刚石里，具有格外大的 5.5eV 的能带隙，没有固有间隙——在其中载流子传导被禁止——作为半导体，存在于 1400℃ 或者更低温度下。由于金刚石的介电常数小，是 5.7，它的击穿电场大，是 $5 \times 10^6 \text{V} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。而且，电子/质子类的载流子迁移率高，为 $2000 \text{cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$ 。金刚石还具有不寻常的性质，即它的电子亲和力是负的。具有这些电特性，金刚石可被预期用于制造如功率器件之类的能够承受在高温下以高频和高输出功率工作的半导体装置、发射紫外线的光发射装置和可在低电压下驱动的放电装置。

为了将金刚石用于半导体装置的材料，它的导电形式： p 型或 n 型，必须被加以控制。通过将硼作为杂质加入到金刚石晶体里，可以得到 p 型半导体金刚石。金刚石以 p 型半导体存在于自然界， p 型半导体金刚石可以通过使用化学气相合成法（CVD）将含硼原子的气体引入到源材料气体中而相对容易地合成。

另一方面， n 型半导体金刚石在自然界中不存在，虽然直到最近它的合成仍然被证明是难以实现的，然而近来具有相对良好的晶体性质的单晶 n 型半导体已经通过在微波等离子体 CVD 技术中使用磷和硫作为掺杂剂

优化合成条件而获得。而且，通过使掺杂有磷和硫掺杂剂的 n 型半导体金刚石和掺杂有硼的 p 型半导体金刚石结合起来，*pn* 结形成于原型 UV-发射发光二极管。

然而，在具有良好的晶体性质的单晶 n 型半导体金刚石里，甚至在性能最好的磷或硫掺杂的 n 型半导体金刚石里，室温电阻率位于 $10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 的水平，与其它半导体材料的电阻率相比，它的电阻率如此之高，以至于把金刚石列入绝缘体范畴。而且，假设由于它们的激活能相当大，这些 n 型半导体金刚石的电阻率的温度依赖性相当大——对于磷掺杂的金刚石，激活能大约为 0.6eV，对于硫掺杂的金刚石，激活能大约为 0.4eV——在宽的温度范围里，采用这些 n 型半导体金刚石的装置的稳定应用一直是成问题的。

而且，构成金刚石的碳原子的共价半径是 0.077nm，而磷的共价半径是 0.106nm，硫的共价半径是 0.102nm。因为磷和硫的共价半径相比于碳的共价半径是相当大的，存在这样一个问题，即掺杂磷和硫的气相合成的情况中，如果金刚石气相沉积到 $10 \mu\text{m}$ 的数量级或者更高的厚度，在沉积的金刚石里会出现裂纹。

除了磷和硫，已经被实验证实的掺杂后具有 n 型半导体特征的掺杂剂包括氮，但是掺杂氮的金刚石的激活能大约是 1.7eV，室温电阻率是 $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 或者更大，氮掺杂的金刚石是绝缘体。

同时，众所周知加入了锂的金刚石将显示 n 型半导体特征。例如，日本未审查的专利申请公开号为 H03-205398、H04-175295、H11-54443 的专利揭示的技术中，利用热-灯丝 CVD 方法或者各种等离子体 CVD 方法，用锂或者水或液态有机化合物——其中任一个包含有锂化合物——作为源材料，或者在其中锂或者锂化合物被气化并被引入到沉积反应堆，在金刚石气相沉积过程中掺杂锂以形成低电阻率 n-型半导体金刚石。

然而，这些方法存在的问题是：由于锂在金刚石里到处运动而不能达到稳定的电特性；并且，在金刚石的气相沉积过程中，由于锂和同时包括的氢之间的键合，锂不能被电激活。

在另外一个例子里，在日本未审查的专利申请公开号为 H07-106266 的专利揭示的技术中，通过将锂引入到金刚石晶格间隙内而得到低电阻率 n-型半导体金刚石。这项技术是这样一种方法，在其中，用锂的氮化合物

作为源材料, ECR 等离子体被用于将锂掺杂到金刚石里而不破坏它的晶体性质。然而, 用这种方法, 虽然锂离子直径 (0.060nm) 和氮离子直径 (0.027nm) 均小于碳的共价直径 (0.077nm), 锂和氮都可以进入到金刚石晶格间隙内而不破坏它的晶体结构。大量锂和氮结束于被掺杂到金刚石晶格间隙内, 然而采用这种方法, 锂和氮被结合的浓度不容易控制。氮的另一个问题是尽管它被掺杂到晶格间隙内, 它作为 *n*-型掺杂剂却根本不能被激活; 大量掺杂在晶格间隙内的氮极剧降低 *n* 型半导体的性质, 以致不能得到所寻求的低电阻率的 *n*-型半导体性质。

发明内容

本发明旨在解决上述问题。特别是, 本发明的一个目标是解决锂掺杂的情况中出现的问题, 以提供具有良好晶体性质的低电阻率 *n*-型半导体金刚石, 和提供这种金刚石的制备方法。

本发明的低电阻率 *n*-型半导体金刚石一共包含 10^{17}cm^{-3} 或者更多的锂和氮原子。锂原子浓度 C_{Li} 和氮原子浓度 C_N 优选是 $0.1 \leq C_{Li}/C_N \leq 10.0$ 。该低电阻率 *n*-型半导体金刚石优选是单晶金刚石。然后, 优选地, 锂原子被掺杂到构成金刚石的碳原子之间的晶格间隙位置, 氮原子被掺杂到它们置换碳原子的置换位置上, 锂原子和氮原子保持互相相邻的排列。其中优选锂原子和氮原子的中心到中心距离为大于等于 0.145nm 但小于等于 0.155nm。本发明的低电阻率 *n*-型半导体金刚石的激活能大于等于 0.05eV, 但小于等于 0.2eV, 而它的电阻率为 $10^3\Omega \cdot \text{cm}$ 或者更小。

通过气相合成技术在基底上形成本发明的低电阻率 *n*-型半导体金刚石的制备方法, 其特征在于利用真空紫外光的光激发光离解源材料。优选地, 放置在腔室里的锂氧化物被准分子激光束 (excimer laser beam) 照射, 将锂原子从锂氧化物散射出来, 并使它们到达基底附近。

而且, 氮和碳源材料是气态的, 它们的供应量是 $0.001 \leq \text{氮量}/\text{碳量} \leq 0.1$, 氮源材料是氮气或者氨。上述的真空紫外光的波长优选大于等于 65nm, 但小于等于 75nm。优选地, 在上述的气相合成过程中压力大于等于 1330Pa, 但小于等于 20, 000Pa, 基底温度大于等于 100°C, 但小于等于 1000°C。

附图说明

附图示出了在本发明中使用的金刚石合成设备的一个例子。

具体实施方式

发明者发现为了得到具有良好晶体性质的低电阻率 n -型半导体金刚石，金刚石应该同时掺杂 10^{17}cm^{-3} 或者更多的、共价半径小于构成金刚石的碳的共价半径（ 0.077nm ）的氮（共价半径 0.074nm ）和锂（离子半径： 0.060nm ）。在低电阻率 n -型半导体金刚石里锂原子浓度 C_{Li} 与氮原子浓度 C_N 之比 C_{Li}/C_N 优选是大于等于 0.1 而小于等于 10.0 。如果锂或者氮任一个少于 10^{17}cm^{-3} ，金刚石不能具有低电阻率。同样，如果锂原子浓度与氮原子浓度之比 C_{Li}/C_N 小于 0.1 ，电阻率的温度依赖性被证明与单独掺杂氮一样大。出于同样原因，如果锂原子浓度与氮原子浓度之比 C_{Li}/C_N 大于 10.0 ，由于锂在金刚石里到处运动而不能达到稳定的电特性。

尽管在单独掺杂锂的金刚石存在这种情况，即掺杂的锂如早些时候所讨论的在晶格间隙里到处运动，发明者发现如果在掺杂锂的同时，把氮掺杂到其置换构成金刚石的碳原子的置换位置上，掺杂到晶格间隙里的锂将不再运动，使得具有良好晶体性质的低电阻率 n -型半导体金刚石能被制备出来。在此，锂原子和氮原子的中心到中心距离优选为大于等于 0.145nm ，但小于等于 0.155nm 。中心间距小于 0.1456nm 或者大于 0.155nm 抑制锂和氮的同时掺杂。

发明者发现为了给掺杂制造这样一种环境，通过气相合成制备低电阻率 n -型半导体金刚石的一种有效方法是利用真空紫外光的光激发。在利用波长大于等于 65nm 但是小于等于 75nm 真空紫外光的光激发的金刚石气相合成中，利用真空紫外光照射和光激发氢和含碳源材料如甲烷，在适宜的温度和压力条件下引入，可以选择性地通过光分解作用产生 CH_3 原子团（radical）和 H 原子团；在金刚石气相合成中，几乎没有 CH_2 原子团和 CH 原子团，这些是在即将形成的金刚石里产生晶体缺陷的原因。因此在制备的金刚石薄膜里晶体缺陷是最低限度的，因此可获得具有优良性质的薄的金刚石薄膜，其中，包括最低限度的晶体性质不同的杂质。同步加速

器辐射、波荡器或者超高温度的等离子体如激光等离子体可以被用作真空紫外光的来源。

为了制备掺杂锂和氮的金刚石需要提供锂和氮的源材料。发明者发现对于提供锂的方法，为了实现这样一个目标，即除了 CH_3 原子团，不产生破坏金刚石晶体性质的 CH_2 原子团和 CH 原子团，可以通过利用准分子激光照射锂的氧化物以使锂原子从氧化物散射出来并使得它们到达基底附近，同时使氮源材料是氮气或者氨。前述的锂提供方法不需要传统的用于热蒸发或类似操作的设施以便将包含锂的源材料引入到半导体-金刚石合成装置中，并且极其安全。

包含在作为源材料气体的氮气或者氨气里的氮的数量和包含在甲烷或者其它含碳气体里的碳的数量之比（氮量/碳量）优选大于等于 0.001 但是小于等于 0.1。氮的数量小于碳的数量的 0.001 导致包含在形成的金刚石里的氮数量不足，这将抑制产生本发明的低电阻率 n -型半导体金刚石。同样地，如果氮的数量大于碳的数量的 0.1，形成的金刚石的质量（晶体性质）受到损害。

在气相合成过程中压力优选大于等于 1330Pa，但小于等于 20,000Pa。金刚石不可能在低于 1330Pa 的压力下形成，然而如果压力超过 20,000Pa，金刚石的质量（晶体性质）受到损害。因为金刚石不可能在基底温度低于 100°C 时形成，而同时如果温度超过 1000°C，金刚石的质量（晶体性质）下降。高于等于 100°C 但低于等于 1000°C 的形成温度是适宜的。

在采用利用热-灯丝 CVD 或者等离子体 CVD 进行金刚石气相合成的普通设备中，当金刚石掺杂锂时的问题是：因为大量氢与锂同时被包括到金刚石里，掺杂的锂不被激活，或者锂在金刚石里到处运动，这将限制获得稳定的电特性。这些问题甚至在金刚石同时掺杂锂和氮的情况下也出现了。然而，采用真空紫外光的光激发在适宜的温度和压力条件下有选择地产生如上所述的 CH_3 原子团，因此允许具有格外优良晶体性质的金刚石的形成。能够形成具有优良晶体性质的金刚石意味着希望掺杂在替代位置上的杂质被包括在替代位置上，而希望掺杂在间隙晶格位置上的杂质被包括到间隙晶格位置上。0.060nm 的锂离子半径小于碳的 0.077nm 的共价半径这一事实意味着当金刚石通过使用真空紫外光光离解而气相合成的同时，

把金刚石与锂掺杂，将把锂原子结合到间隙晶格位置上而不是结合到替代位置上。反过来，由于氮的 0.074nm 的共价半径接近碳的共价半径，氮将被结合到替代位置上，因为它失去一个单价电子以形成 sp^3 能带。

据此看来，为了预测用上述方法形成的金刚石的激活能，在根据 *ab initio* 计算法的模拟基础上计算了晶格-间隙掺杂锂和替代位置掺杂氮组合时的形成能。另外，根据 *ab initio* 算法计算了锂原子和氮原子相邻情况下的形成能。

结果，很明显，出现在间隙晶格位置上的锂原子和出现在替代位置上的氮原子相邻的情况下的形成能小于它们互相分开情况下的形成能，它们互相相邻的排列最为稳定。这种情况的激活能经计算为 0.10eV，而最佳排列中锂原子和氮原子的间距是 0.1494nm。

锂原子和氮原子的间距小于 0.145nm，形成能如此之高使得锂原子和氮原子不可能被同时植入到金刚石里。出于同样的原因，如果该间距大于 0.155nm，激活能将大于 0.10eV，电阻率的温度依赖性增加，也就可以理解了。

根据上述的 *ab initio* 计算法的结果，发明者发现如果金刚石同时掺杂锂原子和氮原子，而且锂原子和氮原子的中心到中心距离大于等于 0.145nm 而小于等于 0.155nm，金刚石将是低电阻率的 *n*-型半导体。可以预期金刚石的激活能将很低。

本发明使得同时掺杂锂和氮的低电阻率 *n*-型半导体金刚石得以形成。

实施例

附图是示意图，示例说明在本发明实施例中使用的金刚石合成设备。

金刚石基底 2 被放到位于真空腔室 1 里面的基底固定装置 3 里。金刚石基底 2 的温度可以由加热设备 4 在室温和一千几百度之间调节。真空腔室 1 被差压隔板 5 和 6 分隔开，一部分装有金刚石基底 2，一部分装有由锂氧化物构成的靶子，一部分与灯源 8 连接。在各个差压隔板上分别提供有狭缝 9 和 10，刚刚描述的这些部分分别装配有抽真空口 11、12 和 13，以便使差压抽真空通过它们产生。装有金刚石基底 2 的部分装配有气体引入线 14、15 和 16，通过它们，作为源气体的氢气、甲烷和氨气被引入。

源气体的供给根据分别预先确定的流量体积由与气体罐 17、18 和 19 连接的主控制器 20、21 和 22 调节。装有靶子 7 的部分装配有一个由石英构成的用于准分子激光的光学窗口 23。

首先，真空腔室 1 通过抽真空口 11、12 和 13 被抽至真空。然后，通过气体引入线 14、15 和 16 提供源气体到装有金刚石基底 2 的部分，直到该部分达到预先确定的压力，其中源气体的体积流量被调整到预先确定的混合比率。在装有靶子 7 的部分里，通过光学窗口 23 靶子 7 被准分子激光束 24 照射。于是锂原子从由锂氧化物构成的靶子 7 散射出来，通过位于差压隔板 5 上的狭缝 9，到达金刚石基底 2 附近。在那里，从灯源 8，一束光线通过位于差压隔板 6 上的狭缝 10 照射金刚石基底 2，该基底 2 已经被加热设备 4 加热，光离解所提供的源气体，连同从靶子 7 流动过来的锂原子，促进在金刚石基底 2 上的化学反应。

就这样，掺杂了锂和氮的金刚石在金刚石单晶基底 2 上以相同晶体取向附生（均相外延 homoepitaxially）而生长，这使得低电阻率的 *n*-型半导体金刚石得以形成。

特定的气相合成条件和所形成的低电阻率 *n*-型半导体金刚石的计算结果如下。

首先，使用真空泵将安装有高温、高压合成的IIa 金刚石单晶基底的腔室抽空至 $133 \times 10^{-9} \text{ Pa}$ (10^{-9} torr)，然后金刚石在下述条件下合成。

靶子：锂氧化物。

照射靶子的激光：ArF 准分子激光（强度： 1 J/cm^2 。）。

源气体：氢气=1000sccm；甲烷=10sccm；氨气=0.1sccm。

金刚石基底温度：300℃。

腔室内部基底端压力：4000Pa（30torr）。

光源：同步加速器辐射设备（波长=70nm），200mA 累积电流。

合成周期：2 小时。

合成后金刚石单晶基底被取出来，利用扫描电镜（SEM）、喇曼光谱测定法和反射高能电子散射（RHEED）对沉积到该单晶基底上的材料进行分析。结果证实沉积到该单晶基底上的材料是晶体取向附生生长的金刚石单晶。在晶体取向附生生长的金刚石单晶里没有裂纹等缺陷。

利用次级离子质谱仪 (SIMS) 对制备得到的晶体取向附生生长的金刚石单晶作进一步分析, 在其中检测到 $2.1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 锂和 $2.2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 氮。而且, 仅仅检测到与基底—IIa 金刚石单晶基底—中相同数量级的氢。SIMS 分析证实在所形成的晶体取向附生生长的金刚石单晶里锂和氮的含量几乎在同一浓度水平, 在那里几乎没有结合氢。

下面的分析是另外进行的, 为了证实在晶体取向附生生长的金刚石单晶里锂原子和氮原子的结合位置。

利用根据卢瑟福背散射光谱仪 (RBS) 的 channel 测量, 粒子诱发的 X—射线发射 (PIXE) 和核反应分析 (NRA), 计算锂和氮的置换百分比。结果证明氮的置换百分比是大于等于 94%, 而锂的置换百分比是小于等于 5%。这些结果表明, 金刚石里的大多数锂出现在晶格间隙处, 而几乎全部氮出现在置换位置上。

接着, 利用电子自旋共振 (ESR) 分析置换情况。因为人工合成金刚石里面的氮是独立置换 (isolated substitutional), 如果在根据本发明形成的金刚石里面的氮也是独立置换, 那么独立置换氮的信号特性应该可以被 ESR 测量检测出来。测量结果是独立置换的氮小于等于氮总量的 10%。由这个结果可以推断紧邻着大多数氮原子是锂原子。

通过上面的分析, 可以理解锂原子出现在金刚石晶体里的晶格间隙处, 氮原子出现在其中的置换位置上, 锂原子和氮原子出现在最邻近的位置上。

接着, 测量了本发明形成的晶体取向附生生长的金刚石单晶的电特性。金刚石表面是通过氧化表面形成的氧化膜, 在腐蚀掉金刚石表面的电传导层后在金刚石单晶上 4 个地方形成了欧姆接触电极, 利用 Van der Pauw 方法测量了霍尔效应。结果证实金刚石单晶是 *n*-型, 它的激活能是 0.11eV, 它的室温 (300K) 电阻率 $6.3 \Omega \cdot \text{cm}$, 作为金刚石, 它是低电阻率的 *n*-型半导体。

尽管测量霍尔效应时金刚石单晶的温度是 873 K, 它的电特性仍然是特别稳定的。这个事实表明出现在晶格间隙的锂原子被出现在置换位置上的氮原子稳固了。

而且, 测量电特性时的 0.11eV 的激活能也接近 *ab initio* 计算里计算的

锂原子和氮原子的中心到中心距离为 0.1494nm 时激活能的理论值 0.10eV。这使得在形成的金刚石单晶里锂和氮的间距大约为 0.15nm 这个事实得以证实。

工业适用性

根据本发明，迄今为止不存在的低电阻率的 n -型半导体金刚石可以通过将锂原子和氮原子同时植入金刚石内而获得。

低电阻率的 n -型半导体金刚石的使用使得可承受在高温下工作的高频、高输出功率的功率器件、发射紫外线的光发射装置及低电压驱动的放电装置的制备成为可能。

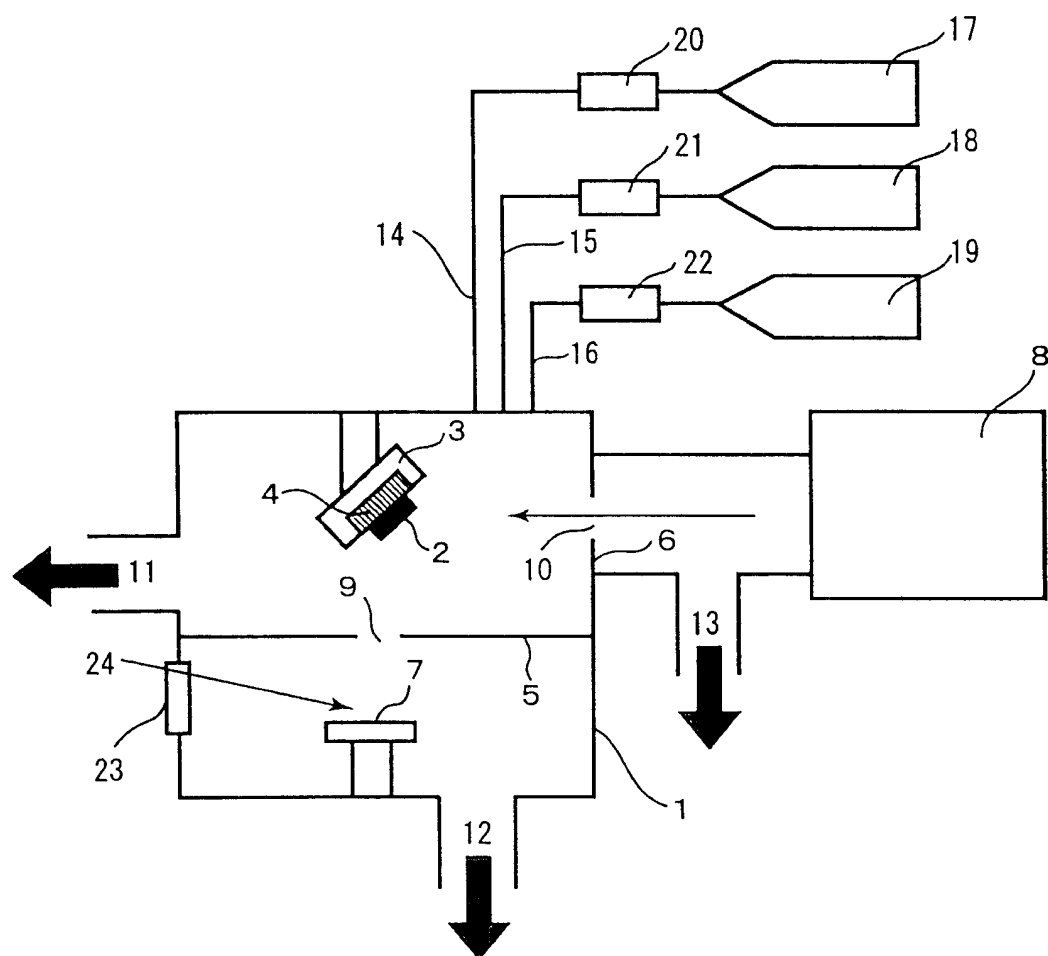


图 1