



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102618852 B

(45) 授权公告日 2016. 03. 02

(21) 申请号 201210020842. 4

审查员 彭春玉

(22) 申请日 2012. 01. 30

(30) 优先权数据

61/438144 2011. 01. 31 US

(73) 专利权人 FEI 公司

地址 美国俄勒冈州

(72) 发明人 S. 兰多夫 C.D. 钱德勒

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

代理人 李连涛 郭文洁

(51) Int. Cl.

C23C 16/513(2006. 01)

(56) 对比文件

US 6492261 B2, 2002. 12. 10,

US 6492261 B2, 2002. 12. 10,

US 4548864 A, 1985. 10. 22,

US 5827786 A, 1998. 10. 27,

US 4908226 A, 1990. 03. 13,

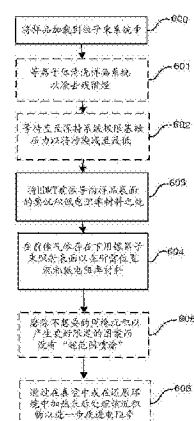
权利要求书1页 说明书8页 附图7页

(54) 发明名称

低电阻率材料的束诱导沉积

(57) 摘要

改进的沉积低电阻率金属的束沉积方法。本发明的优选实施方案使用新型聚焦离子束诱导沉积前体沉积低电阻率金属材料,如锡。申请人已经发现,通过使用甲基化或乙基化金属,如六甲基二锡作为前体,可以沉积电阻率低至 $40\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 的材料。



1. 将低电阻率材料沉积到基底上的方法,该方法包括:

将前体气体导向基底表面,该前体气体包含六甲基二锡、甲基三氯化锡、六乙基二锡或六丁基二锡;和

在前体气体存在下用离子束照射基底表面,该前体气体在离子束存在下离解以在基底表面上沉积低电阻率材料,

其中所述沉积的低电阻率材料含有由前体气体离解的锡;和

其中所述沉积的低电阻率材料在沉积之后具有 $120\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ 或更低的电阻率。

2. 权利要求 1 的方法,其中离子束是镓离子束,且其中沉积的材料含有镓和锡。

3. 权利要求 1 的方法,其中沉积的低电阻率材料具有小于 $80\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ 的电阻率。

4. 权利要求 1 的方法,其中沉积的低电阻率材料具有小于 $50\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ 的电阻率。

5. 权利要求 1 的方法,其中沉积的低电阻率材料是欧姆性质的。

6. 权利要求 2 的方法,其中沉积的低电阻率材料具有在本体锡的 5 倍内的电阻率。

7. 权利要求 1 的方法,其中沉积的低电阻率材料为至少 95% 锡。

8. 权利要求 1 的方法,其中离子束包含镓聚焦离子束。

9. 权利要求 1 的方法,其中离子束包含使用等离子体源制成的聚焦离子束。

10. 权利要求 9 的方法,其中聚焦的离子束包含氙、氪或氦离子。

11. 权利要求 1 的方法,其中使用质量选择的离子源制造离子束。

12. 将低电阻率材料沉积到基底上的方法,该方法包括:

将包含六甲基二锡的前体气体导向基底表面;和

在前体气体存在下用镓离子束照射基底表面,该前体气体在镓离子束存在下反应以在基底表面上沉积材料,所述沉积的材料含有锡和镓并具有小于 $120\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ 的电阻率。

13. 权利要求 12 的方法,其中沉积的材料为至少 95% 锡。

14. 权利要求 13 的方法,其中含有锡和镓的沉积的材料具有小于 $50\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ 的电阻率。

15. 束诱导沉积方法:

将前体气体导向基底表面,该前体气体包含六甲基二锡、甲基三氯化锡、六乙基二锡或六丁基二锡;和

在前体气体存在下用镓离子束照射基底表面,该前体气体在镓离子束存在下反应以在基底表面上沉积材料,

其中沉积的材料包含镓和由前体气体离解的金属的共晶组合物或固溶体。

16. 权利要求 15 的方法,其中沉积的材料具有小于 $120\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ 的电阻率。

17. 权利要求 16 的方法,其中沉积的材料具有小于 $50\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ 的电阻率。

18. 权利要求 16 的方法,其中前体气体包含锡,且其中将前体气体与包括氧的化合物混合以在基底表面上沉积氧化锡。

19. 权利要求 16 的方法,其中前体气体包含锡,且其中将前体气体与包括氮的化合物混合以在基底表面上沉积氮化锡。

低电阻率材料的束诱导沉积

[0001] 本发明的技术领域

[0002] 本发明涉及电子和离子束诱导沉积,更特别涉及金属锡、氧化锡和 / 或氮化锡的束诱导沉积。

[0003] 发明背景

[0004] 在现有技术中,已知通过电子束诱导沉积(EBID)和离子束诱导沉积(IBID)将材料沉积到基底上。根据已知方法,将基底放置在带电粒子束装置—通常电子束(E-束)系统或聚焦离子束(FIB)系统的可抽空样品室中。带电粒子(或其它)束在常被称作前体气体的沉积气体存在下施加到基底表面上。前体气体层吸附到工件表面上。该层的厚度由气体分子在基底表面上的吸附和解吸的平衡控制,其又取决于例如气体分压(决定每秒吸附多少分子)和粘着系数(描述分子平均吸附到表面上多久)。所得层通常由一个或几个单原子层形成。

[0005] 当带电粒子束照射具有吸附的前体气体层的基底时,由基底发出二次电子。这些二次电子以及原电子和反向散射电子造成吸附的前体气体分子离解。一部分离解前体材料在基底表面上形成沉积物,而其余前体气体粒子形成挥发性副产物并被该装置的真空系统泵出。

[0006] 束诱导沉积(BID)用于在基底如半导体晶片或磁存储介质的靶表面上沉积材料的多种用途。出于各种原因沉积材料,如形成膜表面、电连接、用于半导体构件表征和分析的保护性涂层、或将小样品,如 TEM 样品“焊接”到操纵器或样品支架上(如下面更详细描述)。气体、基底和束类型的许多组合可用于实现各种沉积方案。要沉积的特定材料通常取决于用途、下方的靶表面和材料如何与该束或表面反应。类似地,各种束类型可用于生成二次电子、二次离子、光子、声子、等离子体激元等。这些包括离子、电子和激光束。

[0007] 已知的束诱导沉积方法的缺点在于,尽管可以使用束诱导技术沉积多种金属、半导体和电介质;但BIDs的纯度和材料性质几乎总是比本体性质差得多。这在现有技术中广为证明。所关心的更常见的沉积材料性质之一是沉积物的金属电阻率。根据前体和沉积材料以及束类型,电阻率值通常比本体金属电阻率大 10 至大于 1,000 倍。

[0008] 经由 BID 沉积的导电材料的这种提高的电阻率是电路编辑(CE)用途的特殊担心。在集成电路(IC)上使用 FIB 进行电路编辑对设计纠错和故障分析而言是基本的。当今的高频 IC 器件需要极低互连电阻率以提高芯片性能;大约 $50 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 的电阻率非常合意以降低由片内互连延迟造成的任何性能瓶颈。如果该编辑的电阻率非常近似制成线路的值,FIB 电路编辑用于验证 IC 器件性能的应用更有效。使用典型的现有技术方法,通过 IBID 沉积的导体的最低电阻率是电阻率值为 $\sim 200 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 的钨,其明显高于 IC 互连所需的 $50 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 电阻率。

[0009] 因此需要通过 BID 沉积具有比通过现有技术方法沉积的导体低的电阻率—优选大约 $50 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 的电阻率——的导体的改进的束诱导沉积方法。

[0010] 发明概述

[0011] 本发明的目的是提供改进的束沉积方法。

[0012] 本发明的优选实施方案通过使用新型聚焦离子束诱导沉积(FIBID)前体沉积低电阻率金属材料,如锡来解决这种问题。申请人已经发现,通过使用甲基化或乙基化金属,热六甲基二锡(HMDT)作为前体,可以沉积电阻率低至 $40 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 的材料。

[0013] 上文已相当大致概述本发明的特征和技术优点以便可以更好地理解下列发明详述。下文将描述本发明的其它特征和优点。本领域技术人员应认识到,所公开的概念和具体实施方案容易用作修改或设计用于实施本发明的相同目的其它结构的基础。本领域技术人员还应认识到,这样的等效构造不背离如所附权利要求中所述的本发明的精神和范围。

[0014] 附图简述

[0015] 为了更充分理解本发明及其优点,现在参考联系附图考虑的下列描述:

[0016] 图 1 是显示借助利用 HMDT 作为前体的聚焦离子束诱导沉积进行的微结构沉积的 SEM 显微照片;

[0017] 图 2 是显示借助利用 HMDT 作为前体的聚焦离子束诱导沉积进行的微结构沉积的另一 SEM 显微照片;

[0018] 图 3 是 FIBID 沉积物的 EDS 光谱,其显示大约 97% 纯度的锡,余量是镓和少量碳和氧;

[0019] 图 4A 是显示作为各沉积物的全宽半高(电流密度的间接度量)的函数,使用 HMDT 作为前体的不同沉积物 FIBID 沉积物的测得电阻率的图;

[0020] 图 4B 是显示基于测得电阻率计算不同沉积物的电流密度的图;

[0021] 图 5A 是示意性显示典型集成电路的一部分的截面视图;

[0022] 图 5B 是显示在图 5A 的集成电路上进行的电路编辑的截面视图;

[0023] 图 6 是显示根据本发明的优选实施方案进行使用 HMDT 作为前体沉积锡层的方法的步骤的流程图;和

[0024] 图 7 描绘用于进行本发明的方法的示例性双束 SEM/FIB 系统的一个实施方案。

[0025] 附图无意按比例绘制。在附图中,各图中图解的各相同或大致相同的部件用类似数字表示。为清楚起见,并未在每个图中标记出每一部件。

[0026] 优选实施方案详述

[0027] 本领域任何技术人员会认识到,用于材料沉积的合适前体的确认通常极困难。必须考虑大量竞争因素和权衡。必须选择具有显著蒸气压、稳定性和寿命的前体以便能在长时期内以可再现方式制造沉积物。前体优选具有低氧化亲和力,因为这损害电阻率。但是,抗氧化化合物,如贵金属化合物最常见地非常易反应、不稳定且难以(如果不是不可能)合成。有机金属化合物非常稳定和相对容易合成,但具有高碳量,这由于碳质配体材料并入金属构件中而极大损害所得沉积物的纯度和材料性质。金属卤化物避免碳问题并可能是挥发性的,但可能实际提高被 FIB 蚀刻和 / 或完全不沉积。

[0028] 六甲基二锡(HMDT)是分子式为 $\text{C}_6\text{H}_{18}\text{Sn}_2$ 的有机锡化合物,其常用在有机合成反应中并具有 23°C 的熔点和具有在室温下的显著蒸气压以向 FIB 稳定输送足量前体。当 HMDT 用作 EBID 中的电子束前体时,所得沉积可能是氧化锡和碳的混合物。这种材料的电阻率差并具有非欧姆(非线性电流 / 电压响应)电性质。这些性质对需要低电阻率的电路编辑不合意。但是,锡氧化物和氮化物可充当半导体并因此可用于其它领域。

[0029] 但是,申请人已经发现,借助镓离子束的使用甲基化或乙基化金属,如 HMDT 的沉

积和所造成的镓并入沉积物中产生欧姆性的(线性电流 / 电压响应)并具有优异电阻率(在主体锡的 5 倍内)的材料。通过离子束沉积的锡和镓可形成固溶体和共晶混合物,它们可额外增进测得的电阻率。沉积物中表现出的一些形态暗示一些共晶固化反应,但这尚未证实。图 1 和 2 显示在使用 HMDT 的 FIBID 中表现出的微结构的实例。

[0030] 无论沉积的确切机制如何,HMDT 用于 FIBID 的新用途已凭经验表明产生具有优异电性质的高纯度(接近 100% 锡)的沉积材料。图 3 是使用 HMDT 作为前体的 FIBID 沉积物的 EDS 光谱,其显示大约 97% 纯度的锡,余量是镓和少量碳和氧。为清楚起见,在图 3 中已扣除 SiO_2 的背景光谱。优选地,根据本发明沉积的材料具有至少 90% 的由前体气体离解的金属纯度;更优选地,该沉积材料具有至少 95% 的离解金属纯度。

[0031] 图 4A 是显示作为各沉积物的全宽半高(电流密度的间接度量)的函数,使用 HMDT 前体的不同 FIBID 沉积物的测得电阻率的图。在此,不同束电流已用于沉积金属线。在图 4A 中,该图显示(从左到右)递增的束电流,同时束直径也提高一定的未知量。沉积物的全宽半高预计与实际束直径具有相关性,这种相关性可用于评估电流密度。图 4B 是显示基于测得电阻率计算的不同沉积物的电流密度的图。考虑到提高的积分通量(fluence)降低电阻率且提高的电流密度降低电阻率,应通过使电流密度和积分通量都最大化来获得最低电阻率。

[0032] 如图 4A 和 4B 中所示,申请人已经发现,通过使用甲基化或乙基化金属,如 HMDT 作为前体,可以沉积极低电阻率材料。本文所用的术语“低电阻率”用于表示小于 $120 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 的电阻率。为了最低电阻率沉积,应使电流密度(每单位时间每单位面积的离子)最大化,积分通量(每单位面积的离子)也应如此。如图 4A 和 4B 中所示,使用 HMDT 前体,可以沉积电阻率低至 $40 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 的锡。在这种情况下,在 30kV 下使用 500pA 束沉积电阻率为大约 $40 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 的锡,使用负束重叠以沉积 30 微米长的线 20 秒。除 HMDT 外,其它甲基化和乙基化金属在一些情况下也可用于沉积低电阻率材料,包括例如甲基三氯化锡和六乙基和六丁基二锡。

[0033] 本发明的实施方案因此适用于在电路编辑过程中沉积导电材料。例如,图 5A 是示意性显示典型集成电路 550 的一部分的截面视图。如图 5A 中所示,集成电路 550 包括基底 552 和介电绝缘层 542。金属互连 520 和 524 耦合至扩散区 532、534 和 536。扩散区 534 通过金属互连 524 耦合至扩散区 536;扩散区 532 不耦合至扩散区 534。

[0034] 图 5B 是显示在图 5A 的集成电路 550 上进行的电路编辑的截面视图。集成电路 550 包括基底 552 和介电绝缘层 542。金属互连 520 和 524 耦合至扩散区 532、534 和 536。如图 5B 中所示,电路编辑也已用于将扩散区 532 连接至扩散区 534。已穿过介电绝缘层 542 铣取的孔 545 以暴露出一部分金属互连 522 和金属互连 524。随后沉积导体 546 以将金属互连 522 连接至金属互连 524,由此将扩散区 532 连接至扩散区 534。如上所述,高频 IC 器件需要极低互连电阻率以提高芯片性能;大约 $50 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 的电阻率非常合意以降低由片内互连延迟造成的任何性能瓶颈。如果该编辑的电阻率非常近似制成线路的值,FIB 电路编辑用于验证 IC 器件性能的应用更有效。

[0035] 图 6 是显示根据本发明的优选实施方案进行使用 HMDT 作为前体沉积锡层的方法的步骤的流程图。在步骤 600 中,将样品加载到合适的离子束系统中。本领域技术人员会认识到,粒子束系统取决于沉积材料的特定用途。用于制备 TEM 样品的合适粒子束系统可

以是例如双束 SEM/FIB 系统,如下面参照图 7 描述的那种。在步骤 601 中,可以使用任选等离子体清洗步骤除去残留烃以将沉积物污染可能性减至最低。在任选步骤 602 中,延迟沉积直至通过真空系统达到系统极限基础压力以将例如来自挥发性烃或其它残留污染物的污染减至最低。

[0036] 在步骤 603 中,将包含甲基化或乙基化金属,如 HMDT 的前体气体导向样品表面的要沉积材料之处。优选地,在表面处通过气体输送针或毛细管输送前体气体以制造毫巴范围的局部气压。在一个优选实施方案中,无前体气体的真空压力为大约 3×10^{-6} mbar,使用前体气体时,真空室中的压力升至大约 5×10^{-5} mbar。本领域技术人员会认识到,该系统的基础压力上的任何显著增压足以应对气体化学,但增压最好有限以使系统暴露最小化并且不超过系统真空限制。通常,不必将前体加热至系统温度以上大于几度来实现显著压力。实际上,可以实际使用减流孔以便在较低气压下工作以使显微镜上的负荷最小化。

[0037] 随后在步骤 604 中,使用聚焦离子束照射表面的任何要沉积沉淀材料之处。可以改变局部材料沉积速率,但在优选实施方案中可以为大约 $6 \mu\text{m}^3/\text{min}$ 。在优选实施方案中,使用镓离子束。也可以使用等离子体源 FIB 实施本发明,其中可以例如使用氙、氙或氦离子选择离子。能够输送各种电荷的多种离子以及二聚物/三聚物和它们各自的离子的质量选择的 FIB 源也适合根据本发明诱导束化学。另外,反应性等离子体源生成或原子氧束可用于进行例如氧化锡的沉积。

[0038] 在任选步骤 605 中,在沉积后,可以使用离子束磨除不想要的周缘沉积以产生更好限定的图案而没有超范围喷涂。最后,在任选步骤 606 中,可以通过在真空中或在还原环境中加热来处理沉积的材料以进一步改进(降低)电阻率。在接近金属熔点的温度下退火数分钟至数小时的情况下,提高的热运动允许金属重新排序和结晶。这通常具有通过降低可能抑制电子运动的散射缺陷数来降低金属电阻率的作用。在还原环境的情况下,目标是对抗由于沉积过程中的残留室气体而可能发生的锡金属的氧化。例如,商业原子氢发生剂可用于用高反应性原子氢轰击氧化金属。这种反应可导致锡从其氧化形式还原成更有利于电子传递的 0 氧化态(降低电阻率)。或者,可以通过经由离子束、电子束、激光或电(通过使电流经过金属)将该材料退火来改进沉积材料的电阻率。

[0039] 在本发明的另一些优选实施方案中,可以将锡前体与氧或水混合形成氧化锡或与胺或含氮化合物混合形成氮化锡。由此,可以使用相同锡前体沉积不同材料,沉积的材料能够充当导体、绝缘体或充当半导体,取决于与该前体混合的化合物。可以根据所需用途容易地控制沉积的材料的电阻率,由此极大扩展该锡沉积法的效用。

[0040] 图 7 描绘用于进行本发明的方法的示例性双束 SEM/FIB 系统 710 的一个实施方案。本发明的实施方法可用于多种用途,其中将低电阻率材料沉积到基底的靶表面上。这种样品的制备和分析通常在双束电子束/聚焦离子束系统,如现在描述的那种中进行。合适的双束系统可购自例如 FEI Company, Hillsboro, Oregon, 本申请的受让人。尽管下面提供合适的硬件的一个实例,但本发明不限于在任何特定类型的硬件中实施。

[0041] 双束系统 710 具有垂直安装的电子束柱和在可抽空样品室 726 上与垂直呈大约 52 度角安装的聚焦离子束(FIB)柱。可以通过例如涡轮分子泵或其它已知的泵装置,如油扩散泵、离子吸气泵、涡旋泵等抽空样品室。

[0042] 电子束柱 741 包含用于产生电子的电子源 752 和形成细聚焦电子束 743 的电

子-光学透镜 756,758。电子束 743 可位于基底 722 表面上并可借助偏转线圈 760 在基底 722 的表面上扫描。通过电源和控制单元 745 控制透镜 756,758 和偏转线圈 760 的运行。要指出,透镜和偏转装置可使用电场控制电子束,或可以使用磁场,或它们的组合。

[0043] 可以将电子束 743 聚焦到在下方室 726 内的可移动 X-Y-Z 台 725 上的基底 722 上。当电子束中的电子撞击基底 722 时,发出二次电子。通过二次电子检测器 740,如 Everhard-Thornley 检测器或能够检测低能电子的半导体器件检测这些二次电子。将检测器的信号送入控制器 719。所述控制器也控制偏转器信号、透镜、电子源、GIS、台和泵、和该仪器的其它零件。监测器 744 用于使用检测器 719 的信号显示基底的图像。位于 TEM 样品支架 724 和台 725 下方的 STEM 检测器 762 可收集经由安装在 TEM 样品支架上的样品传送的电子。

[0044] 在真空室上安装气体注射系统(GIS) 746。该 GIS 包含用于容纳前体材料的储器(未显示)和用于将 HMDT 前体材料传送至基底表面的针 770。该 GIS 进一步包含用于调节向基底供应前体材料的装置 771。在这种实例中,该调节装置被描绘为可调节阀,但该调节装置也可呈例如前体材料的受控加热形式。

[0045] 双束系统 710 还包括聚焦离子束(FIB)系统 711,其包含具有上颈部 712 的抽空室,离子源 714 和包括萃取电极和静电光学系统的聚焦柱 716 位于该上颈部内。聚焦柱 716 的轴与电子柱的轴倾斜 52 度。离子柱 712 包括离子源 714、萃取电极 715、聚焦元件 717、偏转元件 720 和聚焦离子束 718。离子束 718 从离子源 714 经过柱 716 和在示意性显示为 720 的静电偏转装置之间向基底 722 传送,其包含例如位于下方室 726 内的可移动 X-Y-Z 台 725 上的半导体器件。

[0046] 台 725 也可支承一个或多个 TEM 样品支架 724 以使可从半导体器件上提取样品并移到 TEM 样品支架上。台 725 可优选在水平面(X和Y轴)中和垂直(Z轴)移动。台 725 也可倾斜大约 60 度并围绕 Z 轴旋转。在一些实施方案中,可以使用单独的 TEM 样品台(未显示)。这种 TEM 样品台也优选可在 X、Y 和 Z 轴中移动。打开门 761 以用于将基底 722 插到 X-Y-Z 台 725 上和也用于充当内部气体供应储器,如果使用的话。将该门互锁以便如果该系统在真空下,其无法打开。

[0047] 离子泵 768 用于抽空颈部 712。在真空控制器 732 的控制下用涡轮分子和机械泵系统 730 抽空室 726。该真空系统在室 726 内提供大约 3×10^{-6} mbar 的真空。在将合适的前体气体引到样品表面上时,室背景压力可升至通常小于大约 5×10^{-5} mbar。

[0048] 将高电压电源 734 连接至液体金属离子源 714 以及离子束聚焦柱 716 中的适当电极以形成大约 1 keV 至 60 keV 离子束 718 并将其导向样品。根据图案发生器 738 提供的规定图案运行的偏转控制器和放大器 736 耦合至偏转板 720,由此可以手动或自动控制离子束 718 以在基底 722 的上表面上描绘出相应图案。在一些系统中,如本领域中公知的那样,在最终透镜前放置偏转板。当消隐控制器(未显示)对消隐电极(blanking electrode)施加消隐电压时,在离子束聚焦柱 716 内的束消隐电极(未显示)使离子束 718 射到消隐孔(blanking aperture)(未显示)而非基底 722 上。

[0049] 液体金属离子源 714 通常提供镓的金属离子束。该源通常能够在基底 722 上聚焦成不到 1/10 微米宽的束,以通过离子铣削(ion milling)、提高的蚀刻、材料沉积来改变基底 722,或用于使基底 722 成像。

[0050] 系统控制器 719 控制双束系统 710 的各种部分的运行。通过系统控制器 719, 用户可以使离子束 718 或电子束 743 通过输入传统用户界面(未显示)中的命令以所需方式扫描。或者, 系统控制器 719 可以根据程序指令控制双束系统 710。

[0051] 根据本发明的一些实施方案, 将低电阻率材料沉积到基底上的方法包括: 将包含甲基化或乙基化金属的前体气体导向基底表面; 在前体气体存在下用离子束照射基底表面, 该前体气体在粒子束存在下离解以在基底表面上沉积低电阻率材料。

[0052] 在一些实施方案中, 该离子束是镓离子束, 沉积的材料含有镓和由前体气体离解的金属。在一些实施方案中, 前体气体包含六甲基二锡。在一些实施方案中, 前体气体包含甲基三氯化锡、六乙基二锡或六丁基二锡。

[0053] 在一些实施方案中, 沉积的材料具有小于 $120 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 的电阻率。在一些实施方案中, 沉积的低电阻率材料具有小于 $80 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 的电阻率。在一些实施方案中, 沉积的低电阻率材料具有小于 $50 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 的电阻率。在一些实施方案中, 沉积的材料是欧姆性质的。在一些实施方案中, 沉积的材料具有在本体金属的 5 倍内的电阻率。

[0054] 在一些实施方案中, 粒子束是镓离子束, 其中由前体气体离解的金属包含锡, 且其中沉积的材料包含锡和镓。在一些实施方案中, 沉积的材料为至少 95% 锡。

[0055] 在一些实施方案中, 离子束包含镓聚焦离子束。在一些实施方案中, 离子束包含使用等离子体源制成的聚焦离子束。在一些实施方案中, 使用质量选择的离子源制造离子束。在一些实施方案中, 聚焦的离子是氙、氙或氦离子。

[0056] 根据本发明的一些实施方案, 将低电阻率材料沉积到基底上的方法包括: 将包含六甲基二锡的前体气体导向基底表面; 和在前体气体存在下用镓离子束照射基底表面, 该前体气体在粒子束存在下反应以在基底表面上沉积材料, 所述沉积的材料含有锡和镓并具有小于 $120 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 的电阻率。

[0057] 在一些实施方案中, 含有锡和镓的沉积的材料具有小于 $50 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 的电阻率。

[0058] 根据本发明的一些实施方案, 束诱导沉积方法包括: 将前体气体导向基底表面; 和在前体气体存在下用镓离子束照射基底表面, 该前体气体在镓离子束存在下反应以在基底表面上沉积材料, 沉积的材料包含镓和由前体气体离解的金属的共晶组合物或固溶体。

[0059] 在一些实施方案中, 前体气体包含甲基化或乙基化金属。在一些实施方案中, 前体气体包含锡, 且其中将前体气体与包括氧的化合物混合以在基底表面上沉积氧化锡。在一些实施方案中, 前体气体包含锡, 且其中将前体气体与包括氮的化合物混合以在基底表面上沉积氮化锡。

[0060] 本发明的优选方法或装置具有许多新颖方面, 由于本发明可出于不同目的在不同方法或装置中具体实施, 不需要在每一实施方案中都存在每一方面。此外, 所述实施方案的许多方面可分开取得专利权。本发明具有广泛适用性并可提供如上述实例中描述和展示的许多益处。实施方案根据具体用途极大变动, 并非每一实施方案都提供本发明可实现的所有益处和满足所有目标。

[0061] 尽管上文的本发明的描述主要涉及低电阻率材料的束诱导沉积方法, 但应认识到, 实施这种方法的操作的装置进一步在本发明的范围内。此外, 应认识到, 可以通过计算机硬件、硬件和软件的组合或通过储存在非暂时计算机可读存储器中的计算机指令实施本发明的实施方案。可以在计算机程序中使用标准编程技术实施该方法 - 包括用计算机程

序构造的非暂时计算机可读存储介质,其中如此构造的存储介质使计算机以特定和预定的方式—根据本说明书中描述的方法和附图运行。各程序可以在高级程序或面向对象的编程语言中执行以与计算机系统交流。但是,如果需要,可以在汇编或机器语言中执行程序。在任一情况下,语言可以是编译的或解释的语言。此外,该程序可以在为此用途编程的专用集成电路上运行。

[0062] 此外,可以在任何类型的计算机平台,包括但不限于个人计算机、小型计算机、主机、工作站、网络式或分布式计算环境、与带电粒子工具或其它成像装置分开、集成或交流的计算机平台等中实施方法。可以在存储在非暂时存储介质或器件(无论是可拆卸的还是集成到计算机平台上),如硬盘、光学读和/或写存储介质、RAM、ROM 等上的可机读编码中实施本发明的方面,以使其可由可编程计算机读取,以在由计算机读取存储介质或器件以执行其中描述的程序时构造和运行计算机。此外,可机读编码或其部分可以在有线或无线网络上传送。当这种介质含有用于与微处理器或其它数据处理器联合执行上述步骤的指令或程序时,本文所述的本发明包括这些和其它各种类型的非暂时计算机可读存储介质。当根据本文所述的方法和技术编程时,本发明还包括计算机本身。

[0063] 计算机程序可用于输入数据以执行本文所述的功能并由此转化该输入数据以产生输出数据。将输出信息施加至一个或多个输出装置,如显示监视器。在本发明的优选实施方案中,转化的数据代表实体和有形体,包括在显示器上产生该实体和有形体的特定视觉描述。

[0064] 本发明的优选实施方案还利用粒子束装置,如 FIB 或 SEM,以使用粒子束使样品成像。用于使样品成像的此类粒子固有地与样品相互作用以造成一定程度的物理转化。此外,在本说明书通篇中,采用“计算”、“测定”、“测量”、“生成”、“检测”、“形成”之类术语的论述还是指计算机系统或类似电子器件的动作和过程,其控制和将计算机系统内的以物理量表示的数据转化成该计算机系统或其它信息存储、传输或显示装置内的类似地以物理量表示的其它数据。

[0065] 尽管上文提供的实例描述了本发明在电路编辑应用中的用途,但本发明可用于需要前体将低电阻率金属沉积到基底上或使用相同前体气体沉积金属氧化物或氮化物的任何用途。尽管上文的描述大多涉及半导体晶体或磁存储介质,但本发明可用于任何合适的基底或表面。除非另行指明,术语“工件”、“样品”、“基底”和“试样”在本申请中可互换使用。此外,只要在本文中使用术语“自动”、“自动化”或类似术语,这些术语应理解为包括自动或自动化工艺或步骤的手动引发。

[0066] 术语“集成电路”是指在微片表面上图案化的一组电子部件和它们的互连(统称为内部电路元件)。术语“半导体”或“半导体器件”一般是指可集成到半导体晶片上、与晶片 singulated 或封装以用在电路板上的集成电路(IC)。术语“FIB”或“聚焦离子束”在本文中用于表示任何准直离子束,包括通过离子光学聚焦的束和成形离子束。

[0067] 在下列论述和在权利要求书中,术语“包括”和“包含”以开端形式使用,因此应被理解是指“包括,但不限于”。在任何术语在本说明书中没有专门定义的情况下,意在给予该术语其平常和普通含义。附图旨在助于理解本发明,除非另行指明,不按比例绘制。适合实施本发明的粒子束系统可购自例如 FEI Company,本申请的受让人。

[0068] 尽管已详细描述本发明及其优点,应该理解的是,可以在不背离如所附权利要求

规定的本发明的精神和范围的情况下对本文所述的实施方案作出各种修改、取代和变动。此外,本申请的范围无意限于本说明书中描述的工艺、机器、制造、相关组合物、手段、方法和步骤的特定实施方案。本领域普通技术人员由本发明的公开容易认识到,可根据本发明使用目前存在或随后有待开发的实施与本文所述的相应实施方案基本相同的功能或实现基本相同结果的工艺、机器、制造、相关组合物、手段、方法或步骤。相应地,所附权利要求在它们的范围内意在包括这样的工艺、机器、制造、相关组合物、手段、方法或步骤。

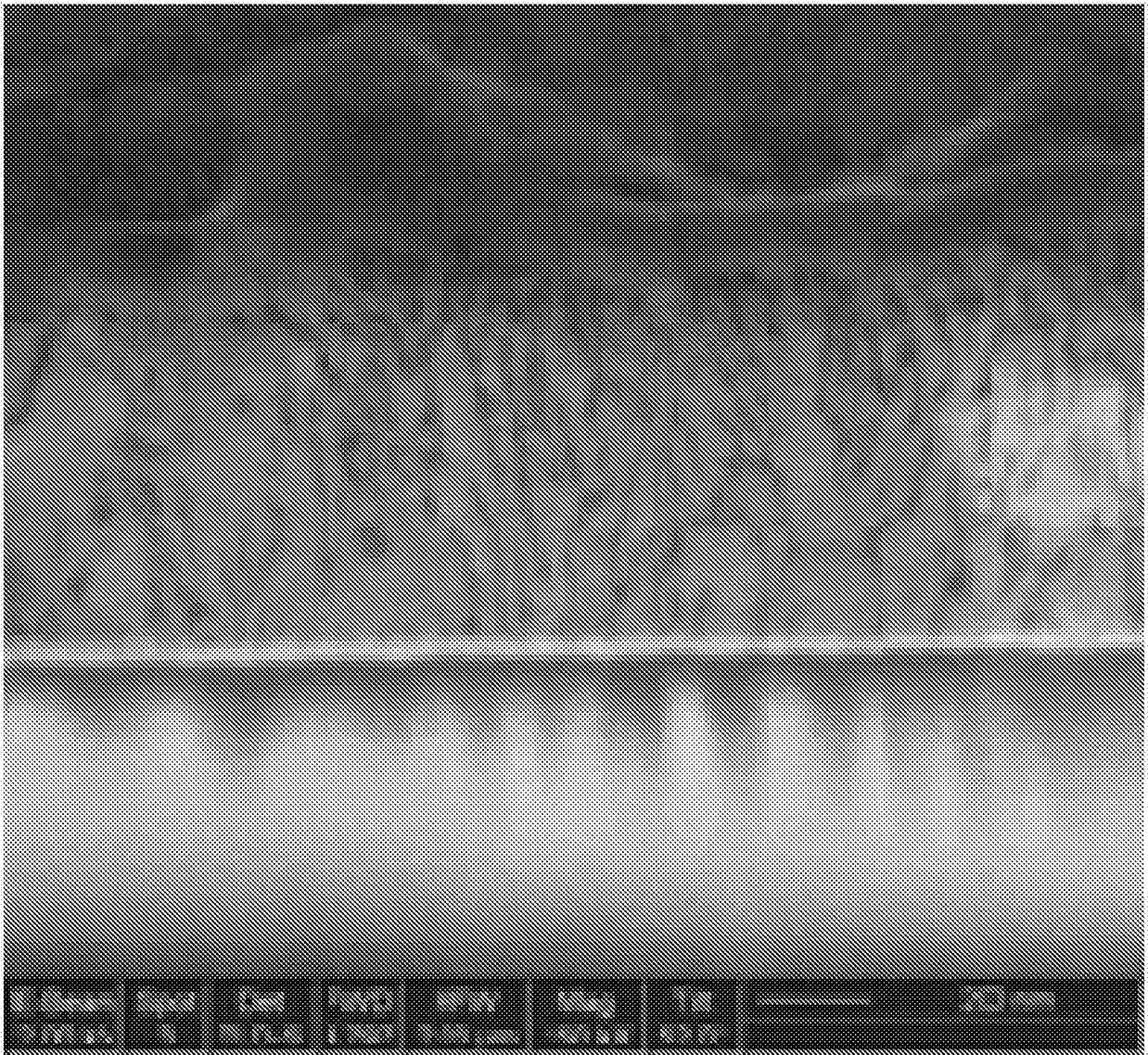


图 2

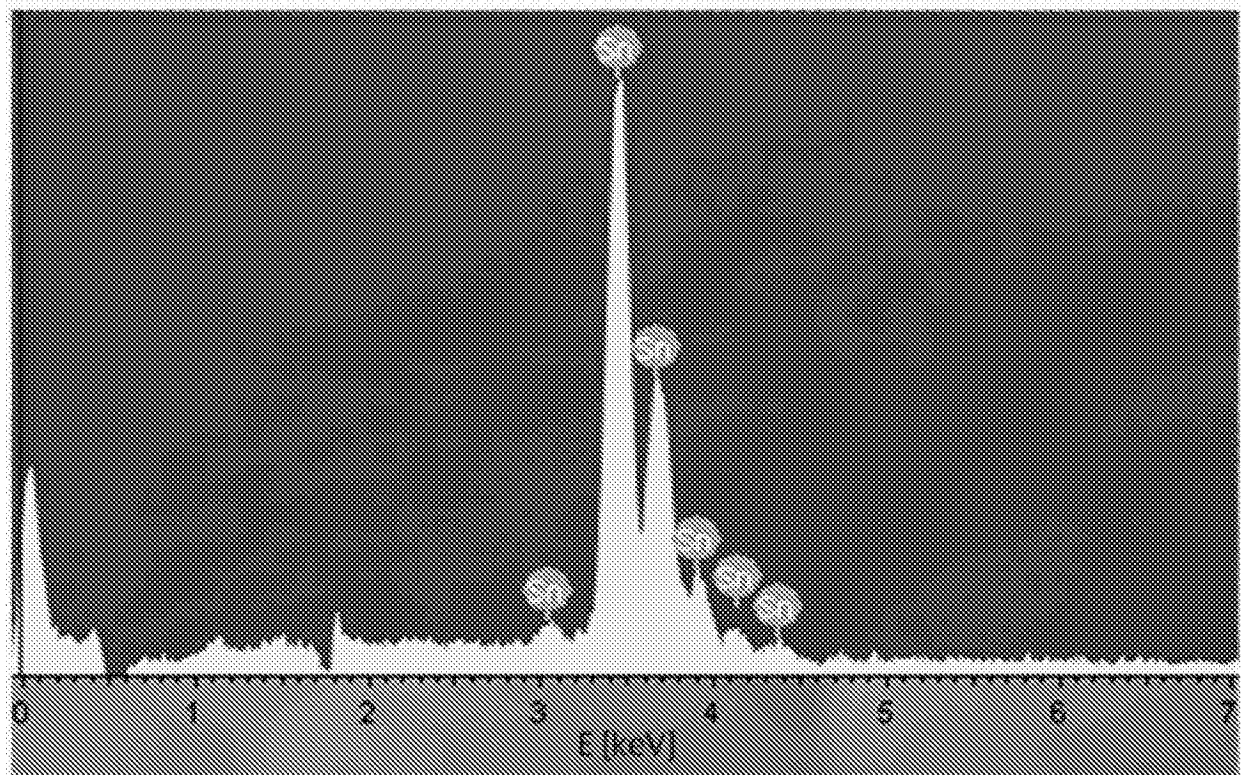


图 3

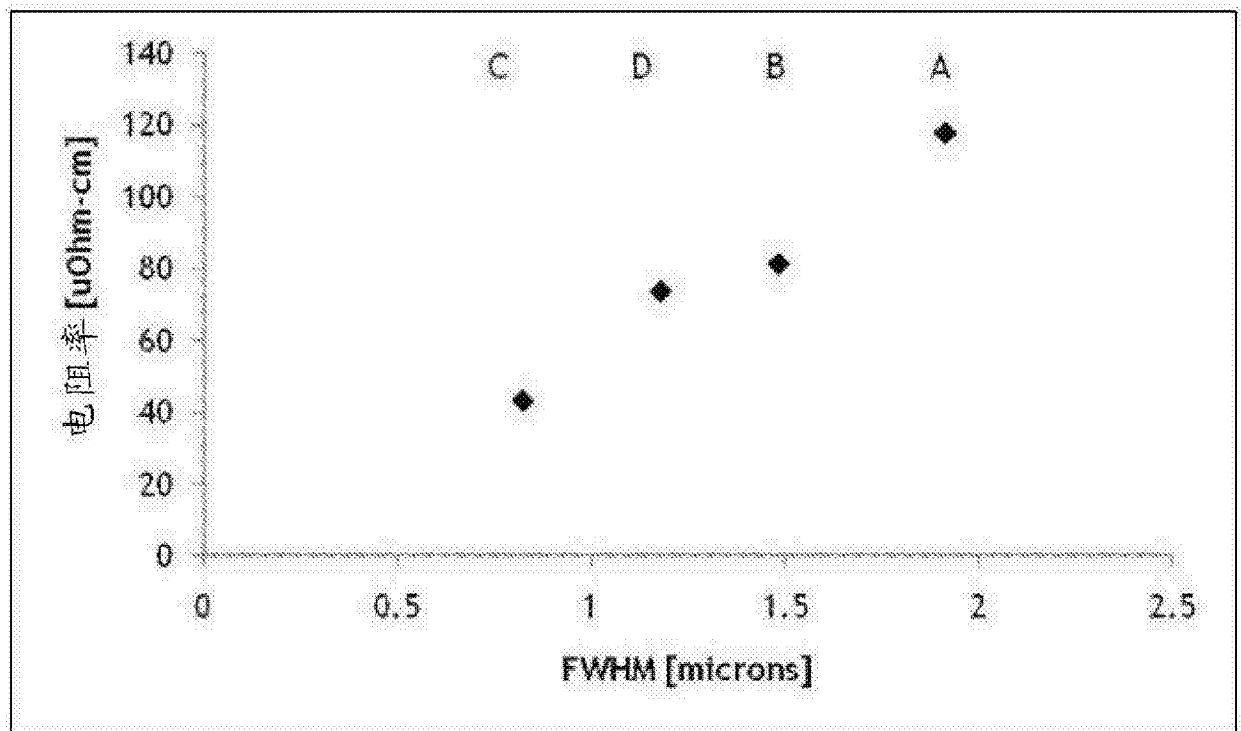


图 4A

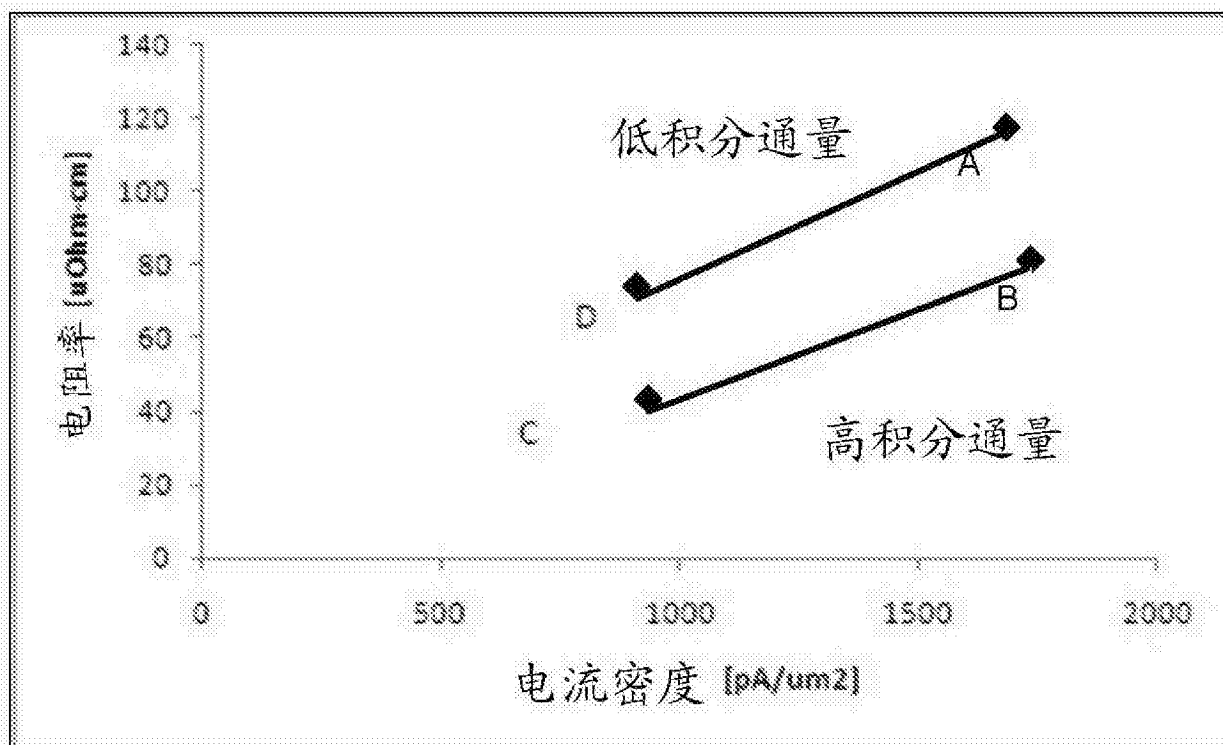


图 4B

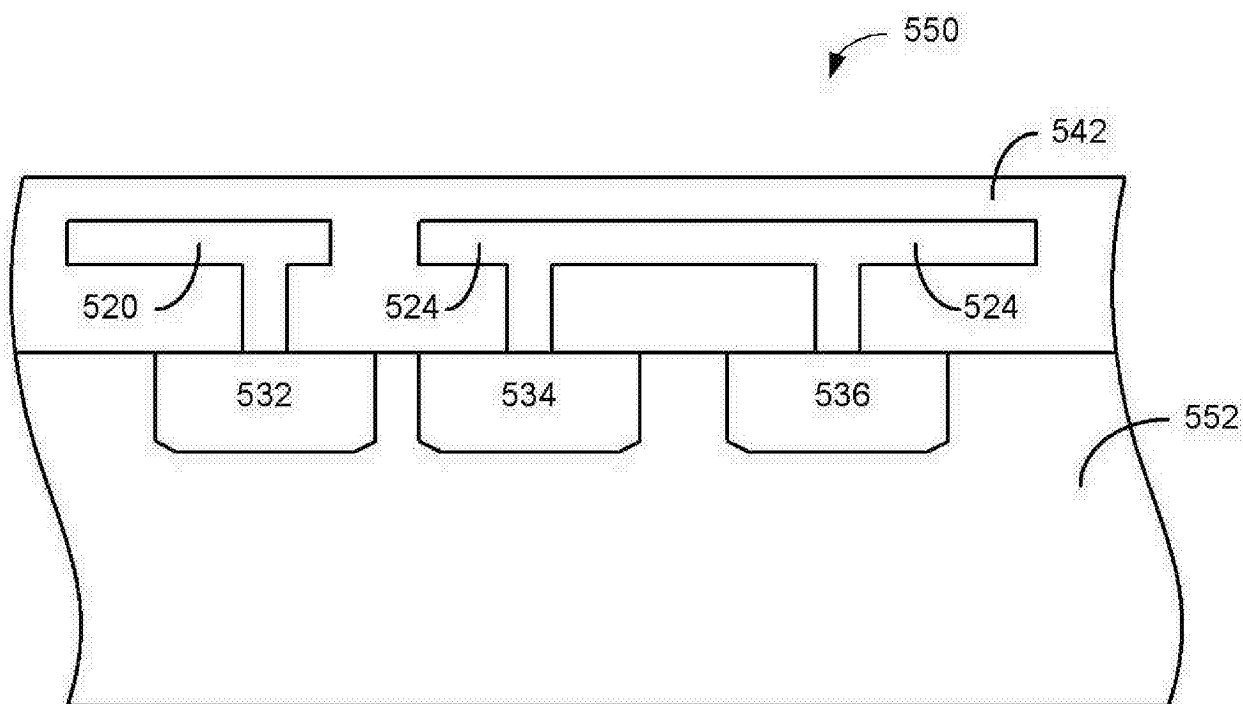


图 5A

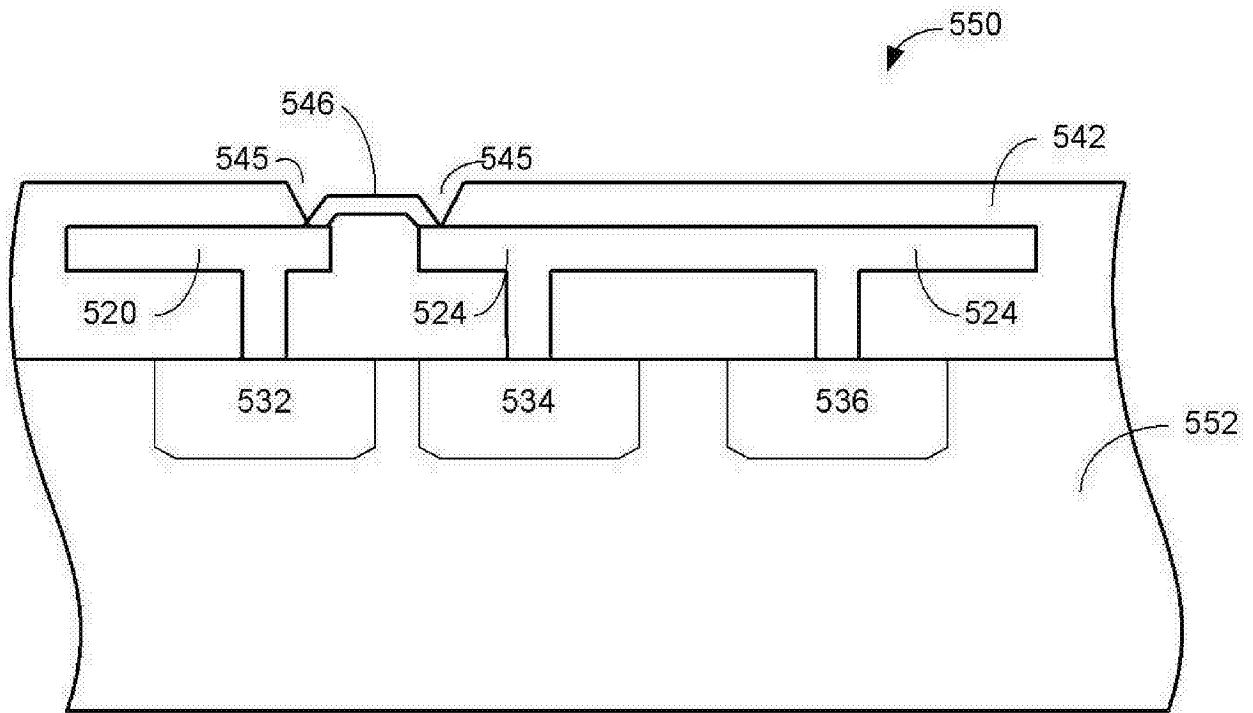


图 5B

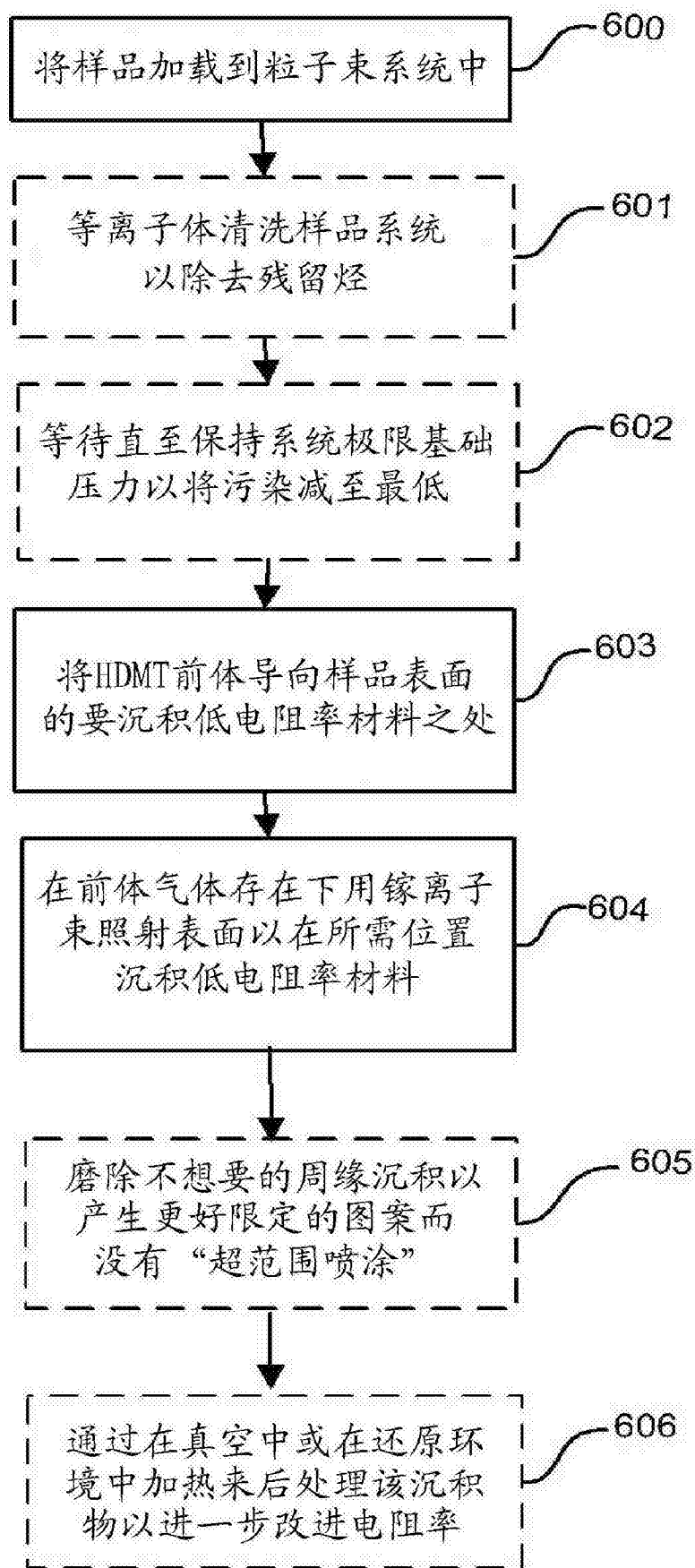


图 6

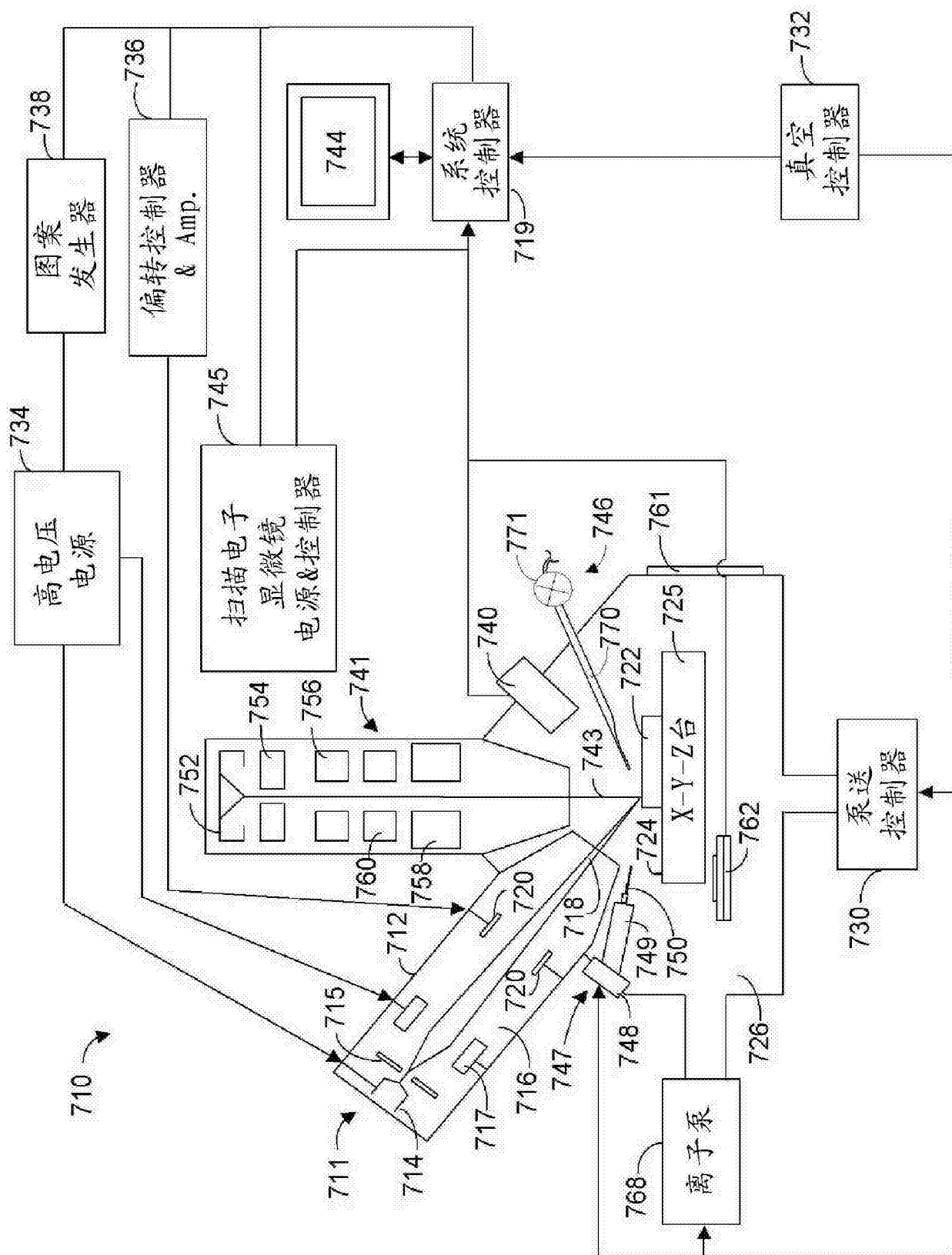


图 7