

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01L 23/532 (2006.01)

H01L 21/768 (2006.01)

H01L 21/3205 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510082037.4

[45] 授权公告日 2008 年 3 月 12 日

[11] 授权公告号 CN 100375280C

[22] 申请日 2005.7.5

[21] 申请号 200510082037.4

[30] 优先权

[32] 2004.7.9 [33] US [31] 10/887,087

[73] 专利权人 国际商业机器公司

地址 美国纽约

[72] 发明人 迈克尔·莱恩

斯特法尼·R·奇拉斯

特里·A·斯普纳尔

罗伯特·罗森伯格

丹尼尔·C·埃德尔斯坦

[56] 参考文献

JP2000-208511 A 2000.7.28

US20020132173 A 2002.4.26

US 6161012 B1 2001.1.30

审查员 吴晓达

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

代理人 付建军

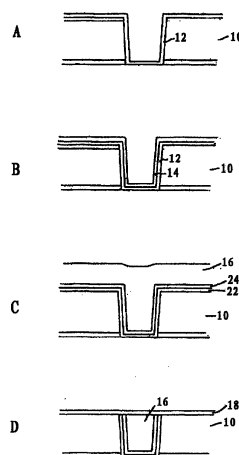
权利要求书 3 页 说明书 13 页 附图 3 页

[54] 发明名称

导电材料及其制造方法

[57] 摘要

一种导电材料包括：包含铜和 0.001at.% ~ 0.6at.% 的一种或多种选自包括 Ir、Os 或 Re 的组中的金属的导电芯部区。界面区包括至少 80at.% 或更多的一种或多种金属。本发明也涉及一种制造导电材料的方法，它包括：提供一底层；与底层接触的籽晶层，该籽晶层包括铜和一种或多种选自包括 Ir、Os 或 Re 的组中的金属；在籽晶层上淀积包含铜的导电层，和对导电层进行退火处理，退火温度足以引起导电层中晶粒的生长，而使一种或多种金属从籽晶层向导电层的迁移最小。该方法进一步包括抛光该导电层以提供一抛光的铜面层材料，和对抛光的铜面层材料进行退火处理，退火温度引起一种或多种金属从籽晶层向抛光的铜面层迁移以提供铜导电芯部与界面区接触。界面区和铜导电芯部包含一种或多种金属。



1、一种导电材料，包括：

导电芯部区，该导电芯部区包括铜和 0.001at.%~0.6 at.%的选自由 Ir、Os 或 Re 组成的组中的一种或多种金属；和

界面区，其中界面区包含至少 80 at.%的所述一种或多种金属。

2、如权利要求 1 所述的导电材料，其中界面区包含至少 90 at.%的铱。

3、如权利要求 2 所述的导电材料，其中导电芯部区包括 0.001at.%~0.4at.%的铱。

4、如权利要求 2 所述的导电材料，其中导电芯部区包括 0.001at.%~0.2at.%的铱。

5、如权利要求 2 所述的导电材料，进一步包括与导电芯部区共同形成所述界面区的籽晶区，其中籽晶区包括 0.5at.%~4at.%的铱。

6、如权利要求 1 所述的导电材料，其中界面区具有 5Å~20Å 的厚度。

7、如权利要求 2 所述的导电材料，其中导电材料的电阻率是 $2.3\mu\Omega/\text{cm}$ 或更小。

8、如权利要求 1 所述的导电材料，其中导电芯部区包括 0.001at.%~0.4at.%的所述一种或多种金属。

9、一种半导体结构，包括：

置于电介质材料中的沟槽或通孔，其中沟槽或通孔包括沿沟槽或通孔侧壁排布的底层；

在沟槽或通孔中的铜导电芯部，其中该导电芯部包括 0.01at.%~0.6 at.%的选自由 Ir、Os 或 Re 组成的组中的一种或多种金属；和

界面层，该界面层包括 80 at.%或更多的所述一种或多种金属。

10、如权利要求 9 所述的半导体结构，其中界面区包括 90 at.%或更多的铱。

11、 如权利要求 10 所述的半导体结构，其中铜导体芯部包括 0.001at.%~0.4at.%的铱。

12、 如权利要求 10 所述的半导体结构，其中铜导体芯部包括 0.001at.%~0.2at.%的铱。

13、 如权利要求 10 所述的半导体结构，进一步包括设置在底层上的籽晶区，其中籽晶区包括 0.5at.%~4at.%的铱。

14、 如权利要求 9 所述的半导体结构，其中界面区具有约 5Å ~ 约 20Å 的厚度。

15、 如权利要求 10 所述的半导体结构，其中导电材料的电阻率是 2.3μΩ/cm 或更小。

16、 如权利要求 9 所述的半导体结构，其中导电芯部区包括 0.001at.%~0.4at.%的所述一种或多种金属。

17、 一种导电材料，包括：

包括铜和 0.3at.%~1.8at.%的铱的籽晶区；

包括铜和 0.04at.%~0.1at.%铱的导电芯部区；

界面区，其中该界面区包括至少 98 at.%的铱。

18、 如权利要求 17 所述的导电材料，其中导电芯部区包括 0.05at.%~0.08at.%的铱。

19、 如权利要求 17 所述的导电材料，其中界面区具有 5Å ~ 20Å 的厚度。

20、 如权利要求 17 所述的导电材料，其中导电材料的电阻率是 2.1μΩ/cm 或更小。

21、 一种制造导电材料的方法，包括：

提供一底层；

使该底层与一籽晶层接触，其中籽晶层包括铜和一种或多种选自包括 Ir、Os 或 Re 的组中的金属；

在籽晶层上淀积包含铜的导电层，对导电层进行退火处理，退火温度足以引起导电层中晶粒的生长，而使所述一种或多种金属从籽晶层向导电层的迁移最小；

抛光该导电层以提供一抛光的铜面层材料；和

对抛光的铜面层材料进行退火处理，该退火温度引起所述一种或多种金属从籽晶层向抛光的铜面层迁移以提供与界面区接触的铜导电芯部，其中界面区和铜导电芯部包含所述一种或多种金属，其中铜导电芯部包含 0.001 at.%~0.6 at.% 所述一种或多种金属，并且所述一种或多种金属向抛光的铜面层材料的迁移为界面区提供 80 at.%或更多的所述一种或多种金属。。

22、 如权利要求 21 所述的方法，其中所述一种或多种金属包括铱，在对导电层或抛光的铜面层材料进行退火前籽晶层包含 1 at.%~7 at.%的铱。

23、 如权利要求 21 所述的方法，其中对导电层的退火工艺包括不超过 200℃的温度达到多于 5 分钟。

24、 如权利要求 21 所述的方法，其中对抛光的铜面层材料的退火工艺包括在 250℃或更高的温度达 30 分钟或更长时间。

25、 如权利要求 22 所述的方法，其中铱向抛光的铜面层材料的迁移为界面区提供 90 at.%或更多的铱。

26、 如权利要求 22 所述的方法，其中铜导电芯部包含 0.001 at.%~0.4at.%的铱。

27、 如权利要求 22 所述的方法，其中铜导电芯部包含 0.001 at.%~0.2at.%的铱。

28、 如权利要求 22 所述的方法，其中铱的迁移提供具有 0.5 at.%~4at.%的铱的籽晶区。

29、 如权利要求 21 所述的方法，其中所述一种或多种金属的迁移使界面区具有 5Å~20Å 的厚度。

导电材料及其制造方法

技术领域

本发明涉及一种导电材料，该导电材料有一包括铜的导电芯部区域和包括一种或多种选自铌、钽或铯的金属的界面区域。这种导电材料可以用于半导体器件的铜互连结构。本发明也涉及一种制造该导电材料的工艺。

背景技术

铝-铜和相关的合金曾经是形成电子器件的互连结构如集成电路芯片的优选合金。然而，目前微电子工业对高密度和高特性（速度和效率）的需求需要互连结构包括纯铜或接近于纯铜。由于纯铜和某些铜合金的电阻大大低于铝-铜合金的电阻，电子器件的性能提高了。而且，可以采用窄的互连结构，这样提供高配线密度。

图 1A - 1D 显示了制造互连结构的单镶嵌（single damascene process）工艺。如图 1A 所示，绝缘层 10 淀积在基底上并构图形成连线或接钮结构。底层 12 沿连线或接钮的内壁和绝缘层 10 的上表面淀积。然后如图 1B 所示籽晶层 14 淀积在底层 12 上。籽晶层 14 的作用是提供一层如图 1C 所示可供主导电层 16 淀积的基础。为了完成单镶嵌工艺的配线步骤，通过一种方法如化学机械抛光对多余的铜进行平坦化处理，该方法除去多余的顶面导电材料 16、顶面籽晶层 24 和顶面底层 22 以提供铜连线或通孔 26 的裸露表面。最后，如图 1D 所示淀积覆盖层（capping layer）18。重复此步骤制备下面的配线层和/或接钮以建立多层互连结构。在双镶嵌工艺中，接钮和连线层以相同的工艺步骤制造。

互连结构中的籽晶层起到几个作用。如果采用化学气相淀积的方法形成铜导电层，籽晶层通常用于激发铜的化学淀积。在电镀工艺中，籽晶层适合于向供应电镀电流的电极提供连续的电力。在高温回流溅

射工艺中, 籽晶层适合于提供良好润湿性和晶核生长特性的表面。

美国专利 No.6181012 描述了用于淀积铜合金导电层的籽晶层。籽晶层的成分和结构和导电层的成分和结构无需一样。例如, 籽晶层通常较铜导体具有更大的电阻。然而, 既然籽晶层占据的横截面面积仅占整个导体横截面面积的一小部分, 整个连线电阻取决于铜导体的电阻。

所述的籽晶层也使铜向电介质层的电迁移最小化。当电场与金属导体中的随机热扩散的迭加引起离子沿电流方向净漂移时, 产生电迁移现象。铜离子向硅基底的任何扩散都会带来器件的故障。

US6181012 所述的籽晶层包括 Cu(Sn)、Cu(In)、Cu(Zr)、Cu(Ti) 和 Cu(C,N,O,Cl,S)。可以向这些合金中加入第二种金属以提高对铜的粘结性能。第二种金属包括 Cu(Al)、Cu(Mg)和铜与其它活性金属的合金, 其它活性金属包括 Be、Ca、Sr、Ba、Sc、Y、La, 和稀土系元素 Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb 和 Lu, 和 Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Re、Si 和 Ge。此外, 可用于提高籽晶层的表面性能的其它的第二种金属包含 B、O、N、P、Fe、Ru、Os、Co、Rh、Ir、Ni、Pd、Pt、Ag、Au、Zn 和 Cd。一种可选择的特殊金属是银, 其在铜中的溶解度低, 不会形成铜的化合物。和主体的铜导体相比, 银的电阻低。其它的金属和某些在铜中具有低溶解度而不会形成铜化合物的金属合金包括 Mo、W 和 Co。

电镀铜导电层和机械抛光后, 在抛光的铜表面形成一覆盖层。覆盖层的作用是使铜向邻近材料的电迁移最小。已经提出多种覆盖铜的材料, 它们包括化学镀和电镀的金属连同物理气相淀积的金属和有机覆盖材料。已经发现选择性的化学镀淀积某些金属合金, 尤其是 CoWP, 能极大地提高电迁移寿命, 参见 Hu 等在《应用物理快报》

(Applied Physics Letters) 2002 年第 81 卷第 10 期第 1782 页上发表的文章“通过表面涂敷降低铜连线的电迁移”(Reduced Electromigration of Cu Wires by Surface Coating)。美国专利 US No.5695810 描述采用化学镀淀积 CoWP 膜作为阻挡层和作为铜互连

结构的覆盖材料。然而，化学镀工艺一般需要某种籽晶层来激发覆盖材料的形核。

不同于尽量提高已存的籽晶层或开发适用于覆盖材料的新籽晶层，尤其是电镀 CoWP 覆盖材料，申请人寻求一种不同的方法来在铜导体上形成覆盖材料。

发明内容

本发明涉及包括导电芯部区域的导电材料，该导电芯部区域包括铜和选自包括 Ir、Os 和 Re 的组中、具有 0.001 at.% 到 0.6 at.% 的一种或多种金属，和界面区域，其中界面区域包括至少 80 at.% 的一种或多种金属。

本发明的导电材料可以包括籽晶区、导电芯部区域和界面区域，该籽晶区包括铜和 0.3 at.% 到 1.8 at.% 的 Ir，该导电芯部区域包括铜和 0.04 at.% 到 0.1 at.% 的 Ir。界面区域会包括至少 98 at.% 的铱。

导电材料可以被用作半导体结构的铜互连。半导体结构包括：位于电介质材料中的沟槽或通孔，其中沟槽或通孔包括沿沟槽或通孔侧壁布置的底层；在沟槽或通孔内的铜导电芯部，其中导电芯部包括从 0.01 at.% 到 0.6 at.% 的一种或多种选自包括 Ir、Os 和 Re 的组中的金属；和包括为 80 at.% 或更多的一种或多种金属的界面层。

本发明也涉及一种制造导电材料的方法。该方法包括：提供一底层；使底层与籽晶层接触，其中籽晶层包括铜和一种或多种选自包括 Ir、Os 和 Re 的组中的金属；在籽晶层上淀积包含铜的导电层，对导电层进行退火处理，退火温度足以引起导电层中的晶粒生长并一种或多种金属从籽晶层向导电层的迁移最小。该方法进一步包括抛光导电层以提供抛光的铜面层材料，和对抛光的铜面层材料进行退火处理，退火温度足以引起一种或多种金属从籽晶层向抛光表面的迁移以提供与界面区域接触的导电芯部区域。界面区域和铜导电芯部区域包括所述一种或多种金属。

附图说明

参照本发明的详细的描述连同附图将更好地理解本发明，在附图

中：

图 1A 是在其中淀积有扩散阻止层的互连结构的开口的横截面视图；

图 1B 是在其中淀积有铜合金籽晶层的图 1A 所示互连结构开口的横截面视图；

图 1C 是在其中淀积有铜导电材料的图 1B 所示的互连结构开口的横截面视图；

图 1D 是具有多余的可去除铜的图 1C 所示的互连结构的开口的横截面视图；

图 2 图示了用于形成本发明的籽晶层的淀积工艺；

图 3A-3D 图示了用于制备本发明的导电材料的步骤。

具体实施方式

申请人开发了包括导电芯部和界面区的新颖的导电材料。导电芯部包括占主要比例的铜和一种或多种选自包括 Ir、Os 和 Re 的组中的金属。存在于导电芯部的一种或多种金属的比例从 0.001 at.% 到 0.6 at.%。界面区包括 80 at.% 或更多的一种或多种金属。许多导电材料具有导电芯部区，其具有 0.001 at.% 到 0.4 at.% 的一种或多种金属。许多导电材料具有界面区，其具有 90 at.% 或更多的一种或多种金属。界面区的形成是作为一种新颖的工艺的结果，该界面区提供一种或多种金属从淀积的籽晶层向铜导体的抛光表面迁移。

本发明的导电材料具有类似复合物材料的特征，该类似复合物材料有籽晶区、芯部区和界面区。术语“导电芯部区”定义为包含至少 90 at.% 铜的导电材料区域，和相对恒定的铜-金属原子浓度曲线。同样，术语“界面区”定义为包含至少 80 at.% 的一种或多种选自 Ir、Os 或 Re 的金属的导电材料区域，并具有相对恒定的铜-金属原子浓度曲线。术语“籽晶区”也定义为包含一种或多种选自 Ir、Os 或 Re 的金属的导电材料区域，并具有相对恒定的铜-金属原子浓度曲线。籽晶区、芯部区和界面区的形成都是制备导电材料的工艺的结果。

籽晶区、导电芯部区和界面区不包括这样的导电材料区域，其中

铜和一种或多种金属的原子百分比浓度曲线不是相对恒定（如在导电芯部区和界面区的界面处的芯部-界面边界区）。人们会希望在芯部-界面边界区铜和一种或多种金属的原子浓度曲线具有梯度而不是恒定的。在芯部导电区和籽晶区之间的导电材料中存在的芯部-籽晶边界区应当具有相同的情况。

本发明涉及一种制备复合材料的方法，它包括：提供底层；使底层与籽晶层接触，其中籽晶层包括铜和一种或多种选自 Ir、Os 或 Re 的金属；在籽晶层上淀积铜导电层，并对导电层进行退火处理，退火温度应足以带来导电层的晶粒生长，而使一种或多种金属从籽晶层向导电层的迁移最小；抛光导电层以提供抛光的复合材料；和对抛光的表面复合材料进行退火，退火温度应引起一种或多种金属从籽晶层向抛光的表面迁移以提供包括一种或多种金属的界面区。

采用一种或多种本领域技术人员已知的方法形成籽晶层。例如，可以通过化学气相淀积（CVD）、物理气相淀积（PVD）或这两种淀积方法的某些变种形成籽晶层。籽晶层也可以采取电化学或电镀方法形成。对 PVD 方法来说，可以采取从单金属靶或多金属靶活性的或非活性的溅射，或采用离子溅射的方法淀积籽晶层。籽晶层也可以通过顺序淀积铜和一种或多种金属的方法淀积，然后通过适合的热处理相互扩散。如果复合结构是半导体结构，通常在置于电介质材料的槽或通孔中的底层上淀积籽晶层。

在淀积的籽晶层中，一种或多种金属的浓度从 1 at.% 到 10 at.%。在许多例子中，淀积的籽晶层包含 1 at.% 到 7 at.% 的一种或多种金属。

淀积籽晶层后，淀积铜导电层。再次说明，如果复合结构是半导体结构，铜导电层填充槽或通孔。至于一些应用，铜导电层可以包括一种合金元素如 C、N、O、Cl 或 S，已经表明这些元素提高铜导体的稳定性。在铜合金中合金元素的量通常在大约 0.001wt.% 到大约 10wt.% 的范围。

可以采取化学镀、CVD 或电化学方法形成铜导电层。可以采取电化学淀积如电镀或化学镀的方法进行铜的淀积。合适的铜电镀成分

的例子参见美国专利申请 No.09/348632、专利权人为国际商业机器 (International Business Machines)，整个发明作为引用文献包含在这里。

淀积铜导电层后，退火处理此层结构，退火温度应足以引起铜导电层的晶粒生长，而使一种或多种金属从籽晶层向导电层的迁移最小。人们想使一种或多种金属向铜导电层的迁移度最小，这是因为一些金属具有向铜导电层的自由表面（裸露表面）迁移的趋势。尽管申请人利用了在以后退火阶段这种可观测到的迁移效果，一种或多种金属向自由表面的明显迁移会导致在随后的抛光阶段中从材料中去除贵金属。基本上，人们仅在籽晶层中引入金属，在抛光铜导电层的过程中除去它们。明显地，人们希望这种现象降低到最小。

有许多本领域技术人员可能采用的方法用来对铜导电层进行退火以增加结晶度。为了促进淀积的铜导电层的晶粒生长而使一种或多种金属从籽晶层向铜导电层的迁移度最小，人们采取低温退火，如在 100℃ 退火 1 小时。对于本领域技术人员来说，一旦被提供以申请人提出的方法的知识，能改变低温退火工艺以使一种或多种金属向铜导电层的迁移率最小。

一种在低温退火过程中使一种或多种金属从籽晶层向铜导电层的迁移率最小的方法是，不要超过 200℃ 达到多于 5 分钟。当然，给定的温度 - 时间范围来源于申请人所做的常规试验观测，不是一个需要遵守的严格的准则。铜导电层在 200℃ 以下退火的时间也影响一种或多种金属的迁移率。例如，如果采用快速加热退火处理，低温退火的温度可以超过 200℃ 多于 5 分钟。记住这一点，申请人认为，通常情况下，导电层的退火温度不应当超过 200℃ 多于 5 分钟。

低温退火后，即对铜导电层进行退火处理以促进和诱导铜导电层的晶粒生长，进行平坦化处理，如通过 CMP 以去除多余的铜、籽晶层和在附近的材料表面上形成的扩散/粘结层。在半导体结构中，附近的材料可能是电介质。

抛光工艺也包括电抛光工艺。在电抛光工艺中，通过电刻蚀或电

化学抛光从铜导电层刻蚀少量的铜以提供铜互连结构，该结构在电介质顶面的下面有铜的顶面。在本领域中此结构经常作为凹进结构被提及。

抛光步骤后在相对高的温度下对层结构进行退火处理以引起籽晶层中一种或多种金属向抛光面迁移来提供包含一种或多种金属的界面区。在 250℃或更高温度退火有利于一种或多种金属从籽晶层向抛光铜表面迁移。再次说明，此给定的温度限制来源于申请人所做的常规试验观测，不是一个需要遵从的严格的准则。当然，迁移度将取决于结构的退火时间、退火的温度曲线和所用的金属。退火温度越低，达到希望的迁移度需要的退火时间越长。记住，申请人认为，通常情况下，抛光的铜面层材料的退火时间和温度应当在 250℃或更高温度至少 30 分钟以使迁移度最优和退火时间最短。经常采用 300℃或更高的退火温度以促进金属向抛光的铜面层迁移。例如，可以采用在大约 325℃到大约 425℃的温度下和大约 1 小时的时间对抛光的铜面层材料进行退火处理。

本发明的方法提供一种或多种金属从籽晶层向抛光的铜面层材料中迁移。迁移的结果提供了一个可用作覆盖层的界面区。因此，此方法提供了自动覆盖铜导电芯部的方法。

本发明的方法提供了具有高原子百分比浓度的一种或多种金属的界面区。界面区的厚度可以从几个单层金属的厚度，如大约 5Å，到大约 20Å。最终的界面区将包括 80 at.%或更多的一种或多种金属。在许多例子中，最终的界面区包括 90 at.%或更多的金属。

申请人考察了几种不同的金属在不同的原子百分比浓度来了解哪种金属在哪种原子百分比浓度提供具有更适当性能的导电材料。与其它的金属相比，Ir，包含 Os 和 Re(作为可替代的一种或多种金属)，是一种非常特殊的金属，因为在所述的操作中 Ir 具有最佳的迁移特性。

与其它金属相比，选择 Ir 而不是其它金属，如 Rh、Pt、Pd 和 Ru，提供了具有相对低的原子百分比浓度 Ir 的芯部导电层。在几乎

相同的退火条件下 Ir 从籽晶层向抛光的铜面层材料的迁移不会污染或毒化导电芯部区。在导电芯部区中相对低的 Ir 含量提供了导电材料的电阻率相对于纯铜具有很小或几乎没有增长。

正像申请人所说,作为申请人的方法的结果,各种金属具有不同的通过铜导电层的迁移特性。因此,铜导体的电阻率数值各不相同。通常,添加这些金属到铜导体中会引起电阻率的升高。理想地,本发明的导电材料与纯铜导体相比不应当有相对高的电阻率。

导电材料的电阻率应当具有这样的电阻率,不明显高于没有界面区的铜导体的电阻率。导电材料优选地具有大约 $2.3\mu\Omega/\text{cm}$ 或更小的电阻率。

相对于其它金属使用 Ir 同样具有成本优势。由于 Ir 具有最理想的迁移特性,与其它金属相比,在籽晶层较大比例的 Ir 向抛光的铜面层材料中迁移。因此,在此过程中需要较少的 Ir 形成籽晶层,和最终的导电材料的界面区。因为这些金属是非常昂贵的金属,使用少量的金属就成为一个明显的优势。又因为相对于其它金属,少量的 Ir 被限制在导电芯部区,需要更少数量的 Ir 形成导电材料。

申请人指出,与其它贵金属相比, Ir 向抛光的面层材料的迁移具有更大的程度。例如,申请人指出,在几乎相同的工艺条件下, Rh 或 Pd 从淀积的籽晶层向铜导电层的迁移提供了相当差的导电材料。这两种金属扩散进入导电层以提供具有大约 1at.% 的金属的导电芯部。在导电芯部区中相对高含量的金属据说污染或毒化导电芯部区。结果是铜导电芯部的电阻率相应升高。电阻率数值的较高增长无疑是要避免的性能。

Ir 向抛光的面层的迁移提供了包含铜和 0.001at.% ~0.6at.% Ir 的导电芯部区。在许多例子中,最终的导电芯部区包含 0.001at.% ~0.4at.% 的 Ir。在其它的例子中,导电芯部区包括 0.001at.% ~0.2at.% 的 Ir。

Ir 向抛光的面层的迁移也提供了包含 0.5at.% ~4at.% Ir 的导电芯部区的籽晶区。在许多例子中,最终的籽晶区包括 0.5at.% ~2at.%

Ir.

一个示意性的导电材料包括包含铜和 0.3at.%~1.8at.% Ir 的籽晶区, 包含铜和 0.04at.%~0.1at.% Ir 的导电芯部区, 和界面区, 其中界面区包含至少 98at.% 的 Ir。导电材料的电阻率是 $2.1\mu\Omega/\text{cm}$ 或更小。

另一个示意性的导电材料包括包含铜和 0.3at.%~1.8at.% Ir 的籽晶区, 包含铜和 0.05at.%~0.08at.% Ir 的导电芯部区, 和界面区, 其中界面区包含至少 98at.% 的 Ir。导电材料的电阻率是 $2.1\mu\Omega/\text{cm}$ 或更小。

形成界面区后, 可以在界面区上淀积覆盖层。可以采用多种材料来覆盖铜, 包括化学镀和电镀淀积的金属连同物理气相淀积的金属和有机覆盖材料。已经表明, 选择性的化学镀某些金属合金 (尤其是 CoWP), 极大地提高铜互连结构的电子迁移寿命。例如, 化学镀 CoWP 覆盖层可以形成在界面区上, 参见 Hu 等发表在《应用物理快报》(Applied Physics Letters) 2002 年第 81 卷第 10 期第 1782 页, 题目为“通过表面涂敷降低铜连线的电子迁移”(Reduced Electromigration of Cu Wires by Surface Coating) 的文章, 该文章作为参考文献在这里被全部引用。作为参考文献被引用的美国专利 No.5695810 也揭示了为铜互连结构化学镀淀积 CoWP 膜作为覆盖材料。这种化学镀工艺通常需要籽晶来促使 CoWP 膜的形核。

导电材料的一个优点是不需要在淀积覆盖层之前形成籽晶。实际上, 界面区可作为覆盖层的籽晶层。如果化学镀 CoWP 膜用作覆盖层, 这个优点尤其明显。

一个美国专利申请中描述了化学镀 CoWP 膜, 专利权人是国际商业机器 (International Business Machines), 在 2003 年 11 月 18 日提交, 该专利也作为参考文献在这里引用。

导电材料也包括置于底层和籽晶区之间的屏障区。屏障区通常淀积在电介质层的刻蚀槽的侧壁和底面, 以使铜向电介质层的电子迁移最小。

屏障层也用作粘结层, 因为铜与常用的电介质如 SiO_2 的粘结性

不好。屏障层包含本领域普通技术人员已知的一种或多种金属层。本领域常用的形成屏障层的金属和金属合金包括钽、钨、氮化钽和氮化钛。这些金属通常用作与电介质层接触的第一金属层。然后可以在第一金属层上淀积第二金属层,该第二金属层包括一种或多种选自钌、钨、铑、铱和镍的金属。一种或多种金属层的厚度通常为 10nm 到 200nm,更常用的是 50nm 到 100nm 的范围。本发明的一个优选的屏障层参见美国专利的描述,该专利的申请号是 US No.10/132173,并在 2002 年 4 月 26 日提交和申请号为 US No.10/279057,在 2002 年 10 月 24 日提交的美国专利。这两个专利的专利权人都是国际商业机器,并作用参考文献被引用。

在一个实施例中,屏障层包含电介质界面材料和铜界面金属。屏障层也包含梯度浓度分布的电介质界面材料和铜界面金属。屏障层包含具有两个或更多个区,其中有一个包含铜界面金属的区,该区包含至少 50 at.% 的铜界面金属,优选的是至少 70 at.%,更为优选的是至少 90 at.%.铜界面金属选自钨、铑、钌、镍和铱。优选的铜界面金属是钨。屏障层也包含一个区,该区具有至少 50 at.%,优选的是至少 80 at.% 的电介质界面材料。电介质界面材料选自钨、氮化钨、钛、氮化钛、钽和氮化钽。优选的电介质界面材料是氮化钽。

图 2 表示了形成本发明的双镶嵌结构的籽晶层的一个实施例。使用包含铜和另一种金属的双组分溅射靶提供了如图所示的在籽晶层中不均匀立体角分布的铜和金属。重合金金属的相对于有限粘着系数的高动量和相对小的立体角分布提供了比铜更好的阶梯覆盖。最终的籽晶层在通孔底层、通孔底层侧壁和沟槽底部侧壁是富金属的。

形成本发明的导电材料的工艺如同 3 所示。图 3A 描述了具有淀积的屏障层的双镶嵌结构。图 3B 描述了根据图 2 的 PVD 淀积的籽晶层。铜淀积如同 3C 所示便于淀积在双镶嵌结构的上部侧壁和水平表面上。最终籽晶层允许包括在双镶嵌结构的下部拐角区几乎完全形核。电淀积铜后,相对低的温度退火用于促进图 3D 所示的导电层的晶粒生长。然后对退火后的铜采用 CMP 进行平坦化处理,这样提供抛光

的铜表面。然后提供一种相对高的温度退火以引起籽晶层的金属向抛光的铜表面迁移导致形成界面区。

用于提供本发明的互连结构的电介质层可以是半导体制造工业中使用的任何适合的电介质层，如二氧化硅、氮化物、氮化硅或氮氧化物层。也可以使用低 k 电介质材料，如 SiLK[®] (Dow Chemical), Coral[®] (Novellus), Black Diamond[®] (Applied Materials) 和自旋硅基电介质。Coral[®] 一般作为 SiCOH 电介质被描述。可以采用各种方法形成电介质层，包括化学气相淀积和自旋技术。两个美国专利所描述的电介质材料也可用作形成本发明的互连结构，这两个专利分别是：US No.6147009，在 2000 年 11 月 14 日公告和 US No.6441491，在 2002 年 8 月 27 日公告，这两个专利都作为参考文献被引用，它们的专利权都属于国际商业机器。

例1. Ir

采用物理气相淀积的方法在电介质材料上淀积屏障层 TaN/Ta。屏障层形成后，从铜合金靶淀积籽晶层。包含 5 at.%Ir 的铜靶提供具有大约 96 at.%Cu - 4 at.%Ir 的铜合金的籽晶层。然后采用行业标准技术在籽晶层上电镀铜。具有电镀铜的材料在 100℃退火 1 小时。退火处理提供了在铜中大的晶粒尺寸，而使 Ir 向铜的扩散最小。低温退火后，抛光 (CMP) 材料以提供抛光的铜表面。然后在 400℃退火抛光的材料 1 小时。采用标准 CoWP 镀液在铱界面区上淀积化学镀 CoWP 膜。

对比例 1 钯

采用物理气相淀积的方法在电介质材料上淀积屏障层 TaN/Ta。屏障层形成后，从铜合金靶淀积籽晶层。包含 5 at.%Pd 的铜靶提供具有大约 96 at.%Cu - 4 at.%Pd 的铜合金的籽晶层。然后采用行业标准技术在籽晶层上电镀铜。具有电镀铜的材料在 100℃退火 1 小时。退火处理提供了在铜中大的晶粒尺寸，而使 Ir 向铜的扩散最小。低温退火后，抛光 (CMP) 材料以提供抛光的铜表面。然后在 400℃退火抛光的材料 1 小时。采用标准 CoWP 镀液在钯界面区上淀积化学镀

CoWP 膜。

对比例 2 铑

采用物理气相淀积的方法在电介质材料上淀积屏障层 TaN/Ta。屏障层形成后，从铜合金靶淀积籽晶层。包含 5at.% 铑 Rh 的铜靶提供具有大约 96at.%Cu - 4at.% Rh 的铜合金的籽晶层。然后采用行业标准技术在籽晶层上电镀铜。具有电镀铜的材料在 100℃退火 1 小时。退火处理提供了在铜中大的晶粒尺寸，而使 Rh 向铜的扩散最小。低温退火后，抛光 (CMP) 材料以提供抛光的铜表面。然后在 400℃退火抛光的材料 1 小时。采用标准 CoWP 镀液在铑界面区上淀积化学镀 CoWP 膜。

对比例 3 钽

采用物理气相淀积的方法在电介质材料上淀积屏障层 TaN/Ta。屏障层形成后，从铜合金靶淀积籽晶层。包含 5at.%Ta 的铜靶提供具有大约 96at.%Cu - 4at.%Ta 的铜合金的籽晶层。然后采用行业标准技术在籽晶层上电镀铜。具有电镀铜的材料在 100℃退火 1 小时。退火处理提供了在铜中大的晶粒尺寸，而使 Ta 向铜的扩散最小。低温退火后，抛光 (CMP) 材料以提供抛光的铜表面。然后在 400℃退火抛光的材料 1 小时。采用标准 CoWP 镀液在钽界面区上淀积化学镀 CoWP 膜。

表 1 为例 1 和对比例 1-3 的原子百分比数值的总结，这些数据由 Rutherford Backscattering Spectroscopy(RBS)。原子百分比值来自各材料的界面区和导电芯部区。如表所示，铑和钽材料没有界面区。可替代地，金属在铜导体上均匀分布，很少或没有向自由铜表面的迁移。在铜导体中相对高原子百分比浓度的铑和钽金属为铜导体提供了相对的电阻率数值。

表 1

例	合金金属	界面 at. %	主体 at. %	Ω 欧姆/cm ²
1	银	100	0.07	1.95
对比例 1	铈	1	1	4
对比例 2	钨	1	1	2.9
对比例 3	钽	100	0.03	1.95
铜控制	n/a	n/a	n/a	2

图 1A

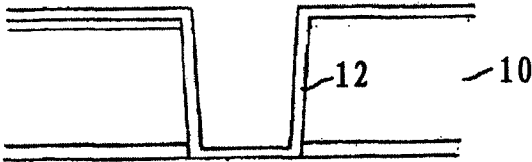


图 1B

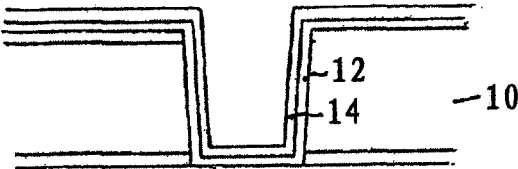


图 1C

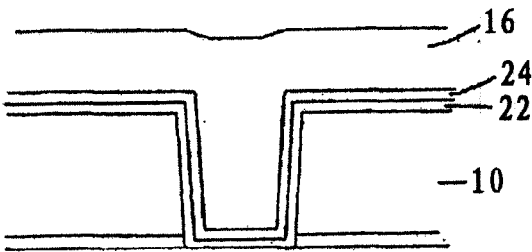


图 1D

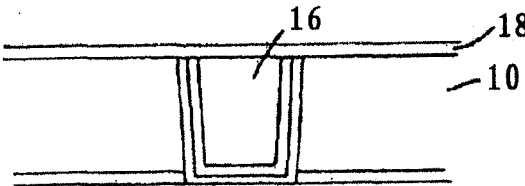


图2

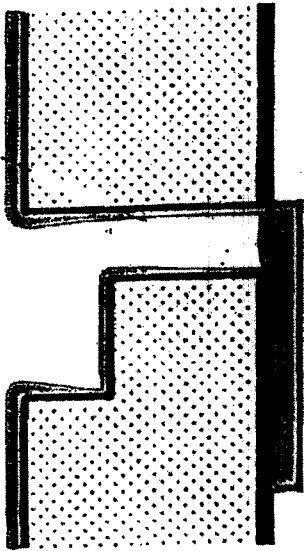
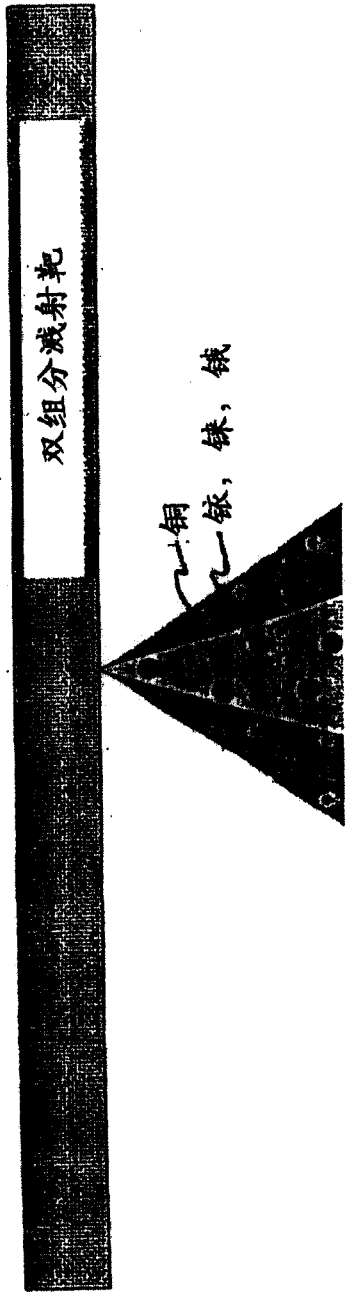


图3

