

磁控管及磁控溅射设备

技术领域

- 5 本发明涉及溅射沉积技术领域，特别是涉及一种磁控管及磁控溅射设备。

背景技术

- 物理气相沉积技术或溅射沉积技术是半导体工业中最广为使用的一类
10 薄膜制造技术，泛指采用物理方法制备薄膜的薄膜制备工艺。物理气相沉积技术可应用于很多工艺领域，如铜互连线技术、封装领域中的硅穿孔技术等。

- 图 1 为一种典型的磁控溅射设备的结构原理图。该设备主要包括：工艺腔室 1、设置于工艺腔室 1 内部的用于承载基片的静电卡盘 3、设置于工艺腔
15 室 1 上方的靶材 2 和磁控管 4 以及磁控管驱动电机 5。在工艺腔室 1 的下端或侧壁上连接有抽气装置 13。在磁控溅射工艺中，向工艺腔室 1 内通入用于形成等离子体的工艺气体（例如，氩气等），在腔室内电场和磁场的共同作用下，磁控管产生的磁场束缚电子，限制电子的运动范围，并延长电子的运动轨迹，使电子最大幅度的离化，部分其他离子在靶材表面反应形成化合物，
20 另一部分离子受靶材负电压的吸引轰击靶材 2 的表面，使靶材 2 的表面的部分原子脱落，并沉积到所要加工的基片表面，从而形成所需膜层。

- 图 2a 为现有技术的一种磁控管的径向截面图，图 2b 为图 2a 中磁控管对靶材的靶材腐蚀曲线。请一并参见图 2a、2b。该磁控管包括外磁极 102 和内磁极 104，二者呈螺旋环状、且相互嵌套，并且分别在外磁极 102 和内磁
25 极 104 中沿各自轮廓均匀分布有极性相反的磁铁 108，用以形成可以将等离子体束缚在靶材表面的磁场。此外，在外磁极 102 和内磁极 104 之间形成呈

螺旋环状的恒定间隙 106，该恒定间隙 106 用于限定与靶材的正面相邻的高密度等离子体区域，同时在该等离子体中建立一闭合的电流环，以维持等离子体。在工艺过程中，磁控管以内磁极 102 的内端部 14 为旋转中心在靶材的表面旋转扫描。上述磁控管能够实现全靶腐蚀，且靶材利用率很高。

- 5 但是，如图 2b 所示，为图 2a 中磁控管对靶材的靶材腐蚀曲线。由图可知，采用上述磁控管沉积获得的薄膜厚度均匀性较差。这是因为：由于自靶材不同半径处溅射出的粒子飞向基片的角度分布不同，自靶材边缘处溅射出的粒子到达基片的整体角度小于自靶材中心处溅射出的粒子到达基片的整体角度，导致沉积在基片表面的薄膜在其径向上呈现中间厚、边缘薄的形态，
- 10 厚度均匀性大于 3%，整片厚度均匀性差。另外，由于间隙 106 形成的轨道的路径较长，这就要求较大的启辉电压，而较大的启辉电压会在后续的 ITO 薄膜沉积过程中对 P-GaN 基片表面造成损伤。

- 图 2c 为现有技术的另一种磁控管的径向截面图。如图 2c 所示，该磁控管类似于对称的肾形形状，其包括极性相反的外磁极 62 和内磁极 64，且在
- 15 二者之间形成有宽度固定的间隙 66。这种肾形磁控管 60 的轨道没有完全覆盖靶材中心（靶材中心即旋转中心 14），也没有覆盖到靶材的边缘，也就无法实现全靶扫描，另外，该磁控管的轨道在靶材中心区域与边缘区域所夹的弧度基本相等，对短程溅射来说，最终也会导致沉积的薄膜中间厚边缘薄的问题。

- 20 鉴于上述两种现有技术中的缺陷，摆在本领域技术人员面前的难题是：如何提供一种能够提高薄膜的厚度均匀性的磁控管。

发明内容

基于此，有必要提供一种均匀溅射的磁控管及磁控溅射设备。

- 25 本发明的一种磁控管，包括极性相反的内磁极和外磁极，所述内磁极和所述外磁极均由多条螺旋线组成，所述外磁极的螺旋线包围所述内磁极的螺

旋线，且二者之间具有间隙；并且，所述间隙自螺旋中心至边缘的不同位置处的宽度不同；并且，

所述外磁极的螺旋线与所述内磁极的螺旋线均遵循下述极坐标方程：

$$r = a \times \theta^n + b \times (\cos \theta)^m + c \times (\tan \theta)^k + d$$

- 5 其中， r 和 θ 为极坐标； a 、 b 、 c 、 d 为常数； $0 \leq n \leq 2$ ， $0 \leq m \leq 2$ 、 $c=0$ 或 $k=0$ 。

其中，所述间隙的宽度自其螺旋中心至边缘逐渐减小或逐渐增大。

其中，所述间隙的宽度的范围在 10—60mm。

其中，所述内磁极的螺旋线与所述外磁极的螺旋线的数量分别为三条。

- 10 其中，所述间隙的宽度自所述螺旋中心至中部逐渐减小，同时所述间隙的宽度自该中部向边缘也逐渐减小；或者，所述间隙的宽度自所述螺旋中心至中部逐渐增大，同时所述间隙的宽度自该中部向边缘也逐渐增大。

其中，三条所述内磁极的螺旋线的极坐标方程分别为：

$$r = 4.875 \times \theta^{1.701} + 1.46 \times (\cos \theta)^{1.244} - 26.72, \text{ 其中 } 1.5\pi \leq \theta \leq 2.6\pi;$$

- 15 $r = 8.31 \times \theta^{1.235} + 10.84 \times (\cos \theta)^{1.362} + 39.02, \text{ 其中 } 1.72\pi \leq \theta \leq 3.14\pi;$

$$r = 4.64 \times \theta^2 + 35.84 \times (\cos \theta)^{1.695} - 48.52, \text{ 其中 } 1.1\pi \leq \theta \leq 1.72\pi;$$

三条所述外磁极的螺旋线的极坐标方程为：

$$r = 4.75 \times \theta^{1.92} + 1.25 \times (\cos \theta)^{1.56} + 32.49, \text{ 其中 } 0.25 \leq \theta \leq 2\pi;$$

$$r = 17.54 \times \theta^{0.78} + 5.45 \times (\cos \theta)^{1.12} + 179.42, \text{ 其中 } 0 \leq \theta \leq 1.15\pi;$$

- 20 $r = 6.42 \times \theta^{1.98} + 1.88 \times (\cos \theta)^{1.95} + 45.41, \text{ 其中 } 0.3 \leq \theta \leq 1.14\pi。$

其中，所述磁控管适用于标准腔室；标准腔室中，靶材到基片的距离小于 80mm。

其中，在所述外磁极的三条螺旋线中，其中两条螺旋线对应于所述间隙的边缘所在位置处，且二者的端点之间以弧线首尾相连。

- 25 其中，所述弧线遵循下述极坐标方程：

$\rho^2 + 303 \times \rho \times \cos \theta + 140 \times \rho \times \sin \theta + 25872 = 0$ ，其中， ρ 和 θ 为极坐标； $1.2\pi \leq \theta \leq 2.2\pi$ 。

作为另一种实施方案，本发明还提供了一种磁控溅射设备，包括磁控腔、真空工艺腔、靶材、基片与托盘，还包括本发明提供任意一种磁控管；所述
5 托盘设置在所述真空工艺腔内，所述托盘的上表面用作承载所述基片的承载面；所述磁控管设置在所述磁控腔内；所述靶材设置在所述磁控腔与所述真空工艺腔之间，所述靶材的背面朝向所述磁控腔。

其中，用于金属硬掩膜 TiN 沉积时，所述靶材到所述基片的距离为 50—80mm。

10 其中，用于除 TiN 之外的其他氮化物或金属沉积时，所述靶材到所述基片的距离为 30—90mm。

其中，所述间隙在所述磁控管扫描所述靶材的过程中，经过所述靶材的中心和边缘。

与现有技术比较本发明的有益效果在于：

15 本发明提供的磁控管包括极性相反内磁极和外磁极，相邻的内磁极和外磁极之间形成有间隙，该间隙自螺旋中心至边缘的不同位置处的宽度不同，以使得平面内的磁场强度分布趋于均匀，从而可以提高薄膜的厚度均匀性。同时，本发明提供的磁控管的内磁极和外磁极之间的间隙近似为螺旋形，且该螺旋形的旋转周数较少，从而可以获得较短的等离子体路径，进而可以降低
20 等离子体的启辉电压，从而可以避免后续的 ITO 薄膜沉积过程中对 P-GaN 基片表面造成损伤。

作为一优选实施例，所述间隙从螺旋中心向边缘逐渐减小，此时螺旋形磁控管在靶材中心产生的磁场较弱，靶材边缘产生的磁场较强，使得沉积到基板上的粒子数量在径向方向上基本相等，从而提高膜厚均匀性。应用本实
25 施例提供的磁控管沉积获得的薄膜，其厚度均匀性小于 3%。

附图说明

图 1 为一种典型的磁控溅射设备的结构原理图；

图 2a 为现有的一种磁控管的径向截面图；

5 图 2b 为图 2a 中磁控管对靶材的靶材腐蚀曲线；

图 2c 为现有技术的另一种磁控管的径向截面图；

图 3 为本发明实施例提供的磁控管的示意图；

图 4 为本发明实施例提供的磁控溅射设备的靶材腐蚀曲线。

10 具体实施方式

为了解决薄膜的厚度均匀性差的问题，提出了一种磁控管及磁控溅射设备来得到厚度均匀的薄膜。

以下结合附图，对本发明上述的和另外的技术特征和优点作更详细的说明。

15 请参阅图 3 所示，其为本发明的磁控管的示意图，磁控管 100 包括极性相反的内磁极 120 与外磁极 130，内磁极 120 和外磁极 130 均由多条螺旋线组成，外磁极 130 的螺旋线包围内磁极 120 的螺旋线，并且内磁极 120 与外磁极 130 的螺旋线均遵循下述极坐标方程：

$$r = a \times \theta^n + b \times (\cos \theta)^m + c \times (\tan \theta)^k + d ;$$

20 其中，坐标原点 110 为螺旋中心， r 和 θ 为极坐标； a 、 b 、 c 、 d 为常数。

取 $c=0$ 或 $k=0$ ； $0 \leq n \leq 2$ ； $0 \leq m \leq 2$ 。

其中，坐标原点 110 为内磁极 120 的螺旋线的螺旋中心，内磁极 120 的螺旋线环绕在该坐标原点 110 的周围；坐标原点 110 同时也是外磁极 130 的
25 螺旋线的螺旋中心。

具体来说，如图 3 所示，组成内磁极 120 和外磁极 130 的螺旋线的数量

均为三条。组成内磁极 120 的螺旋线分别为第一内螺旋线 122，第二内螺旋线 124 与第三内螺旋线 126；组成外磁极 130 的螺旋线分别为第一外螺旋线 132，第二外螺旋线 134 与第三外螺旋线 136。

本实施例中，组成内磁极 120 的第一内螺旋线 122，第二内螺旋线 124 与第三内螺旋线 126 的极坐标方程分别为：

$$(1) \quad r = 4.875 \times \theta^{1.701} + 1.46 \times (\cos \theta)^{1.244} - 26.72, \text{ 其中 } 1.5\pi \leq \theta \leq 2.6\pi;$$

$$(2) \quad r = 8.31 \times \theta^{1.235} + 10.84 \times (\cos \theta)^{1.362} + 39.02, \text{ 其中 } 1.72\pi \leq \theta \leq 3.14\pi;$$

$$(3) \quad r = 4.64 \times \theta^2 + 35.84 \times (\cos \theta)^{1.695} - 48.52, \text{ 其中 } 1.1\pi \leq \theta \leq 1.72\pi.$$

组成外磁极 130 的第一外螺旋线 132，第二外螺旋线 134 与第三外螺旋线 136 的极坐标方程分别为：

$$(1) \quad r = 4.75 \times \theta^{1.92} + 1.25 \times (\cos \theta)^{1.56} + 32.49, \text{ 其中 } 0.25 \leq \theta \leq 2\pi;$$

$$(2) \quad r = 17.54 \times \theta^{0.78} + 5.45 \times (\cos \theta)^{1.12} + 179.42, \text{ 其中 } 0 \leq \theta \leq 1.15\pi;$$

$$(3) \quad r = 6.42 \times \theta^{1.98} + 1.88 \times (\cos \theta)^{1.95} + 45.41, \text{ 其中 } 0.3 \leq \theta \leq 1.14\pi.$$

本实施例中，外磁极 130 中对应间隙 140 的边缘的两条螺旋线的端点之间以弧线首尾相连，也即，第二外螺旋线 134 与第三外螺旋线 136 之间使用圆弧 138 过渡。圆弧 138 所在圆的圆心在坐标系 (-151.5, -70) 的位置，圆弧 138 的半径为 44.5mm，圆弧 138 的曲线方程为：

$$\rho^2 + 303 \times \rho \times \cos \theta + 140 \times \rho \times \sin \theta + 25872 = 0, \text{ 其中, } \rho \text{ 和 } \theta \text{ 为极坐标; } 1.2\pi \leq \theta \leq 2.2\pi.$$

除第二外螺旋线 134 与第三外螺旋线 136 之间连接的圆弧 138 外，内磁极 120 的三条螺旋线之间、外磁极 130 的三条螺旋线之间的其余相邻端点之间也使用弧线过渡，组成内磁极 120 的三条螺旋线与组成外磁极 130 的三条螺旋线分别形成圆滑光顺的曲线，以形成封闭的间隙 140。

本发明实施例提供的磁控管，其遵循上述极坐标方程而获得的内磁极和

外磁极之间的间隙近似为螺旋形，且该螺旋形的旋转周数较少（间隙 140 可视为两条轨道并行螺旋缠绕一圈），从而可以获得较短的等离子体路径，进而可以降低等离子体的启辉电压，从而可以避免后续的 ITO 薄膜沉积过程中对 P-GaN 基片表面造成损伤。

5 此外，间隙 140 自螺旋中心至边缘的不同位置处的宽度不同。具体来说，如图 3 所示，间隙 140 为一闭合的环形，且该环形呈螺旋状弯曲，且一端靠近内磁极 120 或外磁极 130 的螺旋中心，另一端环绕该螺旋中心向外螺旋延伸；间隙 140 自螺旋中心至边缘的不同位置，即为间隙 140 自其靠近螺旋中心的一端至远离该螺旋中心的一端的不同位置。由于上述间隙 140 的宽度越
10 大，则对应该间隙 140 处的磁场强度越小；反之，上述间隙 140 的宽度越小，则对应该间隙 140 处的磁场强度越大。因此，可以通过改变间隙 140 自螺旋中心至边缘不同位置处的宽度大小来控制平面内的磁场强度分布，从而可以提高薄膜厚度的均匀性。

优选的，将间隙 140 自其靠近螺旋中心的一端至远离该螺旋中心的一端
15 依次划分为三个部分，分别为螺旋中心、中部和边缘。并且，可以根据基片表面的薄膜厚度在其径向上的分布差异，使间隙 140 的宽度从螺旋中心向边缘逐渐减小或逐渐增大；或者，间隙 140 的宽度从螺旋中部向中心逐渐减小，且从螺旋中部向螺旋边缘逐渐减小；或者，间隙 140 的宽度从螺旋中部向中心逐渐增大，且从螺旋中部向螺旋边缘逐渐增大，从而最终使薄膜厚度趋于
20 均匀。优选的，间隙 140 的宽度的范围在 10-60mm。

例如，若薄膜存在薄膜中间厚边缘薄的问题，则可以使间隙 140 的宽度从螺旋中心向边缘逐渐减小，即， $d_1 > d_2 > d_3$ ，这使得磁控管 100 在螺旋中心处的磁场强度较弱；而在边缘处的磁场强度较强，也一定程度上减少了中心溅射的粒子数，同时增大了边缘溅射的粒子数，从而最终使薄膜厚度趋于均
25 匀。优选地，间隙 140 在螺旋中心处的 $d_1=40\text{mm}$ ，递减到间隙 140 边缘处的 $d_3=30\text{mm}$ 。应用本实施例提供的磁控管沉积获得的薄膜，厚度均匀性小于 3%。

但本发明并不局限于此，若薄膜存在薄膜中间薄边缘厚的问题，则可以使间隙 140 的宽度从磁控管的螺旋中心向边缘逐渐增大，即， $d1 < d2 < d3$ 。进一步地，为了使控制更加细化，还可以使间隙 140 的宽度从磁控管的中部向螺旋中心逐渐减小，并且间隙 140 的宽度从中部向边缘也逐渐减小，即， $d2 > d1$ 且 $d2 > d3$ ；或者间隙 140 的宽度从磁控管 100 的中部向螺旋中心逐渐增大，并且间隙 140 的宽度从中部向边缘也逐渐增大，即， $d2 < d1$ 且 $d2 < d3$ 。

优选的，请参阅图 4 所示，其为本发明的磁控溅射设备的靶材腐蚀曲线，内磁极 120 的螺旋线的螺旋中心为螺旋形磁控管 100 的坐标原点 110，坐标原点 110 在竖直方向上通过靶材的中心，且外磁极 130 的螺旋线覆盖靶材的边缘，这样使得等离子体路径经过靶材的中心及边缘，以实现全靶均匀腐蚀。

本发明实施例提供的磁控管除了能够改善薄膜厚度均匀性以外，还能改善金属硬掩膜的方块电阻均匀性。具体地，在溅射沉积技术中，一般金属沉积（如：铜、钛、钽等）或反应溅射金属化合物（如：氮化钽等），它们的方块电阻均匀与厚度在整个晶片上基本相同，且这两个参数的乘积——电阻率在整片晶片上是基本一致的，然而，对于硬金属（如：TiN、AlN、Ti 等）的反应溅射，由于 TiN 存在多种模式，导致薄膜厚度均匀性与方块电阻均匀性两个工艺特性，一方面工艺特性变好，另一方面就会变差。从这一角度来说，在溅射硬金属时，若磁控管的等离子体路径过短，会导致薄膜的方块电阻均匀性较差；相反，若磁控管的等离子体路径过长，虽然可以提高方块电阻均匀性，但是需要较大的启辉电压，而较大的启辉电压会在后续的 ITO 薄膜沉积过程中对 P-GaN 基片表面造成损伤。因此，必须选择合适的磁控管的等离子体路径，以达到在保持较低的启辉电压的前提下，提高方块电阻均匀性的目的。本发明实施例提供的磁控管，其与现有技术相比，比图 1 示出的磁控管的等离子体路径短，同时比图 2a 示出的磁控管的等离子体路径长，从而可以在保持较低的启辉电压的前提下，提高方块电阻均匀性。与此同时，本发明实施例提供的磁控管通过改变间隙 140 自螺旋中心至边缘不同位置处的宽

度大小来控制平面内的磁场强度分布，可以提高薄膜的厚度均匀性，从而既可以提高薄膜的厚度均匀性和方块电阻均匀性，又可以提高电阻率均匀性。

试验数据表明，应用本实施例提供的磁控管进行沉积硬金属时，在高温高压（ $>5\text{mT}$ ）条件下获得的薄膜，方块电阻均匀性 $<5\%$ ，厚度均匀性小于3%；在室温高压（ $>5\text{mT}$ ）条件下获得的薄膜，方块电阻均匀性 $<3\%$ ，厚度均匀性小于6%。均能满足现阶段的工艺要求。此外，本实施例提供的磁控管不仅适用于反应溅射沉积硬金属，还可以溅射沉积得到方块电阻均匀性 $<3\%$ 的硬金属薄膜。

作为本发明的另一个实施例，本发明还提供了一种磁控溅射设备。磁控溅射设备包括磁控腔、真空工艺腔、靶材、基片、托盘，与上述的磁控管 100。

托盘设置在真空工艺腔内，托盘的上表面用作承载所述基片的承载面；磁控管 100 设置在磁控腔内；靶材设置在磁控腔与真空工艺腔之间，靶材的背面朝向磁控腔。

为了提高溅射效率，磁控管 100 放置在靶材的背面，磁控管 100 包括极性相反的磁铁，极性相反的一个或多个磁铁分别组成内磁极 120 和外磁极 130，分别形成螺旋形的内轨道和螺旋形的外轨道。

组成内磁极 120 和外磁极 130 的磁铁分别位于内磁极 120 的螺旋线和外磁极 130 的螺旋线的轨迹上，磁铁受到轨道的束缚在临近磁铁的腔室范围内产生磁场。

磁控管 100 的内磁极 120 被外磁极 130 中极性相反的磁铁包围而成。

为了达到均匀溅射的目的，磁控管 100 通过电机带动，在靶材的表面均匀扫描，电机的旋转速度为 60-100rpm。

间隙在磁控管扫描所述靶材的过程中，经过所述靶材的中心和边缘，以使内磁极 120 的螺旋线的螺旋中心为螺旋形磁控管 100 的坐标原点 110，坐标原点 110 在竖直方向上通过靶材的中心，且外磁极 130 的螺旋线覆盖靶材的边缘，这样使得等离子体路径经过靶材的中心及边缘，以实现全靶均匀腐

蚀。

作为一种可实施方式，磁控溅射设备用于金属硬掩膜 TiN 沉积时，工艺压力可以为 2-15mT，功率不大于 20kW，靶材到基片的距离为 50—80mm。

作为一种可实施方式，磁控溅射设备用于除 TiN 之外的其他氮化物或金属沉积时，如 AlN、Cu、Ti 等，工艺压力可以为 1-20mT，功率不大于 40kW，靶材到基片的距离为 30—90mm。

在上述情况下，能得到质量较好的溅射沉积效果，磁控管 100 与磁控溅射设备还适用于各种工艺条件下的溅射沉积，适用范围广泛。

以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对本发明专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本发明的保护范围。

权 利 要 求 书

- 1、一种磁控管，包括极性相反的内磁极和外磁极，其特征在于，所述内磁极和所述外磁极均由多条螺旋线组成，所述外磁极的螺旋线包围所述内磁极的螺旋线，且二者之间具有间隙；并且，所述间隙自螺旋中心至边缘的不同位置处的宽度不同；并且，

所述外磁极的螺旋线与所述内磁极的螺旋线均遵循下述极坐标方程：

$$r = a \times \theta^n + b \times (\cos \theta)^m + c \times (\tan \theta)^k + d$$

- 其中， r 和 θ 为极坐标； a 、 b 、 c 、 d 为常数； $0 \leq n \leq 2$ ， $0 \leq m \leq 2$ ， $c=0$ 或 $k=0$ 。

- 2、根据权利要求 1 所述的磁控管，其特征在于，所述间隙的宽度自其螺旋中心至边缘逐渐减小或逐渐增大。

- 3、根据权利要求 1 所述的磁控管，其特征在于，所述间隙的宽度的范围在 10—60mm。

- 4、根据权利要求 1 至 3 任一项所述的磁控管，其特征在于，所述内磁极的螺旋线与所述外磁极的螺旋线的数量分别为三条。

- 5、根据权利要求 4 所述的磁控管，其特征在于，所述间隙的宽度自所述螺旋中心至中部逐渐减小，同时所述间隙的宽度自该中部向边缘也逐渐减小；或者，

- 所述间隙的宽度自所述螺旋中心至中部逐渐增大，同时所述间隙的宽度自该中部向边缘也逐渐增大。

- 6、根据权利要求 4 所述的磁控管，其特征在于，三条所述内磁极的螺

旋线的极坐标方程分别为:

$$r = 4.875 \times \theta^{1.701} + 1.46 \times (\cos \theta)^{1.244} - 26.72, \text{ 其中 } 1.5\pi \leq \theta \leq 2.6\pi;$$

$$r = 8.31 \times \theta^{1.235} + 10.84 \times (\cos \theta)^{1.362} + 39.02, \text{ 其中 } 1.72\pi \leq \theta \leq 3.14\pi;$$

$$r = 4.64 \times \theta^2 + 35.84 \times (\cos \theta)^{1.695} - 48.52, \text{ 其中 } 1.1\pi \leq \theta \leq 1.72\pi;$$

5 三条所述外磁极的螺旋线的极坐标方程为:

$$r = 4.75 \times \theta^{1.92} + 1.25 \times (\cos \theta)^{1.56} + 32.49, \text{ 其中 } 0.25 \leq \theta \leq 2\pi;$$

$$r = 17.54 \times \theta^{0.78} + 5.45 \times (\cos \theta)^{1.12} + 179.42, \text{ 其中 } 0 \leq \theta \leq 1.15\pi;$$

$$r = 6.42 \times \theta^{1.98} + 1.88 \times (\cos \theta)^{1.95} + 45.41, \text{ 其中 } 0.3 \leq \theta \leq 1.14\pi.$$

10 7、根据权利要求 1 至 3 任一项所述的磁控管，其特征在于，所述磁控管适用于标准腔室；

标准腔室中，靶材到基片的距离小于 80mm。

15 8、根据权利要求 4 所述的磁控管，其特征在于，在所述外磁极的三条螺旋线中，其中两条螺旋线对应于所述间隙的边缘所在位置处，且二者的端点之间以弧线首尾相连。

9、根据权利要求 8 所述的磁控管，其特征在于，所述弧线遵循下述极坐标方程：

20
$$\rho^2 + 303 \times \rho \times \cos \theta + 140 \times \rho \times \sin \theta + 25872 = 0,$$

其中， ρ 和 θ 为极坐标； $1.2\pi \leq \theta \leq 2.2\pi$ 。

10、一种磁控溅射设备，包括磁控腔、真空工艺腔、靶材、基片与托盘，其特征在于，还包括权利要求 1 至 9 任一项所述的磁控管；

25 所述托盘设置在所述真空工艺腔内，所述托盘的上表面用作承载所述基

片的承载面;

所述磁控管设置在所述磁控腔内;

所述靶材设置在所述磁控腔与所述真空工艺腔之间,所述靶材的背面朝向所述磁控腔。

5

11、根据权利要求 10 所述的磁控溅射设备,其特征在于,用于金属硬掩膜 TiN 沉积时,所述靶材到所述基片的距离为 50—80mm。

12、根据权利要求 10 所述的磁控溅射设备,其特征在于,用于除 TiN
10 之外的其他氮化物或金属沉积时,所述靶材到所述基片的距离为 30—90mm。

13、根据权利要求 10 所述的磁控溅射设备,其特征在于,所述间隙在所述磁控管扫描所述靶材的过程中,经过所述靶材的中心和边缘。

15