



## 提高反应溅射 沉积速率标准

Douglas R. Pelleymounter

### 摘要

以高沉积速率长时间溅射非导电氧化物一直是工艺工程师的目标。在使用具有单靶直流电源的此种工艺类型的溅射期间，阳极被氧化物覆盖、消失，并且等离子体消失。对此已验证的解决方案使用两个靶管进行交流电源供电。我们都知道，在有效保持阳极清洁的同时，交流式电源供电让来自初始直流电单靶设计的沉积速率损失结果约为 25%。如果在交流电输送中使用可旋转磁控溅射靶管，端头就具备有限的电感电流性能。基板和溅射区加热也对交流电源供电系统有不良的影响。使用两个双极性脉冲直流电源供电系统和一个新增至交流式双磁控溅射区的浮动阳极，所输送的更多电源相较于使用交流电解决方案可达到更高的沉积速率。这会高达交流电沉积速率的两倍。此浮动阳极保持非常的热量以吸收沉积在其上面的氧化物。与传统的交流电源相比，基板温度约为一半。溅射区和端头不再感应加热，因此可以传递更高的功率，产生更高的沉积速率。在此介绍方法和结果。

## 目录

摘要	1
直流电反应式溅射的形成	2
脉冲直流电的发展	2
交流电溅射的出现	2
双极性脉冲直流电的成名	4
当今的新兴技术	4
结论	9
致谢	9

### 直流电反应式溅射的形成

直流电反应式溅射的形成出现于 20 世纪中后期。这是此种工艺的“中世纪”时期。沉积速率比 RF 溅射增加了五倍。然而，对于使用氧气的制程，阳极覆盖越来越多的绝缘材料，使得来自等离子体的电子越来越难以回到电源发生器。这导致工艺电压变得越来越高。此工艺于是开始形成大量的电弧，最后由于阳极上积累太多的绝缘材料而停止。

直流电被认为“一直活动”，所以只要阳极是清洁的，100% 的沉积速率就可能存在。有许多方法来保持阳极清洁，特别是对于串联工艺有不同的结果。有些方法很简单，有些很复杂。没有一致的结果。

### 脉冲直流电的发展

在 20 世纪末期开始使用脉冲直流电。输出信号周期性地电压反转到 20%。如此保持了阳极长时间的清洁，但不可避免地仍需要通风口和阳极的清洁。由于电源供应器输出信号脉冲和反转，则在该反转期间不进行工作，因此沉积速率是为 80 至 90% 直流电。

### 交流电溅射的出现

20 世纪末期开始了交流电溅射。比尔·韦斯特伍德 (Bill Westwood) 博士向我们展示，使用两个磁控管可以保持阳极清洁，因为每半个周期，一个磁控管变成阴极，而另一个成为阳极。因此，轮到下一个阴极运作期间，在上一个半周期所沉积的物质会被清除掉。这种类型的电源供电是串联反应式溅射的主体，并已被证实具稳固性和一致性。

由于需要两个磁控溅射靶管，所以初期的费用会颇高。输出信号是正弦波，因此双磁控管交流式系统产生的沉积速率约为直流电工艺的 75%。此外，基板上的感应传递热负荷比直流电高很多。虽然对于大多数传统的反应式工艺、玻璃镀膜而言这不成问题，但是在卷绕镀膜中使用的高温不利于基底的确是个难题。在此工艺过程中，因为输出信号在两者之间移动工作，磁控管仅使用一半的时间。现今的电源传导组件是专为高热交流式输送而设计，但它们最终成为高功率的限制因素。

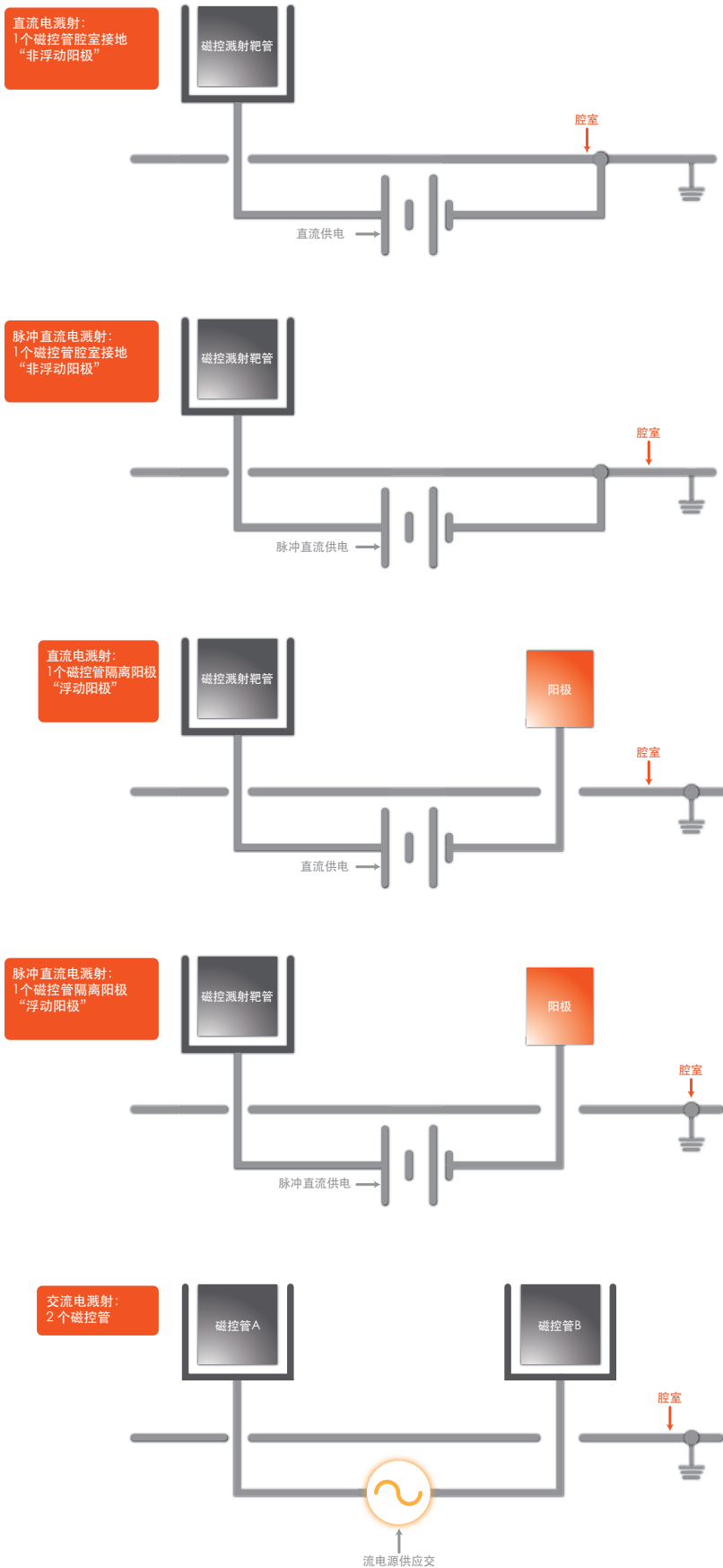


图 1. 各种直流电和交流电溅射示意图

## 双极性脉冲直流电的成名

进入 21 世纪初，双极性脉冲直流电开始在业界打响名号。它提供一个与交流电输送方式相当的溅射速率，具有能够在两个磁控管之间调节工作周期的附加优点。基板热负荷仍然很高。即使其为脉冲直流电，却仍然具有易于感应加热电源传递组件与基板的交流式组件。磁控管与交流电溅射相同，只使用一半的时间。它也具有 75% 的直流电溅射速率。

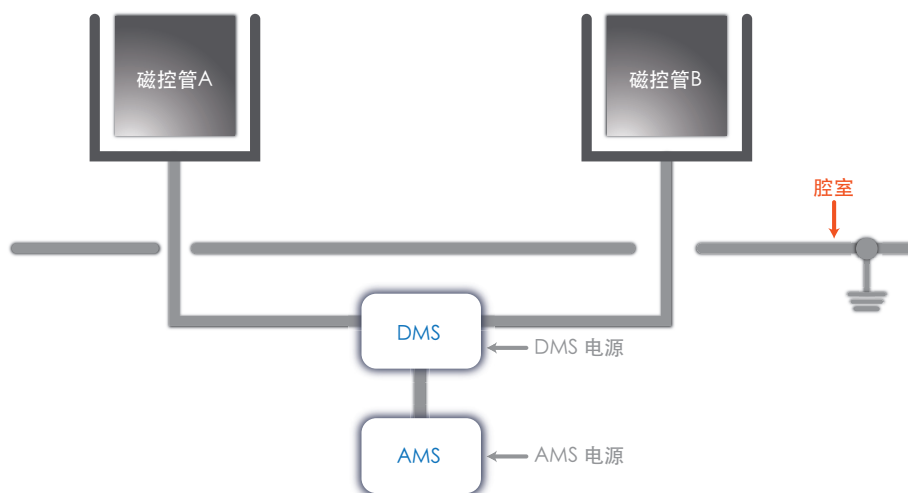


图 2。AMS/DMS 溅射

## 当今的新兴技术

谈够了历史演进课程；以下部分介绍本文的中心目的。

Advanced Energy® AMS/DMS 装置已证实可取代交流式电源供电系统。此装置被选择使用于此特殊的测试，因为工作周期可作调整，并且对于本作者容易获得。如上所述，对于作为被交流电取代的装置，仍存在一些感应加热，并且阴极仍只有使用一半的时间。然后将 DMS 大致上转动 90 度，并且增设另一台 AMS/DMS 装置，其 DMS 转动 90 度。另外新增浮动阳极。将每个 DMS 的 B 侧连在一起并连接至浮动阳极。每个 DMS 的 A 侧连接至 C-M 阴极盖中的阴极。每个 DMS 上的工作周期于 A 侧设定为 80%，因此在 B 侧为 20%。在 40 kHz，浮动阳极保持足够的热以吸收沉积于上面的任何反应式绝缘材料，同时两个 DMS 单元将在 20% 的时间内各自为它提供全功率。

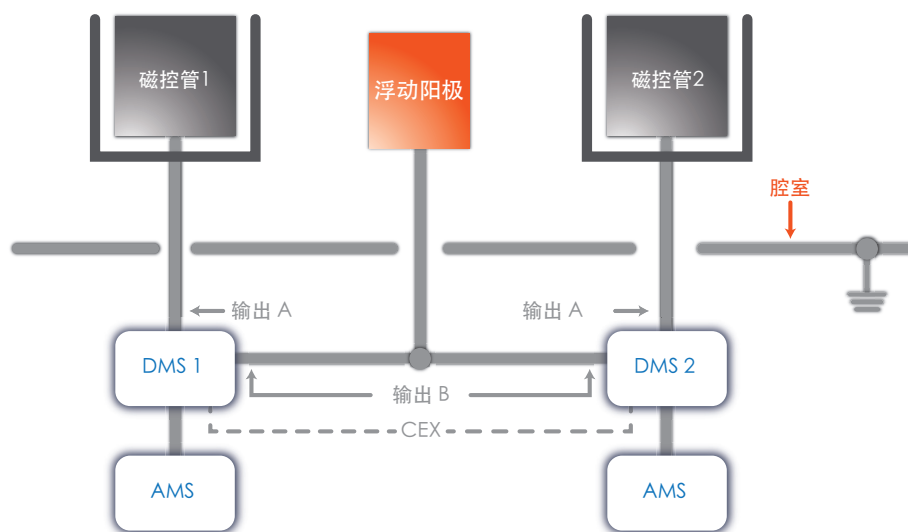


图 3。AMS/DMS 双反向脉冲 (DRP) 专利申请中的溅射技术

DMS 单元必须在完全相同的时间以完全相同的方式脉冲，因此使用脉冲同步器来连接。将一个单元设定为发射器，另一个单元设定为接收器。

此种设定运作于具有较小的磁控管向下溅射机器上，因此工艺电源受到限制。Advanced Energy PEII 10 kW 交流电源提供基线测量双 DMS 设定的热量和沉积速率。

#### 机器设定

- TiO<sub>x</sub> 靶材料
- 6.4 mTorr, 使用 126 SCCM 氩气和 100 SCCM 氧气
- 位于它们之间有一个具浮动阳极的每个磁控管 4 kW
- 10米每分钟线速度

#### 第一个等离子体观察

项目	电压	电流
阴极 1	-535 V	7.2 A
阴极 2	-565 V	7.1 A
阳极接地	850 V	无
阳极	-680 V	2.2 A
阴极接地	-720 V	无

这证实了 DMS 试图输送全功率至阳极。在阳极上当然没有增强磁性，因此它需要非常高的电压来做任何更多的工作，而不仅仅只是加热。这正是我们所期待的。



图 4。DMS电压信号（下方追踪）和阳极信号接地（上方追踪）

由于 DMS 频率敏捷，所以两个装置是在 20 kHz、30 kHz 和 40 kHz 运作，A 侧开启时间尽可能更长。基线将为 PEII，因此为了比较沉积速率和热负荷，会以 DMS 40 kHz 作为比较目标。

为了得到厚度尺寸，使用 Dektak® 表面光洁度仪，并在素玻璃上使用 Sharpie® 记号笔。通过 Sharpie 记号笔擦拭涂层玻璃以去除涂层，可以得到良好的厚度位阶。

使用 SuperM.O.L.E.® 测量基板上的热负荷。此电路板被许多隔热屏封住，配有强力胶黏住玻璃基板的 K 型热电偶。SuperM.O.L.E. 通过等离子体进行实时温度测量，并将数据下载到计算机上。



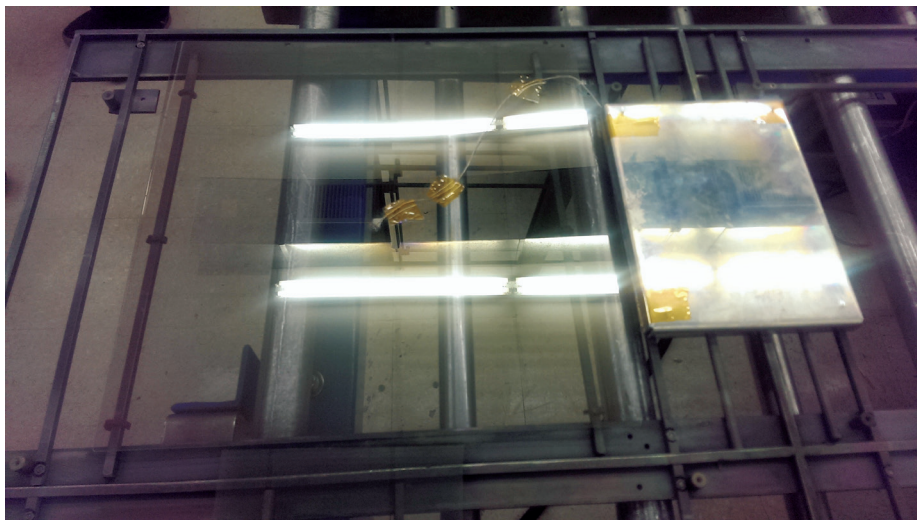


图 5。SuperM.O.L.E.® 设定

结果

进行了五次运行。所有的机器设定如上所述。

第一次运行

AMS 设定	电源	电压	电流
AMS 1	4 kW	513 V	7.8 A
AMS 2	4 kW	526 V	7.7 A

DMS 设定	频率	A 侧	B 侧	加速
DMS 1	20 kHz	90%	10%	50%
DMS 2				

DMS B 侧阳极	电压	电流
DMS 1	589 V	2.8 A
DMS 2	598 V	3.4 A

第二次运行

AMS 设定	电源	电压	电流
AMS 1	4 kW	527 V	7.6 A
AMS 2	4 kW	542 V	7.4 A

DMS 设定	频率	A 侧	B 侧	加速
DMS 1	30 kHz	85%	15%	50%
DMS 2				

DMS B 侧阳极	电压	电流
DMS 1	637 V	2.2 A
DMS 2	647 V	2.2 A

第三次运行

AMS 设定	电源	电压	电流
AMS 1	4 kW	545 V	7.3 A
AMS 2	4 kW	552 V	7.2 A

DMS 设定	频率	A 侧	B 侧	加速
DMS 1	40 kHz	80%	20%	50%
DMS 2				

DMS B 侧阳极	电压	电流
DMS 1	678 V	2.2 A
DMS 2	680 V	2.2 A

第四次运行

PEII 设定	电源	电压	电流
PEII	4 kW	570 V	7.6 A

第五次运行

PEII 设定	电源	电压	电流
PEII	8 kW	630 V	14 A

以摄氏度表示的基板加热

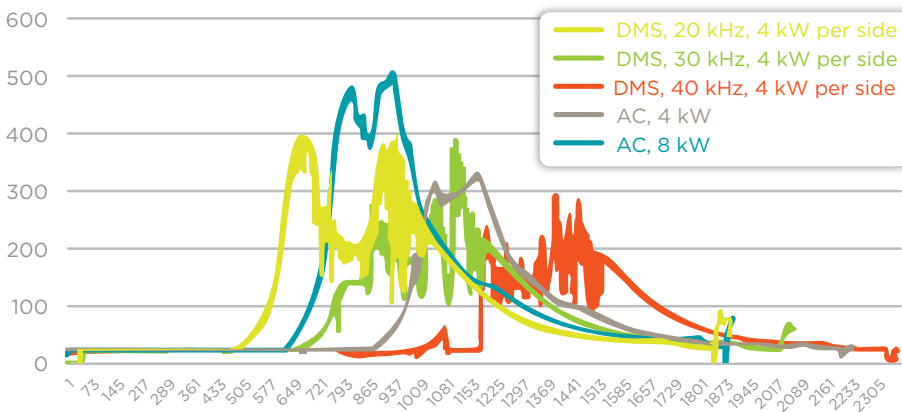


图 6. 所有运行的基板热负荷

以摄氏度表示的基板加热

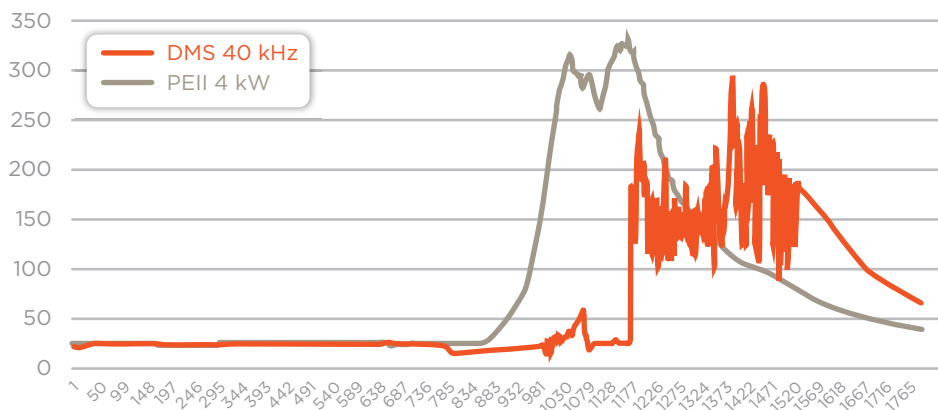


图 7. 基板热负荷, DMS 40 kHz 4 kW 至 AC 4 kW

以摄氏度表示的基板加热

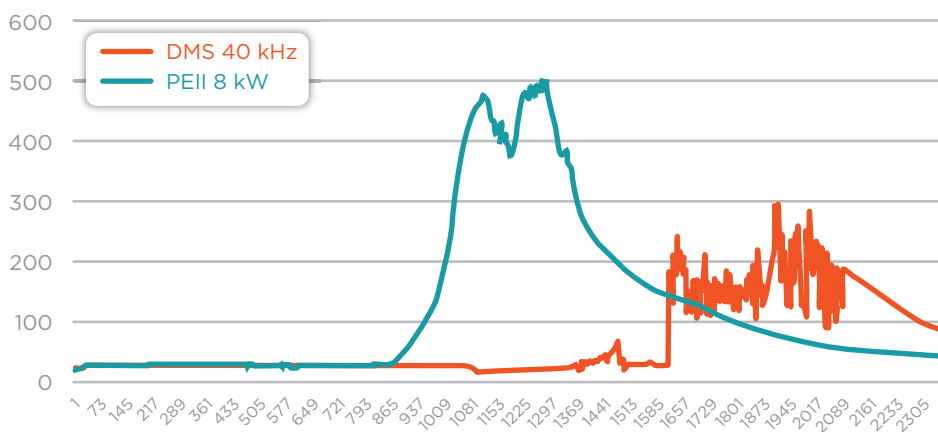


图 8. 基板热负荷, DMS 40 kHz 4 kW 至 AC 8 kW

以埃为单位的薄膜厚度



图 9. 厚度测量



## 薄膜厚度

运行次	种类	频率	电源	电流	厚度	热负荷
1	DMS	20 kHz	每侧 4 kW	每侧 7.8 A	460 Å	360°C
2	DMS	30 kHz	每侧 4 kW	每侧 7.5 A	425 Å	320°C
3	DMS	40 kHz	每侧 4 kW	每侧 7.3 A	380 Å	230°C
4	AC	40 kHz	4 kW <sub>RMS</sub>	7.6 A <sub>RMS</sub>	230 Å	310°C
5	AC	40 kHz	8 kW <sub>RMS</sub>	14.0 A <sub>RMS</sub>	450 Å	480°C

## 结论

在本文中的所有精美的图片和图形中，最后一张数据表提供了最多的信息。如上所述的运行双 AMS/DMS 装置能够降低热负荷，提高沉积速率。

在运行 3 和 4 (DMS 40kHz, 每侧 4 kW 和 AC 40kHz, 4 kW RMS) 的比较中，使用 DMS 有可能让一对磁控管的电流加倍。这会增加每对的沉积速率，并且热负荷会急剧下降。

在运行 3 和 5 (DMS 40kHz, 每侧 4 kW 和 AC 40kHz, 8 kW RMS) 的比较中，交流电的沉积速率如所预期会稍微增加，但是 DMS 上的热负荷为一半。虽然这很有趣，但却不是一般的工艺工程师在交流电源或电流达到限制而且需要更高的沉积速率时所应处于的情况。例如，如果溅射区域以 90 kW 运行并达到 300 A 的交流电流限制，就可以使用一对 AMS/DMS 装置。将两个 120 kW AMS/DMS 装置代替 120 kW AC 输送系统，实际上会像是比较运行 3 和 4。可以将更多的电源投入电源供电系统中，而不必担心达到感应加热电流限制的上限。此类型的输送系统将加快生产速度，在无需增设阴极盖的情况下能够增高沉积速率，使用现有的阴极达到最大程度，并且保持基板和电源功率传导组件更为冷却。

观察运行 1、2 和 3，可以推断出这些 AMS/DMS 装置能在大部分任何的频率下运行，并且较传统的交流电源输送更佳，具备一致性的埃单位/基板温度曲线。

## 附录

将阳极移动更接近阴极可让 B 侧阳极电压显著下降。阳极的位置很重要，能使阳极电压略高于 A 侧阴极电压。这将确保电弧感测电路会跳脱在 A 侧阴极上而不在 B 侧阳极上。

## 致谢

衷心感谢位于科罗拉多 Loveland 的 Colorado Concept Coatings 公司提供此测试使用的镀膜机和设备。此外，非常感谢 VAA North America 的 Ken Nauman 协助取得 CCC 协议而且提供 SuperM.O.L.E，以及为及时完成本文测试的所需人力。

