

电弧放电是磁控溅镀中众多问题中常见来源之一。与对于稳定溅镀首选的均匀发射相比，电弧的特征是维持等离子体的电荷在溅镀表面的使电子局部化的，剧烈的集中发射 [1]。电弧点的能量集中，会在电弧的最接近位置轻松形成熔化区域。熔化区域的形成会导致大粒子爆发性的喷射。形成大粒子是电弧破坏力最强的副产品之一，并且会在任何环境气体中溅镀任何材料时产生。

多种机构会促进溅镀制程中电弧的形成。绝缘材料的反应溅镀尤其会造成问题，因为绝缘区域的形成会造成严重的电弧放电。众所周知，在反应溅镀中反向电压脉冲会大幅减少电弧，即便在最易产生的电弧反应制程 [2,3] 之中。正确选择脉冲参数是必要的，一旦确定合适的脉冲参数，电弧活动 [4] 的影响将会大幅减少。

在金属溅镀中，电弧最常见的来源通常包括靶表面中或上面的杂质局部带电 (图 1)。即便在金属靶中，表面上的这种杂质也会造成局部带电区域。如使用直流电源，当电荷在这些缺陷处的累积，达到了击穿临界点，电子集中发射就会出现。Wickersham [5] 展示嵌入靶中的杂质微粒如何促进电弧的形成，造成粒子释放。从溅镀电弧中喷射出的粒子尺寸为次微米到几微米之间 [6]。

多年以来，在高纯度溅镀材料 [8] 制造方面的进步，减少了溅镀靶中促进电弧发生的缺陷。此外，直流电源中电弧检测和处理的进步实现了对电弧的快速检测和响应，并减少了电弧产生所释放的总能量 [9]。这些进步尽管意义重大，但仍然无法在电荷易于累积的区域中提供积极的抑制措施。因此，即便是最纯净的靶料，使用最新、最先进的直流电源，在靶和真空室寿命周期的某个阶段仍可能发生电弧。

直到最近，在溅镀电弧管理方面的创新意味着日益快速的电弧检测和在和电弧产生时尽可能减少电弧储存的能量的释放。这种方法的缺点是这样的控制措施只能在电弧事件已经发生之后才启动。随着电源几何尺寸的继续缩小，对日益成熟的控制及主动电弧密度减少的需要也持续发展。反向电压脉冲提供的第一种方法是在电弧发生前积极抑制电荷聚集，在许多情况中完全防止电弧发生。

透过在脉冲的每个反向 (或关闭) 周期过程中提供的主动电荷清除功能，反向电压脉冲调制提供针对电弧管理的独特优势。电压临时反向将电子倾注到阴极以清除电荷聚集，以抑制电弧的形成并更有效熄灭仍可能发生的电弧。

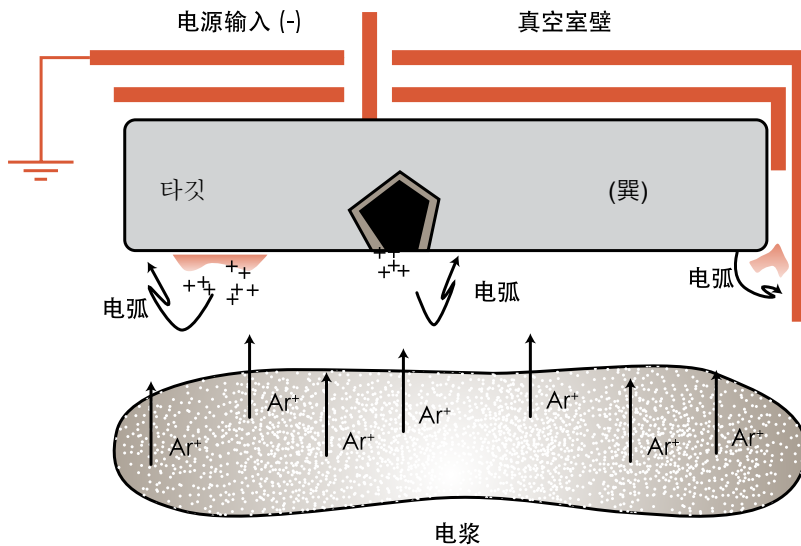


图 1. 溅镀过程中电弧放电的常见来源 [7]

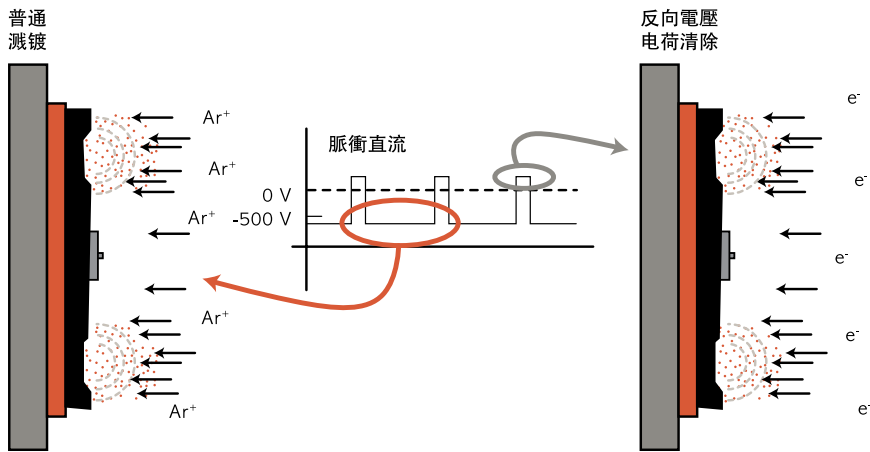


图 2. 主动电荷清除和电弧防止的反向电压脉冲调制 [10]

如上文讨论的，反向电压脉冲在稳定最具挑战性的反应溅镀制程中的高效率久经考验。对于金属制程，脉冲调制在防止大部分电弧发生方面都同样的有效。作为脉冲效率的说明，图 3 中显示使用直流和脉冲直流 (100 kHz, 60% 占空比) 电源从溅镀的低纯度铝合金靶收集的电弧数据。

对于直流和脉冲直流两种情形，在这些测试中的平均功率输出均为 500 W，并且所有其他操作条件保持一致。透过延长执行两种情况将电弧计数实时制成表格。直流操作过程中的电弧快速计数累积表示溅镀靶上存在众多促进电弧的缺陷。脉冲直流情形的资料明确表示电弧事件的大量减少。脉冲直流情形的电弧计数减少归功于反向电压脉冲调制提供的电荷清除的有效性。

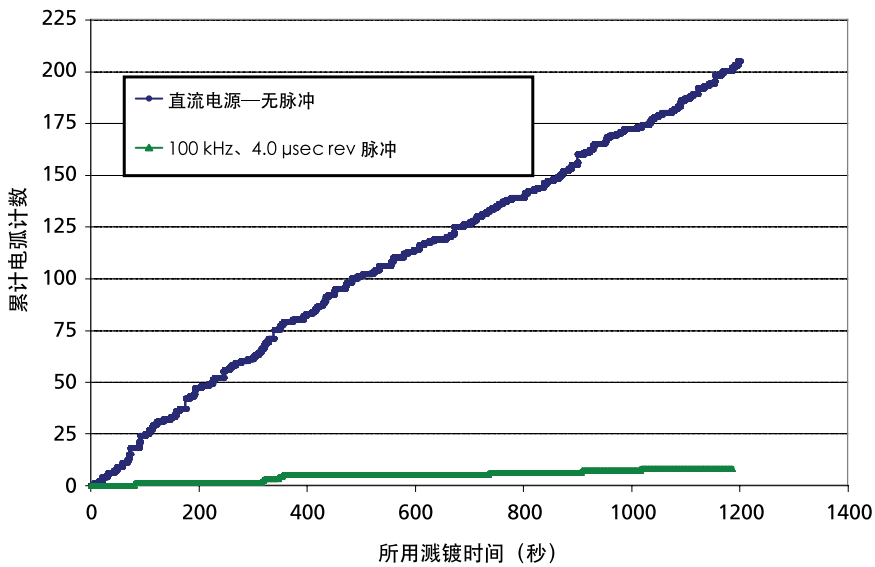


图 3. 透过应用反向电压脉冲直流电源在铝溅镀中所减少的电弧率

结束语

对薄膜沉积质量日渐提高的要求已驱使在电源设计方面对电弧管理和抑制能力的持续创新。即便对传统有效的直流电源溅镀应用领域，对消除破坏性电弧日益增加的需求也驱使采纳更成熟的电源供应方法。因此，由于在电弧抑制方面具有胜过传统的直流溅镀的重要优势，反向电压脉冲直流溅镀得到采用。

透过运用反向电压脉冲调制，可有效将金属靶上发生的电弧活动减少一个数量级以上甚至更高，让微粒更少，改善缺陷密度并且提高薄膜质量。

参考文献

- [1] A. Anders, 「Physics of arcing, and implications to sputter deposition,」 *Thin Solid Films* 502 (2006), pp. 22-28.
- [2] A. Belkind, A. Freilich, R. Scholl, 「Electrical dynamics of pulsed plasmas,」 in *Society of Vacuum Coaters, 41st Annual Technical Conference Proceedings* (1998).
- [3] P. J. Kelly, P. S. Henderson, R. D. Arnell, G. A. Roche, D. Carter, 「Reactive pulsed magnetron sputtering process for alumina films,」 *J. Vac. Sci. Technol. A* 18 (6) (Nov/Dec 2000).
- [4] D. Carter, H. Walde, G. McDonough, G. Roche, 「Parameter optimization in pulsed-DC reactive sputter deposition of aluminum oxide,」 in *Society of Vacuum Coaters Conference Proceedings* (Apr. 2002).
- [5] C. E. Wickersham, Jr., J. E. Poole, J. S. Fan, 「Arc generation from sputtering plasma-dielectric inclusion interactions,」 *J. Vac. Sci. Technol. A* 20(3), 833 (2002).
- [6] K. Koski, J. Holsa, P. Juliet, 「Surface defects and arc generation in reactive magnetron sputtering of aluminum oxide thin films,」 *Surface and Coatings Technology* 115 (1999), pp. 163–171.
- [7] D. C. Carter, R. A. Arent, D. J. Christie, 「Sputter process enhancement through pulsed-DC power,」 presented at Society of Vacuum Coaters Conference Proceedings, 2007.
- [8] M. Abhuri, V. Pavate, M. Narasimhan, S. Ramaswami, J. Kardokus, J. Buehler, L. Yap, 「Low-defect target metallurgy development for sub-0.18 micron Al-based interconnects,」 *Solid State Technology* (Dec. 1999).
- [9] R. A. Scholl, 「Advances in arc handling in reactive and other difficult processes,」 in *Society of Vacuum Coaters Conference Proceedings*, 94_313, 1994.
- [10] D. Carter, W. D. Sproul, D. Christie, 「Effective Control for Reactive Sputtering Processes,」 *Vacuum Technology & Coatings* (April 2006) p 60-67.

规格要求可能变化, 恕不另行通知。



Advanced Energy Industries, Inc. · 上海浦东张江高科技园祖冲之路1077号凌阳大厦 2101-2102室
电话: +86.21.50808801 · 传真: +86.21.58579003 · aecsales@aei.com · www.advanced-energy.net.cn
有关的全球联系信息, 请访问 www.advanced-energy.net.cn.

© Advanced Energy Industries, Inc. 2008
保留所有权利。印刷于美国。
ZHO-ArcSputMetal-270-01 0M 2/08