

筒形高功率脉冲磁控溅射源的开发与放电特性*

肖舒¹⁾ 吴忠振^{1)†} 崔岁寒¹⁾ 刘亮亮¹⁾ 郑博聪¹⁾ 林海¹⁾ 傅劲裕²⁾
田修波¹⁾ 潘锋¹⁾ 朱剑豪²⁾

1) (北京大学深圳研究生院新材料学院, 深圳 518055)

2) (香港城市大学物理与材料科学系, 香港 999077)

(2016年5月26日收到; 2016年6月21日收到修改稿)

高功率脉冲磁控溅射以较高的溅射材料离化率及其所带来的高致密度、高结合力和高综合性能成为物理气相沉积领域的新宠, 然而其沉积速率低、放电不稳定、溅射材料离化率不一等缺点阻碍了其在工业界的推广和应用. 针对高功率脉冲磁控溅射技术固有的缺陷, 我们从靶源出发, 设计了一种筒形溅射源, 将放电限制在筒形溅射源内部, 放电不稳定喷溅出的“金属液滴”和溅射出来但并未离化的溅射材料无法被负电位的引出栅引出而影响薄膜沉积, 只有离化的溅射材料可以引出并沉积形成薄膜, 而电子将在筒形溅射源内部反复振荡, 和未离化的溅射原子剧烈碰撞, 带动进一步离化. 本文通过磁场和放电的模拟发现筒形溅射源内部电子、离子呈花瓣状分布, 8条磁铁均匀分布的结构具有最优的靶材利用率. 据此开发的筒形溅射源可在高功率脉冲磁控溅射条件下正常放电, 其放电靶电流随靶电压变化呈现出高功率脉冲磁控溅射典型的伏安特性特征, 复合电流施加后, 有明显的预离化作用. 溅射“跑道”面积占靶材表面的60%以上, 筒形溅射源中心的离子电流波形与靶电流波形类似, 但相对靶电流延迟约40 μs , 数值约为靶电流的1/10. 结果证明, 筒形溅射源可有效地应用到高功率脉冲磁控溅射放电中, 并成为促进其推广和应用的一种新路径.

关键词: 高功率脉冲磁控溅射, 筒形溅射源, 模拟仿真, 放电特性

PACS: 52.80.-s, 52.70.-m, 52.70.Ds

DOI: 10.7498/aps.65.185202

1 引言

高功率脉冲磁控溅射技术 (high power impulse magnetron sputtering, HiPIMS) 与常规磁控溅射技术相比具有材料离化率高, 沉积粒子能量、平均电荷态高的优势. 该技术于1999年被首次提出后^[1], 引起了真空镀膜领域研究人员的广泛关注, 被认为有望替代传统磁控溅射技术及阴极弧离子镀技术^[2,3], 但随着HiPIMS技术的放电特性及机理研究逐步深入, 其缺陷也逐步凸显. 首先, HiPIMS工作在接近电弧放电的异常辉光放电阶段, 一旦进入电弧放电就会引起“打弧”, 喷溅出“金属液滴”沉积在薄膜表面形成大颗粒^[4]; 其次,

由于不同材料的靶材溅射产额和电离能差异较大, 导致其离化率差异大^[5]; 另外, 由于靶前预鞘层区域存在大小为10%—20%靶电压的电势差, 离化后的溅射材料离子在预鞘层电场作用下被回吸到靶材表面, 导致沉积速率低^[6]. 正是由于其放电不稳定、不同溅射材料离化率差异大、沉积速率低等缺陷, HiPIMS技术在进入工业应用领域的过程中遭遇障碍^[7].

目前, 为了克服HiPIMS技术的缺陷, 业内的研究主要集中在电源改进及靶源磁场优化等方面, 在电源驱动方面, 陆续推出了调制脉冲磁控溅射技术 (modulated pulsed power, MPP)^[8,9] 及HiPIMS与各种电源复合的脉冲驱动技术, 如与直流(DC)^[10]、射频(RF)复合^[11]和中频(MF)复合^[12],

* 国家自然科学基金(批准号: 51301004, U1330110)、深圳科技研究基金(批准号: JCYJ20140903102215536, JCYJ20150828093127698)和香港城市大学应用研究基金(批准号: 9667122)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: wuzz@pkusz.edu.cn