

靶基距对 C/Cr 复合镀层厚度影响的研究*

邓凌超, 栾 亚, 张国君, 蒋百灵

(西安理工大学 材料科学与工程学院, 西安 710048)

摘 要: 以四靶闭合场非平衡磁控溅射方法制备 C/Cr 镀层, 用球痕法测量镀层厚度, 研究了镀层厚度及均匀性随靶基距的变化规律, 并探讨了靶基距影响镀层厚度的机理。结果表明: 靶基距对镀层厚度有明显影响; 镀层厚度随靶基径向距增大而显著减小, 随靶基轴向距的增加变化不大; 试样放置位置越靠近真空室中心区域, 镀层厚度均匀性越好; 磁场空间分布和粒子迁移中的散射碰撞是导致靶基距影响镀层厚度的主要原因。

关键词: 非平衡磁控溅射; C/Cr 镀层; 靶基距; 厚度

中图分类号: TG174.444

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289-(2006)-01-0047-03

The Study About Effect of Substrate-to-target Distance on the Thickness of C/Cr Composite Coatings

DENG Ling-chao, LUAN Ya, ZHANG Guo-jun, JIANG Bai-ling

(School of Materials Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048 China)

Abstract: The effect of substrate-to-target distance on the thickness of carbon/chromium coating usually occurred when the coating was deposited by a Teer UDP450 unbalanced magnetron sputtering deposition system. The thickness of the coatings was measured by a Teer BC-1 ball crater device. The relation between thickness of coating and substrate-to-target distance was investigated, and the mechanism about the effect of substrate-to-target distance on the thickness of coating was discussed. The results indicated that substrate-to-target distance shows a great effect on the thickness of C/Cr coating, the thickness of coatings is decreased obviously with the increase of substrate-to-target radial distance and has a little change with the increase of substrate-to-target axial distance, the uniformity of thickness of C/Cr coating can be improved gradually when the substrate-placed position is close to central area of working chamber. The dominant factors causing the effect of substrate-to-target distance on the thickness of coating are the distribution of magnetic field in the working chamber and the gaseous particle scattering collision during their movement.

Key words: unbalanced magnetron sputtering; C/Cr coatings; substrate-to-target distance; thickness

0 引 言

多靶非平衡磁控溅射镀膜技术大大提高了沉积速率并很好的改善了镀层质量, 日益受到社会的重视和广泛应用。但其镀膜设备真空室空间较大, 工位会对镀层质量有影响, 这使非平衡磁控溅射镀膜技术面临着两个发展机遇与难题: ① 能够同时对多件 (目前最多可达到 2000 多件) 产品进行镀膜处理, 可灵活调整工位, 有利于实现批量生产, 但如何确定合适的工位来制备有一定质量要求的镀层问题有待于解决; ② 有在大尺寸 (包括大面积和大体积) 工件上制备均匀性良好镀层的前景^[1,2], 但

是在保证镀层一定均匀性要求前提下如何增大处理尺寸是值得研究的难题。要解决上述问题首先必须研究工位对镀层质量及均匀性的影响。目前的有关研究集中在靶基距对镀层厚度的影响, 这是因为镀层厚度及其均匀性是衡量镀层质量和镀膜装置性能的一项最基本指标^[3]。这些研究多是针对平衡磁控溅射或对靶非平衡磁控溅射^[4], 文中研究了四靶闭合场非平衡磁控溅射制备 C/Cr 镀层中靶基距对镀层厚度的影响, 分析了镀层厚度均匀性, 并讨论了该影响的机理。文中的靶基距不同于其它文献中提到的靶基距, 它是工位的全面反映, 为了便于研究分为靶基径向距 (用 R 表示) 和靶基轴向距 (用 Z 表示); 而其它文献中靶基距指靶面到基体平面之间的垂直距离, 相当于文中的靶基径向距^[3,4]。

收稿日期: 2006-01-06; 修回日期: 2006-01-21

项目基金: *国家高技术研究发展计划 (863 计划), 闭合场非平衡磁控溅射离子镀膜装备的研究开发 (2005AA33H010)

作者简介: 邓凌超 (1981-), 男 (汉), 陕西汉中市中人, 硕士生。

1 试验

选用 M2 高速钢(W6Mo5Cr4V2)基材, 经常规热处理后硬度为 63 HRC, 再用砂纸将表面打磨到 1200#等级。采用英国 Teer 公司制造的闭合场非平衡磁控溅射镀膜设备 UDP450 (如图 1 所示) 制备 C/Cr 镀层, 设备真空室内径 D 为 425 mm, 靶高 280 mm, 试验中采用 2 个铬(Cr)靶和 2 个石墨(G)靶的四靶配置, 铬靶用于离子轰击清洗和过渡层制备以

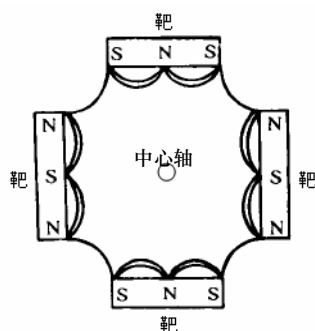


图 1 四靶闭合磁场非平衡磁控溅射装置示意图

Fig.1 The scheme of closed field unbalanced magnetron-sputtering system

及往镀层中引入合金元素Cr。将试样放入真空室中, 抽真空到 3×10^{-5} Pa, 通入氩气进行镀膜处理。试样放置方式如图 2 所示, 镀膜过程中保持试样以 5 r/min 的速度旋转。镀膜的主要工艺参数如表 1 所示。

用球痕仪 Teer BC-1 检测镀层的厚度, 研磨体为 $\phi 30$ mm 的铬钢球。用高斯仪测量真空室内的磁场强度。

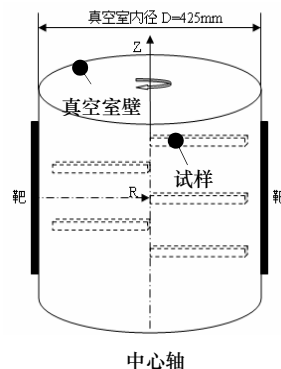


图 2 试样放置示意图

Fig.2 The placement of samples in working chamber

表 1 制备 C/Cr 镀层的主要工艺参数

Table1 The main process parameters for preparation of C/Cr coating

阶段	偏压/V	靶 1 电流/A	靶 2 电流/A	靶 3 电流/A	靶 4 电流/A	氩气流量/ sccm	时间/min
清洗	400	0.3	0	0.3	0	20	30
镀 Cr	120	2.5	0	2.5	0	20	5
镀 Cr→C	65	0	1.5	0.1	1.5	20	15
镀 C (含 Cr)	65	0	1.5	0.1	1.5	20	210

2 结果与分析

2.1 靶基距对 C/Cr 复合镀层厚度的影响

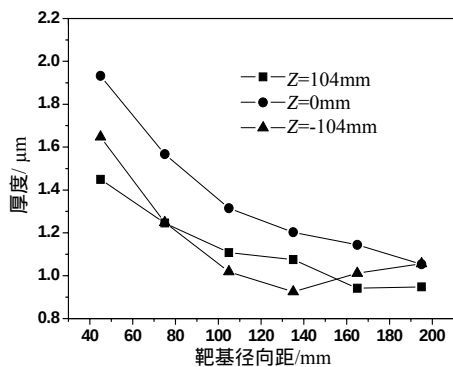
经过测量, 得到 C/Cr 复合镀层厚度与靶基距的关系如图 3 所示, 由图可见, 靶基距对镀层厚度有显著的影响, 镀层厚度在 $0.9 \sim 2.1 \mu\text{m}$ 范围内变化。由图 3(a)可见, 镀层厚度随靶基径向距的增加而明显减小, 减小趋势逐渐变缓, 镀层厚度均匀性逐渐变好; 尤其是当靶基径向距大于 105 mm 时, 镀层的厚度变化很小, 说明镀层在这个位置区间内厚度分布较均匀。这一结果与文献[3]中一致。由图 3(b)可见, 镀层厚度随靶基轴向距增大先增加后减小, 在靶基轴向距 $-52 \sim 52$ mm 的范围内镀层厚度基本不变, 说明此区间镀层厚度分布均匀。对比图 3(a)、(b)发现,

镀层厚度随靶基径向距的变化梯度在 6 nm/mm 左右, 而随靶基轴向距的变化梯度只有 1.8 nm/mm 且在相当大的范围内基本不变, 这说明靶基径向距对镀层厚度的影响明显强于靶基轴向距。结合图 3(a)、(b)可知, 镀层厚度在靶基径向距大于 105 mm 和靶基轴向距 $-52 \sim 52$ mm 组成的空间范围内均匀性较好; 同时, 靶基距反映的是真空室内的空间位置, 这就是说试样放在真空室中心区域镀膜可以获得很好的镀层厚度均匀性, 这也证明 UDP450 设备能够处理直径 180 mm、高度 100 mm 以内的较大尺寸工件并保证镀层厚度均匀。

2.2 影响机理分析

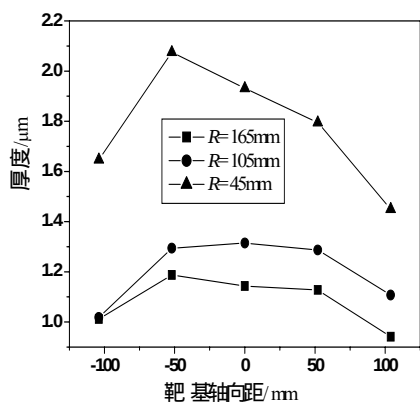
UDP450 设备真空室体积较大, 其组合磁场对称

分布,可以预见随靶基距不同必然存在一个磁场强度空间分布。通过高斯仪测量,得到了磁场强度与靶基距关系如图4所示。



(a) 镀层厚度与靶基径向距关

(a) Thickness of coatings vs the radial distance of substrate to target



(b) 镀层厚度与靶基轴向距关

(b) Thickness of coatings vs the axial distance of substrate to target

图3 C/Cr 镀层厚度随靶基距变化的关系曲线

Fig.3 The relationship between thickness of coatings and substrate-to-target distance

由图4可见,随着靶基距的变化磁场强度变化十分显著。磁场强度 B 随靶基径向距的增加而迅速减弱,减弱趋势逐渐平缓。 $Z=120\text{ mm}$ 处的磁场强度略小于 $Z=60\text{ mm}$ 处,结合磁场轴向以中心对称可知随着位置远离靶基轴向距中心,磁场强度有略微的减小。由磁控溅射镀膜的原理可知,磁场控制作用使得等离子体中的带电离子、电子在磁场中沿着磁力线做螺旋线运动。磁场越强,对离子的束缚作用越强,离子的旋转半径越小,等离子体流密度就越大,沉积速率也就越大,镀层厚度必然增加^[5]。那么随靶基

距变化磁场强度的改变(由图4可见)必然引起镀层厚度的变化。随着靶基径向距的增大,磁场强度迅速减弱必然导致镀层厚度随之急剧减小;随着靶基轴向距的远离中心,磁场强度稍稍减弱必然造成镀层厚度的略微减小。这个结论与图3中的试验结果十分相近,证明磁场随靶基距变化的空间分布是造成靶基距影响镀层厚度的重要原因。

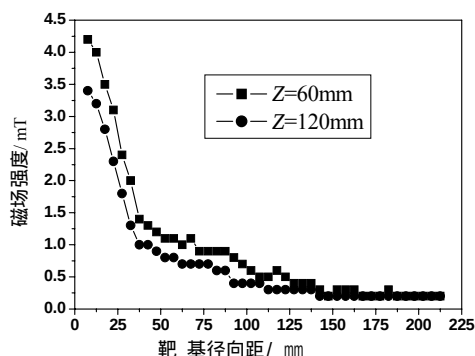


图4 磁场强度随靶基距变化的空间分布情况

Fig.4 The distribution of magnetic field strength in the spacing of working chamber

尽管磁控溅射的真空度较高,但由于溅射出的粒子一般还要经过数次碰撞才能到达基片,可以假定溅射出粒子经碰撞后达到基片的几率与其路径长度成反比^[5,6]。有的文献中指出气压影响可以忽略^[4],但UDP450设备真空室较大,不能忽略沉积粒子迁移过程中的气体碰撞。靶基距越大,则粒子迁移路程越长,散射碰撞越严重,到达基片上的几率越小,此处镀层厚度就越小。但是这种影响程度较轻^[5],是造成靶基距对镀层厚度影响的次要因素。UDP450设备抽真空的管口位置在底部靠近炉壁,管口处的气体必然靠附近气流来补充,这就造成沿真空室底和壁方向的气流加速,使得气体粒子碰撞加剧,从而使镀层厚度有异常减小趋势,离管口越远异常影响越小。图3中 $Z=-104\text{ mm}$ 和 $R=45\text{ mm}$ 曲线的异常趋势很好证实了这种异常影响的存在。

靶基距对镀层厚度的影响决定着镀层厚度均匀性的好坏,可以通过优化真空室几何形状、磁场结构、夹具旋转速度及结构、靶电流、偏压、真空度等设备和工艺参数来改善镀层厚度均匀性^[7,8]。但是根据文中分析的靶基距影响镀层厚度机理可知,在实际参数优化范围内,厚度均匀的镀层尺寸和均匀程度都是有限的。

3 结 论

(1) 镀层厚度在 0.9~2.1 μm 范围内变化, 受靶基距影响明显。随靶基径向距增大厚度显著减小, 减小趋势逐渐变缓; 随靶基轴向距增大厚度先增后减, 在中心区域基本不变。靶基径向距对镀层厚度的影响明显强于靶基轴向距。

(2) 镀层厚度均匀性随靶基径向距增大而逐渐改善, 在靶基轴向距的中心区域有好的镀层均匀性。

(3) UDP450 设备能够处理直径 180 mm、高度 100 mm 以内的较大尺寸工件并保证镀层厚度均匀。

(4) 真空室内的磁场分布和粒子迁移中的散射碰撞是导致靶基距影响镀层厚度及其均匀性的主要原因。

参考文献:

- [1] Hiroshi Fujiyama, Kiyoshi Kuwahara. Magnetron plasmas for large-area uniform sputtering [J]. Surface and Coatings Technology, 1995, 74-75: 75-79.
- [2] Reiner Kukla. Magnetron sputtering on large scale substrates: an overview on the state of the art [J]. Surface

and Coatings Technology, 1997, 93: 1-6.

- [3] 徐均琪, 易红伟, 等. 磁控溅射膜厚均匀性与靶-基距关系的研究 [J]. 真空, 2004, 41(2): 25-28.
- [4] 惠迎雪, 等. 不同磁控溅射模式膜厚均匀性研究 [J]. 西安工业学院学报, 2003, 23(1): 32-36.
- [5] 徐均琪, 杭凌侠, 蔡长龙. 磁控溅射离子束流密度的研究 [J]. 真空科学与技术学报, 2004, 24(1): 74-76.
- [6] 宋建全, 刘正堂, 等. 平面磁控溅射薄膜厚度分布模拟 [J]. 机械科学与技术, 2001, 20(6): 884-885.
- [7] Vanka S P, Luo G, Glumac N G. Parametric effects on thin film growth and uniformity in an atmospheric pressure impinging jet CVD reactor [J]. Journal of Crystal Growth, 2004 (267) 22-34.
- [8] 韩雷刚. 多工位平面磁控溅射镀膜装置及膜厚分布均匀性研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2004.

作者地址: 西安市金花南路5号

710048

西安理工大学材料学院

Tel: (029) 82312592 13571998794

E-mail: denglch@163.com

• 书 讯 •

《中国材料工程大典·材料表面工程卷》出版

《材料表面工程》是《中国材料工程大典》中的第 16 卷、第 17 卷, 已由化学工业出版社出版。

材料表面工程是反映当代表面工程技术水平的大型综合性工具书, 内容由三个部分组成。① 表面工程基础知识: 阐述了表面工程的内涵、功能、分类、发展历程、材料服役中的表面失效及防治、表面覆层的界面结合机理; ② 表面工程技术: 介绍了涂装、热喷涂、堆焊、电镀、电刷镀、化学镀、转化膜技术、化学热处理、热浸镀、物理化学气相沉积、高能束表面处理、纳米表面工程、材料的封存与包装等常用表面工程技术的基本原理、适用场合、工艺选择、材料选用原则、质量检测与控制、安全防护等内容; ③ 表面工程技术综合运用: 介绍了单一表面工程技术和复合表面工程技术的选用原则、不同服役工况下的涂覆材料设计及表面工程技术经济分析。

《材料表面工程》由徐滨士院士、刘世参教授任主编, 并邀请了国内外 20 位专家撰稿, 书中内容以作者们近期的研究成果为主, 同时汇集了国内外表面工程技术新进展。全书着力为现代企业正确选材、合理用材、启迪技术

创新服务。

读者对象是具有大专以上学历文化水平、从事制造、再制造及维修的工程技术人员。也可供研究人员、理工院校的有关师生参考。每卷售价 130 元。

《材料表面工程》第 16、17 卷的目录是: 第 1 篇: 概论 主编: 徐滨士院士, 刘世参教授 第 2 篇: 材料服役中表面的失效行为及防治 主编: 涂善东教授 第 3 篇: 表面覆层形成与结合机理 主编: 徐滨士院士, 朱绍华教授 第 4 篇: 涂装 主编: 吴行教授 第 5 篇: 热喷涂 主编: 徐滨士院士, 李长久教授 第 6 篇: 堆焊 主编: 董祖珏教授 第 7 篇: 电镀与电刷镀 主编: 马世宁教授 第 8 篇: 化学镀与转化膜技术 主编: 姜晓霞研究员, 董首山研究员 第 9 篇: 化学热处理 主编: 董汉山教授 第 10 篇: 热浸镀 主编: 刘邦津研究员 第 11 篇: 气相沉积技术及功能薄膜材料制备 主编: 吕反修教授 第 12 篇: 高能束表面处理技术 主编: 左铁钊教授 第 13 篇: 纳米表面工程 主编: 徐滨士院士 第 14 篇: 封存与包装 主编: 梁志杰高工 第 15 篇: 表面工程技术设计 主编: 徐滨士院士, 朱绍华教授 第 16 篇: 表面工程质量控制与检测 主编: 史耀武教授

订购联系电话: (010)66719325、66718873(陈素珍)

