

CNIC-01413
SIP-0119

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY REPORT

CJ-500 型磁控溅射多弧两用镀膜机的研制
DEVELOPMENT OF MODEL CJ-500 COATER
USING MAGNETRON SPUTTER AND ARC
(In Chinese)



中国核情报中心
原子能出版社

China Nuclear Information Centre
Atomic Energy Press

图书在版编目 (CIP) 数据

中国核科技报告 CNIC-01413, SIP-0119: CJ—500 型磁
控溅射多弧两用镀膜机的研制/曾洪银著. —北京: 原子
能出版社, 1999. 12

ISBN 7-5022-2103-4

I. 中... II. 曾... III. 核技术-研究报告-中国 IV. TL-2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 53999 号

原子能出版社出版 发行

责任编辑: 李曼莉

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷

开本 787×1092 mm 1/16 印张 1/2 字数 11 千字

1999年 12 月北京第一版 1999年 12 月北京第一次印刷

印数: 1—150

定价: 5.00 元



曾洪银：核工业西南物理研究院。1980 年毕业于武汉水利电力学院电力工程系高电压技术及设备专业。

Zeng Hongyin: Senior engineer of Southwestern Institute of Physics. Graduated from Department of Electric Power Engineering of Wuhan Institute of Hydraulic and Electric Power in 1980.

CNIC-01413

SIP-0119

CJ—500 型磁控溅射多弧 两用镀膜机的研制

曾洪银

(核工业西南物理研究院, 乐山, 614007)

摘 要

主要介绍 CJ—500 型磁控溅射多弧两用镀膜机的技术特点以及技术参数和已完成的工艺情况。通过磁系统的更换, 成功地实现了在一台机器上的磁控溅射与多弧两种镀膜方法的改变, 通过电源的换接, 为镀膜方法的改变提供了方便, 已成功地镀出了合格单质钛膜和氮化钛膜, 色泽艳丽, 附着力好, 膜层均匀。其沉积率均大于 50 nm/min, 设备已通过调试验收正式交付用户使用。该镀膜机除了作为氮化钛和单质钛的沉积设备外, 还可用于等离子体刻蚀, 以及核工业新材料的开发。

Development of Model CJ—500 Coater Using Magnetron Sputter and Arc

(In Chinese)

ZENG Hongyin

(Southwestern Institute of Physics, Leshan, 614007)

ABSTRACT

The Model CJ—500 coater and its technology characteristics and technical parameters as well as finished workpiece cases are introduced. By changing magnetic system, it has been achieved that the coating method changes from the magnetron sputtering to arc or from arc to magnetron sputtering in a coater. It is also convenient to change the electric apparatus connection wires. Some satisfactory Ti film and TiN film are deposited, which has good adhesive power and uniform film layer. The deposition rate both Ti and TiN film exceeds 50 nm/min. In addition, the coater can be used in plasma etching and in new material development of nuclear industry.

引言

磁流体发电研究中需要解决在氧化铝陶瓷管上镀制凹凸不平的氮化钛膜层,为此开展了既能进行磁控反应溅射镀膜,又能进行电弧离子镀膜的镀膜机研制。经过调研,确定采用更换磁场位形而不更换阴极靶的方案,巧妙地实现了一机两用镀膜方法的结合。在设计中,根据用户提供的参数,根据技术经济可行性,寻求最佳设计方案,着力追求镀膜机的美观实用和商品化。

1 镀膜机结构及特点

镀膜机由四大部件组成:(1)电源控制柜;(2)辉光偏压电源柜;(3)磁控电源、电弧电源柜;(4)镀膜机主机。



CJ-500型磁控多弧两用镀膜机全貌

(1) 电源控制柜

电源控制柜对镀膜机的整体运行进行电气控制,包括对真空机组的控制,加热电源的控制,真空室升降机的控制,对辉光、偏压电源的控制,对磁控电源及多弧电源进行控制。同时真空测量和加热温度测量显示,充气系统的控制等均位于此电源柜,结构紧凑,屏上还有镀膜机工作流程简图,所以对镀膜机的工艺过程一目了然,美观实用。在该电源柜上,

用二个时间继电器分别控制磁控溅射镀膜和多弧离子镀膜的时间,先给定镀膜时间,开始镀膜时,时间继电器开始计时,镀膜时间到,时间继电器迅速分断磁控电源或电弧电源。

加热测量采用 WRE-130 型热电偶及 TDE-2001 型可调温度计进行温度测量与控制,加热管采用 2 根圆柱形电热管加热,加热功率为 2 kW。加热温度可入丁 200 ℃,进一步的加温可利用电弧进行加热,实验证明电弧加温比电热管加温更迅速有效。

(2) 辉光偏压电源柜



镀膜机电源控制、测量柜与偏压、辉光电源柜

该电源用于镀膜时的前期工件清洗,镀膜时为工件提供偏压使与基体结合较弱的粒子被清洗掉,从而增强膜在生长过程中与膜的结合力。该电源的功率调节是由控制变压器一次侧的可控硅的导通角来实现的,省掉了笨重的调压器,从而使设备变得体积小,重量轻。在变压器二次侧中巧妙地利用了绕组抽头的组合,加上接触器的配合,当合上 CJ_1 时, CJ_2 断开,绕组为全电压运行,经过三相不可控全波整流,输出 1 kV 的辉光清洗电压。而在 CJ_1 断开,合上 CJ_2 时,二次侧绕组为部分电压运行,经过同样的整流电路,获得所需的偏压输出电压,避免了绕组的重复和整流回路的重复。值得指出的是,整流二极管的选择应选用偏压工作时的最大电流和辉光工作时的最大反压作为整流二极管的选择依据。 CJ_2 以下部分绕组的导线直径应以偏压电源工作时的最大电流为设计依据。 CJ_1 与 CJ_2 之间的绕组导线直径以辉光工作时的最大电流为依据即可,节省了原材料,大大降低了成本。由

功率调节是在变压器一次侧主回路进行,则通过主回路的电流采集信号对脉冲回路的脉冲进行控制。如若过流,则切断同步脉冲触发信号,关断可控硅,对电气设备进行保护。过流消除,同步脉冲恢复运行,主回路自动恢复运行,避免了人为的调节和重新启动。由于响应时间短,防止了拉弧与短路。该电源输出功率为,辉光时 1 kV, 8 A, 直流; 偏压时, 400 V, 20 A, 直流。

(3) 磁控电源和电弧电源柜

该电源柜分别提供了磁控溅射镀膜时的电源和电弧离子镀膜时的电源,磁控电源根据现有设备采用传统的调压器进行调节,主变压器输出,供给三相整流回路进行整流,然后经过滤波环节输出,辅之以过流保护的二次回路。输出功率为 660 V, 15 A, 直流。

电弧电源主回路中,整流变压器为二绕组变压器,变压器次级与可控硅元件接成六相半波平衡电抗整流电路,有效地防止了一个整流电路的不均衡输出,又兼顾了大电流输出。主变压器,平衡电抗器线圈都采用盘式线圈,风道畅通,冷却效果好,滤波电抗器采用中间插入铁芯的条形结构,震动微小。从直流输出的分流器上取出电流信号,作为电流负反馈信号,与给定的电流调节电位器输出的正电压比较放大作为移相控制电压,从而改变了触发电路的充电电流的大小,既改变了触发脉冲的角度,达到改变输出电压的目的,使伏安特性获得下降的外特性。电弧电源输出功率为 55 V, 315 A, 直流。

电源安装完毕后,根据镀膜机的工艺参数进行了系统联调,结果证明能满足镀膜机的工艺参数的需要,已镀出了较为满意的镀件。

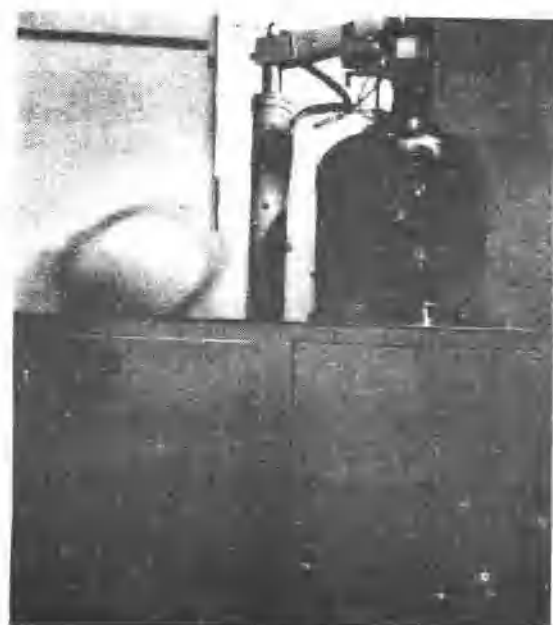


CJ-500 型磁控多弧两用镀膜机磁控电源和多弧电源柜

(4) 镀膜机主机

镀膜机主机由抽气机组、升降机、真空室及水冷部分和磁体靶芯,样品台等系统组成。抽气机组由 JK-300 扩散泵和 ZX-15 机械泵组成,系统真空度高于 5×10^{-3} Pa。升降机对真空室进行起吊,当工件处理完后,关上主阀,真空室暴露大气,把真空室吊起来,取出工件,重新装上工件后,再放下真空室,其为方便。真空室由一个 $\phi 500 \times 640$ 的钟

罩构成,材质为不锈钢,表面嵌有冷却用水套,防止电弧镀膜时的表面过热,损坏密封圈。钟罩表面开有观察窗,观察镀膜时真空室内的放电情况,工件镀膜情况,样品台运行情况等,给运行带来了极大的方便。样品台由直流电机经过减速器带动转动,经齿轮耦合实现公转与自转,从而达到镀件的工艺要求,公转与自转均可调节,在用户的特定镀制工作上,转速分别是 15 r/min 和 3 r/min,由于镀膜方法的不同,样品台所处的电位不同。因此,减速器的传动轴和样品台的连接轴进行了电绝缘,当进行磁控溅射镀膜,样品台接地电位,当进行电弧镀膜时,将样品台接偏压电位,真空室中间为一立式与真空室绝缘的钛圆柱阴极靶及其磁系统。磁系统的设计为磁控溅射和电弧放电的二种位形,通过磁场位形的调节来达到不同的镀膜工艺要求,值得注意的是,阴极靶屏蔽罩在磁控放电时应与镀膜室壁同电位,而电弧放电时其屏蔽罩应与镀膜室壁绝缘。当改变镀膜方法时,将柱状靶整体从真空室顶部取出,将柱状靶端部螺帽旋下取出磁系统,换上适用的磁系统,而阴极靶则不需改变,通过共用电缆在端子上连接不同的电源,极为方便地改变了镀膜方法。在一机上实现了两种用途,这正是该机的独特之处。运行时,在阴极与磁系统之间通入冷却水,防止磁铁退磁,设有专用压力继电器控制和联锁,冷却水不通,则不能放电,防止误操作和设备的损坏。将磁控溅射镀膜与电弧离子镀膜巧妙地结合在一起,这是一种新颖而又独特的设计。



镀膜机主机

2 主要技术参数

真空室直径	$\phi 500 \times 640$ mm
极限真空度	$< 5 \times 10^{-3}$ Pa
单质钛沉积率	> 50 nm/min
氯化钛沉积率	> 50 nm/min
加热温度	> 200 °C

3 运行结果与讨论

镀膜机安装完毕后,进行了调试和工艺开发研究。在磁控溅射镀膜时,工作气压为 $8 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-1}$ Pa。镀膜机静真空 p 为 5×10^{-3} Pa。用铜片和铝片作为样品,经过表面处理后,镀前用精密天平称出重量,然后放入真空室进行磁控溅射镀膜,镀后采用称重法计算出了磁控溅射的单质钛沉积率为 80 nm/min 。实验指出,磁控溅射电流越大,沉积率越高,磁控溅射镀膜对产品的电性能没有要求,只要真空放气量不影响镀制条件。我们用金属、玻璃管、陶瓷保险丝座作了试验,均得到满意的结果,镀品表面光洁度只取决于镀件的原始表面粗糙程度。在氧化铝陶瓷管上连续进行了一个小时的钛沉积,设备运行可靠,稳定。膜层呈现银白色,金属感强,膜层均匀。

在电弧离子反应镀膜中,进行了氮化钛沉积实验。电弧放电可在很宽的真空条件范围,甚至不送氩气下进行。氮分压则视反应离子镀过程中的放电颜色而进行经验处理,一般为粉红色即可。氮分压太高,阴极靶中毒,放电会熄弧或需更高的放电电压。氮分压太低,则离子在沉积过程中与氮的反应不充分,不能全部生成金黄色的氮化钛,影响膜层质量。可用质量流量控制器对供气进行控制。该镀膜机上的氮分压是 2×10^{-1} Pa。电弧离子镀对镀件的电性能有选择要求。在进行金属镀膜时,由于金属的导电性,电弧蒸发的金属离子很容易附着在金属镀件表面,由于引入偏压,对膜层的质量起到了很好的作用。我们用不锈钢管、45°钢、紫铜、铝等金属材料进行了镀制氮化钛,结果是令人满意的,膜层均匀,色泽金黄艳丽,附着力好。用金相砂纸不能擦掉氮化钛镀层。用称重法计算出在特定镀膜参数下,氮化钛沉积率为 63 nm/min ,已为用户在高尔夫球拍上的金属球头上镀出了满意的氮化钛涂层产品。如前所述,电弧离子镀对镀件的电性能有选择性,在非金属镀件中,由于蒸发离子不能很好地沉积在镀件表面上,极大地影响了膜层的制备。我们采用了非金属进行金属打底层,加热温度分高、中、低三种情况,样品台接地与悬浮等多种方法,均未能得到满意的结果,甚至在刚打开真空室时,玻璃镀件表面金黄,过一会儿,膜层全部自行剥落。后来,我们采用了金属网包上非金属镀品的方法,其目的是使离子成分大部分落在金属网上,形成偏压电流。使镀品表面的粒子成分尽可能为中性粒子,得到了较为满意的结果。在瓷砖、保险丝座、氧化铝陶瓷管上用此法镀出了较为满意的结果。

结果讨论:(1) 上述实验结果未作进一步的仪器分析,因此未能优化最佳镀制工艺参数。

(2) 电弧离子镀中,镀品的温度上升很快,在一些退火温度低或变形温度低的镀件中应该引起注意。

(3) 由于使用了两种镀膜技术合于一机上,为该设备的运行和工作提供了极大的方便。

(4) 由于该机的长时间稳定运行,给 PC 机的应用提供了可行性。

杨作贵、宋黎、李朝辉、曾长义、赖江涛、吕尊秋、石刚、黄均成等同志参加了该设备的研制工作。与王贵义、王经权进行了有益的讨论,在此一并致谢。

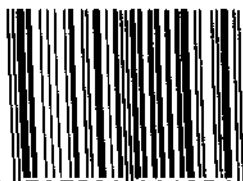
参 考 文 献

- 1 姜爱昌 HCD 法丁基离子镀膜设备的研究 真空, 1988, (3), 4~10
- 2 关奎之 旋转式圆柱形磁控溅射靶的磁场计算 真空, 1997, (3), 5~11
- 3 王福贞 旋转式磁控柱状弧源多弧离子镀膜机 真空, 1997, (2) 43~45
- 4 姜福宝 磁控反应溅射镀膜设备充气系统设计的几个问题 真空, 1997, (6) 35~36
- 5 王翠华, 李成春 高频逆变真空电弧蒸发电源 真空, 1996, (5) 23~27, 1996, (6) 27~32, 1997, (1) 39~41

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN 7-5022-2103-4



9 787502 221034 >