

# 一种全靶腐蚀磁控溅射设备

郝万顺<sup>1</sup>, 吴志明<sup>1</sup>, 王 涛<sup>1</sup>, 王秋来<sup>2</sup>, 黄文符<sup>2</sup>

(1. 电子科技大学光电学院, 四川 成都 610054; 2. 沈阳市超高真空应用技术研究所, 辽宁 沈阳 110015)

**摘 要:**传统的磁控溅射设备由于等离子体在靶面形成跑道效应, 所以存在着靶材利用率低, 反应溅射过程中稳定性差的问题。M.J. Thwaites 提出了一种利用磁场将等离子体产生与溅射分开的结构, 本文基于这种结构构造了一个实验平台对其进行了研究, 实现了全靶腐蚀, 提高了系统的稳定性。

**关键词:**磁控溅射; 全靶腐蚀; 磁场模拟

中图分类号: TB43

文献标识码: B

文章编号: 1002-0322(2007)06-0018-04

## A novel magnetron sputtering device with full target erosion

HAO Wan-shun<sup>1</sup>, WU Zhi-ming<sup>1</sup>, WANG Tao<sup>1</sup>, WANG Qiu-lai<sup>2</sup>, HUANG Wen-fu<sup>2</sup>

(1. School of Optoelectronic Information, University of Electronic Science & Technology of China(UESTC), Chengdu 610054, China; 2. Shenyang Institute of UHV Technology & Applications, Shenyang 110015, China)

**Abstract:** Conventionally the target's service factor of magnetron sputtering device is low with poor stability in reactive sputtering process because the plasma causes a runaway effect on target surface. Based on M. J. Thwaites's suggestion that a construction separates the generation of plasma from sputtering process by a magnetic field, an experimental platform is built to study his idea, thus fulfilling the full target erosion to improve the system stability.

**Key words:** magnetron sputtering; full target erosion; magnetic field simulation

磁控溅射技术有着很广泛的用途, 在这些应用中, 由于传统的磁控溅射技术存在着一些固有的不足, 最显著的问题是等离子体在靶面形成跑道, 所以存在着靶材利用率低, 反应过程尤其是在进行反应溅射过程中很不稳定<sup>[1]</sup>。要从根本上解决上述的问题则必须使等离子体能够在靶面形成靶面全腐蚀。通常有两种方法达到靶面全腐蚀的目的<sup>[2]</sup>: (a) 将靶设计成闭合等离子体跑道的形状, 如圆锥形等离子体磁控管<sup>[3]</sup>; (b) 扫描产生闭合磁控管放电的磁铁, 如全腐蚀矩形靶和圆柱形平面式磁控溅射靶<sup>[4]</sup>。

此外, 还有一种与常规的磁控溅射有很大区别的思路, 就是将等离子体的产生与靶材的溅射过程分开。1989 年 Gregor Campbell 就提出了这种结构<sup>[6]</sup>。它的离子源部分采用的是螺旋波的天线结构, 尽管等离子体的离化率很高, 但是结构复杂。2000 年 M.J. Thwaites 采用了一种更为简单的天线结构来开发设备, 该设备具有溅射中溅射电

流出现饱和现象、溅射电流随溅射功率的增加而增加和全靶腐蚀<sup>[1]</sup>的特性, 在反应磁控溅射中有很大的应用。本文通过对 M.J. Thwaites 方法的分析, 由此构造了一个实验平台进行了初步试验研究。

## 1 实验原理

M.J. Thwaites 的高利用率等离子体溅射方法的原理图如下图所示<sup>[1]</sup>, 它由三部分组成: 等离子体的产生部分、等离子体到靶表面的运输过程、等离子体对靶的溅射过程。

产生等离子体的方法有多种, 例如电感耦合等离子体, 电容耦合等离子体, 微波等离子体和螺旋波等离子体等等。设备中采用了电感耦合等离子体方式<sup>[5]</sup>。射频线圈、射频电源、石英管构成产生离子源的装置。石英管中通入 Ar 气后, 在射频电源和射频线圈的作用下产生等离子体。将靠近石英管的直流线圈定义为发射线圈, 靠近靶的部分定义为偏转线圈。由于发射线圈的存在, 使之

收稿日期: 2007-01-02

作者简介: 郝万顺(1982-), 男, 山西省太谷县人, 硕士。

联系人: 吴志明, 教授、博导。

与单一的电感耦合等离子体有一些不同,它提高了等离子体的电离率,在试验中可以看到等离子体在加发射线圈电流后明显发亮。

石英管中产生的等离子体在直流偏压的作用下到达靶表面进行溅射。而发射电磁线圈和偏转电磁线圈产生的空间磁场将约束等离子体使其在空间形成从石英管到溅射靶的连续的等离子体。流过线圈的电流决定了线圈产生的磁场的大小,磁场的方向。所以由发射电磁线圈和偏转电磁线圈在真空室内形成的空间磁场的强度和分度就显得很重要。由于两个方向相反的磁场在空间中会相互抵消,所以两个电磁线圈产生的磁场方向必须一致。

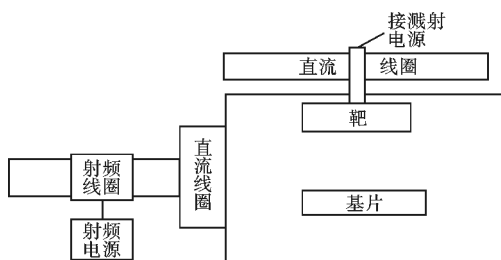


图 1 设备的原理图

Fig.1 Schematic of Thwaites's suggestion

## 2 实验平台设计和实验结果分析

### 2.1 实验平台设计

试验平台中,产生等离子体的具体部分由石英管,与石英管同心的射频线圈,射频电源和阻抗匹配网络组成。射频电源采用频率为 13.56 MHz,功率为 500 W。石英管一端连入真空室,一端通气体,射频线圈以圆的铜管绕成,运行时铜管通冷水,限制其发热和稳定表面电阻。溅射靶接直流偏压电源的负极进行溅射。

本文中利用 ANSYS 对发射电磁线圈和偏转电磁线圈在真空室内形成的磁场分布和磁场强度进行了模拟<sup>[8]</sup>。图 2 和图 3 分别为是两个直流线圈磁场方向一致时在真空室产生的磁场的分布和沿路径地磁场强度分布。图中没有箭头的那条线极为定义的路径,用于观察磁场强度在空间的分布。由图 2 的磁场分布可以看出当两个直流线圈方向一致时能够产生约束等离子体连续的磁场。沿路径所产生的磁场强度最高为 529 Gauss,最低为 209 Gauss。可见磁场强度达到了发射线圈为 50 Gauss,偏转线圈为 500 Gauss 的要求<sup>[7]</sup>。图 4 和图 5 分别为是两个直流线圈磁场方向不一致时在真空室产生的磁场的分布和沿路径地磁场强度分布。可以看到磁场分布是不连续的,沿路径的磁场强度最高为 482 Gauss,

最低为 91 Gauss,尽管磁场强度满足要求,但是由于磁场分布的不连续,所以不会约束形成连续的等离子体。

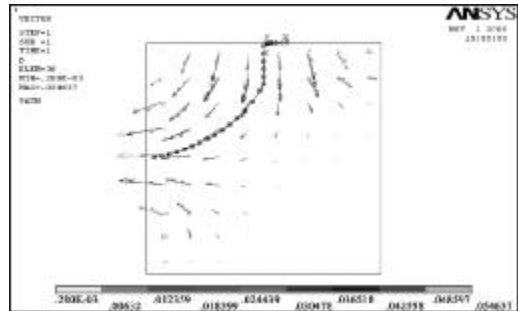


图 2 两个直流线圈磁场方向一致时真空室内的磁场分布仿真  
Fig.2 Simulation of the magnetic field distribution in vacuum chamber that two DC coils' magnetic fields coincide in the same direction

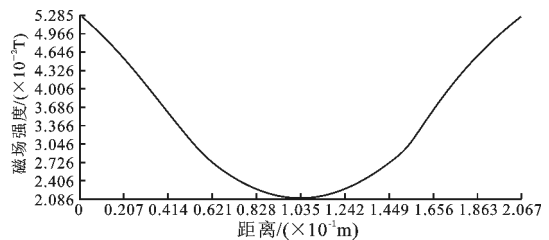


图 3 两个直流线圈磁场方向一致时真空室内磁场沿路径的强度分布  
Fig.3 Intensity distribution of magnetic field along the route when two DC coils' magnetic fields coincide in the same direction

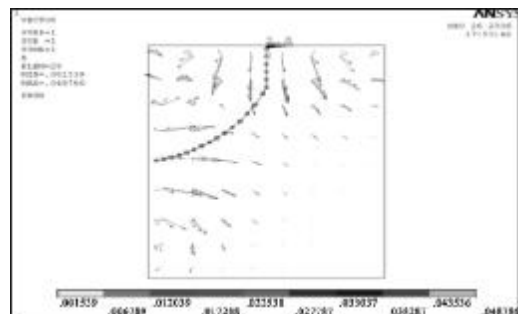


图 4 两个直流线圈磁场方向不一致时真空室内的磁场分布仿真  
Fig.4 Simulation of magnetic field distribution that two DC coils' magnetic fields don't coincide in direction

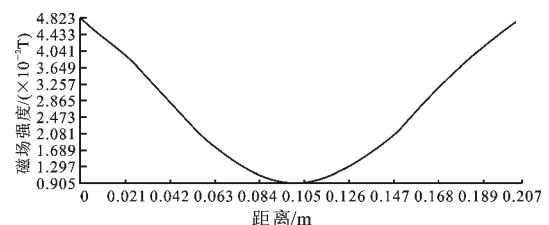


图 5 两个直流线圈磁场方向不一致时真空室内磁场沿路径的强度分布  
Fig.5 Intensity distribution of magnetic field along the route when two DC coils' magnetic fields don't coincide in direction

在上述装置的基础上再加上真空系统就构成了试验平台。采用不锈钢为靶材我们针对

M.J. Thwaites 提出的设备的特性进行了有关溅射电压和溅射电流关系的几组实验。

### 2.2 实验结果和分析

#### 2.2.1 溅射电压和溅射电流关系

图 6 与图 7 为气压和离子源功率对溅射的影响图中横坐标为直流溅射电源的电压值,靶电压就是所对应数值的负值。纵坐标为靶的溅射电流。由图 6 可以看到,当真空室中气压为 1 Pa 时,直到靶电压到达 -500 V 的时候,才会出现微弱的靶电流,直到靶电压到达 -1200 V 时,靶电流最大不超过 10 mA;当真空室中气压为 10 Pa 时,靶电压为 -200 V 的时候,出现微弱的靶电流,靶电压到达 -1000 V 时,靶电流为 15 mA;当真空室中气压为 16 Pa 时,靶电流随靶电压的增加增加很快,在靶电压为 -800 V 时,靶电流达到了 70 mA。

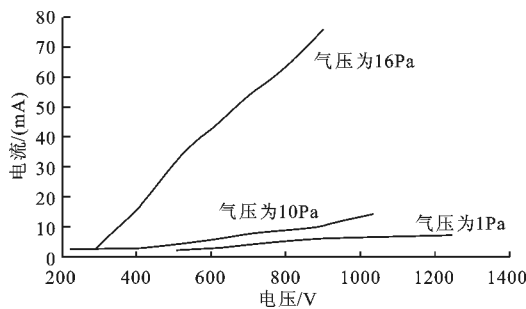


图 6 当气压一定的情况下,改变离子源的功率的情况

Fig.6 Power diagram when ion source is changed under constant pressure

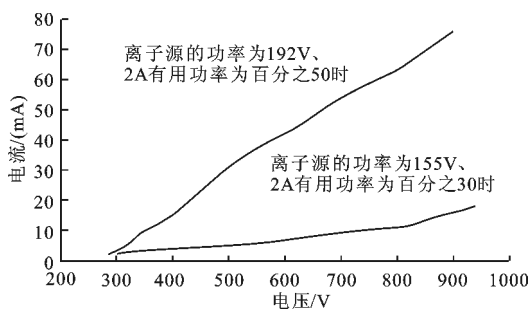


图 7 当离子源的功率为一定时改变气压的情况

Fig.7 Pressure changes when the power of ion source is constant

由图 7 可以看出,离子源功率对靶电流靶电压曲线的影响,在离子源功率为 155 V、2 A,有用功率为 30%时,靶电流随靶电压增加增加很慢,当靶电压为 -900 V 时,靶电流为 18 mA;在离子源功率为 192 V、2 A,有用功率为 50%时,靶电流随靶电压增加增加很快,当靶电压为 -900 V 时,靶电流 75 mA。

可见在其它条件相同的情况下,增加真空室气压,可以提高溅射电流;增加溅射电压,溅射电流增加,但是没有到达饱和;增加离子源的功率,

溅射电流增加;但是没有实现溅射中溅射电流的饱和。可能存在的原因是因为射频溅射电源的功率太小,只有 500 W。溅射电源功率太小会使得等离子体离化不够,也导致了所需的溅射气压很高,需要提高射频电源的功率。

#### 2.1.2 实验中的辉光情况

Ar 等离子体的辉光颜色的性质: 等离子体的颜色为粉红色表明等离子体中存在的是没有离化的高浓度的激发 Ar 原子; 当等离子体是深蓝色表明等离子体中 Ar 离子体的浓度远高于没有离化的激发的 Ar 原子<sup>[1]</sup>。在实验中观察到的辉光现象有:

(1) 发射直流电磁线圈的磁场能提高等离子体的电离效率。

当射频电源的功率不是很高时,石英管内产生的等离子体的辉光颜色是淡蓝色的,但是当逐渐加大发射电磁线圈的电流时可以看到石英管内的等离子体的颜色由淡蓝色转为粉红色。这是因为电磁镜能够增强气体的离化程度从而提高等离子体离化度<sup>[7]</sup>。

(2) 打开射频电源产生等离子体,调节直流电磁线圈的电流到合适的值,然后慢慢增加溅射电源电压,当溅射电源电压增加到一定的值以后就会在真空室观察到连通的等离子体;此时石英管管内的等离子体是粉红色的,真空室内的等离子体是蓝色的,真空室内的等离子体中的 Ar 离子体的浓度远高于没有离化的激发的 Ar 原子;当同时改变直流电磁线圈电流的方向时,等离子体仍然是连通的,但是当两个直流电磁线圈产生的磁场方向不一致时,等离子体断开,这个现象与前面的仿真结果一致。可以看到要达到等离子体连通的目的,两个直流电磁线圈产生的磁场的方向必须是一致的,但是磁场的具体方向对等离子体没有影响。

下图溅射时真空室中等离子体的图片。



图 8 真空室内的等离子体

Fig.8 Plasma in vacuum chamber

图 8 中出现的一个问题是连续的等离子体辉光有一些发散。主要的原因是因为偏转线圈半径太大,产生的磁场布满在真空室中,所以等离

子体被约束的范围相对于真空室太大,效果不明显。这样出现的问题是等离子体约束不集中,等离子体密度也小,影响溅射速度。在保证偏转线圈的磁场而又要缩小半径的情况下,改进的方法要使得偏转线圈与靶面齐平,而且尽可能采用通水铜管代替漆包线来减小线圈的尺寸。

### 2.1.3 靶的刻蚀情况

为了进一步说明靶的全刻蚀,将靶表面全部涂满石墨,溅射完后的靶面如下图。可见,实现了全靶腐蚀。由图 2 中磁场模拟的结果也可以看到,由于磁场在真空室中从石英管口到靶表面的特殊分布,约束了等离子体的运动,从而实现了全靶腐蚀。

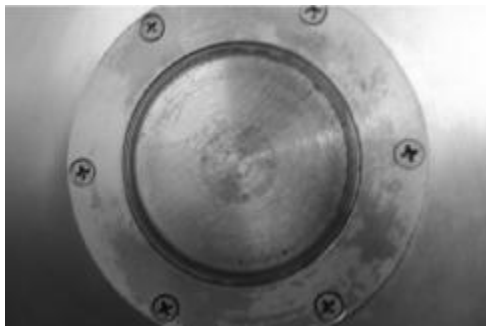


图 9 涂满石墨溅射后的靶面情况

Fig.9 Target surface with graphite spread over it after sputtering

## 3 结论

本文采用 M.J. Thwaites 提出的结构,基于等离

子体受磁场约束的原理构造了一个实验平台实现了等离子体在真空室中连通,实现了全靶腐蚀,其中两个直流线圈产生的磁场必须一致,但是具体的磁场方向对结果没有影响。但是由于射频溅射电源的功率太小,使得等离子体离化不够,溅射电流没有出现随靶溅射电压升高而饱和的现象,也导致了所需的溅射气压较高,因此提高射频电源的功率是一种有效改善其性能的方法。

### 参考文献:

- [1] Vopsaroiu and Marian Novel Sputtering Technology for Grain Size Control [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2004,40(4)II:2443-2445.
- [2] Musil J. Rectangular magnetron with full target erosion[J]. J.Vac. Sci. Technol. Mar/Apr 1999, A17(2).
- [3] Takahashi T and Naoe M. [J]. IEEE Trans. Magn. 1989, 25: 4174.
- [4] 孙东明. 圆柱形平面式磁控溅射靶的特点与设计原理[J]. 昆明理工大学学报, 2000, 25(2).
- [5] 菅井秀郎. 日本 OHM 社. 等离子体电子工程学[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [6] Gregor Campbell. High density plasma deposition. [P]. US Patent No. 4990229.
- [7] Thwaites M.J. high density plasmas. [P]. US Patent No. 6463873.
- [8] 唐兴伦. ANSYS 工程应用教程: 热与电磁学篇[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2003.

迁  
址  
通  
知

辽宁真龙真空设备制造有限公司

迁至: 沈阳市辉山农业高新技术开发区(辉山大街 148 号) 邮编: 110164

电话: 024—88080573、88080589 传真: 024—88080583。

沈阳真龙真空设备技术有限公司

迁至: 沈阳市沈河区六纬路 17 号 邮编: 110014

电话: 024—22855680、22857085、22865980 传真: 024—22857030

真龙特种橡胶制品厂

迁至: 沈阳市辉山农业高新技术开发区(辉山大街 148 号) 邮编: 110164

电话 / 传真: 024—88080628

(真龙真空)