

微波管栅发射问题的研究¹

王小霞 廖显恒 赵青兰 余晓军* 张济忠*

(中国科学院电子学研究所 北京 100080)

*(清华大学材料与工程系 北京 100084)

摘要 利用离子束辅助沉积技术在 Mo 栅极上镀上并注入一层 Hf 膜,对镀后的样品进行了形貌、结构、成份、膜厚及 Mo、Hf 界面分析。将样品进行电子管模拟栅发射试验,栅极温度为 650°C,试验 1000h 以上基本无栅发射电流,可以提高栅控管的可靠性和寿命。实验结果表明,阴极中的活性物质 Ba 蒸发到镀 Hf 的 Mo 栅极表面, Ba、Hf 和 O₂ 能形成化合物,从而有效抑制栅极发射电流。

关键词 栅发射, 离子束辅助沉积, 化合物

中图分类号 TN12, O462

1 引言

电子管或微波器件中阴极和栅极是两个重要的电极。阴极发射电子,希望发射电流越大越好,而栅极控制发射电流,不允许栅极有电子发射。由于阴极与栅极之间的距离很近,因此在管子工作中阴极中的活性物质 Ba 不可避免地会蒸散到栅极上,使栅极发射电子,破坏栅极功能,最终导致电子管失效。特别是当阴极温度升高时,阴极发射增大,并且栅极温度也将升高,管子失效的可能性更大,这是因为栅极发射也是遵循热电子发射方程^[1]。

$$j_0 = ADT^2 \exp[-e\Phi/(kT)]$$

其中 j_0 为发射电流密度; A 为普适发射常数; D 为发射体表面的平均电子透射系数; T 为发射体的绝对温度; $e\Phi$ 为逸出功; k 为玻耳兹曼常数。从此式可以看出,温度是最重要的参数。如果发射体温度升高 50°C,发射电流密度便增加一倍^[2]。所以当阴极中的活性物质 Ba 蒸散到栅极上,并且栅极温度升高时,栅发射电流就会迅速提高。降低栅极温度是解决栅放问题的方法之一。而降低栅极温度的最理想方法是降低阴极的工作温度,阴极工作温度的降低既可降低 Ba 蒸散,又可减少阴极对栅极的热辐射。但降低阴极的工作温度,就会导致阴极发射电流减小,难以满足使用要求。另一种降低栅极温度的方法是“热传导”,将栅极的温度导至管外,但这种方法降低栅极温度是有限的,其工艺也比较困难。

我们在以前的工作基础上利用真空离子束辅助沉积技术 (IBAD),在 Mo 栅极表面镀上一层 Hf 膜,并对镀后的样品进行试验和分析,证实了 Hf 是一种理想的抑制栅发射的材料。

2 实验

将实验管用的 Mo 平面栅极进行清洁处理,然后在氢炉中 1000°C 退火,退火后将 Mo 平面栅极装在 IBAD 设备样品台上,进行离子辅助沉积镀上一层 Hf 膜。将镀完的样品进行模拟电子管栅极发射实验。

实验采用平板阴极与平板栅极相对的形式。极间距离为 1.0-1.5mm,栅极电流用微安表测量(精度为 1.0μA)。阴极用贮存式氧化物阴极,将阴极分解、激活、老炼后,开始进行栅极发射试验。阴极温度保持在 900°C 左右,栅极温度保持在 650°C,使阴极的活性物质充分向栅极蒸散,以模拟微波栅控管的真实工作环境,每隔 24h 测量一次栅发射电流。1000h 后,为了证明栅极温度对栅发射的影响,栅极温度升为 700°C,继续试验,直到栅发射电流增加很快,然后停止寿命试验。

¹ 2001-03-19 收到, 2001-08-10 定稿

3 结果与分析

3.1 模拟电子管栅极发射曲线 从图1可看出,没镀铪的钨栅极的发射电流随时间延长迅速增大(如曲线1所示);镀铪的钨栅极发射电流随时间延长而增大缓慢(如曲线2所示)。这是因为钨和钨一样是钡系统电子发射体的基底,而多晶钨的逸出功是4.2eV,成田^[3]将BaO蒸散到钨基底上,蒸散时间为6min和60min,钨基底温度为800°C时,分别测得逸出功为2.2eV和1.85eV。逸出功的显著降低,使没有镀铪的钨栅极发射电流在100h内急剧增大;镀铪钨栅极在发射试验整个过程中,当栅极温度为650°C时,650h之内测不出栅极发射电流,650h后栅极电流逐渐增大,1000小时后将栅极温度上升为700°C,栅极发射电流迅速增大。这是由于在寿命初期,蒸散到栅极上的阴极活性物质Ba较少,当Ba蒸散到栅极表面后,Ba与栅极表面结构较疏松的Hf结合或向疏松孔中扩散,因此在试验初期栅极发射电流极小,微安表测不出,随着时间的增长,Ba与Hf结合或向疏松孔中扩散达到饱和并在栅极表面形成堆积,降低了栅极逸出功,所以650h后逐渐开始有栅极发射电流,但栅极发射电流很小。栅极温度升高后,栅极发射电流低速增大。这说明Hf能较好地抑制栅极发射,是一种很好的抑制栅极发射的材料,同时说明栅极温度对栅极发射影响很大。

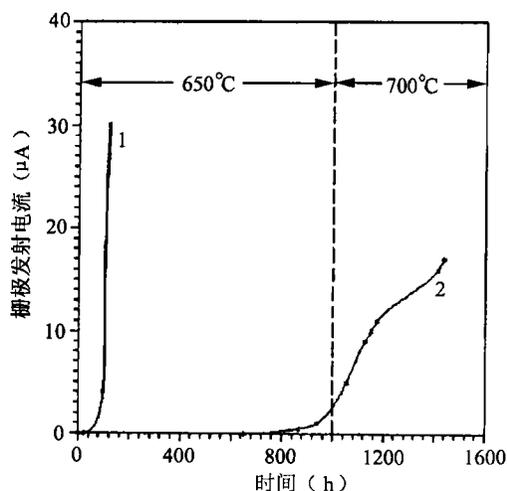
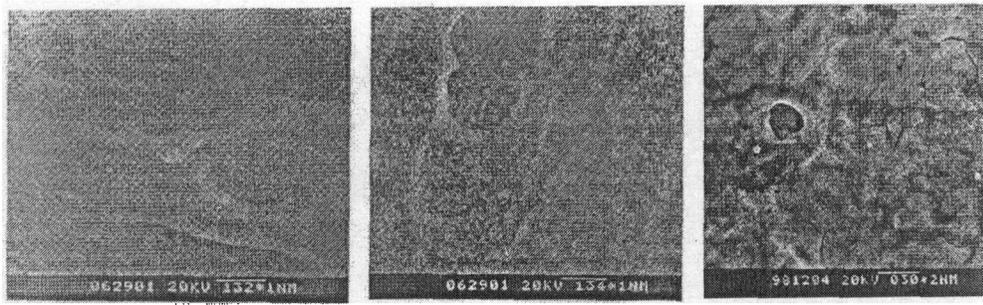


图1 钨栅极发射电流随时间变化图
1 没镀铪钨栅极 2 镀铪钨栅极

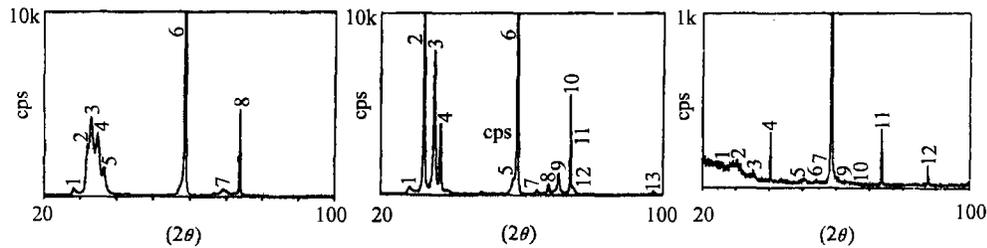
3.2 镀铪的钨栅极的SEM形貌 图2(a), 2(b), 2(c)是大量典型试验样品的SEM形貌分析。图2(a)是没有经过任何处理的镀铪的钨栅极的SEM形貌。从图2(a)可以看到刚镀完未经处理的钨栅极表面较粗糙,表面凹凸不平,极不均匀。图2(b)为模拟电子管中栅极发射试验前镀铪的钨栅极的SEM形貌,比较图2(b)与2(a)可以发现,经过封管后的一系列特殊处理后的钨栅极表面较平缓。这是因为在特殊处理过程中,镀在钨栅极表面的Hf进行了再结晶^[4]。图2(c)为1000多小时后,钨栅极的SEM形貌,从此图中可以看到钨栅极表面上有大小为0.3μm的小颗粒,且栅极表面出现缺陷和裂痕。从镀铪的钨栅极发射实验前后的SEM形貌分析,证明镀在钨栅极的铪膜在实验中发生了物理化学变化,致使栅极表面较疏松的Hf结构及成份发生改变。

3.3 镀铪的钨栅极的XRD谱 图3(a)是没有经过任何处理的镀铪的钨栅极的XRD谱。其中1为HfO峰,2,3,4,5均为单质Hf峰,而6,7,8为基底钨的峰位,这说明镀在钨栅极上除了大量的单质Hf外,还有少量HfO。图3(b)为栅极经过一系列处理后在模拟管中的



(a) 镀完未处理 (10000X) (b) 模拟管中栅极发射试验前 (10000X) (c) 模拟管中栅极发射试验后 (5000X)

图 2 镀铪的钼栅极的 SEM 形貌照片



(a) 镀完未处理 (b) 模拟管中栅极发射试验前 (c) 模拟管中栅极发射试验后

图 3 镀铪的钼栅极的 XRD 谱

XRD 谱, 可以看出, 此时单质 Hf 峰值更加明显, 而 HfO 峰却减弱, 这说明经过特殊处理, 将有更多的单质 Hf 参与抑制作用. 图 3(c) 为寿命试验后的 XRD 谱, 与图 3(b) 比较明显有氧化钡 (BaO) 的生成 (峰位为图中 5, 6, 7, 9, 10), 还有少量的 Ba, Hf 和 O₂ 的化合物 (峰位为图中 2).

3.4 镀铪的钼栅极的膜厚 图 4 为镀在钼栅极上 Hf 膜的截面 SEM 形貌. Hf 膜厚度为 600nm 左右. 实验表明膜厚主要由镀膜时间、IBAD 的离子源束流所决定^[5]. 因此离子源的束流确定后, 膜厚与镀膜时间有关, 通过试验发现并不是镀膜时间越长越好, 也就是说并不是 Hf 膜越厚越好, 所以在镀膜过程中, 掌握镀膜时间也很关键.

3.5 钼铪界面分析 图 5 为镀铪钼栅极的 RBS 谱图. 图 5 的测试结果显示, 钼铪界面的钼



图 4 镀铪钼栅极膜截面的 SEM 形貌

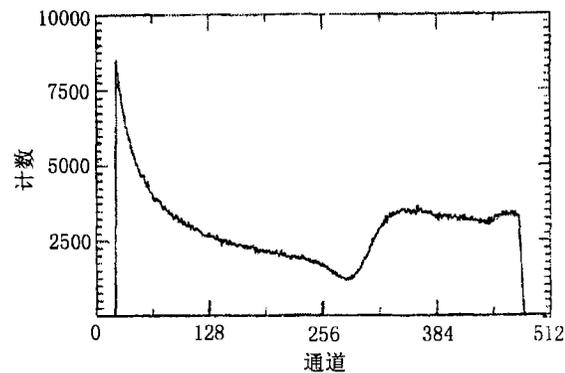


图 5 镀铪的钼栅极 RBS 谱

基底与钪膜在一定厚度范围内, 钼与钪是以混晶形式存在。这说明利用离子束辅助沉积技术在钼栅极上镀钪过程中, 一部分 Hf 原子注入到 Mo 基体内, 从而提高了 Hf 膜在高温时与 Mo 栅极之间有较强附着力, 这对栅极发射试验中抑制栅发射电流是有利的。

4 结 论

从上述结果看, 用真空离子束辅助沉积技术在钼栅极上沉积 Hf 膜后, 可以有效地将阴极蒸发物质 Ba 吸附、储藏并生成 Ba-Hf 合金, 显著降低了栅极发射。高温时 Hf 膜与 Mo 栅极结合牢固。实验表明真空离子束辅助沉积 Hf 膜是一种有效的降低栅发射的方法, 可以在多注管和其它微波器件的科研与生产中得到广泛应用。

致谢 感谢清华大学材料系李文治老师、陈海英同学协助完成镀膜工作。

参 考 文 献

- [1] 刘学恣, 阴极电子学, 北京, 科学出版社, 1980, 第一章.
- [2] 国外行波管长寿命氧化物阴极概述, 四机部电真空专业技术组, 第三部分, 1975, 20.
- [3] S. Narita, Research on the Work Function of Thermionic Cathode, J. Phys. Soc. Japan., 1954, Part9, 23.
- [4] Metals Handbook, Eighth Edition, Metals Park, Ohio, USA, 537.
- [5] 官冲, 张济忠, 廖显恒, 抗电子发射钼栅极的性能分析, 功能材料, 1999, 30(3), 268-270.

STUDY ON GRID EMISSION OF MICROWAVE POWER TUBES

Wang Xiaoxia Liao Xianheng Zhao Qinglan Yu Xiaojun* Zhang Jizhong*

(Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

**(Dept. of Materials Sci. and Eng., Tsinghua University, Beijing 100084, China)*

Abstract Hf film is coated on the surface of Mo-grids by vacuum ion beam aided deposition technology. The SEM, XRD and RBS analyses are performed on modified Mo-grids. Life-span tests of this modified Mo-grid are carried out by diode experiment. When the temperature of the modified Mo-grids is kept at 650°C, the modified Mo-grids' electron emission can not be detected with microammeter after 1000h life-span. The experimental results show that after the grid is contaminated by electron emission substance Ba of the cathode Hf formed compounds restrain effectively electron emission of grid.

Key words Grid emission, Ion beam Aided deposition (IBAD), Compounds

- 王小霞: 女, 1976年生, 工程师, 从事阴极电子学的研究。
 廖显恒: 男, 1936年生, 研究员, 从事阴极电子学的研究。
 赵庆兰: 女, 1964年生, 实验师, 从事氧化物阴极的制备与研究。
 余晓军: 男, 1976年生, 清华大学材料系研究生。
 张济忠: 男, 1942年生, 教授, 清华大学材料系材料物理教研室主任。