

# 钽铌材料及其性能

## 钽

### 1. 钽金属(tantalum)

钽是稀有高熔点金属。熔点 2996 ，密度  $16.68\text{g/cm}^3$ ，晶格类型：体心立方。导热系数（25 ） $54\text{W/M} \cdot \text{K}$ 。线膨胀系数（0~100 ） $6.5 \times 10^{-6}$ 。钽主要用做制作钽电解电容器，钽合金如 Ta—2.5W、Ta—10W、Ta—40Nb 等，比任何别的材料更能经受高温和矿物酸的腐蚀，可作为飞机、导弹、火箭的耐热高强度材料以及控制、调节装置的零部件等。钽在高温真空炉中，可作支撑附件、热屏蔽、加热器和散热片等。钽制舟皿可用于真空蒸度装置，钽与人体组织还具有优良的生物相容性和稳定性，对人体组织不起反应，可作为接骨板螺丝、缝合针等外科手术材料。

### 2. 钽的化合物(tantalum compound)

#### 2.1 钽的氧化物(tantalum oxide)

钽的氧化物最有应用价值的是  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 。 $\text{Ta}_2\text{O}_5$  为白色粉末，无味无臭，比重  $8.71\text{g/cm}^3$ ，熔点 1870 。具有明显的酸性，不溶于水，也不溶于大多数的酸和碱，但在热的氢氟酸和过氧酸中能缓慢地溶解，与碱共熔时，生成钽酸盐。

$\text{Ta}_2\text{O}_5$  具有 、 两种变体，其转变温度为 1320 ，不同变体的氧化物，晶体结构不同，故其晶格常数，密度和其它性质都有明显的区别。

钽的其它低价氧化物，其性能不稳定。钽的主要低价氧化物  $\text{TaO}_2$  是一种褐色粉末，不溶于酸，在空气中加热时转变成  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ，具有导电性。

#### 2.2 钽的卤化物(tantalum halide)

$\text{TaCl}_5$  为黄色粉末，熔点 220 ，沸点 223 - 239 ，比重  $3.68\text{g/cm}^3$ ，易挥发，吸湿性强，非常容易水解析出白色的氢氧化物沉淀。除高价的  $\text{TaCl}_5$  外，钽的低价氯化物有  $\text{TaCl}_4$ 、 $\text{TaCl}_3$ 、 $\text{TaCl}_2$ ，均是易挥发物。

$\text{TaF}_5$  为白色结晶，熔点 91.5 ，沸点 229.2 - 233.3 ，比重  $4.74\text{g/cm}^3$ ，具有很强的吸湿性，在弱酸溶液中(当 HF 浓度低于 7%)

溶解而不水解。

### 2.3 钽的碳化物(tantalum carbide)

钽的碳化物主要有 Ta<sub>2</sub>C 和 TaC 两种，而 Ta<sub>2</sub>C 又有  $\alpha$ -Ta<sub>2</sub>C 和  $\beta$ -Ta<sub>2</sub>C 两种同素异构体。TaC 为深棕色粉末，熔点 3880℃，沸点 5500℃，密度 14.4g/cm<sup>3</sup>，具有较好的化学稳定性，仅能溶于硝酸和氢氟酸混合溶液中。钽的碳化物在低于 1000~1100℃ 时，在空气中不易氧化。在氮或氨的作用下，易生成氮化物。

### 2.4 钽的氢化物(tantalum hydride)

在常温的空气中，钽的氢化物非常稳定。在高真空下加热至 1000~1200℃ 时，分解放出氢。

在 350℃ 以下，钽与氢几乎不发生作用，随着温度的升高，反应速度加快。氢在钽中的溶解度，随温度增高而降低。在一定温度和压力下，氢化钽中最大氢含量相当于 H/Ta 为 0.02~0.08(即 TaH<sub>0.2</sub>~TaH<sub>0.8</sub>)。

### 2.5 钽的氮化物(tantalum nitride)

钽的氮化物有 TaN、Ta<sub>2</sub>N、Ta<sub>3</sub>N<sub>5</sub> 三种。TaN 为带蓝色的灰色粉末，熔点 2980~3090℃，密度 14.4g/cm<sup>3</sup>，不溶于硝酸、氢氟酸和硫酸中，但溶于热的碱性溶液并释放出氨或氮气。钽的氮化物在空气中加热时生成氧化物，放出氮气。

### 2.6 钽的硼化物(tantalum boride)

钽的硼化物有一硼化物 TaB 和二硼化物 TaB<sub>2</sub>。TaB 的密度 14.0g/cm<sup>3</sup>，比电阻 100.0μΩ·cm，TaB<sub>2</sub> 的熔点 3200℃，密度 11.7g/cm<sup>3</sup>，比电阻 86.5μΩ·cm，不被盐酸和王水所侵蚀，但能被热的硫酸和氢氟酸缓慢地分解。

### 2.7 钽的硒化物(tantalum selenate)

钽的硒化物为 TaSe<sub>2</sub>，比电阻  $2.23 \times 10^{-3}$  Ω·cm，在室温空气中的相对摩擦系数 0.08，在空气中的氧化温度 600℃，在真空中的分解温度 900℃。

### 2.8 钽的硅化物(tantalum silicone)

钽的主要硅化物是 TaSi<sub>2</sub>，也存在一些其它化合物如 Ta<sub>2</sub>Si、Ta<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>。TaSi<sub>2</sub> 熔点 2200℃，密度 8.83g/cm<sup>3</sup>，比电阻 8.5 Ω·cm，不被矿物酸侵

蚀,但能被氢氟酸分解,在熔融的  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  和  $\text{NaOH}$  中能完全被分解。

## 2.9 钽酸盐(tantalate)

钽酸盐最重要的是钾盐和钠盐。

钾的钽酸盐有  $\text{K}_2\text{O}:\text{Ta}_2\text{O}_5$  从 3:7 至 10:3 的,最常见的稳定钽酸盐有偏钽酸钾( $\text{K}_2\text{O}:\text{Ta}_2\text{O}_5$ );六钽酸钾( $4\text{K}_2\text{O}:\text{Ta}_2\text{O}_5$ )。钾的钽酸正盐易溶于水,但偏盐溶解度较小, $\text{KTaO}_3$  在 25 时的溶解度为  $4.87 \times 10^{-5} \text{mol/L}$ 。

钽酸钠有  $\text{Na}_2\text{O}:\text{Ta}_2\text{O}_5$  为 4:3、7:5、1:1、1:3 和 2:7 的,如  $\text{NaTaO}_3$ 、 $\text{Na}_5\text{TaO}_5$ 、 $4\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Ta}_2\text{O}_5 \cdot 25\text{H}_2\text{O}$  等。钠盐在水和苛性钠溶液中的溶解度很小,25 时  $\text{NaTaO}_3$  盐的溶解度为  $5.5 \times 10^{-5} \text{mol/L}$ 。

## 2.10 钽的有机络合物(tantalum organic complex compound)

钽有机络合物最主要的是单宁酸的化合物,其颜色为柠檬黄色,煮沸后从弱酸性溶液( $\text{pH} = 3 \sim 4$ )中析出。

## 2.11 钽的醇盐(tantalum alkoxide)

五价的钽醇盐是高挥发性的,这些醇盐可以在 6.67 ~ 1333Pa 压力下蒸馏而不发生分解。钽醇盐的沸点受链长的影响。

## 3. 钽酸锂晶体(lithium tantalate crystal)

钽酸锂 ( $\text{LiTaO}_3$ , 简称 LT) 是一种典型的人工提拉法生长的晶体,属三方晶系,  $3m$  点群,它具有良好的压电、铁电、光电、热释电效应,应用领域广泛,涉及工业、民用、军事等各方面。其压电性能优越,温度漂移小,人们利用这些特性,制作大量的声表面器件,利用其光电效应,制作光电调制器、滤波器;利用热释电效应,制作红外探测器。随着对其研究的不断深入,人们利用它制成了超晶格结构,使其在非线性领域的应用引起广泛的关注,大大拓宽了其应用范围。

## 4. 电容器级钽粉(capacitor grade tantalum powder)

### 4.1 高压低比容钽粉 (high voltage-low capacity tantalum powder)

高压低比容钽粉一般是指应用到 35V 以上的固体电解电容器并具有  $4,000 \mu \text{FV/g}$  以下的比容的钽粉。这种粉一般是采用钽锭氢化制粉工艺和片状化制粉工艺。

## 4.2 高(低)压高(低)比容钽粉( high/ low voltage-low/ high capacity tantalum powder )

高(低)压高(低)比容是指钽粉所制造的电容器应用在某一电压范围里和具有某一比容范围,实际上这没有明确的界限,特别是对于比容高低的概念,根据时间和地域变化很大,如在上世纪70年代,国内把3,000  $\mu$  FV/g比容的钽粉称为高比容钽粉,80年代初把10,000  $\mu$  FV/g比容的钽粉称为高比容钽粉,而80年代末则把20,000  $\mu$  FV/g以上的钽粉称为高比容钽粉,现在国内外一般都是把30,000  $\mu$  FV/g以上的钽粉称为高比容钽粉。国外对于钽粉的使用范围较广,例如钠还原粉可以从低压使用到50V,个别甚至更高的电压。

## 4.3 中压高比容钽粉( medial voltage-high capacity tantalum powder )

中压高比容钽粉一般是指应用到25~50V的固体电解电容器具有5,000~30,000  $\mu$  FV/g比容的钽粉。这种粉一般为片状钽粉和钠还原钽粉。

## 4.4 低压高比容钽粉( low voltage- high capacity tantalum powder )

低压高比容钽粉一般是指应用到25V以下的固体电解电容器具有30,000  $\mu$  FV/g以上比容的钽粉。这种粉一般为钠还原钽粉。近年来正在新开发的氧化钽还原的钽粉。有人宣称这种粉的最高比容达到了200,000  $\mu$  FV/g甚至更高。

## 5. 电容器级钽丝(capacitor grade tantalum wire)

电容器级钽丝是用于制作钽电解电容器阳极引线的钽丝。其优点是氧化膜介电常数大,可靠性高。与冶金级钽丝相比,电容器级钽丝化学纯度高,表面光洁度好,抗氧脆性好。电容器级钽丝是以钽粉为原料利用粉末冶金方法烧结成钽条后,再经过轧制、拉拔等金属塑性加工手段制成的,表面应光滑、清洁,无沟槽、毛刺等缺陷。电容器级钽丝的重要性能指标包括抗拉强度、直线度、化学成分和漏电流等。电容器级钽丝的直径一般在0.15mm~1.0mm之间,抗拉强度一般在400Mpa~1700 Mpa之间。

## 6. 钽靶材(tantalum target)

熔点 2996 ,密度 16.68g/cm<sup>3</sup>,导热系数(25 ):54(W/M.K),钽靶通常用熔炼钽锭加工或粉末冶金加工法制备。钽靶的纯度 > 99.95% ,

表面光滑，晶粒直径  $< 100 \mu\text{m}$ ，晶粒结构主要是  $[111]$  型结构。由于钽具有高导电性、高热稳定性和对外来原子的阻挡作用，故用贱射镀膜法在集成电路上镀上钽膜，可防止铜向基体硅中扩散的阻挡层。因而作为电极材料和表面工程材料 (BM)，钽靶材已经被广泛应用于液晶显示器 (LCD) 以及耐热耐腐蚀高导电等镀膜工业中。

## 7. 钽陶瓷(tantalum ceramics)

钽陶瓷是由陶瓷相与金属钽粉或  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  粉末组成的复合材料。陶瓷相是具有高熔点、高硬度、高强度的氧化物或难熔化合物，加入金属钽粉或  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  粉末后可提高其塑性和导热性，缓冲应力。钽陶瓷可用作宇航材料和硬质合金的添加物。

## 8. 钽基合金(tantalum base alloy)

为了改善金属性能，在金属钽中添加一些难熔金属，以形成钽基合金。用于改善其耐腐蚀性和在高温下保持其高强度和优良的加工性能。包括 Ta-W 系列、Ta40Nb、Ta-8W-2Hf、Ta-111、Ta-222、钽铬合金、钽钨钼合金。钽钼合金用于火箭、导弹和喷气发动机的耐热高强度材料，钽钨合金熔点  $3080^\circ\text{C}$ ，密度  $16.6\text{g}/\text{cm}^3$ ，且具有高温韧性，耐冲击，可在高温  $2500^\circ\text{C}$  下使用。

# 铌

## 1. 铌金属(niobium)

铌是稀有高熔点金属。熔点  $2467$ ，密度  $8.6\text{g}/\text{cm}^3$ ，晶格类型：体心立方。导热系数 (25)  $52\text{W}/\text{M} \cdot \text{K}$ 。线膨胀系数 (0~100)  $7.1 \times 10^{-6}$ 。在钢中加入极少量铌，能大大提高钢的强度，改善钢的机械和焊接性能，提高抗腐蚀性能。铌可用做电容器、铌基高温合金，FS—85 合金是航天飞机上轨道操作系统发动机的结构材料，C—103 合金可作为火箭喷嘴材料，其它铌合金如 Nb—Zr、Nb—Ti、Nb—Ti—Ta 等可作为超导材料，广泛应用于核磁共振医用人体图象仪、高能加速器、超导储能器、磁悬浮列车等。铌基化合物和络合物，可作为催化剂，起清除污染、选择氧化、氢化处理等作用。

## 2. 铌的化合物(niobium compound)

### 2.1 铌的氧化物(niobium oxide)

铌的氧化物最有应用价值的是  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 。 $\text{Nb}_2\text{O}_5$  为白色粉末，无味

无臭，比重  $4.55\text{g/cm}^3$ ，熔点  $1512$ 。具有明显的酸性，不溶于水，也不溶于大多数的酸和碱，但在热的氢氟酸和过氧酸中能缓慢地溶解。与碱共熔时，生成铌酸盐。

$\text{Nb}_2\text{O}_5$  具有、  
、  
三种变体，在  $800-900$  生成低温变体  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ，在  $1000-1150$  生成中温变体  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ，在  $1200-1250$  完全生成高温变体  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 。不同变体的氧化物其晶格常数、密度和其它性质都有明显的区别。

铌的低价氧化物有  $\text{NbO}_2$ 、 $\text{NbO}$  和  $\text{Nb}_2\text{O}$ 。 $\text{Nb}_2\text{O}$  是一种黑色粉末，在冷状态下不溶于酸或氧化剂中。当加热时， $\text{Nb}_2\text{O}$  是一种强烈还原剂，如在  $210$  还原  $\text{NO}$ ，在  $320$  还原  $\text{SO}_2$  和在  $900$  还原  $\text{CO}_2$ 。

## 2.2 铌的卤化物(niobium halide)

$\text{NbCl}_5$  为黄色粉末，熔点  $209.5$ ，沸点  $2540$ ，比重  $2.77\text{g/cm}^3$ ，易挥发，吸湿性强，非常容易水解析出白色的氢氧化物沉淀。除高价的  $\text{NbCl}_5$  外，铌的低价氯化物有  $\text{NbCl}_4$ 、 $\text{NbCl}_3$  等，均是易挥发物。

$\text{NbF}_5$  为白色结晶，熔点  $78.9-80$ ，沸点  $234.9$ ，比重  $3.29\text{g/cm}^3$ ，具有很强的吸湿性，在弱酸溶液中(当  $\text{HF}$  浓度低于  $7\%$  时)， $\text{NbF}_5$  溶解后发生水解生成  $\text{NbOF}_3$  和  $\text{H}_2\text{NbOF}_5$ 。

## 2.3 铌的碳化物(niobium carbide)

铌的碳化物主要有  $\text{Nb}_2\text{C}$ 、 $\text{NbC}$  和  $\text{Nb}_4\text{C}_3$ ， $\text{NbC}$  为灰褐色粉末，熔点  $3500$ ，沸点  $4300$ ，密度  $7.82\text{g/cm}^3$ ，具有较好的化学稳定性，仅能溶于硝酸和氢氟酸混合溶液中。铌的碳化物在低于  $1000 \sim 1100$  时，在空气中不易氧化。在氮或氨的作用下，易生成氮化物。铌的碳化物属难熔的坚硬化合物，广泛应用于硬质合金中。

## 2.4 铌的氢化物(niobium hydride)

在常温空气中，铌的氢化物非常稳定。在高真空下加热至  $1000 \sim 1200$  时，分解放出氢。

铌和氢的相互作用在  $250$  开始，到  $360$  时氢含量很快地增加，到  $560$  时减少。而从  $560$  到  $900$ ，铌的氢含量又增加，这表明存在着两种铌的氢化物( $\text{NbH}_{0.11}$ 、 $\text{NbH}_{0.7}$ )，它们稳定的温度范围不同。

## 2.5 铌的氮化物(niobium nitride)

铌的氮化物有 NbN、Nb<sub>2</sub>N、Nb<sub>4</sub>N<sub>3</sub> 三种。NbN 为淡灰色粉末，具有黄色光泽，熔点 2050 ~ 2320 ，密度 8.4 g/cm<sup>3</sup>，不溶于硝酸、氢氟酸和硫酸中，但溶于热的碱性溶液并释放出氨或氮气。铌的氮化物在空气中加热时生成氧化物，放出氮气。

## 2.6 铌的硼化物(niobium boride)

铌的硼化物有一硼化物 NbB 和二硼化物 NbB<sub>2</sub>。NbB 的熔点 2000 ，密度 6.9g/cm<sup>3</sup>，比电阻 64.5 μ .cm；NbB<sub>2</sub> 的熔点 3050 ，密度 6.4g/cm<sup>3</sup>，比电阻 65.5 μ .cm，不被盐酸和王水所侵蚀，但能被热的硫酸和氢氟酸缓慢地分解。

## 2.7 铌的硒化物(niobium selenate)

二硒化铌(NbSe<sub>2</sub>)是具有金属光泽的深灰色粉末，密度 6.28g/cm<sup>3</sup>，比电阻  $5.35 \times 10^{-4}$  .cm。在室温空气中的相对磨擦系数 0.12，在空气中的氧化温度 350 ，在真空中的分解温度 900 。它具有很高的化学稳定性，除浓硝酸外，对其他酸、碱和有机溶剂具有良好的稳定性，在空气中不吸潮，抗磨性好。

## 2.8 铌的硅化物(niobium silicone)

铌的主要硅化物是 NbSi<sub>2</sub>，也存在一些其它化合物如 Nb<sub>4</sub>Si 和 Nb<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>。NbSi<sub>2</sub> 熔点 1930-1950 ，密度 5.29g/cm<sup>3</sup>，比电阻 6.3 .cm，不被矿物酸侵蚀，但能被氢氟酸分解。在熔融的 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 和 NaOH 中能完全被分解。

## 2.9 铌酸盐(niobate)

铌酸盐最重要的是钾盐和钠盐。

钾的铌酸盐有 K<sub>2</sub>O:Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 从 1:3 至 5:1 的，最常见的稳定铌酸盐有 K<sub>2</sub>O·Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 偏铌酸钾；4K<sub>2</sub>O·3Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 六铌酸钾。钾的铌酸盐易溶于水，25 时 K<sub>2</sub>O·Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·4H<sub>2</sub>O 盐的溶解度为 59.53 克无水盐，7K<sub>2</sub>O·6Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·27H<sub>2</sub>O 盐的溶解度为 55.08% 无机盐；4K<sub>2</sub>O·3Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·16H<sub>2</sub>O 盐的溶解度为 56% 无水盐。但铌酸偏盐溶解度较小，KNbO<sub>3</sub> 在 25 时的溶解度为  $4.87 \times 10^{-5}$  mol/L。

铌酸钠有 Na<sub>2</sub>O:Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为 5:1、3:1、3:2、6:5、8:7、1:1、7:8、3:4 和 2:3 的，如 NaNbO<sub>3</sub>、Na<sub>5</sub>NbO<sub>5</sub>、7Na<sub>2</sub>O·6Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·32H<sub>2</sub>O 等。钠盐在水和苛性钠溶液中的溶解度很小，25 时 NbNbO<sub>3</sub> 盐的溶解度为 5.9

$\times 10^{-4}$  mol/L。

## 2.10 铌的金属间化合物(niobium intermetallic compound)

铌的金属间化合物大都为超导化合物，如二元化合物  $Nb_3Sn$ 、 $Nb_3Al$ 、 $Nb_3Ga$ 、 $Nb_3Ge$  及三元化合物  $Nb_3(Al, Ge)$ 等。这些金属间化合物晶体结构均为  $A_15$  - W 型，超导转变温度为： $Nb_3Sn$  18.3K、 $Nb_3Al$  18.9K、 $Nb_3Ga$  20.3K、 $Nb_3Ge$  23.2K、 $Nb_3(Al, Ge)$  20.5K。

## 2.11 铌的有机络合物(niobium organic complex compound)

铌的有机络合物主要有草酸铌和单宁酸络合物。草酸铌为白色晶体，有刺激性气味，易溶于水，常用作催化剂和化学试剂。单宁酸络合物为橙色，从中性或非常弱的酸溶液中(有过量单宁酸存在)析出。

## 2.12 铌的有机醇盐(niobium organic alkoxide)

五价的铌醇盐是高挥发性的，这些醇盐可以在 6.67 ~ 1333Pa 压力下蒸馏而不发生分解。铌醇盐的沸点受链长的影响。正醇盐在沸苯中都是二聚的，这表明链长对聚合度影响很小。

## 3. 铌酸锂晶体(lithium niobate crystal)

铌酸锂 ( $LiNbO_3$ ，简称 LN) 是一种典型的人工提拉法生长的晶体，属三方晶系， $3m$  点群，它具有良好的压电、铁电、光电、热释电和非线性光学效应，应用领域广泛，涉及工业、民用、军事等各方面。人们利用其压电性能，制作声表面器件、振荡器、滤波器、压力传感器；利用其光电效应及非线性效应制作光电调制器、光学滤波器、倍频、参量振荡等器件。在最近二三十年中，人们对它的研究一直没有中断，通过掺入不同的元素，来改变其特有的性质，以及在铁电超晶格方面作了大量的工作，在提高其性能的同时，大大拓展了其应用领域。因为此材料生长容易，价格低廉，综合性能优异，被人们称为未来的“光学硅”。

## 4. 电容器级铌粉(30000-100000 $\mu$ FV/g)(capacitor grade niobium powder)

高比容电容器级铌粉一般是指应用到 25V 以下的铌固体电解电容器并具有 30,000  $\mu$  FV/g 以上的比电容的铌粉。这种粉一般以氧化铌做原料，用金属镁或镁合金还原而得的铌粉。近年来新开发的电容器级铌粉其比电容已达 100,000  $\mu$  FV/g 甚至更高。



## 5. 电容器级铌丝(capacitor grade niobium wire)

电容器级铌丝是用于制作铌电解电容器阳极引线的铌丝。其优点是氧化膜介电常数大，可靠性高。与冶金级铌丝相比，电容器级铌丝化学纯度高，表面光洁度好，抗氧脆性好。电容器级铌丝是以铌粉为原料利用粉末冶金烧结成铌条或电子束熔炼成铌锭后，再经过轧制、拉拔等塑性加工手段制成的，表面应光滑、清洁，无沟槽、毛刺等缺陷。电容器级铌丝的重要性能指标包括抗拉强度、直线度、化学成分和漏电流等。电容器级铌丝的直径一般在 0.1mm~ 0.24mm 之间，抗拉强度一般在 250Mpa~700 Mpa 之间。

## 6. 铌靶材(niobium target)

熔点 1532℃,密度 4.55g/cm<sup>3</sup>,导热系数(25℃):54(W/M.K), 铌靶通常用熔炼铌锭加工或粉末冶金加工法制备。铌靶的纯度 > 99.95% ,表面光滑,晶粒直径 < 100 μ m ,晶粒织构主要是 [ 111 ] 型织构。由于铌具有高导电性、高热稳定性和对外来原子的阻挡作用,故用溅射镀膜法在工件和集成电路表面上镀上铌镀层,可防止腐蚀及防止铜向基体硅中扩散的阻挡层。因而作为电极材料和表面工程材料(BM),铌靶材已经被广泛应用于船舶、化工、液晶显示器(LCD)以及耐热耐腐蚀高导电等镀膜工业中。

## 7.铌陶瓷(niobium ceramics)

### 7.1 一般含铌陶瓷(common niobium bearing ceramics)

由陶瓷相与金属铌粉或 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 粉末组成的复合材料。陶瓷相是具有高熔点、高硬度、高强度的氧化物或难熔化合物,加入金属铌粉或 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 粉末可以提高其塑性和导热性,缓冲应力。

### 7.2 电子陶瓷(electron ceramics)

用于制造电子器件和电子系统结构零部件的含铌功能陶瓷称为电子陶瓷。主要包括:电光陶瓷、半导体陶瓷、铁电陶瓷、压电陶瓷、磁性陶瓷和机敏陶瓷等。由于陶瓷薄膜和透明陶瓷制备技术的发展,电子陶瓷的应用已向微电子和光电子技术领域延伸。铌电子陶瓷除了光学性能优良、环境稳定性好、耐高温等特点外,在电、磁、声、光、热等方面有不同的特殊使用功能。

## 8. 铌特种玻璃(niobium bearing special glass)

### 8.1 光学用玻璃(optical glass)

铌光学用玻璃是一种通过吸收改变光的强度或光谱分布的无机非晶态含铌光学介质材料，具有高度的透明性和光学均匀性。主要用于制作透镜、棱镜、反射镜等光学元件。

### 8.2 电学用玻璃(electric glass)

铌电学用玻璃是一种非铁电体，具有压电性能，主要用作敏感光电转换材料。

## 9. 铌超导材料(niobium superconductor material)

铌是超导转变温度最高的金属，做为超导材料的是纯铌、合金和金属化合物三种，目前工业应用的主要是铌钛合金和铌三锡金属间化合物，如：Nb-2.5Zr，临界温度 10.8K，临界磁场 9.1，Nb-60Ti 临界温度 9.3K，临界磁场 12，Nb-30Ta 临界温度 6.9K,临界磁场 0.95，主要应用在超导磁体、超导发电、超导电机、超导输电、超导磁浮列车。

## 10. 铌催化剂(niobium catalyst)

在某些反应中加入铌的一些化合物，可以加速化学反应达到平衡的速度，而化合物本身无显著变化的物质称作铌催化剂。现主要有：草酸铌、铌酸、氧化铌等，用于石油化工、农药、香料等的生产中。

## 11. 高压钠灯材料(high-voltage sodium lamp material)

高压钠灯材料主要是指用于高压钠灯制造的稀有金属铌及铌锆合金材料。铌及铌锆合金材料通常为管材或丝材，在高压钠灯中起到排气和导电电极的作用。由于高压钠灯电弧发光管中部温度约为 1200℃，两端封接处温度约为 700℃，因此高压钠灯材料要求具有很好的高温强度和塑性、抗钠蒸气腐蚀性和焊接性，同时由于要与氧化铝陶瓷端帽进行封接，所以要求高压钠灯材料要具有在加热或冷却过程中与氧化铝陶瓷相近的热膨胀系数。铌及铌锆合金与氧化铝陶瓷在 0~800℃ 之间的线膨胀系数几乎相同，在 800~1450℃ 之间非常接近，铌及铌锆合金还具有很高的的高温强度，很好的塑性和抗钠蒸气腐蚀性和焊接性，因此成为高压钠灯制作的首选材料。铌中加入 1% 的锆元素，由于在铌、钠、锆中，锆与氧的亲合力最强，铌中的氧将与锆形成稳定的  $ZrO_2$ ，钠蒸汽中的钠原子将无法取代铌中的氧，因而避免

了铌的晶界和某些结晶方向被钠腐蚀的可能；铌中加入锆的另一个好处是可以细化铌基体的晶粒，改善铌基体的性能，延长高压钠灯的使用寿命。

### **12.环保材料(environmental protection material)**

对大气、水、生物、地质和土壤等无污染、无辐射，不会产生废气、废水、废渣、粉尘、恶臭气体、放射性物质以及噪声、振动、电磁波辐射等的新型安全材料，称为环保材料。

### **13.铌基合金(niobium base alloy)**

以铌为基材所生产的铌系列合金具有良好的高温强度和低温塑性，以及优良的加工性和焊接性能。Nb-Ni、Nb-Al、NbTi、C103等，根据使用目的不同，基本分为：高强度合金、中等强度和韧性好的合金、低强度高韧性合金、高强度抗氧化性高的合金、韧性好抗氧化性好的合金，主要应用在宇航和原子能工业。