

泛半导体领域的战略金属——钽

中国金属矿业经济研究院（五矿产业金融研究院）祁岩

“钽铌是优秀的电子功能材料，是优良的空间材料，是钢铁改性的主要添加元素，在工业电子、硬质合金、化工防腐、高温炉件、超导技术、原子能反应堆、高能物理和现代武器、航空航天等领域有广泛的用途，是高科技产业不可或缺金属材料。” 诚如中国工程院何季麟院士在《中国钽铌工业的现状与发展》中的总结，钽铌等稀有金属材料是 21 世纪材料科学与工程领域中最受重视的材料之一，也是高新技术发展的关键材料，被誉为“工业味精”。

一、钽金属稀有、性能优良，是半导体和军工不可或缺金属材料

钽属稀有元素，地壳丰度 2ppm，在金属元素中含量排名较低。钽金属具有质地坚硬、熔点高、韧性好、延展性好、冷加工性能好、热膨胀系数小、耐腐蚀能力强及表面氧化膜介电常数大的特性。

图表 1：钽元素地壳丰度 2ppm，属于含量偏低元素

元素	大陆上地壳	大陆中地壳	大陆下地壳	大陆地壳整体	大洋地壳	年产量（吨）
铝	8.13%	8.20%	8.20%	8.07%	8.23%	15,000,000
铁	5.00%	4.10%	6.30%	5.05%	5.63%	716,000,000
钙	3.63%	4.10%	5.00%	3.65%	4.15%	112,000,000
镁	2.09%	2.30%	2.90%	2.08%	2.33%	350,000
钨		160.6 ppm	190 ppm		125 ppm	45,100
钒	0.01%	160 ppm	190 ppm		120 ppm	7,000
镍		80 ppm	90 ppm	190 ppm	84 ppm	1,300,000
锌	痕量	75 ppm	79 ppm		70 ppm	5,020,000
铜	0.01%	50 ppm	68 ppm		60 ppm	6,450,000
钴	痕量	20 ppm	30 ppm		25 ppm	17,000

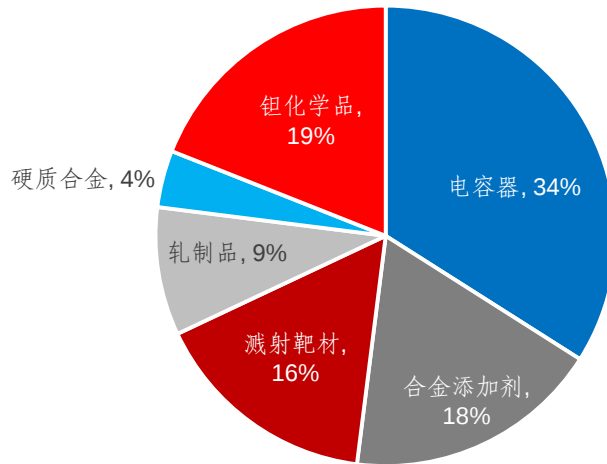
锂		20 ppm	17 ppm	20 ppm	39,000
铌		20 ppm	17 ppm	20 ppm	15,000
铅		14 ppm	10 ppm	14 ppm	2,800,000
锡	痕量	2.2 ppm	2.2 ppm	2.3 ppm	165,000
钽		2 ppm	1.7 ppm	2.0 ppm	840
锆		1.8 ppm	1.4 ppm	1.5 ppm	80
钼	痕量	1.5 ppm	1.1 ppm	1.2 ppm	80,000
银		0.070 ppm	0.080 ppm	0.075 ppm	9950
金		0.0011 ppm	0.0031 ppm	0.004 ppm	1,400
铯		0.0004 ppm	0.0026 ppm	0.0007 ppm	4.5

资料来源：冷聚变世界

钽主要应用于电容器、高温合金和半导体等领域。钽的以上特性决定了钽的终端应用领域：1. 表面氧化膜介电常数大的特性使其常被用于制作成电容器，钽电容占钽终端消费的 34%；2. 高熔点特性使其可被用来制备高温合金，高温合金占钽终端消费的 18%；3. 化学稳定性好的特性使其被常用作半导体的金属阻挡层和化工用材料，其中半导体溅射靶材占比 16%；4. 钽较好的延展性和冷加工特性使其也被用作轧制品；5. 质地坚硬的特性使得碳化钽常被用来制作硬质合金。钽金属全球市场规模约百亿元。

图表 2：钽主要应用于电容器、高温合金和半导体等领域

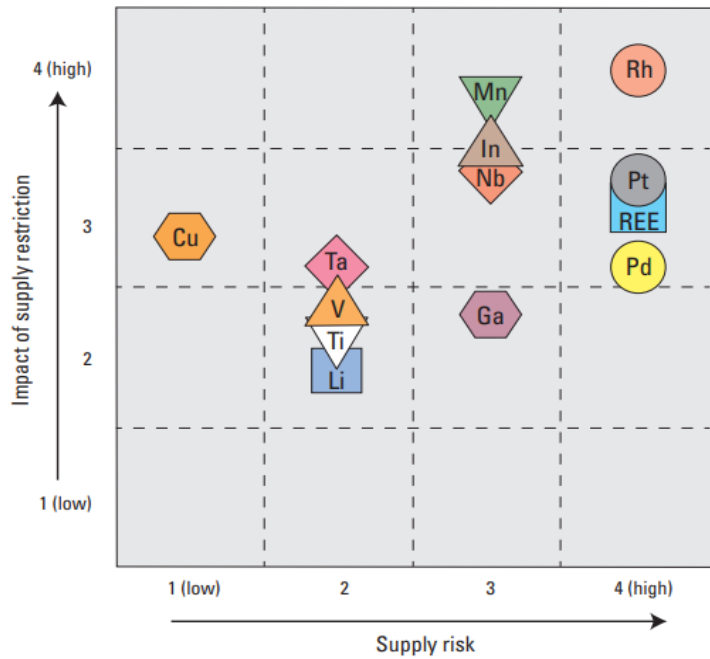
2023年钽终端消费结构



资料来源：Roskill，有色金属工业协会

钽金属已经被发达国家划分为关键战略金属。由于钽在国防、能源、高科技工业和医疗领域有着重要应用且很难被取代，加之钽资源储量和开采生产较为集中，供应容易受到当地内乱、环境问题、市场操纵、自然灾害和政治变革等因素的潜在影响和破坏。美国政府在2018年将钽铌列入关键矿产目录，随后美国地调局于2022年再次将钽铌等稀有金属列入《对美国安全至关重要的50种关键矿物目录》。此外，欧洲、澳大利亚等发达国家也已将钽铌列为战略性矿产。

图表 3：美国将钽列入供应限制影响大的金属品种



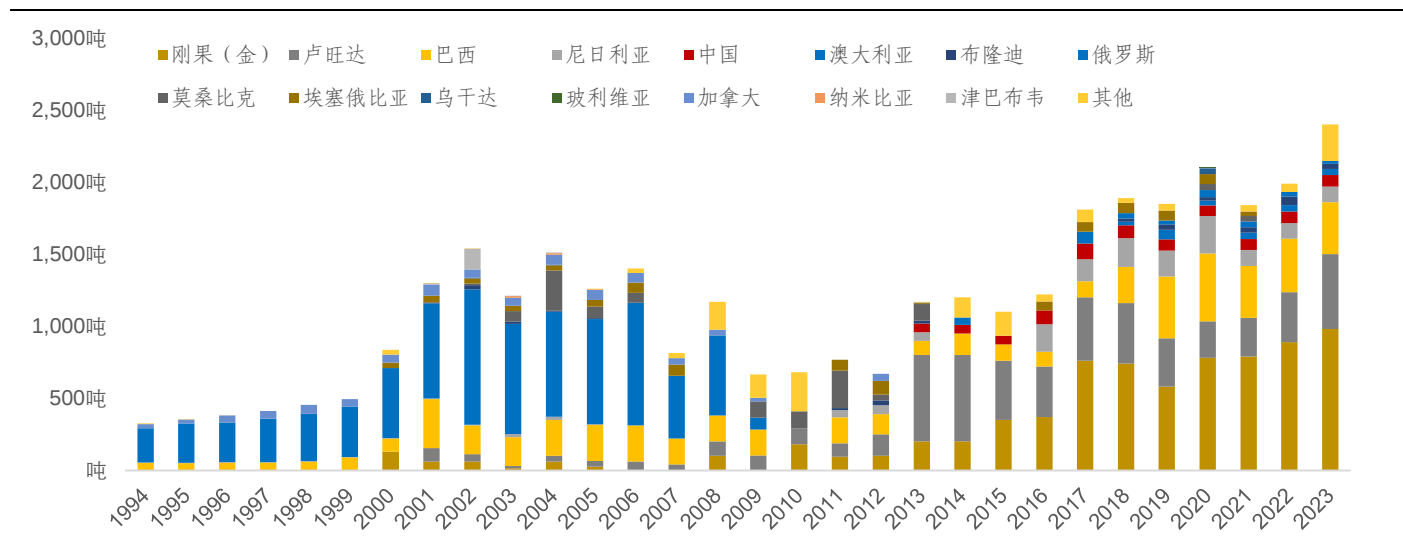
资料来源：USGS

二、钽产业链上游看巴西和非洲地区，中游看中国和欧洲，下游看日本、美国及中国台湾

钽产业链主要包括上游矿石采选，中游冶炼加工和下游深加工应用。在矿石资源分布集中和产业链全球一体化发展的背景下，钽铌行业呈现出集中度越来越高的发展趋势。

矿产采选环节集中于澳大利亚、巴西和非洲中部：全球重要钽矿主要分布于西澳大利亚、南美洲的巴西、非洲的刚果（金）和卢旺达等地，其中西澳大利亚的 Wodgina、Greenbushes、Bald Hill、Mount Cattlin 四大矿山钽储量最高，在这四座矿山中，钽矿作为锂矿的伴生矿，供给易受到锂矿开发的影响。

图表 4：全球钽矿供给经历了由澳大利亚向非洲和巴西转向



资料来源：USGS

2011 年以来，随着非洲中部实施了矿物可追溯性计划，非洲大湖地区（包括刚果（金）、卢旺达和布隆迪）的手工采矿供应量占主导地位，超过市场供应量的一半，且近年占比逐渐增加。非洲中部的手工和小规模矿山能如此迅速发展的原因是低成本与高回收率：与澳大利亚和巴西的高开采成本硬岩相比，非洲中部的矿床风化程度高，质地相对较软。当岩石随着时间的流逝而自然分解时，含钽的钽铁矿晶体基本上保持完好无损。此类岩石可以通过简单洗涤和处理生产出回收率高达 85% 的钽矿，其回收率远高于那些须将主体岩石爆破并压碎母岩提取出的 50-60% 回收率的矿石。

图表 5：卢旺达 H&B 矿风化伟晶岩经过简单洗涤可得到含 35%氧化钽的钽精矿



资料来源：USGS

中游湿法与火法冶金环节集中于中国、欧美和日本。钽产业链中游主要包括湿法冶金工艺及对应产品氧化钽和氟钽酸钾，火法冶金工艺及对应产品钽粉、钽丝、钽条、钽锭、钽合金和碳化钽。中游的湿法、火法冶金生产主要集中在中国、日本、德国、美国、巴西、泰国等地区。中游制品生产商主要以美国 GAM、Materion，日本 JX 日矿等企业为主。钽丝生产商除以上提及的行业龙头，还包括奥地利 PLANSEE。

美国 GAM、Materion 和日本 JX 日矿通过收并购实现规模壮大跻身全球第一梯队。20 世纪 80 年代中期，德国 H.C. Starck 公司兼并了美国 NRC 公司及日本 V-TECH 公司，美国 Cabot 公司兼并了日本昭和电工钽生产相关资产，1989-1990 年，美国 FANSTEEL 公司被泰国的 TTA 公司收购，1995 年德国 H.C. Starck 公司又兼并了泰国 TTA 公司，从而在国际上形成了德国 H.C. Starck 公司、美国 Cabot 公司两大体系集团。进入 2010 年之后，行业集中度进一步提升，2012 年美国 GAM 收购了美国 Cabot 超级金属业务部（包括钽金属业务），2018 年日本 JX 日矿收购了 H.C. Strack 的钽铌粉末业务板块，包括其在德

国、美国、日本、泰国的四大工厂。2021 年 9 月，美国 Materion 收购了德国 H.C.Strack 的钽铌冶炼和钽铌制品业务。至此，德国 H.C.Starck 彻底退出了钽铌行业。

图表 6: 美国 GAM、Materion 和日本 JX 日矿通过并购获得德国 H.C.Starck 公司、美国 Cabot 公司钽铌业务

公司	主营业务及矿权	重要并购
GAM	生产销售钽精矿、钽粉、钽铌冶金产品、钽靶、锡铌	2012 年收购美国 Cabot 超级金属业务部（包括拥有 Greenbushes 和 Wodgina 钽矿山
		钽金属业务）
JX 日矿	主营薄膜材料、钽铌、功能材料、金属回收和资源业务	2018 年收购 H.C.Starck 的钽铌粉末业务板块
	其中钽铌产品包括钽铌及钽铌氧化物粉末、钽铌氯化物及化合物、3D 打印粉末、合金添加剂	
Materion	主营特种工程合金、无机化学品和粉末、贵金属和非贵	2021 年收购德国 H.C.Starck 的钽铌冶炼和钽铌制品业务
	金属、铍和铍复合材料以及精密滤光片和光学涂层的开发	
	钽铌产品主要有钽靶材和钽合金	

资料来源：东方钽业定增公告，各公司官网

下游深加工产品及终端应用集中于美国、日本以及中国台湾，下游钽靶材、高温合金与超级合金需求增长将持续带动钽需求：钽作为小金属类别，需求量较小，却是电子、汽车、军工等行业缺一不可的必需品，市场空间不容小觑。钽终端应用民用领域包括消费电子、冶炼金属、超导技术、汽车、钽靶材、医疗器械等。其中电容在钽下游需求占比最高，约为 34%。钽电容作为下游场景中占比最高的产品，主要由三大巨头所垄断——美国 Vishay、中国台湾被动元件龙头国巨旗下的基美 Kemet、日本京瓷 AVX。钽靶材方面，日本 JX 日矿应用于电子材料的高纯钽粉全球市场占有率第一，同时还是全球最大的半导体溅射靶材厂商。

图表 7: 美日靶材制造商占据了全球半导体



资料来源：《半导体芯片行业用金属溅射靶材市场分析》

三、产业发展新趋势：聚合物钽电容器和高温合金用钽前景可期

MLCC 凭借性能、成本 and 安全性优势抢占部分传统钽电容器市场。

片式多层陶瓷电容器（MLCC）是一种简单的平行板电容器，具有电气性能好、可小型化、大容量和低成本等优点，可替代其他一些介质电容器，其中大容量的 MLCC 已经替代了部分钽电容市场。此外，由于二氧化锰易燃易爆冒烟，导致普通钽电容只要一过压，就会引发起火冒烟甚至爆炸等隐患，这也是许多电路设计放弃普通钽，改用 MLCC 的重要原因。

图表 8：钽电容器体积小容量大可靠性高，大量应用于手机、数据存储、医疗设备和军工电子设备

类型	优点	缺点	主要应用	示例
钽电容器	适宜贮存、寿命长、体积小容量大、漏电流小、单价较高；可靠性高	钽为资源性材料，生产量小；有极性	储能、滤波等电路，大量用于军工电子设备	
铝电容器	电容量大、成本低、电压范围大	易受温度影响、高频特性差、等效串联电阻大、漏电流和介质损耗较大、有极性	适用于大容量、中低频率电路	

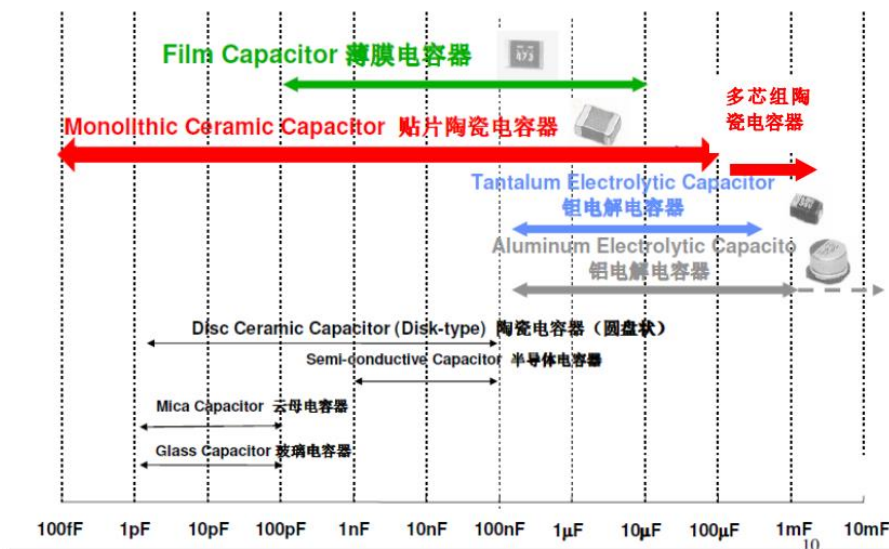
陶瓷电容器	体积小、介质损耗小、相对价格较低、高频特性好、电压范围大	电容量小、受震动会引起容量变化、易碎	高频旁路，噪声旁路，电源滤波，振荡电路	
薄膜电容器	损耗低、阻抗低、耐热能力强、高频特性好	体积大难以小型化	滤波器，积分、振荡、定时、储能电路	

资料来源：宏达电子招股说明书

价格是 MLCC 替代钽电容的主要驱动力。MLCC 小型化高容飞速发展，且其价格可以做到同规格钽电容的 1/5-1/6，目前 MLCC 正在冲击 47 μ F 手机市场份额，0805/47 μ F MLCC 价格已显著低于钽电容，而更高技术含量的 0603/47 μ F/6.3V 的 MLCC，当前只有头部厂商村田推出量产产品，且价格仍高于 polymer 钽电容器。

钽电容在大比容领域具备绝对优势，仍将在被动元件领域长期占有一席之地。MLCC 与钽电容交战的主阵地主要分布于 1 μ F-100 μ F 容值区间，且场面上 MLCC 更占优。但对于 100 μ F 以上，特别是 220 μ F 以上的容值区间，MLCC 并不具备价格优势，甚至更贵。此外，钽电容很容易实现 1000 μ F-2200 μ F 容值区间，而 MLCC 目前最大容值是太阳诱电开发的 1000 μ F 产品，但耐压仅 2.5V，且尺寸很大、成本极高，根本无法与钽电容正面竞争，因此钽电容仍将在被动元件领域长期占有一席之地。

图表 9：钽电容器相较于陶瓷电容器具有更小体积和更高比容，相较于铝电容器具有更



资料来源：火炬电子招股说明书

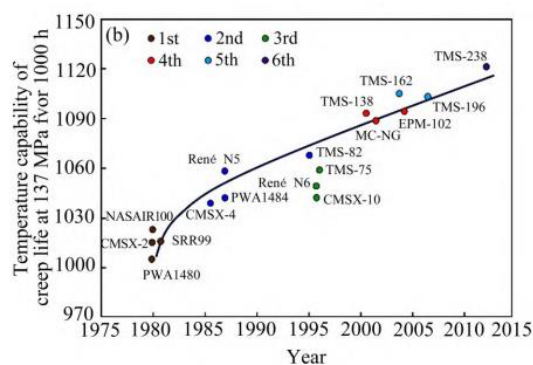
钽电容聚合物化（polymer）成当前钽电容发展方向。为了阻止 MLCC 的替代步伐，钽电容总体演变趋势是顺应市场，不断进行 polymer 化。使用 polymer 钽电容，可以摒弃 MnO_2 材质消除安全隐患增加电压工作范围，ESR 值更低，直流偏置特性更好。例如，在英伟达 Blackwell AI 服务器 GB200 和 GB300 中，均大量应用美国威世 (Vishay) 生产的聚合物钽电容来实现分钟级放电。

钽的另一大应用新趋势是在单晶高温合金中的添加占比持续上升。镍基高温合金的成分由 Ni-Cr-Al 三元系发展而来，而单晶高温合金通常还包含 Co、Mo、W、Ti、Nb、Ta、Re 等合金元素。

高温合金发展至今已经进入到第六代，钽元素添加量稳中有升。自 20 世纪 70 年代末 GELL 等开发了以 PWA1480 为代表的第一代单晶高温合金以来，单晶高温合金至今已经发展到了第六代。随着代次的提升，高温合金承温能力逐步提高，各元素含量发生明显变化：第一至第三代单晶高温合金 Re 含量依次升高，相应难熔元素 Mo、W、Ta

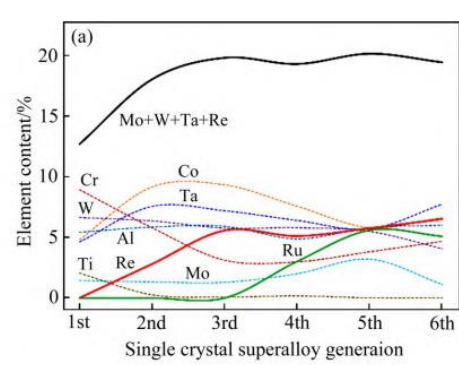
和 Re 的总含量增加；而为了保证组织稳定性，Cr 含量相应降低，并在第四代单晶中引入了 Ru 元素；第五、第六代单晶高温合金则依靠进一步增加 Re 和 Ru 的含量，并平衡其他元素来保证合金的组织稳定性、抗氧化性能和抗蠕变性能。由于钼合金的低温脆性极大和钨合金室温下的加工成型性能较差等特性，钼在高温合金中一直占据较高的添加比例，在第六代高温合金中的添加量更是超过了钴和镍等元素。

图表 10：随着代次升高，合金承温能力逐步提高



资料来源：《航空发动机用单晶高温合金成分设计研究进展》，五矿证券研究所

图表 11：钼在高温合金中的添加量长期保持较高水平



资料来源：《航空发动机用单晶高温合金成分设计研究进展》，五矿证券研究所

针对钼电容器和高温合金市场，国内领先的钼冶炼与加工企业可以与国内下游企业联合开展原料制备、成型加工工艺的开发研究，提升高端产品力，力争在产业变革中抢占机遇。