

本报时政新闻中心主编 | 第709期 |
2023年9月11日 星期一
本版编辑:吴健 视觉设计:竹建英
编辑邮箱:wujian@xmwb.com.cn

军界瞭望

■ 在雷达中采用氮化镓集成电路技术,能在相同体积下发射更强的电磁波,并有更高的接收灵敏度

近日,随着国际市场上金属镓的出货量大幅下降,美国军工企业普遍抱怨供应链吃紧,影响到军品交付。由于储备不足,美国政府已打算从报废装备上提取镓,解燃眉之急。无独有偶,今年以来,已有多国宣布对这种金属的出口提升监管措施,维护安全国家利益。镓究竟是什么,能引来如此多关注的目光?本文或许能提供一些答案。

战略之『镓』 军工命脉

■ 现代战机的相控阵雷达普遍靠砷化镓组件来提升性能

■ 采用氮化镓材料的功能芯片对航天飞行器至关重要

■ 换用氮化镓元件的雷达能大幅提高功率

■ 镓无法独立开采,目前主要从炼铝副产品中提取。要想生产镓,往往从开采铝土矿入手



■ 美国军工公司企业首先在爱国者 PAC-3 反导拦截弹中采用氮化镓元器件

被推测的元素

1875年11月,37岁的法国化学家勒科克·德·布瓦博德兰在法国科学院院刊上宣布,他从比利牛斯山脉的闪锌矿中发现一种新金属,命名为镓。但很快,布瓦博德兰就收到化学元素周期表发明人、俄国科学家门捷列夫的信,认为按照元素周期表,镓应该是他此前预言的“类铝”,其原子量应为68,密度应在5.9至6.0克/立方厘米之间,希望布瓦博德兰能再深入研究一下。从未见过镓元素的门捷列夫竟想通过一张表就推测出一种新金属的特性,布瓦博德兰认为其口气很大,便通过技术手段进行测量,穷尽各种方法后,他惊讶地发现,门捷列夫的判断竟然是准确的。

门捷列夫按原子序数的排列规律制作元素周期表时,发现将当时已经确定的63种元素填入时,不少元素之间有很多空白。他将这些未知金属以其特性,命名为类硼、类铝、类硅,它们就是日后被发现的铈、镓、锗。更重要的是,门捷列夫指出类铝也就是镓的特性是熔点低、灼热时分解水汽、能结晶生成矾类等等,后来都被一一验证,这也使得镓成为科学史上第一种在发现前就被确定的元素。

军工不可或缺

镓的熔点仅为29.8℃,比体温还低,会在手心里熔化,但沸点却高达2403℃,是自然界液相条件下温差最大的金属元素。固态镓为淡蓝色,液态镓则为银白色,熔化后的镓会出现过冷现象,必须冷却到-120℃才能凝固,同时有和水相似的特性,凝固后体积增加约3.2%。镓虽然是金属,但它可以与砷、氮、磷、锑等元素反应,生成的镓化合物都是优质半导体材料,是微电子、光电子工业必不可少的原料。砷化镓、氮化镓更是第二、三代半导体材料中性能最好,应用最广的材料。

就军事技术领域而言,第二代半导体材料——砷化镓堪称“必备之品”。由于它的电子迁移率比硅大5至6倍,在高频操作时噪声更小,更适合在超过250吉赫的场合里工作。砷化镓电学特性好,利用其生产的器件,能有效提高雷达波束的强度,从而提高探测距离和探测精度。砷化镓半导体器件具有高频、高温、低温性能好,消耗功率低,噪声小,抗辐射能力强等

优点,很快就应用到多种武器装备上。根据特性的不同,半绝缘砷化镓材料主要应用在雷达、通信领域,半导体砷化镓材料则应用在激光、发光二极管等光电子领域。1991年海湾战争中,美国空军大规模动用精确制导炸弹实施“斩首攻击”,摧毁了伊拉克军队的大量坚固目标,为多国部队最终获胜立下汗马功劳。由于这种炸弹的导引系统部件采用砷化镓制造,海湾战争也被称为“砷化镓打败钢铁”的战争,标志着世界战争方式从机械化向信息化的转变。

近年来,氮化镓以其直接带隙宽、热导率高、化学稳定性好以及抗辐射能力强等优势,成为第三代半导体材料中的佼佼者,是目前最重要、最先进的半导体材料。氮化镓是各种雷达、电子战系统提高效率的关键,像美军驱逐舰上的宙斯盾AN/SPY-6相控阵雷达引入Qorvo科创公司提供的QGaN15氮化镓组件后,即便在30吉赫的高频下仍然工况稳定,无故障工作间隔达100万小时。氮化镓可在2000℃高温下连续运行,对冷却系统要求相对较低。至于美国F-35隐形战斗机携带的AN/APG-81雷达仍采用砷化镓组件,其物理特性已到达极限,但要是改用氮化镓组件,功率放大器体积更小,功率却更大,较小的孔径便能增加探测距离及范围,形同对上一代产品的“降维打击”。欧洲泰利斯公司发展的舰载多功能搜索雷达,因采用氮化镓组件比例更高,号称功能上压倒美国同类雷达,对小型及慢速飞行的低空目标(如无人机)有更高的识别率,欧洲军界甚至提到,如果应用氮化镓组件的雷达超过一定数量级,甚至可能形成远距离探测隐形飞机的“战场新常态”。

目前,各国正在加紧对第四代半导体砷化镓的研究工作,它不但有超宽带隙、超高临界击穿场、较短的吸收截止边和超强的透明导电性等特性,而且化学、热稳定性好,生产大尺寸、高质量,可掺杂单体的成本远低于碳化硅和氮化镓。在紫外光通信、高频功率器件上,氮化镓备受关注。

得到它不容易

镓在军事上如此有用,可它却不易得。

镓是一种稀有金属,地壳含量仅有0.0015%。据公开资料,储量最多的是中国,占全世界总储量的半壁江山。镓不能单独成矿,主要伴生在其他矿物中。电

铝副产品之一就是含杂质较多的镓,被称为粗镓,可直接用来生产磁性材料或合金。粗镓经过提纯,所产出的高纯度镓才能用来生产砷化镓、氮化镓等半导体材料。镓的产量并不高,2020年全球粗镓总产量为300吨,其中多为中国生产。此外,中国、美国、加拿大、日本、斯洛伐克等国还拥有从含镓废料中回收金属镓的技术。目前,全球精制高纯镓年产量约为320吨,次级高纯镓年产量为300吨。

要建立镓产业链,绝非一朝一夕之功。不同于铜、铁、金之类的金属,镓无法独立开采,主要从炼铝副产品中提取。想生产镓,需从开采铝土矿,生产氧化铝,最后在电解铝过程中提取镓,需要新建一整套电解铝产业。整个过程技术含量虽然不高,但由于镓含量太低,必须有超大规模的制铝产业才能保证产量。例如2022年,一家矿产企业生产2000万吨氧化铝,才从中提取百余吨镓,而每产1吨氧化铝,需要2.3吨铝土矿、0.5吨煤炭、0.13吨烧碱和0.25吨石灰。氧化铝在电解生产纯铝过程中,才能提取镓。而电解铝需要消耗大量的电,每吨用电高达1.35万千瓦时。西方各国前几年在激进的环保政策下,关停了大量火电站,风能、核能、光伏根本没有弥补电力缺口,加之无法建造新的大型水电站,居民用电都发生短缺,能源供应非常紧张。如果想建立一整套镓产业链,欧美国家不但要建立规模庞大的氧化铝和电解铝产业,还要新建大量电厂,以解决能源供给问题。更棘手的是,由于目前世界铝产量已供大于求,增加电解铝生产必然导致铝价格下跌,而镓的价格又不足以补偿(目前99.99%至99.999%的高纯镓每公斤仅2000多元人民币上下,全球镓总产值不过几亿元)。这使得新建镓产业链成为投资大,效益回报不确定的买卖,除非国家投资,否则即便是大财团也不愿参与。

目前,国际市场上镓短缺的问题很难解决,欧美国家近年来产业空心化严重,基建能力大幅下降,即便想不计成本打造镓产业链也是困难重重。不夸张地说,镓已成为美国等西方国家尖端军工企业的“绊脚石”。

朱京斌 梁梵