

锗

(Ge)



——金属在现代军事上的应用(十八)

□ 余克章

俄罗斯化学家门捷列夫在排列元素周期表时,位于第 32 号位的元素尚未发现,他根据元素周期律预言了这个尚未发现的元素性质,并称它为“亚硅”。15 年以后,即 1885 年德国化学家文克列尔用光谱分析法发现了这个元素,测定的元素性质与门氏预言的“亚硅”完全一致,这就是锗。1930 年德国生产出二氧化锗,1941 年美国开始了工业规模生产。

纯锗是浅银灰色金属。锗在元素周期表中的位置正好处在金属与非金属之间,所以它虽然属于金属,但却有许多非金属的性质,在化学上也常常被称为“半金属”。就导电的本领而言,它优于一般非金属,又劣于一般金属,这样它就成为“半导体”。锗的密度(25℃)为 5.323 g/cm^3 ,熔点 $937.4 \text{ }^\circ\text{C}$,沸点 $2830 \text{ }^\circ\text{C}$ 。锗的晶体结构为金刚石型,所以性质硬而脆。锗在室温条件下,在空气中十分稳定,不受氧、盐酸、氢氟酸和稀释的强碱所侵蚀,但能溶解于浓硝酸或硫酸中。硝酸—氢氟酸混合液、熔融碱都能很快将锗溶解。锗在高温($400 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上)空气中,表面能形成氧化层而被钝化。

锗被发现以后的半个世纪内,始终未找到它有什么重要的用途,直到第二次世界大战期间,由于军用雷达技术的发展需要,人们四处寻找适用于超短波的半导体材料,发现锗有优良的半导体性能,才开始对锗进行应用研究。1942 年,美国国防研究委员会倡导对锗在军事应用上的研究,经历 6 年艰辛,终于研制出了世界上第一只锗晶体管。为了表彰这项影响深远的重大成就,肖克莱、巴丁和布拉顿获得了 1956 年度诺贝尔奖。锗晶体管的诞生,实际上标志着电子技术革命的开始,为人类带来了电子学上的新纪元。锗晶体管的出现,大大开阔了锗的应用范围。从这时开始,美国

一方面正式把锗作为极重要的战略材料加以控制,另一方面则大大扩展生产规模,制造出大量的锗半导体器件。到 50 年代初,以美国为先导,半导体锗实现了大规模工业生产,锗器件的产量扶摇直上,连年大幅度增长。在整个 50 年代和 60 年代初,锗在半导体材料领域一直处于支配地位。但从 1965 年起,硅半导体器件的迅速发展,向锗提出了挑战,随后不少领域纷纷被硅半导体所取代。然而锗并未失去自身的使用价值,它不断开辟新的领域。在红外线光学、辐射探测器、催化剂、光导纤维、荧光粉、超导技术等现代重要的技术领域占领了新的阵地,显示着它的强大生命力。

锗在现代军事上的应用最初是用于制造雷达的锗二极管。这是一种具有单向导电特性的两极器件;除起整流作用外,还具有检波、混频、开关和稳压功能;它消耗功率少,几乎没有热辐射,驱动快、体积小,可靠性高。由于这些优点,锗二极管获得了许多应用,特别适宜要求长寿命、高可靠性的情况下使用,例如在电视、计算机和微波技术中应用。不过,普通二极管没有放大作用。日本科学家江崎于奈发明了隧道二极管,获得了 1973 年度诺贝尔奖。隧道二极管具有开关、振荡和放大作用。通信卫星上的微波放大器都采用锗隧道二极管,因为它结构简单、漏泄功耗小、线性好和高度的可靠性。锗晶体管在五六十年来获得了广泛应用,对提高和改善现代军事通信技术设备的性能,尤其对实现军事电子设备的小型化起了十分重要的作用。然而到 70 年代,它受到了硅晶体管的挑战。因为锗晶体管的最高工作温度只有 $85 \text{ }^\circ\text{C}$,而硅晶体管则可高达 $200 \text{ }^\circ\text{C}$ 。所以硅晶体管日益排挤锗晶体管的位置。但锗晶体的载流子迁移率高于硅 2.5 倍,在高频和超高

频范围,锗晶体的性能就优于硅晶体管。在低频和中功率晶体管中,锗晶体的低压性能良好,因此也适用于以电池为电源的装置中或要求不发热的微型电力装置中。

锗在红外光学系统的应用,也是它在现代军事上最重要的应用。红外光学对锗的消耗量约占整个锗消费量的45%。当前各国军械技术家都在为利用红外线技术改善装备性能展开剧烈竞争。红外线是一种波长从 $0.75\ \mu\text{m}$ 到 $1000\ \mu\text{m}$ 之间的电磁频谱(可见光为 $0.4\sim 0.75\ \mu\text{m}$)。红外技术就是研究利用红外线的一门技术。在军事上可用于探测、跟踪、成像、夜视、制导、定位等各个方面。但在红外技术中最关键的是制造出能透过红外线的材料。这种材料不仅具有优良的光学性能,而且有一定的机械强度,便于加工成形。锗晶体就是最佳材料之一。第一,锗在 $2.0\sim 11.5\ \mu\text{m}$ 波长范围内透射率极高。这个范围包括红外系统最感兴趣的两个大气窗口,即 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 和 $8\sim 12\ \mu\text{m}$ 窗口。第二,锗不吸湿、不软化、不溶于水,没有毒性,其物理性质几乎达到“全优”。第三,锗有极好的光学性能、非常好的均匀性、高的折射率和反射率,具有极低的本能吸收。第四,比其它红外光学材料价格低。现在已制成锗窗、锗棱镜、锗透镜用于红外系统。例如在军事上使用的热成像器件。为了把对红外辐射敏感的元件密封在外壳内,就需要在外壳上设置出能让红外辐射进入的窗口,这窗口就用纯度很高的锗晶体制造,这就是锗窗。在红外仪器中还需要设置能聚集红外辐射的透镜以及为了使红外辐射分解为单色辐射的棱镜,这就是锗透镜和锗棱镜。进入70年代以后,锗在红外光学上的应用更日趋重要,生产和消费量也显著增加。推动这一领域急速发展的动力是美国军事技术的需求。不仅有美国的陆军、空军、海军还有美国的火箭、导弹、宇航部门和战略情报部门。美国每年消耗锗约10 t,主要用于制造红外监视系统,特别是用在前视红外系统中。前视红外技术或热成像技术是一种十分理想的应视技术。它能将目标自身辐射的红外线变成视频信号,并在电视屏上显示出可见的图像。由于这种技术完全采用被动的方式工作(即只接收目标自身的热辐射),具有很好的隐蔽性和抗干扰性。美国在M16步枪、坦克、飞机上都普遍安装有这种前视红外线系统。此外,英国、德国的陆军装备上也普遍安装了这一系统。以德国为例,它在“豹式”坦克、“山猫”侦察车、“黄鼠狼”装甲运兵车三种兵器就安装前视红外系统6700多台。据美国陆军夜视实验室的估计,锗在红外光学系统上的应用,目前世界年需要量约在80 t以上。在这项技术领域,美国一直处于世界领先地位。

锗在核辐射探测器方面也获得了重要应用。目前世界大国的军队大量地装备着核动力和核武器。在核

反应过程中,所发射的特征辐射,需要控制和监测,这就离不开核辐射探测器。目前使用最广的就是锗 γ -射线探测器。1962年世界上第一台 γ -射线探测器研制成功,其探测材料就是选用锗,因为锗有极好的探测特性,具有很高的载流子迁移率,所以探测器的分辨率好。由于使用的锗是经过锂漂移工艺处理的,所以常称这种探测器为锗(锂)探测器。这种探测器虽然直径只有4 cm,体积只有 $50\ \text{cm}^3$ 大小,可售价却高达3万美元以上,加之锗中锂原子在室温下会自发移动,使得这种探测器必须在低温下使用和保存。由于这些缺点,70年代以后人们又开始研究高纯锗探测器。1977年11月,美国贝尔实验室和桑迪亚实验室已使用高纯锗探测器观测银河系的 γ -射线,并测定出行星表面上许多元素的浓度。

锗在非晶态半导体材料方面也显示了极好的应用前景。所谓非晶态,又称玻璃态,即材料内部原子处于无定形或无序状态。科学家发现非晶态材料的半导体效应是本世纪60年代科学上的最重大发现之一。它主要用于存储开关,制造逻辑电路中的开关型器件,很适合计算机使用。锗非晶态半导体在现代军事上的应用价值极其可贵,它不仅有低廉的价格,能够实现军事装备的自动化、小型化,更重要的它有抗核辐射的优异特性。

总之,锗作为半导体技术的开拓者和先驱者曾轰动过本世纪五六十年代,但在硅的挑战下,却节节败退。进入70年代,由于固体物理和应用物理学科的迅速发展,锗在半导体领域失去的阵地,已被它在红外光学领域新占领的阵地所补偿。锗的第一消费大户从半导体转向红外光学。目前,国际上新式武器不断出现,美、西欧各国的陆、海、空三军迫于实战的需要,都在迅速更新装备,普遍采用以锗透镜为主要部件的前视红外系统。从步枪、坦克、直到飞机、导弹,都装上了这种前视红外系统。由此可知,锗在现代军事上的应用价值正与日俱增。

锗在地壳中的含量约为百万分之七,但极其分散,几乎没有可供工业规模开采的锗矿。在含锗矿中,以锗石和硫铜锗矿最重要。扎伊尔是世界上含锗铜、锌矿的主要开采国,它生产的锗精矿约占世界的四分之一。其次是美国、意大利、纳米比亚。比利时是世界上最大的锗生产国,原料从扎伊尔进口。其次为日本、德国、美国。锗的主要消费国为美国和日本。美国拥有世界最大的锗消费厂家——德克萨斯仪器公司。这家公司生产锗半导体、发光管、红外探测器、辐射探测器以及前视红外系统。这家公司还是世界锗透镜的最大制造商和世界上唯一的发光管锗衬底的大规模制造者。

(责任编辑 阚实)