

高压下钨的相对电阻随压力的变化

蒲丰年 毕小群* 丁玉珍 苟清泉

(成都科技大学高温高压与原子分子科学研究所,
成都科技大学应用物理研究所, 成都 610065)

摘要 利用DAC装置及自己建立的实验方法,测量了过渡金属钨在高压(0.8~30.8GPa)下相对电阻随压力的变化规律。在10GPa以下的压力范围内,所测得的结果与Bridgman给出的结果符合较好。在10~30.8GPa的压力范围内,钨的相对电阻随压力呈平滑下降的趋势。压力超过10GPa的数据,还未见报道。

关键词 高压 钨 电阻

1. 引言

钨是一种应用较广的金属。它具有熔点高、极坚硬等优点。尽管人们对钨已进行了广泛地研究,但对它在高压下电学行为的研究却不多。1952年, Bridgman^[1]在0~10GPa的压力范围内测量了钨的相对电阻随压力的变化,在此后的几十年中,有关这方面的研究尚未见进一步报道。

DAC(Diamond Anvil Cell)装置的出现,为在更高压力范围内材料物性研究创造了条件。但是,由于在DAC中测量金属电阻固有的困难^[2,3,4],这方面的工作直到八十年代才开始^[2,5]。目前,国内,尚未开展这方面的工作。我们在前人工作的基础上,建立了自己的实验方法^[6],并已测量了铁、镍、铜和锰铜^[7]的电阻随压力的变化规律。为了对金属电阻随压力变化规律获得系统的认识,在本文中我们测量了钨在高压下电阻随压力的变化规律,并结合以前对铁、镍的研究,对钨的实验结果进行了讨论。

2. 实验观测

实验所用高压装置为Mao-Bell型DAC装置;压力的测量采用红宝石荧光测压的方法;红宝石荧光用氩离子激光器(Spectra-Physics公司168B型)激发;荧光波长随压力的红移用国产WJD-1型精密单色仪测量。电阻的测量采用四引线的方式。通过样品的工作电流为10mA(由恒流源提供),样品两端的电压降用西德产DM5000型数字多用表测量(分辨率为0.1 μ V)。测量方法已在前文^[6,7]中详尽描述。

实验所用钨丝的直径为20 μ m,样品的纯度为99.99%。实验前,先将样品置于 10^{-2} Pa的真空中退火,退火温度为600 $^{\circ}$ C,退火时间为30分钟。由于实验中采用MgO等固体传压介质^[6,7],压砧上的压力梯度还是比较大的。为了尽量减小压力梯度对测量结果的影响,实验中将两电压测量引线的间距(即样品线的长度)控制在15 μ m左右。

* 现在的通讯地址:河南省师范大学物理系,邮编 453002。
本文于1991年7月6日收到。

为了避免在加压过程中,由于样品线几何形状(如长度等)的变化而引起的电阻变化,实验前,先对布置在压砧上的样品线和电压测量引线进行了预压,然后卸压,最后才开始正式测量。

在测量过程中,样品线的长度、直径以及加压过程中样品线和电压测量引线几何形状的变化、红宝石的位置和线度等均可由“多功能激光显微探针”^[7]进行在位(in situ)监测。该装置带有一光刻的测量标尺,可准确测量小到10 μm 的线度。如果样品线或电压测量引线在加压过程中被压断,也可通过这个光学装置清楚地看到。此外,将这个光学装置与一个高精度的微动平台配合使用(DAC就紧固在这个平台上),可准确地将聚焦的激光斑点打在红宝石上。

在上述实验条件的保证下,我们测量了高压下钨的相对电阻随压力的变化,压力达30.8GPa。实验结果如图1所示。

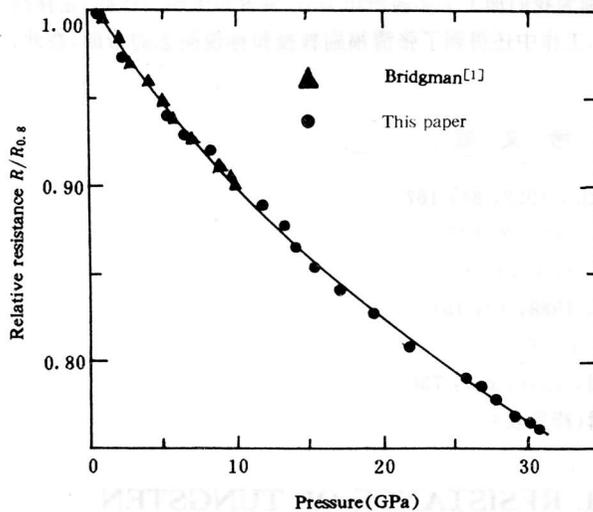


图1 钨的相对电阻 $R/R_{0.8}$ 与压力的关系

Fig. 1 Relative resistance $R/R_{0.8}$ of tungsten versus pressure

前还未见报道。

钨与铁、镍一样,同属过渡金属,其原子都具有不完全填充的3d壳层,但在高压下它们的电阻变化规律却有所不同。铁在常压下为体心立方结构,它在13.3和32GPa时,将分别发生晶体结构和电子结构的变化,并引起电阻的不连续变化^[7];镍在常压下为面心立方结构,在0~40GPa的压力范围内,它虽然没有发生晶体结构变化,但在28.8GPa时,也发生了类似铁的电子结构变化^[7]。与铁、镍相比较,在高压下钨的电阻为什么没有出现铁、镍那样的不连续变化呢?我们认为,这主要是由于金属钨中的原子间结合力与铁、镍相比,有很大差异而引起的,金属中原子间相互作用力的强弱与内聚能、熔点及热膨胀系数密切相关。下表中给出了铁、镍、钨的这些参数。从表1中可见:钨的内聚能和熔点都远高于铁、镍;而钨的热膨胀系数则比铁、镍小很多。这些都表明:在金属钨中的原子间的相互作用力要比铁、镍大得多,因此,在不太高的压力作用下,钨中的原子间距不易发生变化,

2. 结果与讨论

从图中给出的实验结果可见,在所测量的整个压力范围内,金属钨的电阻随压力的增加呈单调下降的趋势。为了便于比较,图中还给出了Bridgman^[1]的实验结果。这里应当说明是:在Bridgman的原始文献中,给出的是 R/R_0 随压力的变化 (R_0 为常压下的电阻)。为了与我们的结果进行比较,先将Bridgman的结果 R/R_0 换算成 $R/R_{0.8}$ ($R_{0.8}$ 为0.8GPa时的电阻)。图中给出的就是换算后的结果。以图中可见,在10GPa以下的压力范围内,我们测得的结果与Bridgman的结果是符合的。压力超过10GPa的数据,目

因而也就不易发生晶体结构和电子结构的变化,相应的电阻变化只呈现出单调下降变化的趋势,主要由于导电电子的动能随压力增加而增大。

表 1

Table 1

	Cohesive energy (4.18kJ/mol)	Melting point (°C)	Thermo-expansion coefficient (10^{-4}k^{-1})
Fe	99.50	1535	0.117
Ni	102.7	1453	0.127
W	203.4	3410	0.046

吉林大学原子分子物理所、上海钻石厂分别为我们加工了实验所用 DAC 装置和金刚石压砧;在样品的退火中,得到了陈先猛、罗教明的帮助;此外,工作中还得到了张清福副教授和孙悦同志的帮助,在此,一并向他们表示衷心地感谢。

参 考 文 献

- [1] Bridgman P W. Proc. Am. Acad. Arts. Sci., 1952, 81: 167
- [2] Mao H K, Bell P M. Rev. Sci. Instrum., 1981, 52: 615
- [3] Jayaraman A. Rev. Sci. Instrum., 1986, 57: 1013
- [4] Weir S T, Ruoff A L. Scripta Metallurgica, 1988, 12: 151
- [5] Reichlin R L. Rev. Sci. Instrum., 1983, 54: 1674
- [6] 蒲丰年,丁玉珍,苟清泉,中国科学 A 辑,1991,(7): 736
- [7] 蒲丰年,丁玉珍,苟清泉,中国科学 A 辑(待发表)

RELATIVE ELECTRICAL RESISTANCE OF TUNGSTEN UNDER HIGH PRESSURE

Pu Fengnian, Bi Xiaoqun, Ding Yuzheng, Gou Qingquan

(Institute of Atomic and Molecule Science at

High Pressure and High Temperature, Institute of

Applied Physics, Chengdu University of Science and Technology, Chengdu, 610065)

ABSTRACT The pressure dependence of relative electrical resistance of tungsten is measured in the DAC by our established method under the pressure from 0.8GPa to 30.8GPa. The measurement below 10GPa is in good agreement with that of Bridgman. In the pressure range from 10 to 30.8GPa, the relative electrical resistance of tungsten decreases smoothly with the increasing pressure. The data above 10GPa have not been reported to our knowledge so far.

KEY WORDS high pressure, tungsten, electrical resistance.