

科学技术简报和经验交流

高压对 InSb、InAs 电学性质的影响*

施 宁 一

一、引 言

有关压力影响半导体材料 Ge 的电导率及霍尔效应的许多研究工作指明, Ge 的禁带宽度是随压力的增加而增大的^[1-4]. 在电子导电的 Ge 中, 载流子迁移率随压力增高而下降^[3]; 而在空穴导电的 Ge 中, 随着压力的增高, 空穴的迁移率将增大^[4]; 当材料处于混合导电的情况下(例如温度升高时), 视压力与温度的不同, 总的导电的特征可以是电子型的, 也可以是空穴型的^[4]. 在本征导电的情况下, 和空穴电子迁移率之差相关的霍尔系数与电阻率的比值, 在 *n* 型 Ge 中几乎不随压力的增高而改变^[3]; 而在 *p* 型的 Ge 中, 其值随压力的上升而显著下降^[4]. 关于压力影响金属间化合物的电学性质问题, Long^[5]、Taylor^[6] 在 0—2000 大气压内分别测量了压力对 InSb、InAs 的电阻率及霍尔系数的影响, 得出压力也使禁带宽度增大, 使电子迁移率下降. 更高一些压力下对 InSb 电阻率的影响的实验研究工作^[6], 也得出在数值上与 Long 的工作十分相近的禁带宽度随压力而改变的增加率.

本文的研究中, 测量了在 0—5000 大气压范围内, 压力对于金属间化合物半导体 InSb 与 InAs 的霍尔效应及电阻率的影响, 并描述了进行这些测量的设备与实验技术.

二、实验设备与测量技术

1. 容器的结构

高压容器采用双圆锥形内孔结构. 利用锥形活塞以简化高压的密封手续(图 1, 2, 3). 活塞与容器的锥角设计, 使活塞在压入容器时活塞与容器的接触面处压力比容器内的压力高出 20% 左右, 这样便能保证高压的密封. 为了使活塞与容器间的摩擦系数保持尽可能的低, 可在活塞与容器的相互接触的表面涂一层润滑剂(如胶体石墨); 在实验中发现, 石墨容易因挤入高压介质中而导至电极之间的短路. 改用电阻率很高的二硫化钼与蓖麻油混和成的糊状物作润滑剂, 则无论在润滑方面和保证电极间的绝缘性能方面都较为满意.

锥形活塞在设备中一面作为电极引线引入高压容器的通道, 同时又作为在高压介质中产生所需磁场的磁路中的极靴. 因此, 与活塞直接相触的容器内层必须是具有足够高强度的非铁磁性材料. 铍青铜是最为合适的材料, 也可以用铝青铜与 1X18H9T 不锈钢.

* 1961 年 2 月 14 日收到.

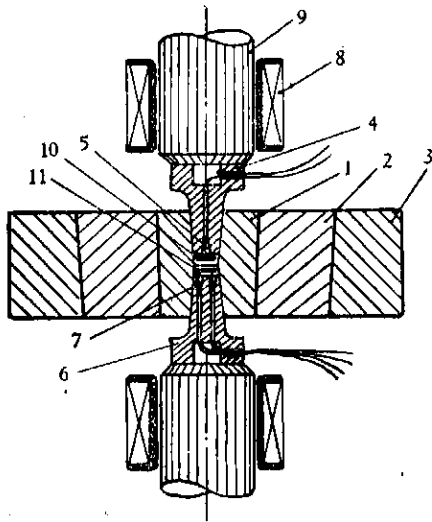


图 1

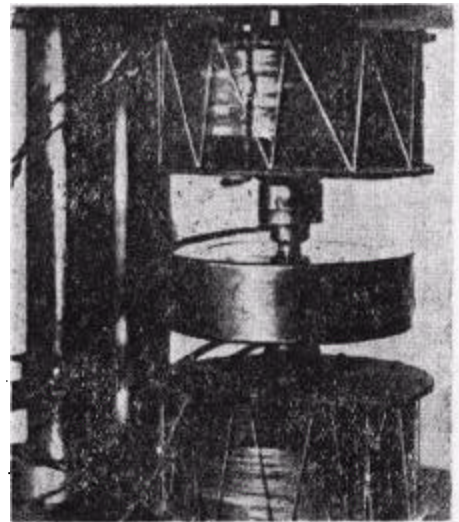


图 2

本文实验设备中的高压容器采用三层结构, 图 1 中自内向外 1、2、3 各层分别由铝青铜、1X18H9T 不锈钢、45XHMΦA 合金钢制成。铝青铜经适当热处理以获得较高强度。

锥形活塞 4、6 是用 P_{18} 高速工具钢制成。上活塞 4 的顶端有一锥形小电极塞 5, 用来焊接锰铜压力计 10 和引向外面的引线。下活塞 6 的顶端上有四个小电极塞 7, 用来焊接测量试样 11 的霍尔效应与电阻的内外引线。各小电极塞与活塞体之间以厚为 0.15 毫米的有机玻璃作为绝缘。采用石油醚为高压传压介质, 所需的高压是以 50 吨的油压千斤顶来产生 (图 4)。

2. 压力的标定

容器中的压力是用经过老化处理的、直径为 0.05 毫米的锰铜电阻压力计来测量。锰铜电阻压力计的电阻随压力的变化率与压力成线性关系, 因此, 进行标定时只需要测量某一已知压力 p_1 下的压力计电阻改变值 ΔR , 便可计算出该压力计的电阻压力系数 $\alpha =$

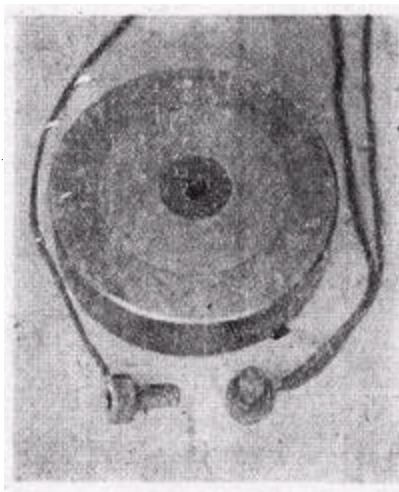


图 3

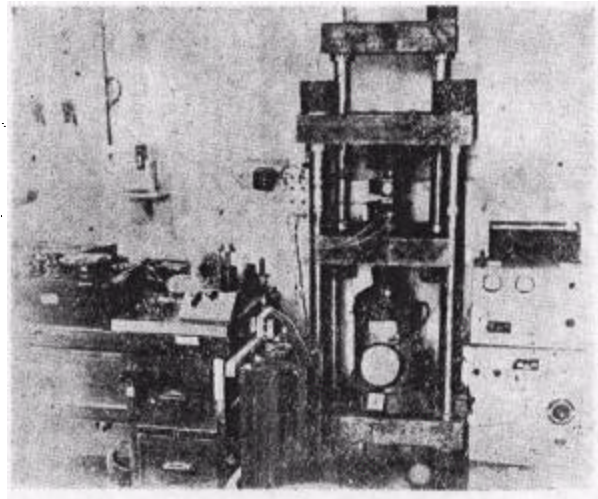


图 4

$\Delta R/R_0 \cdot p_1$, 其中 R_0 为压力计在常压下的电阻, 利用四氯化碳在室温(18°C)下的已知凝固压力(1135±10 大气压)^[7]为标定压力点, 四氯化碳在凝固时有等压体积收缩现象, 如果测量出压力计电阻随活塞压缩行程而改变的关系曲线, 则在凝固时曲线上应出现不连续点. 在室温(18°C)下测得如图 5 所示的曲线. 曲线不连续点是出现在 $\Delta R=0.426$ 欧姆处.

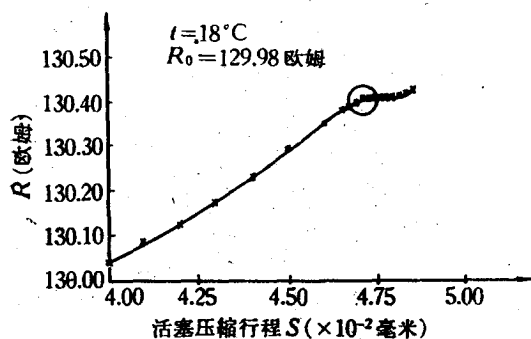


图 5 锰铜压力计在 CCl_4 相变时的 R-S 曲线.

所用压力计的常压电阻 $R_0 = 129.98$ 欧姆, 则得出其电阻压力系数为 $\alpha = 2.88 \times 10^{-6}$ 平方厘米/廷.

效应已经校准过的铍片来测量容器中的磁场强度. 所测得的磁场强度与极靴间距与线圈电流的关系有如图 6 所示. 实验中, 所需的磁场强度即根据此关系曲线进行调节. 本文设备中, 当极靴间距为 6 毫米时, 最高的磁场强度为 7000 奥斯特.

4. 试样的制备及电学参量的测量方法

试样是取自区域熔化提纯后的合金锭, 具有较高的杂质浓度. InSb 多晶与 InSb 单晶各取自不同的原材料合金锭, 用金刚砂盘磨成尺寸为 $8 \times 3 \times 1$ 毫米³的长方形薄片, 并未经过任何其它处理手续. 试样两端及两侧共有五个接线点 a、b、c、d、e (图 7). ab

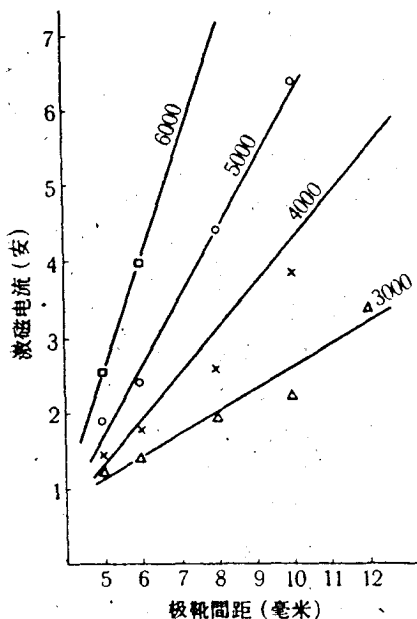


图 6

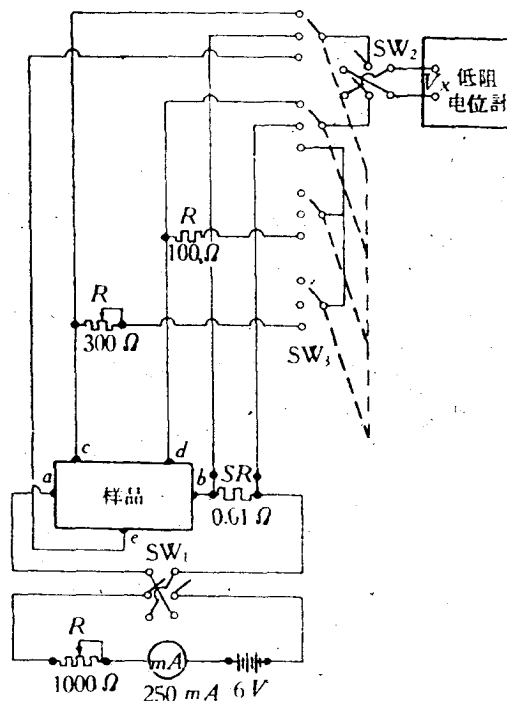


图 7

上焊接电流引线, cd 两点焊接测量电阻的引线, e 点引线与 cd 引线供测量霍尔效应之用。各引线与试样以焊锡焊接。所有参量用一可测到 10^{-6} 伏的 UJ1 型直流电位计来测量。 e 与 cd 间因未准确地位于同一等位面上而引起的小量直流电位差, 以及厄庭好森、里纪-勒杜克等副效应, 是通过反复改变电流及磁场方向来消除。实验中, 能斯脱效应没有能免去。

曾经制备了 InSb 多晶、InSb 单晶、InAs 多晶试样各两个。在室温下, 以不同的电流与磁场强度测量各试样的电阻, 霍尔系数与压力的关系。所用试样在常压与室温下, 总的表现都是电子型的导电。

三、测量的结果

1. 在 InSb 试样中, 测量读数, 特别在较高的样品工作电流下比较不稳定, 所得的霍尔系数和电导率与压力之间的关系比较分散 (如图 8, 9)。虽然如此, 两参量随压力而改变

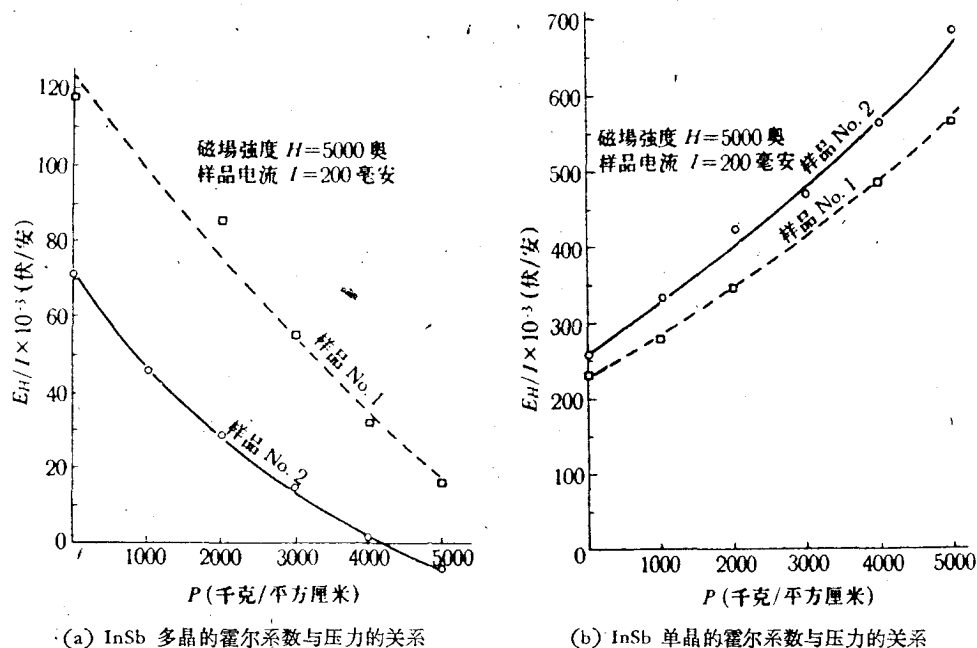
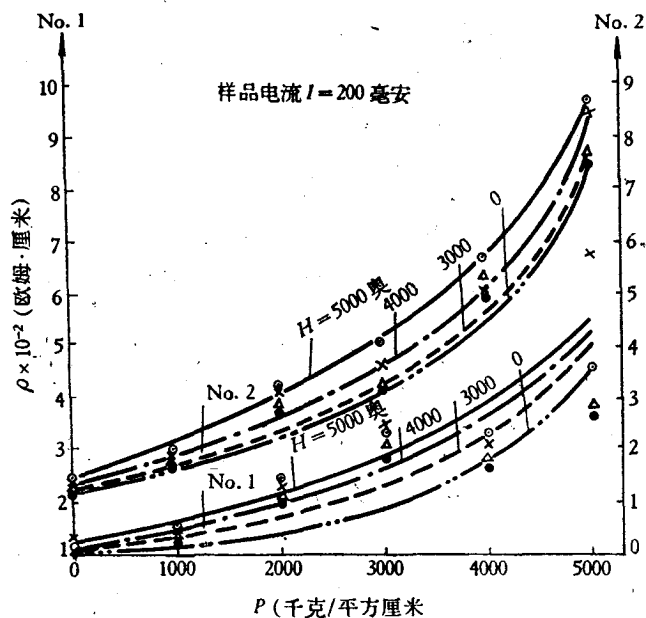


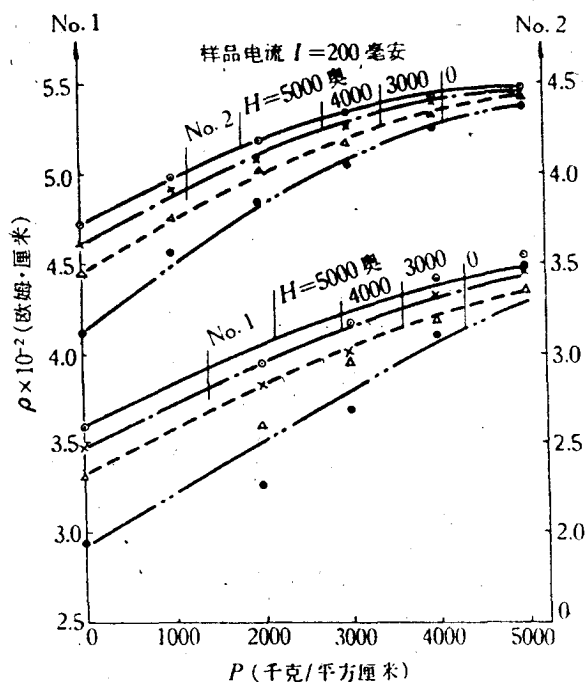
图 8

的趋势是十分明显的。在 InSb 多晶体试样中, 霍尔系数随压力增高而下降; 当压力上升到 4000 与 5000 大气压之间时, 其值下降为零。进一步升高压力时, 霍尔系数有改变符号的趋势。这一情况表明, 在室温下, 试样并不是单纯的某一种类型的杂质导电, 而是混合导电。这也是十分自然的, 因为 InSb 的禁带宽度很狭 (≈ 0.18 eV), 室温已足以使它成为本征导电。与多晶试样相反, 在 InSb 单晶试样中, 霍尔系数是随压力增高而增大的, 情况与 Long 测量 InSb 单晶在较低压力下所得到的关系相近。不过本文实验所得常压室温下的霍尔系数值比较大些。原因的一方面可能是由于杂质含量有区别; 另一方面也可能是本文测量中使用了比 Long 工作中高得多的磁场强度, 使霍尔系数在较大程度上依赖于磁场。InSb 多晶与单晶试样各取自不同的原材料, 霍尔系数随压力而改变之所以在二种试样中

具有很不同的特征,可能与原材料的杂质种类及含量不同有关。在有关 GaSb 的研究工作中^[8]曾有人得出,具有较高纯度的原材料,其霍尔系数开始是随压力增高而增大,在某压



(a) InSb 单晶电阻率与压力的关系



(b) InSb 多晶电阻率与压力的关系

图 9

力的关系是十分相近的,而数值也很接近。由图 10,可以看出,直到 5000 大气压,霍尔系

数达到极大值后,随压力的进一步增高而下降,这个极大值随杂质含量的增加而移向更低的压力,当杂质多到某种程度时,霍尔系数将不再有随压力增高而增大的阶段,而是一开始便是随压力上升而下降。自然,不考虑本文实验中两种试样的不同组织(一为多晶一为单晶)而进行更多的对比讨论是不很恰当的。因为,在多晶试样中,至少还有晶界与晶粒取向效应存在。

关于电阻率与压力的关系,在两种试样中具有共同特征,即随压力上升而增加(图 9)。不同之处在于:在多晶 InSb 中,(1)电阻随压力而增大的增加率,随压力上升而下降;(2)磁场强度低时,电阻随压力的增加率大于高磁场强度下的电阻增加率;(3)磁场的电阻效应随压力上升而下降得较为显著。而在单晶 InSb 中,(1)电阻随压力而增大的增加率,随压力上升而增加;(2)电阻随压力改变的增加率对磁场强度的依赖关系并不十分显著;(3)电阻随磁场增减而改变的情况也不太与压力十分相关。

2. 在 InAs 多晶中,测量了两个试样。由于在该试样中霍尔电势比较小,而读数在较高的试样工作电流下又不十分稳定,电参量的测量精确度不能要求很高,所得的结果也比较分散。但是,两试样的电阻率和霍尔系数与压

数在室温下并不十分明显地依赖于压力, 与 Taylor^[6] 在 2000 大气压以下所得情况相似. Taylor 的实验中指出, 在室温下 InAs 主要地还是杂质导电. 从本文所得的 InAs 霍尔系数十分小(比 InSb 小两个数量级)一点, 可知试样的杂质浓度相当高, 计算得出, 杂质浓度的数量级为 10^{19} /立方厘米. 图 11 表明, InAs 电阻率随压力上升而增加, 联系到霍尔系

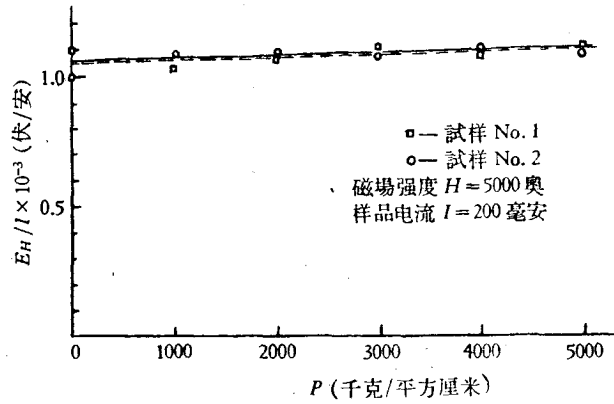


图 10 InAs 多晶的霍尔系数与压力的关系

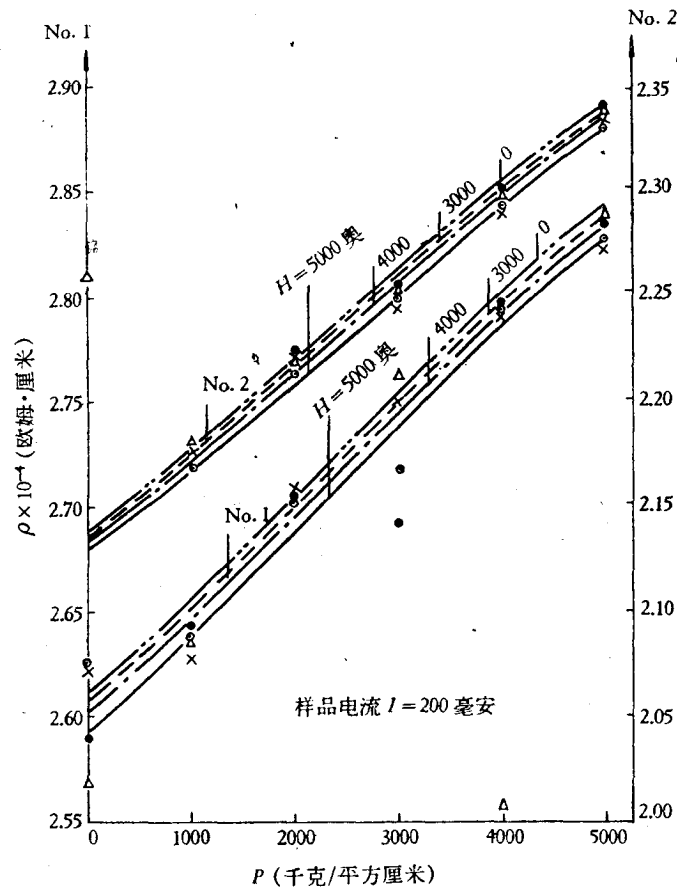


图 11 InAs 多晶的电阻率与压力的关系

数不大随压力改变一点,可以得出,在 InAs 中,载流子(主要是电子)的迁移率是随压力的上升而减小的。电阻率的压力系数,近似地说,对压力的高低及磁场强度的大小都没有显著的依赖关系。不同压力下,因磁场而引起的电阻变化率,其数值的变化也不甚显著。

本工作所用的高压设备是苏联专家 C. C. 谢柯扬同志设计的,作者向他表示感谢。

参 考 文 献

- [1] William Paul & Harvey Brooks, *Phys. Rev.* **94** (1954), 1128.
- [2] Newringer, L. J. *Phys. Rev.* **113**, No. 6 (1959), 1495.
- [3] Ляхтер, А. И. Дьяконова Т. С. *Ф. Т. Т.* **1** (1959), 95.
- [4] Ляхтер, А. И. *Ф. Т. Т.* **1** (1959), 895.
- [5] Long, D. *Phys. Rev.* **99** (1955), 388.
- [6] Taylor, J. H. *Phys. Rev.* **100** (1955), 1593.
- [7] Keyes, R. W. *Phys. Rev.* **99** (1955), 490.
- [8] Bridgman, P. W. *The Physics of High Pressure*. 1952.
- [9] Sagar, A. *Phys. Rev.* **117** (1960), 93.