

# n-Ge 常温反常 Hall 效应机理实验

邢 旭

东北师范大学物理系, 长春, 130024

1989 年 5 月 19 日收到

自常温反常电磁特性发现以来, 人们用反型层模型对常温反常 Hall 效应进行了成功的理论探讨, 但至今这种模型还未得到实验的验证。本文将报道我们在这方面的工作。

PACC: 7220M; 7215G

## 一、引 言

目前, 反常 Hall 效应的理论模型分歧很大, 所以至今这方面的研究仍在进行中<sup>[1-4]</sup>。

自常温反常电磁特性<sup>[5-7]</sup>发现以来, 人们用反型层模型对常温反常 Hall 效应进行了成功的理论探讨<sup>[8]</sup>, 但至今, 这种模型还没有进行实验验证。针对这个问题, 我们对出现常温反常 Hall 效应的样品进行了结构方面的实验验证, 实验结果确实证明了样品具有反型层结构。

## 二、实验结果

实验用的样品是在常温区出现反常 Hall 效应的 n-Ge 样品。测量采用直流法。测量温区为 77—573K。测量中每一温度均由精密温度控制仪自动恒温, 恒温精度为  $\pm 1K$ 。为了便于对比, 在每一恒定温度下, 均测出: (1) 恒流 ( $I_0 = 2.44mA$ ) 条件下的 Hall 电势差  $V_H$  和电导电势差  $V_\sigma$ ; (2) 恒压条件下 ( $V_0 = 1.2815V$ ) 的 Hall 电势差  $V'_H$  和电导电势差  $V'_\sigma$ ; (3) 反常样品和正常样品的 Hall 电极、电导电极和电流电极间的  $V-I$  特性曲线。

从上面测得的实验数据, 可以得出如下实验结果:

1. 恒流条件下的  $\lg R-1/T$  曲线和  $\lg \sigma-1/T$  曲线。这一实验结果与以前的实验结果<sup>[9]</sup>相同, 即仍具有常温反常 Hall 效应。这里不再重复。

2. 恒压下的  $\lg V_H-1/T$  曲线也是常温下的“双反转型”反常曲线。恒压下的  $\lg V'_\sigma-1/T$  曲线, 在常温区出现了反常现象 (见图 1)。

3. 恒流下的  $\lg \mu_H-\lg T$  曲线与恒压下的  $\lg V_H-\lg T$  曲线符合得很好, 均属常温“双

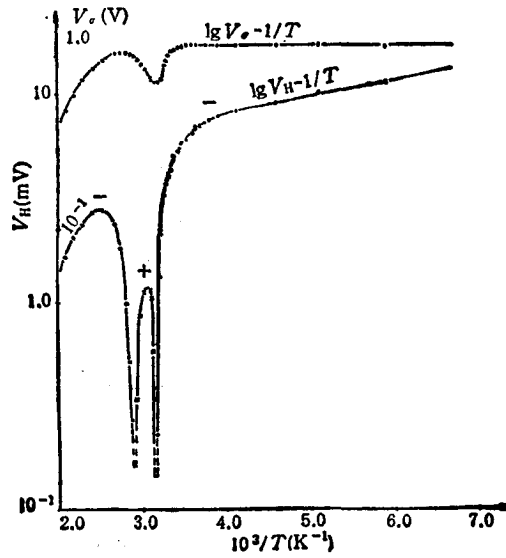


图 1

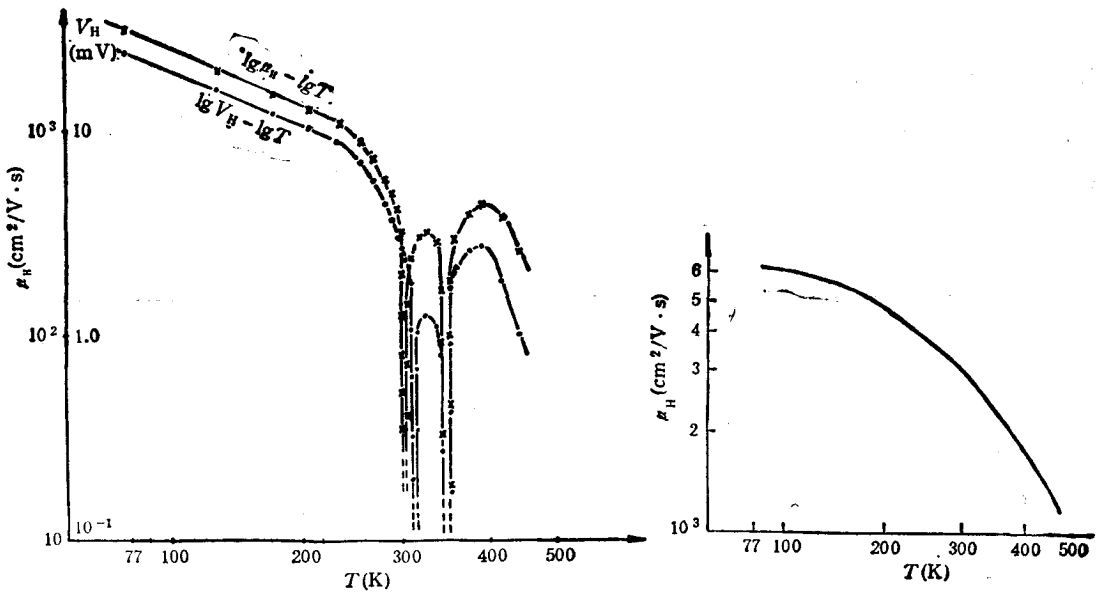


图 2

图 3

反转型”反常曲线(见图 2),它与正常  $\lg \mu_H - \lg T$  曲线(图 3)有明显不同。

4. 反常样品 Hall, 电导和电流电极间的  $V-I$  特性曲线与温度的关系是:在 Hall 系数  $R$  正常的低温区,三个电极间的  $V-I$  曲线均为斜率不同的直线(见图 4);在  $R$  反常的常温区,三个  $V-I$  曲线都由直线变为相同形状的曲线(见图 5);在  $R$  正常的高温区,三个  $V-I$  曲线由曲线再都变为斜率不同的直线(见图 6)。

5. 正常 n-Ge 样品 Hall, 电导和电流电极间的  $V-I$  曲线,在所有温区均为斜率不同的直线。

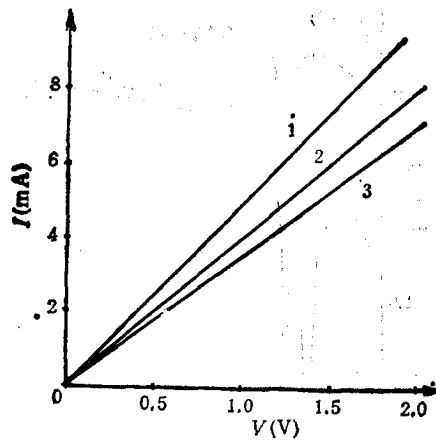


图 4

曲线 1 为 Hall 电极; 曲线 2 为导电电极; 曲线 3 为电流电极;  $T = 100\text{K}$

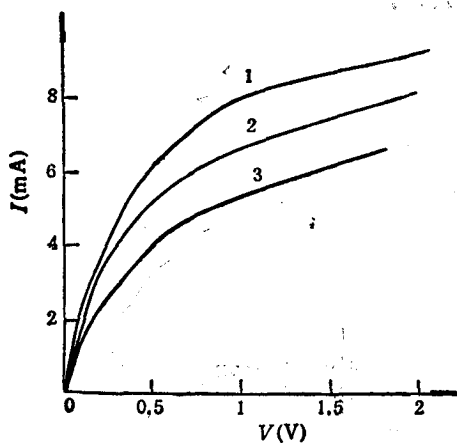


图 5

曲线说明同图 4;  $T = 293\text{K}$

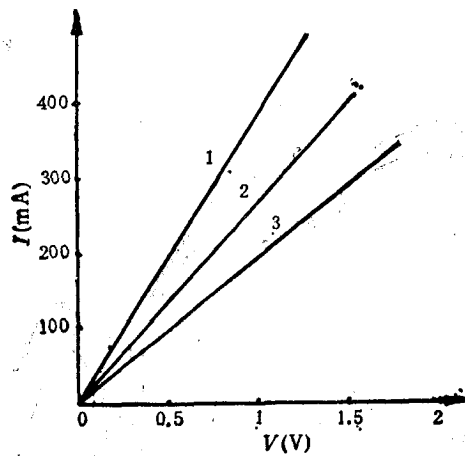


图 6

曲线说明同图 4;  $T = 515\text{K}$

### 三、反型层理论模型的实验验证

用我们的实验结果, 可以验证常温反常 Hall 效应反型层理论模型的以下四个主要论点<sup>[8]</sup>.

#### 1. 样品是半导体锗

从恒流下测得的  $\lg R-1/T$  曲线和  $\lg \sigma-1/T$  曲线均可求出样品的禁带宽度  $E_g(R)$  和  $E_g(\sigma)$  值;  $E_g(R) = (0.674 \pm 0.007)\text{eV}$ ;  $E_g(\sigma) = (0.680 \pm 0.007)\text{eV}$ . 这与公认的锗的禁带宽度  $E_g = 0.6643\text{eV}$  值基本一致. 所以证明是锗样品.

2. 在 Hall 系数  $R$  正常的低温区, 样品只有外面的  $n$  型壳层导电, 中间的  $P$  区不起作用. 这时的样品相当于一个结构均匀的  $n$  型锗壳层.

#### 1) 是 $n$ 型样品

在此温区,恒流下测得的 Hall 系数  $R$  和恒压下测得的 Hall 电势差  $V_H$  均为负值,这证明样品是 n 型。

## 2) 结构均匀

(1) 结构均匀的样品,恒压  $V_0$  下的电导电势差  $V_\sigma$  应为

$$V_\sigma = \frac{l}{L} V_0. \quad (1)$$

$l$  为电导电极间距;  $L$  为样品长度。从(1)式可见,  $V_\sigma$  与温度  $T$  值无关,所以  $\lg V_\sigma - 1/T$  曲线应为一水平直线。实验结果(图 1)与此相符,证明样品在此温区结构均匀。

(2) 结构均匀的样品,不同温度下的  $V-I$  曲线应均为直线。此温区的实验结果(图 4)与此相符。

(3) 结构均匀的样品,恒压  $V_0$  下可导出

$$V_H = \mu_H \frac{V_0}{l} B = A \mu_H. \quad (2)$$

$A$  为与  $T$  无关的常数。从(2)式可见,恒压下的  $\lg V_H - \lg T$  曲线与恒流下测得的  $\lg \mu_H - \lg T$  曲线形状应相似,且均为正常  $\lg \mu_H - \lg T$  曲线(图 3)。此温区的实验结果(图 2)与此相符。

## 3) 是壳层导电(见图 7)

(1) 根据样品几何尺寸  $L = 1.329\text{cm}$ ;  $l = 0.407\text{cm}$ ;  $a = 0.495\text{cm}$ ;  $b = 0.238\text{cm}$ , 如果样品是整体导电,那么

$$V_\sigma/V_0 = l/L = 0.306 \pm 0.001. \quad (3)$$

如果是壳层导电(见图 7),那么

$$V_\sigma/V_0 = l/L + 2x \quad 0 < x < a/2, \quad (4)$$

即

$$(0.223 \pm 0.001) < V_\sigma/V_0 < (0.306 \pm 0.001). \quad (5)$$

此温区实验结果是  $V_\sigma/V_0 = 0.269 \pm 0.001$ , 所以是壳层导电。

(2) 如果样品是整块导电,那么从 Hall, 电导和电流电极间的  $V-I$  曲线,按整块样品的几何尺寸求得的电导率值应相等。若是壳层

导电,那么按壳层几何尺寸<sup>[8]</sup>求得的电导率值应相等。实验结果是: 121K 时,从 Hall 电极  $V-I$  曲线按整块样品几何尺寸算得的电导率  $\sigma_1 = (1.08 \pm 0.05) \times 10^2 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ , 若按壳层几何尺寸算得电导率  $\sigma'_1 = (3.27 \pm 0.05) \times 10^{-2} (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ 。从电流电极  $V-I$  曲线按整块样品尺寸算得  $\sigma_2 = (2.47 \pm 0.05) \times 10^{-2} (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ , 按壳层尺寸算得电导率  $\sigma'_2 = (3.20 \pm 0.05) \times 10^{-2} (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ 。可见实验证明是壳层导电。

3. 在 Hall 系数反常的常温区,样品是由 n 型壳层、反偏 p-n 结和 P 区共同导电的非均匀样品。

## 1) 样品是非均匀样品

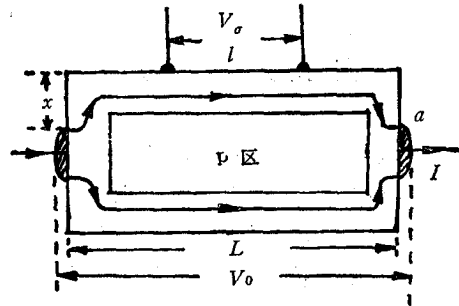


图 7

(1) 实验表明,此温区恒压下的  $\lg V_{\sigma}-1/T$  曲线不再是水平直线,而变为曲线(见图 1),从而证明了样品的非均匀性。

(2) 实验表明,此温区所有电极间的  $V-I$  曲线均为曲线(见图 5),证明了样品的非均匀性。

(3) 实验表明,此温区恒流下的  $\lg \mu_{\text{H}}-\lg T$  曲线和恒压下的  $\lg V_{\text{H}}-\lg T$  曲线虽形状相符(见图 2),但却与均匀正常样品的  $\lg \mu_{\text{H}}-\lg T$  曲线(见图 3)不同,证明了样品的非均匀性。

## 2) 样品由 n 型壳层与反偏 p-n 法并联导电

(1) 实验表明,此温区各电极的  $V-I$  曲线,均如图 5 所示,具有相同的形状。如图 8 所示,这种曲线 1,恰是 n 型壳层  $V-I$  曲线 2 与反偏 p-n 结  $V-I$  曲线 3 并联导电的合成曲线。

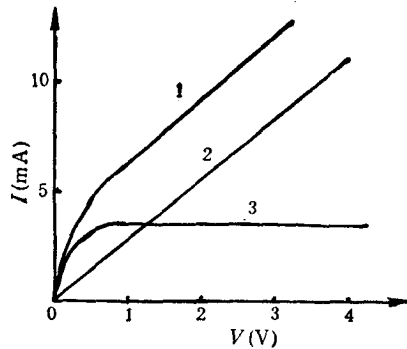


图 8

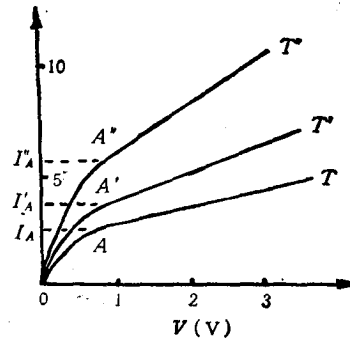


图 9  $T'' > T' > T$

(2) 实验表明,此温区  $V-I$  曲线的拐点  $A$  对应的电流  $I_A$  值和直线段斜率值都随  $T$  的升高而增大(见图 9)。这恰是 p-n 结反向电流和 n 壳层电导率随  $T$  升高而增大的结果。

(3) 理论认为:  $V-I$  曲线随  $T$  升高由直线变为曲线,对应的是 p-n 结电阻从远大于 n 壳层电阻变为二者可相比拟的情况。而  $V-I$  曲线随  $T$  再升高由曲线变为直线,对应的是 p-n 结电阻从与 n 壳层电阻可比拟到远小于它的情况。根据样品几何尺寸,可知 Hall 电极间的 n 壳层电阻最小,电导电极次之,电流电极最大。由此,理论认为:  $V-I$  曲线由直变曲和由曲变直的起始温度  $T_1$  和  $T_2$  值,应以 Hall 电极最高,电导电极次之,电流电极最低。而实验结果(见表 1)与此相符。

表 1

电 极	Hall	电 导	电 流
$T_1(\text{K})$	$258 \pm 2$	$251 \pm 2$	$247 \pm 2$
$T_2(\text{K})$	$413 \pm 2$	$404 \pm 2$	$348 \pm 2$

4. 在 Hall 系数进入本征导电的高温区, p-n 结失效,整个样品成为本征导电的均匀样品。

## 1) 样品是均匀样品

(1) 实验表明,此温区的  $V-I$  曲线又均为直线(见图 6)。

(2) 实验测得的恒流下的  $\lg \mu_H - \lg T$  曲线与恒压下的  $\lg V_H - \lg T$  曲线在此温区均为正常曲线(见图 2 和图 3)。

2) 样品处于本征导电态

从恒流下的  $\lg R - 1/T$  和  $\lg \sigma - 1/T$  实验曲线<sup>[5]</sup>可见,此温区均为直线,且从此直线斜率求得的  $E_g$  值与锗的公认  $E_g$  值相符,证明是本征导电态。

3) 整个样品导电

此温区,从 Hall、电导和电流电极间的  $V-I$  曲线,用整个样品的几何尺寸计算出的样品电导率,数值上基本一致。如: 415K(142°C) 时,从 Hall 与电流电极间的  $V-I$  曲线算得的样品电导率值,分别为  $\sigma_1 = (0.85 \pm 0.05)(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ ,  $\sigma_2 = (0.88 \pm 0.05)(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ 。

由于上述验证性实验,一没破坏样品,二与常温反常 Hall 效应的出现是同时、同步测量,所以我们认为这种验证更具有说服力。

感谢黄启昌教授的亲切关怀和大力支持。

- [1] A. B. Германенко, В. В. Кружаев, Г. М. Миньков, О. Э. Рут, *ФТП*, **22**(1988), 992.
- [2] M. Benzaquen, D. Walsh, K. Mazuruk, *Solid State Commun.*, **61**(1987), 803.
- [3] Н. А. Городилов, К. М. Демчук, Г. М. Миньков, Э. А. Нейфельд, *ФТП*, **21**(1987), 798.
- [4] А. В. Ведяев, А. Б. Грановский, *ФТТ*, **28**(1986), 2310.
- [5] 邢旭,科学通报,**30**(1985),1701; Xing Xu, *Kexue Tongbao (Science Bulletin)*, **31**(1986), 1313.
- [6] 邢旭,科学通报,**31**(1986),730; Xing Xu, *Kexue Tongbao (Science Bulletin)*, **32**(1987), 737.
- [7] 邢旭,杨春芳,科学通报,**32**(1987),1857.
- [8] 邢旭,姜伟,王锡斌,物理学报,**38**(1989),1210.

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION MECHANISM ANOMALOUS HALL EFFECT OF n-Ge ABOVE ROOM TEMPERATURE

XING XU

Department of Physics, Northeast Normal University, Changchun, 130024

(Received 19 May 1989)

### ABSTRACT

Since the discovery of specific anomalous electromagnetic character of n-Ge above room temperature, the inversion layer model has been very successful in theoretical investigation of anomalous Hall effect. However, up to now this model has not been verified experimentally. This paper reports this aspect of work.

РАСС: 7220M; 7215G