

非晶态超导体的能隙和霍耳系数 之间的经验关系

曹 效 文

(中国科学院等离子体物理研究所)

1981年1月5日收到

提 要

在大量的非过渡金属和合金中,非晶态超导体的能隙 $2\Delta_0$ 与霍耳系数 R_H 以及相应的液态金属霍耳系数 R_{HL} 之间存在着一个经验关系: 在 R_H (或 R_{HL}) = $-3.5 \sim -4.0 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{AS}$ 之间出现一个 $2\Delta_0$ 最大值。

超导体的点阵无序强烈地改变了转变温度 T_c 、能隙 $2\Delta_0$ 和上临界场 H_{c1} 等超导参量。这些参量的改变无疑是和点阵无序所引起的电子结构和电子性质的变化存在着内在联系的。但是到目前为止,非晶态超导体的电子性质仍是一个尚未解决的问题。已建立的某些模型只能分别解释非晶态超导体的某些个性^[1]。许多人从非晶态超导性质与正常态电子性质之间的关系出发,进行了大量的探索研究,Mrstik 等^[2], Bergmann^[3], Comberg 等^[4] 以及 Ziembra^[5] 等分别研究了超导转变温度 T_c 和能隙 $2\Delta_0$ 与正常态电阻率 ρ_n 之间的关系,作者及其合作者^[6] 统计地研究了 T_c 与正常态霍耳系数之间的经验关系等。

霍耳系数是相应材料确切传导电子数的直接表示,因此研究超导参量与霍耳系数之间的关系对于研究非晶态超导体的电性质是有重要意义的。

本文系统地研究了非过渡金属和合金非晶态的超导能隙 $2\Delta_0$ 和正常态霍耳系数 R_H 以及相应液态金属霍耳系数之间的关系。

非过渡金属和合金非晶态的超导能隙和霍耳系数已有了大量的实验研究和报道。作者系统地分析和研究了这些数据,发现在 $2\Delta_0$ 与霍耳系数 R_H 之间存在着一个经验关系: 在 $R_H = -3.5 \sim -4.0 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{AS}$ 之间出现一个 $2\Delta_0$ 最大值,当 R_H 增大或减小时,都伴随着 $2\Delta_0$ 的迅速下降,如图1所示。图1中对应点的数据及其来源列于表1。 R_H 都是在高于超导温度 T_c 温度下测量的。为了后面讨论上的方便,表1还列出了自由电子模型的霍耳系数 R_0 以及 R_H/R_0 比值。应该指出的是,低温淬火凝聚纯金属 Be, Tl 和 Zn 膜,在文献[6]的讨论中已论述了它们至今尚未做成非晶态,所以表1中没有再列入,并且本文不再对它们进行叙述和讨论。但是为了比较,图1和表1仍给出了仍未做成非晶态的纯 Pb 的数据。

作者及其合作者^[6]曾指出,非晶态金属和相应的液态金属之间具有类似的无序结构和

表 1 非晶态金属和合金的超导能隙 $2\Delta_0$ 和霍耳系数 R_H

组 分	$2\Delta_0(\text{meV})$	$R_H(10^{-11}\text{m}^3/\text{AS})$	$R_0(10^{-11}\text{m}^3/\text{AS})$	R_H/R_0
Ga	3.3 ^[7] , 3.32 ^[8]	-3.94 ^[9]	-3.60 ^[9]	1.09
In ₈₅ Sb ₁₅	2.1 ^[4]	-4.60 ^[4]	-4.6 ^[4]	1.00
Sn	1.54 ^[3,10]	-2.5 ^[12]	-4.42 ^[12]	0.57
Sn ₉₀ Cu ₁₀	2.58 ^[10] , 2.60 ^[13]	-3.38 ^[12]		
Sn ₈₄ Cu ₁₄	2.51 ^{**}	-4.26 ^[9]	-4.0	1.07
Sn ₇₀ Cu ₃₀	1.76 ^{**}	-4.46 ^[12]		
Pb	2.78 ^[10]	-2.2 ^[14]	-5.12 ^[14]	0.43
Bi	2.44 ^[10]	-2.9 ^[15]	-4.32 ^[15]	0.67

* 霍耳系数是在 Ga₉₉Ag₁ 样品上测量的; ** 根据 $2\Delta_0 = 4.95k_B(T_c - T_0)$ 的计算值.

表 2 非晶态金属超导能隙 $2\Delta_0$ 和相应的液态金属的霍耳系数 R_{HL}

金 属	$2\Delta_0(\text{meV})$	$R_0(10^{-11}\text{m}^3/\text{AS})$	$R_{HL}(10^{-11}\text{m}^3/\text{AS})$	R_{HL}/R_0	测量 R_{HL} 的温度 (°C)
Ga	3.3 ^[7]	-3.95 ^[16]	-3.83 ^[16]	0.97	35
			-3.8 ^[17]	0.96	35—110
In	2.1 ^[4]	-5.69 ^[16]	-3.9 ^[18,19]	0.99	30—600
			-5.3 ^[16]	0.93	156—320
			-5.5 ^[20]	0.98	156—350
			-5.9 ^[21]	1.05	156—500
Tl	1.61 ^[22]	-6.3 ^[16]	-4.5 ^[22]	0.80	175—205
			-4.8 ^[16]	0.76	320—450
Sn	2.58 ^[10]	-4.42 ^[16]	-4.4 ^[16]	1.00	250—320
			-4.8 ^[22]	1.07	250—310
			-4.4 ^[20]	1.00	230—425
Pb	2.66 ^[10]	-5.12 ^[16]	-3.7 ^[16]	0.72	340—500
			-1.9(ac) ^[18,19]	0.38	400—600
			-4.4(dc) ^[21]	0.88	330—550
Bi	2.44 ^[10]	-4.32 ^[16]	-3.0 ^[16]	0.69	285—330
			-4.1 ^[20]	0.95	271—425
			-2.6 ^[18,19]	0.60	271—800

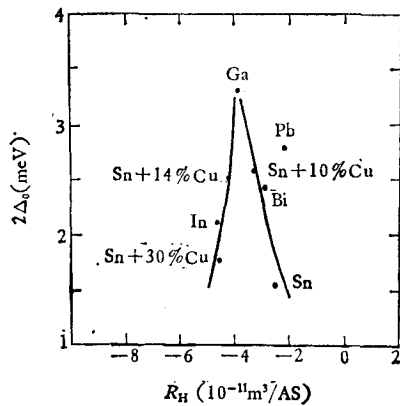


图 1 非晶态超导体的能隙 $2\Delta_0$ 与霍耳系数 R_H 之间的关系

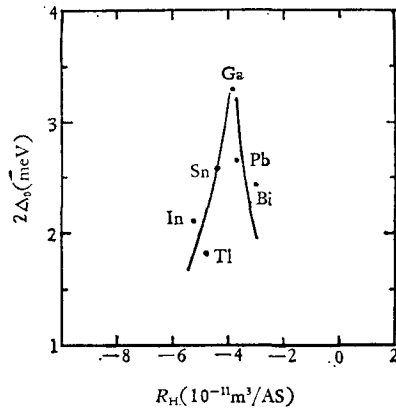


图 2 非晶态超导体的能隙 $2\Delta_0$ 与相应液态金属霍耳系数 R_{HL} 之间的关系

电子性质,如电阻率和霍尔系数等,并且人们往往把淬火凝聚膜的电阻率和霍尔系数与相应液态值的一致与否作为凝聚膜是否无序到非晶态的判据。因此研究超导能隙 $2\Delta_0$ 与相应液态金属霍尔系数 R_{HL} 之间的关系是有重要意义的。非过渡金属非晶态的超导能隙 $2\Delta_0$ 与相应的液态金属霍尔系数 R_{HL} 之间的关系示于图 2。图 2 中对应点的数据和来源列于表 2。应该指出的是,图 2 和表 2 中的 R_{HL} 都是液态纯金属测量值,由于非过渡金属的非晶态多数都是在掺杂条件下制备成的,所以表 2 中所列的非晶态超导体 In , Tl , Sn 和 Pb 的能隙 $2\Delta_0$ 分别是在 $\text{In}_{85}\text{Sb}_{15}$, $\text{Tl}_{90}\text{Tc}_{10}$, $\text{Sn}_{90}\text{Cu}_{10}$ 和 $\text{Pb}_{90}\text{Cu}_{10}$ 样品测量的。图 2 中的 R_{HL} 值仅引自文献 [16], 之所以仅取文献 [16] 一组数据是因为它和另外几组数据相比,近似于中间值。 R_{HL} 值比较分散表明了 R_{HL} 测量技术上的困难。

比较图 1 和图 2 可以看出,非过渡金属非晶态的 $2\Delta_0-R_H$ 和 $2\Delta_0(\text{非晶})-R_{HL}(\text{液态})$ 关系是基本一致的,说明了图 1 中所列举的低温淬火凝聚膜大部分属于非晶态。表 1 R_H/R_0 与表 2 R_{HL}/R_0 的基本一致 (Pb 除外)也说明了这一点。

我们知道,液态金属的电子性质是能够用自由电子模型来描述的。 $2\Delta_0-R_H$ 与 $2\Delta_0-R_{HL}$ 之间的一致以及 T_c-R_H 与 T_c-R_{HL} 之间的一致^[6] 表明了非晶态的这些性质是可以自由电子模型描述的。

把本文中的 $2\Delta_0-R_H$ 和 $2\Delta_0-R_{HL}$ 与文献 [6] 中的 T_c-R_H 和 T_c-R_{HL} 曲线进行比较可以看出,曲线的形状以及最大值出现于 R_H 和 R_{HL} 值的位置是十分相似的,这意味着非晶态超导体的参量 T_c 和 $2\Delta_0$ 分别与有效传导电子数之间存在着某种内在联系。关于这一点有待于理论上的说明。

图 1 和表 1 中的 Pb , 其 $2\Delta_0$ 和 R_H 值都是纯 Pb 的低温淬火凝聚膜上测量的。文献 [6] 已指出纯 Pb 至今仍未做成非晶态。图 1 中纯 Pb 对曲线的显著偏离再一次清楚地说明了这一点,图 2 中的 Pb 的 $2\Delta_0$ 是在非晶态 $\text{Pb}_{90}\text{Cu}_{10}$ 上测量的,和曲线符合得较好。

参 考 文 献

- [1] 张裕恒、曹效文, 低温物理, 1(1979), 190.
- [2] B. J. Mrstik and D. M. Ginsberg, *Phys. Rev. B*, 7 (1973), 4844.
- [3] G. Bergmann, *Z. Physik*, 228 (1969), 25.
- [4] A. Comberg, S. Ewert and G. Bergmann, *Z. Physik*, 271 (1974), 317.
- [5] G. Ziemba and G. Bergmann, *Z. Physik*, 237 (1970), 410.
- [6] 曹效文、李玉芝、夏健生、张裕恒, 物理学报, 29(1980), 987.
- [7] G. Van. Minnigerode and J. Rothenberg, *Z. Physik*, 213 (1968), 397.
- [8] J. E. Jackson, C. V. Briscoe and H. Wühl, *Physica*, 55 (1971), 447.
- [9] G. Bergmann, *Z. Physik*, 255 (1972), 76.
- [10] K. Knorr and N. Barth, *Solid State Comm.*, 8 (1970), 1085.
- [11] C. G. Granqvist and T. Claeson, *Proc. 7th Intern. Vac. Congr. & 3rd Intern. Conf. Solid Surface* (Vienna 1977) Vol. III, 1891.
- [12] J. Fortmann und W. Buckel, *Z. Physik*, 162 (1961), 93.
- [13] K. Knorr and N. Barth, *Solid State Comm.*, 6(1968), 791.
- [14] R. Koeple, *Z. Physik*, 264 (1974), 155.
- [15] J. S. Shier and D. M. Ginsberg, *Phys. Rev.* 147 (1966), 384.
- [16] A. J. Greenfield, *Phys. Rev.*, 135 (1964), A 1589.

- [17] N. E. Cusack, P. W. Kendall and A. S. Marwaha, *Phil. Mag.*, **7** (1962), 1745.
- [18] G. Busch, *Helv. Phys. Acta*, **35** (1962), 273.
- [19] Y. Tiede, *Physik Kond. Materie*, **1** (1963), 78.
- [20] S. Takeuchi and H. Endo, *Trans. Jap. Inst. Metals*, **2** (1961), 243.
- [21] J. Enderby, *Proc. Phys. Soc. (London)*, **81** (1963), 772.
- [22] E. G. Wilson, *Phil. Mag.*, **7** (1962), 989.
- [23] H. Wühl, A. Comberg and S. Ewert, *Z. Physik B*, **38** (1980), 83.

AN EMPIRICAL CORRELATION BETWEEN SUPERCONDUCTING ENERGY GAPS $2\Delta_0$ AND THE HALL COEFFICIENTS IN AMORPHOUS SUPERCONDUCTORS

CAO XIAO-WEN

(*Institute of Plasma Physics, Academia Sinica*)

ABSTRACT

An empirical correlation between superconducting energy gaps $2\Delta_0$ and the Hall coefficients R_H of amorphous state and between superconducting energy gaps $2\Delta_0$ of amorphous state and the Hall coefficients R_{HL} of corresponding liquid metals is found respectively, that is: in numerous non-transition metals and alloys, $2\Delta_0$ takes a maximum value as R_H (or R_{HL}) = $-3.5 \sim -4.0 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{AS}$.