

$(\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{V}_2)\text{H}_x$ 的声子谱与超导性的关系

阮景辉 陈桂英 成之绪 勾成 杨同华

(中国科学院原子能研究所)

陈凌孚 周立

(北京有色金属研究总院)

尹道乐

(北京大学物理系)

1982年12月7日收到

提 要

本文报道了用 Be 过滤探测器谱仪对 C-15 相的 $(\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{V}_2)\text{H}_x$ 等五种样品的声子谱的测量,观察到了它们的声子谱随含氢量而变化以及声学支有规则的软化现象,表明 $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{V}_2\text{H}_x$ 的 T_c 随 x 的变化,主要是声学支的贡献,声学支软化有利于 T_c 的提高,而光学支“软化”可能会抑制超导性。

一、前 言

具有 C-15 结构的 HfV_2 和 ZrV_2 , 尽管超导转变温度 T_c 只有 10K 左右,但它具有高的临界电流和临界磁场,并且易于加工成形和耐中子辐照,因此对 C-15 结构超导体给予相当大的注意. 这类物质还能吸进大量的氢,特别是吸氢量对 T_c 影响很大. Duffer 等^[1]研究了 HfV_2 吸氢对 T_c 的影响,发现随吸氢量增加, T_c 不断下降,即吸进的氢起着抑制超导性的作用. Rao 等^[2]测定了 $(\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{V}_2)\text{H}_x$ 的 T_c 与氢浓度 x 的关系曲线(见图 1),显然它与 $(\text{HfV}_2)\text{H}_x$ 随 x 的变化有较大差异. 开始随 x 增加, T_c 逐渐增高,在 $x = 0.5$ 时, T_c 最大,然后随 x 增大, T_c 迅速下降,大约 $x = 1.5$ 时, T_c 降至 1.2K 以下. 对于 C-15 结构超导性与含氢量的关系,至今还没有确定的解释. 从结构分析表明,这些物质充氢后其结构没有观察出变化,仅点阵常数随氢浓度增高而增大,这与钡氢的特性类似. 由于钡氢的超导性主要取决于进入钡原子点阵中的氢所产生的定域模,随着钡内氢浓度的增加,定域模不断软化,不断增强电-声子相互作用,以致最后转变为超导体^[3]. $(\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{V}_2)\text{H}_x$ 与钡氢的超导性有何差别,这需要隧道实验和中子非弹性散射实验加以判断. 本文是利用原子能研究所重水堆旁的铍过滤探测器谱仪,对

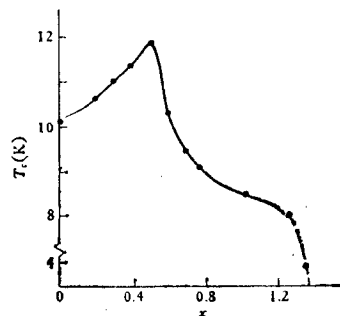


图 1

$(\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{V}_2)\text{H}_x$ 和 ZrV_2 等五种样品进行了中子非弹性散射测量, 结果表明声学支的系统软化有利于 T_c 的提高, 而光学支的“软化”似乎对它们的超导性起抑制作用。

二、实验结果和分析

实验装置和测量方法的详细描述可参阅文献 [4]。与前不同的是铍过滤器由七块铍片(每块大小为 $1 \times 10 \times 15\text{cm}^3$) 中间夹铜片所组成, 并用液氮冷却。五种样品都是由北京有色金属研究总院提供的。样品装在一个方形的铝盒内, 整个测量是在室温下进行的。对于没有充氢的合金样品 $\text{Hf}_{0.4}\text{Zr}_{0.5}\text{Ta}_{0.1}\text{V}_2$ 和 ZrV_2 , 是以同样大小的空铝盒的中子计数作为本底, 而充氢后的样品是以同厚度的金属样品的中子计数作为本底。图 2 至图 4 分别为五种样品的测量曲线, 横坐标为中子能量转移 $\hbar\omega$, 纵坐标为铍过滤探测器的中子计数, 它近似正比于一般化声子谱 $G(\omega)$ 。图 2(b) 和 (c) 以及图 3 中的实验曲线相当于该氢化物中氢的一般化声子谱。

从实验曲线可见, 低能区和高能区各有一组结构峰, 前者为声学支, 后者为光学支(或称氢的定域模)。声学支的细致结构区分得较为清晰, 而光学支似乎是几个相邻峰叠合而成, 以致使得能区扩展得很宽。为了分析光学支的变化规律, 在图 5 中将

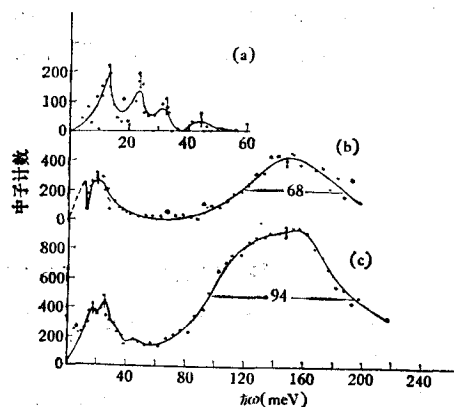


图 2

(a) $\text{Hf}_{0.4}\text{Zr}_{0.5}\text{Ta}_{0.1}\text{V}_2$; (b) $(\text{Hf}_{0.4}\text{Zr}_{0.5}\text{Ta}_{0.1}\text{V}_2)\text{H}_{0.5}$;
(c) $(\text{Hf}_{0.4}\text{Zr}_{0.5}\text{Ta}_{0.1}\text{V}_2)\text{H}_{2.8}$

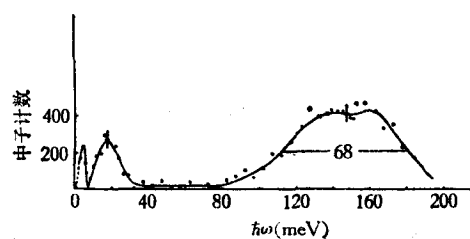


图 3

$(\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{V}_2)\text{H}_{0.5}$

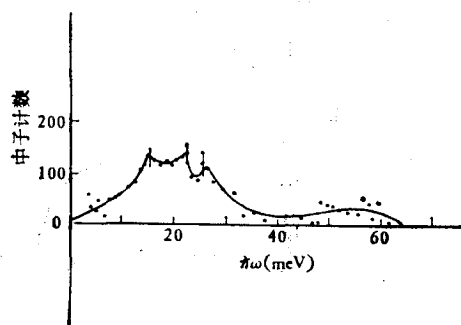


图 4

ZrV_2

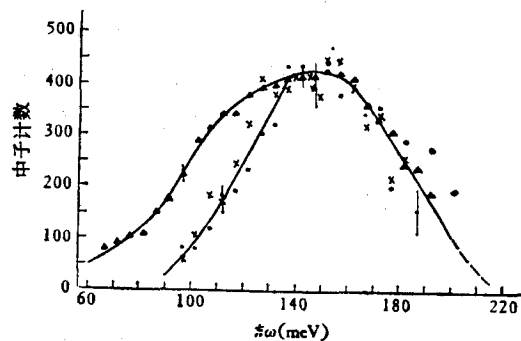


图 5

▲为 $(\text{Hf}_{0.4}\text{Zr}_{0.5}\text{Ta}_{0.1}\text{V}_2)\text{H}_{2.8}$; ×为 $(\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{V}_2)\text{H}_{0.5}$;
●为 $(\text{Hf}_{0.4}\text{Zr}_{0.5}\text{Ta}_{0.1}\text{V}_2)\text{H}_{0.5}$

表 1

样 品	T_c (K)	声学支 (meV)				光 学 支 (meV)	
		1	2	3	4	峰 位	半 宽 度
$(\text{Hf}_{0.4}\text{Zr}_{0.5}\text{Ta}_{0.1}\text{V}_2)\text{H}_{2.8}$	~ 0	16	24	32	45	~ 136	~ 94
ZrV_2	7.4	15	22	25			
$(\text{Hf}_{0.4}\text{Zr}_{0.5}\text{Ta}_{0.1}\text{V}_2)$	9.7	13	23	32	45		
$(\text{Hf}_{0.4}\text{Zr}_{0.5}\text{Ta}_{0.1}\text{V}_2)\text{H}_{0.5}$	10.4	9	18			~ 146	~ 68
$(\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{V}_2)\text{H}_{0.5}$	11.4	4	16			~ 146	~ 68

$(\text{Hf}_{0.4}\text{Zr}_{0.5}\text{Ta}_{0.1}\text{V}_2)\text{H}_{2.8}$, $(\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{V}_2)\text{H}_{0.5}$ 和 $(\text{Hf}_{0.4}\text{Zr}_{0.5}\text{Ta}_{0.1}\text{V}_2)\text{H}_{0.5}$ 的光学支在峰位(140—160meV)归一,表 1 中列出了五种样品的超导转变温度 T_c 以及声学支和光学支各个峰的中心位置和半宽度. 另外,在图 6 中绘出了五种样品的两个声学支峰位与 T_c 的关系曲线.

图 6 和表 1 的数据表明,五种样品的 T_c 从 0K 直到 11.4K, 第一个声学峰从 16 降低到 4meV,第二个声学峰从 24 降低到 16meV,分别降低 12 和 8meV,即两个声学峰都系统地向低能软化. 按照 Mcmillan 理论,这种软化有利于提高电子-声子相互作用和超导转变温度. 表 1 的数据表明, $(\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{V}_2)\text{H}_{0.5}$ 加 Ta 后使 T_c 降低 1K,从图 5 看出加 Ta 后的 $(\text{Hf}_{0.4}\text{Zr}_{0.5}\text{Ta}_{0.1}\text{V}_2)\text{H}_{0.5}$ 与前者光学支未见明显变化,峰位和半宽度都近似相同,这说明光学支与加 Ta 致使 T_c 下降无关. $(\text{Hf}_{0.4}\text{Zr}_{0.5}\text{Ta}_{0.1}\text{V}_2)\text{H}_{2.8}$ 的 T_c 接近于零,而从图 5 看出它的光学支半宽度比前两种超导体增加约 26meV,峰的高能边没有变化,主要是向低能扩展,即发生了“软化”,似乎光学支的“软化”对超导性起抑制作用. 由此可见,它们的超导性与钯氢 (PdH_x) 和钍氢 (ThH_{15}) 的机理不一样,后两种超导体的光学支软化是产生超导性的主要原因.

文献 [1] 表明 (HfV_2) 充氢后, T_c 随氢量 x 的增加而系统地下降,这说明 $(\text{HfV}_2)\text{H}_x$ 中的氢对超导性起抑制作用,估计 $(\text{ZrV}_2)\text{H}_x$ 也应有类似的特性. 然而它们没有 $(\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{V}_2)\text{H}_x$ 随氢浓度增加而 T_c 上升的戏剧性变化 ($0 < x \leq 0.5$),这种差别可能是 $(\text{HfV}_2)\text{H}_x$ 不发生声学支软化,相反,随着氢量的增加,声学支硬化. 当氢量 x 的过分增加,都将引起光学支“软化”.从图 5 表明 $(\text{Hf}_{0.4}\text{Zr}_{0.5}\text{Ta}_{0.1}\text{V}_2)\text{H}_{0.5}$, 的光学支的峰位近似在 146meV 而 $(\text{Hf}_{0.4}\text{Zr}_{0.5}\text{Ta}_{0.1}\text{V}_2)\text{H}_{2.8}$ 的光学支的峰位明显向低能移动,而更接近于 HfH_2 (或 ZrH_2) 的光学峰位 ($\sim 137\text{meV}$)^[4]. 可以设想随着氢量 x 的增加,形成 HfH_2 (或 ZrH_2) 的成分增加,因此以 136meV 为中心峰的权重增大,这样就自然解释了光学支“软化”的原因.

综合以上所述, $(\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{V}_2)\text{H}_x$ 的 T_c 随含氢量 x 的戏剧性变化,主要是由声学支所

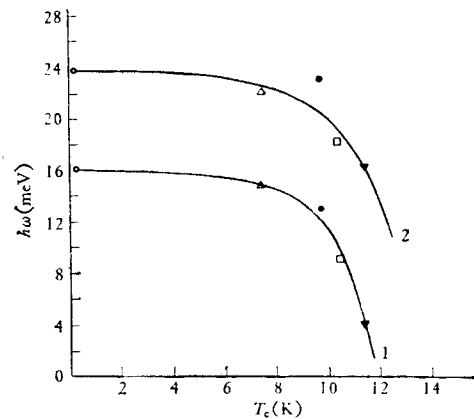


图 6

○ 为 $(\text{Hf}_{0.4}\text{Zr}_{0.5}\text{Ta}_{0.1}\text{V}_2)\text{H}_{2.8}$; △ 为 ZrV_2 ; ● 为 $(\text{Hf}_{0.4}\text{Zr}_{0.5}\text{Ta}_{0.1}\text{V}_2)$; □ 为 $(\text{Hf}_{0.4}\text{Zr}_{0.5}\text{Ta}_{0.1}\text{V}_2)\text{H}_{0.5}$; ▼ 为 $(\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{V}_2)\text{H}_{0.5}$

确定。声学支软化 T_c 提高, 声学支硬化 T_c 降低。而 T_c 与光学支似乎关系不大, 显示出与钆氢不相同的超导机理。光学支的“软化”可能是 HfH_2 成分增大所形成的, 对超导性似乎起抑制作用。

尽管以上分析中的一些推断似乎是合理的, 但需要中子散射的实验证据, 特别是含氢量在 $0.5 < x < 2.8$ 范围内 $(\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{V}_2)\text{H}_x$ 的声子谱、 $(\text{HfV}_2)\text{H}_x$ 或 $(\text{ZrV}_2)\text{H}_x$ 的声子谱随 x 的变化以及不同含氢量 x 时氢的最优先占据位置等实验数据。另外, 这些物质的声子谱软化的微观机理也需要进一步探索。

参 考 文 献

- [1] P. Duffer *et al.*, *Phys. Rev. Letters*, **37**(1976), 1410.
- [2] V. U. S. Rao *et al.*, *Phys. Letters A.*, **67**(1978), 223.
- [3] 陈桂英等, 物理学报, **29**(1980), 257; 或 Chen Gui-ying *et al.*, *Chin Phys.*, **1** (1981), 27.
- [4] 阮景辉等, 高能物理与核物理, **2**(1978), 441.

RELATION BETWEEN PHONON SPECTRA IN $(\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{V}_2)\text{H}_x$ SYSTEM AND ITS SUPERCONDUCTIVITY

RUAN JING-HUI CHEN GUI-YING CHENG ZHI-XU

GOU CHENG YANG TONG-HUA

(*Institute of Atomic Energy, Academia Sinica*)

CHEN LIN-FU ZHOU LI

(*General Research Institute for Nonferrous Metals, Ministry of Metallurgical Industry*)

YIN DAO-LE

(*Department of Physics, Beijing University*)

ABSTRACT

The phonon spectra of C-15 phase $(\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{V}_2)\text{H}_x$ with five different composition was measured with the Beryllium Filter Detector spectrometer. It was observed that their phonon spectra vary with their hydrogen content. The result shows that the change of T_c of $(\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{V}_2)\text{H}_x$ system with x is related to the softening of their acoustic branches. The softening of acoustic branches seems favourable to the rise of T_c , while the softening of optical branches may restrain its superconductivity transition.