

Ti_xY_{1-x}Ba₂Cu₃O_{7-y} 的远红外反射光谱*

俞志毅 叶红娟 陆卫 沈学础

(中国科学院上海技术物理研究所红外物理开放研究实验室, 上海)

李光远

(华东化工学院物理系, 上海)

摘要——报道了非稀土元素 Ti 部分替代稀土元素 Y 的 Ti_xY_{1-x}Ba₂Cu₃O_{7-y} ($x=0.2, 0.4$) 超导体的远红外反射光谱。观察到至少 7 个声子结构, 分别位于 136 cm⁻¹、154 cm⁻¹ (或 151 cm⁻¹)、193 cm⁻¹、230 cm⁻¹、280 cm⁻¹、293 cm⁻¹ 和 337 cm⁻¹ (或 345 cm⁻¹)。结果表明, 该超导体的能隙值 $2\Delta \approx 198 \text{ cm}^{-1}$, 对应 $2\Delta/k_B T_C \approx 3.4$ 。还对声子结构的物理起因作了探讨。

关键词——高 T_C 超导材料, 远红外反射光谱, 声子结构。

1. 引 言

目前, 远红外光谱和红外光谱方法已经成为研究高 T_C 超导体的声子结构及超导能隙的主要手段之一^[1,2]。为了研究元素替代对 Y-Ba-Cu-O 超导体物理性质的影响, 已有稀土元素 R (R=Sm, Gd, Eu, Ho, Er, ...) 替代元素 Y 的超导体及其远红外反射光谱的报道^[3~5]。然而非稀土元素替代元素 Y 的高 T_C 超导体及其远红外光谱研究至今未见报道。

本文首次报导非稀土元素 Ti 部分替代元素 Y 的 Ti_xY_{1-x}Ba₂Cu₃O_{7-y} ($x=0.2, 0.4$) 高 T_C 超导体的远红外反射光谱, 以期对其晶格振动行为及高温超导机制的研究提供有用的信息。结果表明: 在测量波数范围内, 至少存在 7 个声子结构; 该超导体至少存在一个能隙, 大约在 198 cm⁻¹, 对应 $2\Delta/k_B T_C \approx 3.4$ 。本文还对上述声子结构的来源进行了讨论。

2. 实 验

本工作所用样品是由 Y₂O₃, BaCO₃, CuO 和 TiO₂ 按名义配比混合在高温烧结而成的。详细制备过程如下: 首先在 930°C 温度的空气中预烧 24 小时, 经粉碎研细重新压片后在

本文 1988 年 7 月 28 日收到。

* 国家自然科学基金资助课题。

940°C 的氧气流中烧结 20 小时, 然后随炉自然冷却, 十几小时后样品温度从 940°C 降至 200°C. 这样制成的块状样品经 X 射线衍射测量表明样品中已基本不存在游离的 TiO_2 , 而成为 $\text{Ti}_x\text{Y}_{1-x}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ 多晶样品. 并且, $x=0.2$ 和 $x=0.4$ 时, 材料呈正交相结构; $x=0.6$ 时则从正交相转变为四方相. 采用标准四端法测量样品的直流电阻随温度的变化, 得到 $x=0.2$ 和 $x=0.4$ 样品的超导转变温度分别为 $T_0 \approx 89\text{K}$ 和 $T_0 \approx 84\text{K}$. 即样品的 T_0 随其中 Ti 含量的提高而逐渐下降.

远红外反射光谱是用 Nicolet 200 SXV 真空型傅里叶变换光谱仪测量的, 测量波数范围为 $50 \sim 360\text{cm}^{-1}$, 光谱分辨率为 2cm^{-1} . 待测样品置于可从 4.2K 到室温连续变温的 Oxford 光测杜瓦瓶内的冷指上. 低温反射装置^[6]的入射角约为 15° . 干涉仪分束片为 $6\mu\text{m}$ 厚的 Mylar 膜. 探测器为液氮致冷的 Ge 掺 Ga 测辐射热计.

3. 结果与讨论

图 1 给出 $x=0.2$ 和 $x=0.3$ 的 $\text{Ti}_x\text{Y}_{1-x}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ 样品在正常态以及超导态下的远红外反射光谱. 为便于比较, 图 1 右上方示出 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ 的结果. 图中 $x=0.2$ 样品的光谱向上略作平移, 以便看得更清晰. 从图 1 我们看到, 两个样品的反射率均随波数的增大而减小, 而在这个连续变化的背景上叠加了一些声子结构. 在 $50 \sim 360\text{cm}^{-1}$ 范围内至少可以观察到 7 个声子结构 (I, II, ..., VII). 同时, 样品在 S 处显示了能隙结构. 表 1 列出了上述

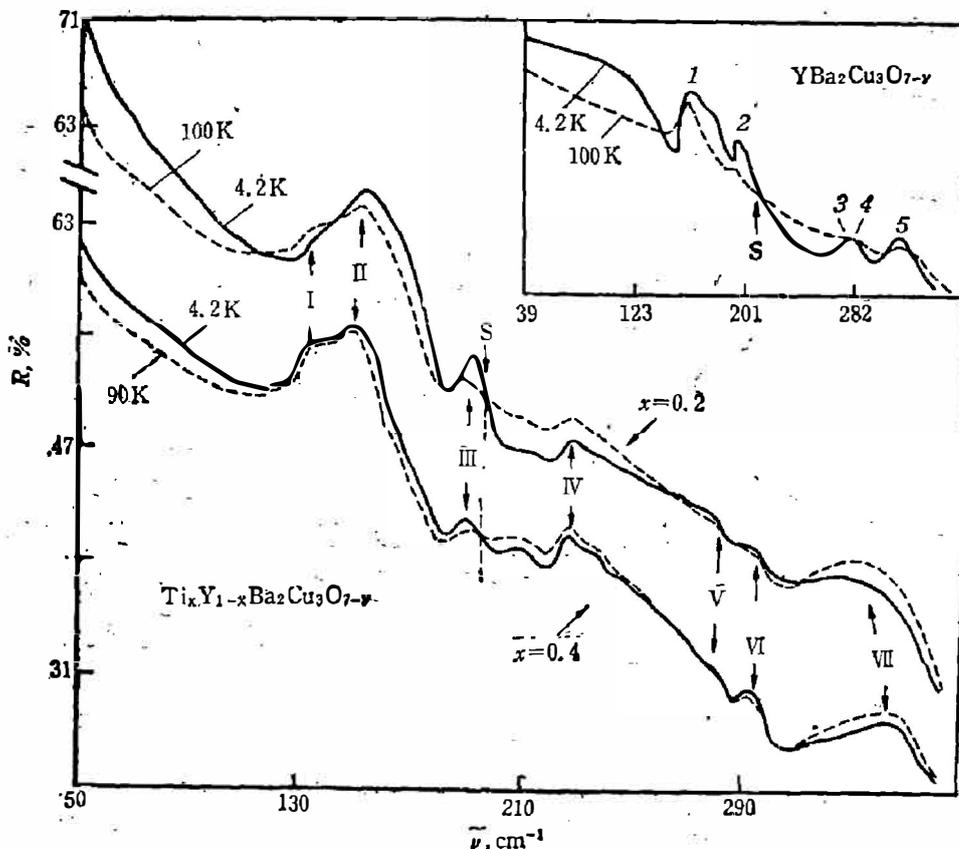


图 1 $\text{Ti}_x\text{Y}_{1-x}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ ($x=0.2, 0.4$) 超导样品的远红外反射光谱 (右上方为 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ 的结果)
 Fig. 1 Far-infrared reflection spectra of $\text{Ti}_x\text{Y}_{1-x}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ ($x=0.2, 0.4$) superconductors. The result of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ is shown for comparison.

表 1 Ti_xY_{1-x}Ba₂Cu₃O_{7-y} 远红外反射光谱中的声子结构及能隙结构的位置(cm⁻¹)Table 1 Positions of phonons and energy gaps of Ti_xY_{1-x}Ba₂Cu₃O_{7-y} in the FIR reflection spectra ($x=0, 0.2, 0.4$) (in cm⁻¹).

x	$T_c(K)$	I	II	III	IV	V	VI	VII	S	$2\Delta/k_B T_c$
0	93		159	195		267	277	313	209	3.4
0.2	89	136	154	193	230	280	293	337	200	3.4
0.4	84	136	151	193	230	280	293	345	198	3.5

表 2 Ti_xY_{1-x}Ba₂Cu₃O_{7-y} 远红外声子结构物理起源的判定结果Table 2 Assignment of the phonons of Ti_xY_{1-x}Ba₂Cu₃O_{7-y}.

声子结构	I	II	III	IV	V	VI	VII
初步判定	Ti 离子-O 离子振动	Ba 离子-O 离子振动	Y 离子-O 离子振动	Ti 离子-O 离子振动			Cu-O 键振动

结构的位置。

从图 1 及表 1 可以清楚地看到, 136 cm⁻¹ 和 230 cm⁻¹ 处的声子结构是 YBa₂Cu₃O_{7-y} 所没有的, 因而与 Ti 的替代有关。随着 x 从 0.2 增加到 0.4, 136 cm⁻¹ 及 230 cm⁻¹ 处的峰增强, 同时 193 cm⁻¹ 处的峰却随 x 增加而减小。这一事实说明 193 cm⁻¹ 峰与 Y 有关, 而 136 cm⁻¹ 及 230 cm⁻¹ 两峰与 Ti 有关。稀土元素完全替代元素 Y 的 RBa₂Cu₃O_{7-y} 的远红外光谱研究表明^[5] YBa₂Cu₃O_{7-y} 在 195 cm⁻¹ 的声子结构与 Y 有关, 以上判定与这一结果是一致的。根据以往的讨论^[1~3], 我们认为 154 cm⁻¹ (或 151 cm⁻¹) 峰与 Ba 有关, 280 cm⁻¹、293 cm⁻¹ 及 337 cm⁻¹ (或 345 cm⁻¹) 处的声子结构则与 Cu-O 键的低频振动有关。表 2 列出了声子结构 I~VII 的判定结果。

4. 结 语

本文报道了 Ti_xY_{1-x}Ba₂Cu₃O_{7-y} ($x=0.2, x=0.4$) 超导样品的远红外反射光谱。在 50 ~ 360 cm⁻¹ 范围内观察到至少 7 个声子结构, 对它们的可能来源作了讨论, 认为它们分别与 Ti 离子-O 离子振动、Ba 离子-O 离子振动、Y 离子-O 离子及 Cu-O 键的低频振动有关。结果表明: Ti_xY_{1-x}Ba₂Cu₃O_{7-y} 至少存在 1 个位于 ~198 cm⁻¹ 的能隙结构, 对应的 $2\Delta/k_B T_c \sim 3.4$ 。

致谢——本所四室低温车间为本项研究提供了液氮, 作者深表谢意。

参 考 文 献

- [1] 叶红娟、陆卫、俞志毅、沈学础等, *Phys. Rev.*, **B36** (1987), 8802.
- [2] 叶红娟、陆卫、俞志毅、沈学础等, *Chin. Phys. Lett.*, **5** (1988), 161.
- [3] Genzel, J. et al., *Solid State Commun.*, **63** (1987), 843.
- [4] Cardona M. et al., *Solid State Commun.*, **64** (1987), 727.
- [5] 叶红娟、俞志毅、陆卫等, *物理学报* **38** (1989), 5.
- [6] 陶凤翔、沈学础, *红外研究*, **5** (1986), 65.

FAR-INFRARED REFLECTION SPECTRA OF $\text{Ti}_x\text{Y}_{1-x}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ SUPERCONDUCTORS*

YU ZHIYI, YE HONGJUAN, LU WEI, SHEN XUECHU

(Laboratory for Infrared Physics, Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica, Shanghai, China)

LI GUANGYUAN

(Physics Department, East-China University of Chemical Technology, Shanghai, China)

ABSTRACT

The far-infrared reflection spectra of high T_C superconductors $\text{Ti}_x\text{Y}_{1-x}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ ($x=0.2, 0.4$) are reported. At least seven phonon structures have been observed at about 136, 154 (or 151), 193, 230, 280, 293, and 337 cm^{-1} . The energy gap Δ is estimated as $2\Delta \approx 198 \text{ cm}^{-1}$, corresponding to a ratio of $2\Delta/k_B T_C \approx 3.4$. The physical origin of the phonons is discussed.

* Project supported by the Fund of the Chinese National Natural Sciences.