

研究简报

低温凝聚 InSb 膜相变过程中的 时间效应和超导电性

曹 效 文

(中国科学院等离子体物理研究所)

张 裕 恒

(中国科学技术大学物理系)

1983年12月7日收到

提 要

本文研究了低温凝聚 InSb 膜相变过程中出现的时间效应和超导电性,获得了几个重要结果:(a)低温凝聚 InSb 膜从发生第一次电导跃变以后到第二次电导跃变之前,样品处于同一非晶金属态,并且具有相同的超导转变温度 T_c ; (b) T_c 和退火温度 T_a 的关系十分类似于电导随 T_a 的变化关系;(c) 随着第二次电导峰值后的电导下降,在某些特殊的相变区 $R(T)$ 超导转变中,样品由完全的超导电性逐渐过渡到部分的超导电性;(d) 相变过程中存在显著的时间效应。

一、引 言

作者及其合作者^[1,2]曾经研究了底板温度在 57—110K 的低温凝聚 InSb 膜的相变以及未经退火的新鲜凝聚膜的超导转变温度与凝聚底板温度之间的关系。本文研究了低温凝聚 InSb 膜的退火相变过程,以及在这个过程中所出现的亚稳态中间相的超导电性和相变过程中的时间效应。

二、实 验 结 果

我们的 InSb 样品是在一个能进行原位蒸发凝聚和超导电性测量的装置^[3]上制备的。蒸发凝聚时的真空度为 10^{-6} Torr 量级,低温底板的温度是可以控制的。样品的超导电性用四端引线法测量。温度用标定过的碳电阻温度计测量。

1. 相变特点

80K 低温底板凝聚 InSb 膜的相变特点如图 1 所示。必须指出的是,相变和超导电性测量是在 83-5# 和 83-7# 两个样品上完成的,但实验表明,这两个制备条件相同的样品的

相变(电导 σ 与温度 T 的关系)特点也是基本相同的. 图1中200K以下温区的 σ - T 关系

取自样品83-5[#], 其余取自83-7[#].

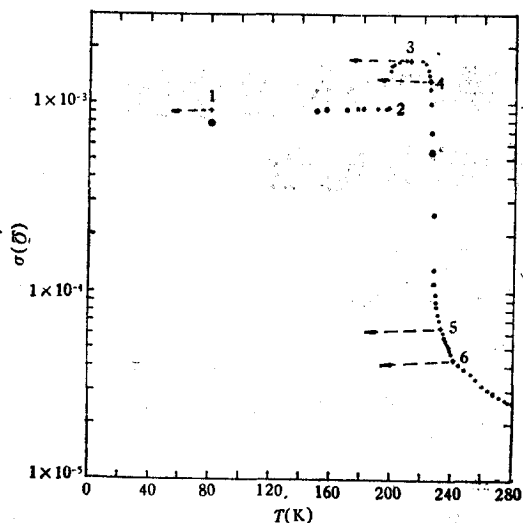


图1 低温凝聚 InSb 膜相变与退火温度关系

衬底温度为 80K;

○ 为凝聚膜的初始电导;

+ 为进行过超导 T_c 测量的点

后又跃变到 270 Ω , 28min 后下降到 260 Ω , 以后基本不变.

(c) 第一次跃变不完全. 在升温退火过程中, 还不断出现多次的电导跃变, 见图 2(c).

2) 峰值电导

从图1看到, 当退火温度 T_a 升高到 197K 时, 发生第二次电导跃变, 大约到 220K 左右电导又迅速下降. 在 197—220K 温区中, 电导出现峰值, 相应的相是金属相. 相应于这个温区的结构, 降温时, σ 基本不随温度变化, 或 σ 随温度降低稍有增加.

3) 相应于峰值后沿结构的 σ - T 关系

我们把图1中第二次电导跃变峰的电导突然升起部分称为前沿, 大幅度下降部分称为后沿, 图3给出后沿典型点降温再退火电导 σ 变化的情况.

样品制备完毕后, 进行第一次退火. 在退火温度 $T_a < 197K$ 时, 电导基本保持稳定值. 由 197K 降温到 77K, 电导 σ 和 T 的关系与退火重复. 第二次退火到 T_a 高于 197K 发生第二次电导跃变, 当升温到 214K 时已达到峰值的后沿, 电导从峰值开始迅速下降. 当从 214K 降低时, σ 基本还不随 T 变化, 而重新升温, 即进行第三次退火时, 当 T_a 到 197K, σ 就明显地低于降温过程相应温度下的 σ , 当 T_a 到 209K 时, 其电导比降温开始(214K)时迅速地降低三倍多, 见图3中实验点“+”. 由此降温再进行第四次退火, 当 T_a 超过 193K, σ - T 就明显偏离于降温, T_a 高于 193K 后样品的 σ 迅速下降. 当 T_a 到 226K 再次降低, 此时 σ 随 T 降低而明显减小, 而后对样品进行第五次退火实验, 发现还不到 180K 电导就偏离于降温相应的值. 退火到 253K, 把样品迅速降低到 77K, 并随即进行第六次退火, 如图3的实验点“ Δ ”, 发现它的 σ - T 的斜率反而比第五次小, 而且降温 and 退火的

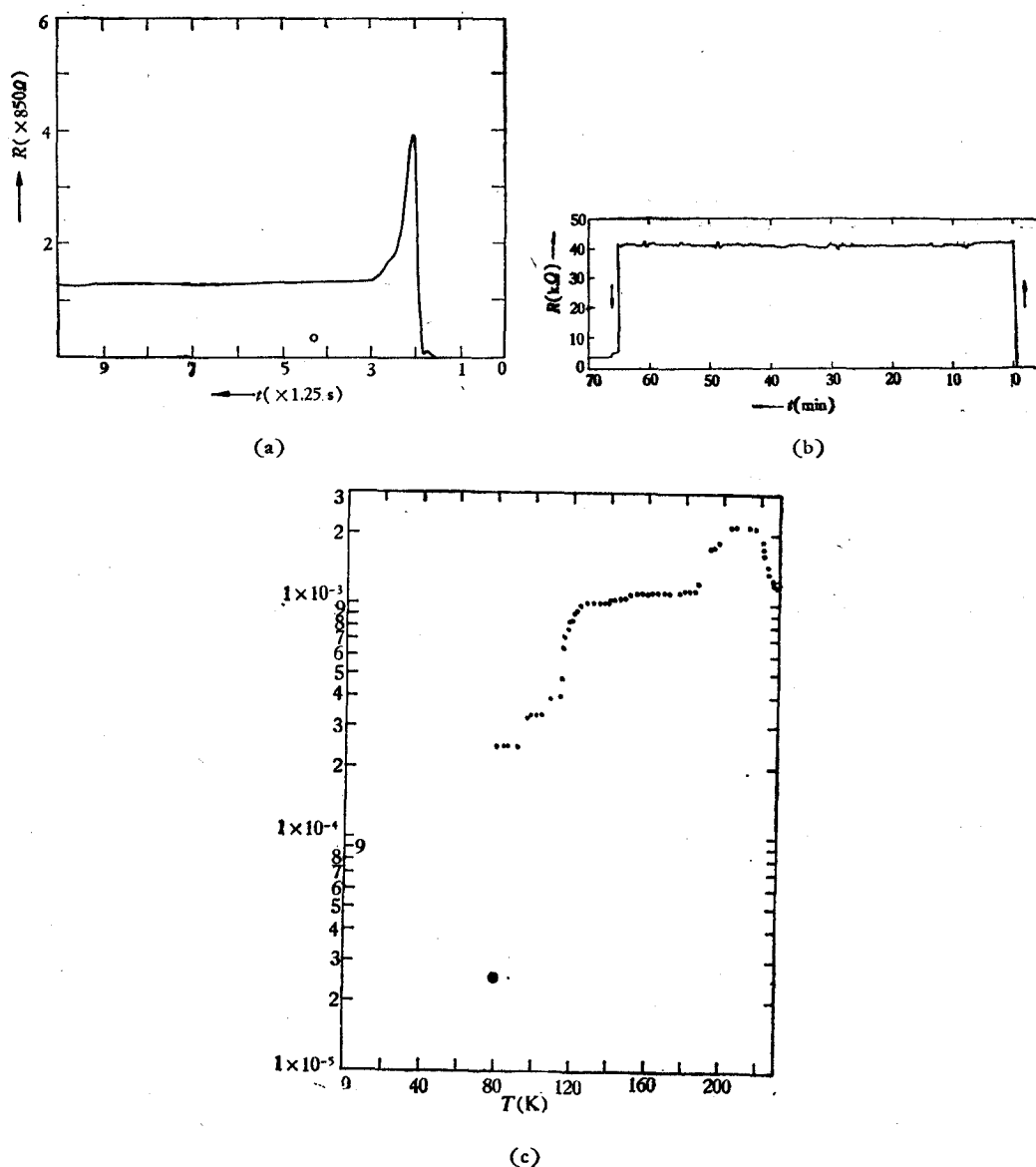


图 2

σ - T 偏离不大。当 T_c 到 280K 时发生第三次电导跃变。

从以上实验事实可以看出,在第二次电导跃变的下降阶段,每两次退火之间,在前次退火最高温度前后,其 σ - T 是不重复和不衔接的。

2. 亚稳中间相的超导电性

1) 超导转变温度与退火温度的关系

我们测量了衬底温度为 80K 的低温凝聚 InSb 膜的相变过程中各特征阶段所形成的亚稳中间相的超导电性。它们相应于图 1 中的“+”点。

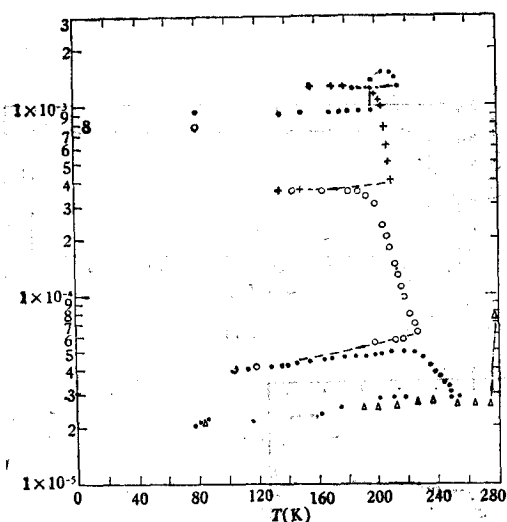


图 3

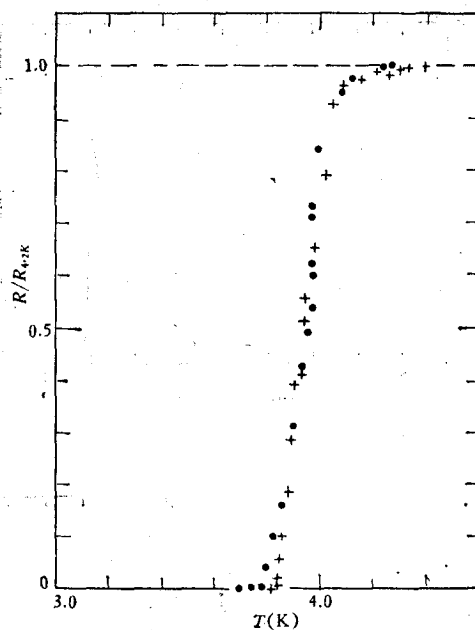


图 4

●为第1点; +为第2点

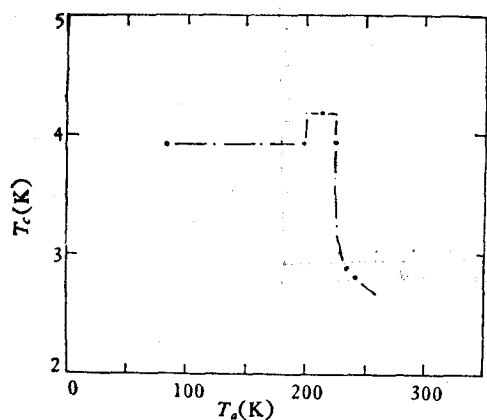
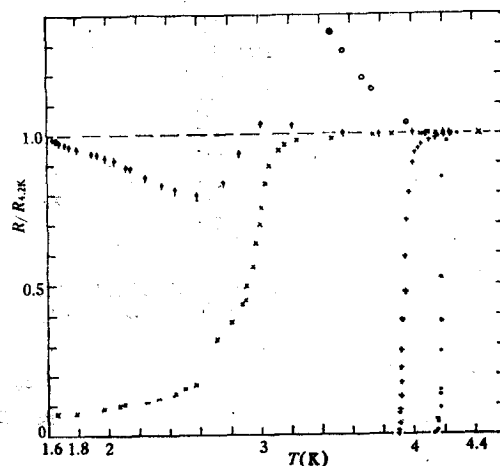
图 5 T_c 随退火温度的变化

图 6 由亚稳金属相过渡到结晶相过程中相应的超导转变

●为曲线3; +为曲线4; ×为曲线5; ◆为曲线6; ○为曲线7

样品淀积凝聚并发生第一次电导跃变后所对应的相(图1中点1)的超导转变在图4中给出,其 T_c 值为 $3.96 \pm 0.05\text{K}$;温度升高到197K(图1中点2),样品的超导转变也会在图4中,它的 T_c 值为 $3.94 \pm 0.05\text{K}$ 。两种状态下的 T_c 值几乎完全相同,其差别在实验误差范围内,而且两条超导转变曲线的形状也几乎完全相同,说明第一次跃变到发生第二次电导跃变之前处于同一个状态。

图 1 中,第二次电导跃变后达到峰值,对应的超导转变温度 T_c 最高,我们测得退火温度为 210K 时,相应于图 1 点 3 状态的 T_c 为 $4.18 \pm 0.05\text{K}$.

对应于第二次电导跃变的后沿,测得相应于图 1 点 4, 5, 6 状态的 T_c 分别为 3.95K, 2.90K 和 2.84K. 图 5 给出 T_c 与 T_a 的关系,它十分类似于 σ - T_a 的关系.

2) 部分超导电性

从图 1 和图 6 可以清楚地看到,从第二次电导跃变峰值的后沿,当 T_a 升高时,其电导迅速下降,和这个相变过程相应的样品的超导转变有以下几个显著特点: T_c 随样品 σ 的下降而降低;超导转变宽度 ΔT_c 显著增加;样品由高电导时的完全超导电性($R = 0$)逐步过渡到部分超导电性($R \neq 0$),如图 6 曲线 5 直到 1.5K, R 都不等于零,并且随着 T_a 的继续升高,样品的超导部分愈来愈少,见图 6 的曲线 6.

三、讨 论

时间效应主要发生在两个阶段,即第一次电导跃变和第二次电导跃变的后沿.

第一次电导跃变的时间效应十分明显,在此不赘述.

在第二次电导跃变后沿的典型状态下降温和退火实验中,除了第五次退火后是急速降温以外,其余各次都是缓慢的,因而在降低过程中它不是保持初始结构,而是随着时间增加尚有一个继续相变的过程,直到某一个较低的温度相变才停止. 以第四次降温和第五次退火为例,当降温到 180K 左右相变停止,所以第五次退火到 180K 以前升降温过程的实验是重复的,而 T_a 继续升高时,它保持着 180K 的结构,显然,在大于 180K 的某一温度下, σ 低于降温时同一温度下的 σ . 而当温度升高到接近于相变的 σ - T_a 曲线时,急剧的相变发生, σ 迅速下降.

降温过程中的时间效应还可由第五次降温证实,由于它是急速降温,所以结构来不及变化,故降温到 77K 时的结构仍保持开始降温时的结构. 它的 σ - T 关系接近于真实的温度效应,而未掺进相变的影响,故它的 σ - T 的斜率反而比第四次小,而且第六次退火与降温时的实验值的重合也将延伸到更高温度.

袁松柳、沈秀玲、王军和刘宏宝同志分别参加了部分实验工作,作者向他们表示感谢.

参 考 文 献

- [1] 曹效文、张裕恒、彭先会、陈贻华、李玉芝,科学通报, 27(1982),1108; Kexue Tongbao, 28 (1983), 1053.
- [2] 曹效文、张裕恒,物理学报, 32(1983),1191.
- [3] 彭先会,低温物理, 4(1982),335.

THE TIME EFFECTS AND SUPERCONDUCTIVITY IN THE PROCESS OF PHASE TRANSITION IN InSb FILMS CONDENSED AT LOW TEMPERATURES

CAO XIAO-WEN

(Institute of Plasma Physics, Academia Sinica, Hefei)

ZHANG YU-HENG

(Department of Physics, University of Science and Technology of China, Hefei)

ABSTRACT

In this work, the time effects and superconductivity in the process of phase transition in InSb films condensed at low temperatures are studied. The following important experimental results are obtained: (a) Between occurrence of the first and the second conductance jump, the film samples are in the same amorphous metallic state, and have the same superconducting transition temperature T_c . (b) The relationship between T_c and annealing temperature t_a is very similar to that between conductivity σ and T_a . (c) After the second jump, the conductance decreases, during the process of superconducting transition in certain transition zone $R(T)$, the samples transform gradually from perfect to partially superconducting. (d) There are obvious time effects in the process of phase transition.