

低温凝聚 InSb 膜相变过程中的 结构及其超导电性*

张裕恒 袁松柳¹⁾ 周贵恩 王昌燧

(中国科学技术大学物理系)

曹 效 文

(中国科学院等离子体物理研究所)

1985 年 5 月 3 日收到

提 要

本文研究了低温凝聚 InSb 膜相变过程中的结构变化及其对超导电性的影响. 由 X 射线衍射分析发现一系列新结果, 从而解释了低温凝聚 InSb 膜相变过程中的电导及相应的 T_c . 本文指出对应于第二电导峰值的 T_c 是六方晶系 (InSb)H 的层状导电机制所致.

一、引 言

我们发现在低温凝聚 InSb 膜的相变过程中, 存在一系列新的亚稳中间相变, 在某些相变区存在反常超导相变^[1-4]. 显然, 这些超导相变及其反常行为是与低温凝聚 InSb 膜相变过程中的结构变化密切相关的.

本文对低温凝聚 InSb 膜相变过程中的结构做了 X 射线衍射分析, 实验发现一系列新结果, 从而解释了相变过程中的电导及相应的 T_c 行为.

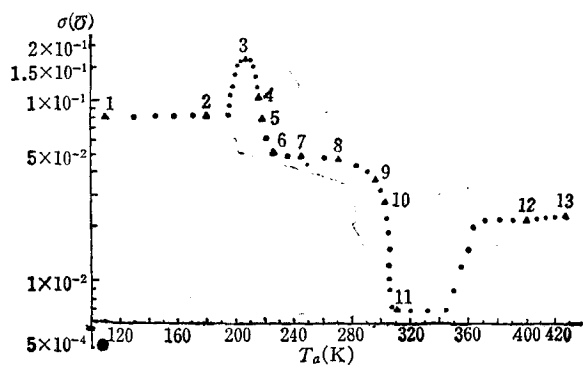


图 1

* 中国科学院科学基金资助的课题.

1) 中国科学技术大学物理系 82 级研究生.

二、实验结果

1. X 射线衍射分析

InSb 膜样品是在一个低温凝聚装置上制备,该装置并可原位进行X射线衍射实验和测量电导.当退火获得其典型的亚稳相结构时,急速淬火到液氮温度以保持这个结构^[3],在液氮温度下进行X射线衍射分析.

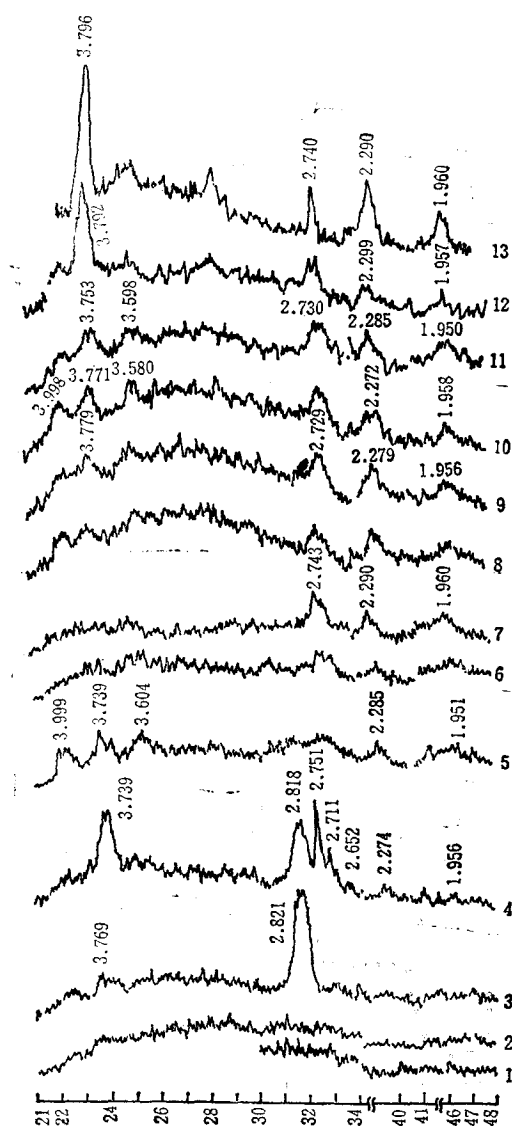


图 2

退火到图1的第6点,X射线衍射轨迹给出除了In强度稍有增强外,其余部分几乎与非晶相同.

图1给出了低温凝聚 InSb 膜相变过程中的电导 σ 与退火温度 T_a 的关系.我们分别就图1中的第1,2,...,13点的典型结构进行X射线衍射实验.图2是其衍射图.

很明显,相应于图1第1点和第2点的结构,也就是第一电导跃变之后和第二电导跃变之前的结构是非晶态的.见图2中第1,2条X射线衍射线.

相应于图1中第3点的结构,也就是第二电导跃变峰值的结构,X射线衍射图(见图2的第3条衍射线)给出一个晶面间距为2.821 Å的强衍射峰.它是六方晶系的InSb相,记作(InSb)H.这个相是相应于125Kbar高压下形成的相.此外还存在一个强度很弱的面心立方系InSb相,其面间距为3.769 Å,记作(InSb)8F.

对应于图1第4点的结构,在图2中第4条衍射线给出.新相(InSb)H衍射峰强度减弱,同时分裂出另外两个新衍射峰:一是面间距为2.751 Å的体心四方结构(记为(InSb)4u)的峰;另一个是2.711 Å的In峰.此外在(InSb)8F的(111)面上衍射峰强度大大增强,其面间距 $d_{111} = 3.753$ Å.

对 T_a 稍稍升高而且电导变化并不很大的图1第5点结构,(InSb)H相结构的衍射峰几乎消失,(InSb)8F相在(111)面上的衍射峰也大大减弱,而(InSb)8F在(220)和(311)面上的衍射峰明显出现.当

T_a 继续升高到图 1 中的 7, 8, 9, 10, 11 点, 相应的图 2 中第 7, 8, 9, 10, 11 衍射图给出, 除了 In 峰几乎未发生变化外, (InSb)8F 在 (111), (220) 和 (311) 面上的衍射峰逐渐增强. 同时还有少量的 Sb 被析出.

图 1 中的第 11 点相应于电导谷值, 当 T_a 再升高, 电导发生第三次跃变到第 12 点, 12 点以后, 电导 σ 随 T_a 升高变化不大. 相应于图 1 中第 12, 13 点的结构, X 射线衍射分析表明, 除了 In, Sb 峰衍射强度几乎未变外, (InSb)8F 在 (111), (220) 和 (311) 面上的衍射强度大大增强.

2. T_c - T_a 关系

我们就某些典型的相变区进行超导转变温度 T_c 的测量, 发现 T_c 和 T_a 关系非常类似于 σ 和 T_a 的关系^[2], 见图 3.

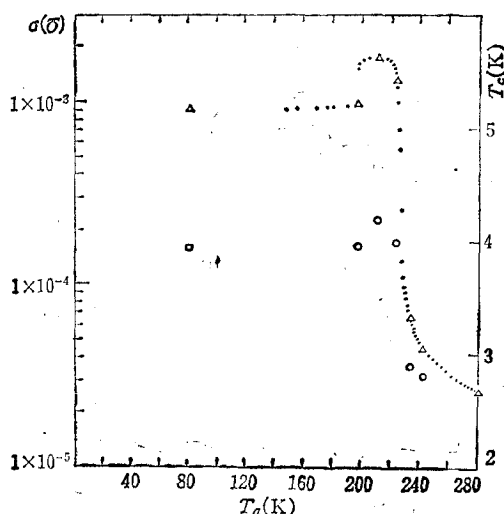


图 3

三、结果分析

1. 亚稳中间相的电导

相应于图 1 中第 1 点和第 2 点的结构, X 射线衍射结果指出它们是典型的非晶态, 并且具有非晶金属电阻温度系数^[3], 这说明第一电导跃变(见图 1 中的 $\odot$ 点)是由非晶半导体相^[2]到亚稳金属相的相变.

图 1 中的第 12, 13 点, X 射线衍射结果给出 InSb 膜是典型的结晶相, 在 (InSb) 8F 的 (111), (220) 和 (311) 面上有明显的尖峰, 特别是 (111) 面上的衍射峰尖锐而且强度很强, 这表明 InSb 膜已形成较大晶粒的 (InSb)8F 的结晶相. 而图 1 上电导谷值的第 11 点衍射峰虽然也是在 (111), (220) 和 (311) 面上的三个, 可峰不尖锐, 说明它是微晶或细晶结构. 在此结构下, 界面电阻很大. 而当他们再结晶时, 界面大大减少, 故电导增加. 因此图 2 第

11 到第 12, 13 衍射图说明图 1 中的第三电导跃变是微晶或细晶再结晶的过程。

相应于电导第二跃变峰值, 出现一个 (InSb)H 的衍射峰, 比较图 2 的第 3 和第 12, 13 条衍射轨迹, 我们看到 (InSb)H 新衍射峰的强度和结晶半导体 (InSb)8F 的衍射强度相同, 说明这个六方晶系的新相有较强的有序度。而 (InSb)H 又是层状结构^[3], 故电导峰值处较强的金属性是 (InSb)H 层状导电所致。

第二电导峰值后, (InSb)H 逐渐减弱, 且析出 In 和 (InSb)8F 相。图 2 的 X 射线衍射结果给出, 从图 1 的第 4 点到 11 点, (InSb)8F 在 (111), (220), (311) 面上逐渐出现且慢慢增强, 所有的峰都不尖锐, 说明在这个区域中的金属性的 (InSb)H, In 和半导体的 (InSb)8F 都是微晶或细晶。显然第二电导峰值后的结构是 (InSb)H, In 相与 (InSb)8F 相的小晶粒混合。其电导正是混合相导电所致。

2. 亚稳中间相的 T_c

我们测得相应于第二电导峰值结构的 T_c 是 4.18 K, 这个最高的 T_c 是较强有序的 (InSb)H 相的贡献。Stromberg 等人^[6]指出在 27kbar 下 InSb 的 T_c 是 1.87K, 它是四方结构, 而六方晶系必须在 125 kbar 下才能形成。显然我们得到的 T_c 高是由于相应于更高压力下的 (InSb)H 结构所致。

而在第二电导峰的后沿出现混合相, 在混合相中微晶或细晶的 (InSb)8F 成分逐渐增多, 以致金属相与半导体相之间的邻近效应使 T_c 逐渐降低^[4]。

参 考 文 献

- [1] 曹效文、张裕恒, 物理学报, **32**(1983), 1191.
- [2] 曹效文、张裕恒, 物理学报, **33**(1984), 1753.
- [3] 张裕恒、刘宏宝、袁松柳、曹效文, 物理学报, **34**(1985), 640.
- [4] 张裕恒、刘宏宝、袁松柳、曹效文, 物理学报, **34**(1985), 640.
- [5] W. A. Wooster, Diffuse X ray reflections from crystals, (杨顺华等译, X 射线在晶体上的漫反射, 科学出版社, 125 页 (1964)).
- [6] T. F. Stromberg and C. A. Swenson, *Phys. Rev.*, **A21** (1964), 134.

THE STRUCTURE AND SUPERCONDUCTIVITY IN THE PROCESS OF PHASE TRANSITION IN InSb FILMS CONDENSED AT LOW TEMPERATURE

ZHANG YU-HENG YUAN SONG-LIU ZHOU GUI-EN WANG CHANG-SUI

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

CAO XIAO-WEN

(Institute of Plasma Physics, Academia Sinica, Hefei)

ABSTRACT

The structure changes and their effect on superconducting phase transitions in the process of the phase transitions in InSb films condensed at low temperature are studied. A series of new results are found through the experiment of X-ray diffraction. The conductivity and corresponding T_c are explained in this article. It is shown that the second peak of electroconductance is caused by layers conducting mechanism of hexagonal (InSb)H.