

低温凝聚 InSb 膜的相变和超导电性

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)

1982年12月27日收到

提 要

本文研究了低温凝聚 InSb 膜的相变和超导电性,获得了以下新的实验结果:(1)第一次电导跃变是自发的,与 InSb 凝聚温度无关;(2)第二次跃变发生并达到峰值后,退火温度进一步升高,电导迅速减小,并伴随着结晶半导体相的形成。但实验证明它是一个亚稳结晶相,当退火温度再升高时,发生第三次跃变,形成的相也是一个金属相,但直到 1.5K 未出现超导电性;(3)第一次电导跃变后形成的金属相是超导的,其 T_c 随底板温度不同而不同。

Петросян 等^[1]利用 120K 的冷底板制成了具有半导体性质的 InSb 非晶相。当退火温度升高到 200K 左右时,发生一次电导跃变,并且在 230K 达到最大值;当温度继续升高到 240K 左右时,电导迅速下降,并且迅速转变成由闪锌矿和纤锌矿结构组的半导体相。实验表明,电导峰值对应的相是一个金属相,并且是一个超导体,其 $T_c = 4.1K$ 。

作者及其合作者^[2]研究了在 90—110K 的冷底板上凝聚的 InSb 膜的相变和超导电性,发现在淀积凝聚的温度范围内发生第一次电导跃变,所形成的相是金属相,并且是一个超导体,其 $T_c = 2.8K$ 。当温度升高到 200K 附近时,发生第二次电导跃变,并且在 210K 达到最大值。当温度继续升高时,电导迅速下降。第二次电导跃变峰值对应的相是金属相,并且也是一个超导体,其 $T_c = 4.2K$ 。第二个电导跃变及其性质和 Петросян 的结果^[1]一致。

我们进一步研究了在更低温度的冷底板上凝聚的 InSb 膜的相变特点及其超导电性,并获得了以下几个新的重要结果:(a)在我们所研究的底板温度范围内,所发生的第一个电导跃变是自发的,与温度无关。随着底板温度的降低,第二个电导跃变的峰值降低,并且当底板温度达到或低于 77K 时,第二个电导跃变消失。(b)第二个电导跃变后,随着退火温度的继续升高,电导迅速降低,并伴随着结晶半导体相的形成。但是实验表明它也是一个亚稳相,当温度再继续升高时,发生第三个电导跃变。第三个电导跃变所形成的相也是个金属相,但它在 1.5K 以上温度范围内,未呈现出超导电性。(c)第一个电导跃变后所形成的金属相的超导转变温度随底板温度的不同而异。

二

我们的 InSb 膜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。

低温凝聚 InSb 膜随温度升高所产生的相变特点示于图 1 至图 3。由图 1 至图 3 可以看出有以下几个特点。

1. 第一个电导跃变是完全自发的, 与淀积凝聚时的底板温度无关, 即凝聚相是不稳定的。每个样品蒸发凝聚以后, 在样品温度保持不变的情况下, 于几秒钟时间范围内发生电

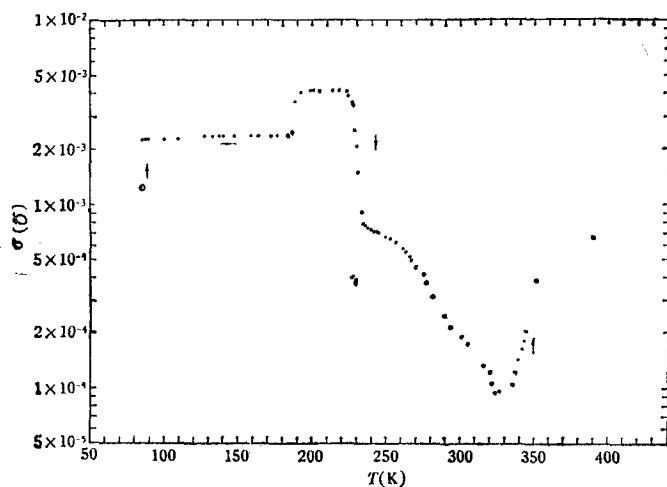


图 1

底板温度为 85K; $\odot$ 为凝聚膜的初始电导

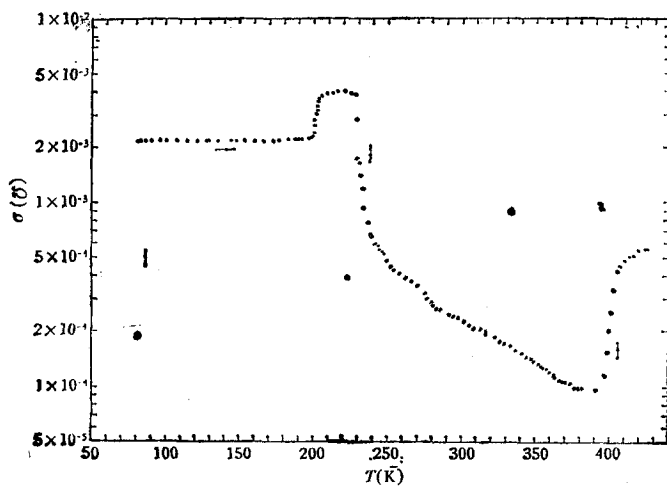


图 2

底板温度为 81K. $\odot$ 为凝聚膜的初始电导

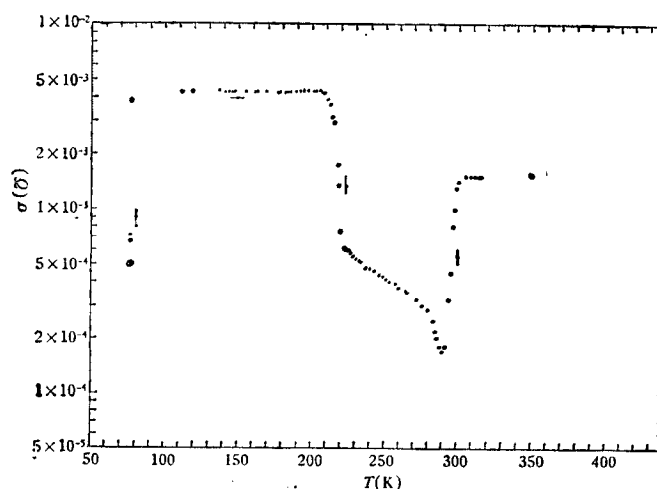


图 3

底板温度为 77 K; ○ 为凝聚膜的初始电导

导跃变。以 82-2 样品为例,淀积凝聚膜的初始电阻是 $2\text{k}\Omega$, 5 秒钟后跃变到 $1.5\text{k}\Omega$, 约半分钟后又跃变到 270Ω , 28 分钟后下降到 260Ω , 以后基本不变,这时的温度恒定在 77K。

2. 第一个电导跃变后所形成的相是一个金属相, 并且都是超导的。从第一个电导跃变一直到发生超导转变前的整个温区内, 样品电阻仅有微弱的温度关系, 并且温度系数是负的, 这和大量的非晶态金属类似, 这和作者在文献 [2] 中的结果是一致的。

3. 随着凝聚底板温度的降低, 第二电导跃变峰值(在 200K 左右)的相对高度(峰值与第二电导跃变发生前的电导值的比)略有增高(见表 1)。但是当底板温度达到 77K 或更低温度时, 第二个电导跃变消失(见图 3)。

表 1

样 品	底 板 温 度 (K)	第二电导跃变峰值的相对高度
81-4	91	1.7
82-3	85	1.73
82-7	81.4	1.82
82-6	80.3	1.9

4. 在 210—220K 发生电导下降后, 样品逐渐形成结晶半导体相, 它的电阻在液氮温区的温度关系是一个指数关系(详细结果将另文发表)。但是实验表明, 这个半导体相也是亚稳的, 随着退火温度的继续升高, 发生第三个电导跃变(见图 1 至图 3)。

应该着重指出的是, 第三个电导跃变所形成的相也具有金属性质。它的电阻率仅有微弱的温度关系, 并且这种关系一直延续到液氮温区。表 2 给出了样品 82-2 发生第三个电导跃变, 并且达到一个稳定值以后的电阻的温度关系。第三个电导跃变所形成的相具有金属性质的这一特性(即由半导体相转变成金属相), 是一个目前尚不能解释的问题, 有待于实验和理论上的进一步研究。

我们研究了各种底板温度下淀积凝聚 InSb 膜, 在发生第一次电导跃变后所形成的

表 2

温度 (K)	316*	77	45	40	29	22	15	5	3	2.5	2.25
电阻 (Ω)	662	768	771	772	773	774	774	775	780	781	783

* 退火的最高温度和开始降温的温度。

表 3

样 品	淀积时的底板温度 (K)	超导转变温度 T_c (K)
Петросян	120	—
81-2	102	2.8
82-3	85	4.0
82-2	77	3.8
82-8	57	2.2

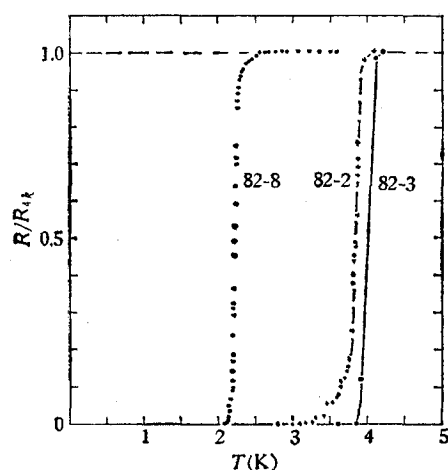


图 4

金属相的超导电性,结果示于图 4 和表 3。由图 4 和表 3 可以看出,不同的底板温度所凝聚的 InSb 膜具有不同的 T_c 值,并且随着底板温度的降低, T_c 通过一个峰值。

我们研究了第三个电导跃变所形成的金属相的超导电性的可能性,实验表明,一直到 1.5K 未出现超导电性。

详细的实验结果和分析讨论将另文发表。

我们特别感谢彭先会同志参加了实验的全过程。第三个电导跃变所形成的金属相的超导实验是由物理研究所王平书和郑家祺同志帮助测量的。在样品的制备过程中,曾得到杨乾声、刘贵荣、陈莺飞、陈赓华和王小玲等同志的帮助。作者在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] В. И. Петросян, О. И. Васин, С. И. Стенин, Н. Ф. Бонзаренко, А. П. Скринкина, *Письма в ЖЭТФ*, **26** (1977), 10.
- [2] 曹效文、张裕恒、彭先会、陈赓华、李玉芝, *科学通报*, **27**(1982), 1108.
- [3] 彭先会, *低温物理*, **4**(1982), 335.

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

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

We have studied the phase transition and superconductivity of InSb films condensed on substrate at low temperatures and obtained the following new experimental results: (a) First jump of conductance is spontaneous and independent of temperature in the temperature region in which InSb films were condensed. (b) After second jump of the conductance appears and reaches a peak, the conductance drops quickly and is accompanied by the formation of crystalline semiconductor phase as annealing temperature is increased further. But experimental results show that it is a metastable crystalline phase and third jump of the conductance takes place as annealing temperature is raised further. The phase formed after third jump of the conductance is a metallic one, but it does not become superconductive until 1.5 K. (c) Superconducting transition temperature of the phase formed after first jump of the conductance is different along with different temperatures of the substrate.