

急冷 Al-Si 超导合金的负磁阻效应

管惟炎 陈熙琛 王祖仑 易孙圣

(中国科学院物理研究所)

1981年3月7日收到

提 要

本文研究了热处理对急冷(快速淬火) Al-11.3at% Si 共晶合金的微观结构和超导电性的影响。实验发现 100℃/50hr 退火样品在超导-正常转变区内有负磁阻效应,这表明在这种样品中存在两个超导相。

近年来,关于 Al-Ge, Al-Si 超导合金的研究,已逐渐引起人们的注意。不同方法制备的 Al-Ge, Al-Si 亚稳态合金的临界温度 T_c , 较之纯 Al 有显著的增高^[1,2]。某些作者将 T_c 升高的原因归之于金属 (Al)、半导体 (Ge 或 Si) 间的界面效应^[2,3]。

我们认为,阐明这些合金 T_c 升高的机制,还必须依赖更多的、更仔细的实验事实。本文研究了热处理对急冷 Al-Si 共晶合金的结构及超导电性的影响。

我们配制了 Al-11.3at% Si 共晶合金。原料采用纯度为 99.99% 的 Al 及 99.9999% 的 Si。在 10^{-5} torr 真空下熔炼的合金保持了原料的纯度。用喷射法将上述合金在单辊上制成液态淬火的薄带,冷却速度为 10^6 — 10^7 ℃/sec。

获得的急冷样品,封装在抽空并充稀薄 Ar 或 He 气的石英安瓶中进行热处理。采用了 100℃/50hr 及 200℃/100hr 等规范。

对急冷态和经不同规范热处理的样品进行了 X 射线结构分析、电子显微形貌分析和选区电子衍射。

透射电子显微镜衍衬象指出,液态淬火急冷态样品的组织是由两种区域组成的[图 1 上的 1 和 2 (见图版 I)]。区域 1 的选区电子衍射表明,它是取向单一的 α -Al 固溶体晶体,其中有微量的弥散 Si。区域 2 的电子衍射呈弥散环,它表明区域 2 是 Al, Si 原子呈统计分布的非晶态区。样品经过 100℃/50hr 热处理后, α -Al (Si) 固溶体,仍保持其单一取向的特点[图 2 的中心区 (见图版 I)],在非晶态区,在不同的部位程度不同地析出弥散的相,在暗场象上呈白亮点。选区电子衍射和 X 射线分析结果表明,这些弥散颗粒是 Si 的晶体,呈球状。样品经过 200℃/50hr 热处理后, Si 已大量析出,呈条状结构,出现聚集的 Si 块,已趋向平衡组织[图 3 (见图版 II)]。

利用交流电桥,对上述三种样品进行了低温下的电阻测量。

液态淬火急冷态样品超导转变温度较高 ($T_c = 4.20$ K), 转变温区较宽 ($\Delta T_c = 0.8$ K), 室温与 4.2K 电阻比较低 ($R_{300K}/R_{4.2K}$ (正常态) = 1.66)。

经 100℃/50hr 热处理后的样品, T_c 下降到 1.88 K (仍显著高于纯 Al 的 T_c), 转变

宽度变窄 ($\Delta T_c \sim 0.07\text{K}$), 电阻比增大 ($R_{300\text{K}}/R_{4.2\text{K}} = 2.50$).

经 $200^\circ\text{C}/100\text{hr}$ 热处理后的样品, T_c 已下降到 1.10K , 接近纯 Al 的 T_c , 转变宽度更窄 ($\Delta T_c \sim 0.01\text{K}$), 电阻比则进一步增大 ($R_{300\text{K}}/R_{4.2\text{K}} = 5.40$).

上述 $100^\circ\text{C}/50\text{hr}$ 热处理后的样品, 在磁场中的电阻转变十分反常. 如图 4 所示, 当通过样品的电流较小时 (如电流小于 1mA), 在超导-正常转变区内, 样品的电阻随磁场的增大单调增加, 直到完全转变为正常态, 不出现反常. 但当通过样品的电流增加到数 mA 以上时, 转变区的电阻行为十分异常. 在磁场导致的超导-正常转变区内, 电阻随磁场的增高不再是单调上升, 在转变曲线上出现了电阻的极大和极小. 在某一磁场强度区间, 样品的电阻随磁场的增大而减小 (!), 在超导体中出现了负的磁阻效应. 这一实验事实表明, 在某种条件下, 磁场不但不趋向于破坏超导, 反而有利于超导. 图 4 的结果是在下述测试条件下获得的: 样品直接浸在液氦中, 液氦温度为 1.47K . 磁场方向与电流方向及样品 (薄带) 平面均相互平行.

负磁阻效应的一种可能解释是: 经 $100^\circ\text{C}/50\text{hr}$ 热处理后的 Al-11.3 at% Si 急冷合金中, 存在两个超导体: A 相及 B 相. 当 A 相在磁场中破坏超导后, 其电阻值随磁场增高而增大. 这时, A 相转变后形成的正常畴, 有可能构成 B 相的磁通钉扎中心, 从而使 B 相的临界电流值增大, 驱使 B 相返回超导态 (设 B 相在较低磁场中原已进入正常态). B 相的电阻将随磁场的增大而减小. 在 A 相的超导-正常过渡区间, 样品的电阻有两种趋势: 增大 (A 相) 及减小 (B 相), 两者相互竞争, 从而形成如我们所观察到的那样, 在磁场中的超导-正常转变曲线上出现了极大和极小.

详细的实验结果及讨论将另文发表.

低温测量是在法国科研中心所属低温研究中心 (Grenoble) 进行的. 作者对他们给予本工作的支持和帮助表示深切的感谢.

参 考 文 献

- [1] A. Fontaine and F. Munier, *Phys. Kondens. Mater.*, **14**(1972), 119.
- [2] C. C. Tsuei and W. L. Johnson, *Phys. Rev. B*, **9**(1974), 4742.
- [3] C. S. Ting, D. N. Talwar and K. L. Ngai, *Phys. Rev. Lett.*, **45**(1980), 1213.

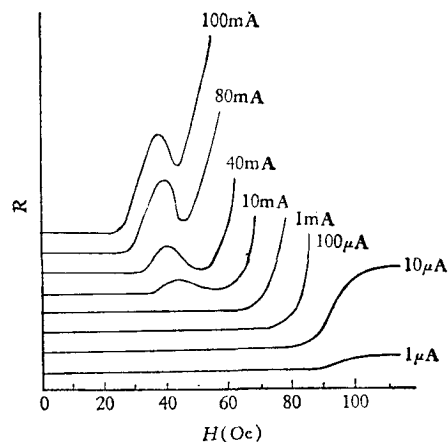


图 4 Al-11.3at% Si 急冷合金, $100^\circ\text{C}/50\text{hr}$ 热处理后, 磁场中超导-正常转变区内的负磁阻效应
 $T = 1.47\text{K}$, $H \parallel I \parallel$ 薄带平面. (为了清楚起见, 对不同测量电流的曲线, 纵坐标的零点作了相应的移动)

NEGATIVE MAGNETORESISTIVITY OF RAPIDLY QUENCHED SUPERCONDUCTING ALLOY Al-11.3 at% Si

KUAN WEI-YEN CHEN SY-SEN WANG ZU-LUN YI SUN-SHENG

(Institute of Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

The effect of heat treatment on the microstructure and super-conducting properties of the eutectic alloy Al-11.3 at% Si prepared by the splat quenching technique has been studied. The negative magnetoresistivity in super conducting-normal transition was observed in the sample after annealing at 100°C for 50 hours. Our results reveal the existence of two superconducting phases in this sample.

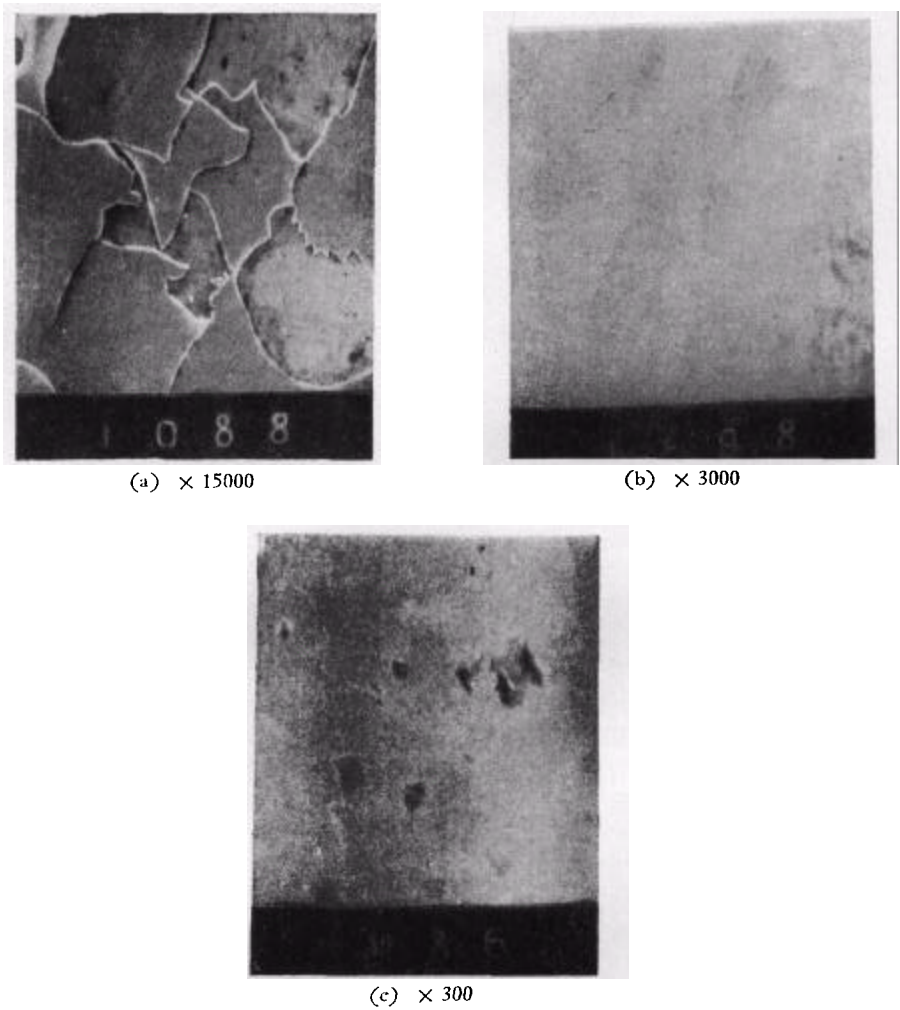


图 11

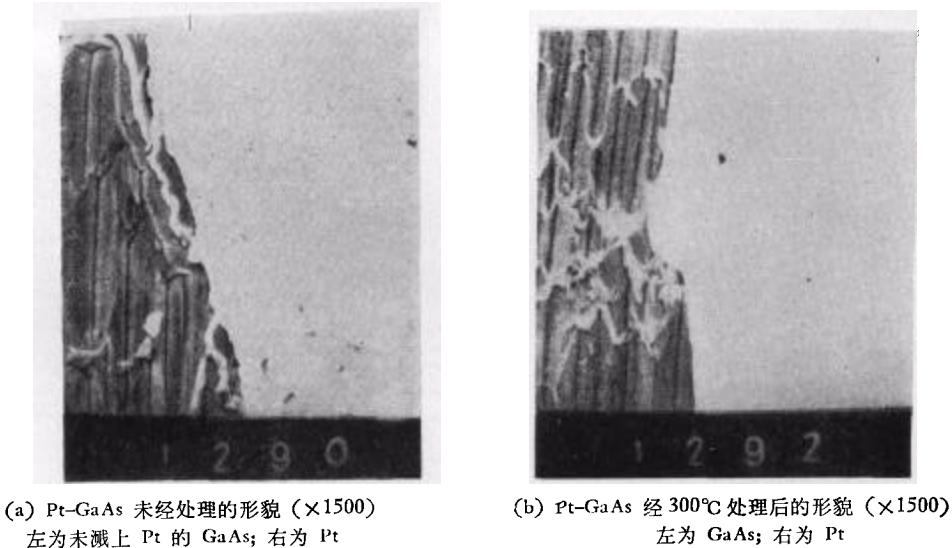
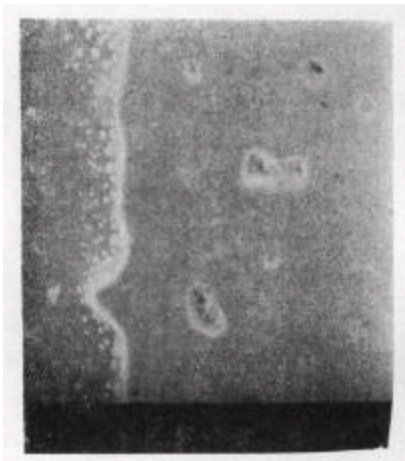
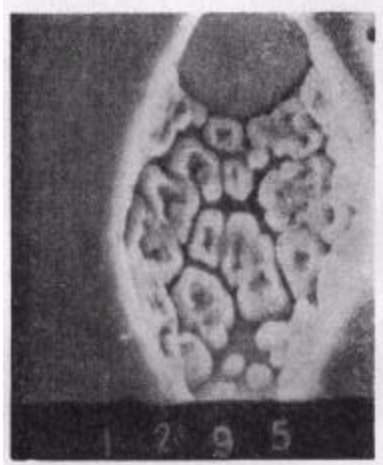


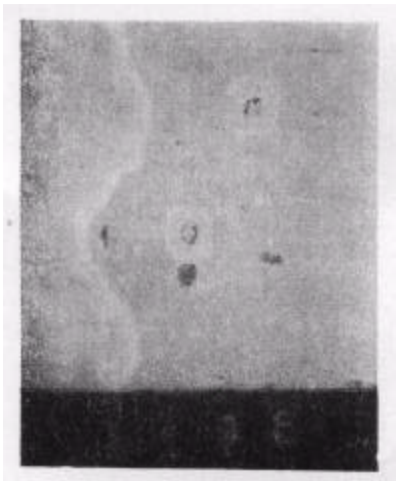
图 12



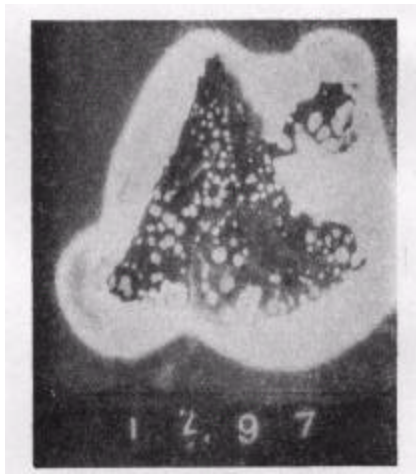
(a) Ti-GaAs 经 300°C 热处理后的形貌 ($\times 1500$)
左为 GaAs; 右为 Ti, 包括亮点



(b) 为(a)中斑点的细部 ($\times 5500$)



(c) Ti-GaAs 经 400°C 热处理后的形貌($\times 1500$)
左为 GaAs; 右为 Ti



(d) 为(c)中斑点的细部 ($\times 5500$)

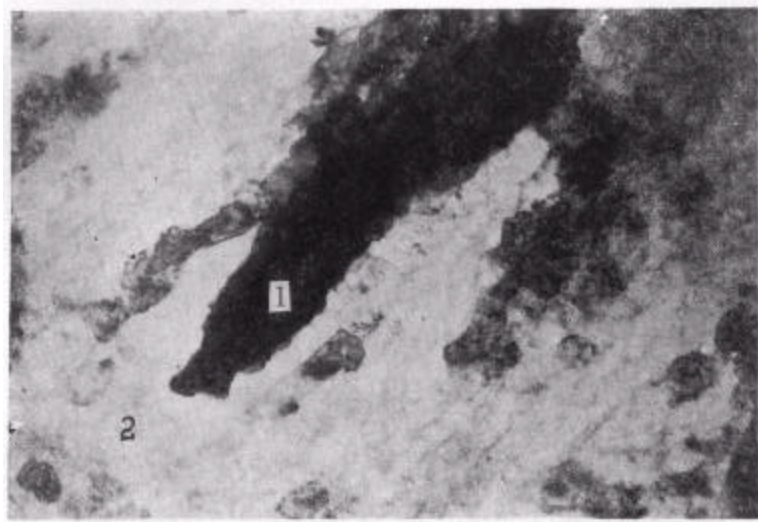


图 1 Al-11.3at%Si 急冷态(未经热处理)

超高压透射电子显微镜 (JEM-1000 型)象; 45000 $\times$ 离子减薄; 金属薄膜

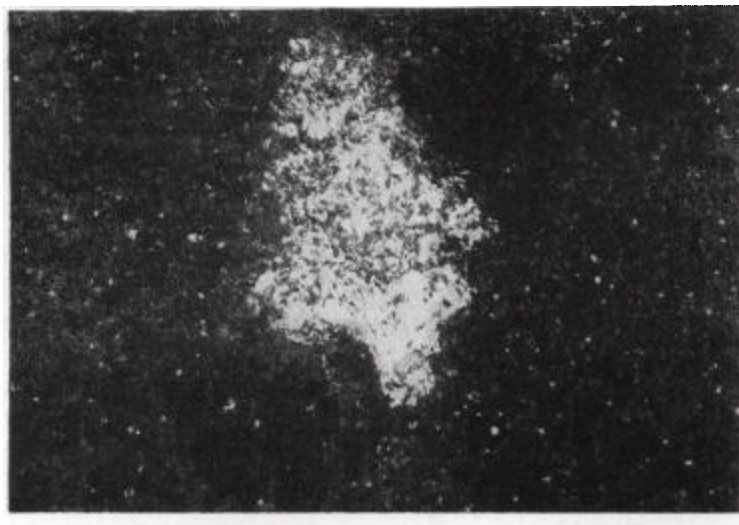
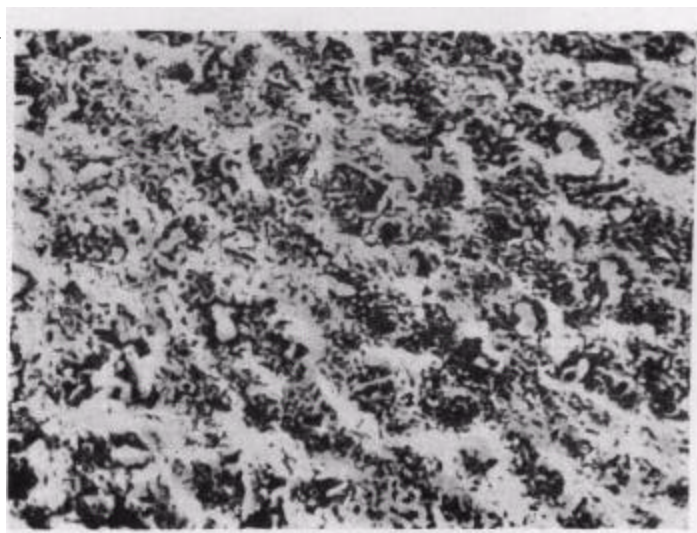
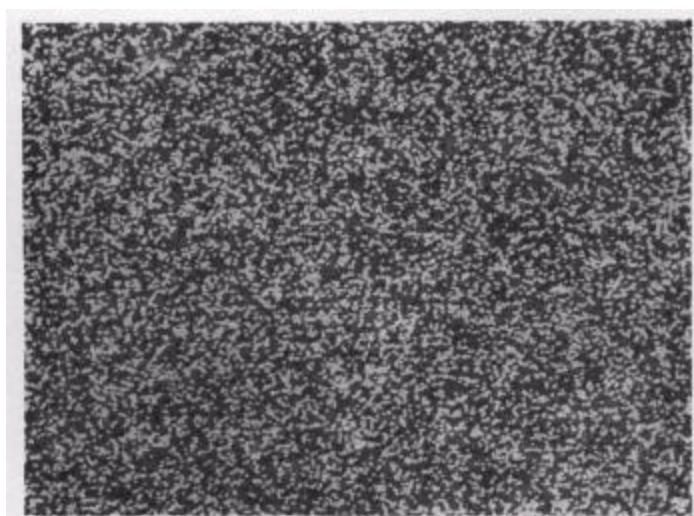


图 2 Al-11.3at%Si 急冷合金 (100 $^{\circ}$ C/50hr 热处理后)

超高压透射电子显微镜 (JEM-1000 型)象; 暗场; 30000 $\times$ 离子减薄; 金属薄膜



(a) 扫描电子显微镜二次电子象 (白亮的是 Si 相) 500×



(b) X射线扫描象 (SiK_α) 500×

图3 Al11.3at%Si 急冷合金 200°C/100 hr 热处理后组织