

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.  
C01B 35/04 (2006.01)



## [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 01806243.1

[45] 授权公告日 2006年9月27日

[11] 授权公告号 CN 1276872C

[22] 申请日 2001.7.24 [21] 申请号 01806243.1

[30] 优先权

[32] 2001.1.9 [33] JP [31] 001948/01

[86] 国际申请 PCT/JP2001/006383 2001.7.24

[87] 国际公布 WO2002/055435 日 2002.7.18

[85] 进入国家阶段日期 2002.9.9

[71] 专利权人 独立行政法人 科学技术振兴机构

地址 日本埼玉县

共同专利权人 秋光纯

[72] 发明人 秋光纯 钱谷勇磁 村中隆弘

中川裔应 永松纯

审查员 李应会

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

代理人 陈建全

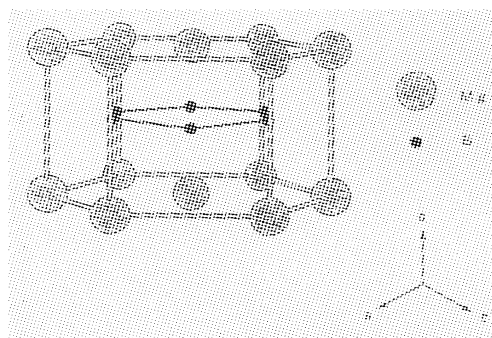
权利要求书 2 页 说明书 12 页 附图 9 页

[54] 发明名称

金属间化合物超导体及合金超导体以及它们的制造方法

[57] 摘要

本发明提供一种超导性转变温度高的金属间化合物超导体, 及一种超导性转变温度高、且展性及延性优良的合金超导体, 同时提供再现性好、制造成本低的这些超导体的制造方法。得到由镁(Mg)和硼(B)构成的完全新型的金属间化合物超导体, 该超导体具有由化学组成式  $Mg_1 B_2$  表示的六方晶  $AlB_2$  型晶体结构, 超导性转变温度 ( $T_c$ ) 为 39K。含有该金属间化合物的合金是展性、延性优良的超导性转变温度 ( $T_c$ ) 为 39K 的合金超导体。它们通过混合含有 Mg 的原料粉末和含有 B 的原料粉末, 通过例如加压加热成型来制造。



1. 一种金属间化合物超导体，其特征在于：其是由镁和硼构成的金属间化合物超导体，具有由化学组成式  $Mg_1B_2$  表示的组成，且具有 Mg 层和 B 层交互层积的六方晶  $AlB_2$  型晶体结构。

2. 如权利要求 1 记载的金属间化合物超导体，其特征在于：所述金属间化合物超导体的超导转变温度为 39K。

3. 一种合金超导体，其特征在于：其含有由 Mg 和 B 构成的金属间化合物，并且含有单种或多种的金属元素，且具有由组成式  $Mg_{1-x}B_{2+y}$  表示的组成，其中  $0 < x < 1$ ， $-2 < y < 0$  及  $0 < y < 2$ 。

4. 如权利要求 3 记载的合金超导体，其特征在于：所述合金超导体的超导转变温度为 39K。

5. 权利要求 1 记载的金属间化合物超导体的制造方法，其特征在于：将含有 Mg 的原料粉末和含有 B 的原料粉末以化学组成比 Mg: B=1: 2 混合，成型为丸片状，并且在惰性气体中在 700~2000℃ 的温度下加热几秒钟以上来形成。

6. 权利要求 1 记载的金属间化合物超导体的制造方法，其特征在于：将含有 Mg 的原料粉末和含有 B 的原料粉末以化学组成比 Mg: B=1: 2 混合，成型为丸片状，并且在  $2 \times 10^{-2}$  Pa 以下的真空中在 650~1100℃ 的温度下加热几分钟以上来形成。

7. 权利要求 1 记载的金属间化合物超导体的制造方法，其特征在于：将含有 Mg 的原料粉末和含有 B 的原料粉末以化学组成比 Mg: B=1: 2 混合，成型为丸片状，并且在 1~200MPa 的加压惰性气体中在 600~1100℃ 的温度下加热几分钟以上来形成。

8. 权利要求 1 记载的金属间化合物超导体的制造方法，其特征在于：将含有 Mg 的原料粉末和含有 B 的原料粉末以化学组成比

Mg: B=1: 2 混合, 成型为丸片状, 并且在施加 0.1~6GPa 的压力的条件下在 700~1400℃ 的温度下进行加压加热成型几分钟以上来形成。

9. 权利要求 3 记载的合金超导体的制造方法, 其特征在于: 将含有 Mg 的原料粉末和含有 B 的原料粉末以化学组成比 Mg: B=1-x: 2+y 混合, 成型为丸片状, 并且在惰性气体中在 700~2000℃ 的温度下加热几秒钟以上来形成, 其中  $0 < x < 1$ ,  $-2 < y < 0$  及  $0 < y < 2$ 。

10. 权利要求 3 记载的合金超导体的制造方法, 其特征在于: 将含有 Mg 的原料粉末和含有 B 的原料粉末以化学组成比 Mg: B=1-x: 2+y 混合, 成型为丸片状, 并且在  $2 \times 10^{-2}$ Pa 以下的真空中在 650~1100℃ 的温度下加热几分钟以上来形成, 其中  $0 < x < 1$ ,  $-2 < y < 0$  及  $0 < y < 2$ 。

11. 权利要求 3 记载的合金超导体的制造方法, 其特征在于: 将含有 Mg 的原料粉末和含有 B 的原料粉末以化学组成比 Mg: B=1-x: 2+y 混合, 成型为丸片状, 并且在 1~200MPa 的加压惰性气体中在 600~1100℃ 的温度下加热几分钟以上来形成, 其中  $0 < x < 1$ ,  $-2 < y < 0$  及  $0 < y < 2$ 。

12. 权利要求 3 记载的合金超导体的制造方法, 其特征在于: 将含有 Mg 的原料粉末和含有 B 的原料粉末以化学组成比 Mg: B=1-x: 2+y 混合, 成型为丸片状, 并且在施加 0.1~6GPa 的压力的条件下在 700~1400℃ 的温度下进行加压加热成型几分钟以上来形成, 其中  $0 < x < 1$ ,  $-2 < y < 0$  及  $0 < y < 2$ 。

## 金属间化合物超导体及合金超导体以及它们的制造方法

### 技术领域

本发明涉及可用于大规模的超导输电、超导电力存储、高性能的约瑟夫逊器件、高频器件等超导电子设备等的，尤其是具有高的超导转变温度、制造容易、并且展性、延性优良的完全新型的金属间化合物超导体及合金超导体，以及涉及它们的制造方法。

### 背景技术

直到现在，已知的超导体有：由单质金属构成的超导体、由化合物构成的超导体、由合金构成的超导体以及由复合氧化物构成的超导体等。

由单质金属构成的超导体熟知的有 Pb、Nb 等，但超导转变温度低，实用性欠佳。

由金属间化合物构成的超导体已知有以  $Nb_3Ge$ 、 $Nb_3Ga$ 、 $Nb_3Al$ 、及  $Nb_3Sn$  代表的具有 A15 型晶体结构的金属间化合物超导体，和以  $PbMo_6S_8$  代表的具有 chevrel 型晶体结构的金属间化合物超导体等。另外，虽然也已知有以  $NbB_2$  代表的具有  $A1B_2$  型晶体结构的金属间化合物超导体，但超导转变温度 ( $T_c$ ) 极其低 ( $T_c=0.62K$ , *Journal of the Less-Common Metals*, 67 (1979) 249-255)。这些金属间化合物超导体中虽然也有如  $Nb_3Ge$ (超导转变温度:约 23K) 的超导转变温度比较高的，但具有扭曲弱，并且脆的缺点。

由复合氧化物构成的超导体已知有：以  $La_{2-x}Ba_xCuO_4$  的组成代表的 La 型氧化物超导体、以  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$  的组成为代表的 Y 型氧

化物超导体、以  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2}$  的组成代表的 Bi 型氧化物超导体、以  $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2}$  的组成代表的 Tl 型氧化物超导体、以  $\text{Hg}_1\text{Ba}_1\text{CaCu}_1\text{O}_{6+x}$  的组成代表的 Hg 型氧化物超导体等。由这些复合氧化物构成的超导体的超导性转变温度高，其中还有达到 150K 的。这些复合氧化物系超导体具有由八面体型、角锥型、或平面型构成的  $\text{CuO}_2$  超导层和由 La、Ca、Y、Bi、或 Hg 等原子和氧构成的块层（其晶体结构与超导层不同）相互层积构成的钙钛矿构造。这样，因如此晶体结构极其复杂，所以再现性好并且大量地生产是困难的，还有因为是复合氧化物，所以展性或延性等特性欠佳，难以作为超导线来使用。

由合金构成的超导体熟知的有 Nb-Ti 合金，因其展性及延性优良，所以广泛使用于超导线及超导磁体等。但是，由合金构成的超导体的超导性转变温度低（Nb-Ti 合金中最好的也就约 9K），有望改善。

本发明鉴于上述课题，目的在于提供超导性转变温度高的金属间化合物超导体，及超导性转变温度高、并且展性及延性优良的合金超导体。进一步，本发明的目的在于提供再现性好、制造成本低的这些超导体的制造方法。

## 发明内容

首先简要说明本发明者们达到本发明的经过。一般认为含有轻元素的超导物质的超导性转变温度上升。本发明者们预测因硼为轻元素，并且其晶体为半导体，所以可以通过与其他元素组合成化合物来实现超导的可能性高。在各种过渡金属元素和硼的化合物中，虽然知道具有  $\text{AlB}_2$  型晶体结构的  $\text{TiB}_2$  的电阻非常小，但未显示超导特性。所以试验三种元素的各种组合，其中确认镁、过渡金属元

素及硼的组合有超导特性。但是该超导特性极其弱。变化各种这些元素之比来合成，结果发现不含有过渡金属元素的镁和硼的化合物可以得到更强的超导特性。但是，因当初是用镁的量与硼的量相比非常大的化合物进行的实验，所以从粉末 X 射线衍射测定只能观测到基于镁结晶的晶体结构的衍射线，认为超导特性的起源是否为硼固溶于镁的合金，但通过逐渐变化镁和硼的组成比进行实验，观测到组成比为  $Mg_1B_2$  的超导性转变温度非常高，并且具有强的超导特性，确认此为超导的实体，以至达到本发明。

为解决上述课题，本发明金属间化合物超导体的特征在于：是由镁（Mg）和硼（B）构成的金属间化合物超导体。

还有，本发明合金超导体的特征在于：含有由 Mg 和 B 构成的金属间化合物，并且含有单种或多种金属元素。

所述金属间化合物超导体的特征在于：具有由化学组成式  $Mg_1B_2$  表示的组成，具有 Mg 层和 B 层交互层积的六方晶  $AlB_2$  型晶体结构。

还有，所述合金超导体的特征在于：是含有由 Mg 和 B 构成的金属间化合物，具有由组成式  $Mg_{1-x}B_{2+y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $-2 < y < 0$  及  $0 < y < 2$ ) 表示的组成的合金。

这种构成的金属间化合物超导体的超导性转变温度（ $T_c$ ）为 39K，比现有已知的任何一种金属间化合物超导体的超导性转变温度高，而且，超导性转变温度远远高于现有已知的具有  $AlB_2$  型晶体结构的金属间化合物。

还有，这种构成的合金超导体的超导性转变温度（ $T_c$ ）为 39K，比现有已知的任何一种合金超导体的超导性转变温度高，并且富有展性及延性。

通过上述的由镁和硼构成的金属间化合物超导体，可以作为超

导性转变温度 ( $T_c$ ) 高的超导体, 用于高性能的约瑟夫逊器件、高频器件等的超导电子设备等。

进一步, 通过使用含有上述的由镁和硼构成的金属间化合物超导体的合金超导体, 可以作为超导性转变温度高、并且展性、延性优良的超导体, 用于超导输电、超导电力存储等的超导线, 还可以用作约瑟夫逊器件、高频器件等的超导电子设备用材料。

进一步, 本发明的金属间化合物超导体制造方法的特征在于: 把含有 Mg 的原料粉末和含有 B 的原料粉末以化学组成比 Mg: B=1: 2 混合, 成型为丸片状, 在惰性气体中加热来形成。

还有, 也可以把含有 Mg 的原料粉末和含有 B 的原料粉末以化学组成比 Mg: B=1: 2 混合, 成型为丸片状, 在真空中加热来形成。

进一步, 也可以把含有 Mg 的原料粉末和含有 B 的原料粉末以化学组成比 Mg: B=1: 2 混合, 成型为丸片状, 在加压惰性气体中加热来形成。

更进一步, 还可以把含有 Mg 的原料粉末和含有 B 的原料粉末以化学组成比 Mg: B=1: 2 混合, 成型为丸片状, 加压加热成型来形成。

进一步, 本发明含有金属间化合物的合金超导体的制造方法的特征在于: 把含有 Mg 的原料粉末和含有 B 的原料粉末以化学组成比 Mg: B=1-x: 2+y ( $0 < x < 1$ ,  $-2 < y < 0$  及  $0 < y < 2$ ) 混合, 成型为丸片状, 在惰性气体中加热来形成。

上述合金超导体的制造方法中, 也可以把含有 Mg 的原料粉末和含有 B 的原料粉末以化学组成比 Mg: B=1-x: 2+y ( $0 < x < 1$ ,  $-2 < y < 0$  及  $0 < y < 2$ ) 混合, 成型为丸片状, 在真空中加热来形成。

还有, 也可以把含有 Mg 的原料粉末和含有 B 的原料粉末以化学组成比 Mg: B=1-x: 2+y ( $0 < x < 1$ ,  $-2 < y < 0$  及  $0 < y < 2$ ) 混合, 成

型为丸片状，在加压惰性气体中加热来形成。

更进一步，还可以把含有 Mg 的原料粉末和含有 B 的原料粉末以化学组成比 Mg: B=1-x: 2+y ( $0 < x < 1$ ,  $-2 < y < 0$  及  $0 < y < 2$ ) 混合，成型为丸片状，加压加热成型来形成。

还有，在金属间化合物超导体的制造方法中，在惰性气体中的加热优选在  $700 \sim 2000^\circ\text{C}$  的温度进行几秒钟以上。

进一步，在金属间化合物超导体的制造方法中，在真空中的加热优选是在  $2 \times 10^{-2}\text{Pa}$  以下的真空中，以  $650 \sim 1100^\circ\text{C}$  的温度进行几分钟以上。

还有，在金属间化合物超导体制造方法中的加压惰性气体中的加热可以是在  $1 \sim 200\text{MPa}$  的惰性气体压力中，以  $600 \sim 1100^\circ\text{C}$  的温度加热几分钟以上。

进一步，金属间化合物超导体制造方法中的加压加热成型可以是在施加  $0.1 \sim 6\text{GPa}$  的压力的条件下，以  $700 \sim 1400^\circ\text{C}$  的温度加热几分钟以上。

还有，合金超导体的制造方法中的在惰性气体中的加热也可以是在  $700 \sim 2000^\circ\text{C}$  的温度加热几秒钟以上。

进一步，合金超导体的制造方法中的在真空中的加热可以是在  $2 \times 10^{-2}\text{Pa}$  以下的真空中，以  $650 \sim 1100^\circ\text{C}$  的温度加热几分钟以上。

还有，合金超导体的制造方法中的加压惰性气体中的加热也可以是在  $1 \sim 200\text{MPa}$  的惰性气体压力中，以  $600 \sim 1100^\circ\text{C}$  的温度进行几分钟以上。

进一步，合金超导体的制造方法中的加压加热成型可以是在施加  $0.1 \sim 6\text{GPa}$  的压力的条件下，以  $700 \sim 1400^\circ\text{C}$  的温度加热几分钟以上。

通过上述构成的金属间化合物超导体的制造方法，可以再现性



好地且容易地制造本发明的含有镁（Mg）和硼（B）的金属间化合物超导体。

还有，通过上述构成的含有金属间化合物的合金超导体的制造方法，可以再现性好地且容易地制造含有金属间化合物的合金超导体。

#### 附图的简要说明

本发明可以基于如下详细说明及显示本发明的实施例的附图而被更好地理解。附图中所示各种的实施例并非要把本发明特定化或进行限定，只是为了易于说明及理解本发明而记载。

图中：

图 1 是本发明的由镁和硼构成的金属间化合物超导体的晶体结构示意图。

图 2 是本发明的由镁和硼构成的金属间化合物超导体的晶体结构示意图，(a) 为侧面图，(b) 为平面图。

图 3 表示本发明的金属间化合物超导体的粉末 X 射线衍射测定结果。

图 4 是从粉末的 X 射线衍射测定的图案求出的晶胞内的 Mg 和 B 的原子坐标。

图 5 表示本发明的由镁和硼构成的金属间化合物超导体的电阻的温度特性的测定结果。

图 6 表示本发明的由镁和硼构成的金属间化合物超导体的磁化率的温度特性的测定结果。

图 7 表示本发明的含有由镁和硼构成的金属间化合物的合金超导体的粉末 X 射线衍射的测定结果。

图 8 表示本发明的含有由镁和硼构成的金属间化合物的合金超

导体的电阻的温度特性的测定结果。

图 9 表示本发明的含有由镁和硼构成的金属间化合物的合金超导体的磁化率的温度特性的测定结果。

### 发明实施的最佳方案

下面，基于附图详细说明本发明的实施方案。

首先，说明本发明的由镁和硼构成的金属间化合物超导体的晶体结构。

图 1 为本发明的由镁和硼构成的金属间化合物超导体的晶体结构的示意图。图 2 是为更容易理解图 1 的晶体结构的图示，(a) 为侧面图，(b) 为平面图。

如图 1 及图 2 所示，本发明的金属间化合物超导体是用化学组成式  $Mg_1B_2$  表示，具有六方晶  $A1B_2$  型晶体结构。

图 3 为表示根据下述制造方法形成的本发明金属间化合物超导体的粉末 X 射线衍射测定结果的图表。X 射线衍射测定是使用二轴 X 射线衍射测定装置 (RIGAKU 社制, RINT2000) 进行。

从图 3 的粉末 X 射线衍射测定的图案可以知道晶系为六方晶，属于空间群  $p6/mmm$ ，还可以知道 a 轴及 b 轴长为  $3.083\text{\AA}$ 、c 轴长为  $3.527\text{\AA}$ 。

图 4 为从该粉末 X 射线衍射测定的图案求出的晶胞内的 Mg 和 B 的原子坐标。如图 4 明确显示，可以知道 B 原子位于在 ab 面内相互最密排列的三个 Mg 原子中心和 c 轴方向的 Mg 原子的排列中间。

如图 3 及图 4 明显显示，本发明金属间化合物超导体具有如图 1 及图 2 所示的六方晶  $A1B_2$  型晶体结构。

接着，说明本发明的由镁和硼构成的金属间化合物超导体的超

导特性。

图 5 为表示本发明的由镁和硼构成的金属间化合物超导体的电阻的温度特性的测定结果的图表。电阻的测定是用四探针法进行。

从图 5 可以知道，电阻随着温度下降而下降，在 39K 电阻急速降至 0。即本发明的金属间化合物超导体具有超导性转变温度 39K。

还有，超导性转变温度用电阻的下降温度  $T_c$  onset、及电阻的上升温度  $T_c$  zero 定义，本发明的金属间化合物超导体为  $T_c$  onset=39K、 $T_c$  zero=38K。

接着，表示本发明的金属间化合物超导体的磁化率的测定结果。

图 6 为表示本发明的由镁和硼构成的金属间化合物超导体的磁化率的温度特性的测定结果的图表。磁化率的测定使用直流磁化率测定装置（カンタム・デザイン社制磁特性测定系统，MPMS 系列 MPMSR2）。

如图 6 明显显示，从  $T_c=39K$  到低温侧显示负磁化率即反磁性，可以知道本发明的由镁和硼构成的金属间化合物是具有超导性转变温度  $T_c=39K$  的超导体。

图 6 中表示了在零磁场冷却的情况和在  $H$ （施加磁场）=100Oe 冷却的情况。在磁场冷却中磁化率小的表示有进入磁束的存在，表示是第二种超导体。

接着，说明本发明的含有由镁和硼构成的金属间化合物的合金超导体。

图 7 为表示本发明的含有由镁和硼构成的金属间化合物的合金超导体的粉末 X 射线衍射的测定结果的图表。用于测定的合金超导体是通过下述的制造方法形成，具有组成  $Mg_1B_{0.33}$ 。测定方法与图 3 的情况相同。

图 7 中，衍射峰与 Mg 金属（六方细密晶体结构）的面指数完

全一致，还有，图中用箭头表示的衍射角位置可以稍微观测到基于  $Mg_1B_2$  金属间化合物的衍射强度。即可以知道本发明的合金超导体是含有由镁和硼构成的金属间化合物的合金超导体。

接着，说明本发明的含有由镁和硼构成的金属间化合物的合金超导体的超导特性。

图 8 为表示本发明的含有由镁和硼构成的金属间化合物的合金超导体的电阻的温度特性的测定结果的图表。该图 8 中有超导性转变温度附近的特性的放大图示。如图 8 明显显示，本发明的含有由镁和硼构成的金属间化合物的合金超导体是具有超导性转变温度  $T_c=39K$  的超导体。

接着，表示本发明合金超导体的磁化率（Susceptibility）的测定结果。

图 9 为表示本发明的含有由镁和硼构成的金属间化合物的合金超导体的磁化率的温度特性的测定结果的图表。磁化率的测定法与图 6 的测定相同。

如图 9 明显显示，从  $T_c=39K$  到低温侧显示负磁化率即反磁性，可以知道本发明的含有由镁和硼构成的金属间化合物的合金超导体是具有超导性转变温度  $T_c=39K$  的超导体。图 9 中表示了在零磁场冷却的情况和在  $H$ （施加磁场）=100Oe 冷却的情况。在磁场冷却中磁化率小的表示有进入磁束的存在，表示是第二种超导体。

接着，说明本发明的由镁和硼构成的金属间化合物超导体及含有由镁和硼构成的金属间化合物的合金超导体的制造方法。

根据如下述的本发明制造方法，成为金属间化合物超导体或者成为合金超导体是由混合的原料粉末的  $Mg$  和  $B$  的化学组成比决定。即以化学组成比  $Mg: B=1: 2$  混合的情况，混合粉全部成为用  $Mg_1B_2$  组成式表示的六方晶  $AlB_2$  型晶体结构的单相金属间化合物

超导体。

还有，混合粉以化学组成比  $Mg: B=1-x: 2+y$  ( $0<x<1$ ,  $-2<y<0$  及  $0<y<2$ ) 混合的情况是，成为上述含有金属间化合物的合金超导体，可以根据使用目的来变化组成比。例如，增大 Mg 组成比，则可以制造展性及延性优良的超导线。Mg 的原料粉末可以使用 Mg 粉末或 MgO 粉末，还有，B 的原料粉末可以使用 B 粉末。

作为本发明的金属间化合物超导体及合金超导体的制造方法，可以举几个例子。

第一个方法是，把 Mg 粉末、B 粉末用搅拌装置混合形成混合粉末，再把该混合粉末成型为丸片状，将其放入惰性气体氛围气中，用电弧熔融法、等离子体电弧熔融法、或高频熔融法等公知的加热方法，在  $700\sim 2000^{\circ}\text{C}$  的温度加热几秒钟以上，通过这种方法可以容易地形成。

第二个方法是，把 Mg 粉末、B 粉末用搅拌装置混合形成混合粉末，再把该混合粉末成型为丸片状，将其在  $2\times 10^{-2}\text{Pa}$  以下的真空中，以  $650\sim 1100^{\circ}\text{C}$  的温度加热几分钟以上，通过这种方法可以容易地形成。

第三个方法是，把 Mg 粉末、B 粉末用搅拌装置混合形成混合粉末，再把该混合粉末成型为丸片状，用 HIP 加压装置（如神户制钢社制，高温高压氛围气炉）等，将其在  $1\sim 200\text{MPa}$  的惰性气体压力中，以  $600\sim 1100^{\circ}\text{C}$  的温度加热几分钟以上，通过这种方法可以容易地形成。

第四个方法是，把 Mg 粉末、B 粉末用搅拌装置混合形成混合粉末，再把该混合粉末成型为丸片状，用立方体砧加压装置等加压装置，将其在施加  $0.1\sim 6\text{GPa}$  的压力的条件下，以  $700\sim 1400^{\circ}\text{C}$  的温度加热几分钟以上，通过这种方法可以容易地形成。高压是促进

粒界结合所必要的，高温是超导相生长所必要的。

还有，本发明金属间化合物超导体及合金超导体并不局限于上述多晶烧结体，也可以是多晶块体、大型单晶、或薄膜。

如果使用公知的锻造装置、超高压加压加热合成装置等块体制作装置，可以制作轻质、高硬度及耐腐蚀性优良的多晶块体的金属间化合物超导体。

还有，大型单晶金属间化合物超导体是使用再结晶法、单一提拉法、悬浮区熔融法、熔焊法等公知的单晶培养法，使用适合的坩埚，通过氛围气控制来制造。

还有，金属间化合物超导体薄膜是，使用 Mg 和 B 的组成比为 1: 2 的气相源的化学气相蒸镀法，或使用溅射形成 Mg 和 B 的组成比为 1: 2 的靶的溅射法来制造。还有，作为附着金属间化合物超导体薄膜的基板，可以使用 Cu 等金属基板、陶瓷基板、或在金属基板上覆盖陶瓷的复合基材等。可以根据用途选择适宜的基板。

还有，Mg 和 B 的组成比中，可以通过增大富于展性、延性的 Mg 的组成比，或混合合成富于展性、延性的其他金属，从而制造展性、延性优良的超导合金。该超导合金如果使用压延、挤出等加工技术，可以加工成极细多芯形超导线材、超导细线、或超导合金线。

#### 产业上的利用可能性

如从以上说明可以理解，本发明的金属间化合物超导体因超导性转变温度高，并且制造容易，所以如果用于高性能的约瑟夫逊器件、高频器件等的超导电子设备等，将极其有用。

还有，本发明的含有金属间化合物的合金超导体因超导性转变温度高、展性、延性优良、并且制造容易，所以如果用于大规模的

超导输电、超导电力存储、高性能的约瑟夫逊器件、高频器件等的超导电子设备等，将极其有用。

进一步，如果使用本发明的金属间化合物超导体的制造方法及含有该金属间化合物的合金超导体的制造方法，则可以再现性极好地、容易地、且低成本地制造金属间化合物超导体及含有金属间化合物的合金超导体。

图1

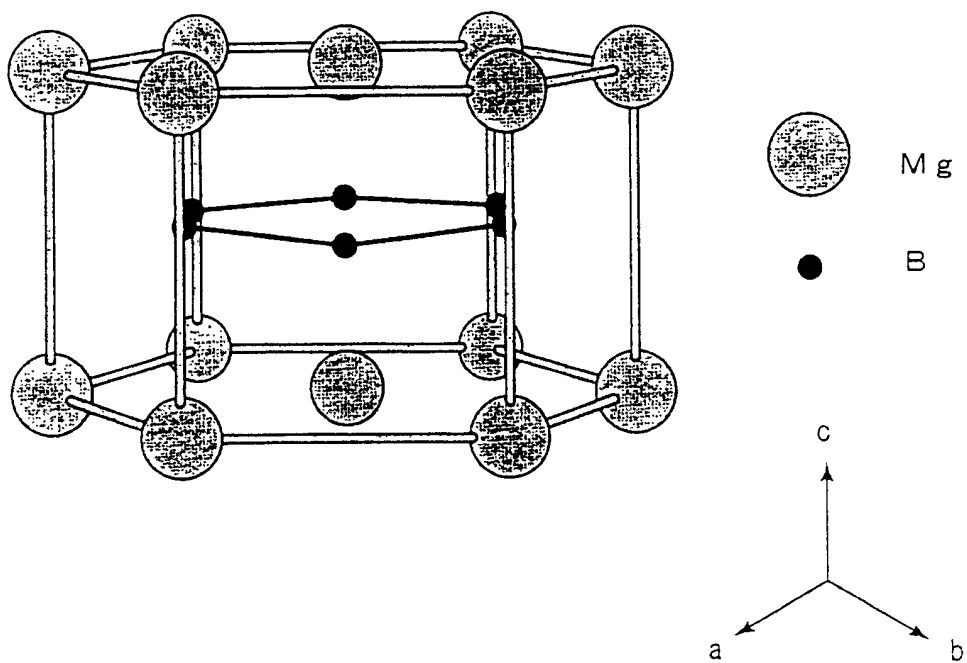
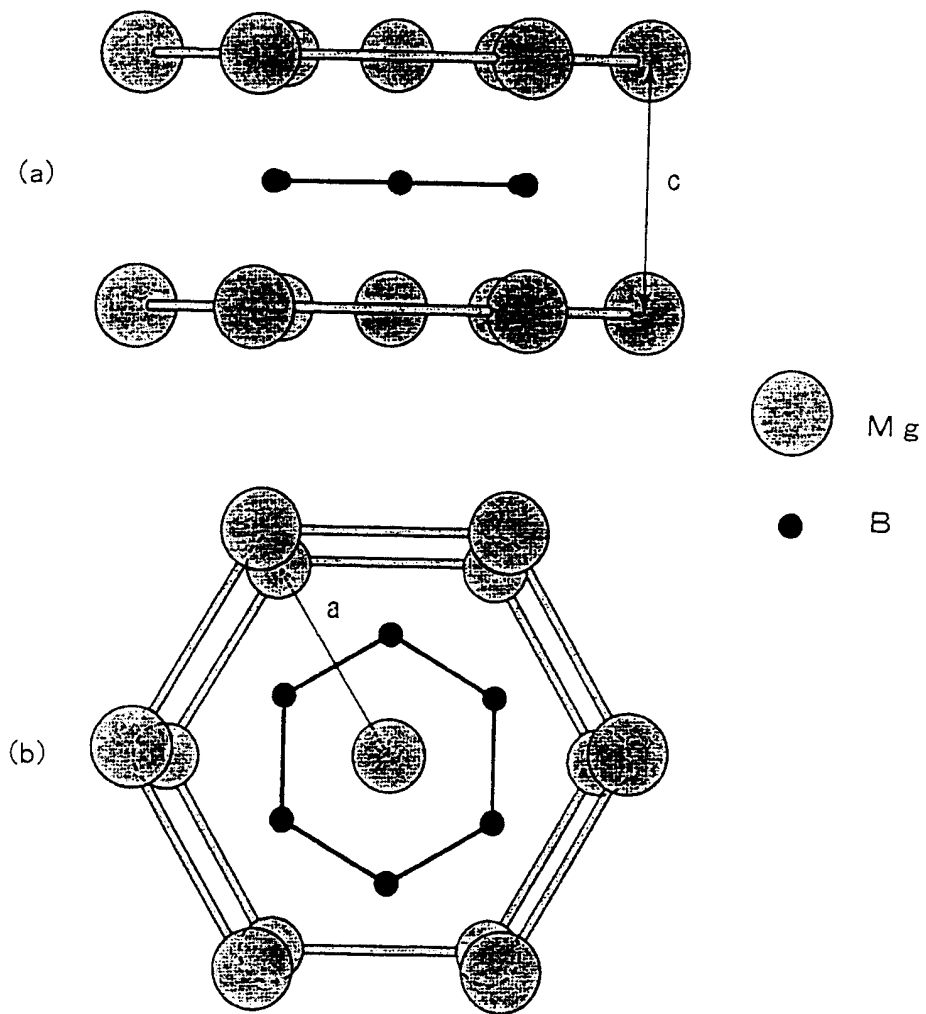




图2



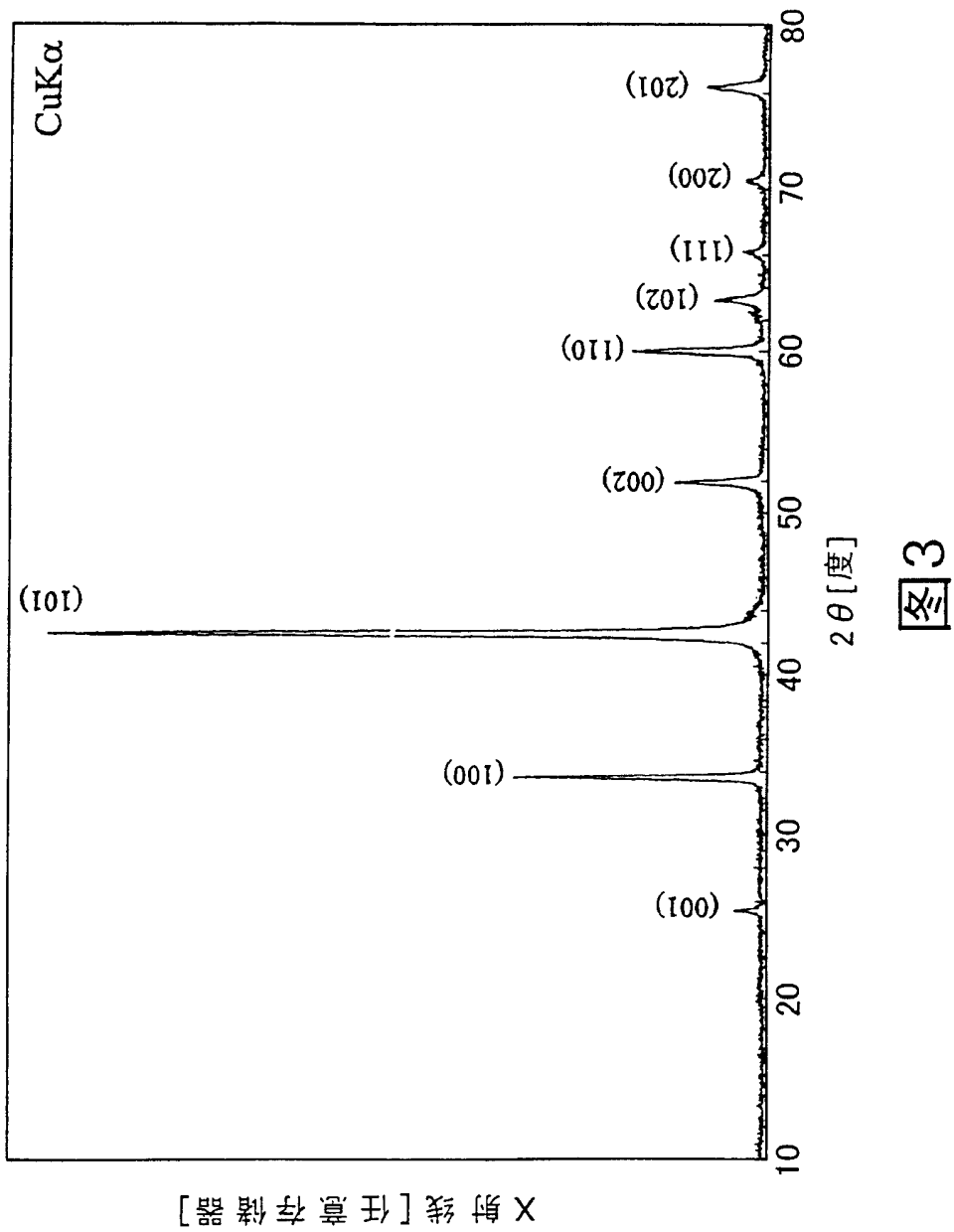


图3

图4

原子坐标	X	Y	Z
Mg	0.0000	0.0000	0.0000
B	0.3333	0.6666	0.5000

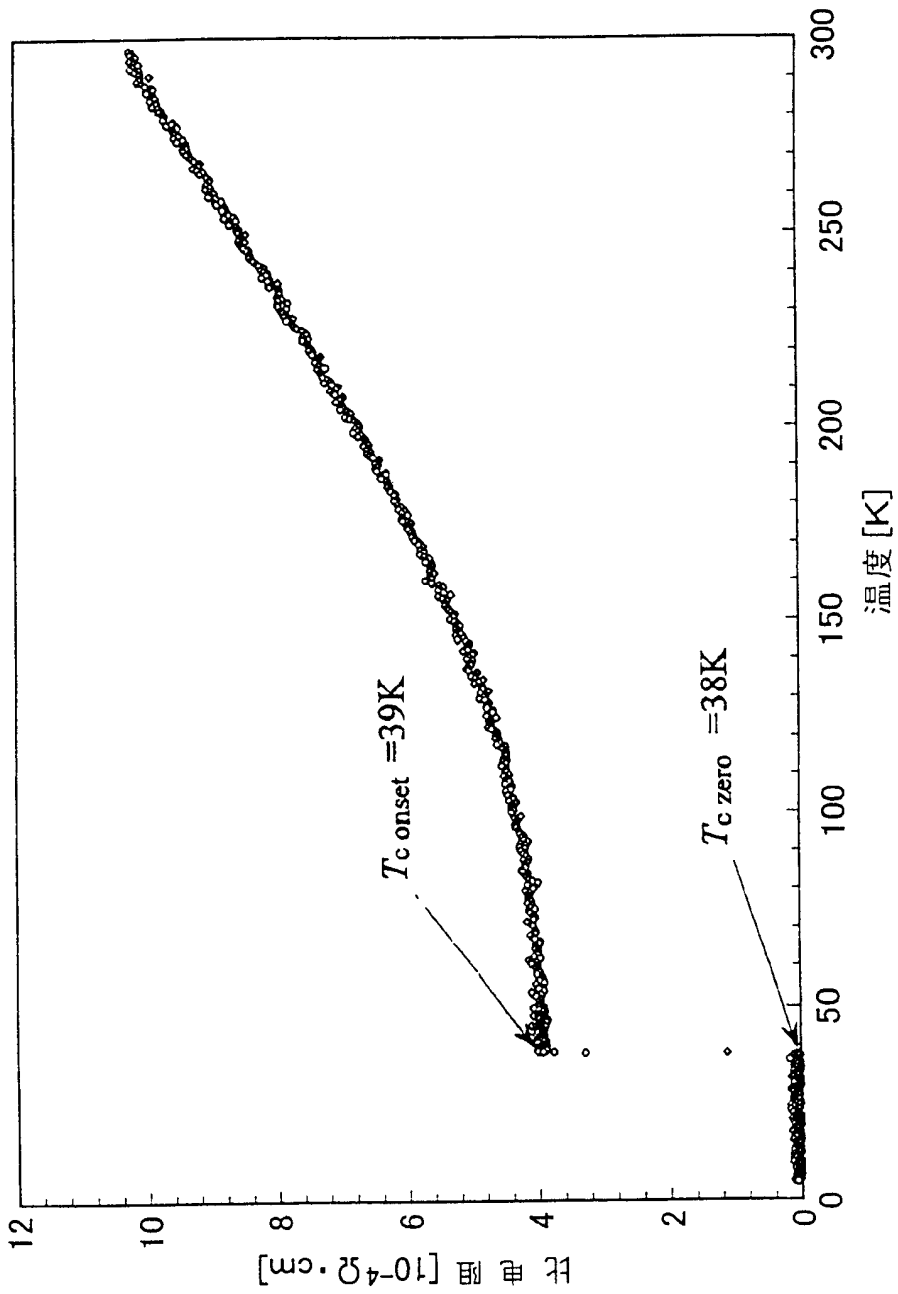


图5

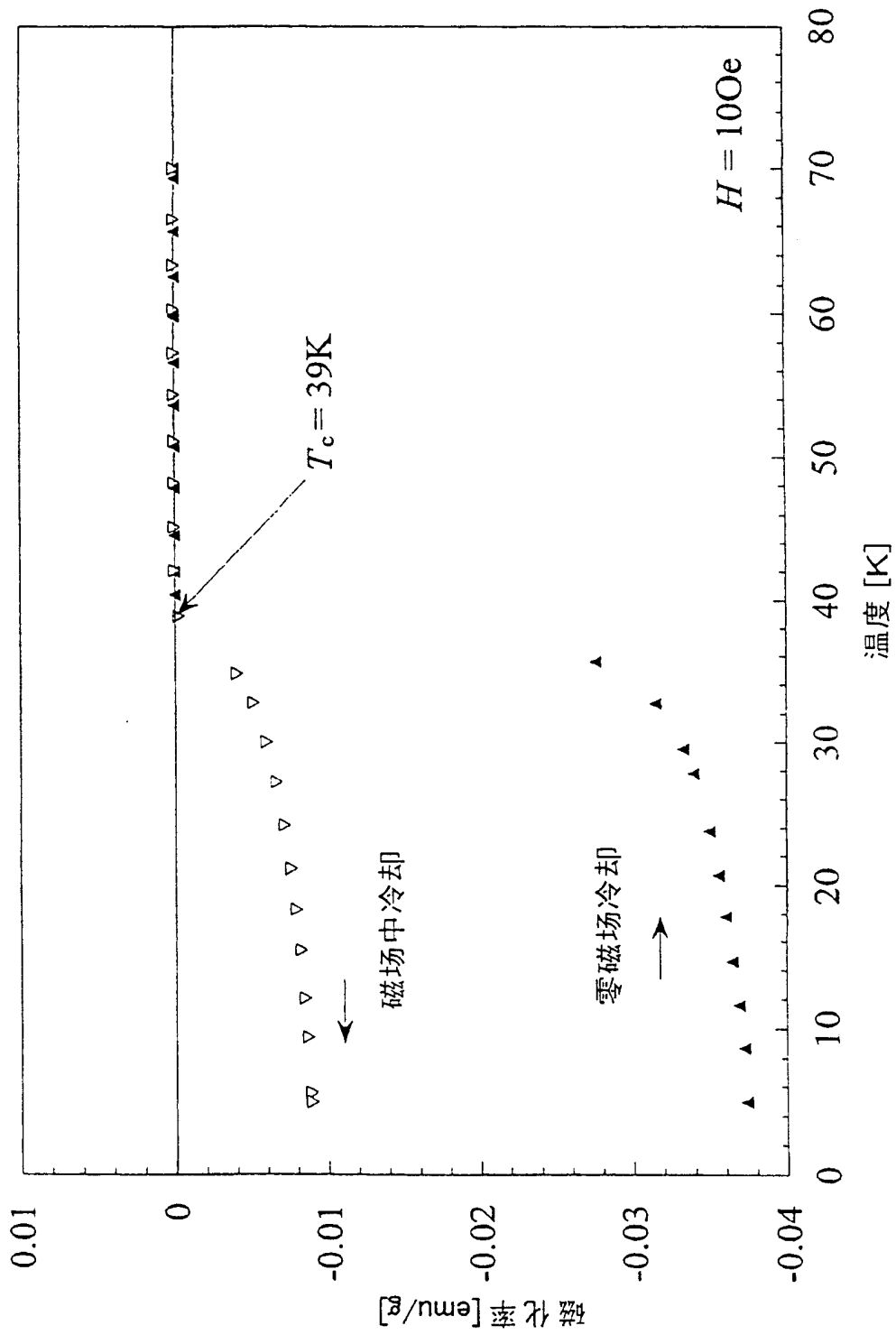


图6

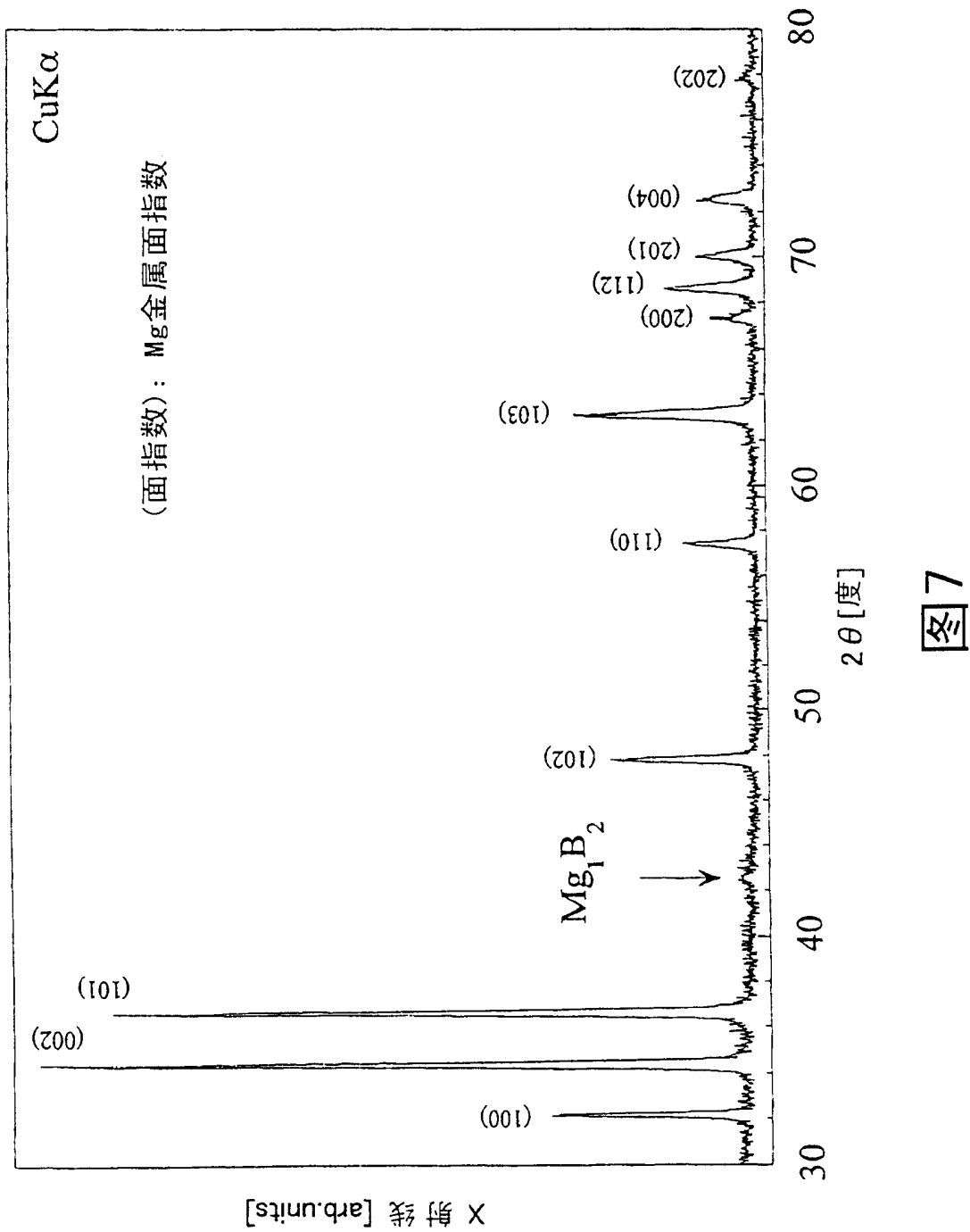


图7

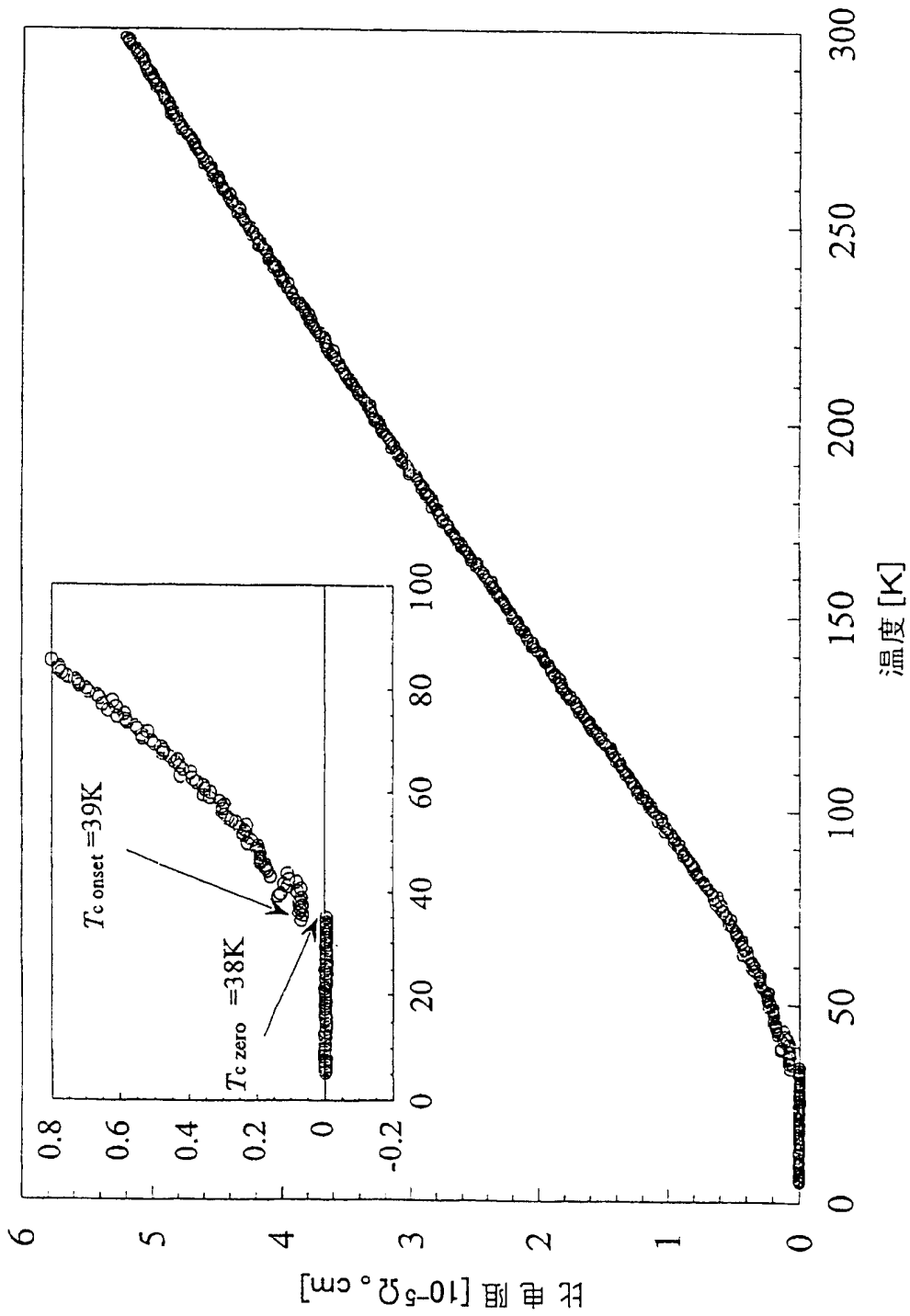


图8

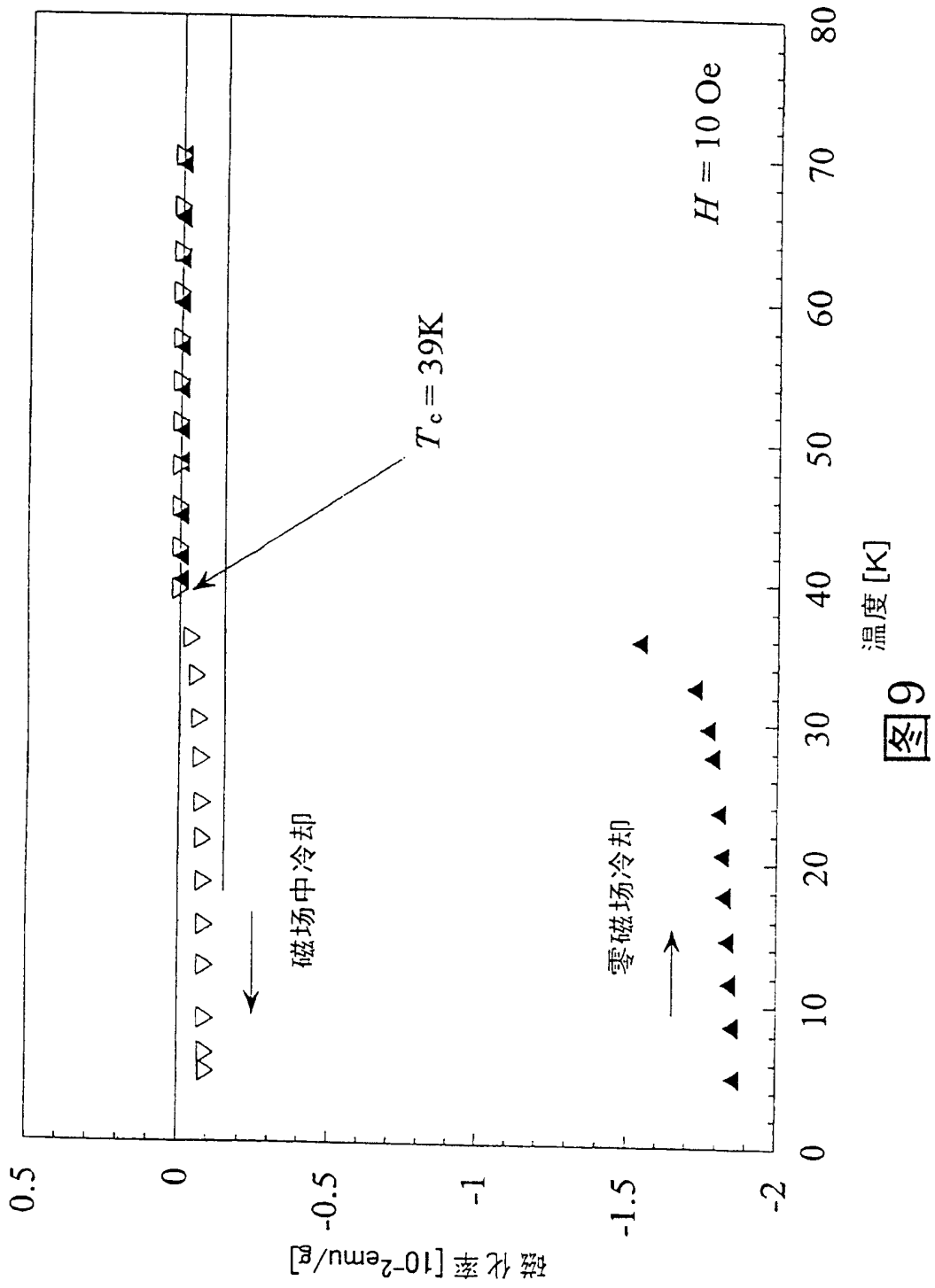


图9