



# [12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 88107105.6

[51]Int.Cl<sup>5</sup>

C22C 38/10

[45]授权公告日 1994年5月11日

[24]颁证日 94.2.6

[21]申请号 88107105.6

[22]申请日 88.10.11

[30]优先权

[32]87.10.15[33]US[31]109,554

[73]专利权人 阿兰德信号公司

地址 美国新泽西州

[72]发明人 霍华德·H·利伯曼

[74]专利代理机构 上海专利事务所

H01F 1/14

代理人 全永留 沈兆南

说明书页数:

附图页数:

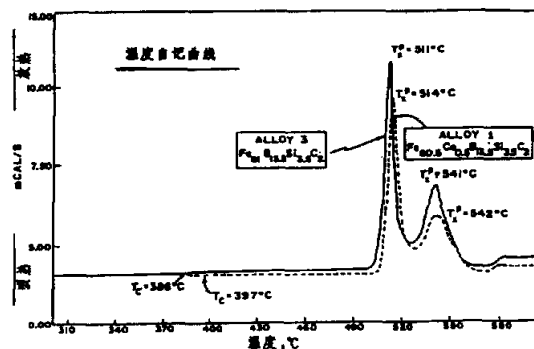
[54]发明名称 改进的含钴铁基非晶态合金

[57]摘要

一种改进的含钴铁基非晶态合金，该合金90%或90%以上为非晶态的，并且合金由以下通式表示：



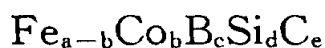
式中：“a”、“b”、“c”、“d”和“e”以原子百分数表示，分别为  $75 < a < 85$ ， $0.1 < b < 0.8$ ， $12 < c < 15$ ， $2 < d < 5$  和  $1 < e < 3$ ，它具有良好的铸造性和延性以及经磁场下退火后具有高的磁性。



# 权 利 要 求 书

---

1. 一种改进的含钴铁基非晶态合金，该合金 90% 或 90% 以上为非晶态的，其特征在于所述合金由以下通式表示：



式中：“a”、“b”、“c”、“d”和“e”以原子百分数表示，分别为  $75 \leq a \leq 85$ ,  $0.1 \leq b \leq 0.8$ ,  $12 \leq c \leq 15$ ,  $2 < d \leq 5$  和  $1 \leq e \leq 3$ 。

2. 根据权利要求 1 所述的合金，其特征在于“a - b”为 79.5。

3. 根据权利要求 1 所述的合金，其特征在于“a - b”为 80.5。

4. 根据权利要求 2 所述的合金，其特征在于“b”为 0.4 — 0.6。

5. 根据权利要求 3 所述的合金，其特征在于“b”为 0.5。

6. 根据权利要求 5 所述的合金，其特征在于“c”为 13.5。

7. 根据权利要求 6 所述的合金，其特征在于“d”为 3.5。

8. 根据权利要求 7 所述的合金，其特征在于“e”为 2。

# 说 明 书

---

## 改进的含钴铁基非晶态合金

本发明涉及含钴的铁基非晶态金属合金，更具体地说，涉及含有钴、硼、硅及碳的铁基非晶态金属合金，与现有技术相比，这些合金具有高的饱和磁感应强度、低的铁芯损耗以及低的激磁功率。

非晶态材料基本上无任何长程原子有序排列，其特征在于 X-射线衍射花样由漫射（宽的）强度最大值组成，数量上相似于自液体或者无机氧化物玻璃所观察到的衍射花样。这样的一些花样完全不同于自晶态材料所观察到的由尖而窄的强度最大值组成的衍射花样。

非晶态材料以亚稳态存在。故而，当加热到足够高的温度之后，随着结晶热的放出，它们开始结晶；而 X-射线衍射花样开始从非晶态花样变化到晶态花样。

众所周知，涉及非晶态金属合金的揭示为 H. S. Chen 和 D. E. Polk 的美国专利第 3,856,513 号。该专利中所揭示的为一类具有通式为  $Ma Yb Zc$  的非晶态金属合金，式中 M 为选自铁、镍、钴、铬和钒这个组中的至少一种金属，Y 为选自由磷、硼、和碳组成的这个组中至少一种元素，Z 为选自由铝、锑、铍、锆、铟、锡和硅组成的这个组中的至少一种元素，“a”约为 60~90%（原子百分数），“b”约为 10~30%（原子百分数），“c”约为 0.1~15%（原子百分数）。

随着非晶态金属合金方面的不断研究和发展，某些合金系具有的磁性和物理性能使它们在某些方面应用，特别是在电子工业上用作变压器、发电机及电机的铁芯的应用得以增加，这已日趋明显。被认为具有这样一些性能的一种早期合金为  $Fe_{80}B_{20}$ 。然而，大家都知

道,  $\text{Fe}_{80}\text{B}_{20}$  难以铸成非晶态且是热不稳定的。故而, 必须研制一些具有较好稳定性和铸造性的合金, 使非晶态金属合金在制造电磁铁芯, 特别是变压器铁芯方面得到实际应用。美国专利第 4,219,355 揭示了一种这类合金。

美国专利第 4,219,355 号中所揭示的合金以通式  $\text{Fe}_a\text{B}_b\text{Si}_c\text{Cd}$  表示, 式中“a”、“b”、“c”、和“d”以原子百分数表示, 分别约为 80~82, 12.5~14.5, 2.5~5 以及 1.5~2.5。这些合金具有在温度高达大约 150 °C 下能保持稳定的良好的交流 (AC) 和直流 (DC) 磁性。因此, 这些合金特别适用于功率变压器、航空变压器、电流变压器、400 Hz 变压器、磁开关铁芯、高增益磁放大器以及低频变换器。

业已被认为适用于制造变压器的还有另一类合金。例如, 美国专利第 4,217,135 号和 4,300,950 号均涉及某些铁—硼—硅合金, 它们适用于制造变压器铁芯。

从以上引用的专利中的揭示很容易看出, 为了达到对非晶态金属合金的铸造性能、综合的磁和力学性能以及这些性能的热稳定性产生引人注目的影响, 化学成分的差别不需很大。具体地说, 对变压器铁芯材料来说, 最需要的性能是易铸性、高饱和磁化强度、低铁损、低激磁功率、延性以及高热稳定性。

虽然在鉴定能更好地满足变压器铁芯制造工业所需要的合金方面业已取得很大的进展, 但仍必需更进一步提高更高的饱和磁感强度、更低的铁损、更低的激磁功率以及在高的工作温度下的更好的热稳定性。

本发明涉及新型的改进的含钴铁基非晶态合金, 该合金 90% 或 90% 以上为非晶态的, 它基本上由以通式  $\text{Fe}_{a-b}\text{Co}_b\text{B}_c\text{Si}_d\text{C}_e$  表示的成分组成, 式中“a”、“b”、“c”、“d”和“e”以原子百分数表示, 分别约为  $75 \leq a \leq 85$ ,  $0.1 \leq b \leq 0.8$ ,  $12 \leq c \leq 15$ ,  $2 < d \leq 5$  以及  $1 \leq e \leq 3$ 。本发明的合金的特征在于具有良好的铸造性和延性。

本发明还涉及一些上述组分的至少约为 90% 非晶态的合金。本发明的非晶态合金在 100°C 时具有至少 1.5 泰斯拉(tesla)的饱和磁化强度和小于大约 0.2 瓦特/公斤(也在 100°C)的铁芯损耗。而且,本发明的非晶态合金更可取地在大约 1.5tesla 感应强度下具有小于大约 0.3VA/Kg 的激磁功率值。

本发明还涉及改进的包含这些非晶态合金的磁铁芯。改进的磁铁芯包含非晶态金属合金本体,所说的非晶态金属合金具有的组分包括铁、硅、硼、碳及钴,所说的本体业已在磁场下退火。

图 1 为一种现有技术中的合金  $Fe_{81}B_{13.5}Si_{3.5}C_2$  和本发明的一种合金  $Fe_{80.5}Co_{0.5}B_{13.5}Si_{3.5}C_2$  的居里温度与第一和第二结晶温度的比较曲线图;

图 2 为说明二种现有技术中的合金  $Fe_{81}B_{13.5}Si_{3.5}C_2$  和  $Fe_{78}B_{13}Si_9$  中的每种合金与本发明的一种合金  $Fe_{80.5}Co_{0.5}B_{13.5}Si_{3.5}C_2$  的饱和磁芯感应强度随温度变化的图;

图 3a 和 3b 分别为在一种现有技术中的合金  $Fe_{81}B_{13.5}Si_{3.5}C_2$  和本发明的一种合金  $Fe_{80.5}Co_{0.5}B_{13.5}Si_{3.5}C_2$  试样的不同感应强度下铁芯损耗和激磁功率的比较图;

图 4 为一种现有技术中的合金  $Fe_{78}B_{13}Si_9$  和本发明的一种合金  $Fe_{80.5}Co_{0.5}B_{13.5}Si_{3.5}C_2$  的各种试样在不同温度下的铁芯损耗比较图;

图 5a 和 5b 分别为在一种现有技术的合金  $Fe_{81}B_{13.5}Si_{3.5}C_2$ 、本发明的一种优先采用的合金  $Fe_{80.5}Co_{0.5}B_{13.5}Si_{3.5}C_2$  和本发明范围之外的一种合金  $Fe_{80}Co_{0.1}B_{13.5}Si_{3.5}C_2$  的每一种合金在不同感应强度下,铁芯损耗和激磁功率值的示图,

本发明的合金成分由以下通式表示:



再加上伴随的杂质,式中“a”、“b”、“c”、“d”和“e”以原子百分数表示,“a”约为 75—85,“b”约为 0.1—0.8,“c”约为 12—15,“d”约为

大于 2—小于等于 5, 以及“e”约为 1—3。应当认为, a 至 e 加上杂质的总和等于 100。

当本发明的合金其中至少约 90% 为非晶态, 更好至少约为 95% 为非晶态以及最好大体上全为非晶态时, 它具有增强的由高饱和磁化强度值表示的 D. C. 和 A. XVI 磁性能, 低的 A. C. 铁芯损耗和低的激磁功率。

本发明的非晶态金属合金是通过以至少约  $10^5$ K/秒速率使合金熔体冷却而得到的。一般来说, 具体的组分按所需的比例选自必需元素的粉末或者颗粒(或者可分析成该元素的材料, 例如硼铁、硅铁等), 然后熔化和均匀化。再使熔体沉积在激冷表面上, 以形成各种各样的产品, 例如溅泼淬火箔或连续的丝、带、薄片等。最好, 通过把熔体沉积在高速移动的激冷表面上, 例如美国专利第 4,221,257 号所揭示的旋转轮, 使其很快冷却。

本发明的非晶态合金具有最佳的性能组合, 即高的饱和磁化强度、低的铁芯损耗和低的激磁功率。很显然, 每种合金的一项已知性能可能小于最佳值。尽管如此, 本发明的合金, 在作为制作磁芯, 特别是制造变压器中所用的那些铁芯所必需的性能之中构成了理想的平衡。

本发明的非晶态合金在大约  $-40^{\circ}\text{C} \sim +150^{\circ}\text{C}$  温度范围内具有至少约为 1.5tesla 的饱和磁化强度值。在  $20^{\circ}\text{C}$  下它们具有更好的饱和磁化强度值, 即至少约为 1.67tesla; 在  $80^{\circ}\text{C}$  下(非晶态合金配电变压器的通常工作温度), 它们具有最佳的值, 即至少约为 1.55tesla。可归属于这样的非晶态合金的铁芯损耗, 在 1.3tesla 感应强度下,  $-40^{\circ}\text{C} \sim +150^{\circ}\text{C}$  的相同温度范围内, 不超过大约 0.2 瓦特/公斤。在 1.3 tesla 感应强度,  $80-100^{\circ}\text{C}$  温度下, 更好的铁芯损耗小于大约

0.18 瓦特 / 公斤，而在 1.3tesla 感应强度、100℃ 时，更好的铁芯损耗不大于 0.17 瓦特 / 公斤。而且，本发明的非晶态合金具有的激磁功率在高达大约 1.5tesla 的感应强度水平时小于大约 0.3 伏安 / 公斤；在同样的感应强度水平时，更好的为小于大约 0.25VA / kg；而在 1.3tesla 下，较好的是不大于大约 0.20VA / kg。

本发明的合金具有相当于现有技术中合金的加工性能。此外，本发明的非晶态合金比某些较好的现有技术中的合金更稳定，如图 1 的曲线所示。具体地说，本发明的一种非晶态合金（以 0.5%（原子）Co 代替 Fe）的居里温度比一种不含钴的相当的现有技术合金的高 11K。

本发明合金的成分对上述的性能作出贡献。为了使磁饱和值增至最大，铁含量应当尽可能高。虽然本发明的合金的铁含量可以在大约 75–85%（原子）的范围内，但是为了达到最大的饱和值最好使铁含量保持在至少约为 79。当然，添加硼可促进金属玻璃的形成，添加硅可提高该合金的结晶温度和磁稳定性。添加碳有利于该合金加工成非晶态。这样，硼、硅和碳含量要分别保持在大约 12–15，大约 2–5 和大约 1–3 的范围内。

本发明发现了，添加钴作为一种 Fe 的替代物意外地提高了所有的受上述成分影响的性能。然而，钴添加量必须仔细地控制在大约 0.1–0.8%（原子）范围内，钴含量在大约 0.4–0.6%（原子）范围内最佳。

本发明的非晶态合金的性能可由使合金退火得以进一步提高。退火的方法通常包括把合金加热到足以达到应力消除的温度，但要低于开始结晶所需要的温度，冷却合金，至少在退火周期内，最好还在冷却阶段，把磁场施加于合金。一般来说，加热期间采用大约 300–400℃ 范围的温度，最好采用大约 360–370℃ 的温度。采用的冷却速率范围为大约 0.5℃ / 分–75℃ 分，最好采用的冷却速率范围为大约 10℃ / 分–15℃ / 分。

如上讨论，本发明的非晶态合金具有优良的磁性能，这些性能在采用该材料的装置的通常工作温度（80–120℃）下是稳定的。事实上，如图 2 和图 4 所示，这些性能更是适于高达至少大约 150℃ 的温度。高的热稳定性使本发明的非晶态合金特别适合于用作变压器，尤其是配电变压器的铁芯材料。准确地说，较高的感应强度值再加上非常低的铁芯损耗，为变压器在较之相等铁芯质量的现有技术变压器为高的容量下工作，创造了条件。而且，低的能耗能够降低对冷却能力的要求，故而，能减少重量，这对航空中所用的变压器是特别重要的。另外，较低的激磁功率水平也有助于提高由本发明的非晶态合金构成的变压器的效率，相应地增加了功率。

以下的实施例旨在说明本发明。叙述具体的工艺、条件、材料、比例以及所列的数据是为了说明本发明，而不应认作限制由以下权利要求限定的发明的范围。

### 实施例 1

现有技术的非晶态合金的一个试样具有的成分为  $\text{Fe}_{81}\text{B}_{13.5}\text{Si}_{3.5}\text{C}_2$ ，本发明的一种较好的合金的试样具有的成分为  $\text{Fe}_{80.5}\text{Co}_{0.5}\text{B}_{13.5}\text{Si}_{3.5}\text{C}_2$ 。两者均经 DSC 分析（扫描速率为 20℃ / 分），以确定材料居里温度和第一与第二结晶温度。现有技术的材料和本发明的较好的合金均由以下的方法制备：

采用一种具有铍铜基体的收缩配合铸造轮制备铁基非晶态金属带。该铸造轮具有一种内部冷却结构，它与美国专利第 4, 537, 239 号中所述的相似，直径为 38cm，宽度为 38cm。以每分钟 990 转的速度旋转，相应的圆周表面速度为 20 米 / 秒。在旋转过程中，一个由浇铸方向向外倾斜大约 10° 的空转刷轮不断地使基体达到要求的状态。与铸造轮的圆周表面的运动方向垂直地安装一个喷嘴，它具有一条宽 0.4 毫米和长 10 厘米且由第一唇部和第二唇部限定的槽口，每个唇部的宽度为 1.5 毫米（唇部以激冷辊的旋转方向依次标号），该喷嘴要这样装置使得第一和第二唇部与铸造轮的表面之间的间隙为

0.2 毫米。由加压坩埚把熔点约为 1100℃ 的铁基金属合金供给喷嘴，坩埚中的合金保持在 1300℃ 温度、大约 2.9 磅 / 平方英寸 (20KPa) 压力下。熔化的合金以 22 公斤 / 分的速率通过槽口喷出。在激冷辊表面上凝固成宽 10.0 厘米、厚 0.026 毫米的带。用 X-射线衍射仪检验，发现该带的组织为非晶态的。

如图 1 所示，添加钴使居里温度有显著的提高，第一结晶温度也有很大的提高，这些性能均表示这是一种较稳定的非晶态产品。

## 实施例 2

在一个温度范围内测试下列合金的试样，以得出它们的饱和感应强度曲线。图 2 中的合金 1 指的是由本发明的一种较好的合金  $\text{Fe}_{80.5}\text{Co}_{0.5}\text{B}_{13.5}\text{Si}_{3.5}\text{C}_2$  所得的曲线。图 2 中的合金 2 指的是由一种市售的合金  $\text{Fe}_{78}\text{B}_{13}\text{Si}_9$  所得的曲线。图 2 中的合金 3 指的是由另一种市售的合金  $\text{Fe}_{81}\text{B}_{13.5}\text{Si}_{3.5}\text{C}_2$  所得的曲线。这些试样均按照实施例 1 中所述的方法制备。圆环试验试样这样制备：把大约 15.4kg、宽 10cm 的以上所列的成分的每一种合金带绕在钢芯轴上，以形成内、外直径分别为 17.5cm 和 24.8cm 的铁芯。在该圆环上绕上 40 圈高温磁性线，为退火提供 10 奥斯特的 D.C. 环形磁场。

在氮气气氛中，使合金 2 的试样在 360℃ 温度退火 2 小时，在加热和冷却时均采用上述的磁场。在氮气气氛中，使合金 1 和合金 3 的试样在 355℃ 下退火 2 小时，在加热和冷却时均采用该磁场。每个试样均以大约 12℃ / 分的淬火速度冷却到 200℃，然后再让其冷却到室温。在 -40-150℃ 的温度范围内测定饱和磁化强度值。饱和感应强度值对温度的曲线十分清楚地表明，与同一温度下合金 2 相比，合金 1 的饱和值基本上较高，并且可以比得上合金 3 的饱和值。然而，如图 3a 和图 3b 清楚地所示，由合金 1 构成的铁芯的平均铁损大大地低于由含合金 3 构成的铁芯的平均铁损，可达到的激磁功率也如此。因此，很明显，与由现有技术材料构成的铁芯相比，在一定的感应强度水平下工作的本发明的非晶态合金的铁芯具有更高的效率。同样，

如图 4 所示，由本发明的合金 1 构成的铁芯具有比由合金 2 构成的铁芯能达的平均铁损低得多的平均铁损。

### 实施例 3

圆环铁芯由具有名义成分  $\text{Fe}_{81-x}\text{Co}_x\text{B}_{13.5}\text{Si}_{3.5}\text{C}_2$  的合金装配而成，式中： $x=0.05$  和  $1.0$ 。然后，在感应强度水平的范围内，测试这些圆环，以得出每个铁芯试样的磁损对感应强度的曲线。在图 5a 和图 5b 中，每种合金的曲线表示由分别具有  $x1$ ， $x0.5$  和  $x0$  的合金构成的铁芯所得出的结果。

这些合金均由十分相似于实施例 1 中所述的方法生产的。

磁性测量用合金构成的铁芯是这样制备的：把大约 30g、宽 5cm 的每种上列成分的合金带绕在直径为 4cm 的块滑石芯轴上。再在圆环铁芯上绕一百圈高温磁性线，为退火提供 10 奥斯特的 D.C. 环形磁场。

如由图 5a 和图 5b 中的曲线可明显地看出，在正常的工作感应强度水平下，由本发明的较好成分（即含钴 0.5%）构成的铁芯具有最低的铁损和激磁功率。更一般地说，这些结果说明钴含量的临界状态（即钴含量保持在大约 0.1–0.8 之间）。以及它对总的铁损和激磁功率值的显著影响。

说明书附图

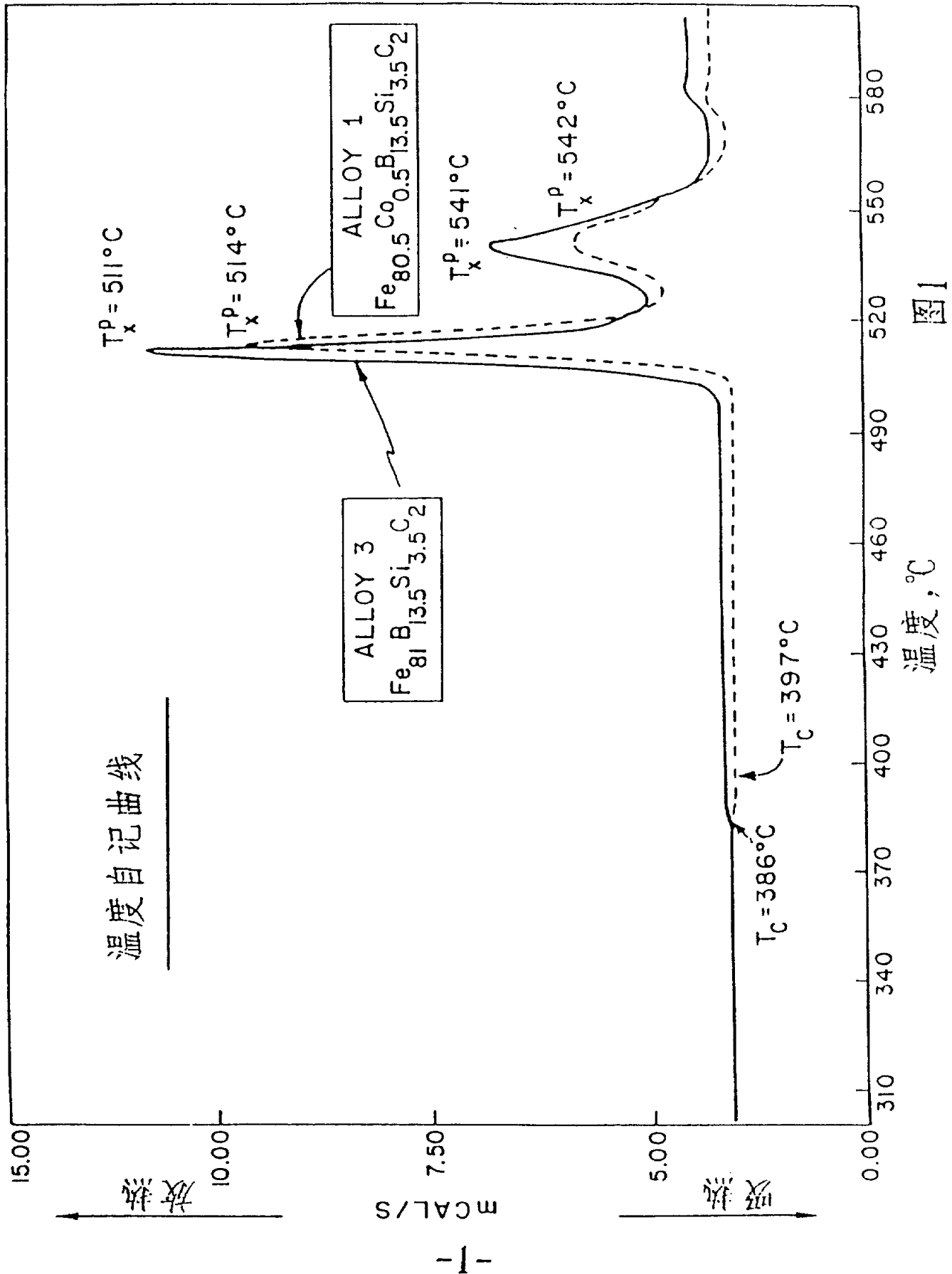


图1

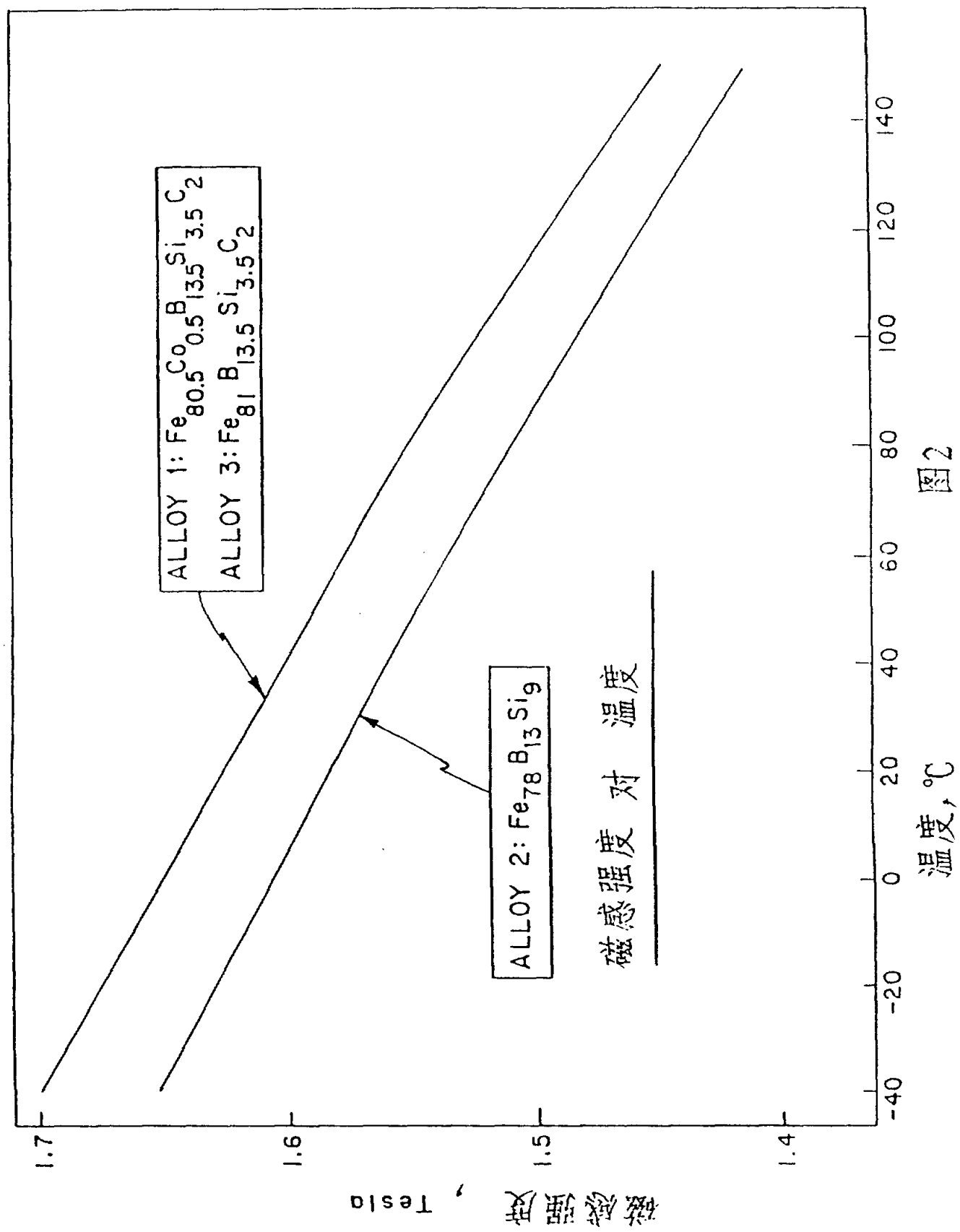


图2

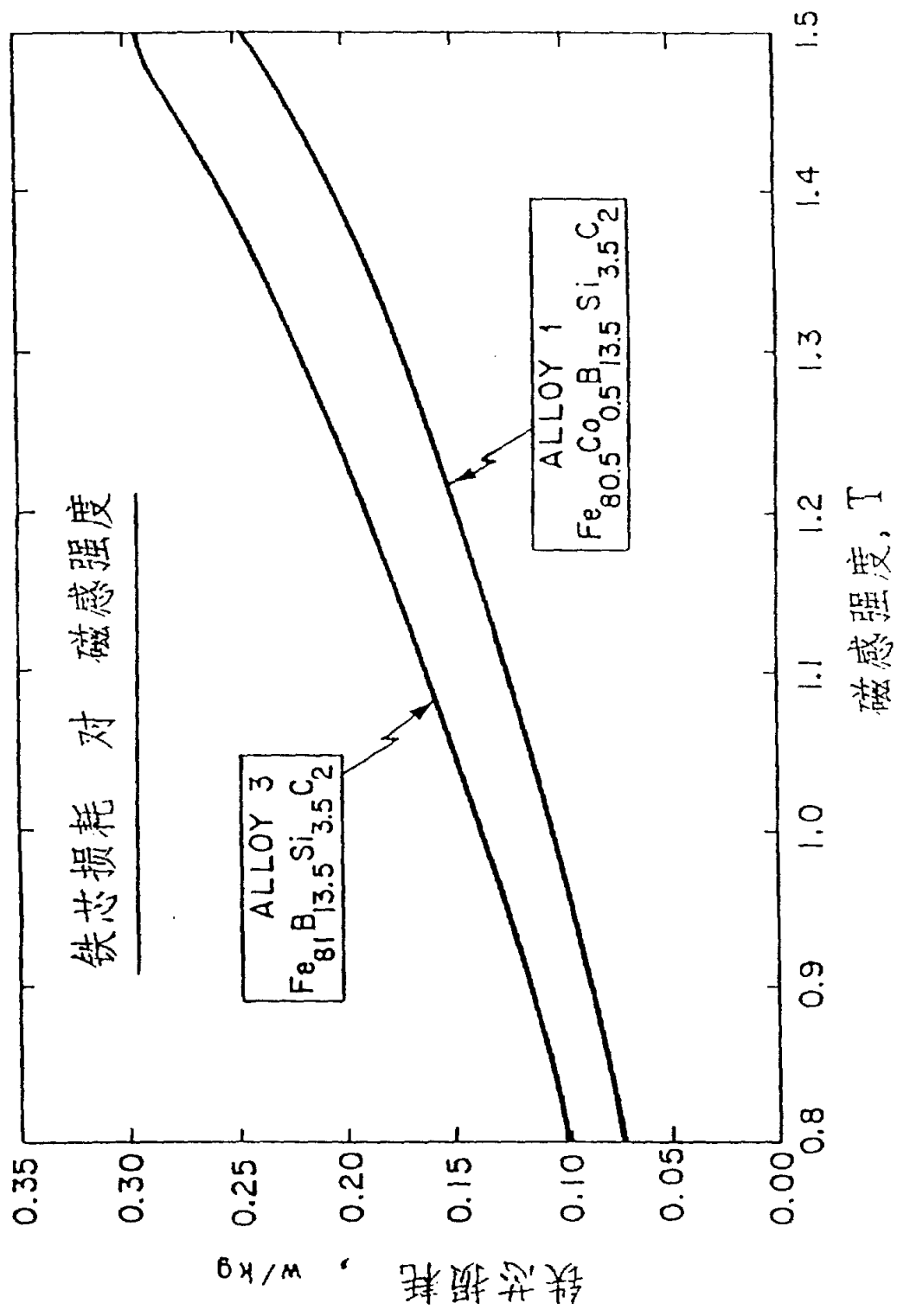


图 3a

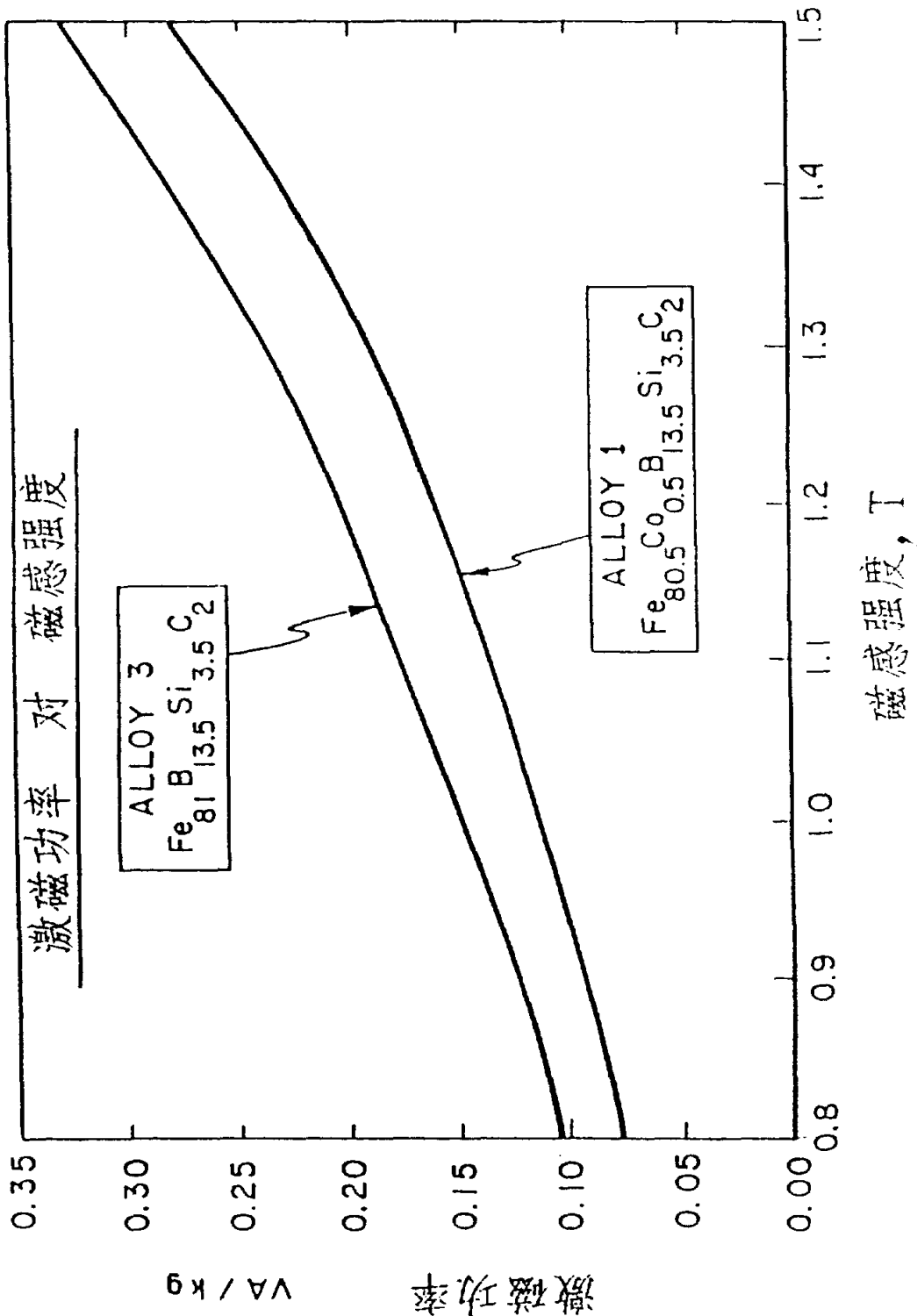
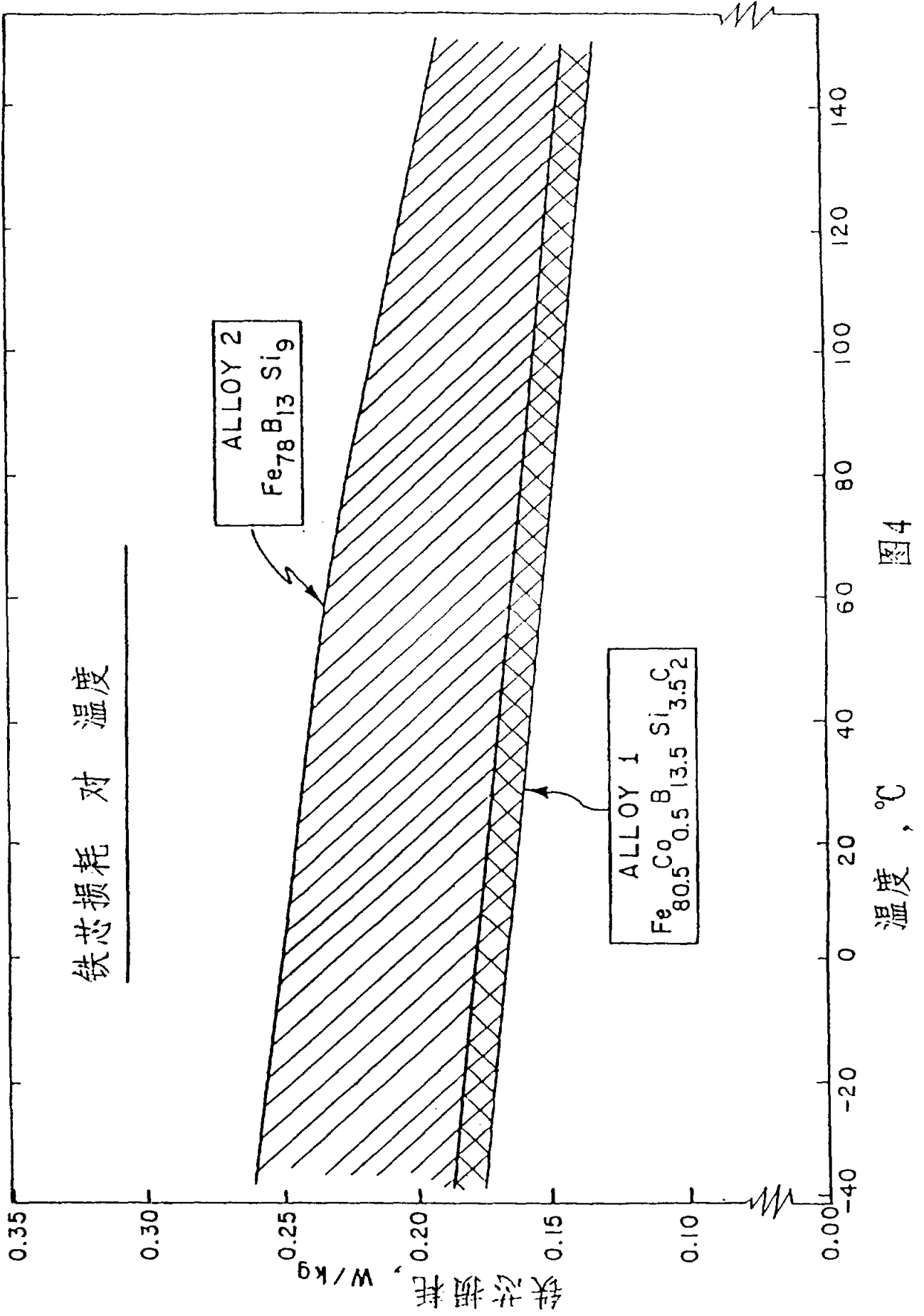


图 3b



铁芯损耗 对 温度

图 4

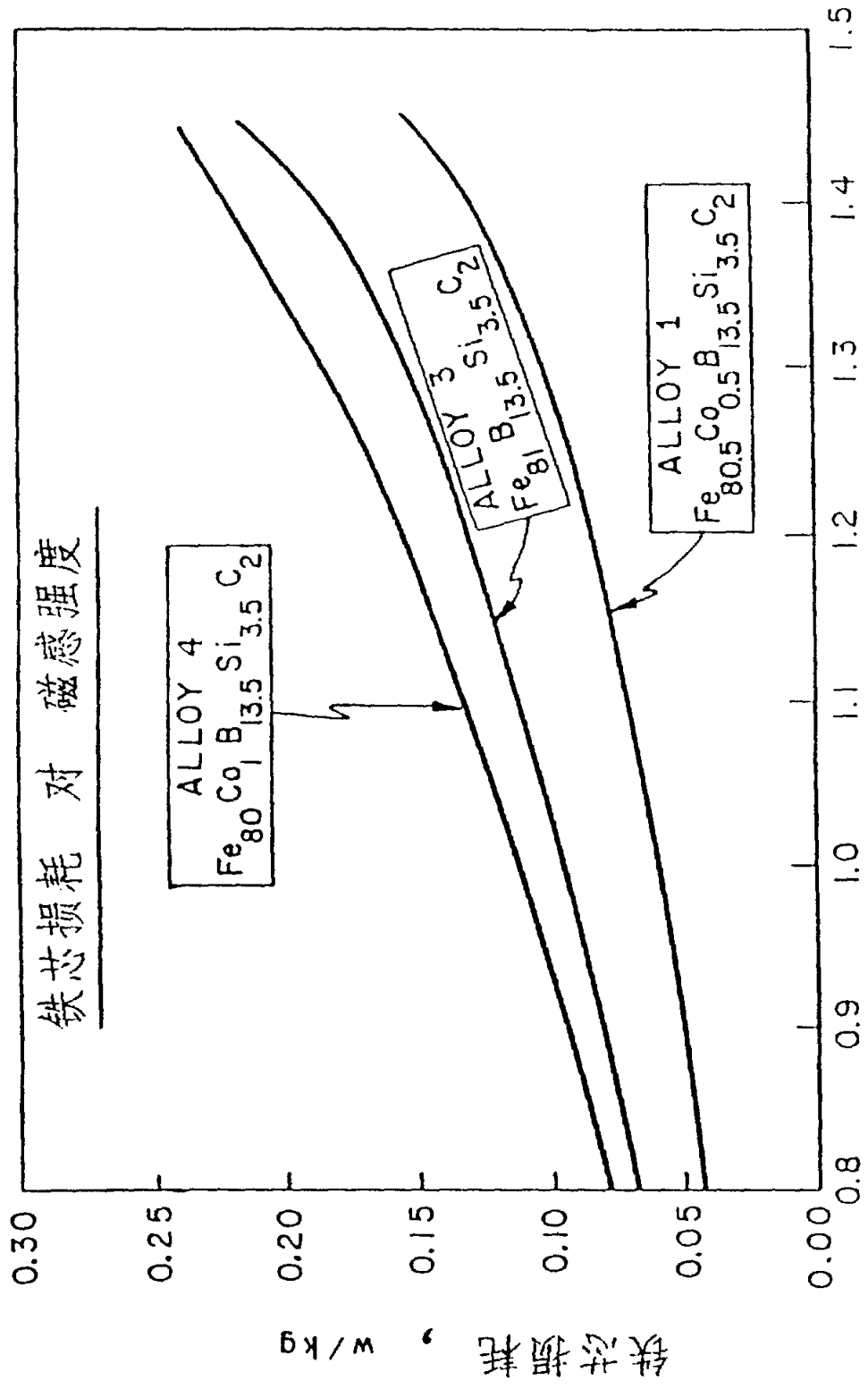


图 5a

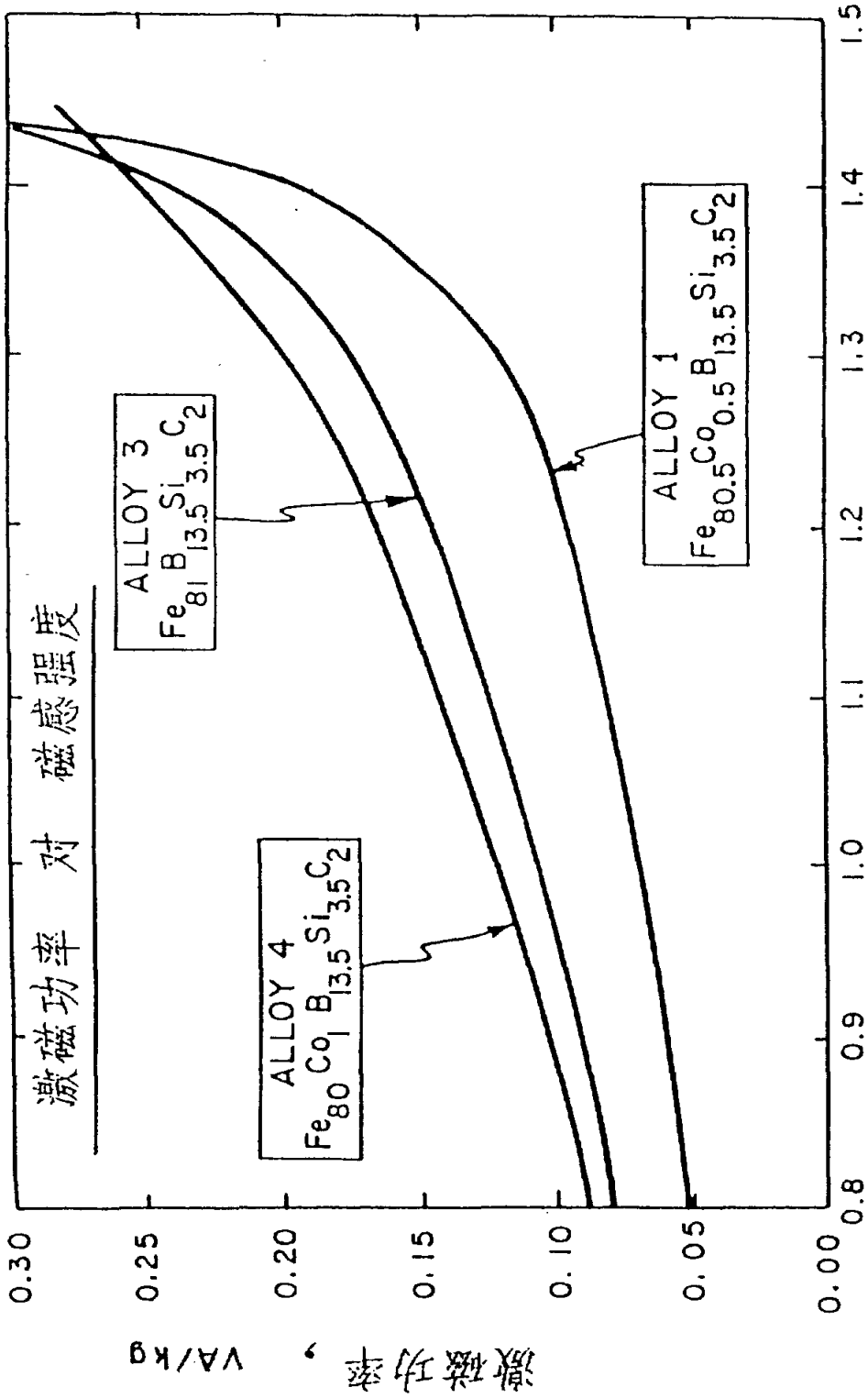


图 5b