

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl⁶

G11B 5/39

[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 92100326.9

[45]授权公告日 1999 年 7 月 7 日

[11]授权公告号 CN 1044044C

[22]申请日 92.1.21 [24]颁证日 99.4.15

[21]申请号 92100326.9

[30]优先权

[32]91.2.8 [33]US [31]653,567

[73]专利权人 国际商业机器公司

地址 美国纽约

[72]发明人 斯图尔特·斯蒂芬·帕沃思·帕克林

凯文·帕特里克·罗齐

[56]参考文献

EP288765 - -

EP288766 - -

EP372420 - -

审查员 蒋 彤

[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事
务所

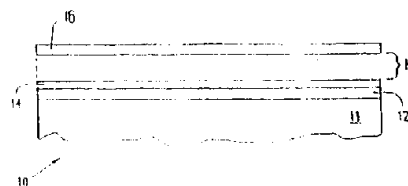
代理人 付建军

权利要求书 6 页 说明书 9 页 附图页数 11 页

[54]发明名称 基于波动磁阻的磁阻传感器及磁阻感测系
统

[57]摘要

一种由在基片上形成的多层结构组成的磁阻(MR)传感器,包括交替的铁磁材料层和非磁性金属材料层。铁磁材料和非磁性材料构成双层,它显示了这样的特性,即多层结构的磁阻作为非磁性材料层厚度的函数而波动。产生一个流经 MR 传感器的电流,并且检测作为被测磁场函数的 MR 传感器的电阻率的变化情况。



ISSN 1008-4274

1. 一种磁阻感测系统，该系统包括：

一个磁阻传感器，包含有一个基片和在该基片上形成的多层结构物；

电流产生装置，产生流经所述的磁阻传感器的电流；以及
感测装置，响应上述电流，并响应由该传感器截取的磁场，感测上述传感器内电阻的变化，

其特征在于：

所述的多层结构物包括至少两个双层，每个双层包括一层铁磁材料和一层非磁性金属材料，这两层都具有预定的厚度，上述多层结构物的磁阻值是非磁性金属材料层的厚度的函数，上述非磁性金属材料层的厚度选择在对应于所述磁阻函数的峰值处。

2. 如权利要求1所述的磁阻感测系统，其特征在于，所述的磁阻作为所述的非磁性材料层厚度的函数，至少包括一个第一峰值和一个第二峰值。

3. 如权利要求2所述的磁阻感测系统，其特征在于，选择所述的非磁性材料层的厚度，以使磁阻传感器工作在作为所述的非磁性材料层厚度的函数的所述的磁阻的第一峰值。

4. 如权利要求2所述的磁阻感测系统，其特征在于，选择所述的非磁性材料层的厚度，以使磁阻传感器工作在作为所述的非磁性材料层厚度的函数的所述的磁阻的第二峰值。

5. 如权利要求 1 所述的磁阻感测系统, 其特征在于, 所述的非磁性材料层由从包括 Cu、Cr、Ru、Ir、Re 和 Rh 的一组材料中选出的材料构成。

6. 如权利要求 5 所述的磁阻感测系统, 其特征在于, 所述的非磁性材料层是铜。

7. 如权利要求 6 所述的磁阻感测系统, 其特征在于, 所述的铁磁材料层由从包括钴、NiFe 和 NiCo 的一组材料中选出的材料构成。

8. 如权利要求 5 所述的磁阻感测系统, 其特征在于, 所述的非磁性材料层是 Ru。

9. 如权利要求 8 所述的磁阻感测系统, 其特征在于, 所述的铁磁材料层由从包括 Fe、Co、Ni、NiFe 和 NiCo 的一组材料中选出的材料构成。

10. 如权利要求 1 所述的磁阻感测系统, 其特征在于, 所述的基片和所述的铁磁材料层之间有一层缓冲层。

11. 如权利要求 10 所述的磁阻感测系统, 其特征在于, 所述的缓冲层由从包括 Fe、Cu、Cr、Ru、Rh、Ir 和 Re 的一组材料中选出的材料构成。

12. 一种磁阻感测系统, 包括:

一个磁阻传感器, 包括一个基片和在该基片上形成的多层结构物;

电流产生装置, 产生流经所述的磁阻传感器的电流;

感测装置, 响应上述电流, 并响应上述多层结构拦截的磁场;

感测上述多层结构中电阻的变化，

其特征在于：

所述的多层结构包括至少两个四层，每个四层都包括一层第一铁磁材料层，一层第一非磁性金属材料层，一层第二铁磁材料层和一层第二非磁性金属材料层，上述第一和第二非磁性金属材料层具有预定的厚度，上述非磁性金属材料层厚度选择在相对应于所述磁阻函数的峰值处。

13. 如权利要求12所述的磁阻感测系统，其特征在于，所述的磁阻作为所说的多层结构的非磁性材料层厚度的函数，至少包括一个第一峰值和一个第二峰值。

14. 如权利要求13所述的磁阻感测系统，其特征在于，选择所述的非磁性材料层的厚度，以使磁阻传感器工作在作为所述的非磁性材料层厚度的函数的所述的磁阻的第一峰值。

15. 如权利要求13所述的磁阻感测系统，其特征在于，选择所述的非磁性材料层的厚度，以使磁阻传感器工作在作为所述的非磁性材料层厚度的函数的所述的磁阻的第二峰值。

16. 如权利要求12所述的磁阻感测系统，其特征在于，所述的非磁性材料层由从包括Cu、Cr、Ru、Ir、Re和Rh的一组材料中选出的材料构成。

17. 如权利要求16所述的磁阻感测系统，其特征在于，所述的非磁性材料层是铜。

18. 如权利要求17所述的磁阻感测系统，其特征在于，所述

的第一和第二铁磁材料层由从包括 Co 和 Ni, Co 和 Fe, Co 和 NiFe, 以及 Co 和 NiCo 的材料组件选出的材料构成。

19. 如权利要求 16 所述的磁阻感测系统, 其特征在于, 所述的非磁性材料层由从包括 Ru、Ir、Re 和 Rh 的一组材料中选出的材料构成。

20. 如权利要求 19 所述的磁阻感测系统, 其特征在于, 所述的第一和第二铁磁材料层由从包括 Fe 和 Co, Co 和 Ni, Co 和 NiCo, Co 和 NiFe, 以及 Ni 和 Fe 的材料组中选出的材料构成。

21. 如权利要求 12 所述的磁阻感测系统, 其特征在于, 所述的基片和所述的铁磁材料层之间有一层缓冲层。

22. 如权利要求 21 所述的磁阻感测系统, 其特征在于, 所述的缓冲层由从包括 Fe、Cu、Cr、Ru、Rh、Ir 和 Re 的一组材料中选出的材料构成。

23. 一种磁阻传感器, 其特征在于:

一个基片; 以及

在该基片上形成的多层结构物, 上述多层结构物包括至少两个双层, 每个双层包括一层铁磁材料层和一层非磁性金属材料层, 所述的两层具有预定的厚度, 所述的多层结构物是所述的非磁性金属材料层厚度的函数, 所述的非磁性金属材料层厚度选择在对应于所述磁阻函数的峰值处。

24. 如权利要求 23 所述的磁阻传感器, 其特征在于, 在上述基片上, 在上述基片与上述多层结构之间形成一层缓冲层。

25. 如权利要求24所述的磁阻传感器,其特征在于,所述的缓冲层是由铁、铜、铬、钨、铈、铀和铯中选取的一种材料形成的。

26. 如权利要求23所述的磁阻传感器,其特征在于,一顶层叠置和敷盖上述的多层结构物。

27. 如权利要求26所述的磁阻传感器,其特征在于,所述的顶层是由具有相当高的电阻率的材料形成的。

28. 一种磁阻传感器,其特征在于包括:

一基片;

一缓冲层,在上述的基片上形成;

一多层结构物,在上述的缓冲层上形成,所述的多层结构物包括多个(N 个)双层,每个双层包括一个铁磁材料层和一非磁性金属材料层,这两层都具有预定的厚度,所述的多层结构物的磁阻值是上述的非磁性金属材料层厚度的函数,所述的非磁性金属材料层厚度选择相对应于所述的磁阻函数的峰值处。

29. 如权利要求28所述的磁阻传感器,其特征在于,一顶层叠置和复盖上述的多层结构物。

30. 如权利要求29所述的磁阻传感器,其特征在于,所述的顶层是由具有相当高的电阻率的材料形成的。

31. 如权利要求28所述的磁阻传感器,其特征在于,上述双层的个数 N 是在40~60的范围内。

32. 如权利要求28所述的磁阻传感器,其特征在于,所述

的多层结构物包括 2 0 个在上述缓冲层上形成的双层。

说 明 书

基于波动磁阻的磁阻传感器及磁阻感测系统

本发明一般涉及用于从磁介质中读出信息信号的磁传感器,特别是经改进的磁阻读出传感器。

先有技术揭示了一种磁传感器,称作磁阻(MR)敏感器或读出头,它能以极大的线性密度从磁表面读出数据。MR 读出器通过由磁性材料制成的读出部件的电阻变化探测磁场信号,该变化量是读出部件检测的磁通的大小和方向的函数。这些先有技术的 MR 敏感器的工作原理是以异向磁阻效应为基础的,其中电阻分量随磁化和电流方向之间夹角的余弦的平方变化。这些 MR 读出器的工作原理以 AMR 效应为基础,即使该效应只产生非常小的电阻变化百分比。

最近,出版了有关得到增强了的 MR 效应的技术报道。其中有一份出版物(“叠层磁结构中反铁磁夹层互换增强磁阻”G. Binasch 等,见《物理评论》第 39 卷第 4828 页,1989 年)描述了一种叠层磁结构,它增强了由磁化的逆平行排列引起的 MR 效应。然而,得到这些电阻变化所需的磁饱和太高了,结果太非线性了,因此不适用于生产实际的 MR 读出器。

另一份出版物(“叠层磁结构:横穿夹层的铁磁层的互换耦合”*P. Gurnberg 等 MRS Intl. Adv. Mats*, 第 10 卷第 255 页, 1989 年)以及追溯到二十世纪 60 年代的研究都揭示了在这种系统中的铁磁耦合, 这些系统随着系统在范围的磁层分离的增加而逐渐淘汰了。

先有技术并没有显示这样的一种多层系统, 其中磁阻高并且磁场强度足够低, 因此它能用作 *MR* 读出器。

因此, 本发明的主要目的是提供一种具有大的磁阻值的 *MR* 传感器。

根据本发明, *MR* 传感器由一个在基片上形成的多层结构组成, 包括交替的铁磁材料层和非磁性金属材料层, 铁磁材料和非磁性材料形成双层, 显示出这样的特性, 即多层结构的磁阻作为非磁性材料层的厚度的函数而变化。产生一个流经 *MR* 传感器的电流, 并且 *MR* 传感器电阻率的变化作为正在检测的磁场的函数被检测到。

通过选择非磁性层的厚度使其对应磁阻的峰值, 就可以得到极大的饱和磁阻, 在室温下超过 65%, 在 4.2K 时超过 110%, 这比任何先前观察到的数值都大。

通过以下对本发明的附图所示的最佳实施例的更具体的描述, 本发明上述的和其它的目的、特征及优点将变得非常清楚。

图 1 表示根据先有技术的作为非磁性隔层厚度函数的饱和磁

阻,在这种结构中包括由非磁性隔层分开的铁磁层。

图 2 表示根据本发明的作为一组有关的多层结构中的非磁性层厚度函数的饱和磁阻。

图 3 表示根据本发明的具有双层结构的磁阻传感器的一个具体实施例的端面。

图 4 表示根据本发明的作为具有双层结构的一个具体实施例的非磁性层厚度函数的饱和磁阻。

图 5 表示根据本发明的具有四层结构的磁阻读出器的一个具体实施例的端面。

图 6 表示根据本发明的作为具有四层结构的一个具体实施例的非磁性层厚度函数的饱和磁阻。

图 7 表示根据本发明的具有双层结构的磁阻读出器的另一个实施例的端面。

图 8 表示作为四个类似于图 7 所示结构的平面磁场强度的函数的磁阻。

图 9 表示作为图 2 所示的一组结构中的非磁性层厚度函数的饱和磁阻。

图 10 表示根据本发明的具有四层结构的磁阻读出器的另一个实施例的端面。

图 11 表示作为图 10 所示结构的非磁性层厚度函数的饱和磁场。

图 12 是一组图(a)~(f),表示作为图 7 所示类型的六个有代表性结构的平面磁场强度的函数的磁阻。

图 13 表示作为图 7 所示结构中的非磁性层厚度函数的磁阻。

图 14 表示作为图 7 所示结构的磁场强度的函数的磁阻,该图显示在低场强时高磁阻的情况。

图 15 表示作为图 7 所示类型的三个结构的平面磁场强度的函数的磁阻,但是铁磁层的厚度是变化的。

根据本发明,提供了一种多金属层结构,该结构由交替的磁性材料层和非磁性材料层组成。与先有技术的结构相比,这种多金属层结构能产生意想不到的、相当高的饱和磁阻值,并且对某些材料来说,还发现这些结构中的磁阻是非磁性层厚度的函数。

如图 1 所示,先有技术中叠层结构的饱和磁阻随着非磁性层厚度的增加而单调减小。与先有技术相反,例如对图 2 所示的某些材料组合来说,我们发现饱和磁阻随着非磁性层厚度的增加而变动,磁阻随着非磁性层厚度的增加而发生波动,在这一个具体的实施例中,第一峰值出现在 $9\text{\AA}$ 和 $10\text{\AA}$ 之间,第二峰值出现在大约 $19\text{\AA}$ 或 $20\text{\AA}$ 处,第三峰值出现在刚过 $30\text{\AA}$ 处。

通过采用显示这种波动特性的材料,选择与例如图 2 所示的其中一个峰值对应的非磁性金属层的厚度,就有可能制成磁阻变化大的 MR 读出器。

磁性层和非磁性层的材料组合的饱和磁阻的幅值作为非磁性

层厚度的函数波动,这种材料组合可以通过考虑例如由它们的整体侧面图揭示的特性加以选择。通常这些材料组合不相互形成混合物,它们之间存在着很大的混溶裂隙。

现有给出这些材料体系的具体例子。图3表示磁阻(MR)读出一个具体实施例。MR读出器10包括一个在适当的基片11上形成的多层金属结构,具有交替的铁磁材料层12和非磁性金属材料层14。选择层12和14的材料组合数 N ,组合件的上面是顶层16,它对读出器10起保护层的作用。

图3所示的本发明的一个具体实施例由以下材料的双层结构组成:

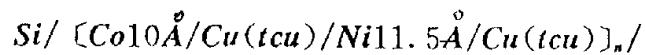
$$Si/48\text{\AA}Cu [9\text{\AA}Co/Cu(tcu)]_n/50\text{\AA}Cu$$

在某些具有20组双层的样品中采用了这种结构,而其它则有16组双层,它们的磁阻如图4所示。具有16组双层结构的磁阻要小一些,但16组双层结构和20组双层结构的磁阻的波动方式相同,峰值出现在铜的大约 $10\text{\AA}$ 、 $20\text{\AA}$ 和刚过 $30\text{\AA}$ 处。通过缓冲层和顶层的电流分流减小了磁阻的幅值,但是通过选择具有高电阻率的缓冲层和顶层,以及通过选择大的材料层组合数 N (例如40~60),就可以使磁阻的幅值最大。

图5所示的本发明的具体实施例由淀积在基片11上的四层结构组成,包括第一层铁磁材料12,第一层非磁性金属材料14,第二层铁磁材料13,以及第二层非磁性金属材料15。选择层12、13、

14 和 15 的材料组合数 N , 组合件的上面是顶层 16。

根据本发明的具有四层结构的一个具体实施例由以下材料构成:



如图 6 所示, 该结构所引起的磁阻随厚度波动, 峰值出现在刚刚不到 $10\overset{\circ}{\text{\AA}}$ 和 $20\overset{\circ}{\text{\AA}}$ 处。

还可以发现在上述叠层结构中观察到的巨大的磁阻效应基本上可以通过在一定的缓冲层上进行淀积得到。除了在基片 11 上形成第一铁磁层 12 之前先形成缓冲层 18 之外, 图 7 所表示的双层结构与图 3 的类似。淀积顶层 16 之后, 紧接着是引线 20 和 22, 以便在 MR 读出器、电流源 24 和检测装置 26 之间形成电路。

图 8 画出了双层结构的四幅图, 该结构中 Co 和 Cu 层的数目相同, 但缓冲层 18 和顶层 16 具有不同的 Fe 和 Cu 组合。这些图所表示的饱和磁阻的变化大于三倍。这些差别是由于减小了通过缓冲层的分流和改变结构中的薄膜的生长形态的结果。

为了得到最佳的磁阻, 必须选择缓冲层的材料。首先要考虑的是这种材料不与基片材料发生反应, 其次要考虑的是这种材料的平整性, 因为这看起来很重要, 特别对薄的非磁性隔层而言(即在第一峰值附近)。此外, 缓冲层应尽可能地薄, 以便将分流效应减到最小, 而在同时又必须保证缓冲层是一连续不断的层。缓冲层可以由例如 Fe、Ru、Cu、Rh、Ir、Re 或 Cr 组成, 并且 Fe 的适合的厚度在 15Å 至

50Å 的范围之间。

图 2 表示具有缓冲层结构的一个具体实例,材料构成如下:

$$Si/Fe45\text{\AA}/[Co10\text{\AA}/Cu(tcu)]_n$$

图 2 中所标数据是在室温 300K 时测得的,同样的结构但是在氦温度(4.2K)下测得的数据如图 9 所示。这两幅图相似,证明磁阻的峰值与温度无关。

图 10 表示一个 MR 传感器,上类似于图 5 的四层结构组成,除了在基片 11 上形成第一铁磁层 12 之间先形成缓冲层 18 之外。具有缓冲层的四层结构的一个具体实施例的材料构成如下:

$$Si/Ru100\text{\AA}/[Co16\text{\AA}/Ru(ts)/Ni45\text{\AA}/Ru(ts)]_{10}/Ru50\text{\AA}$$

作为该结构的隔离层 14 和 15 厚度的函数的饱和磁阻见图 11 所示。峰值出现在 10Å 以下,20Å 和 30Å 附近。该图表明饱和磁阻与饱和磁阻紧密相关,并且它们的幅值作为 Ru 隔离层厚度的函数,以大约 8~10Å 的周期波动。饱和磁阻的峰值随非磁性隔离层厚度的增加而变化,其衰减速度比磁阻峰值的衰减速度要快。饱和磁阻的峰值按 $1/(ts)^P$ 变化,其中 P 大约为 1.7 至 2,而磁阻的峰值按大约 $1/ts$ 变化。

图 12 表示与磁场曲线成函数关系的磁阻,有六个相同的 Co/Cu 双层结构,只是铜隔离层的厚度有所变化。结构如下:

$$Si/Fe40\text{\AA}/[Co10\text{\AA}/Cu(tcu)]_{16}$$

可以清楚地看到,Cu 层厚度为 9.3Å 时,磁阻的幅值就变大了。随

着 Cu 层厚度的增加,磁阻的幅值从小变大,如图 12 所示。

还可以看到,产生磁阻响应所需的磁场强度也随 Cu 层厚度的变化而变化。例如,Cu 层为 $9.3\text{\AA}$ 时的第一峰值对应大约 55% 的磁阻。然而,所需的场强是 $\sim 3\text{KOe}$ 。利用这些数据就可以选择 Cu 层的厚度,使其在第一峰值对应最大的磁阻,或在第二峰值对应的磁阻大而场强较低。

图 13 表示具有以下结构的 MR 传感器的一个具体实施例的数据:

$$\text{Si}/\text{Ru}50\text{\AA}/[\text{Co}10\text{\AA}/\text{Cu}(tcu)]_n/\text{Ru}15\text{\AA}$$

该数据显示了磁阻的波动情况,从铜层厚度大约 $60\text{\AA}$ 起,磁阻基本上是衰减的。在铜层较厚部分,磁阻随着厚度增加而减小。该数据也表示一直到大于 $400\text{\AA}$ 的极厚的铜层的大的磁阻值。

图 14 表示在更低场强下产生较小的 28% 磁阻的结构的一个实例。该结构包括:

$$\text{Si}/50\text{\AA}\text{Ru}/[10\text{\AA}\text{Co}/17.4\text{\AA}\text{Cu}]_{20}/15\text{\AA}\text{Ru}$$

上面已经给出了不同材料组合的多种实例,它们都显示了饱和磁阻随非磁性层厚度波动的特性。具体的材料组合包括 Fe/Cr 和 Co/Cr。Cu 通常和大部分铁磁材料组合,例如 Co/Cu, NiFe/Cu, Co/Cu/Ni/Cu, Co/Cu/Fe/Cu, Co/Cu/NiFe/Cu, 以及 Co/Cu/NiCo/Cu。Ru 通常和大部分铁磁材料组合,例如 Fe/Ru, Co/Ru, Ni/Ru, NiFe/Ru, NiCo/Ru, Fe/Ru/Co/Ru, Co/Ru/Ni/Ru, Co/Ru/

NiCo/Ru , 以及 *Co/Ru/NiFe/Ru* 。 *Ir*、*Re* 和 *Rh* 也通常和大部分铁磁材料组合。

铁磁层的厚度也对磁阻有影响, 并且可以表明, 铁磁层应尽可能地薄。然而, 图 15 表示三组双层结构的作为平面场强函数的横向磁阻, 这种结构组成如下:

$$Si/Fe40\text{\AA}[\text{Co}(tco)/Cu9.3A]_{16}/Cu19\text{\AA}$$

这些曲线表示磁阻和场强随铁磁层厚度变化而发生巨大变化的情况。当钴层厚度增加, 达到 10A 以上时, 饱和磁阻的幅值基本上随钴层厚度的增加而减小。

我们已经描述了采用铁磁材料和非磁性金属材料组合制成的 *MR* 传感器, 这些材料组合显示了这样的特性, 即多层结构的磁阻作为非磁性材料层厚度的函数而波动。通过选择对应磁阻峰值的非磁性材料的厚度, 就可以得到超过 60% 的非常大的磁阻。

虽然参照本发明的最佳实施例对本发明进行了具体的表述, 但是本领域的技术人员应该懂得, 在不背离本发明的精神和范围的情况下, 可以在形式和细节上做各种其它的变动。

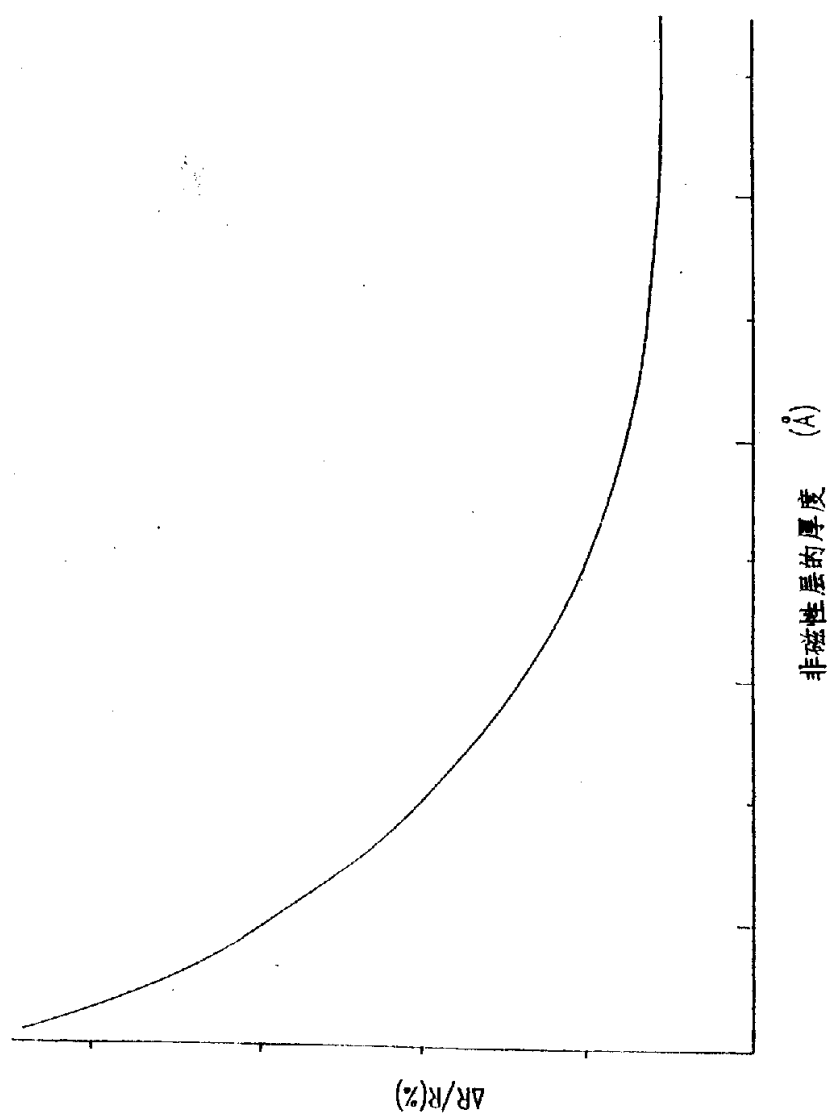
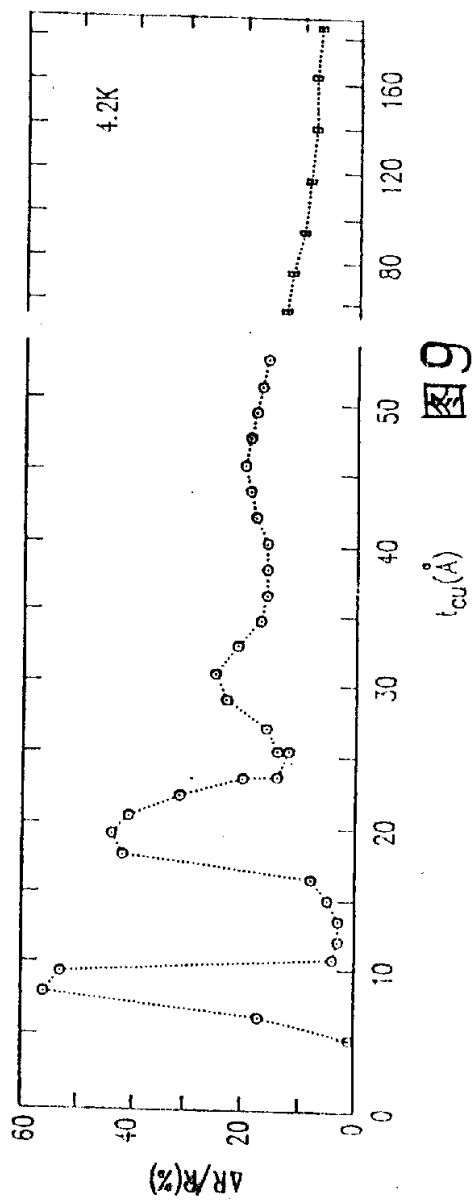
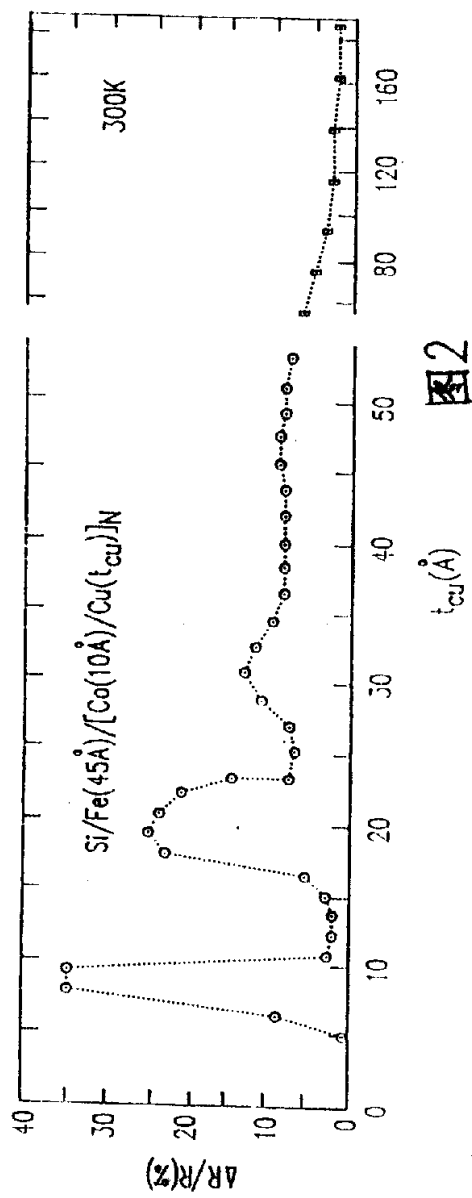


图1



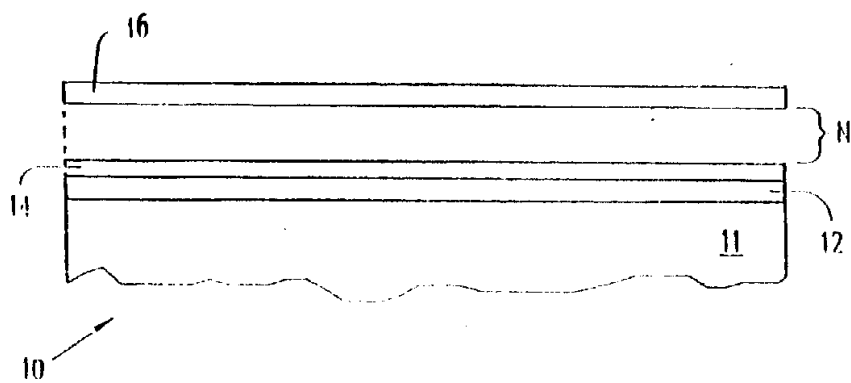


图 3

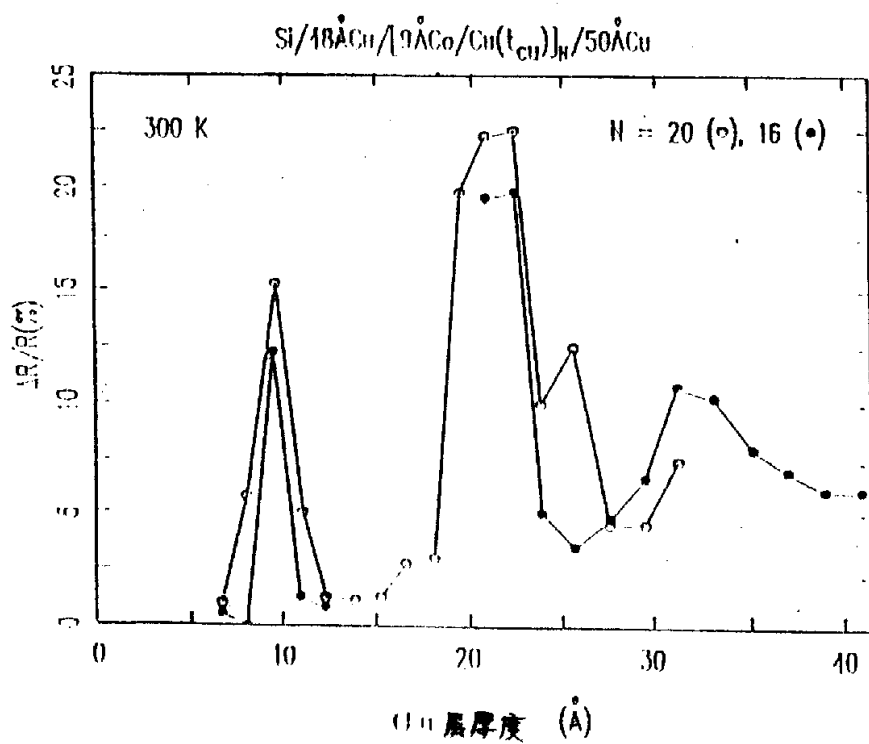


图 4

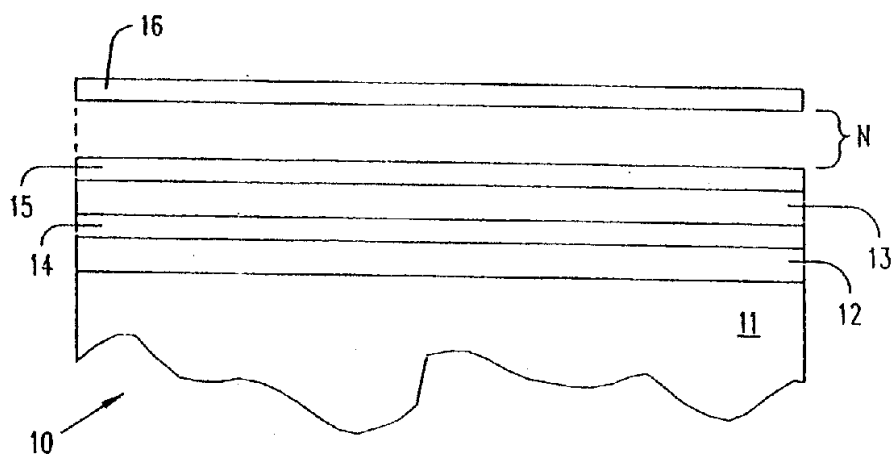


图5

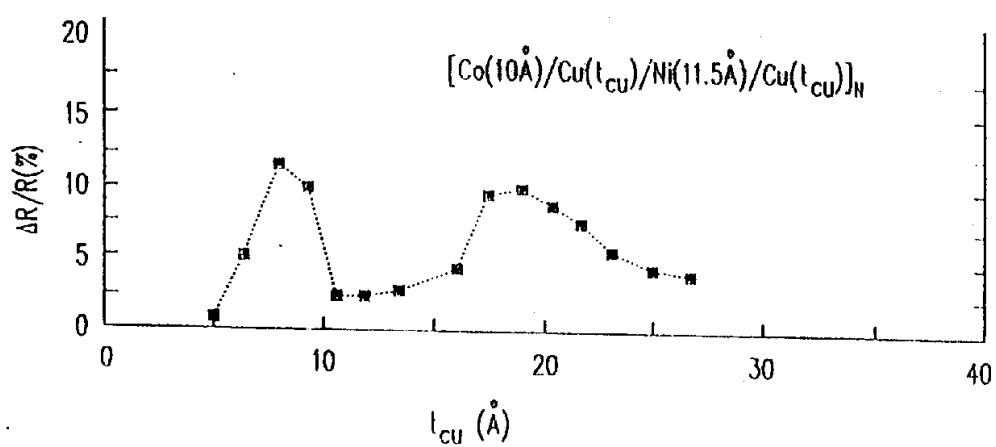


图6

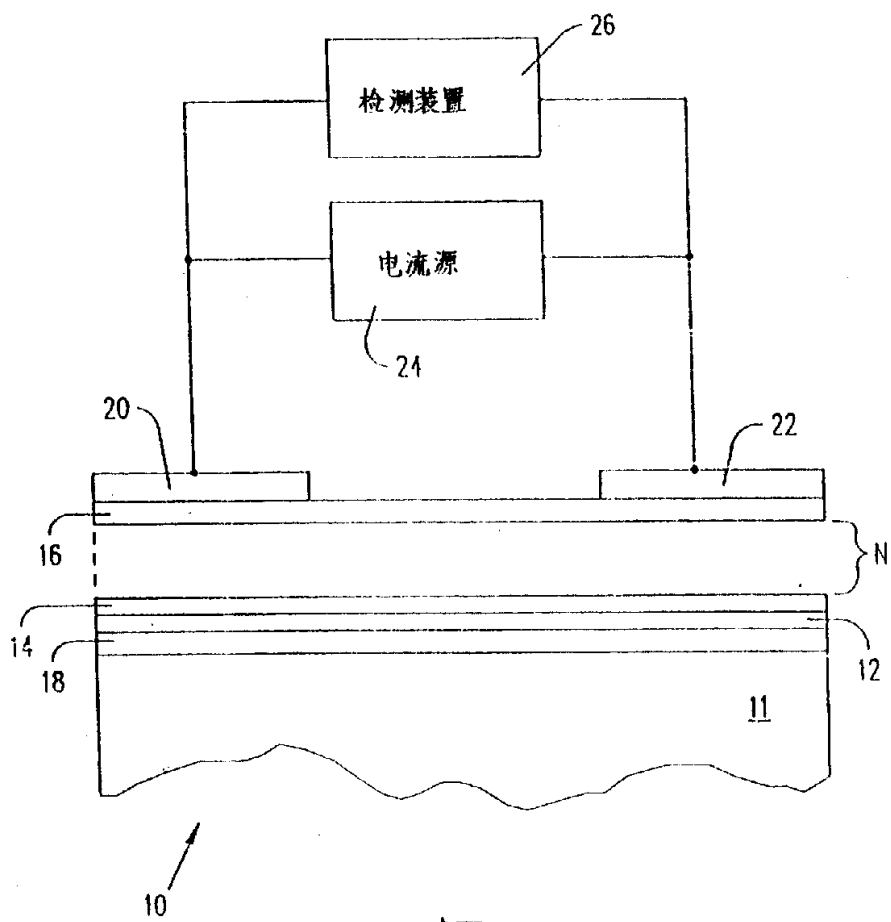


图7

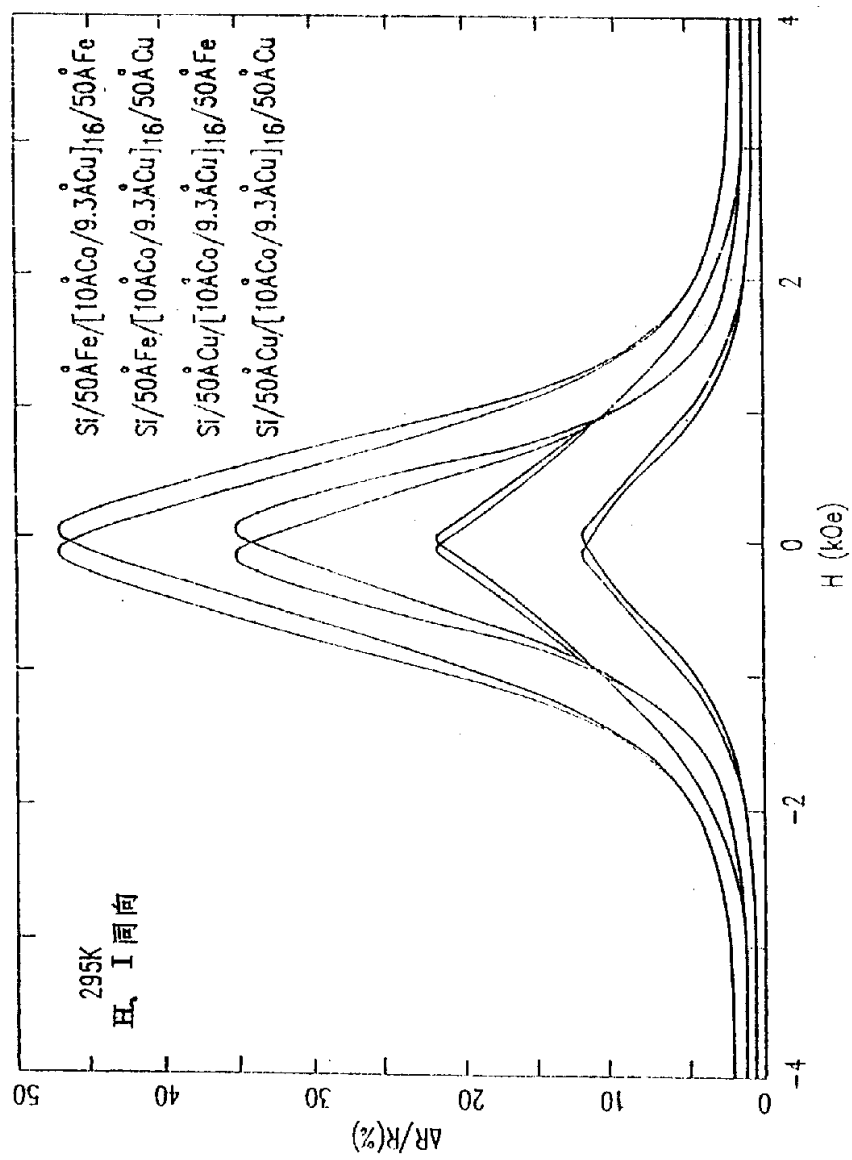


图8

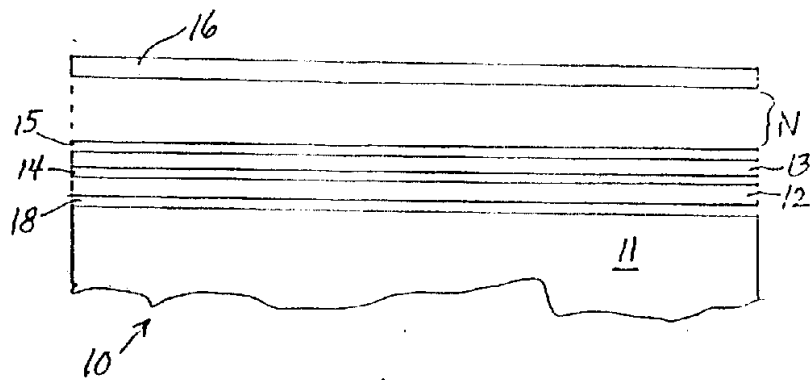


图10

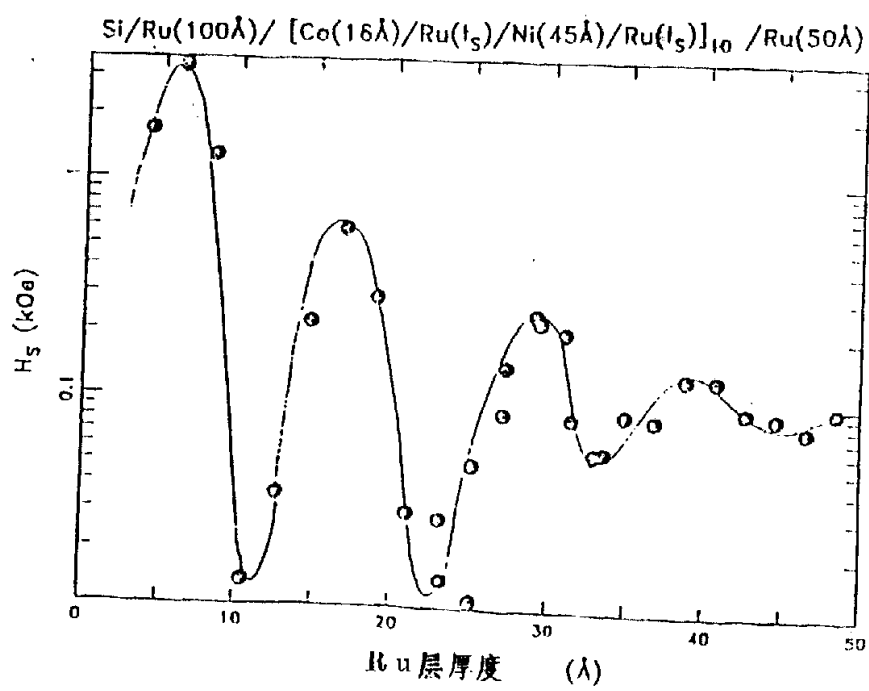


图11

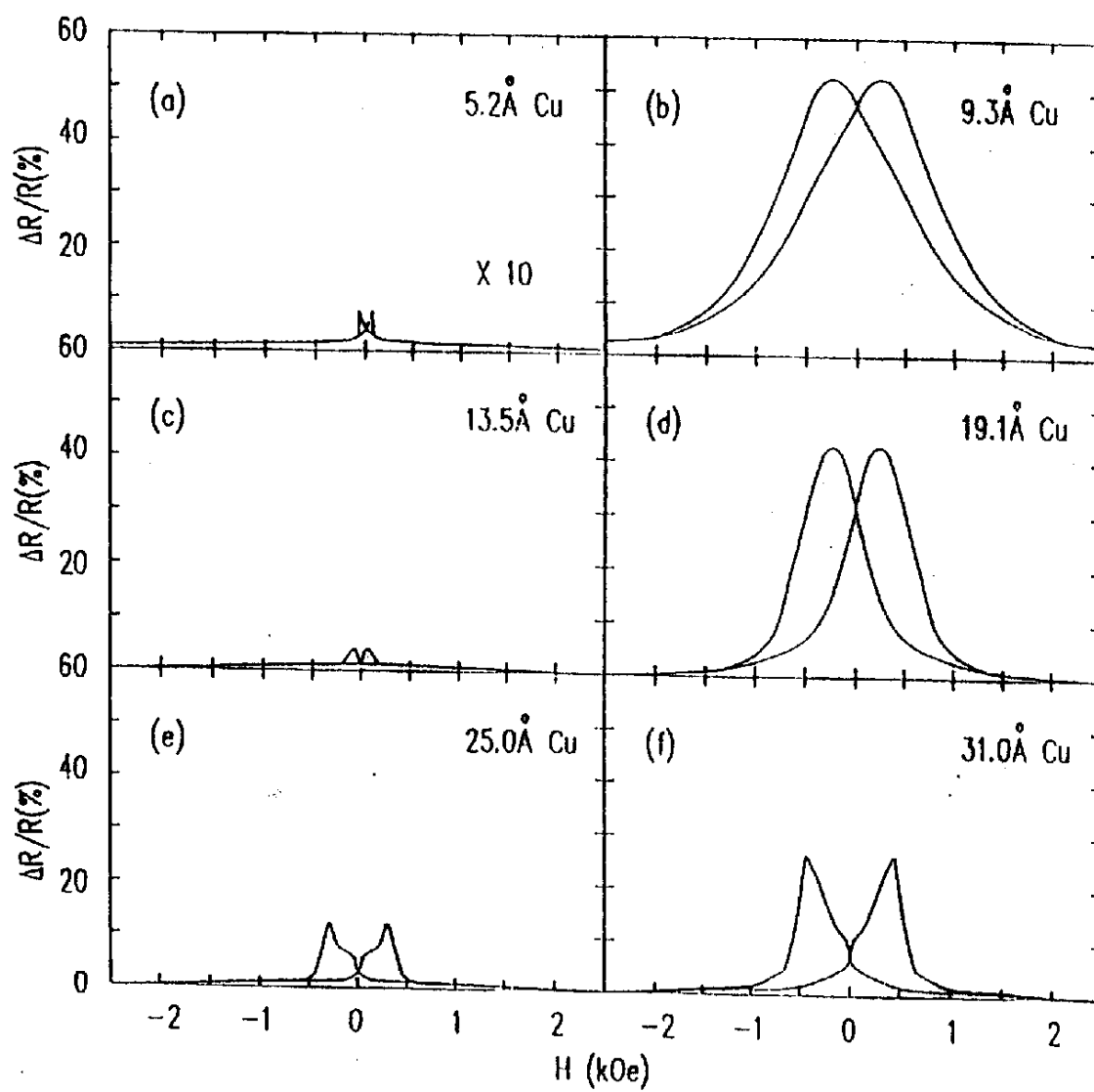


图12

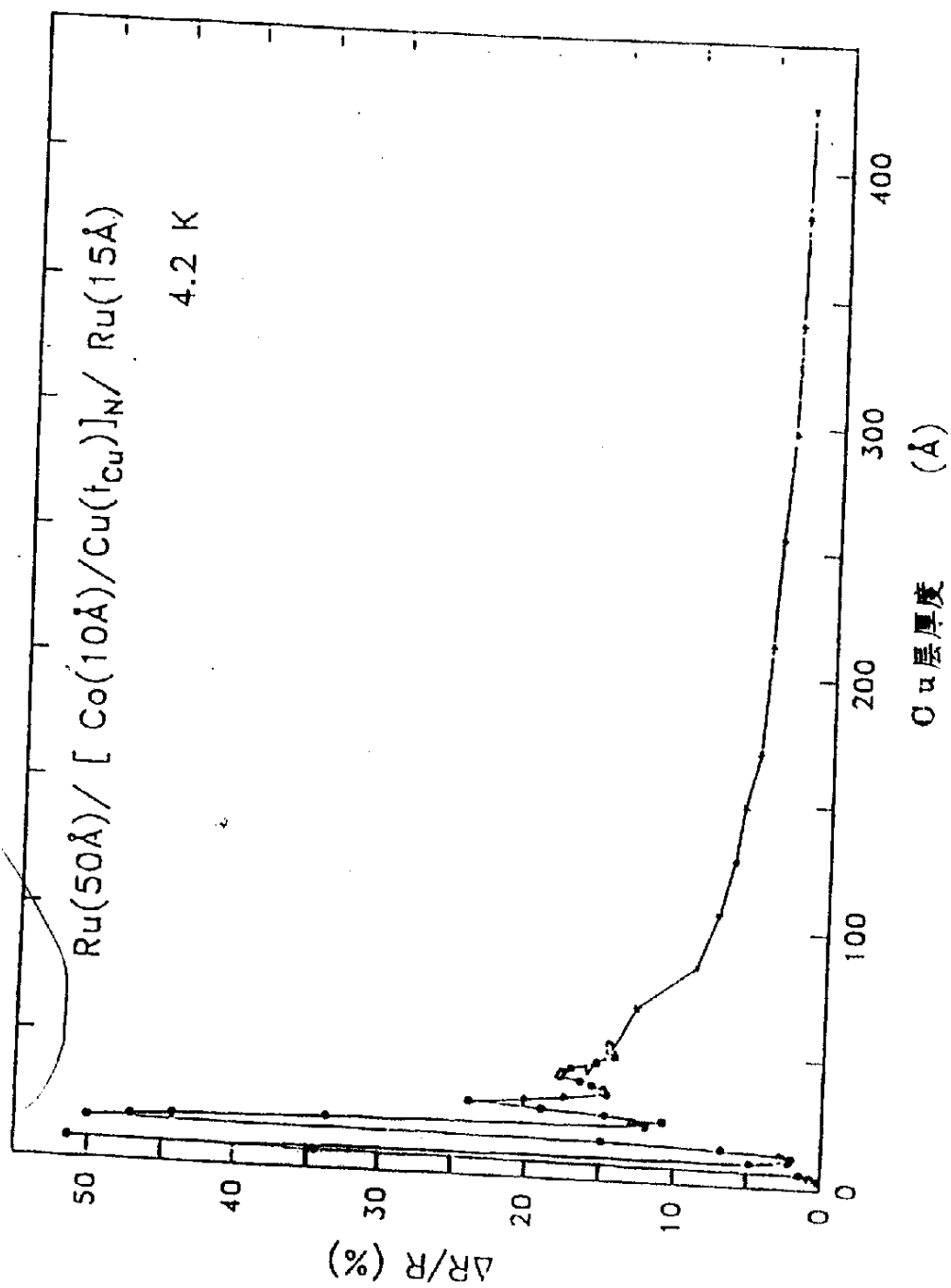


图13

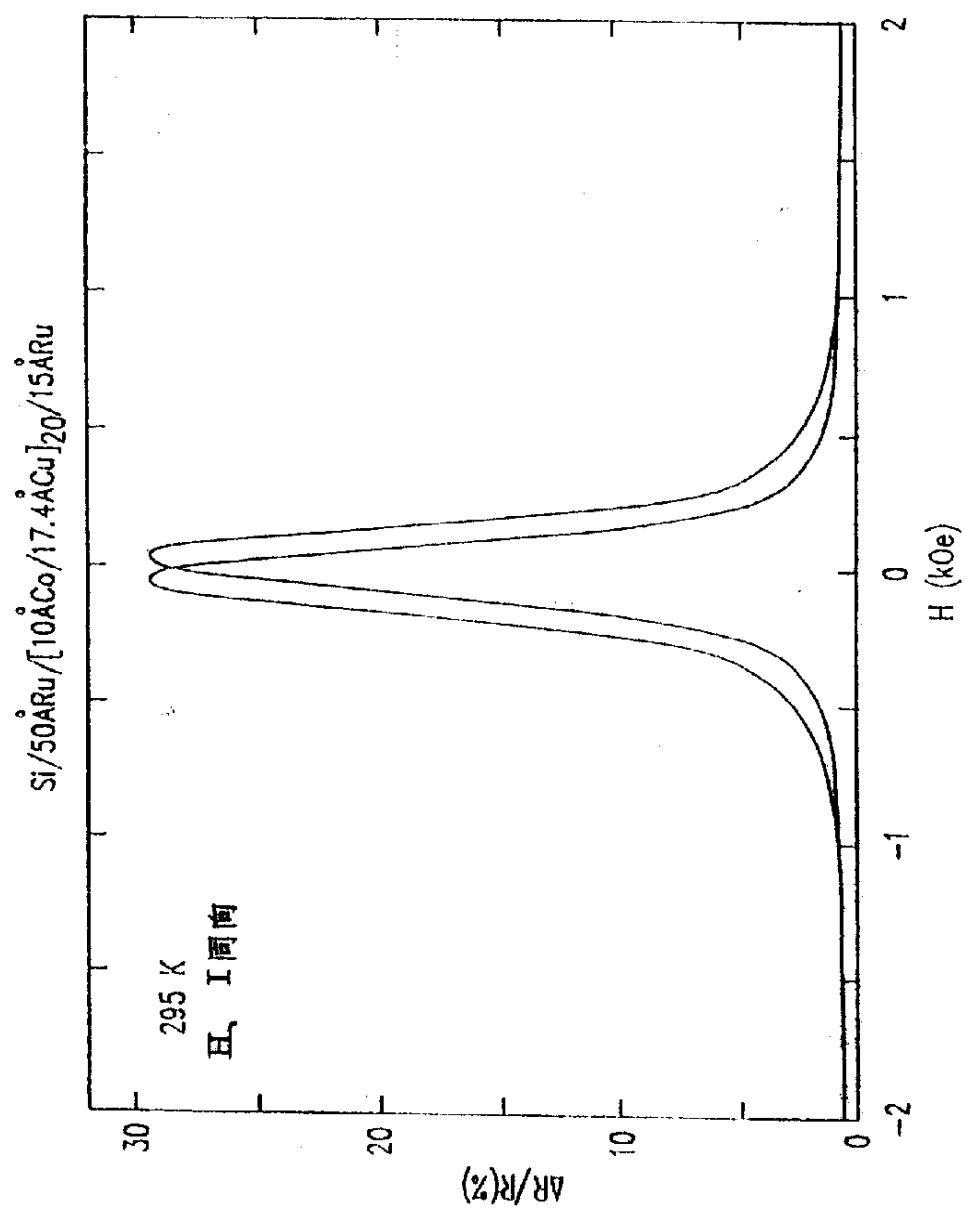


图14

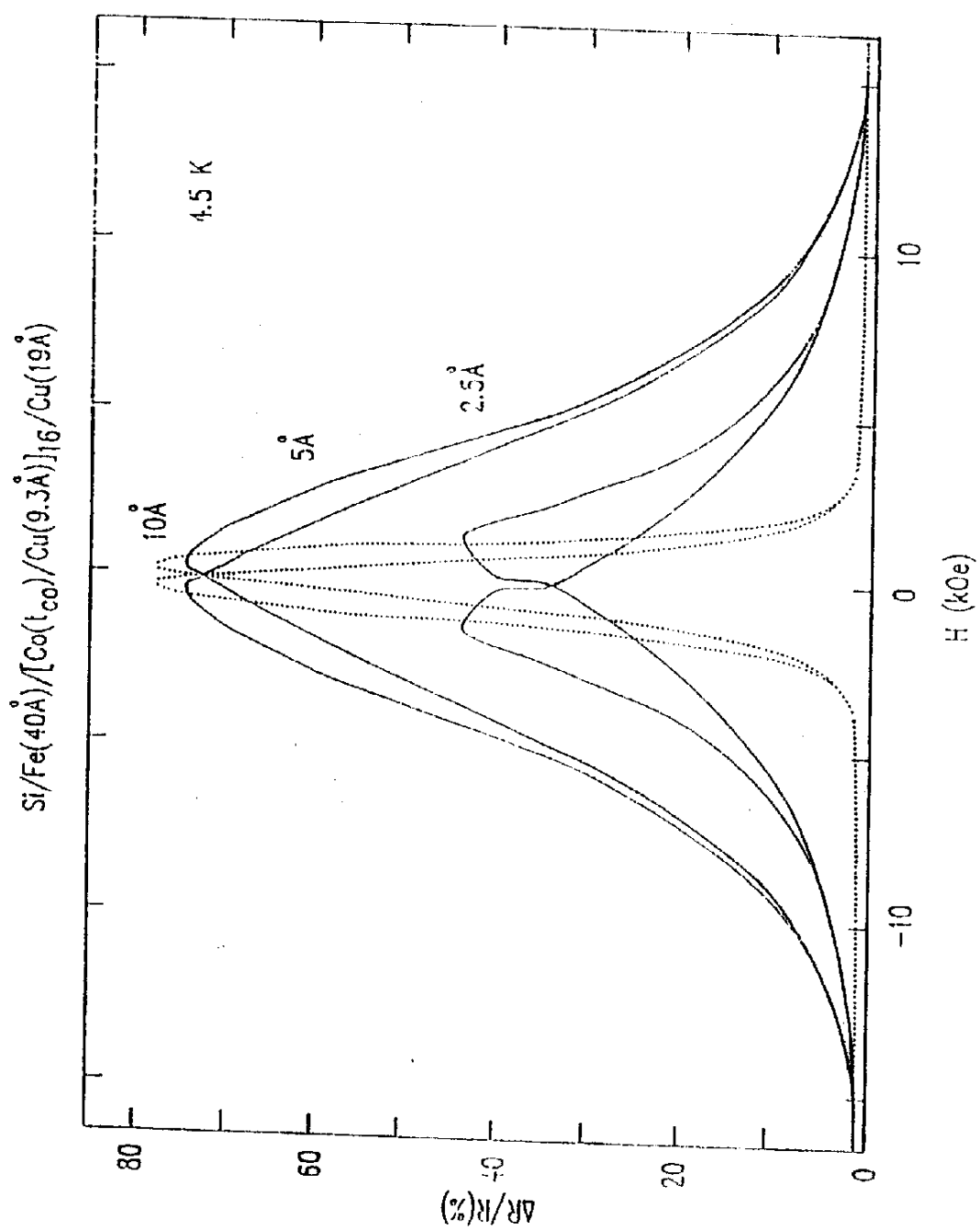


图15