



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1864229 B

(45) 授权公告日 2012.01.25

(21) 申请号 200480029367.0

(22) 申请日 2004.10.06

(30) 优先权数据

0311897 2003.10.10 FR

(85) PCT申请进入国家阶段日

2006.04.07

(86) PCT申请的申请数据

PCT/FR2004/002517 2004.10.06

(87) PCT申请的公布数据

W02005/036559 FR 2005.04.21

(73) 专利权人 原子能和代替能源委员会

地址 法国巴黎

专利权人 国家科学研究中心

(72) 发明人 伯纳德·迪尼 里卡多·索萨

达纳·斯塔尼斯库

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 李晓舒 魏晓刚

(51) Int. Cl.

G11C 11/16 (2006.01)

(56) 对比文件

WO 03/043017 A2, 2003.05.22, 全文.

CN 1402254 A, 2003.03.12, 全文.

CN 1365117 A, 2002.08.21, 全文.

审查员 姚梦琦

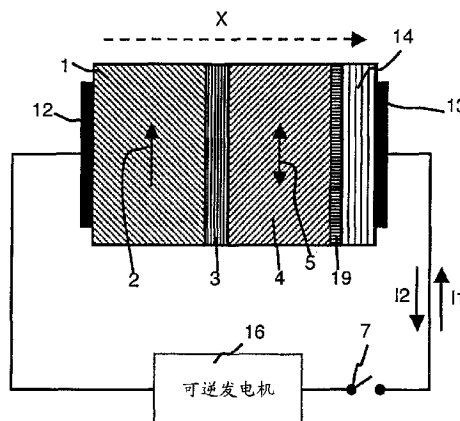
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 5 页

(54) 发明名称

磁隧道结器件以及用于所述器件的写 / 读方法

(57) 摘要

本发明的器件顺序包括第一电极 (12)、磁参考层 (1)、隧道势垒 (3)、磁存储层 (4)、以及第二电极 (13)。至少一个第一热障设置在该存储层 (4) 与该第二电极 (13) 之间且由热导率小于 $5\text{W}/\text{m}/^\circ\text{C}$ 的材料制成。第二热障可由布置在该第一电极 (12) 与该参考层 (1) 之间的层构成。所述方法的写阶段包括电流 (I_1) 从存储层 (4) 向参考层 (1) 穿过隧道结的流动, 而所述读阶段包括电流沿相反方向的流动。



1. 一种磁器件,顺序包括:

- 第一电极 (12);
- 磁隧道结,其顺序包括形成参考层且具有固定磁化 (2) 的第一磁层 (1)、形成隧道势垒 (3) 的电绝缘层、以及形成存储层且具有可翻转方向的磁化 (5) 的第二磁层 (4);
- 中间层 (14);
- 以及第二电极 (13),

该磁器件的特征在于所述中间层 (14) 构成由具有低于 $5\text{W/m/}^\circ\text{C}$ 的热导率的材料形成的第一热障。

2. 如权利要求 1 所述的磁器件,其特征在于第二热障由布置在所述第一电极 (12) 与所述第一磁层 (1) 之间的层 (15) 形成。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的磁器件,其特征在于所述第一热障的材料具有使热障的电阻显著低于隧道势垒 (3) 的电阻的电导率。

4. 如权利要求 1 或 2 所述的磁器件,其特征在于所述第一热障的材料包括至少一种合金,该至少一种合金包括选自砷、锑、铋、锗、锡和铅的至少一种元素且包括选自硫、硒、碲、铝、镓、铟和铊的至少一种元素。

5. 如权利要求 1 或 2 所述的磁器件,其特征在于所述第一热障的材料包括至少一种合金,该至少一种合金包括选自磷、砷和锑的至少一种元素且包括选自铁、钇、钕、钴、铈、铉和铊的至少一种元素。

6. 如权利要求 5 所述的磁器件,其特征在于所述第一热障的材料包括选自镧、铈、镨、钕、钐、铕、钆、铽、镱和铀的至少一种元素。

7. 如权利要求 1 或 2 所述的磁器件,其特征在于所述第一热障由反铁磁层形成,该磁器件包括布置在所述第一热障与所述第二磁层 (4) 之间的磁退耦层 (19)。

8. 如权利要求 7 所述的磁器件,其特征在于所述磁退耦层 (19) 的材料选自钽、铬、钒、锰和铂。

9. 如权利要求 2 所述的磁器件,其特征在于所述第二热障的材料具有使热障的电阻显著低于隧道势垒的电阻的电导率。

10. 如权利要求 2 所述的磁器件,其特征在于所述第二热障的材料包括至少一种合金,该至少一种合金包括选自砷、锑、铋、锗、锡和铅的至少一种元素且包括选自硫、硒、碲、铝、镓、铟和铊的至少一种元素。

11. 如权利要求 2 所述的磁器件,其特征在于所述第二热障的材料包括至少一种合金,该至少一种合金包括选自磷、砷和锑的至少一种元素且包括选自铁、钇、钕、钴、铈、铉和铊的至少一种元素。

12. 如权利要求 11 所述的磁器件,其特征在于所述第一热障的材料包括选自镧、铈、镨、钕、钐、铕、钆、铽、镱和铀的至少一种元素。

13. 如权利要求 1 或 2 所述的磁器件,其特征在于第三热障由所述隧道势垒 (3) 形成。

14. 如权利要求 13 所述的磁器件,其特征在于所述隧道势垒 (3) 的材料选自硅氧化物、锆氧化物和钛氧化物。

15. 如权利要求 1 或 2 所述的磁器件,其特征在于所述中间层是非磁性的。

16. 如权利要求 1 或 2 所述的磁器件,其特征在于非磁性的所述中间层包括 BiTe 。

17. 如权利要求 1 或 2 所述的磁器件,其特征在于所述中间层与所述第二磁层接触。
18. 如权利要求 1 或 2 所述的磁器件,其特征在于所述磁器件包括一个磁隧道结。
19. 如权利要求 1 或 2 所述的磁器件的读 / 写方法,其特征在于:
 - 写阶段,其包括电流 (I1) 从所述第二磁层 (4) 向所述第一磁层 (1) 穿过所述隧道结的流动,从而加热该第二磁层 (4) 到比该第二磁层 (4) 的磁化 (5) 的截止温度高的温度;
 - 以及读阶段,其包括电流 (I2) 从所述第一磁层 (1) 向所述第二磁层 (4) 穿过所述隧道结的流动。

磁隧道结器件以及用于所述器件的写 / 读方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种磁器件,顺序包括:

[0002] - 第一电极;

[0003] - 磁隧道结,其顺序包括形成参考层且具有固定磁化的第一磁层、形成隧道势垒的电绝缘层、以及形成存储层且具有可翻转方向的磁化的第二磁层;

[0004] - 中间层,

[0005] - 以及第二电极。

背景技术

[0006] 文献 FR 2832542 描述了具有磁隧道结的磁器件以及使用该器件读和写的方法。如图 1 所示,隧道结顺序包括形成参考层 1 且具有固定磁化 2 的第一磁层、形成隧道势垒 (tunnel barrier) 3 的电绝缘层、以及形成存储层 4 且具有如图 1 中双向箭头所示的可翻转方向的磁化 5 的第二磁层。存储层 4 的可翻转方向的磁化 5 能相对于参考层 1 的固定磁化 2 定向使得磁化平行或反平行。

[0007] 存储层 4 的磁化的截止温度 (blocking temperature) 低于参考层 1 的截止温度。该器件还包括电流源 6、开关 7、以及施加磁场到存储层从而相对于参考层 1 的磁化 2 定向存储层 4 的磁化 5 而不更改参考层 1 的磁化 2 的取向的装置 (未示出)。

[0008] 在写阶段,即在通过应用外磁场而磁化存储层 4 的阶段,使电流 I 流过隧道结从而加热存储层 4 高于其磁化 5 的截止温度。

[0009] 在读阶段,存储层 4 的磁化 5 相对于参考层 1 的磁化的取向通过磁隧道结的电阻被测量,磁隧道结的电阻依赖于存储层 4 的磁化 5 相对于参考层 1 的磁化的取向。

[0010] 在写期间,约 0.5V 的电压施加到结的端子 (terminal),需要较高的电功率。此外,结能够被此功率损坏。用于读的所施加的电压通常是 0.3V。然后隧道结在读期间还被加热,这增大了计划外读取的风险。

[0011] 图 2 示出受到电势差 V 的隧道结中电子的势能 8。结由电子发射层和电子接收层形成,布置在位于 X0 的隧道势垒的两侧且分别具有较高的费米能级 E_{fs} 和较低的费米能级 E_{fi} 。费米能级的差比例于电势差: $E_{fs} - E_{fi} = eV$, e 是电子的元电荷 (elementary charge)。如箭头 9 所示,发射层发射的电子通过隧道效应 (tunnel effect) 穿过隧道势垒,没有耗散能量。然后,当电子从较高能量 E_{fs} 到较低能量 E_{fi} 的非弹性弛豫 (inelastic relaxation) 发生时,在电子接收层中电子耗散能量 eV ,例如通过产生声子 10 和 / 或磁振子 11,其增加电子接收层的温度。在特征长度上发生非弹性弛豫,平均非弹性自由程 λ_{in} ,磁隧道结中通常使用的磁材料中该长度一般为约数纳米。因此隧道电流的放热在位于接收层中且与隧道势垒相邻的具有数纳米厚度的区域中最大。

[0012] 文献 FR 2832542 中描述的隧道结还可包括反铁磁层,例如由 NiMn 制成,布置在隧道结的参考层的与隧道势垒相反的面。此外,例如由 FeMn 或 $\text{Ir}_{20}\text{Mn}_{80}$ 制成的反铁磁层还可以布置在隧道结的存储层的与隧道势垒相反的面。反铁磁层起保持存储层和参考层的

磁化取向的作用。形成隧道结的层在反铁磁层上的沉积以及结的纳米结构化需要额外的步骤,例如对齐步骤。另外,隧道势垒短路的风险增加。

[0013] 文献 W000/79540 描述了通过薄层的堆叠形成的磁存储器。该文献提出热绝缘存储单元从而能够用减小的加热电流达到居里温度,尤其是借助于具有足够的电导率同时相对于铝具有低的热导率的热绝缘层。热绝缘层的材料例如钽和氮的化合物 (TaN) 或钨 (W)。

[0014] 然而,引入这样的热绝缘层提出额外的与隧道结的集成问题,即表面粗糙度的增加和定义存储点 (memory dot) 必需的蚀刻时间的增加。这样的热绝缘层将需要额外的抛光和蚀刻步骤,其使结的沉积和制造工艺复杂化。

发明内容

[0015] 本发明的一个目的是为了弥补这些缺点,特别地,是为了实现使存储层能被有效地加热同时最小化此加热所需的电功率的器件,从而减小该器件的电消耗,且在简化制造方法的同时最小化隧道结短路的风险。

[0016] 根据本发明,该目的通过所附权利要求以及,特别地,通过中间层构成由具有低于 $5\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ 的热导率的材料形成的第一热障 (thermal barrier) 来实现。

[0017] 本发明的另一目的是提供用于根据本发明的磁器件的读 / 写的方法,

[0018] - 写阶段,包括电流从第二磁层到第一磁层穿过该隧道结的流动,从而加热该第二磁层到比该第二磁层的磁化的截止温度高的温度;

[0019] - 以及读阶段,包括电流从该第一磁层到该第二磁层穿过该隧道结的流动。

附图说明

[0020] 其它优点和特征将通过下面仅作为非限制性示例给出且在附图中示出的本发明的特定实施例的描述变得更加明显,附图中:

[0021] 图 1 示出根据现有技术的包括磁隧道结的器件;

[0022] 图 2 示出根据现有技术的受到电势差的隧道结中电子的能量变化;

[0023] 图 3 至 5 示出根据本发明的磁器件的三个特定实施例;

[0024] 图 6 示出磁隧道结中两种理论温度分布,分别对于电流从存储层向参考层流动以及沿相反方向流动;

[0025] 图 7 至 9 示出不同的理论温度分布且分别对应于图 3、4 和 5 中示出的实施例。

具体实施方式

[0026] 根据本发明的磁器件包括第一和第二电极,隧道结例如图 1 所示的隧道结布置在其间,由具有低热导率的材料形成的热障与隧道结的磁层中的至少一个接触从而在写阶段期间在存储层中聚集隧道电流产生的热。

[0027] 在图 3 中,磁器件沿 X 轴顺序包括:第一电极 12;隧道结,例如图 1 所示的隧道结;第一热障;以及第二电极 13。第一热障由布置在存储层 4 与第二电极 13 之间的中间层 14 形成。电极 12 和 13 处于环境温度,且使隧道结在写和读阶段之后能被冷却。

[0028] 根据本发明,形成第一热障的中间层 14 由具有低于 $5\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ 的热导率的材料形

成。中间层 14 的厚度越小,形成隧道结的层在中间层 14 上的沉积实际上越简单。特别地,薄层 14 的粗糙度通常较小,沉积在薄层 14 上的隧道结的短路风险被减小。然而,对于预定的热阻 (thermal resistance),其热导率越低,中间层 14 能呈现越小的厚度。

[0029] 现有技术中使用的化合物在这方面并不令人满意。上述文献 W000/79540 中提到的钽和氮的化合物 (TaN) 或钨 (W) 的情况尤其如此,其分别具有约 35W/m/°C 和约 173W/m/°C 的热导率。上述文献 FR 2832542 中提到的由 FeMn 或 $\text{Ir}_{20}\text{Mn}_{80}$ 制成的反铁磁层的情况亦是如此,其分别具有 44W/m/°C 和 35.6W/m/°C 的热导率。使用反铁磁层作为热障将需要大的厚度,其将使形成隧道结的层在反铁磁层上的沉积以及结的纳米结构化更困难。

[0030] 另外,具有低于 5W/m/°C 的热导率的材料还使得能够得到热障的低热容 (thermal capacitance),其使得能够得到非常低的热时间常数 (thermal timeconstant)。热时间常数对应于热障的热阻 R_{th} 与热障的热容 C_{th} 的乘积 ($R_{th} \cdot C_{th}$)。热时间常数越低,写阶段中热梯度能被建立得越快。

[0031] 在图 4 中,除了第一热障之外,器件包括由布置在第一电极 12 与参考层 1 之间的层 15 形成的第二热障。

[0032] 存储层 4 能由单层磁材料或多层形成,在包括在 20°C 与 250°C 之间的温度范围中,当温度增大时相关的矫顽磁场迅速减小。例如,存储层的材料可以是在存储层 4 与隧道势垒 3 之间的界面附近富含钴的铽 (Tb) 和钴 (Co) 的合金,其使得穿过隧道势垒 3 的电子的极化能被增大。Tb 和 Co 的合金具有接近于环境温度的截止温度。存储层 4 还能由具有垂直于层平面的磁化的重复多层形成,例如由分别具有 0.5nm 和 2nm 的厚度的钴 (Co) 和铂 (Pt) 两层的交替 (alternation) 形成。

[0033] 优选地,存储层 4 由铁磁层和反铁磁层的堆叠形成,该反铁磁层例如由铁和锰的化合物如 FeMn 制成,或者由包括例如 20% 的 Ir 和 80% 的 Mn 的铱和锰的化合物制成,其具有包括在 130°C 和 250°C 之间的截止温度。

[0034] 优选地,第一和 / 或第二热障具有一电导率,使得热障的电阻显著低于隧道势垒 3 的电阻,优选地至少是其十分之一。热障与隧道势垒 3 串联连接,热障的电阻越高,磁致电阻信号实际上越弱。

[0035] 第一和 / 或第二热障的材料优选地包括至少一种合金,所述至少一种合金一方面包括选自砷 (As)、锑 (Sb)、铋 (Bi)、锗 (Ge)、锡 (Sn) 和铅 (Pb) 的至少一种元素,且另一方面包括选自硫 (S)、硒 (Se)、碲 (Te)、铝 (Al)、镓 (Ga)、铟 (In) 和铊 (Tl) 的至少一种元素。因此热障的材料可以是铋 (Bi) 和碲 (Te) 的合金,例如 BiTe 或 Bi_2Te_3 ,对于约 1.5W/m/°C 的非常低的热导率其呈现约 1.75mΩ cm 的较好的电导率。用于热障的材料另一些示例为铊、锡和碲的合金,例如 Tl_2SnTe_5 ,铊、铋和碲的合金,例如 Tl_9BiTe_6 ,锶 (Sr)、镓和锗的合金,例如 $\text{Sr}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$,以及锶、铕、镓和锗的合金,例如 $\text{Sr}_4\text{Eu}_4\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$ 。应注意,铋和碲的合金形成通常呈现非常低的热导率的热电材料的一部分。

[0036] 热障的材料还可以是相变材料,在环境温度下能够呈现晶体相和非晶相。一般地,非晶态呈现高电阻率,而晶体态则呈现低电阻率。对于将被用于第一和 / 或第二热障的相变材料,该材料必须处于其晶体态。在非晶态和在晶体态,相变材料的热导率通常低于 5W/m/°C。例如,锗、锑和碲的合金 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 以及合金 Sb_2Te_3 分别具有约 0.3W/m/°C 和约 12W/m/°C 的热导率。为了得到处于晶体态的层,通常必须进行热处理。在形成隧道结的层的沉

积之前热处理被有利地进行。

[0037] 第一和 / 或第二热障的材料还可以是包括至少一种合金的材料,所述至少一种合金包括选自磷 (P)、砷 (As) 和锑 (Sb) 的至少一种元素且包括选自铁 (Fe)、钌 (Ru)、锇 (Os)、钴 (Co)、铑 (Rh)、铱 (Ir) 和锌 (Zn) 的至少一种元素,例如合金 Zn_4Sb_3 和 $\text{CoFe}_4\text{Sb}_{12}$ 。此外,第一和 / 或第二热障的材料可以包括选自镧 (La)、铈 (Ce)、镨 (Pr)、钕 (Nd)、钐 (Sm)、铕 (Eu)、钆 (Gd)、铽 (Tm)、镱 (Yb)、钍 (Th) 和铀 (U) 的至少一种元素,例如合金 $\text{Yb}_{0.2}\text{Co}_4\text{Sb}_{12}$ 、 $\text{LaThFe}_3\text{CoSb}_{12}$ 、 $\text{EuCo}_4\text{Sb}_{12}$ 和 $\text{EuCoSb}_{12}\text{Ge}_{0.5}$ 。

[0038] 当第一热障由磁层例如反铁磁层形成时,磁退耦层 19 可布置在由层 14 形成的第一热障与存储层 4 之间,如图 5 所示,以将磁热障自存储层 4 退耦。磁退耦层 19 的材料可以是选自钽、铬、钒、锰和铂的非磁材料。在反铁磁第二热障的情况下,第二热障与参考层之间的磁退耦不是必需的,因为参考层的磁化被限制。

[0039] 在图 5 所示的特定实施例中,第三热障由隧道势垒 3 本身形成。例如,隧道势垒可以由硅氧化物 (SiO_2)、锆氧化物 (ZrO_2) 或钛氧化物 (TiO_2) 制成。锆氧化物和钛氧化物的热导率分别为 $1.5\text{W/m/}^\circ\text{C}$ 和 $7.4\text{W/m/}^\circ\text{C}$ 。

[0040] 根据现有技术的器件中温度变化已被研究。因此,图 6 示出根据现有技术的包括磁隧道结的磁器件中两种理论温度分布,分别对于电流从存储层 4 流向参考层 1 (曲线 17) 以及沿相反方向流动 (曲线 18)。为了显示出电流的流动产生的温度分布 (temperature profile) 的对称性,此示例的结构特意选定为对称的。沿 X 轴在第一电极 12 与第二电极 13 之间器件顺序包括:

[0041] - 钽 (Ta) 层,具有 5nm 的厚度,布置在图 6 中包括在 X1 与 X2 之间的间隙中;

[0042] - 5nm IrMn 层和 3nm NiFe 层的堆叠,其形成参考层 1 (X2-X0);

[0043] - 0.6nm 氧化铝层,其形成隧道势垒 3,考虑到其厚度,由位于 X0 的虚线表示;

[0044] - 3nm NiFe 层和 5nm IrMn 层的堆叠,其形成存储层 4 (X0-X3);

[0045] - 以及具有 5nm 厚度的 Ta 层 (X3-X4)。

[0046] 因此该器件关于坐标 X0 对称且不包括热障。对于在这些端子连接到保持在环境温度且具有 0.5V 的电势差的两个铜电极的隧道结,得到曲线 17 和 18。

[0047] 温度分布 17 和 18 的不对称性可在图 6 中观察到。从存储层 4 流向参考层 1 的电流 (曲线 17) 实际上对应于电子从参考层 1 向存储层 4 (图中向右) 的移动,其意味着它们的能量在存储层 4 (X0-X3) 中的耗散,即在位于隧道势垒 (X0) 右边的区域中,如图 2 所示。这通过曲线 17 的幅度示出,对于大于 X0 的 X 值与小于 X0 的值相比曲线 17 的幅度更大。曲线 18 对应于图 6 中电子从右向左的移动,因此对于小于 X0 的值产生更多的热。

[0048] 因此,对于给定的电流,电流方向使得结中发热最多的磁层 1 或 4 能被确定。以此方式,根据本发明的磁器件的读 / 写方法可被实施。写阶段包括电流 I1 (图 5) 的流动,从存储层 4 向参考层 1 穿过隧道结,从而加热存储层 4 到比存储层 4 的磁化 5 的截止温度更高的温度,而读阶段包括电流 I2 (图 5) 的流动,沿相反方向即从参考层 1 向存储层 4 穿过隧道结。因此存储层 4 在写阶段期间被有效地加热,而在读阶段期间存储层 4 的加热被减少。电流 I1 和 I2 可以例如通过可逆发电机 16 产生。

[0049] 根据本发明的器件中的温度变化示于图 7 至 9 中。对于从存储层 4 向参考层 1 的电流方向,即对于电子从参考层 1 向存储层 4 的移动,得到图 7 至 9 所示的理论温度分布

(曲线 K1 到 K5), 因此对应于写阶段。

[0050] 曲线 K1 至 K5、以及曲线 17 和 18, 示出在持续 500ps、强度 $250\text{mA}/\mu\text{m}^2$ 的电流脉冲的末端的温度分布, 对应于隧道结的电阻 R 与隧道结的表面 S 的乘积 $RS = 2\Omega\mu\text{m}^2$ 。在脉冲持续期间, 结的温度迅速增加从而达到与最大温度对应的永久区域 (permanent regime)。然后, 当电流取消时, 通过热扩散到作为调温器 (thermostat) 的外电极 12 和 13, 温度迅速回落到环境温度。

[0051] 图 7 所示的三条曲线 K1、K2 和 K3 示出根据图 3 的包括不同的层 14 的磁器件中温度分布的变化。所述磁器件每个还包括布置在包括在图 7 中的 X1 与 X2 之间的间隙中的钽层 (图 3 未示出)。

[0052] 因此, 对于曲线 K1 磁器件的层 14 由顺序布置在存储层 4 与第二电极 13 之间的 5nm 厚的 BiTe 层 (X3-X4) 和 5nm 厚的 Ta 层 (X4-X5) 的堆叠形成。

[0053] 对于曲线 K2 层 14 由顺序布置在存储层 4 与第二电极 13 之间的 5nm 厚的 Ta 层 (X3-X4) 和 5nm 厚的 BiTe 层 (X4-X5) 的堆叠形成。

[0054] 与曲线 K3 对应的层 14 由顺序布置在存储层 4 与第二电极 13 之间的 5nm 厚的 Ta 层 (X3-X4) 和 10nm 厚的 BiTe 层 (X4-X6) 的堆叠形成。

[0055] 事实上热障的使用确实使得在磁层中 (X0-X3) 能达到包括在 100°C 与 175°C 之间的温度, 因此该温度高于在根据现有技术的器件中得到的温度 (图 6, 曲线 17, 总是基本上低于 100°C)。其厚度越大, 热障的效率越好。确实, 曲线 K3 好于曲线 K2。然而, 一旦电流被取消, 热障的厚度限制温度下降动力学。

[0056] 此外, 为了减小加热所需的电消耗, 存储层 4 优选具有小的厚度, 例如约 8nm。

[0057] 对于氧化铝隧道势垒 3 得到曲线 K1 至 K3 所示的温度分布。因为氧化铝是良好的热导体, 所以在存储层 4 中产生的热通过隧道势垒 3 和参考层 1 被移到第一电极 12。为了限制此对加热效率有害的热损失, 于是插入第二热障是有利的, 如图 4 所示, 从而尽可能的将热限制在存储层 4 中。

[0058] 图 8 所示的曲线 K4 示出包括分别由层 14 和层 15 形成的第一和第二热障的器件的温度分布。层 15 由顺序布置在第一电极 12 与参考层 1 之间的 5nm Ta 层 (X7-X1) 和 5nm BiTe 层 (X1-X2) 的堆叠形成。层 14 与对应于曲线 K1 的层 14 相同。存储层 4 (X0-X3) 中的温度约为 300°C , 因此其高于仅使用第一热障的情况 (曲线 K1)。

[0059] 图 9 示出对于包括由隧道势垒 3 本身形成的第三热障和由层 14 形成的第一热障的器件得到的温度分布 (曲线 K5)。隧道势垒 3 由具有 0.6nm 的厚度的二氧化硅 (silica) 层形成。层 14 和参考层 1 分别与对应于曲线 K2 的那些相同。存储层 4 (X0-X3) 中的温度约为 175°C (曲线 K5), 因此高于具有氧化铝隧道势垒 3 的器件的温度 (曲线 K2), 其温度不超过 150°C 。确实, 二氧化硅具有比氧化铝 ($36.7\text{W}/\text{m}/^\circ\text{C}$) 低的热导率 ($1.5\text{W}/\text{m}/^\circ\text{C}$), 因此使热量能被更有效地限制在存储层 4 中。

[0060] 本发明不限于所示实施例。特别地, 第一、第二和第三热障的任何组合都是可行的。

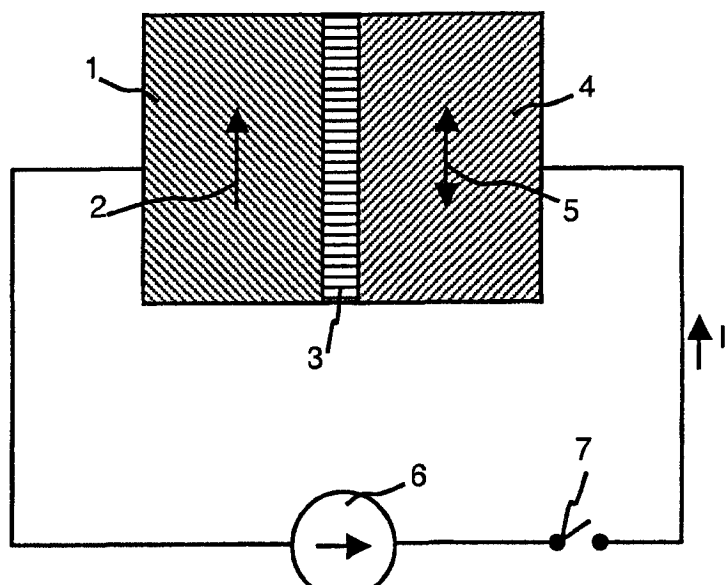


图 1(现有技术)

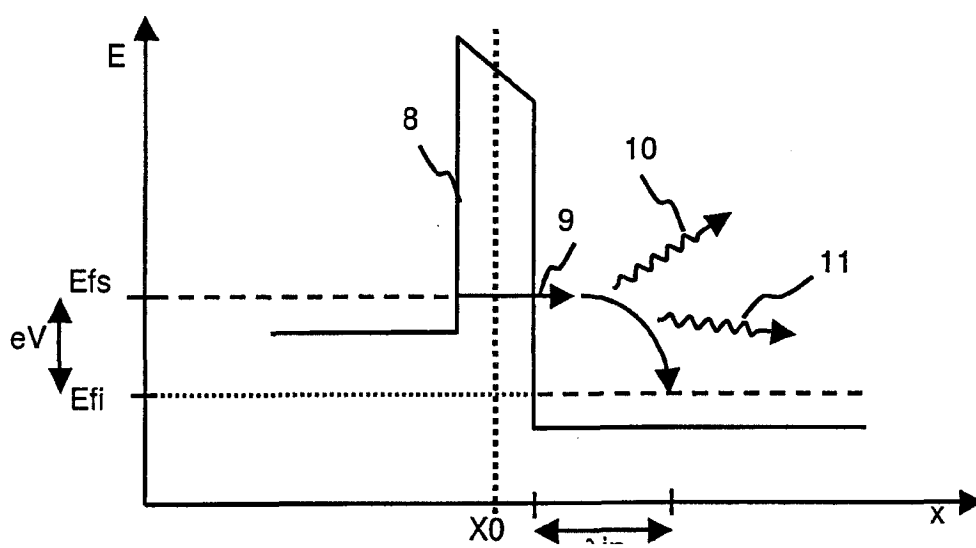


图 2(现有技术)

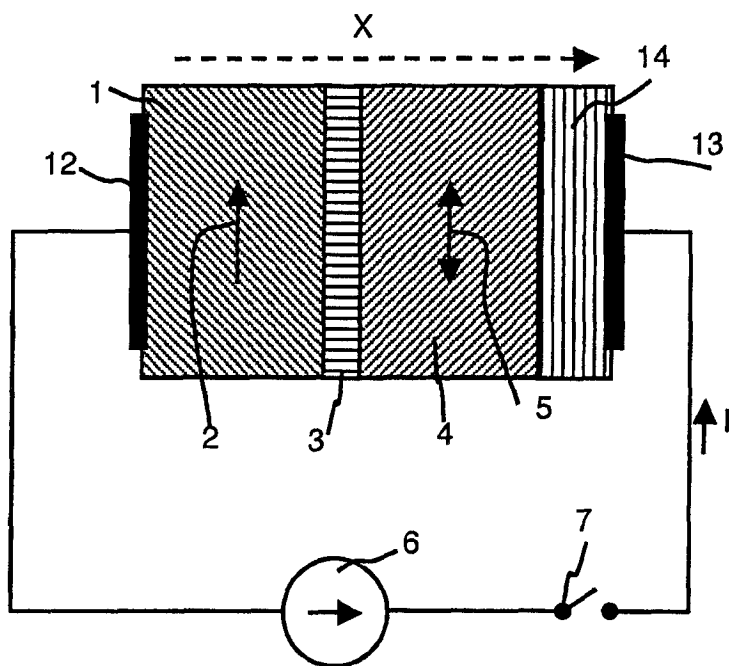


图 3

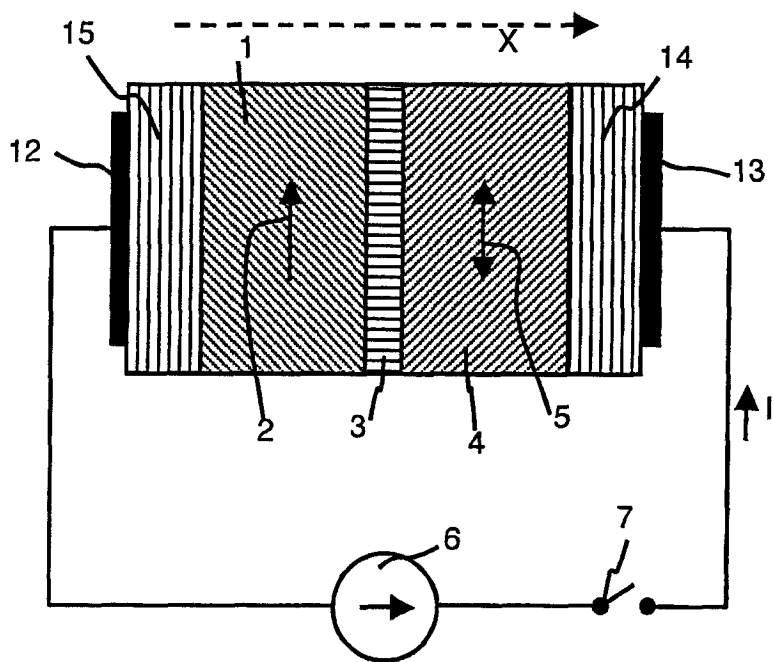


图 4

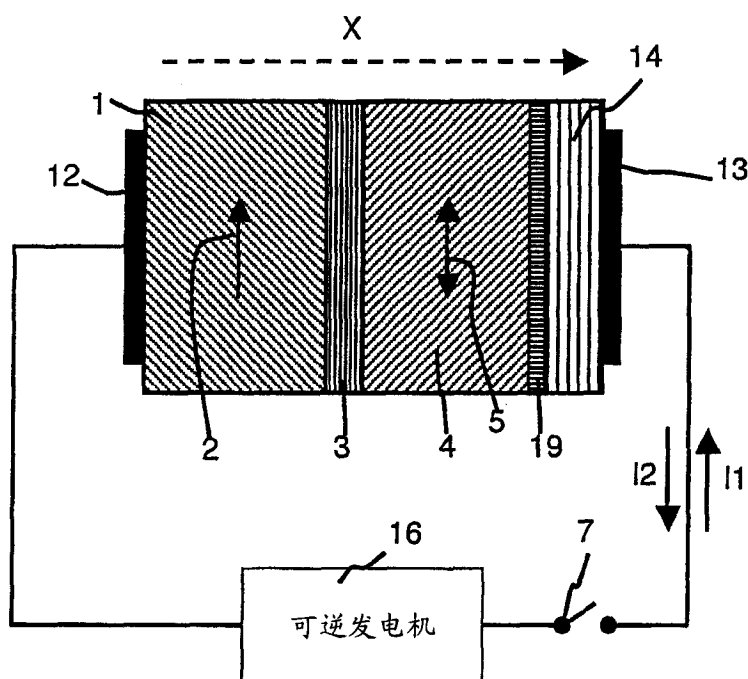


图 5

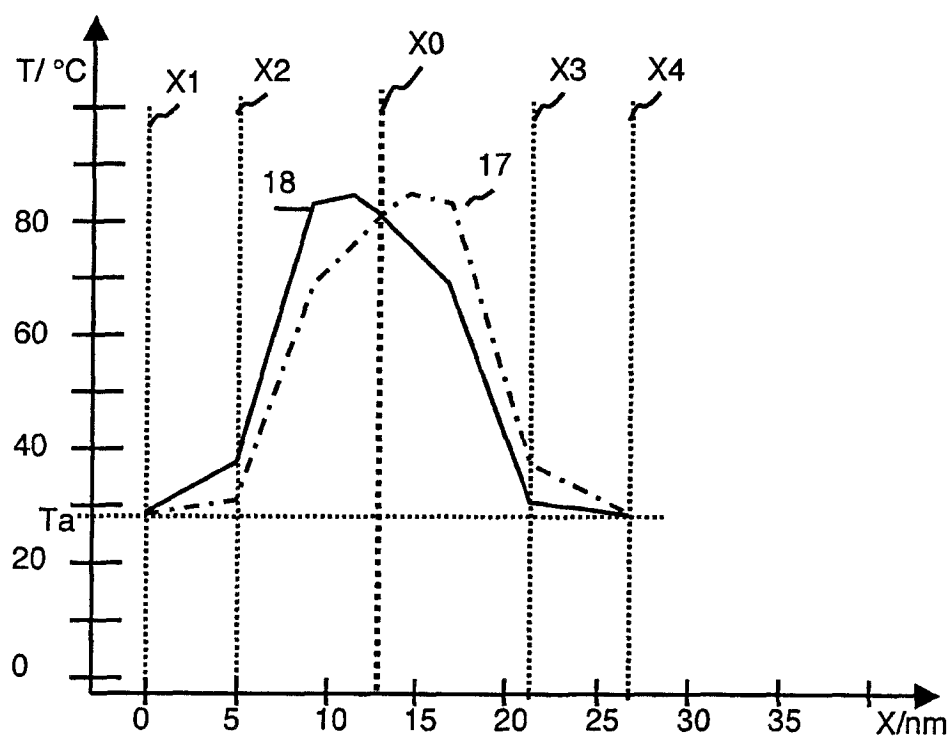


图 6

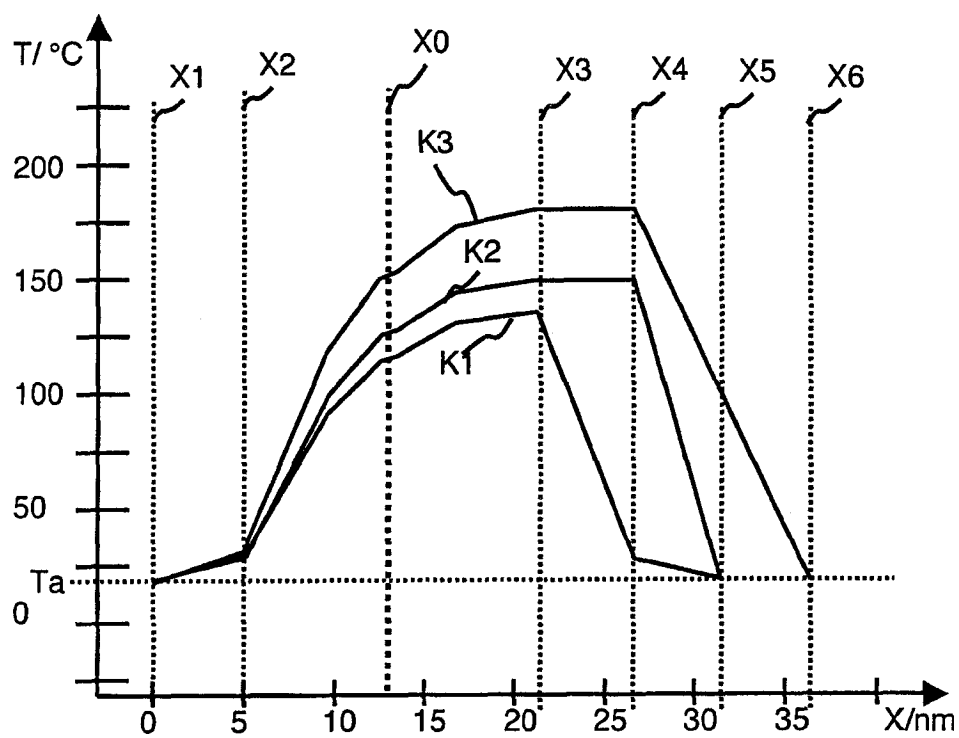


图 7

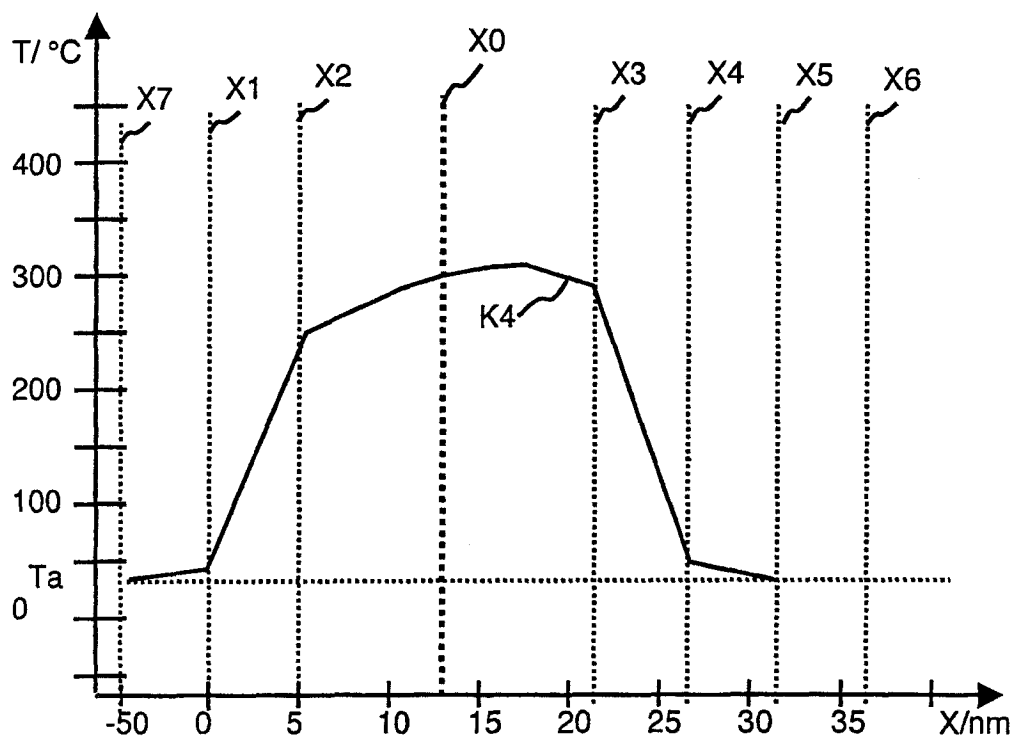


图 8

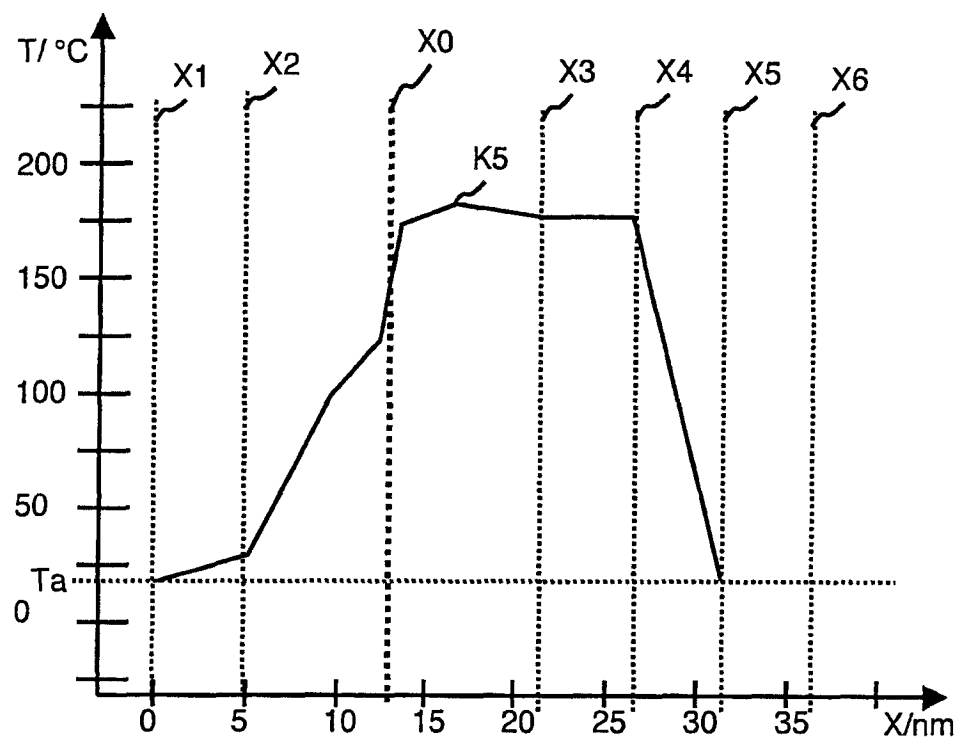


图 9