

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.  
H01L 45/00 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200710036527.X

[45] 授权公告日 2009年2月11日

[11] 授权公告号 CN 100461485C

[22] 申请日 2007.1.17

[21] 申请号 200710036527.X

[73] 专利权人 中国科学院上海微系统与信息技术研究所

地址 200050 上海市长宁区长宁路 865 号

[72] 发明人 宋志棠 刘波 封松林 刘建超

[56] 参考文献

CN1729583A 2006.2.1

CN1801501A 2006.7.12

CN1614786A 2005.5.11

US2006/0108639A1 2006.5.25

JP2004-311729A 2004.11.4

硫系化合物随机存储器研究进展. 封松林, 宋志棠, 刘波, 刘卫丽. 微纳电子技术, 第4期. 2004

审查员 颜庙青

[74] 专利代理机构 上海智信专利代理有限公司

代理人 潘振甦

权利要求书 2 页 说明书 11 页 附图 4 页

[54] 发明名称

基于硫系化合物相变材料的限流器及制作方法

[57] 摘要

本发明涉及一种基于硫系化合物相变材料的限流器及制作方法。本发明基于硫系化合物相变材料在脉冲电流或电压等的作用下能够发生结构变化,从而引起其电阻性能产生巨大的变化,多晶状态时处于低阻态,非晶状态时处于高阻态,两种状态下的电阻相差可达五个数量级以上,利用硫化相变材料的这种特性可以制备新型限流器,对电路能够其起到很好的保护作用,最大程度避免电路被超大电流或电压破坏。采用薄膜制备工艺和微纳加工技术制作出限流器,其结构包括横向结构和纵向结构两种。由于相变材料的高、低阻两种状态之间是可变化的,这种新型限流器可重复使用,在民用和军事领域等方面具有非常广泛的应用前景。



1、一种基于硫系化合物相变材料制作限流器的方法，其特征在于利用硫系化合物相变材料高低阻两种状态的可逆转换特性制备限流器的组件，采用薄膜制备工艺和微纳加工技术制备出的相变材料限流器包括横向和纵向两种结构；

其中，横向结构相变限流器的制备工艺步骤是：

- (1) 在衬底上制备出绝缘材料层；
- (2) 在绝缘材料层上制备电极材料层，并通过微纳加工技术制备出两个独立的电极；
- (3) 在两个电极之间填充硫系化合物相变材料，把两个电极连接起来；
- (4) 再覆盖一层绝热材料层，以保护硫系化合物相变材料，最后通过微纳加工技术把两个电极引出；

纵向结构相变限流器的制备工艺步骤是：

- (1) 在衬底上制备出绝缘材料层；
- (2) 在绝缘材料上制备下电极材料层；
- (3) 在下电极材料层上制备绝热材料层，并通过微纳加工技术在绝热材料中开孔直至露出下电极材料；
- (4) 在绝热材料层的孔内填充硫系化合物相变材料或电极材料；
- (5) 先在孔内填充一层电极材料层，再覆盖硫系化合物相变材料层和电极材料层；或先在孔内填充硫系化合物相变材料层再覆盖电极材料层，最后通过微纳加工技术把两个电极引出。

2、按权利要求 1 所述的基于硫系化合物相变材料制作限流器的方法，其特征在于衬底上制备绝缘材料所用的方法为物理制备方法或化学合成方法中的任意一种，其中，物理制备方法包括热蒸发法、热氧化法、气-固生长法或激光烧蚀法；化学合成方法包括溶液-液相-固相法、聚合法、溶胶-凝胶法或金属有机化合物气相外延法；所采用的微纳加工技术为常规光刻

技术、聚焦离子束刻蚀技术、原子力显微镜加工技术、电子束光刻法、极紫外光刻法或纳米压印法中任一种。

3、按权利要求 1 所述的基于硫系化合物相变材料制作限流器的方法，其特征在于制备相变限流器所用衬底为硅片、绝缘层上的硅衬底、玻璃、GaAs、SiO<sub>2</sub>、塑料或晶体材料中任意一种；所采用的绝缘材料为氧化物、氮化物、碳化物和硫化物中一种或两种构成的混合物；所采用的电极材料为单金属材料为 W、Pt、Au、Ti、Al、Ag、Cu 或 Ni 中单金属材料中一种，或其组合成合金材料；所采用的绝热材料为氧化物、氮化物、碳化物和硫化物中一种或两种构成的混合物。

4、按权利要求 1 所述的基于硫系化合物相变材料制作限流器的方法，其特征在于在纵向结构相变限流器的制备方法中的相变材料与电极材料之间具有一层过渡层，过渡层材料为氮化物和氧化物中任一种。

5、按权利要求 1 所述的基于硫系化合物相变材料制作限流器的方法，其特征在于所述的硫系化合物相变材料为至少含有一种第六主族元素的化合物。

6、按权利要求 5 所述的基于硫系化合物相变材料制作限流器的方法，其特征在于所述的硫系化合物相变材料为 Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> 或 Si<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub>。

7、如权利要求 1—6 所述的基于硫系化合物相变材料制作的限流器，其特征在于横向结构的限流器其结构是绝缘材料层在衬底上，绝缘材料层上沉积电极材料层，并分为两个独立的电极，在两个电极之间填充有相变材料，将两个独立的电极连接起来，绝热材料层覆盖在相变材料层上，绝热材料层是部份覆盖在相变材料层上，或全部覆盖相变材料层和部分电极。

8、如权利要求 1—6 任意一项所述的基于硫系化合物相变材料制作的限流器，其特征在于纵向结构的限流器其结构是绝缘材料层在衬底上，下电极材料层位于绝缘材料层上，绝热材料层位于下电极材料层上，且绝热材料层中开孔，孔的底部与下电极材料层接触，相变材料填充在绝热材料层的孔中，在绝热材料层上再覆盖上电极层；或者相变材料覆盖绝热材料的孔上面，形成相变材料层，再在相变材料层上再覆盖上电极层。

## 基于硫系化合物相变材料的限流器及制作方法

### 技术领域

本发明涉及一种基于硫系化合物相变材料的限流器及制作方法。本发明属于微电子技术领域。

### 背景技术

Ovshinsky 在 20 世纪 60 年代末(Phys. Rev. Lett., 21, 1450~1453, 1968)70 年代初(Appl. Phys. Lett., 18, 254~257, 1971)发现了硫系化合物相变材料具有存储功能。硫系化合物相变材料的特点是当给它一个电脉冲或采用激光加热的方法时可以使材料在非晶态与多晶态之间发生可逆相变。伴随着材料结构的可逆相变,材料的光学和电学等性能发生可逆相变,处于非晶态时呈现高阻(低反射率),多晶态时呈现低阻(高反射率),这样就可以利用其两种状态存储信息。硫系化合物光学性能的可逆变化特性已成功用于可擦重写相变光盘(干福熹等编著. 数字光盘存储技术,北京:科学出版社,1998;物理,2002,31(12):784~788)。而利用硫系化合物相变材料电学性能的可逆变化特性已成功开发出相变型半导体存储器(Jpn. J. Appl. Phys., 2005, 44(4B):2691~2695)。

伴随硫系化合物相变材料的结构发生变化,其电阻性能发生巨大变化(Chin. Phys. Lett., 2004, 21(4):741~743),非晶态时处于高阻态(电阻约为  $10^8$  欧姆),多晶态时处于低阻态(电阻约为  $10^2$  欧姆),两者之间相差五个数量级以上,并且两种状态之间可以可逆转换。如果把硫系化合物相变材料用于限流器,在电路正常工作状态下,硫系化合物相变材料为多晶态,则整个电路处于低阻导通状态,电流较小,而有较大电流或电压施加于电路中,相

变材料会转变为高阻的非晶态或被烧断，则整个电路的电阻立即变得非常大，可大大减小电路的电流，起到限流器的作用，同时相变材料的非晶化过程可以在非常短的时间（十几纳秒—十几微秒）内完成，使得限流器的响应时间非常短，可对整个电路起到很好的保护作用。这正是本发明的出发点。

## 发明内容

本发明的目的在于提供一种基于硫系化合物相变材料的限流器及制作方法，以达到对电路能够其起到很好保护作用的目的。所提供的限流器的结构包括横向结构和纵向结构两种。

本发明所提供的硫系化合物相变材料限流器的制作过程，具体如下：

横向结构相变限流器的制备工艺步骤是：

(1) 在衬底上制备绝缘材料层（如图 1 所示），所用的方法为物理制备方法和化学合成方法中的任意一种，其中，物理制备方法包括热蒸发法、热氧化法、气—固生长法、激光烧蚀法，化学合成方法包括溶液—液相—固相法、聚合法、溶胶—凝胶法、金属有机化合物气相外延法。其中的衬底为硅片、绝缘层上的硅衬底、玻璃、GaAs、SiO<sub>2</sub>、塑料和晶体材料中任一种；绝缘材料为氧化物、氮化物、碳化物、硫化物中一种或至少两种构成的混合物。

(2) 在绝缘材料上制备电极材料层，并通过微纳加工技术制备出两个独立的电极，（如图 2 所示），所用的薄膜制备工艺为溅射法、蒸发法、等离子体辅助沉积法、化学气相沉积法、原子层沉积法中任意一种，其中的电极材料可以为单金属材料，如 W、Pt、Au、Ti、Al、Ag、Cu 和 Ni 中一种，或其组合（合金材料）构成；再通过微纳加工技术制备出两个独立的电极，所采用的微纳加工技术为常规光刻技术、聚焦离子束刻蚀技术、原子力显微镜加工技术、电子束光刻法、极紫外光刻法和纳米压印法中任一种。

(3) 在两个电极之间填充硫系化合物相变材料，把两个电极连接起来，所用的薄膜制备工艺为溅射法、蒸发法、等离子体辅助沉积法、化学气相沉积法、原子层沉积法中任意一种，其中的硫系化合物相变材料为至少含有一

种第六主族元素的化合物；所述的硫系化合物相变材料为  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  或  $\text{Si}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 。（图 3）

（4）再覆盖一层绝热材料层，以保护硫系化合物相变材料，所用的工艺为溅射法、蒸发法、原子层沉积法、等离子体辅助沉积法、化学气相沉积法、金属有机物热分解法和激光辅助沉积法中任意一种；其中的绝热材料为氧化物、氮化物、碳化物、硫化物中一种或至少两种构成的混合物；最后通过微纳加工技术把两个电极引出，所采用的微纳加工技术为常规光刻技术、聚焦离子束刻蚀技术、原子力显微镜加工技术、电子束光刻法、极紫外光刻法和纳米压印法中任一种。（图 4）

（5）另一种横向结构相变限流器的结构示意图如图 5 所示，其制备工艺步骤基本与步骤（1）—（4）相似。

纵向结构相变限流器的制备工艺步骤是：

（1）在衬底上制备绝缘材料（如图 1 所示），所用的方法为物理制备方法或化学合成方法中的任意一种，其中，物理制备方法包括热蒸发法、热氧化法、气—固生长法、激光烧蚀法，化学合成方法包括溶液—液相—固相法、聚合法、溶胶—凝胶法、金属有机化合物气相外延法。其中的衬底为硅片、绝缘层上的硅衬底、玻璃、GaAs、 $\text{SiO}_2$ 、塑料或晶体材料中任一种；绝缘材料为氧化物、氮化物、碳化物、硫化物中一种或至少两种构成的混合物。

（2）在绝缘材料上制备电极材料（如图 6 所示），所用的薄膜制备工艺为溅射法、蒸发法、等离子体辅助沉积法、化学气相沉积法、原子层沉积法中任意一种，其中的电极材料可以为单金属材料，如 W、Pt、Au、Ti、Al、Ag、Cu 或 Ni 中一种，或其组合（合金材料）构成。

（3）在下电极材料上制备绝热材料层，所用的工艺为溅射法、蒸发法、原子层沉积法、等离子体辅助沉积法、化学气相沉积法、金属有机物热分解法或激光辅助沉积法中任意一种；其中的绝热材料为氧化物、氮化物、碳化物、硫化物中一种或至少两种构成的混合物；并通过微纳加工技术在绝热材料中开孔直至露出下电极材料，所采用的微纳加工技术为常规光刻技术、聚

焦离子束刻蚀技术、原子力显微镜加工技术、电子束光刻法、极紫外光刻法和纳米压印法中任一种。(图 7)

(4) 在绝热材料层的孔内填充硫系化合物相变材料(小相变材料结构,如图 8 所示),所用的薄膜制备工艺为溅射法、蒸发法、等离子体辅助沉积法、化学气相沉积法、原子层沉积法中任意一种,其中的硫系化合物为至少含有一种第六主族元素的化合物;或在绝热材料层的孔内填充电极材料(小电极材料结构,如图 9 所示),所用的薄膜制备工艺为溅射法、蒸发法、等离子体辅助沉积法、化学气相沉积法、原子层沉积法中任意一种,其中的电极材料可以为单金属材料,如 W、Pt、Au、Ti、Al、Ag、Cu 或 Ni 中一种,或其组合(合金材料)构成。

(5) 再覆盖一层电极材料层(小相变材料结构,如图 10 所示),或再分别覆盖一层相变材料层和电极材料层(小电极材料结构,如图 11 所示),所用的相变材料薄膜制备工艺为溅射法、蒸发法、等离子体辅助沉积法、化学气相沉积法、原子层沉积法中任意一种,其中的硫系化合物相变材料为至少含有一种第六主族元素的化合物;所述的硫系化合物相变材料为  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  或  $\text{Si}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 。所用的电极材料薄膜制备工艺为溅射法、蒸发法、等离子体辅助沉积法、化学气相沉积法、原子层沉积法中任意一种,其中的电极材料可以为单金属材料,如 W、Pt、Au、Ti、Al、Ag、Cu 或 Ni 中一种,或其组合(合金材料)构成;最后通过微纳加工技术把两个电极引出,所采用的微纳加工技术为常规光刻技术、聚焦离子束刻蚀技术、原子力显微镜加工技术、电子束光刻法、极紫外光刻法和纳米压印法中任一种。

(6) 上述制备过程的图 8、图 10 和图 11 中,在相变材料层与电极材料层之间可能需要添加一层过渡材料层,过渡材料层为氮化物和氧化物中的任意一种。

由此可见,依上述所提供的制备方法制作出的限流器有纵、横两种结构,在横向结构限流器中绝热材料层覆盖在相变层上有两种结构(图 4、5);在纵向结构的限流器中相变材料覆盖上电极也有两种结构(图 10、11)。具体

结构是：(1) 横向结构的限流器其结构是绝缘材料层在衬底上，绝缘材料层上沉积电极材料层，并分为两个独立的电极，在两个电极之间填充有相变材料，将两个独立的电极连接起来，绝热材料层覆盖在相变材料层上，绝热材料层是部份覆盖在相变材料层上，或全部覆盖相变材料层和部分电极；(2) 纵向结构的限流器其结构是绝缘材料层在衬底上，下电极材料层位于绝缘材料层上，绝热材料层位于下电极材料层上，且绝热材料层中开孔，孔的底部与下电极材料层接触，相变材料填充在绝热材料层的孔中，在绝热材料层上再覆盖上电极层；或者相变材料覆盖绝热材料的孔上面，形成相变材料层，再在相变材料层上再覆盖上电极层。

本发明提出一种基于硫系化合物相变材料的限流器，具体包括横向结构和纵向结构两种相变材料的限流器结构及其制备方法。这种相变材料限流器的特点在于：在电路正常工作状态下，硫系化合物相变材料为多晶态，则整个电路处于低阻导通状态，电流较小，而有较大电流或电压施加于电路中，相变材料会转变为高阻的非晶态或被烧断，则整个电路的电阻立即变得非常大（如图 12 所示），可大大减小电路的电流，起到限流器的作用，同时相变材料的非晶化过程可以在非常短的时间（十几纳秒—十几微秒）内完成，使得限流器的响应时间非常短，可对整个电路起到很好的保护作用。（详见实施例 1）

#### 附图说明

图 1 衬底上制备一层绝缘材料

图 2 绝缘材料上制备电极材料，通过光刻形成两个独立的电极对

图 3 把相变材料填充在两个电极中间，并把两个电极连接起来

图 4 把绝热材料覆盖在相变材料上，并把两个电极引出，形成横向结构的限流器（相变材料覆盖电极材料）

图 5 另一种横向结构的限流器结构示意图（电极材料覆盖相变材料）

图 6 在绝缘材料上制备电极材料



图 7 在下电极材料上制备绝热材料层，并在绝热材料层中开孔

图 8 在绝热材料层的孔内填充相变材料

图 9 在绝热材料层的孔内填充电极材料

图 10 再覆盖一层电极材料层，形成纵向结构的限流器（小相变材料）

图 11 在图 9 基础上再分别覆盖一层相变材料层和电极材料层，形成另一种纵向结构的限流器（小电极材料）

图 12  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  相变薄膜的电阻随温度的变化曲线

图 13 脉冲电流信号作用下，相变限流器的电阻与电流的关系曲线；脉宽为 30ns

## 具体实施方式

### 实施例 1

横向结构相变限流器的制备过程具体如下：

步骤 1：衬底采用硅材料，清洗衬底。在硅衬底上制备  $\text{SiO}_2$  绝缘材料，所用的方法为热氧化法， $\text{SiO}_2$  绝缘材料的厚度为 1000nm。

步骤 2：在  $\text{SiO}_2$  薄膜上采用磁控溅射法制备下电极 W 薄膜，工艺参数为：本底气压为  $2 \times 10^{-4} \text{Pa}$ ，溅射时 Ar 气气压为 0.2Pa，溅射功率为 200W，衬底温度为  $25^\circ\text{C}$ ，薄膜厚度为 200nm。再通过紫外曝光和反应离子刻蚀方法制备出两个独立的电极，电极的宽度都为 1000nm，两个电极之间的间距为 1000nm，紫外曝光的具体工艺参数为：光刻胶为 6809，涂胶转速为 4000r/min，涂胶时间为 30s，前烘采用烘板，温度为  $100^\circ\text{C}$ ，前烘时间为 3min，紫外曝光功率为 4mW，曝光时间为 12s，显影采用四甲基氢氧化铵，显影时间为 5s；反应离子刻蚀的具体工艺参数为：刻蚀本底气压为  $1.3 \times 10^{-3} \text{Pa}$ ，刻蚀气体为  $\text{CF}_4$  和  $\text{O}_2$  的混合气体，其流量分别为 20 和 2sccm，刻蚀气压为 10Pa，基片温度为  $15^\circ\text{C}$ ，刻蚀功率为 200W，刻蚀速率为 32nm/s。

步骤 3：在两个电极之间填充  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  相变薄膜，把两个电极连接起来，所用的薄膜制备工艺为溅射法，工艺参数为：本底气压为  $3 \times 10^{-4} \text{Pa}$ ，溅

射时 Ar 气气压为 0.15Pa, 溅射功率为 300W, 衬底温度为 25℃, 薄膜厚度为 400nm。最后通过紫外曝光和反应离子刻蚀方法把  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  相变薄膜刻蚀成正方形, 宽度为 2000nm, 紫外曝光的具体工艺参数为: 光刻胶为 6809, 涂胶转速为 4000r/min, 涂胶时间为 30s, 前烘采用烘板, 温度为 100℃, 前烘时间为 3min, 紫外曝光功率为 4mW, 曝光时间为 12s, 显影采用四甲基氢氧化铵, 显影时间为 5s; 反应离子刻蚀的具体工艺参数为: 刻蚀本底气压为  $1.3 \times 10^{-3}\text{Pa}$ , 刻蚀气体为  $\text{CF}_4$  和 Ar 的混合气体, 其流量分别为 10 和 40sccm, 刻蚀气压为 10Pa, 基片温度为 15℃, 刻蚀功率为 200W, 刻蚀速率为 166nm/s。

步骤 4: 在  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  相变薄膜上再覆盖一层  $\text{SiO}_2$  绝热薄膜, 以保护相变材料, 所用的工艺为溅射法, 工艺参数为: 本底气压为  $3 \times 10^{-4}\text{Pa}$ , 溅射时 Ar 气气压为 0.12Pa, 溅射功率为 400W, 衬底温度为 25℃, 薄膜厚度为 100nm; 通过紫外曝光和反应离子刻蚀方法把两个电极引出, 引出电极采用 Al, 其形状为正方形, 电极的宽度为 200 $\mu\text{m}$ , 紫外曝光的具体工艺参数为: 光刻胶为 6809, 涂胶转速为 4000r/min, 涂胶时间为 30s, 前烘采用烘板, 温度为 100℃, 前烘时间为 3min, 紫外曝光功率为 4mW, 曝光时间为 12s, 显影采用四甲基氢氧化铵, 显影时间为 5s; 反应离子刻蚀的具体工艺参数为: 刻蚀本底气压为  $1.3 \times 10^{-3}\text{Pa}$ , 刻蚀气体为  $\text{CHF}_3$  和 Ar 的混合气体, 其流量分别为 25 和 25sccm, 刻蚀气压为 4Pa, 基片温度为 15℃, 刻蚀功率为 250W, 刻蚀速率为 38.5nm/s。最后在刻蚀的孔内采用电子束蒸发法填充 Al, 工艺参数为: 本底气压为  $6 \times 10^{-5}\text{Pa}$ , 衬底温度为 25℃, 薄膜厚度为 600nm, 之后去胶剥离去除多余的 Al, 制备成功横向结构相变限流器。

最后, 制备得到如图 4 所示的横向结构相变限流器, 在其两个电极施加脉冲电流信号, 可实现限流器得电阻在低阻与高阻之间转换, 图 13 是施加脉宽为 30ns 时, 限流器的电阻与脉冲电流强度的关系曲线, 由图知, 当脉冲电流大于 1.0mA 后, 电阻发生了由高阻(约为  $10^7$  欧姆)向低阻(约为 1000 欧姆)的转变, 而当脉冲电流大于 1.5mA 后, 电阻发生了由低阻向高阻的转变, 说明通过改变脉冲电流的参数可以实现限流器的电阻在低阻与高阻之间

可逆转换，证明了本发明的原理是正确的。

### 实施例 2

横向结构相变限流器的制备过程具体如下：

衬底采用硅材料，清洗衬底后利用热氧化法制备  $\text{SiO}_2$  绝缘薄膜层，在  $\text{SiO}_2$  层上采用磁控溅射法制备  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  相变薄膜，然后采用紫外曝光和反应离子刻蚀方法制备出  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  相变薄膜的方块，其边长为 2000nm，厚度为 200nm，在  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  相变薄膜方块上采用磁控溅射法制备 W 电极薄膜，然后采用紫外曝光和反应离子刻蚀方法制备出 W 电极对，电极的宽度都为 1000nm，两个电极之间的间距为 1000nm，然后采用溅射法制备  $\text{SiO}_2$  绝热薄膜，以保护相变材料，最后把 W 电极对引出，引出电极为 Al。

其余与实施例 1 相同，制备得到如图 5 所示的横向结构相变限流器。

### 实施例 3

纵向结构相变限流器的制备工艺步骤是：

步骤 1：衬底采用硅材料，清洗衬底。在硅衬底上制备  $\text{SiO}_2$  绝缘材料，所用的方法为热氧化法， $\text{SiO}_2$  绝缘材料的厚度为 1000nm。

步骤 2：在  $\text{SiO}_2$  薄膜上采用磁控溅射法制备下电极 W 薄膜，工艺参数为：本底气压为  $2 \times 10^{-4} \text{Pa}$ ，溅射时 Ar 气气压为 0.2Pa，溅射功率为 200W，衬底温度为  $25^\circ\text{C}$ ，薄膜厚度为 200nm。

步骤 3：在下电极 W 薄膜上制备一层  $\text{SiO}_2$  绝热薄膜，以保护相变材料，所用的工艺为溅射法，工艺参数为：本底气压为  $3 \times 10^{-4} \text{Pa}$ ，溅射时 Ar 气气压为 0.12Pa，溅射功率为 400W，衬底温度为  $25^\circ\text{C}$ ，薄膜厚度为 200nm；通过紫外曝光和反应离子刻蚀方法在绝热材料中开孔直至露出下电极材料，孔的形状为正方形，边长为 1000nm，紫外曝光的具体工艺参数为：光刻胶为 6809，涂胶转速为 4000r/min，涂胶时间为 30s，前烘采用烘板，温度为  $100^\circ\text{C}$ ，前烘时间为 3min，紫外曝光功率为 4mW，曝光时间为 12s，显影采用四甲基氢氧化铵，显影时间为 5s；反应离子刻蚀的具体工艺参数为：刻蚀本底气压为  $1.3 \times 10^{-3} \text{Pa}$ ，刻蚀气体为  $\text{CHF}_3$  和 Ar 的混合气体，其流量分别为 25

和 25sccm，刻蚀气压为 4Pa，基片温度为 15℃，刻蚀功率为 250W，刻蚀速率为 38.5nm/s。

步骤 4：在 SiO<sub>2</sub> 绝热材料层的孔内填充 Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> 相变薄膜，所用的薄膜制备工艺为溅射法，工艺参数为：本底气压为 3×10<sup>-4</sup>Pa，溅射时 Ar 气气压为 0.15Pa，溅射功率为 300W，衬底温度为 25℃，薄膜厚度为 200nm。最后通过化学机械抛光工艺去除 SiO<sub>2</sub> 绝热材料层上的 Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> 相变薄膜。

步骤 5：在 Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> 相变薄膜上采用磁控溅射法制备一层上电极 W 薄膜，工艺参数为：本底气压为 2×10<sup>-4</sup>Pa，溅射时 Ar 气气压为 0.2Pa，溅射功率为 200W，衬底温度为 25℃，薄膜厚度为 200nm。再通过紫外曝光和反应离子刻蚀方法制备出独立的上、下电极，电极的宽度都为 200μm，紫外曝光的具体工艺参数为：光刻胶为 6809，涂胶转速为 4000r/min，涂胶时间为 30s，前烘采用烘板，温度为 100℃，前烘时间为 3min，紫外曝光功率为 4mW，曝光时间为 12s，显影采用四甲基氢氧化铵，显影时间为 5s；反应离子刻蚀的具体工艺参数为：刻蚀本底气压为 1.3×10<sup>-3</sup>Pa，刻蚀气体为 CF<sub>4</sub> 和 O<sub>2</sub> 的混合气体，其流量分别为 20 和 2sccm，刻蚀气压为 10Pa，基片温度为 15℃，刻蚀功率为 200W，刻蚀速率为 32nm/s。

最后，制备得到如图 10 所示的纵向结构相变限流器。

#### 实施例 4

在实施例 3 中的 SiO<sub>2</sub> 绝热材料层孔内采用磁控溅射法填充电极 W 薄膜，工艺参数为：本底气压为 2×10<sup>-4</sup>Pa，溅射时 Ar 气气压为 0.2Pa，溅射功率为 200W，衬底温度为 25℃，薄膜厚度为 200nm。然后通过化学机械抛光工艺去除 SiO<sub>2</sub> 绝热材料层上的 W 薄膜。

在 W 薄膜上采用磁控溅射法制备一层 Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> 相变薄膜，所用的薄膜制备工艺为溅射法，工艺参数为：本底气压为 3×10<sup>-4</sup>Pa，溅射时 Ar 气气压为 0.15Pa，溅射功率为 300W，衬底温度为 25℃，薄膜厚度为 200nm。最后通过紫外曝光和反应离子刻蚀方法把 Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> 相变薄膜刻蚀成正方形，宽度为 2000nm，紫外曝光的具体工艺参数为：光刻胶为 6809，涂胶转速为

4000r/min, 涂胶时间为 30s, 前烘采用烘板, 温度为 100℃, 前烘时间为 3min, 紫外曝光功率为 4mW, 曝光时间为 12s, 显影采用四甲基氢氧化铵, 显影时间为 5s; 反应离子刻蚀的具体工艺参数为: 刻蚀本底气压为  $1.3 \times 10^{-3}$ Pa, 刻蚀气体为  $\text{CF}_4$  和 Ar 的混合气体, 其流量分别为 10 和 40sccm, 刻蚀气压为 10Pa, 基片温度为 15℃, 刻蚀功率为 200W, 刻蚀速率为 166nm/s。

最后, 在  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  相变薄膜上采用磁控溅射法制备一层上电极 W 薄膜, 工艺参数为: 本底气压为  $2 \times 10^{-4}$ Pa, 溅射时 Ar 气气压为 0.2Pa, 溅射功率为 200W, 衬底温度为 25℃, 薄膜厚度为 200nm。再通过紫外曝光和反应离子刻蚀方法制备出独立的上、下电极, 电极的宽度都为 200 $\mu\text{m}$ , 紫外曝光的具体工艺参数为: 光刻胶为 6809, 涂胶转速为 4000r/min, 涂胶时间为 30s, 前烘采用烘板, 温度为 100℃, 前烘时间为 3min, 紫外曝光功率为 4mW, 曝光时间为 12s, 显影采用四甲基氢氧化铵, 显影时间为 5s; 反应离子刻蚀的具体工艺参数为: 刻蚀本底气压为  $1.3 \times 10^{-3}$ Pa, 刻蚀气体为  $\text{CF}_4$  和  $\text{O}_2$  的混合气体, 其流量分别为 20 和 2sccm, 刻蚀气压为 10Pa, 基片温度为 15℃, 刻蚀功率为 200W, 刻蚀速率为 32nm/s。

其余与实施例 3 相同, 制备得到如图 11 所示的纵向结构相变限流器。

#### 实施例 5

在实施例 3 和实施例 4 中的 W 电极材料与  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  相变薄膜之间添加一层 TiN 薄膜, TiN 薄膜采用反应磁控溅射方法制备, 具体的工艺参数如下: Ti 靶采用直流电源, 功率为 100W; 溅射气压为 0.2Pa; Ar 与  $\text{N}_2$  流量比为 2/1。TiN 薄膜的反应离子刻蚀工艺参数为: 刻蚀本底气压为  $1.3 \times 10^{-3}$ Pa, 刻蚀气体为  $\text{CF}_4$  和  $\text{O}_2$  的混合气体, 其流量分别为 20 和 2sccm, 刻蚀气压为 10Pa, 基片温度为 15℃, 刻蚀功率为 200W, 刻蚀速率为 47nm/s。其余与实施例 3 和实施例 4 相同。

#### 实施例 6

把实施例 1、实施例 2、实施例 3、实施例 4 和实施例 5 中的  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  相变薄膜改为  $\text{Si}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  相变薄膜, 其余与实施例 1、实施例 2、实施例 3、

实施例 4 和实施例 5 相似。

#### 实施例 7

把实施例 1、实施例 2、实施例 3、实施例 4、实施例 5 和实施例 6 中的  $\text{SiO}_2$  绝热薄膜改为  $\text{Si}_3\text{N}_4$  薄膜，其余与实施例 1、实施例 2、实施例 3、实施例 4、实施例 5 和实施例 6 相似。

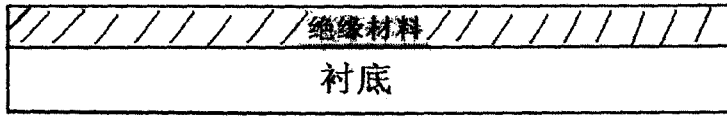


图 1

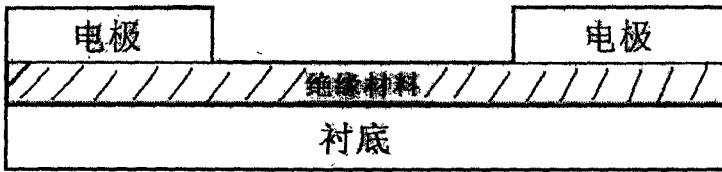


图 2



图 3

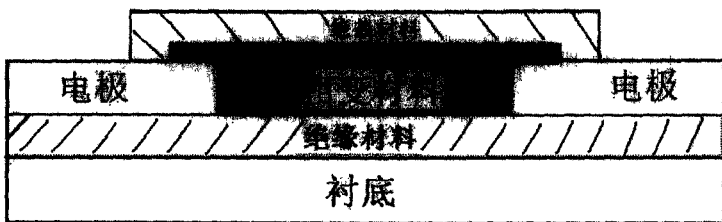


图 4

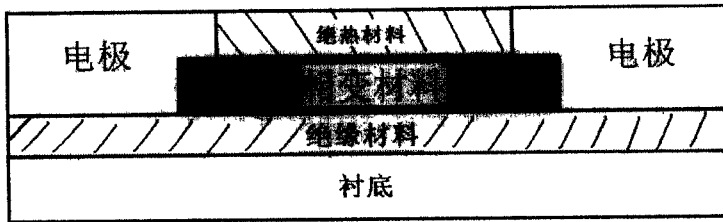


图 5

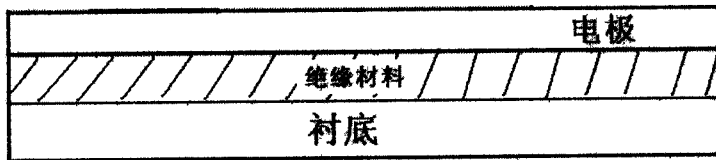


图 6

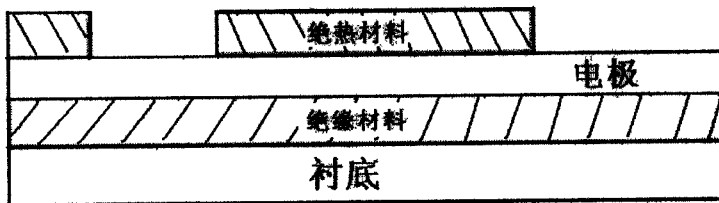


图 7

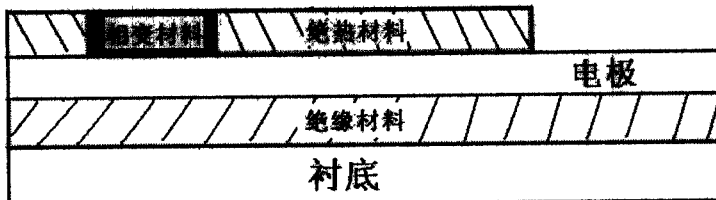


图 8



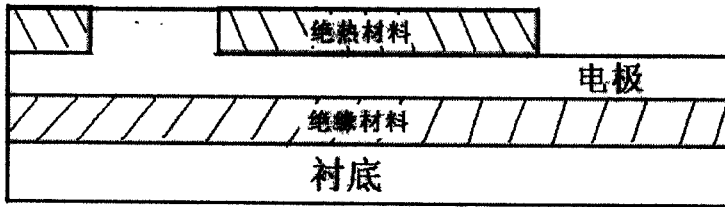


图 9

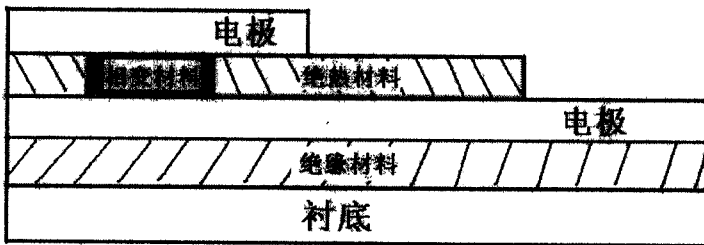


图 10

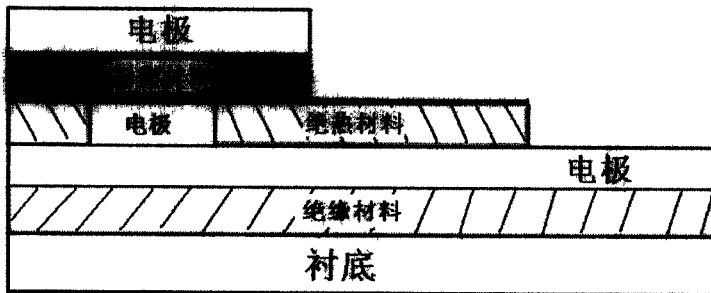


图 11

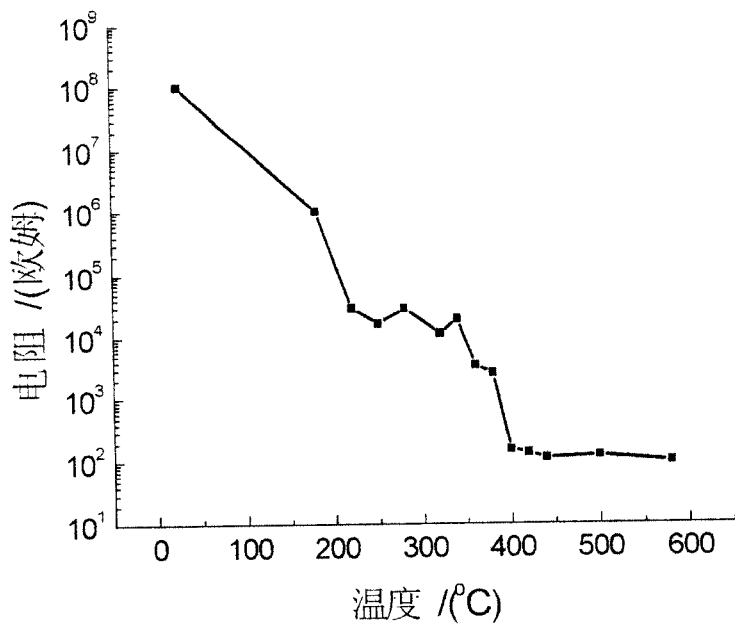


图 12

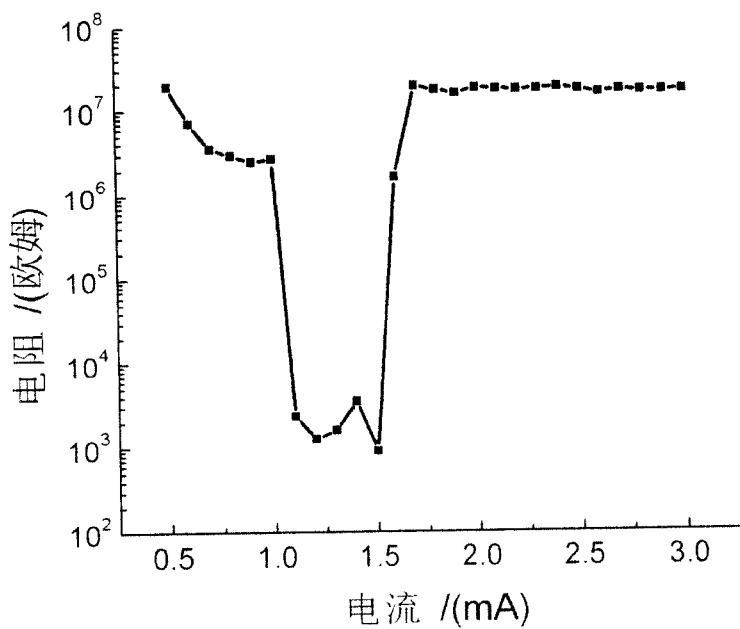


图 13