



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108987559 A

(43)申请公布日 2018.12.11

(21)申请号 201810686310.1

(22)申请日 2018.06.28

(71)申请人 江苏师范大学

地址 221000 江苏省徐州市铜山区上海路  
101号

(72)发明人 周伟 陈祥 沈德元 柳阳雨

吴倩倩 葛志祥 王敬如

(74)专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司 32200

代理人 周敏

(51)Int.Cl.

H01L 35/32(2006.01)

H01L 35/14(2006.01)

H01L 35/34(2006.01)

H01L 23/38(2006.01)

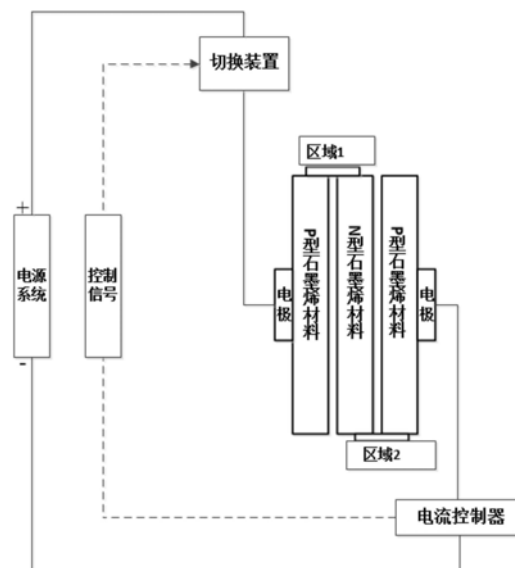
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

一种基于石墨烯材料的集成电路热管理系统

(57)摘要

本发明公开了一种基于石墨烯材料的集成电路热管理系统,包括电源系统、至少一个切换装置、至少一个温控单元以及至少一个电流控制器;温控单元包括正电极、负电极以及多个P型石墨烯材料和N型石墨烯材料,P型石墨烯材料和N型石墨烯材料依次交替设置于正电极与负电极之间;电源系统正极连接切换装置的一端,切换装置的另一端连接温控单元的正电极,温控单元的负电极连接电流控制器的一端,电流控制器的另一端连接电源系统负极。本发明是基于帕尔帖效应实现的主动可控散热,在切换装置作用下实现热场空间调制分布,在电流调节器作用下实现热量时域上的调制分布。



1. 一种基于石墨烯材料的集成电路热管理系统,其特征在于,包括电源系统、至少一个切换装置、至少一个温控单元以及至少一个电流控制器;

所述温控单元包括正电极、负电极以及多个P型石墨烯材料和N型石墨烯材料,P型石墨烯材料和N型石墨烯材料依次交替设置于正电极与负电极之间;所述温控单元采用单行依次并列排布、多行多列交替排布、上下T型不对称排布中一种组合形式进行空间分布;

所述电源系统正极连接切换装置的一端,切换装置的另一端连接温控单元的正电极,温控单元的负电极连接电流控制器的一端,电流控制器的另一端连接电源系统负极。

2. 根据权利要求1所述的基于石墨烯材料的集成电路热管理系统,其特征在于,所述P型石墨烯材料是采用化学气相沉积法制备石墨烯膜,再通过晶格掺杂氮元素制备得到;

所述N型石墨烯材料是采用化学气相沉积法制备石墨烯膜,再通过晶格掺杂硼元素制备得到。

3. 根据权利要求1或2所述的基于石墨烯材料的集成电路热管理系统,其特征在于,所述温控单元的正电极和负电极采用金、银、铜、铝中的一种金属材料。

4. 根据权利要求3所述的基于石墨烯材料的集成电路热管理系统,其特征在于,所述温控单元的正电极和负电极均采用银电极。

5. 根据权利要求1或2所述的基于石墨烯材料的集成电路热管理系统,其特征在于,所述切换装置的电路包括开关K和开关Z,开关K的1端连接电源正极,开关K的3端连接电源负极,开关K的2端连接开关Z。

6. 根据权利要求1或2所述的基于石墨烯材料的集成电路热管理系统,其特征在于,所述电流控制器的电路包括芯片A、电阻R1-R9、开关S1-S4,芯片A的引脚1连接电阻R9的一端,电阻R9的另一端连接芯片A的引脚2,芯片A的引脚3连接GND,芯片A的引脚4连接VEE,芯片A的引脚8连接VCC,开关S1-S4的1端分别连接GND,开关S1-S4的3端分别连接芯片A的引脚2,开关S4的2端连接电阻R1的一端,电阻R1的另一端连接VCC,开关S3的2端连接电阻R3的一端,电阻R3的另一端连接电阻R2的一端,电阻R2的另一端连接VCC,开关S2的2端连接电阻R5的一端,电阻R5的另一端连接电阻R4的一端,电阻R4的另一端连接电阻R2的一端,开关S1的2端连接电阻R7的一端,电阻R7的另一端连接电阻R6的一端,电阻R6的另一端连接电阻R4的一端,电阻R8的一端连接GND,电阻R8的另一端连接电阻R6的一端,芯片A为运算放大器OP07。

## 一种基于石墨烯材料的集成电路热管理系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于集成电路热管理领域,涉及一种集成电路热管理系统,具体涉及一种基于石墨烯材料的集成电路热管理系统。

### 背景技术

[0002] 随着芯片的集成度日益提高,产品越来越微型化,热量堆积问题也越来越亟待解决。在极其有限的空间内大规模集成电路的产品中,极易出现局部热点,从而导致温度分布不均,形成温度梯度。由温度梯度产生的热应力对于结构具有很强破坏性。如果热点的热量不及时导出,短时间内急剧上升形成热冲击,将对电路产生不可逆转的永久性损伤。

[0003] 目前,散热方式分为主动散热和被动散热。被动散热技术是基于热力学第二定律:热量能自发的从温度高的物体传向低温物体,材料自身通过原子、分子的热振动传导热量,与空间进行热量交换,达到散热的目的。这种散热方式主要依赖散热材料的特性,效率较低,温控精度和时间响应的可控性差。主动散热技术主要有风冷、水冷、化学制冷以及半导体制冷,利用外部设备主动进行能量交换,外部设备的能量交换可以通过检测手段形成反馈机制,实时调节交换的能量大小,从而实现精度和时间响应可控的散热。由于其他形式能量的介入,比起依靠材料自身的被动传导更高效。

[0004] 石墨烯材料是世界上目前发现的唯一稳定存在的二维单原子层厚度碳材料。原子间作用力非常强,其破坏强度为 $42\text{N/m}$ ,杨氏模量为 $1\text{T帕}$ 。石墨烯材料的电学特性主要表现为室温下电子迁移率高达 $35000\text{cm}^2/\text{Vs}$ ,是锑化铟材料(之前已知具有最高迁移率的材料)的两倍,超过半导体硅迁移率的十倍,电流耐性最大可达 $2 \times 10^8\text{A}/\text{cm}^2$ 。

[0005] 石墨烯的热学特性主要为热导率以及负的膨胀系数。目前已知的理论上单层石墨烯的导热系数为 $6000\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ ,基于石墨烯材料的高热导系数已经制备出石墨烯散热膜。

[0006] 公开号CN 202750382提出了一种由石墨烯、粘合层和保护层组成的复合散热膜技术,该专利主要实现了石墨烯复合散热膜的设计使用,解决石墨烯层间结构导致的散热性能降低问题。该石墨烯散热膜,便于集成,无噪声,能实现快速地热传递,目前,苹果、华为等公司已经将石墨烯散热膜应用到产品散热模块中。公开号CN 206380100U提出了一种石墨烯散热装置,在金属导体上涂覆石墨烯,利用石墨烯的高热导系数实现散热。公开号CN 105957952A提出了半导体制冷石墨烯芯片,利用半导体制冷片对用于红外探测的石墨烯材料进行散热,由于石墨烯材料的高热导系数加速半导体制冷片冷、热端的热传导,从而提高探测装置整体散热性能。以上研究都是基于石墨烯的高热导系数实现散热,仍属于被动散热,不可控,无法对急剧的温度变化做出快速时间响应,对热点不能迅速的导热,仍会存在阶段性热量堆积问题,无法保证控温精度。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的是提供一种高温散热快、低温加热快、温度易控制、均热性好的基于石墨烯材料的集成电路热管理系统,结构简单,安全可靠。

[0008] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案如下:

[0009] 一种基于石墨烯材料的集成电路热管理系统,包括电源系统、至少一个切换装置、至少一个温控单元以及至少一个电流控制器;

[0010] 所述温控单元包括正电极、负电极以及多个P型石墨烯材料和N型石墨烯材料,P型石墨烯材料和N型石墨烯材料依次交替设置于正电极与负电极之间;所述温控单元采用单行依次并列排布、多行多列交替排布、上下T型不对称排布中一种组合形式进行空间分布;

[0011] 所述电源系统正极连接切换装置的一端,切换装置的另一端连接温控单元的正电极,温控单元的负电极连接电流控制器的一端,电流控制器的另一端连接电源系统负极。

[0012] 进一步地,所述P型石墨烯材料是采用化学气相沉积法制备石墨烯膜,再通过晶格掺杂氮元素制备得到;

[0013] 所述N型石墨烯材料是采用化学气相沉积法制备石墨烯膜,再通过晶格掺杂硼元素制备得到。

[0014] 进一步地,所述切换装置的电路包括开关K和开关Z,开关K的1端连接电源正极,开关K的3端连接电源负极,开关K的2端连接开关Z。

[0015] 进一步地,所述电流控制器的电路包括芯片A、电阻R1-R9、开关S1-S4,芯片A的引脚1连接电阻R9的一端,电阻R9的另一端连接芯片A的引脚2,芯片A的引脚3连接GND,芯片A的引脚4连接VEE,芯片A的引脚8连接VCC,开关S1-S4的1端分别连接GND,开关S1-S4的3端分别连接芯片A的引脚2,开关S4的2端连接电阻R1的一端,电阻R1的另一端连接VCC,开关S3的2端连接电阻R3的一端,电阻R3的另一端连接电阻R2的一端,电阻R2的另一端连接VCC,开关S2的2端连接电阻R5的一端,电阻R5的另一端连接电阻R4的一端,电阻R4的另一端连接电阻R2的一端,开关S1的2端连接电阻R7的一端,电阻R7的另一端连接电阻R6的一端,电阻R6的另一端连接电阻R4的一端,电阻R8的一端连接GND,电阻R8的另一端连接电阻R6的一端,芯片A为运算放大器OP07。

[0016] 优选的,所述温控单元的正电极和负电极采用金、银、铜或铝等金属材料。更优选的,所述正电极和负电极均采用银电极。

[0017] 本发明采用化学气相沉积法制备石墨烯膜,在此方法基础上通过晶格掺杂氮元素和硼元素,石墨烯的六角晶格中有一部分碳原子被氮原子和硼原子取代,从而制备出具有一定电子能隙的P型和N型石墨烯薄膜,实现了基于石墨烯材料的帕尔帖效应,从而论证了基于石墨烯进行热量管理的可控性。依据帕尔帖效应,其发热和吸热功率与通过接触面电流大小成正比,通过控制电流大小即可控制热量大小,改变电流方向可控制热传导方向。

[0018] 依据帕尔帖效应,当一定的电流流经不同材料的交界处时除产生焦耳热以外还会分别在两个不同接触面产生吸热和放热现象。由帕尔帖效应引起的热现象是可逆的,改变电流流向时,放热和吸热的接触面随着改变,吸热和放热的热量大小,与电流强度成正比,与两种导体的性质和接点的温度有关,用相对帕尔帖系数来衡量。以P型石墨烯材料形成的回路为例,电流由Ag流向P型石墨烯材料时,在接触面会产生吸热现象。电流由P型石墨烯材料流向Ag时,在接触面会产生发热现象。N型石墨烯材料现象与上述相反。相同的是通过改变回路中的电流大小可以控制吸热和放热的热量大小,从而实现对石墨烯材料的主动控制,从而能快速响应外界温度的时间变化,达到一定精度的温度控制,可直接作为集成电路热管理方案的执行机构。

[0019] 与现有技术相比,本发明具有如下有益效果:

[0020] (1) 本发明突出热管理的可控性,控制电流信号可实现热量控制。与已经应用的石墨烯散热膜相比,本发明的基本散热结构基于石墨烯膜,但是本发明所述的石墨烯膜为具有电子能隙的半导型石墨烯材料。此外,基于帕尔帖效应实现的主动可控散热与直接使用石墨烯膜散热被动散热相比,本发明中改变回路中的电流大小可以控制吸热和放热的热量大小,这是传统被动散热不可控难以实现的效果。

[0021] (2) 本发明使用石墨烯材料,与TEC制冷技术相比,石墨烯材料的电子迁移率是TEC制冷片所采用的碲化铋材料的两倍,因此本发明散热更高效。此外,由于石墨烯散热膜体积小,重量轻,形状可任意弯曲裁剪,与TEC体块状结构相比使用更方便,由于石墨烯材料超薄便于集成,其散热单元可集成于芯片或是散热对象的内部,更适用于一些微型化的散热。

[0022] (3) 本发明基于石墨烯材料实现热量管理不仅限于散热应用。由于石墨烯材料组成的散热结构便于集成,基本的散热单元可空间分布组合成多种形式,在切换装置的作用下实现热场空间调制分布。基本散热单元可在时间上进行电流调控,在电流调节器作用下实现热量时域上的调制分布。

## 附图说明

[0023] 图1为本发明实施例1的基于石墨烯材料的集成电路热管理系统的结构示意图;

[0024] 图2为本发明实施例1中切换装置的电路原理图;

[0025] 图3为本发明实施例1电流控制器的电路原理图;

[0026] 图4为本发明实施例2的基于石墨烯材料的集成电路热管理系统的结构示意图;

[0027] 图5为本发明实施例2的基于石墨烯材料的集成电路热管理系统电流方向调节的电路原理图。

## 具体实施方式

[0028] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步详细说明。

[0029] P型、N型石墨烯材料的制备

[0030] 晶格掺杂是在石墨烯生长过程中引入掺杂原子,掺杂原子替换掉石墨烯平面六角晶格中的碳原子,并与邻近的碳原子成键,掺杂原子的价电子少于碳原子形成P型掺杂,掺杂原子的价电子多于碳原子形成N型掺杂。本实施例采用化学气相沉积法生长石墨烯,再采用晶格掺杂硼和氮元素分别制得P型和N型石墨烯。基本流程简述为:将清洁铜片装入镍舟后放入管式炉恒温区,通载体氩气,通氢气,接着通甲烷进行反应,反应结束后停止通甲烷,并停止加温,继续通氩气和氢气,将镍舟移至冷却端。随后将石墨烯材料以底层铜(晶面111)一六边形氮化硼—顶层石墨烯结构采用静电掺杂技术进行掺杂,其理论依据为铜与石墨烯间有势垒差,导致铜和氮化硼以及氮化硼和石墨烯交界面出现电荷移动,给予外电场将改变电子流向,从而方便实现P型和N型掺杂。

[0031] 帕尔帖效应是本发明的理论依据。当有电流通过不同的导体组成的回路时,除产生不可逆的焦耳热外,在不同导体的接头处随着电流方向的不同会分别出现吸热、放热现象。对帕尔帖效应微观解释:电荷载体在导体中运动形成电流。由于电荷载体在不同的材料中处于不同的能级,当它从高能级向低能级运动时,便释放出多余的能量;相反,从低能级

向高能级运动时,从外界吸收能量,能量在两材料的交界面处以热的形式吸收或放出。

#### [0032] 实施例1

[0033] 如图1所示,一种基于石墨烯材料的集成电路热管理系统,包括电源系统、切换装置、一个温控单元以及电流控制器。

[0034] 所述温控单元包括正电极、负电极以及多个P型石墨烯材料和N型石墨烯材料,P型石墨烯材料和N型石墨烯材料依次交替设置于正电极与负电极之间,所述正电极、负电极均采用Ag电极;

[0035] 所述电源系统正极连接切换装置的一端,切换装置的另一端连接温控单元的正电极,温控单元的负电极连接电流控制器的一端,电流控制器的另一端连接电源负极。

[0036] 如图2所示,所述切换装置的电路包括开关K和开关Z,开关K的1端连接电源正极,开关K的3端连接电源负极,开关K的2端连接开关Z。切换装置用于改变空间分布。

[0037] 如图3所示,所述电流控制器的电路包括芯片A、电阻R1-R9、开关S1-S4,芯片A的引脚1连接电阻R9的一端,电阻R9的另一端连接芯片A的引脚2,芯片A的引脚3连接GND,芯片A的引脚4连接VEE,芯片A的引脚8连接VCC,开关S1-S4的1端分别连接GND,开关S1-S4的3端分别连接芯片A的引脚2,开关S4的2端连接电阻R1的一端,电阻R1的另一端连接VCC,开关S3的2端连接电阻R3的一端,电阻R3的另一端连接电阻R2的一端,电阻R2的另一端连接VCC,开关S2的2端连接电阻R5的一端,电阻R5的另一端连接电阻R4的一端,电阻R4的另一端连接电阻R2的一端,开关S1的2端连接电阻R7的一端,电阻R7的另一端连接电阻R6的一端,电阻R6的另一端连接电阻R4的一端,电阻R8的一端连接GND,电阻R8的另一端连接电阻R6的一端,芯片A为运算放大器OP07。电流控制器作为电流方向和电流大小调节的控制信号,实现在不同区域内空间和时域上的热场调制。

[0038] P型和N型石墨烯材料具有不同的帕尔帖系数,只要是两种不同帕尔帖系数的材料就可以进行可控散热。当有电流通过回路时,在两个电极与石墨烯材料的接触面均可测得温度变化,一个为吸热端,一个为发热端,取决于电流方向。增大回路电流,帕尔帖效应所产生的热效应更加明显。本装置热传导过程如下:当一块N型石墨烯材料和一块P型石墨烯材料通过电极联结成的热电偶对中有电流通过时,两端之间就会产生热量转移,热量就会从一端转移到另一端,从而产生温差形成冷热端。但是石墨烯材料存在一定的电阻,当电流通过时就会产生热量,从而影响热传递。而且两个极板之间的热量也会通过空气和石墨烯材料自身进行逆向热传递。当冷热端达到一定温差,这两种热传递的量相等时,就会达到一个平衡点,正逆向热传递相互抵消。此时冷热端的温度就不会继续发生变化。

[0039] 将每个小的帕尔帖效应单元通过电极互连引出组成,即将所有的发热端、制冷端分别引出,提高整体的散热功率。电极选用绝缘性好,同时导热性良好的金属铜,提高冷、热端面的热交换速率,从而提高整个结构的热管理效率。

#### [0040] 实施例2

[0041] 如图4所示,一种基于石墨烯材料的集成电路热管理系统,包括电源系统、切换装置1~4、四个温控单元以及电流控制器1~4。

[0042] 所述温控单元包括正电极、负电极以及多个P型石墨烯材料和N型石墨烯材料,P型石墨烯材料和N型石墨烯材料依次交替设置于正电极与负电极之间。所述正电极、负电极均采用Ag电极;所述温控单元采用单行依次并列排布、多行多列交替排布、上下T型不对称排

布中一种组合形式进行空间分布；

[0043] 所述电源系统正极分别连接切换装置1的一端、切换装置2的一端、切换装置3的一端以及切换装置4的一端，切换装置1的另一端连接第一温控单元的正电极，第一温控单元的负电极连接电流控制器1的一端，切换装置2的另一端连接第二温控单元的正电极，第二温控单元的负电极连接电流控制器2的一端，切换装置3的另一端连接第三温控单元的正电极，第三温控单元的负电极连接电流控制器3的一端，切换装置4的另一端连接第四温控单元的正电极，第四温控单元的负电极连接电流控制器4的一端，电流控制器1的另一端、电流控制器2的另一端、电流控制器3、电流控制器4的另一端分别连接电源系统负极。

[0044] 具体的热管理方法是：

[0045] 第一步：明确切换装置由附图2所示的模拟开关控制电路组成，模拟开关由控制信号Q和Z高低电平控制通断。附图5给出的是四路温控单元控制实例。反映在图4上，切换装置1对应开关K1和Z1，由控制信号Q1和Z1控制切换。切换装置2对应开关K2和Z2，由控制信号Q2和Z2控制切换，依此类推。Q作为切换电流方向使用，Z连接在主回路，用于实现该分支的通断，反映在图2系统则用于实现与该切换装置温控单元的投入使用和切除使用。明确电流控制器1-4由图3所示的电阻分流网路构成，由控制信号控制电流能级。控制信号D0-D3控制着电阻支路的模拟开关，各支路开关接通1端子时的电流大小如图所标识，依据电路原理，总电流计算： $I = (D0/16 + D1/8 + D2/4 + D3/2) * VCC/R$ ；其中，D0-D3取值：1（接入）或0（接出），通过D0-D3的控制信号即可切换电流能级。运放输出可用于后续电流检测。

[0046] 第二步：系统上电，控制信号初始化为Z0000Q0000D0000，默认如图3、图5所示开关全打到左。如用户设置信号为（默认高位在前）Z0001Q0001D0001，则此时S1，K1打在右边，Z1闭合，第一温控单元工作，电流流向为自上而下，电流控制能级为1级，区域1为热端，区域5为冷端；依次设置Z1-Z4不同的0和1控制信号组合可实现单个温控单元独立运行或多个温控单元组合运行，依次设置K1-K4和D0-D3不同的0和1控制信号组合可实现功率能级调节，实现区域1-8不同的热场空间分布调制。如设置控制信号为Z0011Q0010D0100，则第一、二温控单元工作（对应信号Z0011），第一温控单元电流流向为自上而下，第二温控单元电流流向自上而下（对应信号Q0010），电流能级为3级，带入公式 $I = (D0/16 + D1/8 + D2/4 + D3/2) * VCC/R$ ，可计算出电流 $I = 0.25 * VCC/R$ 。此时图4中区域1为热端，区域5为冷端，区域2为冷端，区域6为热端，第三、第四温控单元未投入使用。依此类推，不同的控制信号对应区域的不同吸热和发热状态，同时信号作用的时间长短不断改变发热和吸热的时间响应从而实现热场的空间和时域的调制。

[0047] 第三步除了给定单一高低电平控制，若给定特殊的控制信号—频率固定的方波信号，可以周期性的实现开关组的切换，改变方波占空比控制开关组通断时间，不仅实现热场空间分布调制，也可以实现时域上的分布调制。

[0048] 本热管理系统还可以按控制需求更多级联切换装置、温控单元和电流控制器。由于石墨烯材料超薄，需要应用更大功散热功率还可以串联多个散热结构实现多级联散热，实现整体功率提升。

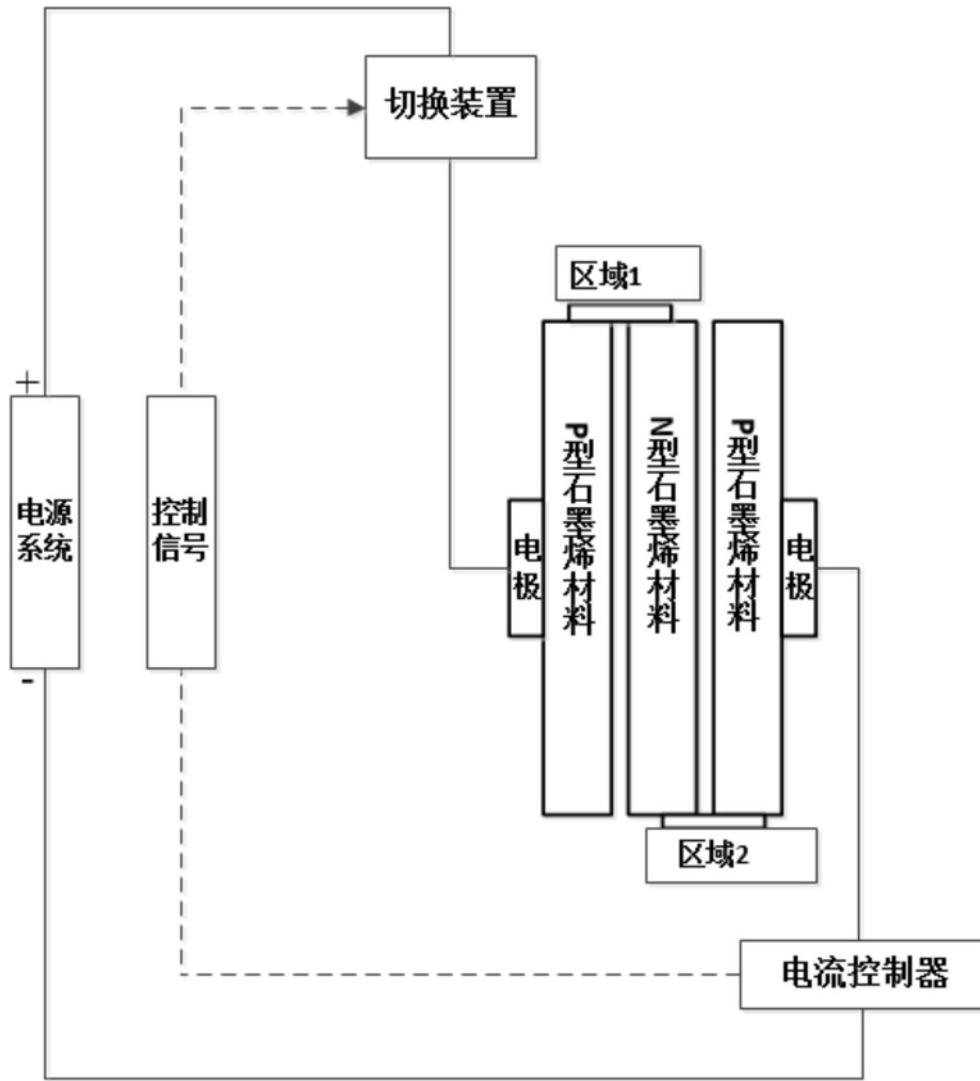


图1

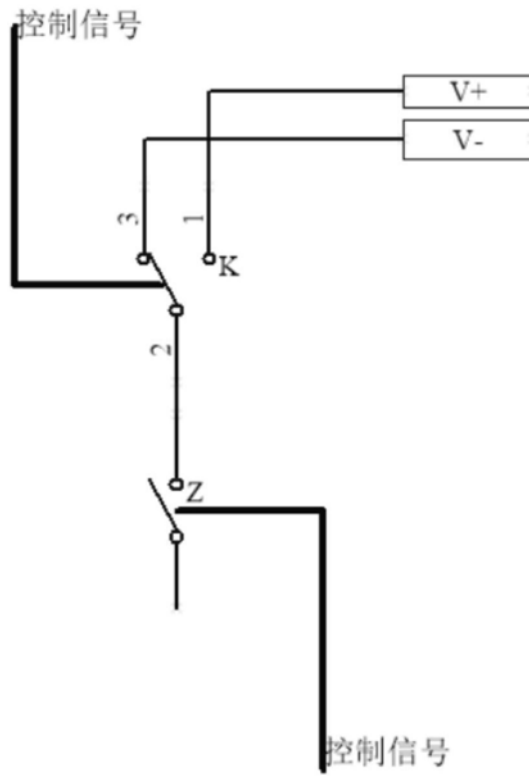


图2

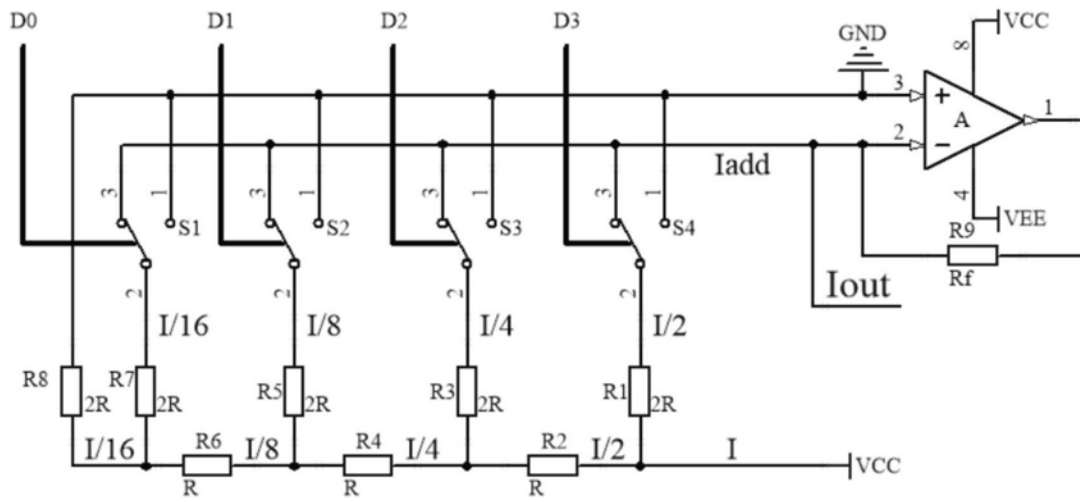


图3

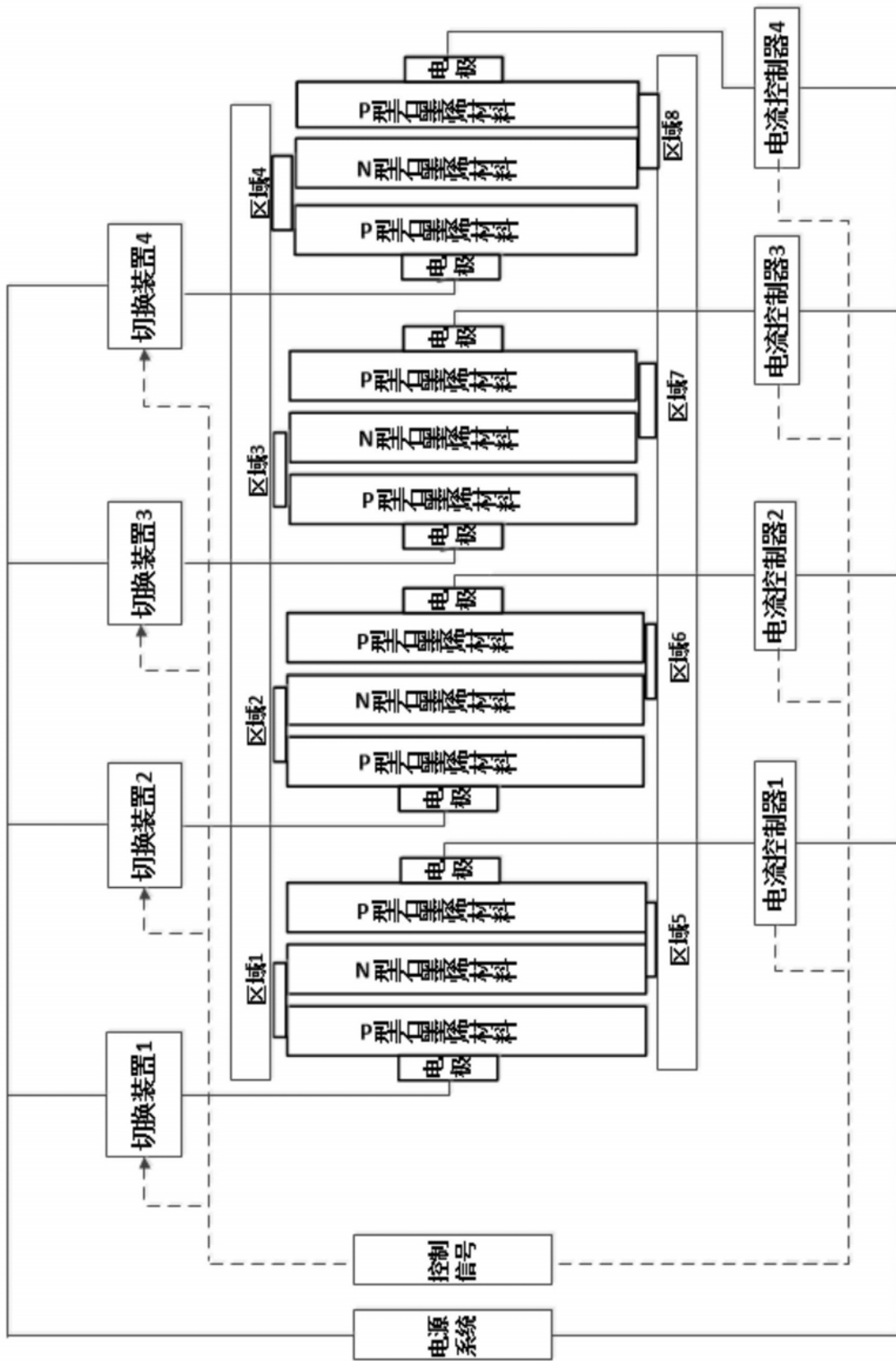


图4

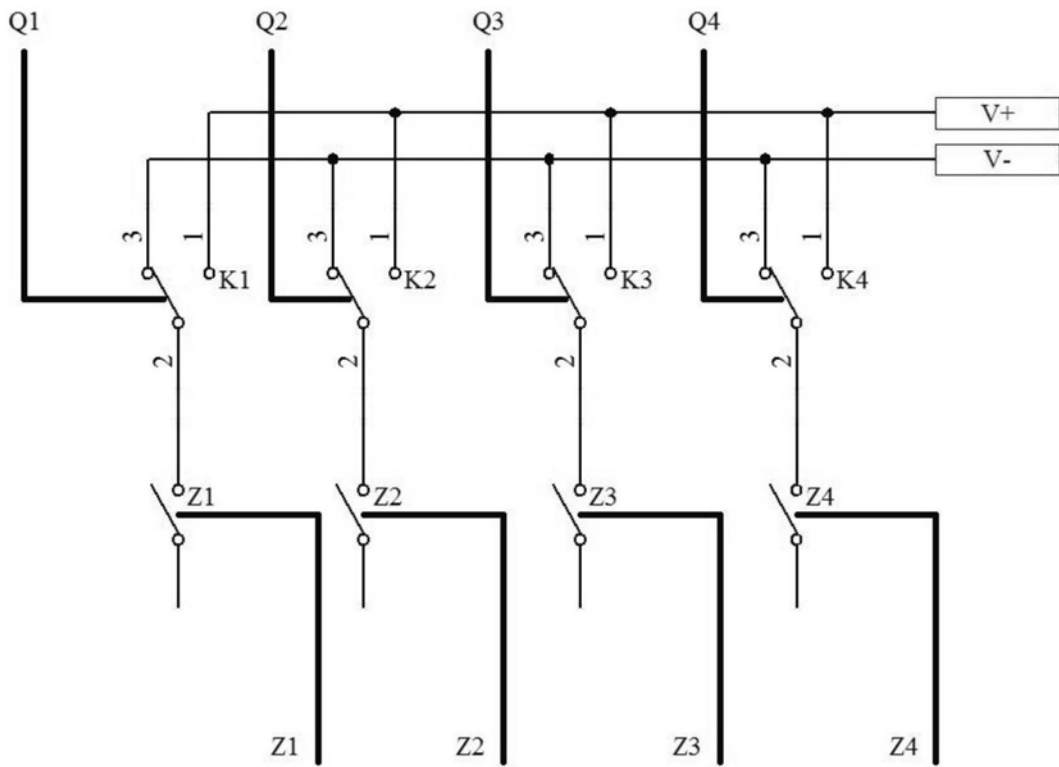


图5