

[19] 中华人民共和国专利局

[51] Int.Cl.⁴



[12] 发明专利申请公开说明书

H01L 29/60

H01L 29/10

H01L 29/74

H01L 29/36

[11] CN 88 1 00671 A

CN 88 1 00671 A

[43] 公开日 1988 年 9 月 28 日

[21] 申请号 88 1 00671

[22] 申请日 88.2.24

[71] 申请人 BBC 勃朗·勃威力有限公司

地址 瑞士巴登

[72] 发明人 安德烈·杰克林 彼得·洛韦勒

鲁道夫·法伊特茨 托马斯·弗拉萨克

[74] 专利代理机构 中国专利代理有限公司

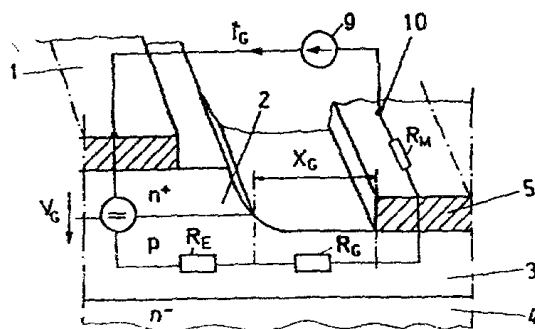
代理人 吴秉芬 肖梅昌

[54] 发明名称 大功率可控半导体元件

[57] 摘要

在由若干个单一元件并列和并联、其控制接点与一共同的控制引线相连,这样组成的大功率可控半导体元件中,对控制引线和控制触点之间不同的线路电阻进行补偿,而使各单一元件的负载相同。

可供选择的解决方法是,在 GTO 可控硅元件上,通过在栅极接点(5)和 n 发射极(2)之间对 P 基极(3)的栅沟电阻(R_G)进行调整而达到补偿。



881A05468 / 43-288

权 利 要 求 书

1、大功率可控半导体元件，这种元件

(a)、在两个主电极之间的半导体衬底上有若干个不同的掺杂层；

(b)、有一个用于元件控制的控制电极；

(c)、可分为若干相互并排的并联单一元件 (1 1)；

(d)、每个单一元件 (1 1) 上都配有一个控制触点；

(e)、单一元件 (1 1) 的控制触点与一共同的控制接口相连，共同构成控制电极；

这种半导体元件的特点是：

(f)、单一元件 (1 1) 的半导体衬底上装有介质，用以对有关控制触点和控制接口之间不同的线路电阻进行补偿。

2、根据权利要求 1 的半导体可控元件的特点是：

(a)、元件具有门电路断开可控硅 (G T O) 的结构，同时

(b)、在一个阳极和一个阴极之间上下依次有一个 P 发射极，一个 n 基极 (4)，一个 P 基极 (3) 和一个 n 发射极 (2)；

(c)、单一元件 (1 1) 由 n 发射极 (2) 的指状区构成，并受到露于表面的 P 基极 (3) 的包围；

(d)、作为栅极接点 (5) 的控制触点用金属喷涂层的形式置于露出表面的 P 基极 (3) 上；

(e)、用于补偿线路电阻差别的介质在栅极接点 (5) 和 n 发射极 (2) 的指状区之间包含着 P 基极 (3) 中的一个沿元件表面而变化的电阻。

3、根据权利要求 1 的大功率可控半导体元件的特点是：

(a)、元件具有门电路断开可控硅 (G T O) 的结构, 并且

(b)、在一个阳极和一个阴极之间上下依次排有一个 P 发射极, 一个 n 基极 (4), 一个 P 基极 (3) 和一个 n 发射极 (2);

(c) 单一元件 (1 1) 由 n 发射极 (2) 的指状区构成, 并受到露于表面的 P 基极 (3) 的包围;

(d)、作为栅极接点 (5) 的控制触点以金属喷涂层的形式置于露出表面的 P 基极 (3) 上;

(e)、用于补偿线路电阻差的介质在栅极接点 (5) 和 n 发射极 (2) 的指状区之间包含着 P 基极 (3) 中的一个沿元件表面而变化的电阻, 该电阻明显大于栅极接点 (5) 的金属喷涂层的电阻。

4、根据权利要求 2 或 3 的大功率可控半导体元件的特点是,

(a)、单一元件 (1 1) 按径向排列于若干同心环上、并且

(b)、控制引线以栅极引线 (8) 的形式位于这些同心圆的中心, 或是呈圆环形处于这些圆环之间。

5、根据权利要求 2 或 3 的大功率可控半导体元件的特点是:

为了调节 P 基极 (3) 中相应的电阻, 可以调整栅极接点金属喷涂层的边沿至 n 发射极 (2) 所属指状区的距离。

6、根据权利要求 2 或 3 的大功率可控半导体元件的特点是:

在栅极接点金属喷涂层的边沿至 n 发射极 (2) 所属指状区的距离保持不变的情况下, 为了调节 P 基极 (3) 中相应的电阻, 可以通过绝缘层 (6) 对有效电气距离进行调整, 绝缘层自指状区嵌入到金属喷涂层的下面, 并在一定的长度上将金属喷涂层同它下面的 P 基极 (3) 隔绝开。

7、根据权利要求 5 或 6 的大功率可控半导体元件的特点是:

对于不同的单一元件（11）来说，P基极（3）的层电阻调得也不同，以及/或者P基极（3）的层电阻沿单一元件（11）的纵向局部地可以变化。

8、根据权利要求7的大功率半导体元件的特点是：

为了调节不同的层电阻，P基极（3）露于表面部分的厚度可以不同。

9、根据权利要求7的大功率可控半导体元件的特点是：

为了调整不同的层电阻，P基极（3）具有不同的掺杂分布图。

10、根据权利要求9的大功率可控半导体元件的特点是：

为了减小层电阻，在P基极（3）露于表面的部分上加入一个掺杂较强的附加层（7）。

大功率可控半导体元件

本发明涉及半导体元件，尤其涉及大功率可控半导体元件，这种元件

- 在两个主电极之间有若干个不同的掺杂层；
- 有一个用于元件控制的控制电极；
- 可分为若干相互并列的并联单一元件；
- 每个单一元件上都配有一个控制触点；
- 单一元件的控制触点与一共同的控制接线相连，而共同构成控制电极。

经门电路断开 (GTO) 的可控硅这样一类大功率可控半导体元件，由于其控制简便而在大功率电子装置中得到越来越广泛的应用。

用于大开关功率的这类 GTO 可控硅，比较典型的是由相当数量 (100……>1000) 的单一元件构成，这里所说的单一元件系指相互独立、相互并列，并且并联运行的单个受控的可控硅或组件。

整个元件的载流能力在很大程度上取决于单一元件的不同性能。例如众所周知，一个基本的单一可控硅的承载能力比由若干单一元件组成的组件的平均承载能力可以大一个数量级以上 (例如，可参阅美国马萨诸塞州剑桥市 1982 年 6 月大功率电子装置专家会议上 T. Nagano 所宣读的《无缓冲的门电路切断》一文中的图 7)。

这里，某一规格的 GTO 装置的最大截断电流一方面取决于大面积硅衬底上半导体性能的差异。就这一点而论通过精细的工艺过程，比如在进行掺杂和确定寿命时使用照射工艺，可以实现尽可能小的扩

散而具有最大的截断电流的目的（参见1986年12月美国洛杉矶国际电子装置会议上A·杰克林和E·亚当的《门电路断开可控硅及其近于完美无缺的工艺》一文）。

另一方面，由于几何方面的原因，一个GTO元件中的触发电流对所有单一可控硅来说分布是不均匀的，这是因为由于单一元件至控制接线或触发接线的距离不同，这样接到金属喷涂层的引线，其电阻也不同。

至于在若干同心环上封装单一元件而组成的GTO可控硅，DE — PS 31 34 074 号专利曾建议，在控制时可以通过下述方法克服上面所谈到的由于几何方面的原因造成的不均匀性：控制电流的馈入可以通过位于单一元件的各同心环间的低欧姆环状连接件进行。这一连接件必须通入到与元件接触的复合电极板中，但这种结构制造费用高，精度要求也高。

此外，只要单一元件组成的同心环多于两个，这种连接件的作用便会失效。

另外，这种解决方法也不能消除单一元件控制电流纵向分布的不均匀性。

本发明的任务是，制造一种大功率可控半导体元件，使之既能通过对单一元件的均匀控制而达到控制较大的电流，并且制造成本又低廉的目的。

按照一开始所提到的那种大功率半导体元件，解决这一任务的方法是，在单一元件的半导体衬底上加装介质，以便对各控制触点和控制接线之间不同的线路电阻进行补偿。

以前公布的解决方法是，通过适当的几何排列，从一开始就避免

产生不同的线路电阻；而本发明的核心则是，有意识地认可这种线路电阻的不同，但在各有关单一元件的半导体衬底上就地加以补偿。

根据这种方法，通常的触点接合方法仍可继续使用，因为补偿措施仅限于对半导体衬底本身加以改进。

根据本发明的可供选择的结构形式，

—— 元件采用门电路断开可控硅的结构；

—— 在阳极和阴极之间上下排有一个 p 发射极，一个 n 基极，一个 p 基极和一个 n 发射极；

—— 单一元件由 n 发射极的指状区构成，这些指状区由装在表面上的 p 基极包围着；

—— 作为栅极触点的控制触点用金属喷涂的方法置于装在表面上的 p 基极上；

—— 用于补偿线路电阻差异的介质在相应的栅极接点和 n 发射极的指状区之间的 p 基极中包含着一个沿元件表面而变化的电阻。

本发明的其它详细结构将在后面阐述。

下面将结合附图，借助结构实例详细说明本发明。这些附图是：

图 1：带有附属控制电路等效电路图的 G T O 可控硅单一元件的部分结构图。

图 2：同心环上阴极一侧的 G T O 可控硅中指状单一元件的已知排列图。

图 3：根据图 2 排列的控制电路的等效电路图。

图 4：实验测得的 G T O 可控硅的门电路电流电压特性曲线图。

图 5：用 G T O 单一元件的横断面说明根据本发明不同结构实例所采取的用于补偿线路电阻差别的措施。

图 6：符合本发明的 G T O 可控硅阴极一侧的扇形断面图，其中的单一元件以不同宽度的绝缘层包围着，以及

图 7：径向压降的计算曲线，其中 (c) 是符合现有技术水平的 G T O 可控硅，(d) 和 (e) 为符合本发明的 G T O 可控硅的两种结构形式。

图 1 是一个 G T O 可控硅元件的结构透视断面图。在阳极和阴极间共有四层，为清楚起见，图中仅绘出上面三层，它们是 n^{-} 结的 n 基极 4， p 结的 p 基极 3 和 n^{+} 结的 n 发射极 2。

n 发射极 2 的侧面在一定范围内的扩展受到限制，被装在表面上的 p 基极 3 包围。 n 发射极 2 和 p 基极 3 有一个薄的金属喷涂形式的阴极接点 1 以及栅极接点 5。这里，栅极接点 5 被限定在 p 基极 3 装在表面的那一部分。

在两个触点之间进行外部相应连接的情况下，阴极接点 1、 n 发射极 2、 p 基极 3 和栅极接点 5 构成了 G T O 可控硅元件的触发电路和消除电路，可控硅通过这种电路既可接通，又可断开。

截断过程中，消除电路中有大电流通过。在截断过程中，这一消除电路可通过图 1 中所绘上的简单欧姆等效电路图加以说明。在这个等效电路图中，外部电源 9 供给的控制极电流 I_G 通过三个电阻组成的串联电路，其中一个为金属膜电阻 R_M ，它包括了栅极接点并联至表面的欧姆电阻；另一个是栅极沟道电阻 R_G ，该电阻包括 p 基极 3 中由栅极接点 5 到 n 发射极 2 之间的电阻（栅距为 x_G ）；以及包括 p 基极 3 在 n 发射极 2 下面部分的电阻在内的发射极电阻 R_E 。此外，还有由于在 n 发射极 2 和 p 基极 3 之间的过渡层中流动的阳极电流所产生的控制极电压 V_G 。

从图 1 中可以直接看出，金属膜电阻 R_M 的大小取决于栅极电流 I_G 在元件的哪一个位置馈入栅极接点 5，也就是说，馈入点 10 位于元件的什么位置：栅极电流 I_G 在半导体内部起作用之前通过栅极接点 5 的金属喷涂层的路程越长，则金属膜电阻 R_M 就越大。

这样，即便是在单一的 GTO 元件上，也会产生在元件纵向上栅极电流 I_G 分布不均匀的问题。不过，在大功率 GTO 半导体元件上，当在一片面积较大的衬底上有许多单个元件，而这些元件又从一个共用馈入点引入栅极电流时，这种分布的不均匀就显得特别严重。

图 2 是一个这样的大面积 GTO 可控硅元件的阴极一侧前视图。在这个元件中，圆形的衬底晶片上在两个同心环上排列着许多单一元件 11。这些单一元件 11 周围由一个整体的金属喷涂层组成的栅极接点 5 包围着，该接点在圆片的中心与（如虚线所示）栅极接线 8 相连接。

栅极接线 8 作为栅极电流的馈入点，栅极电流由栅极接线 8 到达外圈的单一元件，在栅极接点 5 的金属喷涂层中所定的路程必定大于该电流到达内圈上较近的单一元件所定的路程。

图 3 是根据图 2 在一般情况下由单一元件组成 K 个同心环所绘出的 GTO 可控硅消除电路的等效电路图，上述情况在图 3 中可以得到很好的说明。外部电源 9 供给的栅极电流 I_G 通过第一个金属膜电阻 R_{M1} ，该电阻表示栅极接线和第一个内圈之间金属喷涂层的电阻，然后分为两路，一路通过第一个内圈的 n_1 个串联的单一元件，连同作为其先决条件的栅沟电阻 R_{G1} 和发射极电阻 R_{E1} 到达阴极（其总强度为 $n_1 \cdot I_{IS}$ ； I_{IS} = 通过第一圈中一个单一元件或一个组件的电流）。

另一路渐渐通过分属于相邻圈金属喷涂层的其它金属膜电阻 $R_{M2}, \dots, R_{Mi}, \dots, R_{MK}$, 由这一路又为下一个圈 2, $\dots$, $i, \dots, K$ 分出相应的电流 $n_2 \cdot I_{2s}, \dots; n_i \cdot I_{is}, \dots, n_K \cdot I_{Ks}$, 这一路电流可由单一元件所属的数字 $n_2, \dots, n_i, \dots, n_K$ 导出。

组合成门电路断开元件的总共有 $\sum_{i=1}^K n_i$ 个单一元件, 分别排

列于 K 个不同的同心环上, 同时, 同一个环上所有 n_i 个单一元件的栅沟电阻 R_{Gi} 和发射极电阻 R_{Ei} 都必须相同。

图 4 是对这种 GTO 元件经实验测定的门电路电流电压特性曲线, 这个曲线可以看作是对图 3 中所绘模式的验证。

根据本发明的一种可供选择的结构实例, 栅沟电阻 R_{Gi} 和发射极电阻 R_{Ei} 的测量要使金属喷涂层上压降的差正好得到补偿。这样, 使用规定的金属喷涂层, 可以使通过所有单一元件或组件的控制电流达到精确的均匀分布。采取这一措施的结果是, 一方面可以显著提高整个单一元件集合体的截断电流; 另一方面, 也可以大大增加系列生产的产量, 因为制造公差对元件功能的影响大大减小了。

将图 4 中经实验测定的 $V_G(I_G)$ 特性曲线中的电阻直线与图 3 中的等效电路进行数字上的比较表明, 在断开过程的第一部分 ($V_G \lesssim 0$) 中, 这里的电阻 R_1 (图 4 中的近似线 1) 适用于下式:

$$(1), \quad R_1 = R_{tot} \quad (R_{Ei} = 0)$$

这一关系式表明, 按精确的近似值计算, 在开始时, 也就是说当 n 发射极 4 下面的 p 基极 3 完全被载流子淹没时, 控制电流仅仅取决

于栅沟电阻 R_{Gi} 和金属膜电阻 R_{Mi} (R_{tot} = 总电阻)。

因此,在这种情况下,金属膜电阻 R_{M2} 的补偿通过适当选择 R_{Gi} 即可实现($R_{Gi} \simeq 0$)。

在下一个阶段($V_G \geq 0$, 近似线2), 门电路中的有效电阻逐渐增加, 因为这时的发射极电阻 R_{E1} 不能再继续被忽略不计了。但只要单一元件的所有 n 发射极区域在几何上是相同的, 则各圈上的发射极电阻 R_{Mi} 之间就不存在差别。这时, 只要通过适当选择 R_{Gi} 进行补偿, 这一阶段中的电流分布就一直是均匀的。甚至各单一元件的电流之间残存的差别通过后来附加的发射极电阻 R_{E1} 也可以得到缩小。

在只有两个同心圈($K=2$)的最简单的GTO元件中, 在发射极电阻 R_{E1} ($=0$)逐渐消失的情况下, 根据图3 ($I_{1s} = I_{2s}$), 补偿条件可按下式计算:

$$(2), \quad R_{G2} = R_{G1} + n_2 \cdot R_{M2}$$

按照同样的方法, 圈数较多的元件的补偿条件亦可计算出来。假如元件中不是用所谓的“中央栅极”(位于各同心环中心的栅极接线8), 而是采用环形栅(如DE-PS 31 34 074号专利所述)或是选用别的控制方式, 则图3中的等效电路图可做微小的相应改动。

此外, 为使结构对不可避免的制造公差尽可能地不那么敏感, 可以采取的另一种措施是, 选用尽可能大的栅沟电阻 R_{Gi} (栅极镇流电阻原理)。这样, 只要金属膜电阻得到部分补偿, 同样可以使元件得到明显的改善。

另外, 上述补偿方式不仅可以用于不同的单一元件之间, 而且可以用于单一元件内部。因为组件或单一元件纵向上的栅极金属膜电阻

随着到达栅极接线的距离加大而增加，所以可以设想，这种效应通过利用关系式（2）在单一元件纵向上对栅沟电阻 R_{Gi} 进行连续不断的调整来加以解决。

在工艺上实现对栅沟电阻 R_{Gi} 进行单个调整，有多种方法可供考虑，下面将利用图 5 详加说明。

为了对构成栅沟电阻 R_{Gi} 的 P 基极 3 实现触点接通，一般需对 n 发射极的层加以限制，就是说，例如限制在某一指状的区域内。限定区域的方法要么通过 n 发射极的局部扩散（平面扩散法），要么对事先制成的均匀 n^+ 掺杂层进行适当的腐蚀（结果是形成图 1 和图 5 中的结构），或者是通过两种方法的结合来进行。

改变 P 基极 3 中的有关电阻，特别是改变栅沟电阻 R_{Gi} 的另一种可能的措施是，改变栅极接点金属喷涂层的边沿到 n 发射极 2 所属指状区的距离，即改变栅极距离 x_G （图 1），这例如可以通过适当的金属喷涂腐蚀掩模来实现。

比较有利的是图 5 中所绘的解决方法，使用这种方法，在栅极接点金属喷涂层的边沿至 n 发射极 2 所属指状区的距离相同的情况下，改变栅沟电阻 R_{Gi} 的做法是，通过施加足够厚的绝缘层 6 来改变实际的电气有效距离（图 5 中的栅极距离 $x_{G'}$ ）。绝缘层由 n 发射极 2 开始嵌入到金属喷涂层的下面，按适当的距离（栅极距离 v_G ）将金属喷涂层与其下面的 P 基极 3 隔绝开。

在这种情况下，金属喷涂层的宽度可以相当宽，使作为寄生电阻的金属膜电阻 R_{Mi} 极小。从技术上讲，这种方法用氧化层（ SiO_2 ）很容易解决，因为氧化层在各种制作过程中终究是要产生的。

对于具有单一元件 1 1 的三个同心环的 G T O 元件来说通过绝缘

层6进行补偿的这种方法在图6中给出。

图中，单一元件1 1分别被绝缘层6包围（栅极金属喷涂层未标出），绝缘层的宽度从中央栅极起按半径方向由最大宽度 a 逐渐减小到最小宽度 b 。

a 和 b 的值例如可以为150微米和50微米，其变化比为3:1。

但是如果按照前面所提到的栅极镇流电阻原理，所有单一元件1 1均用绝缘层6包围，绝缘层的宽度全部相同（比如为50微米），这样也可以使补偿得到明显改善。这里，对补偿的改善起决定作用的是绝缘层要有相当的宽度，要使栅沟电阻 R_{Gi} 明显大于金属膜电阻 R_{Mi} 。

图7中给出的模型计算结果表明了这种改善同目前的技术水平相比究竟有多大。以图6中的结构为例，半径上的电压降曲线有三条，一条是没有绝缘层（曲线c），一条是带有等宽的绝缘层（曲线e），一条是用宽度变化不等的绝缘层（曲线d）。

如所预料，按图6使用宽度不等的绝缘层时变化最为均匀（曲线d）。

但即便使用等宽的绝缘层（比如均为50微米），内圈和外圈之间的差别已经明显缩小了（曲线e）。

与此相反，在没有补偿的情况下，差别就要大得多（曲线c）。

此外，为了取得大的变化范围，对于不同的单一元件来说，将对栅沟电阻 R_{Gi} 起决定作用的P基极3的层电阻规格调得不等也大有好处。

为达此目的，可以将P基极3露于表面的部分比如通过不同的腐

蚀而制成不同的厚度。但由于腐蚀深度的细微差别难以掌握，为形成不同的层电阻，亦可在P基极3中形成不同的掺杂分布图形。为此目的，尤其可以象图5中用虚线给出的那样，在P基极露于表面的区域内做上一个掺杂较强的附加层7（比如在腐蚀之后）。

按照关于元件方面所叙述的方法，通过对P基极3的电阻，特别是对栅沟电阻 R_{Gi} 进行补偿性调整，这样可以获得使电性能得到明显改善的元件。

不言而喻，本发明不仅仅限于这里作为例子所举的几种GTO可控硅元件，而且可以用于所有以平面扇形分布的各种半导体元器件。

总之，本发明的半导体可控元件的详细结构包括以下特点：

一、元件具有门电路断开可控硅结构；

二、在一个阳极和一个阴极之间上下依次排有一个p发射极，一个n基极（4），一个P基极（3）和一个n发射极（2）；

三、单一元件（11）由n发射极（2）的指状区构成，并受到露于表面的P基极（3）的包围；

四、作为栅极接点（5）的控制触点以金属喷涂层的形式置于露出表面的P基极（3）上；

五、用于补偿线路电阻差别的介质在栅极接点（5）和n发射极（2）的指状区之间包含着P基极（3）中的一个沿元件表面而变化的电阻，该电阻明显大于栅极接点（5）的金属喷涂的电阻；

六、单一元件（11）按径向排列于若干同心圆环上；

七、控制引线以栅极引线（8）的形式位于这些同心圆的中心，或是呈园环形处于这些园环之间；

八、为了调节P基极（3）中相应的电阻，可以调整栅极接点金

属喷涂层的边沿至 n 发射极 (2) 所属指状区的距离;

九、在栅极接点金属喷涂层的边沿至 n 发射极 (2) 所属指状区的距离保持不变的情况下, 为了调节 P 基极 (3) 中相应的电阻, 可以通过绝缘层 (6) 对有效电气距离进行调整, 绝缘层自指状区嵌入到金属喷涂层的下面, 并在一定的长度上将金属喷涂层同它下面的 P 基极 (3) 隔绝开;

十、对于不同的单一元件 (1 1) 来说, P 基极 (3) 的层电阻调得也不同, 以及/或者 P 基极 (3) 的层电阻沿单一元件 (1 1) 的纵向局部地可以变化;

十一、为了调节不同的层电阻, P 基极 (3) 露于表面部分的厚度可以不同;

十二、为了调整不同的层电阻, P 基极 (3) 具有不同的掺杂分布图;

十三、为了减小层电阻, 在 P 基极 (3) 露于表面的部分上加入一个掺杂较强的附加层 (7)。

图 中 编 号 说 明

1	阴极触点	R_E	发射极电阻
2	n发射极	I_G	栅流
3	P基极	K_G	栅压
4	n基极	X_G	栅距
5	栅极触点	R_1, R_2	电阻
6	绝缘层	V_0, V_1	电压
7	附加层	a	最大宽度
8	栅极引线	b	最小宽度
9	外部电源	c, d, e	曲线
10	馈入点		
11	单一元件		
	$R_M, R_{M1},$, R_{MK}		金属膜电阻
	$R_G, R_{G1},$, R_{GK}		栅沟电阻

说明书附图

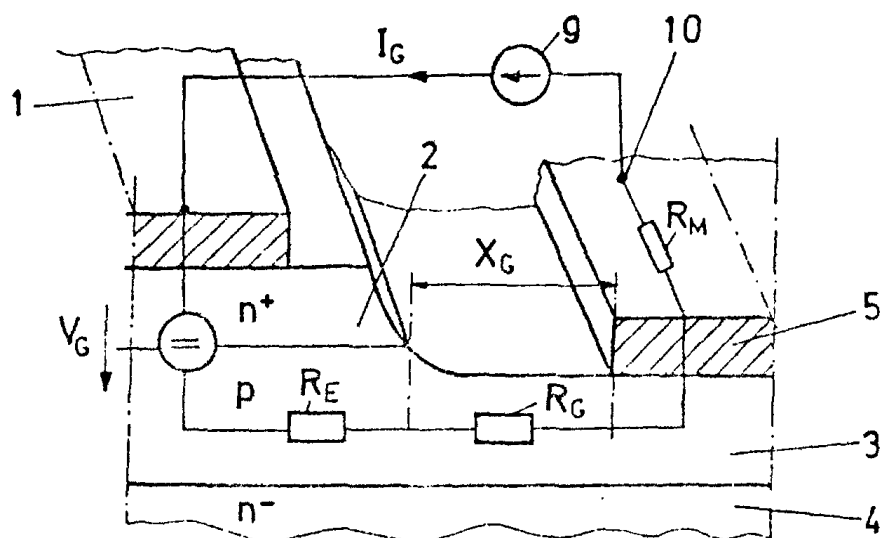


图 1

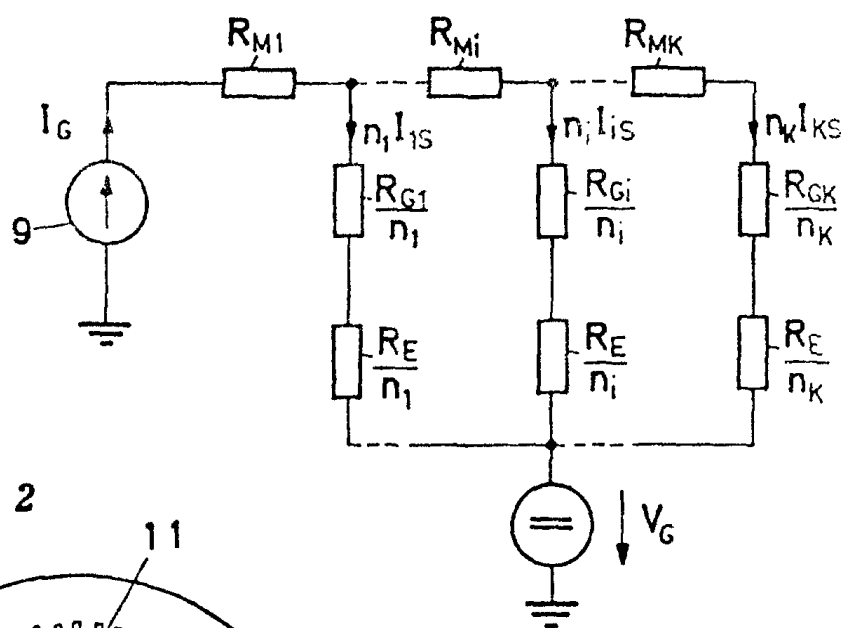


图 2

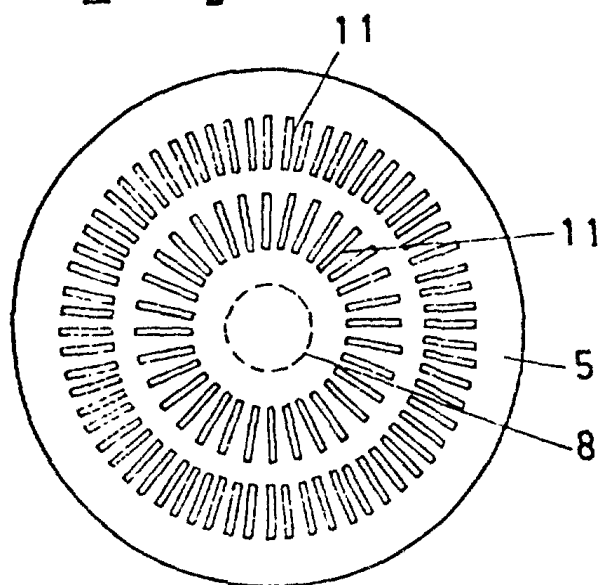


图 3

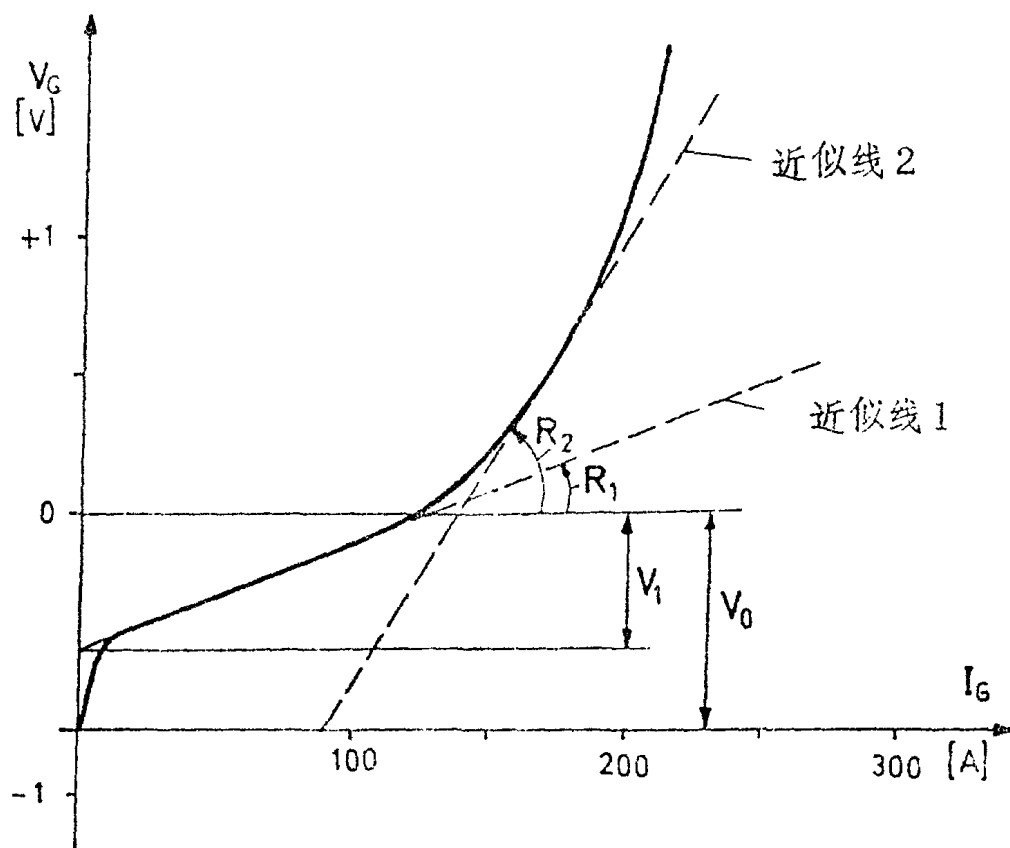


图 4

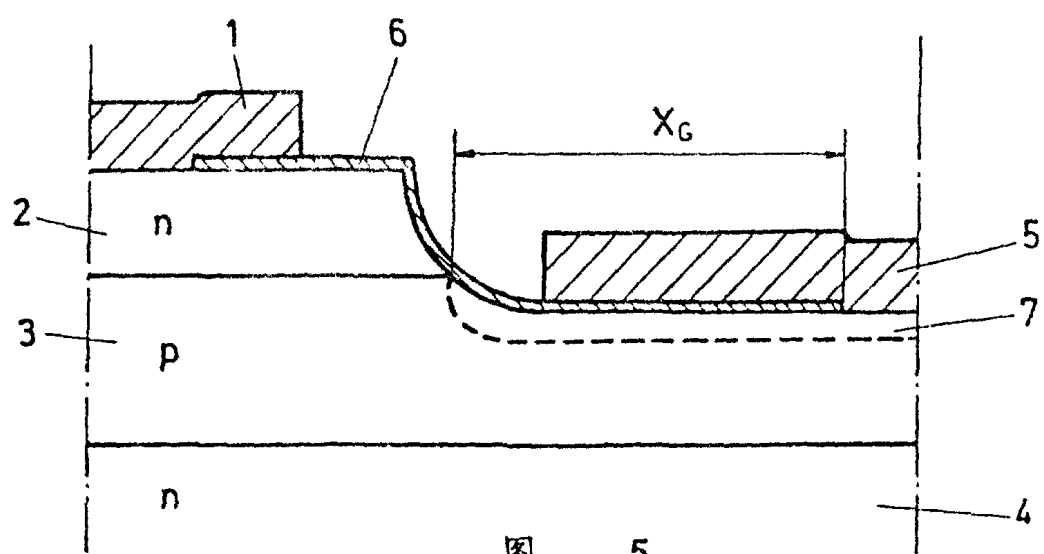


图 5

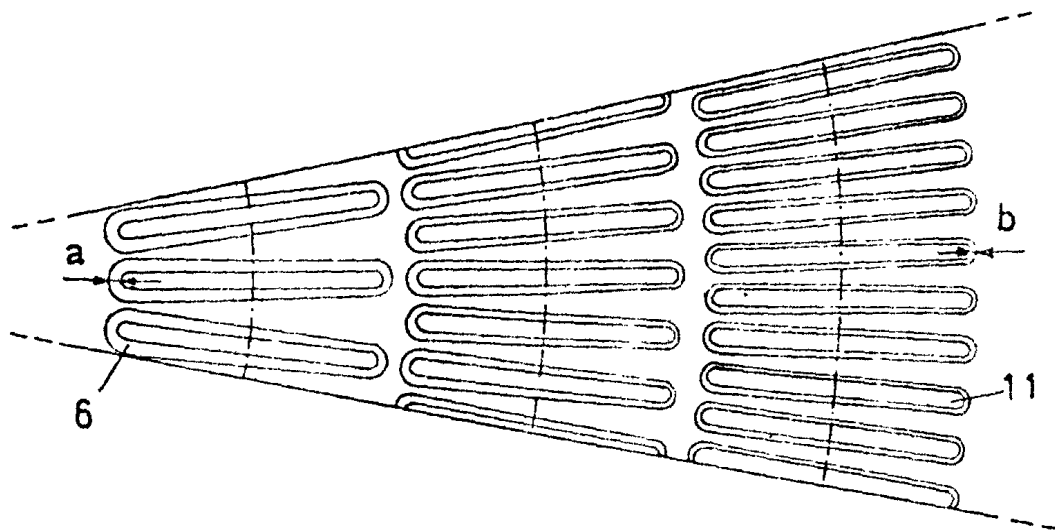


图 6

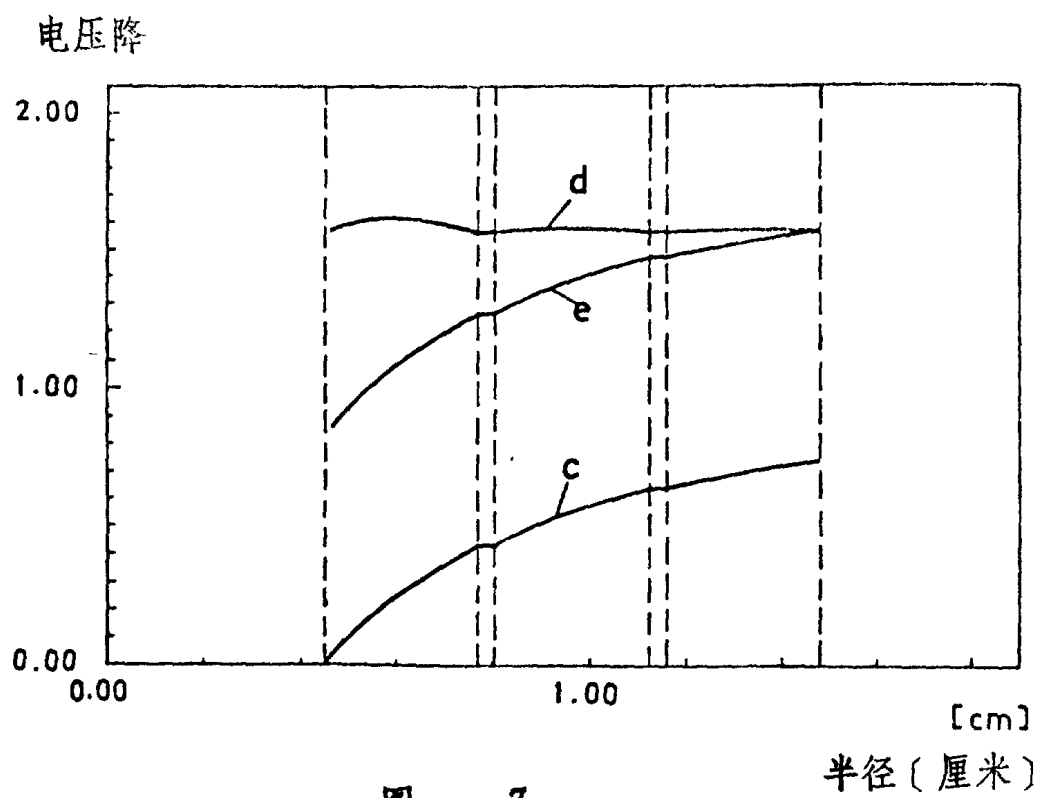


图 7