



# (12) 实用新型专利申请说明书

G01L 1/18  
G01L 1/20

(11) CN 88 2 01030 U

CN 88 2 01030 U

(43) 公告日 1988年9月7日

[21] 申请号 88 2 01030

[22] 申请日 88.3.26

[71] 申请人 复旦大学

地址 上海市复旦大学

[72] 设计人 吴宪平 于连忠

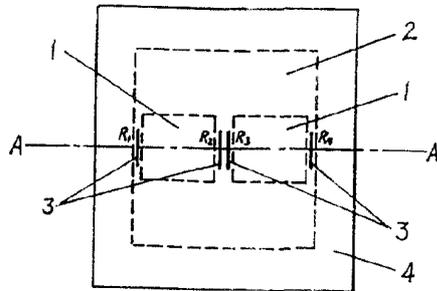
[74] 专利代理机构 复旦大学专利事务所

代理人 甄 飞

[54] 实用新型名称 矩形双岛硅膜结构过压保护型压力传感器

### [57] 摘要

本实用新型属半导体压力传感器领域。其芯片结构特征为，在硅膜背面有由各向异性腐蚀形成的两个对称矩形硅岛，硅岛端面与器件衬底之间有一层间隙，硅膜正面相应于双岛之间的沟槽部位和岛与边框之间的沟槽部位设置力敏电阻，该组电阻联结成惠斯顿电桥。这种结构的压力传感器特点为灵敏度高，线性度好，并有过压保护功能，可广泛用于各种工业和医用测压系统，尤其是低压测量系统。



(BJ) 第1452号

882U10426 / 34-405

1. 一种由硅膜与其上的硅岛、力敏电阻、衬底组成的半导体压力传感器，其特征在于：

(1) 硅岛 1 在硅膜 2 的背面，是由各向异性腐蚀形成的两个对称的矩形或近似矩形质量块；

(2) 力敏电阻 3 设置在硅膜 2 的正面，位于两硅岛之间的中心沟槽的对应部位及硅岛与硅膜边框 4 侧壁之间的边缘沟槽的对应部位；

(3) 两硅岛的端面和器件衬底 5 之间有一层间隙 6。

2. 根据权利要求 1 的半导体压力传感器，其特征在于硅膜为方形，材料为 (001) 晶向的 N 型硅片，膜边和矩形硅岛的边线沿 [110] 和  $[1\bar{1}0]$  方向，硅岛高度为 150 ~ 250 微米，硅岛的纵向宽度为方膜边长的  $1/3 \sim 1/2$ ，中心的槽宽度是边缘沟槽宽度的 2.5 ~ 3.5 倍。

3. 根据权利要求 1 的半导体压力传感器，其特征在于：

(1) 所说的矩形或近似矩形硅岛在 (001) 晶向硅片上对应的腐蚀掩模图形为在矩形的每个直角上各附加一个补偿角的多边形 7，这些补偿角由  $\langle 210 \rangle$  晶向族中相应的晶向组成，大小为  $53.13^\circ$ ，角边与 [110] 或  $[1\bar{1}0]$  方向夹角为  $18.43^\circ$ ；

(2) 补偿角宽度  $\delta_c$  等于因各向异性腐蚀形成的矩形直角的削角宽度  $\delta_u$ 。

4. 根据权利要求 2 的半导体压力传感器，其特征在于上述中心沟槽相应部位的正面对称设置两个力敏电阻，两个边缘沟槽相应部位的正面对称各设置一个力敏电阻，这四个电阻的形状、大小、取向均相同，并且联结成惠斯顿电桥。

5. 根据权利要求 1 或 2 或 4 的半导体压力传感器，其特征在于硅岛端面与衬底表面之间的间隙 6 的高度为硅膜边长的 0.4 ~ 0.8 %。

6. 根据权利要求 5 的半导体压力传感器，其特征在于器件衬底材料

为玻片或硅片，衬底与硅膜边框静电封接。

7. 根据权利要求6的半导体压力传感器，其特征为在两个硅岛底部对应的硅片正面设置有调零补偿电阻或讯号处理电路。

## 矩形双岛硅膜结构过压保护型压力传感器

本实用新型属半导体压力传感器领域，是一种硅膜带有矩形双岛结构并具有过压保护功能的压力传感器。

压力传感器的技术指标中以压力灵敏度和线性度最为突出。现有的压力传感器的弹性体多数采用平膜型（或称C型）和环槽单岛型（或称E型）结构。对于既定的设计，压力灵敏度主要取决于膜厚与其尺寸之比。为了提高压力灵敏度，尤其是微压传感器的灵敏度，需要将硅膜腐蚀得很薄。但这样做不仅在工艺上难度大，而且由于薄膜的“气球效应”等使器件的线性度受严重影响。灵敏度和线性度两者的矛盾十分突出。此外，过压保护也是一个困难问题，尤其对于 $0.2 \text{ 公斤/cm}^2$ 量程以下的微压传感器。没有过压保护或过压保护范围太小的压力传感器在实用中极易受到偶然的过压而报废。微压传感器的高线性度和过压保护是国际上也没有得到很好解决的两个问题。采用双岛结构代替C型或E型结构可提高压阻式压力传感器的灵敏度。但以往报道没有解决矩形双岛凸角在各向异性腐蚀时的削角问题，腐蚀形成的双岛呈多边形，因而双岛之间、双岛与边框侧壁之间不是均匀细长的沟槽，导致器件的线性度不高，尤其是在高输出时。这样，传感器的精度就受到影响。图1为方形硅膜和无削角补偿矩形双岛结构示意图，实线为双岛在腐蚀前的掩模图形，是两个矩形。虚线为双岛在腐蚀后的上下边线，其矩形各角产生削角，双岛成为多边形。

本实用新型的目的是对双岛硅膜结构的压力传感器加以改进，以改善器件的线性度，进一步提高其灵敏度，并使器件具有过压保护的功能。

图2为本实用新型的结构图。图2(a)为矩形双岛硅膜结构正视图，

图 2 (b) 为图 2 (a) 在 A—A' 处的剖视图。两个虚线方框表示在硅膜 2 背面的矩形或近似矩形硅岛 1 的底部边线；力敏电阻 3 设置在硅膜 2 的正面，位于两硅岛之间的中心沟槽的相应部位及硅岛与硅膜边框 4 侧壁之间的边缘沟槽的相应部位；两硅岛端面和器件衬底 5 之间有一层间隙 6，衬底带有小孔 7。

本实用新型的芯片材料可采用 (001) 晶向 N 型硅片，硅膜可为方形。这时方膜与矩形硅岛的边线各自平行于  $\{110\}$  或  $\{1\bar{1}0\}$  方向。硅岛高度  $h$  为 150 至 250 微米，硅岛的纵向宽度为方膜边长的  $1/3$  至  $1/2$ 。中心沟槽宽度是边缘沟槽宽度的 2.5 至 3.5 倍。

由于在对硅片进行各向异性腐蚀形成硅岛时会产生削角作用，其削角暴露面为  $\{212\}$  晶面族，它们与硅片 (001) 表面相交于  $\langle 210 \rangle$  晶向族，为了能经腐蚀得到正规的矩形硅岛，在对双岛腐蚀掩模版图形设计时，进行图形削角补偿处理，即在两个矩形的每个直角处各附加一个补偿角，该角由  $\langle 210 \rangle$  晶面族中的相应晶向组成。这样，双岛腐蚀掩模版图形为由矩形在  $\{110\}$  或  $\{1\bar{1}0\}$  方向的基线段及在直角上的补偿角组成的两个多角形。图 3 为带有补偿角的双岛腐蚀掩模版图形，虚线为腐蚀终止时的上下边线。图 4 为图 3 中一个多角形的放大图，其中小点线表示没有补偿角时矩形硅岛在各向异性腐蚀时的削角线。各边线上方括号内数字表示该线晶向。补偿角  $\theta = 53.13^\circ$ ，角边与  $\{110\}$  或  $\{1\bar{1}0\}$  方向夹角  $\gamma = 18.43^\circ$ 。称直角顶点到该直角之补偿角边线的距离  $\delta_c$  为补偿角宽度；称直角顶点到该直角削角线的距离  $\delta_n$  为削角宽度。要求  $\delta_c$  等于或近似等于  $\delta_n$ 。若  $\delta_c = \delta_n$ ，则当各向异性腐蚀时补偿角缩为一点而得到的硅岛形状恰为矩形；若  $\delta_c < \delta_n$ ，则腐蚀得到的硅岛略有削角，为近似矩形，称欠补偿；若  $\delta_c > \delta_n$ ，则腐蚀得到的硅岛角顶上有补偿角的残留部分，称为过补偿。

硅膜正面力敏电阻布局最合理的设计方案为：在中心沟槽的对应部位对称设置2个，为 $R_2$ 、 $R_3$ ，在两个边缘沟槽的对应部位各设置一个，为 $R_1$ 、 $R_4$ 。它们的形状、大小、取向均相同，并且联成惠斯顿电桥。 $R_1$ 、 $R_2$ 和 $R_3$ 、 $R_4$ 各构成电桥的一对桥臂。

硅岛端面与器件衬底表面间保留一层间隙，其作用在于当器件正面受到过压时，能使硅膜的挠度位移受到衬底表面的限制，从而保护硅膜，防止硅膜破裂。间隙高度在硅膜边长的0.4%至0.8%为宜。该间隙可由下述方法形成：在硅岛端面部位比边框部位多腐蚀去一层，或在衬底上与硅岛对应部位先用腐蚀或其它方法形成一个平整浅坑。衬底材料为玻片或硅片，与硅膜边框进行静电封接。

由于在与矩形硅岛底部对应的硅膜正面基本上不因受外界压力的影响而发生形变，故可在其上设置调零补偿电阻或讯号处理电路，构成集成压力传感器。

由于本实用新型采用了图形补偿角新设计而补偿了各向异性腐蚀所产生的凸角削角，实现了矩形双岛结构。其沟槽比没有削角补偿时更为均匀细长，从而进一步提高了器件的压力灵敏度和改善了线性度。

图5给出了硅膜为平膜(C型)结构、单岛(B型)结构和矩形双岛结构时的应力分布。其中图5的(a)、(b)、(c)分别为三种结构的硅膜正视图；(a')、(b')、(c')分别为这三种结构的中间部位的剖视图；(a'')、(b'')、(c'')分别为这三种结构的应力分布图。 $\sigma_x$ 、 $\sigma_y$ 分别表示x、y方向的应力。双岛结构的应力高度集中于力敏电阻所在的沟槽内。

硅膜上力敏电阻R的变化率 
$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\pi_{11}}{2}(\sigma_x - \sigma_y)$$
， $\pi_{11}$ 为压阻系数。当硅膜厚度与外围尺寸一定时，C型结构平膜上的有效应力最

小，因而灵敏度低，线性度也较差。单岛E型结构中沟槽两侧应力符号相反，中间有零应力点，故力敏电阻的几何尺寸以及双面套准光刻的偏差对灵敏度和线性度的影响均很大。双岛结构中边缘沟槽与中心沟槽内应力远离零点且符号相反，但同一沟槽内表面应力变化较平缓，也不变符号，故力敏电阻的几何尺寸对灵敏度的影响就小得多，这样就有利于改善器件的失调电压和稳定性。而且窄长沟槽内主要受横向应力作用，即 $\sigma_x \gg \sigma_y$ ， $\sigma_x$ 本身的数值又比前二种结构大得多，所以双岛结构压力传感器的压力灵敏度比C型或E型结构要高好几倍。而本实用新型实现矩形双岛结构后应力更为集中而均匀，所以灵敏度更高。

为了改善压力传感器的线性度，传统的办法是设法减小每一个力敏电阻的非线性。但随着灵敏度要求的提高，硅膜厚度越来越薄，而挠度变大，使非线性度随之增加。在本实用新型的设计中两对桥臂力敏电阻均处于沟槽内，主要仅受横向拉力或压缩力，相当于一维受力情况。而且由于它们一对横向受拉，一对横向受压，其非线性系数正好符号相反，数值相近，从而起到内补偿作用，大大降低了全桥总的非线性。分析如下：

桥臂力敏电阻R的变化率  $\frac{\Delta R}{R} \doteq \frac{\pi_{11}}{2} (\sigma_x - \sigma_y)$  在本实用新型

设计中 $\sigma_x \gg \sigma_y$ ， $R_1$ 和 $R_2$ 为位于边缘沟槽的力敏电阻， $\sigma_x \propto P$ ；

$R_2$ 和 $R_3$ 为位于中心沟槽的力敏电阻， $\sigma_x \propto -P$ ， $P$ 为外界压力。

$$\text{故有 } \frac{\Delta R_1}{R_1} = \frac{\Delta R_2}{R_2} \doteq K_1 P + N_1 P^2 = \beta$$

$$\frac{\Delta R_2}{R_2} = \frac{\Delta R_3}{R_3} \doteq - (K_2 P - N_2 P^2) = \alpha$$

式中 $K_1$ 、 $K_2$ 分别反映力敏电阻 $R_1$ 、 $R_2$ 和 $R_2$ 、 $R_3$ 的压力灵敏度， $N_1$ 、 $N_2$ 反映其非线性度。它们均与压阻系数 $\pi_{11}$ 、器件结构的几何尺寸、硅膜厚度以及硅的杨氏模量、泊松比等有关。

可以证明力敏全桥输出电压  $V_{out}$  可用下式计算

$$\frac{V_{out}}{V_B} = \frac{\beta - \alpha}{2 + \alpha + \beta} = \frac{K_1 + K_2}{2} P - \frac{1}{4} (K_1^2 - K_2^2) P^2 + \frac{1}{2} (N_1 - N_2) P^2$$

这里略去了高阶非线性项，式中  $V_B$  是电桥激励电压。

还可证明，适当选择器件结构尺寸等有关参数使  $K_1 = K_2$  时  $N_1 = N_2$ ，这时非线性项可全部忽略。由于本实用新型实现了有规则的方形膜矩形岛结构，从而十分有利于利用计算机对应力分布进行数值分析，以求得最佳的匹配几何尺寸。

由于本实用新型用双岛端面和衬底表面间的间隙作为硅膜挠度位移的限制量，故当双岛的中间边缘因受压力而位移到与衬底表面接触时，该处位移即告终止。这时中心沟槽处的硅膜应力变化开始转化为单片硅膜模式。由于其宽度与厚度比值较整个硅膜小得多，故随压力继续增加而出现的应力变化也就显著缩小。更高的压力使边缘沟槽继续形变，但由于岛的一侧已不能位移而成为固定端，所以使边缘沟槽内应力的增加也大为缓和，从而与断裂应力相对应的破坏压力也相应地显著提高。极限的情况是双岛端面与衬底表面贴平而不能继续位移。如果这时沟槽内应力仍未超过断裂应力，则器件将可忍受更大的过压负载。图 6 为过压保护作用示意图。其中图 6 (a) 表示开始受压，器件处于线性工作范围；图 6 (b) 表示受压过大后双岛内侧与衬底表面接触，过压保护开始发挥作用；图 6 (c) 表示更大压力使双岛端面与衬底表面贴平，图 7 为本实用新型设计的压力传感器的压力讯号电压输出特性。图上  $P_B$ 、 $P_0$  为与图 6 (b)、(c) 状态相对应的压力值。

本实用新型的实施过程如下：将双面抛光的 (001) 晶向  $\bar{N}$  型硅片

用常规的热氧化、光刻和硼离子注入等集成电路工艺形成四个力敏电阻。图形主要边线平行于 $(110)$ 和 $(\bar{1}\bar{1}0)$ 方向。用常规的真空蒸发工艺和光刻工艺形成金属布线将上述四个力敏电阻连接成惠斯顿电桥形式。在硅片背面用双面套准光刻工艺形成整个方形硅膜图形，用乙二醇—邻苯二酚水溶液或其它硅的各向异性腐蚀剂进行予腐蚀，然后再氧化光刻形成硅膜和双岛图形，用上述腐蚀液继续进行各向异性腐蚀，直到达预定的硅膜厚度。再分割芯片并与抛光的衬底玻片或涂有玻璃薄层的硅片进行静电封接。予腐蚀所形成的间隙作为过压保护。最后进行测试和封装。

按照本实用新型制作的半导体压力传感器具有优良的技术性能：高灵敏度高输出，当激励电压为10伏时输出高达400mV；极高的线性度，量程为100mmHG时，非线性度已小于 $1 \times 10^{-3}$  F.S.；有效的过压保护功能，其过压保护能力大于20倍量程等等。其主要技术指标超过已知的国内外任何同类产品。

本实用新型可广泛应用于风洞测压、船池测压、液位测压以及其他各种工业与医用测压系统，尤其是低压测量，也可用于高度计、水深计、低真空计和电子比重计等各种二次测压仪表。

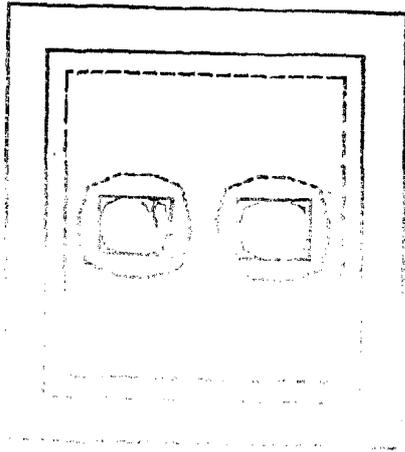
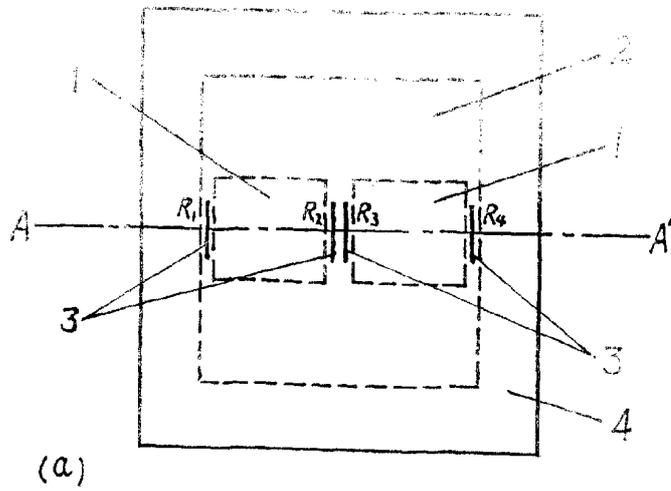
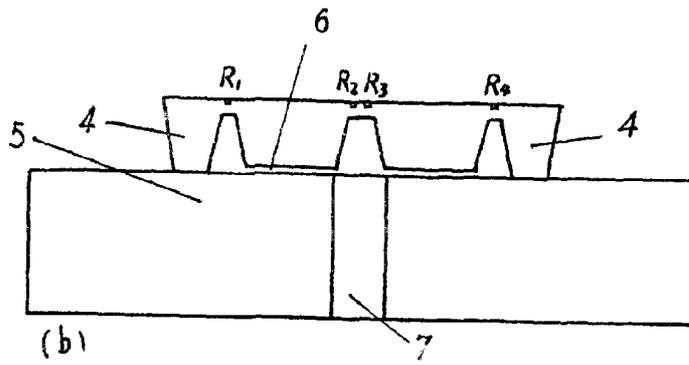


图 1



(a)



(b)

2

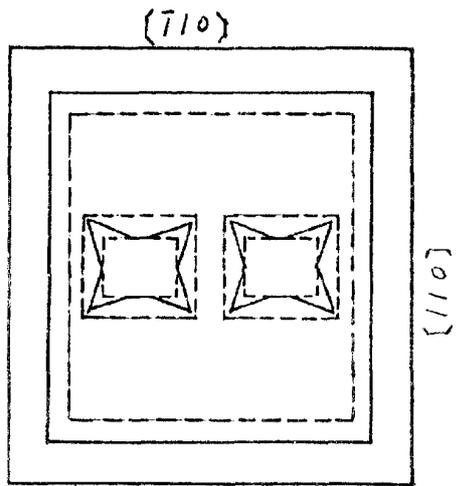


图 3

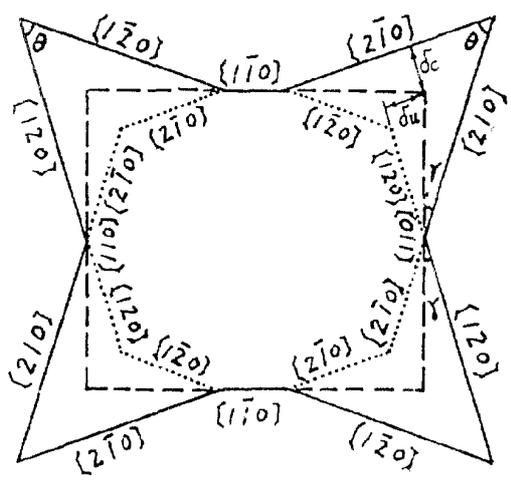
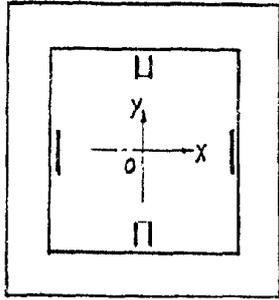
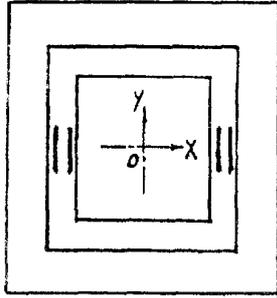


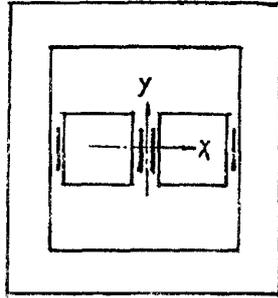
图 4



(a)



(b)



(c)

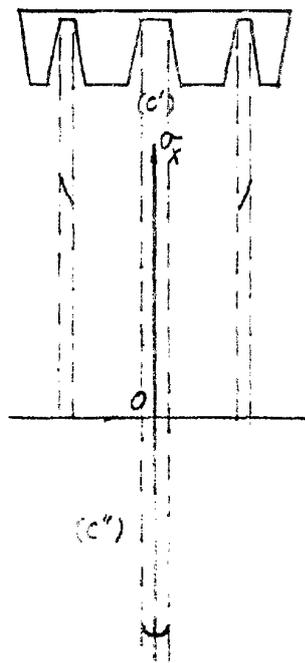
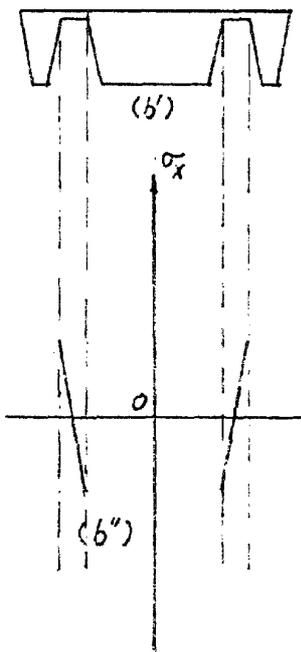
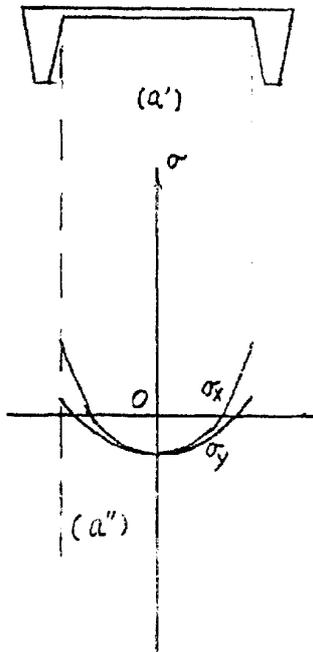


图 5

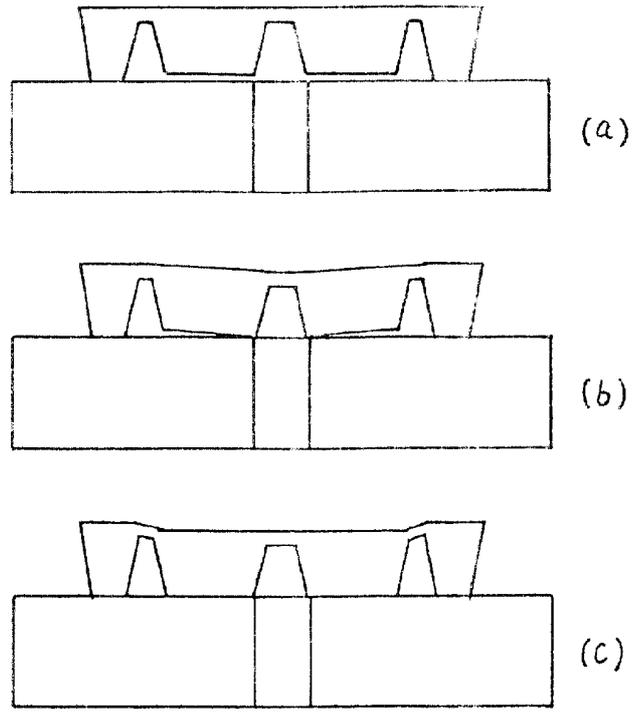


图 6

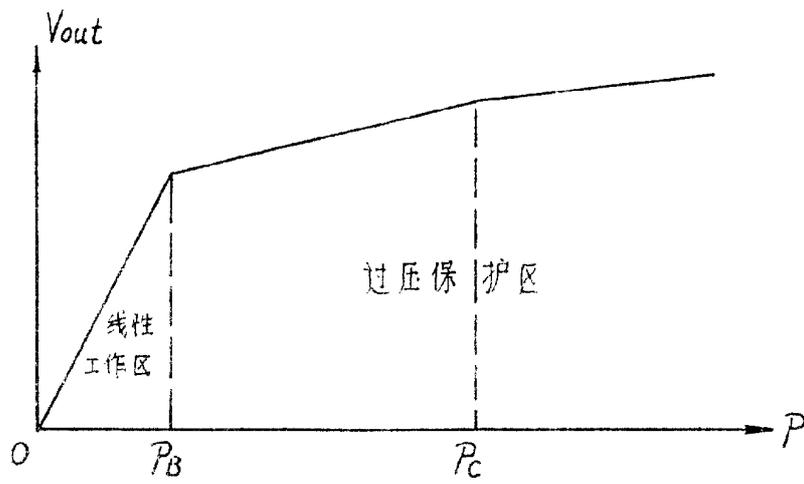


图 7