



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410003470. X

[43] 公开日 2005 年 1 月 12 日

[11] 公开号 CN 1562398A

[22] 申请日 2004. 3. 26

[21] 申请号 200410003470. X

[71] 申请人 清华大学

地址 100084 北京市北京 100084 - 82 信箱

共同申请人 北京博大微纳科技有限责任公司

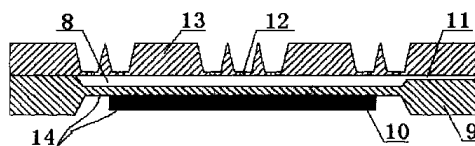
[72] 发明人 周兆英 朱俊华 杜桂彬 冯焱颖
张毓笠 史文勇

权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 3 页

[54] 发明名称 一种优化的压电驱动微喷装置及其加工方法

[57] 摘要

一种优化的压电驱动微喷装置及其加工方法，属于医疗器械领域。为了解决现有压电驱动阵列微喷存在的喷孔外表面的水膜问题和在喷孔比较小的情况下，微喷流量比较小的问题，本发明提供了一种优化的压电驱动微喷装置，包括喷孔膜，弹性腔膜和压电片，压电片与弹性腔膜粘结在一起形成压电换能器，压电片上下表面镀有铝电极，极化方向为厚度方向，其特征在于：所述喷孔膜与弹性腔膜粘结形成封闭的液体腔，所述喷孔膜外表面上设有凹槽结构；所述喷孔膜上的喷孔布置在所述凹槽结构的底面。本发明还公开了喷孔膜加工方法，该方法采用感应耦合等离子刻蚀方法在硅片上加工微喷孔。本发明所述装置的液滴喷射分布均匀，有效避免了水膜问题，同时提高了流量。



1. 一种优化的压电驱动微喷装置，包括喷孔膜，弹性腔膜和压电片，压电片与弹性腔膜粘结在一起形成压电换能器，压电片上下表面镀有铝电极，极化方向为厚度方向，其特征在于：所述喷孔膜与弹性腔膜粘结形成封闭的液体腔，所述喷孔膜外表面上设有凹槽结构；所述喷孔膜上的喷孔布置在所述凹槽结构的底面。

2. 根据权利要求1所述的压电驱动微喷装置，其特征在于：所述压电片驱动并在喷孔膜上产生压力波分布，所述喷孔位于喷孔膜上对应的压力峰值处。

3. 根据权利要求1或2所述的压电驱动微喷装置，其特征在于：所述喷孔位于喷孔膜的中心。

4. 根据权利要求1或2所述的压电驱动微喷装置，其特征在于：所述喷孔位于喷孔膜的中心和靠近边壁处。

5. 根据权利要求1所述的压电驱动微喷装置，其特征在于：所述液体腔的深度为50~150 μm 。

6. 压电驱动阵列微喷装置中的喷孔膜加工方法，采用等离子刻蚀方法在硅片上加工微喷孔，其特征在于该加工方法依次按如下步骤执行：

- 1) 双面生长 SiO_2 ，双面淀积 Si_3N_4 ；
- 2) 下表面光刻，刻蚀 Si_3N_4 和 SiO_2 ，形成等离子刻蚀微喷孔图形窗口；
- 3) 下表面等离子刻蚀单晶硅，形成一端开口的微喷孔；
- 4) 下表面生长 SiO_2 ，淀积 Si_3N_4 ，以保护步骤3)中形成的微喷孔；
- 5) 上表面光刻，刻蚀 Si_3N_4 和 SiO_2 ，形成体硅腐蚀图形窗口；
- 6) 各向异性腐蚀单晶硅上表面，使步骤3)中所述微喷孔成为通孔，并形成凹槽结构；
- 7) 上、下表面去除 Si_3N_4 和 SiO_2 。

一种优化的压电驱动微喷装置及其加工方法

技术领域

本发明涉及将药物雾化后输入人体内的装置，属于医疗器械领域。

背景技术

目前，用于吸入式药物治疗（Inhalation Drug Therapy, IDT）的微喷得到了广泛的关注。做为一种具有很少副作用的非侵入式治疗方法，IDT 是哮喘和其它肺部疾病常用的治疗方法，其市场潜力约在 120 亿美元。此外，在糖尿病的治疗中，IDT 也是传统的胰岛素注射方法的潜在的替代方法。

本发明人过去曾研制了一种面向 IDT 应用的压电驱动阵列微喷，其结构如图 1 所示。该器件包括喷孔膜 1、弹性腔膜 4、圆形压电片 5 和电极引线 7。喷孔膜 1 采用体硅工艺在硅片上刻蚀出凹槽即液体腔 2 的上半部，然后利用 ICP 工艺刻蚀出微喷孔阵列 6，其中典型的喷孔直径为 $10\mu\text{m}$ ，喷孔数为 600 个。弹性腔膜 4 采用体硅工艺刻蚀出供液管道 3 和液体腔 2 的下半部。喷孔膜 1 与弹性腔膜 4 粘结在一起后形成封闭的液体腔 2。压电片 5 与弹性腔膜 4 粘结在一起形成压电换能器。压电片上下表面镀有铝电极，其极化方向为厚度方向。

压电驱动阵列微喷是基于压电驱动喷墨打印机工作的基本原理，利用微型机电系统（Micro Electro-Mechanical Systems, MEMS）技术加工而成的。这种微型喷产生的雾粒直径分布集中，雾粒直径更加适合于雾化吸入治疗。压电驱动阵列微喷应用于雾化吸入治疗具有以下优点：（1）压电驱动不会造成药物的物理/化学变化，对药物几乎没有损害；（2）控制灵活简单，一个压电驱动器可以同时用于多个喷嘴的喷射，因而可以在合理的驱动频率下达到足够的流量；（3）功耗低，体积小；（4）MEMS 高集成和批量生产可能使成本大大降低。其工作原理为：压电换能器在交变电压作用下发生振动，并与液体腔中液体相互作用，产生的压力波传递到喷嘴的入口处导致液体射流从喷嘴喷出进而雾化为液滴。液滴的大小和速度与驱动电压的幅值和频率有关。

但是所述的压电驱动阵列微喷还存在着很多问题。这些问题包括：（1）在每次压电驱动中，不是喷孔膜上的所有喷孔都喷射液滴，因而减少了喷射剂量，使得每次给药量低于设计量，不能精确控制喷射剂量；（2）气泡和喷孔外表面的水膜问题，也是有喷孔的微型阵列微喷的共有的问题，对液滴喷射的影响较大，甚至会导致微型阵列微喷不能工作，尤其是对阵列液滴喷射的影响更为明显；（3）在喷孔比较小的情况下，微喷流量比较小。由于这些问题，

压电驱动阵列微喷距离进入吸入器市场还有一定距离。在明确压电驱动阵列微喷的工作机理的基础上对这些问题的解决是当前一个迫切的要求。

发明内容

本发明的目的是解决现有压电驱动阵列微喷存在的喷孔外表面的水膜问题和在喷孔比较小的情况下，微喷流量比较小的问题。

本发明的另一个目的是解决现有压电驱动阵列微喷存在的在每次压电驱动中，不是喷孔膜上的所有喷孔都喷射液滴。

本发明还有一个目的是提供本发明所述的弹性腔膜的加工方法。

本发明提供了一种优化的压电驱动微喷装置，包括喷孔膜，弹性腔膜和压电片，压电片与弹性腔膜粘结在一起形成压电换能器，压电片上下表面镀有铝电极，极化方向为厚度方向，其特征在于：所述喷孔膜与弹性腔膜粘结形成封闭的液体腔，所述喷孔膜外表面上设有凹槽结构；所述喷孔膜上的喷孔布置在所述凹槽结构的底面。

本发明所述压电片驱动并在喷孔膜上产生压力波分布，所述喷孔位于喷孔膜上对应的压力峰值处。

本发明的一种实施例为所述喷孔膜上的喷孔位于喷孔膜的中心。

本发明的另一种实施例为所述喷孔膜上的喷孔位于喷孔膜的中心和靠近边壁处。

本发明所述液体腔的深度为 50~150 μm 。

本发明公开了压电驱动阵列微喷装置中的喷孔膜加工方法，采用等离子刻蚀方法在硅片上加工微喷孔，其特征在于该加工方法依次按如下步骤执行：

- 1) 双面生长 SiO_2 ，双面淀积 Si_3N_4 ；
- 2) 下表面光刻，刻蚀 Si_3N_4 和 SiO_2 ，形成等离子刻蚀微喷孔图形窗口；
- 3) 下表面等离子刻蚀单晶硅，形成一端开口的微喷孔；
- 4) 下表面生长 SiO_2 ，淀积 Si_3N_4 ，以保护步骤 3) 中形成的微喷孔；
- 5) 上表面光刻，刻蚀 Si_3N_4 和 SiO_2 ，形成体硅腐蚀图形窗口；
- 6) 各向异性腐蚀单晶硅上表面，使步骤 3) 中所述微喷孔成为通孔，并形成凹槽结构；
- 7) 上、下表面去除 Si_3N_4 和 SiO_2 。

通过对压电驱动阵列微喷进行的结构和工艺设计，使得其液滴喷射分布更加均匀，并且有效避免了水膜问题，同时提高了流量。

附图说明

图 1 为现有的压电驱动阵列微喷结构示意图。

图 2 为本发明所述的压电驱动阵列微喷装置的实施例的结构示意图。

图 3 为 $f=35.759\text{KHz}$ 时喷孔入口面压力波分布与喷孔布置的比较图。

图 4 为本发明所述的压电驱动阵列微喷装置的实施例的喷孔面平面图。

图 5a 为本发明所述的压电驱动阵列微喷装置中的弹性腔膜的加工流程简图。

图 5b 为本发明所述的压电驱动阵列微喷装置中的喷孔膜的加工流程简图。

具体实施方式

根据应用的要求以及以往的相关研究成果，本发明设计的优化的压电驱动阵列微喷结构的实施例如图 3 所示。该器件主要由喷孔膜 13，弹性腔膜 9 和压电片 10 构成的。喷孔膜 13 先利用 ICP 工艺刻蚀出微喷孔阵列 12，然后采用体硅工艺在硅片上刻蚀出凹槽结构，并使微喷孔成为通孔，微喷孔的直径控制在 $3\sim 30\mu\text{m}$ 之间，长度为 $30\mu\text{m}$ ，喷孔数为 4000 个。弹性腔膜 9 是采用体硅工艺在硅片的上下表面分别刻蚀出直径为 10mm ，深度为 $100\mu\text{m}$ 和 $200\mu\text{m}$ 的圆形凹槽后的剩余部分，其厚度为 $100\mu\text{m}$ ，供液管道 11 与深度为 $100\mu\text{m}$ 的圆形凹槽同时刻蚀。将喷孔膜 13 的凹槽结构向上与弹性腔膜 9 粘结在一起形成封闭的液体腔 8。压电片 10 与弹性腔膜 9 粘结在一起形成压电换能器。圆形压电片上下表面镀有铝电极，其极化方向为厚度方向。14 为电极引线。喷孔膜 13 上的喷孔 12 布置在所述凹槽结构的底面。

压电微喷的工作有三个特点。一是微喷工作在器件的谐振频率点，在谐振频率点，压电换能器的振动幅值最大，因而传递到喷孔的压力波的幅值也最大，液滴最容易形成；二是在其它工作条件相同的情况下，液滴的大小与驱动频率成反比，频率越高，液滴越小；三是在谐振频率点，压力波在液体腔中形成驻波，不同阶谐振频率，驻波模态不同。由于喷孔应该布置在压力波幅值最大的区域，所以针对不同工作频率，应该根据压力驻波模态具有不同的喷孔布置。如果喷孔布置在压力较小的地方，该喷孔处液体不但不能形成射流和雾化为液滴，而且会在喷孔面上形成大的液滴或者液膜，导致微喷不能正常工作。

由于对应于相同阶次的压力驻波模态，压电驱动阵列微喷的工作分 p 型和 q 型振动两个谐振频率。p 型振动模态对应于压电换能器振动占主导的模态，压力驻波模态的阶次与压电换能器的结构振动模态的阶次相同。对于 p 型振动模态，压力波沿厚度方向几乎没有变化。q 型振动模态对应于喷孔膜占主导的模态，压力驻波模态的阶次与喷孔膜的结构振动模态的阶次相同，压力波沿厚度方向有变化。因此，p 型振动谐振频率才是我们需要的器件工作频率。

对于轴对称振动模态，压力波在喷孔面中心幅值均较大，而对应于非轴对称振动模态，压力波在喷孔膜中心幅值均较小。出于液滴喷射方向性的考虑，轴对称振动模态是较理想的器件工作频率。

图3所示为微喷工作在谐振频率点 $f=35.759\text{KHz}$ 时的压力波的分布，其为轴对称的，压力波沿径向有两个峰值分布，分别在喷孔膜的中心和靠近边壁处，这就说明为了提高微喷流量，喷孔应该集中布置在喷孔膜对应压力峰值的中心和靠近边壁处，而靠近波节圆处应该尽量少布置喷孔。图3中阴影部分为现有的喷孔布置，显然大部分喷孔都布置在压力较小的地方，所以这种布置是不符合设计要求的；而图4所示的本发明实施例的喷孔布置则与压力波分布吻合，即布置在喷孔膜的中心和靠近边壁处。

与图1所示的压电驱动微喷比较，本发明所述的优化压电驱动微喷装置具有以下优点：

- 1、新型压电驱动阵列微喷的喷孔在喷孔膜上的分布符合压力波的分布，有利于液滴的喷射；
- 2、为了缩短喷孔长度的同时提高喷孔膜的刚度和强度，在喷孔膜上设计了凹槽结构，但是由于压力波在液体腔内的传播是径向的，在图1所示的压电驱动微喷中，这些凹槽的边壁就会阻碍喷孔附近的压力波的传输，因此将凹槽结构向上可以有效避免这一缺点；另一方面，微喷在工作时，其表面极易形成水膜，阻碍微喷工作；将凹槽结构向上后，喷孔膜上表面就被分成了很多小的区域，这样在每个区域内的喷孔数量就少很多，从而形成水膜的几率就大大降低了。
- 3、由于现有硅片的厚度一般都为 $400\mu\text{m}$ ，而微喷的振动腔膜只需要 $100\mu\text{m}$ ，这样液体腔的深度就为 $300\mu\text{m}$ 。经研究得知，液体腔越厚，压力波在液体中传播时受到的阻力越大。因此，减小液体腔的深度有利于压力波的传输，及液滴的喷射。

现有技术中，喷孔膜的加工是先体硅腐蚀出凹槽，然后 ICP 刻蚀出微喷孔的，这样加工的缺点是 ICP 刻蚀时微喷孔靠近体硅腐蚀的那面散热不好，致使微喷孔变为锥孔。为了克服上述技术难题，本发明采用如图5所示的压电驱动阵列微喷加工工艺进行喷孔膜的加工。喷孔膜13和弹性腔膜9的加工是基于 MEMS 技术，采用硅微细加工工艺，喷孔膜13和弹性腔膜的粘接采用硅-硅键合，这样就有效避免了手工粘接中的对准等问题。其中，微喷孔采用感应耦合等离子刻蚀（Inductively Coupled Plasma, ICP）方法在硅片上加工，

弹性腔膜9和喷孔膜13的加工流程如图5a和图5b所示，其中，17为单晶硅，本发明中使用的单晶硅厚度为 $400\mu\text{m}$ ，16为二氧化硅（ SiO_2 ），15为氮化硅（ Si_3N_4 ）。弹性腔膜的加工工艺流程为：1）双面生长 SiO_2 ，双面淀积 Si_3N_4 ；2）下表面光刻，刻蚀 Si_3N_4 和 SiO_2 ，形成下表面体硅腐蚀窗口；3）各向异性腐蚀单晶硅下表面 $100\mu\text{m}$ ；4）上表面光刻，刻蚀 Si_3N_4 和 SiO_2 ，形成上表面体硅腐蚀窗口；5）各向异性腐蚀单晶硅上、下表面 $100\mu\text{m}$ ；6）上、下表面去除 Si_3N_4 和 SiO_2 。

喷孔膜的加工工艺流程为：1）双面生长 SiO_2 ，双面淀积 Si_3N_4 ；2）下表面光刻，刻蚀

Si_3N_4 和 SiO_2 , 形成 ICP 刻蚀微喷孔图形窗口; 3) 下表面 ICP 刻蚀单晶硅 $40\mu\text{m}$, 形成一端开口的微喷孔; 4) 下表面生长 SiO_2 , 淀积 Si_3N_4 , 以保护步骤 3) 中形成的微喷孔; 5) 上表面光刻, 刻蚀 Si_3N_4 和 SiO_2 , 形成体硅腐蚀图形窗口; 6) 各向异性腐蚀单晶硅上表面, 腐蚀深度 $370\mu\text{m}$ 使步骤 3) 中所述微喷孔成为通孔, 并形成凹槽结构; 7) 上、下表面去除 Si_3N_4 和 SiO_2 。

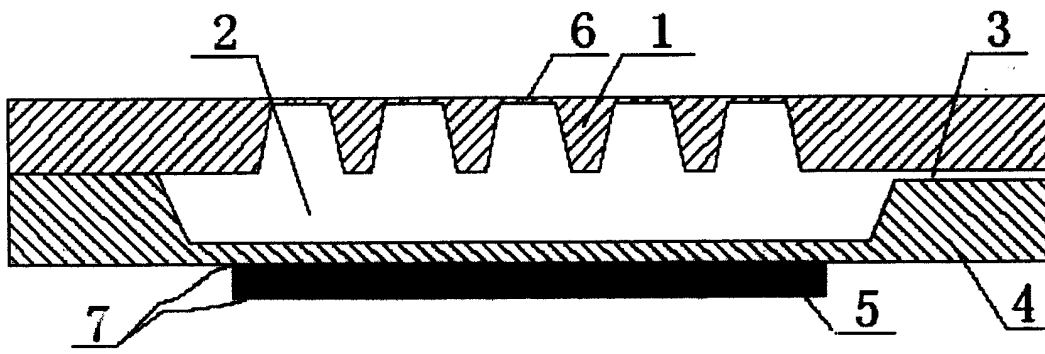


图 1

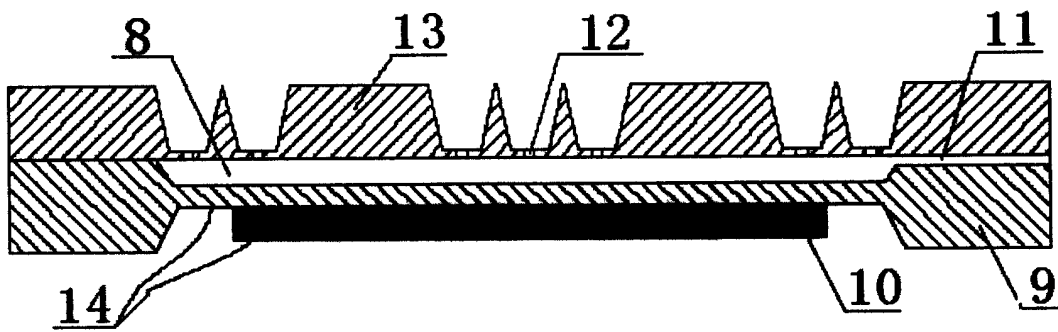


图 2

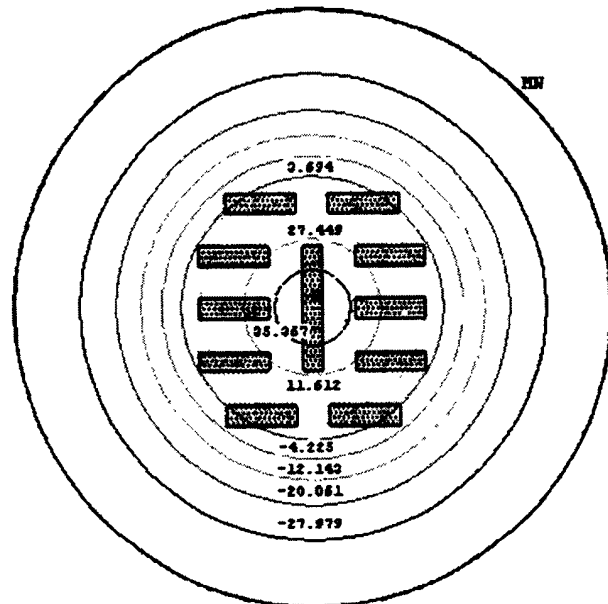


图 3

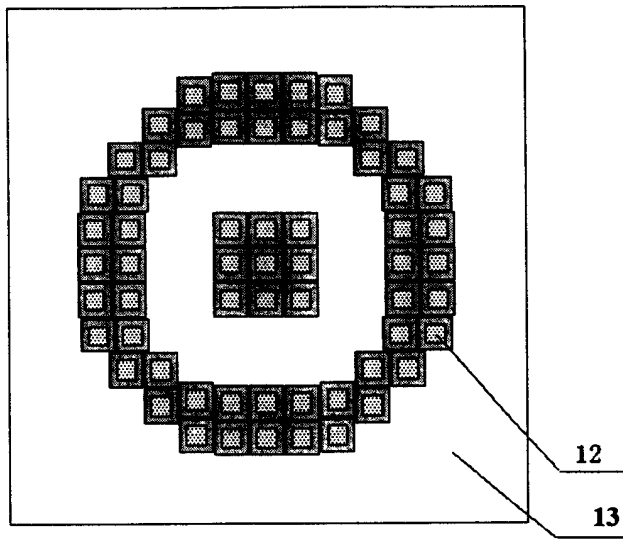


图 4

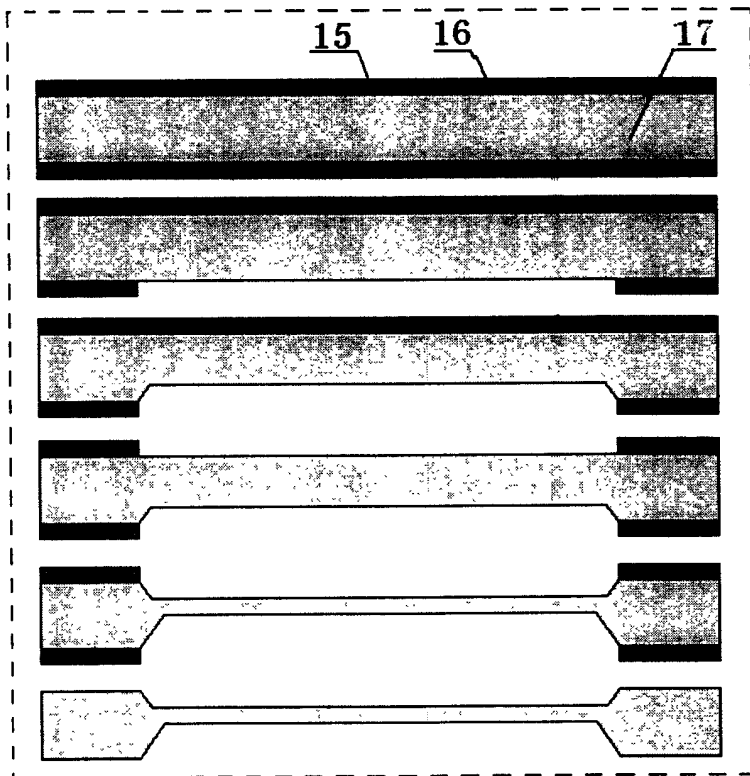


图 5a

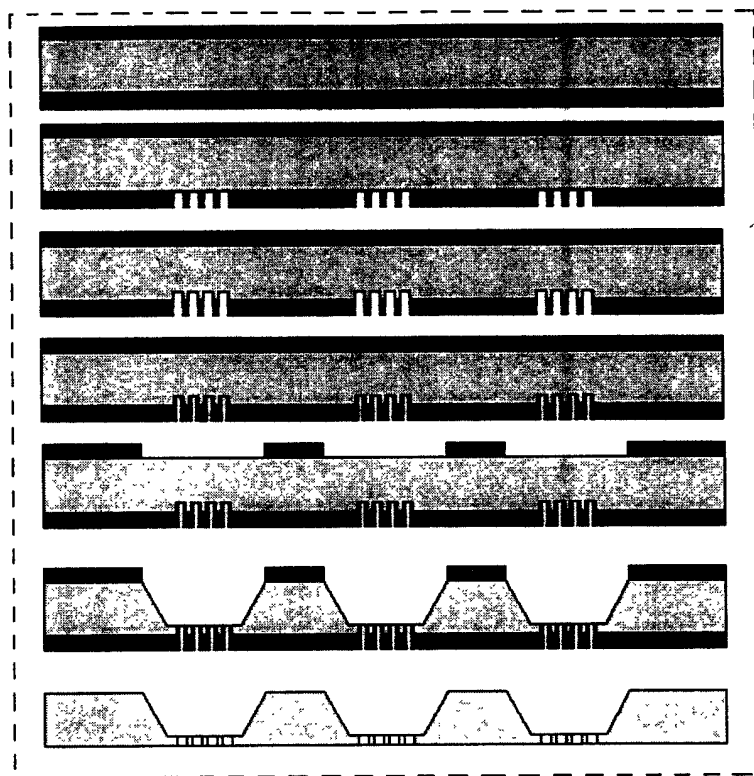


图 5b