

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102336386 A

(43) 申请公布日 2012. 02. 01

(21) 申请号 201110301733. 5

(22) 申请日 2011. 09. 30

(71) 申请人 北京大学

地址 100871 北京市海淀区中关村颐和园路
5号

(72) 发明人 李志宏 王任鑫 王玮

(74) 专利代理机构 北京市商泰律师事务所
11255

代理人 毛燕生

(51) Int. Cl.

B81B 7/04 (2006. 01)

B81C 1/00 (2006. 01)

A61B 5/04 (2006. 01)

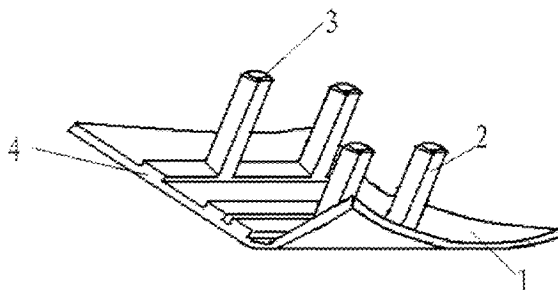
权利要求书 2 页 说明书 4 页 附图 1 页

(54) 发明名称

一种三维实体针尖柔性微电极阵列及其制作方法

(57) 摘要

本发明提供了一种三维实体针尖柔性微电极阵列及其制作方法。该微电极阵列包括：包裹在绝缘的柔性衬底中分立绝缘柱阵列、电极、导电引线，其中绝缘柱头部呈针尖状，被电极包裹，针尖电极裸露在外，导电引线沿着绝缘柱和绝缘的柔性衬底铺设，一端与电极相连，另外一端裸露在外，所述绝缘柱为实心结构，从而保证电极能扎入刺激部位，有效提供电刺激和记录。为制得该三维实体针尖柔性微电极阵列对硅材料采用硅划片-腐蚀法，以制得三维实体针尖柔性微电极阵列。该发明提供的三维实体针尖柔性微电极阵列可应用于神经电刺激和记录，并广泛应用于神经疾病治疗、神经康复、神经生物学基础研究等领域。



1. 一种三维实体针尖柔性微电极阵列,包括绝缘的柔性衬底(1)、绝缘柱(2)、针形电极(3)、导电引线(4),其特征在于:其中包裹在绝缘的柔性衬底(1)中分立绝缘柱(2)阵列,分立绝缘柱(2)绝缘柱头部呈针尖状,被针形电极(3)包裹,针尖电极裸露在外,导电引线(4)沿着绝缘柱(2)和绝缘的柔性衬底(1)铺设,一端与针形电极(3)相连,另外一端裸露在外。

2. 根据权利要求1所述的一种三维实体针尖柔性微电极阵列,其特征在于:所述绝缘柱(2)为实心结构。

3. 根据权利要求1所述的一种三维实体针尖柔性微电极阵列,其特征在于:所述绝缘的柔性衬底(1)材料为聚对二甲苯。

4. 根据权利要求1所述的一种三维实体针尖柔性微电极阵列,其特征在于:所述绝缘柱(2)是硅柱。

5. 根据权利要求1至4之一所述的一种三维实体针尖柔性微电极阵列,其特征在于:所述针形电极(3)和导电引线(4)由金属Cr/Au构成,Au在Cr上层。

6. 根据权利要求4所述的一种三维实体针尖柔性微电极阵列,其特征在于:所述针形电极(3)和导电引线(4)的金属Cr/Au厚度为:15nm/150nm。

7. 根据权利要求4所述的一种三维实体针尖柔性微电极阵列,其特征在于:所述针形电极(3)的针尖高度400um。

8. 一种如权利要求1所述的三维实体针尖柔性微电极阵列制作方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1:清洗硅片,化学气相淀积 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$;

步骤2:第一次硅片背面光刻,形成背面刻蚀 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 的图形;

步骤3:硅片背面干法刻蚀 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$,形成硅片背面TMAH腐蚀掩膜;

步骤4:硅片背面四甲基氢氧化铵腐蚀硅,形成硅凹槽,用于腐蚀后硅的释放;

步骤5:第二次硅片光刻,硅片双面光刻,在硅片正面形成刻蚀 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 的图形,形成正面四甲基氢氧化铵腐蚀掩膜;背面干法刻蚀 Si_3N_4 ,然后湿法腐蚀去除背面 SiO_2 ,以使硅键合面平整;

步骤6:在玻璃片上作第三次光刻,溅射金属Cr/Au,丙酮去胶超声剥离,做出金属连线图形;

步骤7:硅片背面和玻璃正面对准阳极键合;

步骤8:以硅片正面 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 为掩膜,腐蚀得到分立的硅柱阵列,同时也各向同性腐蚀玻璃,形成了金属连线和硅柱下的侧向钻蚀槽;

步骤9:在硅片正面硅柱阵列布置金属电极,金属电极和玻璃片上的金属连线相连;

步骤10:淀积第一层聚对二甲苯,并图形化刻蚀聚对二甲苯,露出针尖电极;

步骤11:HF湿法腐蚀玻璃,释放结构,由于金属连线和硅柱下的侧向钻蚀槽被聚对二甲苯填充,所以金属连线和硅柱也被聚对二甲苯包裹着释放下来;

步骤12:背面淀积聚对二甲苯,得到最终柔性衬底的三维实体针尖微电极阵列。

9. 一种如权利要求8所述的三维实体针尖柔性微电极阵列制作方法,其特征在于:所述步骤8中的硅腐蚀方法,包括以下步骤:

步骤1:正面干法刻蚀 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$,形成划片槽标记,硅片正面划片,形成硅柱阵列;

步骤 2 :以 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 为掩膜, TMAH 腐蚀硅柱, 硅柱侧壁为平面, 硅柱向内缩小, 顶部为带凸角补偿掩膜的凸角腐蚀, 形成由硅柱侧壁平面构成的凸角, 在此过程, 四甲基氢氧化铵腐蚀至背面硅凹槽处, 使得硅凹槽处的硅分离释放, 得到分立的硅柱阵列;

步骤 3 :继续 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 为掩膜, 氢氟酸、硝酸、冰醋酸的混合液各向同性腐蚀硅, 使硅顶部形成针尖, 掩膜在形成针尖后脱落; 同时也各向同性腐蚀玻璃, 形成了金属连线和硅柱下的侧向钻蚀槽。

10. 一种如权利要求 8 或 9 所述的三维实体针尖柔性微电极阵列制作方法, 其特征在于: 所述步骤 9 中的布置金属电极方法, 包括以下步骤: 正面溅射金属 Cr/Au, 硅针尖被金属包裹, 由于侧向钻蚀槽的存在, 硅针尖、金属连线上溅射上的金属与玻璃衬底上的金属分离开, 完成了金属的图形化。

一种三维实体针尖柔性微电极阵列及其制作方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种三维实体针尖柔性微电极阵列及其制作方法,尤其涉及利用硅划片-腐蚀制作方法制作三维实体针尖柔性微电极阵列,属于微机械加工技术领域。

背景技术

[0002] 人类对神经接口的研究已持续了超过 30 年了。神经接口,是指在人或动物神经(或者神经细胞的培养物)与外部设备间创建的直接连接通路,包括神经电极和外围处理电路部分,实现对神经的电刺激和记录,从而达到改善和分析脑皮层的电活动。20 世纪 90 年代中期以来,从实验中获得的此类知识呈显著增长。在多年来动物实验的实践基础上,应用于人体的早期神经接口被设计及制造出来,用于恢复损伤的听觉、视觉和肢体运动能力。应用于神经电刺激与记录的微电极阵列作为神经接口中与神经联系最紧密,接触最直接的部分,其性能直接影响着神经接口的应用和效率。如何制作出生物兼容性、电刺激和记录效果好的微电极阵列是神经接口研究中的关键问题。

[0003] 近年来,由于基于柔性衬底的电极阵列具有很好的生物兼容性和对组织较小的损害,被广泛研究和应用于神经修复植入式器件。但基于此类柔性衬底一般是平面电极阵列,其中以 USC 的 M. S. Humayun 和 Caltech(加州理工学院)的 Y. C. Tai 研制的视网膜修复芯片最具代表性。在文件“Flexible Parylene-based Microelectrode Technology for Intraocular Retinal Prostheses”in Proceedings of the 1st IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems January 18-21, 2006, Zhuhai, China(应用于眼内视网膜修复的基于 Parylene 的柔性微电极技术,第一届纳米/微米工程和分子系统国际年会,1 月 18-21, 2006, 珠海, 中国)中,他们在生物兼容性良好的 parylene 衬底上,制备出集成有 ASIC 的平面电极芯片,成功植入眼球视网膜上,实现电刺激视网膜然后通过视神经把信号传到视觉皮层,形成人工视觉。此平面电极能较好地满足生物兼容性的要求和电传导的功能,不足之处是电极不能有效贴紧组织,刺激效果受影响,也正由于此,限制了此类平面电极应用于其他神经接口的应用。

[0004] 另外,基于刚性衬底的三维电极阵列也在神经刺激与记录中被广泛使用,其三维针尖能有效地扎入组织,提供电流刺激与记录,例如美国犹他大学的 Richard Normann 研发的“犹他”电极阵列(UTAH MEA),如文献“Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia”Vol 442|13July 2006,nature(针对四肢瘫痪患者的神经控制修复器件,442 卷 13 期,2006 年 7 月,自然)报道,其基于硅衬底研制出 96 电极点阵列,取名为 BrainGate,应用于侵入式脑机接口,已有成功植入脑皮层使患者控制机械臂的案例,能够通过运动意图来完成机械臂控制、电脑光标控制等任务,其植入物位于前中回的运动皮层对应手臂和手部的区域。以 BrainGate 为主打产品的 Cybernetics 公司,以 Cybernetics 神经技术公司为名在美国股市上市,宗旨是推动实用的人类脑机接口技术的发展,在世界范围内销售其产品。但由于硬性衬底的关系,电极必须严格处于固定位置,不能有效贴合不平整表面,也容易造成组织的损伤。硬性衬底面积不能太大,限制了电极阵

列的规模。此外,硅针尖除了作结构支撑,还需电传导功能,得到的电极自身电阻会较金属电极大,且抗干扰能力变弱。

[0005] 于是,基于柔性衬底和三维针尖的改进不断有人提出。中国科学院上海微系统所李刚等人公开的发明专利(中国专利公开号 CN101172184,发明名称“一种三维柔性神经微电极及制作方法”)中提出了一种三维柔性神经微电极及其制作方法,该微电极利用柔性聚合物作为基底材料,通过金属种子层的环状图案设计,进行递进式电镀,形成具有圆滑三维凸起特征的电极位点结构。但是圆滑的凸起不能使电场在尖部聚集,而且更重要的是无法有效扎入组织,难以达到最佳刺激效果。北大李志宏曾在一公开的发明专利中(中国专利公开号 CN101398614,发明名称“一种基于 Parylene 聚对二甲苯的三维针尖电极阵列的制作方法”)提出了利用硅三维针尖阵列制备出基于 Parylene(聚对二甲苯)柔性衬底的三维针尖电极阵列,该电极阵列是一种类似于三明治结构的 Parylene-金属层-Parylene 三层结构,可用于针对人工视网膜修复的视网膜下植入手术。然而此柔性衬底阵列为空心针尖,不能扎入组织,是限制此阵列应用于其他神经刺激与记录的主要原因。

发明内容

[0006] 本发明要解决的技术问题是提供一种三维实体针尖柔性微电极阵列,且该微电极阵列是实体针尖阵列,能扎入刺激部位,有效提供电刺激和记录。

[0007] 本发明另一个要解决的技术问题是提供一种三维实体针尖柔性微电极阵列制作方法,其方法能制作实体针尖阵列,能扎入刺激部位,有效提供电刺激和记录,并且成本低,能做到针尖高度大,形貌也能由腐蚀工艺控制得比较均匀,成品率高。

[0008] 本发明的技术方案是:一种三维实体针尖柔性微电极阵列,包括:绝缘的柔性衬底 1、绝缘柱 2、针形电极 3、导电引线 4,其中包裹在绝缘的柔性衬底 1 中分立绝缘柱 2 阵列,分立绝缘柱 2 绝缘柱头部呈针尖状,被针形电极 3 包裹,针尖电极裸露在外,导电引线 4 沿着绝缘柱 2 和绝缘的柔性衬底 1 铺设,一端与针形电极 3 相连,另外一端裸露在外。

[0009] 所述绝缘柱 2 为实心结构。

[0010] 所述绝缘的柔性衬底 1 材料为聚对二甲苯。

[0011] 所述绝缘柱 2 是硅柱。

[0012] 所述针形电极 3 和导电引线 4 由金属 Cr/Au 构成,Au 在 Cr 上层。

[0013] 所述针形电极(3)和导电引线(4)的金属 Cr/Au 厚度为:15nm/150nm。

[0014] 所述针形电极(3)的针尖高度 400um。

[0015] 本发明的技术方案还有:三维实体针尖柔性微电极阵列制作方法,包括以下步骤:

[0016] 步骤 1:清洗硅片,LPCVD(化学气相淀积)SiO₂/Si₃N₄;

[0017] 步骤 2:第一次硅片背面光刻,形成背面刻蚀 SiO₂/Si₃N₄ 的图形;

[0018] 步骤 3:硅片背面干法刻蚀 SiO₂/Si₃N₄,形成硅片背面 TMAH 腐蚀掩膜;

[0019] 步骤 4:硅片背面 TMAH(四甲基氢氧化铵)腐蚀硅,形成硅凹槽,用于腐蚀后硅的释放;

[0020] 步骤 5:第二次硅片光刻,硅片双面光刻,在硅片正面形成刻蚀 SiO₂/Si₃N₄ 的图形,形成正面 TMAH 腐蚀掩膜;背面干法刻蚀 Si₃N₄,然后湿法腐蚀去除背面 SiO₂,以使硅键合面

平整；

[0021] 步骤6:在玻璃片上作第三次光刻,溅射金属 Cr/Au,丙酮去胶超声剥离,做出金属连线图形；

[0022] 步骤7:硅片背面和玻璃正面对准阳极键合；

[0023] 步骤8:以硅片正面 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 为掩膜,腐蚀得到分立的硅柱阵列,同时也各向同性腐蚀玻璃,形成了金属连线和硅柱下的侧向钻蚀槽；

[0024] 步骤9:在硅片正面硅柱阵列布置金属电极,金属电极和玻璃片上的金属连线相连；

[0025] 步骤10:淀积第一层聚对二甲苯,并图形化刻蚀聚对二甲苯,露出针尖电极；

[0026] 步骤11:HF 湿法腐蚀玻璃,释放结构,由于金属连线和硅柱下的侧向钻蚀槽被聚对二甲苯填充,所以金属连线和硅柱也被聚对二甲苯包裹着释放下来；

[0027] 步骤12:背面淀积聚对二甲苯,得到最终柔性衬底的三维实体针尖微电极阵列。

[0028] 所述步骤8中的硅腐蚀方法,包括以下步骤：

[0029] 步骤1:正面干法刻蚀 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$,形成划片槽标记,硅片正面划片,形成硅柱阵列；

[0030] 步骤2:以 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 为掩膜,TMAH 腐蚀硅柱,硅柱侧壁为平面,硅柱向内缩小,顶部为带凸角补偿掩膜的凸角腐蚀,形成由硅柱侧壁平面构成的凸角,在此过程,TMAH 腐蚀至背面硅凹槽处,使得硅凹槽处的硅分离释放,得到分立的硅柱阵列；

[0031] 步骤3:继续 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 为掩膜,HNA(氢氟酸、硝酸、冰醋酸的混合液)各向同性腐蚀硅,使硅顶部形成针尖,掩膜在形成针尖后脱落；同时也各向同性腐蚀玻璃,形成了金属连线和硅柱下的侧向钻蚀槽。

[0032] 所述步骤9中的布置金属电极方法,包括以下步骤:正面溅射金属 Cr/Au,硅针尖被金属包裹,由于侧向钻蚀槽的存在,硅针尖、金属连线上溅射上的金属与玻璃衬底上的金属分离开,完成了金属的图形化。

[0033] 本发明的有点效果是:采用以上硅划片-腐蚀形成硅柱阵列,成本低,最终得到的硅针尖阵列高度由硅片厚度决定,能做到针尖高度大,形貌也能由腐蚀工艺控制得比较均匀。

[0034] 作为三维实体针尖柔性微电极阵列制作方法完成了金属的图形化。避免了高台阶的金属图形化光刻,有效提高了成品率；

附图说明

[0035] 图1为本发明一种三维实体针尖柔性微电极阵列结构示意图。

[0036] 附图标示:1为绝缘的柔性衬底;2为绝缘柱;3为针形电极;4为导电引线4。

具体实施方式

[0037] 下面结合附图说明及具体实施方式对本发明进一步说明。

[0038] 图1以立体图方式示出了基于绝缘的柔性衬底材料的三维实体针尖微电极阵列,包括包裹在绝缘的柔性衬底1中分立绝缘柱2、电极3、导电引线4,其中绝缘柱2头部呈针尖状,被电极3包裹,针尖电极3裸露在外,导电引线4沿着绝缘柱2和绝缘的柔性衬底1铺

设,一端与电极 3 相连,另外一端裸露在外,所述绝缘柱 2 为实心结构。导电引线 4 由双层绝缘的柔性衬底 1 绝缘和保护,保证了电极的可靠性;电极 3 处包含有三维凸起的绝缘柱 2 的针尖形头部,针尖能扎入组织,有效进行电刺激和记录;整个绝缘的柔性衬底 1 可用柔性的聚对二甲苯,能有效贴合不平整表面,电极 3、导电引线 4 为 Cr/Au,植入后对组织伤害小,所有材料的生物兼容性均为良好,其中和组织真正接触的聚对二甲苯和 Au 生物兼容性上佳,针尖硅材料仅作为机械部件,不作为电传导部件,使得电极自身电阻小,抗干扰能力增强。

[0039] 三维实体针尖柔性微电极阵列制作方法,包括以下步骤:

[0040] 在 400um 厚 N(100) 硅片上 LPCVD $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$, 100nm/100nm;第一次背面光刻,背面干法刻蚀 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$, 以此为掩膜,背面 TMAH 腐蚀硅 30um,形成硅凹槽,用于划片-腐蚀后硅的释放;

[0041] 第二次光刻,双面光刻,正面干法刻蚀 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 100nm/100nm,形成划片槽标记,同时也形成正面 TMAH 腐蚀掩膜;背面干法刻蚀 Si_3N_4 100nm,然后湿法腐蚀去除背面 SiO_2 ,以使硅键合面平整;

[0042] 在玻璃片上作第三次光刻,湿法腐蚀玻璃 100nm,溅射金属 Cr/Au 15nm、150nm,丙酮去胶超声剥离,做出金属连线图形;

[0043] 硅片背面和玻璃正面对准阳极键合,30um 的凹槽间隙使得凹槽处硅不与玻璃键合上;

[0044] 硅片正面划片,硅片剩 50um 不划穿,形成硅柱阵列;

[0045] 以 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 为掩膜,TMAH 腐蚀硅柱,硅柱侧壁为 $\langle 110 \rangle$ 面,腐蚀速率较高,硅柱向内缩小,顶部为带凸角补偿掩膜的凸角腐蚀,形成由 $\langle 111 \rangle$ 构成的凸角,约为 54.7 度;在此过程,TMAH 腐蚀至背面硅凹槽处,使得硅凹槽处的硅分离释放,得到分立的硅针尖阵列;继续 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 为掩膜,HNA 各向同性腐蚀硅,使硅顶部形成针尖,针尖高度 400um,掩膜在形成针尖后脱落;同时也各向同性腐蚀玻璃,形成了金属连线和硅柱下的侧向钻蚀槽;

[0046] 正面溅射金属 Cr/Au 15nm/150nm,硅针尖被金属包裹,由于侧向钻蚀槽的存在,硅针尖、金属连线上溅射上的金属与玻璃衬底上的金属分离开,完成了金属的图形化;

[0047] 淀积第一层聚对二甲苯 10um,并图形化刻蚀聚对二甲苯,露出针尖电极;

[0048] HF 湿法腐蚀玻璃,释放结构,由于金属连线和硅柱下的侧向钻蚀槽被聚对二甲苯填充,所以金属连线和硅柱也被聚对二甲苯包裹着释放下来;背面淀积聚对二甲苯,得到最终柔性衬底的三维实体针尖阵列。

[0049] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所作的进一步详细说明,包括但不限于聚对二甲苯、硅、Cr/Au 等材料和腐蚀方式,不能认定本发明的具体实施只局限于这些说明。对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干简单推演或替换,都应当视为属于本发明的保护范围。

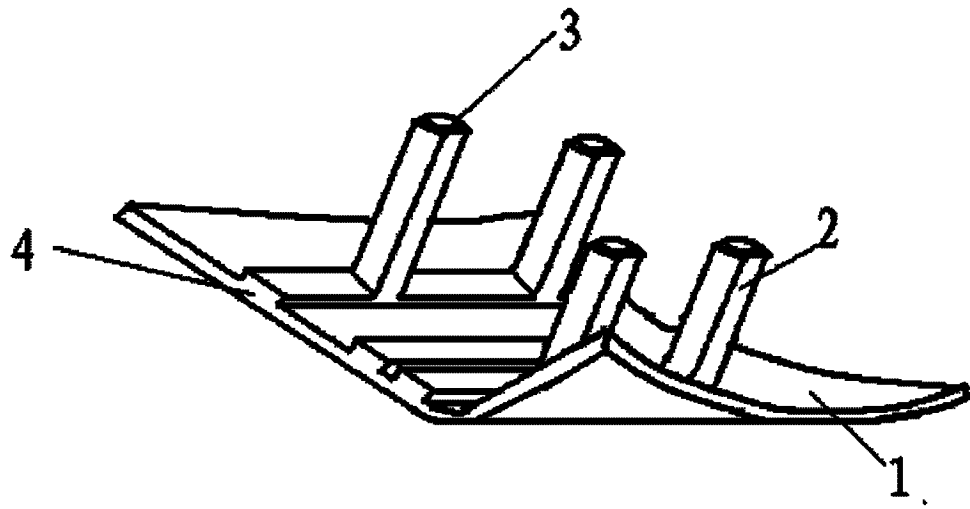


图 1