



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113841237 B

(45) 授权公告日 2024.08.27

(21) 申请号 201980096491.5

(22) 申请日 2019.05.30

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113841237 A

(43) 申请公布日 2021.12.24

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2021.11.17

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/JP2019/021601 2019.05.30

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02020/240790 JA 2020.12.03

(73) 专利权人 三菱电机株式会社  
地址 日本东京

(72) 发明人 人见晴子 原田耕三 坂本健

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所  
有限公司 11038

专利代理师 李今子

(51) Int.Cl.  
H01L 25/07 (2006.01)  
H01L 21/60 (2006.01)  
H01L 23/48 (2006.01)  
H01L 25/18 (2023.01)

(56) 对比文件  
WO 2017145667 A1, 2017.08.31  
EP 1739740 A2, 2007.01.03

审查员 田宝贵

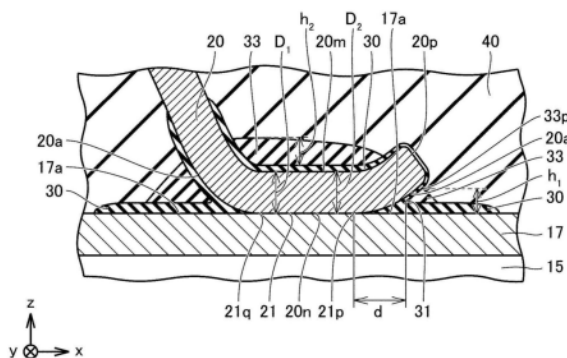
权利要求书2页 说明书12页 附图20页

## (54) 发明名称

功率半导体模块以及电力变换装置

## (57) 摘要

导电线(20)在接合部(21)与半导体元件(15)的前面电极(17)接合。第1树脂部件(30)覆盖接合部(21)的两端部(21p、21q)的至少一个端部、前面电极(17)的第1表面(17a)以及导电线(20)的第2表面(20a)。第2树脂部件(33)覆盖第1树脂部件(30)的弯曲部(31)。第1树脂部件(30)具有比第2树脂部件(33)高的断裂伸长率以及高的断裂强度。第2树脂部件(33)的第2拉伸弹性模量高于第1树脂部件(30)的第1拉伸弹性模量。功率半导体模块(1)具有提高的可靠性。



1. 一种功率半导体模块,具备:  
半导体元件,包括前面电极;  
至少一个导电线,在接合部与所述前面电极接合;  
第1树脂部件;  
第2树脂部件;以及  
第3树脂部件,密封所述半导体元件、所述第1树脂部件及所述第2树脂部件,  
所述第1树脂部件沿着所述前面电极的第1表面和所述导电线的第2表面延伸并且在所述导电线的长度方向上的所述接合部的两端部的至少一个端部处弯曲,所述第1表面与所述接合部的所述两端部的所述至少一个端部连接并且与所述导电线对置,所述第2表面与所述接合部的所述两端部的所述至少一个端部连接并且与所述前面电极对置,  
所述第1树脂部件覆盖所述接合部的所述两端部的所述至少一个端部、所述第1表面以及所述第2表面,  
所述第2树脂部件覆盖所述第1树脂部件的弯曲部,  
所述第1树脂部件的第1断裂伸长率高于所述第2树脂部件的第2断裂伸长率,  
所述第1树脂部件的第1断裂强度高于所述第2树脂部件的第2断裂强度,  
所述第2树脂部件的第2拉伸弹性模量高于所述第1树脂部件的第1拉伸弹性模量。
2. 根据权利要求1所述的功率半导体模块,其中,  
所述第3树脂部件的第3拉伸弹性模量低于所述第1树脂部件的所述第1拉伸弹性模量以及所述第2树脂部件的所述第2拉伸弹性模量。
3. 根据权利要求1所述的功率半导体模块,其中,  
所述第1树脂部件的所述第1断裂伸长率是20%以上,  
所述第1树脂部件的所述第1断裂强度是100MPa以上。
4. 根据权利要求2所述的功率半导体模块,其中,  
所述第1树脂部件的所述第1断裂伸长率是20%以上,  
所述第1树脂部件的所述第1断裂强度是100MPa以上。
5. 根据权利要求1至4中的任意一项所述的功率半导体模块,其中,  
所述第2树脂部件包含浓度比所述第1树脂部件高的填充物。
6. 根据权利要求1至4中的任意一项所述的功率半导体模块,其中,  
所述第2树脂部件的所述第2拉伸弹性模量是5GPa以上。
7. 根据权利要求1至4中的任意一项所述的功率半导体模块,其中,  
所述导电线的所述长度方向上的、所述接合部的所述两端部的所述至少一个端部与所述第1树脂部件的所述弯曲部之间的距离是150 $\mu$ m以下。
8. 根据权利要求1至4中的任意一项所述的功率半导体模块,其中,  
所述接合部的所述两端部的所述至少一个端部是所述接合部的所述两端部。
9. 根据权利要求8所述的功率半导体模块,其中,  
所述第1树脂部件选择性地覆盖所述接合部中的所述接合部的所述两端部。
10. 根据权利要求1至4中的任意一项所述的功率半导体模块,其中,  
处于所述第1表面与所述第2表面之间的所述第2树脂部件的顶部的从所述第1表面起的最小高度大于所述接合部上的所述导电线的最小厚度的一半。

11. 根据权利要求1至4中的任意一项所述的功率半导体模块,其中,  
所述导电线的第3表面上的所述第2树脂部件的最大厚度是所述接合部上的所述导电线的最大厚度的2倍以下,

所述第3表面是在所述接合部与所述前面电极接触的所述导电线的与第4表面相反的一侧的表面。

12. 根据权利要求1至4中的任意一项所述的功率半导体模块,其中,  
所述至少一个导电线是多个导电线,

所述第1树脂部件和所述第2树脂部件跨越所述多个导电线而形成。

13. 根据权利要求1至4中的任意一项所述的功率半导体模块,其中,  
所述前面电极在所述接合部的周围具有凹坑,

在所述凹坑填充有所述第1树脂部件。

14. 根据权利要求13所述的功率半导体模块,其中,

所述凹坑以在所述前面电极的俯视时包围所述接合部的方式形成。

15. 根据权利要求13所述的功率半导体模块,其中,

所述凹坑具有开口、底以及连接所述开口和所述底的侧面,

在所述前面电极的俯视时,所述底或者所述侧面的至少一部分处于比所述开口更远离所述接合部的位置。

16. 一种电力变换装置,具备:

主变换电路,具有权利要求1至15中的任意一项所述的所述功率半导体模块并且将被输入的电力变换而输出;以及

控制电路,将控制所述主变换电路的控制信号输出给所述主变换电路。

## 功率半导体模块以及电力变换装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及功率半导体模块以及电力变换装置。

### 背景技术

[0002] 日本特开2007-12831号公报(专利文献1)公开了具备绝缘电路基板、半导体元件以及金属线的功率半导体装置。金属线与半导体元件接合。半导体元件和金属线的接合部用绝缘树脂包覆。绝缘树脂是聚酰胺系树脂或者聚酰胺聚酰亚胺系树脂。

[0003] 现有技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:日本特开2007-12831号公报

### 发明内容

[0006] 起因于半导体元件的热膨胀系数与金属线的热膨胀系数之间的差,在功率半导体装置的使用中,对半导体元件与金属线之间的接合部反复施加应力。仅通过专利文献1公开的功率半导体装置中包含的绝缘树脂,难以抑制在半导体元件与金属线之间的接合部发生裂纹。专利文献1公开的功率半导体装置具有低的可靠性。本发明是鉴于上述课题完成的,其目的在于提供具有提高的可靠性的功率半导体模块以及电力变换装置。

[0007] 本发明的功率半导体模块具备半导体元件、至少一个导电线、第1树脂部件、第2树脂部件以及第3树脂部件。半导体元件包括前面电极。至少一个导电线在接合部与前面电极接合。第3树脂部件密封半导体元件、第1树脂部件以及第2树脂部件。第1树脂部件沿着前面电极的第1表面和导电线的第2表面延伸并且在导电线的长度方向上的接合部的两端部的至少一个端部处弯曲。前面电极的第1表面与接合部的两端部的至少一个端部连接并且与导电线对置。导电线的第2表面与接合部的两端部的至少一个端部连接并且与前面电极对置。第1树脂部件覆盖接合部的两端部的至少一个端部、第1表面以及第2表面。第2树脂部件覆盖第1树脂部件的弯曲部。第1树脂部件的第1断裂伸长率高于第2树脂部件的第2断裂伸长率。第1树脂部件的第1断裂强度高于第2树脂部件的第2断裂强度。第2树脂部件的第2拉伸弹性模量高于第1树脂部件的第1拉伸弹性模量。

[0008] 本发明的电力变换装置具备主变换电路和控制电路。主变换电路构成为具有本发明的功率半导体模块并且将被输入的电力变换而输出。控制电路构成为将控制主变换电路的控制信号输出给主变换电路。

[0009] 第1树脂部件的第1断裂伸长率高于第2树脂部件的第2断裂伸长率。第1树脂部件的第1断裂强度高于第2树脂部件的第2断裂强度。因此,即使对功率半导体模块施加热循环,第1树脂部件也不会断裂,而能够将导电线持续固定到半导体元件的前面电极。第2树脂部件的第2拉伸弹性模量高于第1树脂部件的第1拉伸弹性模量。因此,在对功率半导体模块施加热循环时,第2树脂部件防止在第1树脂部件中的最易于断裂的第1树脂部件的弯曲部处第1树脂部件断裂。能够防止在接合部发生裂纹。本发明的功率半导体模块以及电力变换

装置具有提高的可靠性。

### 附图说明

- [0010] 图1是实施方式1的功率半导体模块的概略剖面图。
- [0011] 图2是实施方式1的功率半导体模块的、图1所示的区域II中的概略部分放大剖面图。是实施方式1的功率半导体模块的、沿图3所示的剖面线II-II的概略部分放大剖面图。
- [0012] 图3是实施方式1的功率半导体模块的概略部分放大俯视图。
- [0013] 图4是实施方式1的第1变形例的功率半导体模块的概略部分放大剖面图。
- [0014] 图5是实施方式1的第2变形例的功率半导体模块的、沿图6所示的剖面线V-V的概略部分放大剖面图。
- [0015] 图6是实施方式1的第2变形例的功率半导体模块的概略部分放大俯视图。
- [0016] 图7是实施方式1的第3变形例的功率半导体模块的、沿图8所示的剖面线VII-VII的概略部分放大剖面图。
- [0017] 图8是实施方式1的第3变形例的功率半导体模块的概略部分放大俯视图。
- [0018] 图9是实施方式1的第4变形例的功率半导体模块的、沿图10所示的剖面线IX-IX的概略部分放大剖面图。
- [0019] 图10是实施方式1的第4变形例的功率半导体模块的概略部分放大俯视图。
- [0020] 图11是实施方式1的第5变形例的功率半导体模块的概略部分放大俯视图。
- [0021] 图12是实施方式1的第6变形例的功率半导体模块的概略部分放大俯视图。
- [0022] 图13是实施方式2的功率半导体模块的概略剖面图。
- [0023] 图14是实施方式2的功率半导体模块的、图13所示的区域XIV中的概略部分放大剖面图。是实施方式2的功率半导体模块的、沿图15所示的剖面线XIV-XIV的概略部分放大剖面图。
- [0024] 图15是实施方式2的功率半导体模块的概略部分放大俯视图。
- [0025] 图16是示出实施方式2的功率半导体模块的制造方法的一个工序的概略部分放大剖面图。
- [0026] 图17是示出实施方式2的功率半导体模块的制造方法中的、图16所示的工序的下一工序的概略部分放大剖面图。
- [0027] 图18是示出实施方式2的功率半导体模块的制造方法中的、图17所示的工序的下一工序的概略部分放大剖面图。
- [0028] 图19是实施方式2的第1变形例的功率半导体模块的概略部分放大俯视图。
- [0029] 图20是实施方式2的第2变形例的功率半导体模块的、沿图21所示的剖面线XX-XX的概略部分放大剖面图。
- [0030] 图21是实施方式2的第2变形例的功率半导体模块的概略部分放大俯视图。
- [0031] 图22是示出实施方式2的第2变形例的功率半导体模块的制造方法的一个工序的概略部分放大剖面图。
- [0032] 图23是示出实施方式2的第2变形例的功率半导体模块的制造方法中的、图22所示的工序的下一工序的概略部分放大剖面图。
- [0033] 图24是示出实施方式2的第2变形例的功率半导体模块的制造方法中的、图23所示

的工序的下一工序的概略部分放大剖面图。

[0034] 图25是实施方式2的第3变形例的功率半导体模块的概略部分放大俯视图。

[0035] 图26是实施方式2的第4变形例的功率半导体模块的概略部分放大剖面图。

[0036] 图27是实施方式2的第5变形例的功率半导体模块的概略部分放大俯视图。

[0037] 图28是实施方式3的功率半导体模块的概略剖面图。

[0038] 图29是实施方式3的功率半导体模块的、沿图28所示的区域XXIX的概略部分放大剖面图。

[0039] 图30是示出实施方式3的功率半导体模块的制造方法的一个工序的概略部分放大剖面图。

[0040] 图31是示出实施方式4所涉及的电力变换系统的结构的框图。

[0041] (符号说明)

[0042] 1、1b、1c:功率半导体模块;10:绝缘电路基板;11:绝缘基板;12:导电电路图案;13:导电板;15:半导体元件;16:背面电极;17:前面电极;17a:第1表面;20:导电线;20a:第2表面;20m:第3表面;20n:第4表面;20p:端;21:接合部;21p、21q:端部;21r、21s:侧部;30:第1树脂部件;31:弯曲部;33:第2树脂部件;33p:顶部;36:壳体;37:散热器;38:封装体;40:第3树脂部件;42c:开口;42d:底;42e:侧面;45:激光光源;46:激光;100:电源;200:电力变换装置;201:主变换电路;202:半导体模块;203:控制电路;300:负载。

### 具体实施方式

[0043] 以下,说明本发明的实施方式。此外,对同一结构附加同一参照编号,不反复其说明。

[0044] 实施方式1.

[0045] 参照图1至图12,说明实施方式1的功率半导体模块1。如图1所示,功率半导体模块1主要具备绝缘电路基板10、半导体元件15、至少一个导电线20、第1树脂部件30、第2树脂部件33以及第3树脂部件40。功率半导体模块1也可以还具备散热器37。功率半导体模块1也可以还具备封装体38。

[0046] 绝缘电路基板10包括绝缘基板11。绝缘基板11在第1方向(x方向)和与第1方向垂直的第2方向(y方向)上延伸。绝缘基板11包括正面和与正面相反的一侧的背面。绝缘基板11例如也可以由如氧化铝( $Al_2O_3$ )、氮化铝(AlN)或者氮化硅( $Si_3N_4$ )那样的无机材料(陶瓷材料)形成。绝缘电路基板10包括导电电路图案12和导电板13。导电电路图案12设置于绝缘基板11的正面上。导电板13设置于绝缘基板11的背面上。导电电路图案12以及导电板13例如也可以由如铜(Cu)或者铝(Al)那样的金属材料形成。

[0047] 半导体元件15是功率半导体元件。半导体元件15例如是如绝缘栅极型双极性晶体管(IGBT)或者金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)那样的开关元件或者如肖特基势垒二极管那样的整流元件。半导体元件15也可以由如硅或者碳化硅、氮化镓或者金刚石那样的宽带隙半导体材料形成。

[0048] 半导体元件15包括前面电极17。半导体元件15也可以还包括背面电极16。半导体元件15也可以具有纵型构造。前面电极17和背面电极16例如也可以由含有Si的Al合金形成。前面电极17和背面电极16也可以分别由包覆层(未图示)覆盖。包覆层例如也可以是镍

(Ni)层、金(Au)层或者它们的层叠体。

[0049] 半导体元件15与绝缘电路基板10的导电电路图案12接合。具体而言,半导体元件15的背面电极16使用如焊料或者金属微粒子烧结体那样的接合部件(未图示)与导电电路图案12接合。前面电极17包括第1表面17a。前面电极17的第1表面17a与导电线20的长度方向(第1方向(x方向))上的接合部21的两端部21p、21q的至少一个端部连接,并且与导电线20对置。

[0050] 导电线20在接合部21与半导体元件15的前面电极17接合。导电线20与导电电路图案12接合。导电线20也可以使用焊线机与半导体元件15的前面电极17和导电电路图案12键合。导电线20例如也可以由如金(Au)、铝(Al)或者铜(Cu)那样的金属材料形成。

[0051] 如图2所示,导电线20包括第2表面20a、第3表面20m以及第4表面20n。导电线20的第2表面20a与导电线20的长度方向(第1方向(x方向))上的接合部21的两端部21p、21q的至少一个端部连接,并且与前面电极17对置。导电线20的第4表面20n在接合部21与前面电极17接触。导电线20的第3表面20m是导电线20的与第4表面20n相反的一侧的表面。

[0052] 导电线20具有接近接合部21的端20p。导电线20的长度方向(第1方向(x方向))上的接合部21的两端部21p、21q是接近导电线20的端20p的端部21p以及远离导电线20的端20p的端部21q。接合部21的端部21q在导电线20的长度方向(第1方向(x方向))上处于接合部21的与端部21p相反的一侧。

[0053] 如图2所示,第1树脂部件30沿着前面电极17的第1表面17a和导电线20的第2表面20a延伸,并且在导电线20的长度方向上的接合部21的两端部21p、21q的至少一个端部处弯曲。导电线20的长度方向上的、接合部21的两端部21p、21q的至少一个端部与第1树脂部件30的弯曲部31之间的距离d也可以是 $150\mu\text{m}$ 以下。距离d也可以是 $100\mu\text{m}$ 以下。

[0054] 第1树脂部件30覆盖接合部21的两端部21p、21q的至少一个端部、前面电极17的第1表面17a以及导电线20的第2表面20a。接合部21的两端部21p、21q的至少一个端部也可以是接合部21的两端部21p、21q。第1树脂部件30也可以还覆盖将接合部21的两端部21p、21q相互连接的接合部21的侧部21r、21s。第1树脂部件30也可以覆盖接合部21的外周全部。第1树脂部件30也可以还覆盖导电线20的第3表面20m。第1树脂部件30也可以还覆盖导电线20的端20p。也可以如图4所示的本实施方式的第1变形例,导电线20的端20p从第1树脂部件30露出。

[0055] 如图2所示,第1树脂部件30的一部分也可以从第2树脂部件33露出。在前面电极17的第1表面17a上延伸的第1树脂部件30的一部分也可以从第2树脂部件33露出。如图4所示的本实施方式的第1变形例那样,在前面电极17的第1表面17a上延伸的第1树脂部件30也可以全部用第2树脂部件33覆盖。如图2所示,在导电线20的端20p上形成的第1树脂部件30也可以从第2树脂部件33露出。第1树脂部件30的厚度也可以小于接合部21上的导电线20的最大厚度 $D_2$ 。第1树脂部件30的厚度也可以小于接合部21上的导电线20的最大厚度 $D_2$ 的一半。

[0056] 第1树脂部件30例如由如聚酰亚胺系树脂材料那样的绝缘树脂材料形成。第1树脂部件30也可以由导入硅氧烷骨架的聚酰亚胺系树脂材料形成。硅氧烷骨架对第1树脂部件30赋予可挠性和针对导电线20以及前面电极17的粘接性。

[0057] 如图2所示,第2树脂部件33覆盖第1树脂部件30的弯曲部31。接合部21的两端部21p、21q的至少一个端部通过第1树脂部件30以及第2树脂部件33双重地密封。接合部21的

两端部21p、21q也可以通过第1树脂部件30以及第2树脂部件33双重地密封。接合部21的侧部21r、21s也可以通过第1树脂部件30以及第2树脂部件33双重地密封。接合部21的外周也可以全部通过第1树脂部件30以及第2树脂部件33双重地密封。第2树脂部件33由如环氧系树脂材料那样的绝缘树脂材料形成。第2树脂部件33的外表面也可以具有朝向外侧(第3树脂部件40)变凸的形状。

[0058] 处于前面电极17的第1表面17a与导电线20的第2表面20a之间的第2树脂部件33的顶部33p的从前面电极17的第1表面17a起的最小高度 $h_1$ 也可以大于接合部21上的导电线20的最小厚度 $D_1$ 的一半。导电线20的第3表面20m上的第2树脂部件33的最大厚度 $h_2$ 是接合部21上的导电线20的最大厚度 $D_2$ 的2倍以下。第2树脂部件33的最大厚度 $h_2$ 也可以是导电线20的最大厚度 $D_2$ 的1.5倍以下。第2树脂部件33的最大厚度 $h_2$ 也可以是导电线20的最大厚度 $D_2$ 以下。如图5以及图6所示的本实施方式的第2变形例那样,导电线20的第3表面20m也可以从第2树脂部件33露出。第2树脂部件33的最大厚度 $h_2$ 也可以是零。

[0059] 第1树脂部件30的第1断裂伸长率高于第2树脂部件33的第2断裂伸长率。第1树脂部件30的第1断裂伸长率例如是20%以上。第1树脂部件30的第1断裂伸长率既可以是50%以上,也可以是80%以上。第1树脂部件30的第1断裂强度高于第2树脂部件33的第2断裂强度。第1树脂部件30的第1断裂强度例如是100MPa以上。第1树脂部件30的第1断裂强度也可以是150MPa以上。第1树脂部件30的第1断裂伸长率以及第1断裂强度依照ASTM D882测定。第2树脂部件33的第2断裂伸长率以及第2断裂强度依照JIS K7161-1测定。

[0060] 第2树脂部件33的第2拉伸弹性模量高于第1树脂部件30的第1拉伸弹性模量。第2树脂部件33的第2拉伸弹性模量例如是5GPa以上。第2树脂部件33的第2拉伸弹性模量例如也可以是30GPa以下。第1树脂部件30的第1拉伸弹性模量依照ASTM D882测定。第2树脂部件33的第2拉伸弹性模量依照JIS K 7161-1测定。

[0061] 第2树脂部件33包含浓度比第1树脂部件30高的填充物。第1树脂部件30例如也可以包含由金属或者陶瓷形成的第1填充物。第1树脂部件30也可以不包含填充物。第2树脂部件33也可以包含如二氧化硅或者氧化铝那样的第2填充物。

[0062] 第1树脂部件30未包含填充物或者仅包含低浓度的填充物,所以能够使第1树脂部件30的第1断裂伸长率以及第1断裂强度增加。但是,在第1树脂部件30未包含填充物或者仅包含低浓度的填充物时,难以使第1树脂部件30的第1拉伸弹性模量增加。在对功率半导体模块1施加热循环时,仅通过第1树脂部件30,难以充分地抑制半导体元件15、导电线20以及第3树脂部件40之间的热膨胀系数的差所引起的导电线20的变形。

[0063] 第2树脂部件33包含浓度比第1树脂部件30高的填充物,所以能够使第2树脂部件33的第2拉伸弹性模量高于第1树脂部件30的第1拉伸弹性模量。在对功率半导体模块1施加热循环时,具有比第1树脂部件30的第1拉伸弹性模量高的第2拉伸弹性模量的第2树脂部件33能够充分地抑制导电线20的变形。第2树脂部件33能够防止起因于导电线20的变形而第1树脂部件30断裂。

[0064] 第1树脂部件30以及第2树脂部件33也可以分别具有比功率半导体模块1的最高使用温度高的玻璃转移温度。例如,第1树脂部件30以及第2树脂部件33也可以分别具有150°C以上的玻璃转移温度。

[0065] 第3树脂部件40密封半导体元件15、第1树脂部件30以及第2树脂部件33。第3树脂

部件40还密封导电线20的至少一部分。第3树脂部件40也可以密封导电线20的整体。第3树脂部件40例如由如硅胶那样的绝缘树脂材料形成。

[0066] 第3树脂部件40的第3拉伸弹性模量也可以低于第1树脂部件30的第1拉伸弹性模量以及第2树脂部件33的第2拉伸弹性模量。因此,能够防止起因于第3树脂部件40与半导体元件15之间的热膨胀系数的差,第3树脂部件40从半导体元件15剥离。第3树脂部件40的第3拉伸弹性模量依照JIS K 6251测定。第3树脂部件40的绝缘破坏强度高于第1树脂部件30以及第2树脂部件33的绝缘破坏强度。第3树脂部件40例如也可以具有10kV/mm以上的绝缘破坏强度。

[0067] 如图1所示,散热器37安装于绝缘电路板10。具体而言,绝缘电路板10的导电板13使用如传热油脂那样的接合部件(未图示),与散热器37的正面接合。从半导体元件15产生的热经由绝缘电路板10被传递到散热器37。该热从散热器37向功率半导体模块1的外部扩散。散热器37例如由如铝(Al)那样的金属材料形成。

[0068] 如图1所示,封装体38也可以在散热器37的正面上安装于周缘。散热器37和封装体38构成壳体36。功率半导体模块1是壳体类型的模块。封装体38例如由如聚苯硫醚(PPS)或者聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBT)那样的绝缘树脂材料形成。壳体36的内部空间的至少一部分用第3树脂部件40填充。功率半导体模块1也可以是不具备封装体38的模制类型的模块。

[0069] 如图7以及图8所示的本实施方式的第3变形例,第1树脂部件30也可以选择性地覆盖接合部21中的接合部21的两端部21p、21q。接合部21的两端部21p、21q也可以选择性地通过第1树脂部件30以及第2树脂部件33双重地密封。将接合部21的两端部21p、21q相互连接的接合部21的侧部21r、21s的一部分也可以从第1树脂部件30露出。接合部21的外周的一部分也可以从第1树脂部件30露出。

[0070] 如图9以及图10所示的本实施方式的第4变形例,用第1树脂部件30覆盖的接合部21的两端部21p、21q的至少一个端部也可以是接合部21的两端部21p、21q中的一个。在本实施方式的第4变形例中,第1树脂部件30选择性地覆盖接合部21的两端部21p、21q中的接合部21的端部21p。接合部21的端部21p也可以选择性地通过第1树脂部件30以及第2树脂部件33双重地密封。接合部21的端部21p从第1树脂部件30露出。第1树脂部件30也可以选择性地覆盖接合部21的两端部21p、21q中的接合部21的端部21q。接合部21的端部21q也可以选择性地通过第1树脂部件30以及第2树脂部件33双重地密封。

[0071] 如图11所示的本实施方式的第5变形例以及图12所示的本实施方式的第6变形例那样,至少一个导电线20也可以是多个导电线20。第1树脂部件30和第2树脂部件33也可以跨越多个导电线20而形成。第1树脂部件30和第2树脂部件33也可以跨越形成于多个导电线20与前面电极17之间的多个接合部21而形成。多个接合部21也可以一并地通过第1树脂部件30以及第2树脂部件33双重地密封。

[0072] 如图12所示的本实施方式的第6变形例那样,第1树脂部件30也可以选择性地覆盖接合部21中的接合部21的两端部21p、21q。多个接合部21的端部21p也可以选择性地通过第1树脂部件30以及第2树脂部件33双重地密封。多个接合部21的端部21q也可以选择性地通过第1树脂部件30以及第2树脂部件33双重地密封。将接合部21的两端部21p、21q相互连接的接合部21的侧部21r、21s的一部分也可以从第1树脂部件30露出。接合部21的外周的一部分也可以从第1树脂部件30露出。

[0073] 说明本实施方式的功率半导体模块1的制造方法。本实施方式的功率半导体模块1的制造方法具备接合工序S1、第1密封工序S2、第2密封工序S3以及第3密封工序S4。

[0074] 在接合工序S1中,半导体元件15与绝缘电路基板10接合。例如,半导体元件15的背面电极16使用如焊料或者金属微粒子烧结体那样的接合部件(未图示)与导电电路图案12接合。导电线20在接合部21与半导体元件15的前面电极17接合。例如,导电线20使用焊线机与半导体元件15的前面电极17和导电电路图案12键合。绝缘电路基板10与散热器37接合。例如,绝缘电路基板10的导电板13使用如传热油脂那样的接合部件(未图示)与散热器37的正面接合。进而,也可以封装体38与散热器37接合。

[0075] 在第1密封工序S2中,形成第1树脂部件30。例如,使树脂材料在溶剂中分散而成的溶液被涂敷到导电线20以及前面电极17的第1表面17a上。对涂敷有溶液的导电线20以及前面电极17进行加热,使溶剂蒸发,并且使树脂材料硬化。这样,在前面电极17的第1表面17a以及导电线20的第2表面20a上形成第1树脂部件30。构成第1树脂部件30的树脂材料既可以使用点胶机(dispenser)涂敷,也可以通过静电涂敷或者电沉积涂敷涂敷。使用点胶机的树脂材料的涂敷是经济的。静电涂敷或者电沉积涂敷易于向狭小区域涂敷树脂材料。

[0076] 在第2密封工序S3中,形成第2树脂部件33。例如,液状的树脂材料被供给到第1树脂部件30上。使液状的树脂材料硬化,形成第2树脂部件33。在第3密封工序S4中,形成第3树脂部件40。例如,液状的树脂材料被供给到第1树脂部件30、第2树脂部件33、导电线20的至少一部分、半导体元件15以及绝缘电路基板10上。使液状的树脂材料硬化,形成第3树脂部件40。这样,能够得到功率半导体模块1。

[0077] 说明本实施方式的功率半导体模块1的效果。

[0078] 本实施方式的功率半导体模块1具备半导体元件15、至少一个导电线20、第1树脂部件30、第2树脂部件33以及第3树脂部件40。半导体元件15包括前面电极17。至少一个导电线20在接合部21与前面电极17接合。第3树脂部件40密封半导体元件15、第1树脂部件30以及第2树脂部件33。第1树脂部件30沿着前面电极17的第1表面17a和导电线20的第2表面20a延伸,并且在导电线20的长度方向上的接合部21的两端部21p、21q的至少一个端部处弯曲。第1表面17a与接合部21的两端部21p、21q的至少一个端部连接,并且与导电线20对置。第2表面20a与接合部21的两端部21p、21q的至少一个端部连接,并且与前面电极17对置。第1树脂部件30覆盖接合部21的两端部21p、21q的至少一个端部、第1表面17a以及第2表面20a。第2树脂部件33覆盖第1树脂部件30的弯曲部31。第1树脂部件30的第1断裂伸长率高于第2树脂部件33的第2断裂伸长率。第1树脂部件30的第1断裂强度高于第2树脂部件33的第2断裂强度。第2树脂部件33的第2拉伸弹性模量高于第1树脂部件30的第1拉伸弹性模量。

[0079] 第1树脂部件30的第1断裂伸长率高于第2树脂部件33的第2断裂伸长率。第1树脂部件30的第1断裂强度高于第2树脂部件33的第2断裂强度。因此,即使对功率半导体模块1施加热循环,第1树脂部件30也不会断裂而能够将导电线20持续固定到半导体元件15的前面电极17。第2树脂部件33的第2拉伸弹性模量高于第1树脂部件30的第1拉伸弹性模量。因此,在对功率半导体模块1施加热循环时,第2树脂部件33能够使半导体元件15与导电线20之间的热膨胀系数的差所引起的导电线20的变形减少。第2树脂部件33防止起因于导电线20的变形而在第1树脂部件30中的最易于断裂的第1树脂部件30的弯曲部31处第1树脂部件30断裂。能够防止在接合部21发生裂纹。功率半导体模块1具有提高的可靠性。

[0080] 在本实施方式的功率半导体模块1中,第3树脂部件40的第3拉伸弹性模量低于第1树脂部件30的第1拉伸弹性模量以及第2树脂部件33的第2拉伸弹性模量。因此,在对功率半导体模块1施加热循环时,能够防止导电线20断线。功率半导体模块1具有提高的可靠性。

[0081] 在本实施方式的功率半导体模块1中,第1树脂部件30的第1断裂伸长率是20%以上,第1树脂部件30的第1断裂强度是100MPa以上。即使对功率半导体模块1施加热循环,第1树脂部件30也不会断裂而能够将导电线20持续固定到半导体元件15的前面电极17。能够防止在接合部21发生裂纹。功率半导体模块1具有提高的可靠性。

[0082] 在本实施方式的功率半导体模块1中,第2树脂部件33的第2拉伸弹性模量是5GPa以上。在对功率半导体模块1施加热循环时,第2树脂部件33能够使半导体元件15与导电线20之间的热膨胀系数的差所引起的导电线20的变形减少。第2树脂部件33能够防止起因于导电线20的变形而第1树脂部件30断裂。能够防止在接合部21发生裂纹。功率半导体模块1具有提高的可靠性。

[0083] 在本实施方式的功率半导体模块1中,第2树脂部件33包含浓度比第1树脂部件30高的填充物。因此,能够使第1树脂部件30的第1断裂伸长率以及第1断裂强度增加,并且能够使第2树脂部件33的第2拉伸弹性模量增加。能够防止在接合部21发生裂纹。功率半导体模块1具有提高的可靠性。

[0084] 在本实施方式的功率半导体模块1中,导电线20的长度方向(第1方向(x方向))上的、接合部21的两端部21p、21q的至少一个端部与第1树脂部件30的弯曲部31之间的距离d是150 $\mu\text{m}$ 以下。因此,在形成第1树脂部件30时溶剂易于蒸发,而防止溶剂在第1树脂部件30中残留。防止第1树脂部件30变脆。另外,在使树脂材料硬化而得到第1树脂部件30时,在第1树脂部件30残留的应力减少。因此,即使对功率半导体模块1施加热循环,第1树脂部件30也不会断裂而能够将导电线20持续固定到半导体元件15的前面电极17。能够防止在接合部21发生裂纹。功率半导体模块1具有提高的可靠性。

[0085] 在本实施方式的功率半导体模块1中,接合部21的两端部21p、21q的至少一个端部是接合部21的两端部21p、21q。接合部21的两端部21p、21q通过第1树脂部件30和第2树脂部件33双重地密封,所以能够防止在接合部21发生裂纹。功率半导体模块1具有提高的可靠性。

[0086] 在本实施方式的功率半导体模块1中,第1树脂部件30选择性地覆盖接合部21中的接合部21的两端部21p、21q。能够使第1树脂部件30的使用量降低。功率半导体模块1的成本减少。

[0087] 在本实施方式的功率半导体模块1中,处于第1表面17a与第2表面20a之间的第2树脂部件33的顶部33p的从第1表面17a起的最小高度 $h_1$ 大于接合部21上的导电线20的最小厚度 $D_1$ 的一半。在对功率半导体模块1施加热循环时,第2树脂部件33能够使半导体元件15与导电线20之间的热膨胀系数的差所引起的导电线20的变形减少。第2树脂部件33防止起因于导电线20的变形而第1树脂部件30断裂。能够防止在接合部21发生裂纹。功率半导体模块1具有提高的可靠性。

[0088] 在本实施方式的功率半导体模块1中,导电线20的第3表面20m上的第2树脂部件33的最大厚度 $h_2$ 是接合部21上的导电线20的最大厚度 $D_2$ 的2倍以下。第3表面20m是在接合部21与前面电极17接触的导电线20的与第4表面20n相反的一侧的表面。第2树脂部件33未形成

得过度厚,所以在对功率半导体模块1施加热循环时,能够防止起因于半导体元件15、导电线20以及第2树脂部件33之间的热膨胀系数的差而导电线20断线。功率半导体模块1具有提高的可靠性。

[0089] 在本实施方式的功率半导体模块1中,至少一个导电线20是多个导电线20。第1树脂部件30和第2树脂部件33跨越多个导电线20而形成。第1树脂部件30与前面电极17之间的接触面积增加,第1树脂部件30通过前面电极17强密接。第1树脂部件30和第2树脂部件33难以从前面电极17以及接合部21的两端部21p、21q的至少一个端部剥离。能够防止在接合部21发生裂纹。功率半导体模块1具有提高的可靠性。

[0090] 实施方式2.

[0091] 参照图13至图15、图19至图21以及图25至图27,说明实施方式2的功率半导体模块1b。本实施方式的功率半导体模块1b具备与实施方式1的功率半导体模块1同样的结构,但主要在以下的方面不同。

[0092] 如图13至图15所示,在功率半导体模块1b中,前面电极17在接合部21的周围具有凹坑42。凹坑42形成于前面电极17。凹坑42也可以形成于前面电极17的第1表面17a。第1树脂部件30被填充到凹坑42。如图15所示,凹坑42形成于接合部21的周围。特定而言,在前面电极17的俯视时,凹坑42也可以以包围接合部21的方式形成。更特定而言,在前面电极17的俯视时,凹坑42也可以以包围接合部21的方式连续地形成。

[0093] 参照图16至图18,说明本实施方式的功率半导体模块1b的制造方法的一个例子。本实施方式的功率半导体模块1b的制造方法的一个例子具备与实施方式1的功率半导体模块1的制造方法同样的工序,但主要在还具备凹坑形成工序S5的方面不同。

[0094] 如图16所示,凹坑形成工序S5在接合工序S1之前进行。在凹坑形成工序S5中,在半导体元件15的前面电极17形成凹坑42。具体而言,通过从激光光源45对前面电极17照射激光46,形成凹坑42。激光46被照射到前面电极17中的、成为接合部21的区域的周围。激光光源45例如是二氧化碳激光器。

[0095] 如图17所示,在凹坑形成工序S5之后,进行接合工序S1。例如,在凹坑形成工序S5之后,进行将导电线20接合到前面电极17的工序。如图18所示,在接合工序S1之后,进行第1密封工序S2和第2密封工序S3。接下来,进行第3密封工序S4。这样,能够得到图13至图15所示的功率半导体模块1b。

[0096] 如图19所示的本实施方式的第1变形例以及图20及图21所示的本实施方式的第2变形例那样,在前面电极17的俯视时,凹坑42也可以分割成多个部分而形成。在前面电极17的俯视时,凹坑42也可以以包围接合部21的方式离散地形成。

[0097] 如图21所示的本实施方式的第2变形例那样,也可以在接合部21的周围有未形成凹坑42的区域。凹坑42无需形成于接合部21的全部周围。在本实施方式的第2变形例中,在前面电极17中的与接合部21的端部21q对置的部分,未形成凹坑42。

[0098] 参照图22至图24,说明本实施方式的第2变形例的功率半导体模块1b的制造方法的一个例子。本实施方式的第2变形例的功率半导体模块1b的制造方法的一个例子具备与图16至图18所示的本实施方式的功率半导体模块1b的制造方法的一个例子同样的工序,但主要在以下的方面不同。

[0099] 在本实施方式的第2变形例的功率半导体模块1b的制造方法的一个例子中,凹坑

形成工序S5在进行接合工序S1中的至少将导电线20接合到前面电极17的工序之后进行。凹坑形成工序S5也可以在完成接合工序S1的整体之后进行。如图22所示,导电线20与前面电极17接合。之后,如图23所示,进行凹坑形成工序S5。具体而言,通过从激光光源45对前面电极17中的接合部21的周围的区域照射激光46,形成凹坑42。如图24所示,进行第1密封工序S2和第2密封工序S3。接下来,进行第3密封工序S4。这样,能够得到本实施方式的第2变形例的功率半导体模块1b。

[0100] 如图25所示的本实施方式的第3变形例那样,在前面电极17的俯视时,凹坑42也可以以多重地包围接合部21的周围的方式形成。如图26所示的本实施方式的第4变形例那样,用第1树脂部件30覆盖的接合部21的两端部21p、21q的至少一个端部也可以是接合部21的两端部21p、21q中的一个。在本实施方式的第4变形例中,第1树脂部件30选择性地覆盖接合部21的两端部21p、21q中的接合部21的端部21p。第1树脂部件30也可以选择性地覆盖接合部21的两端部21p、21q中的接合部21的端部21q。

[0101] 如图27所示的本实施方式的第5变形例那样,至少一个导电线20也可以是多个导电线20。第1树脂部件30和第2树脂部件33也可以跨越多个导电线20而形成。凹坑42设置于多个接合部21的各个接合部的周围。与多个接合部21的各个接合部对应的凹坑42也可以相互连接。

[0102] 本实施方式的功率半导体模块1b除了实施方式1的功率半导体模块1的效果以外,还起到以下的效果。

[0103] 在本实施方式的功率半导体模块1b中,前面电极17在接合部21的周围具有凹坑42。在凹坑42填充有第1树脂部件30。

[0104] 在对功率半导体模块1b施加热循环时,起因于导电线20与半导体元件15之间的热膨胀系数的差,第1树脂部件30从前面电极17的剥离有时从第1树脂部件30的端部朝向接合部21发展。在凹坑42填充有第1树脂部件30。因此,在凹坑42中,第1树脂部件30从前面电极17剥离的发展方向变化,该发展方向朝向凹坑42的底部。能够防止第1树脂部件30从前面电极17的剥离到达接合部21。即使对功率半导体模块1b施加热循环,第1树脂部件30也能够将导电线20持续固定到半导体元件15的前面电极17。能够防止在接合部21发生裂纹。功率半导体模块1b具有提高的可靠性。

[0105] 在本实施方式的功率半导体模块1b中,凹坑42以在前面电极17的俯视时包围接合部21的方式形成。因此,能够进一步防止第1树脂部件30从前面电极17的剥离到达接合部21。即使对功率半导体模块1b施加热循环,第1树脂部件30也能够将导电线20持续固定到半导体元件15的前面电极17。能够防止在接合部21发生裂纹。功率半导体模块1b具有提高的可靠性。

[0106] 实施方式3.

[0107] 参照图28以及图29,说明实施方式3的功率半导体模块1c。本实施方式的功率半导体模块1c具备与实施方式2的功率半导体模块1b同样的结构,但主要在凹坑42的形状的方面不同。

[0108] 在功率半导体模块1c中,凹坑42具有开口42c、底42d以及连接开口42c和底42d的侧面42e。凹坑42在相对前面电极17的第1表面17a的法线方向倾斜的方向上延伸。凹坑42的侧面42e的至少一部分相对前面电极17的第1表面17a的法线方向倾斜。也可以凹坑42的侧

面42e的整体相对前面电极17的第1表面17a的法线方向倾斜。凹坑42的侧面42e的倾斜部也可以与凹坑42的开口42c连接。在前面电极17的俯视时,底42d或者侧面42e的至少一部分处于比开口42c更远离接合部21的位置。在前面电极17的俯视时,以使凹坑42的底42d与接合部21之间的距离大于凹坑42的开口42c与接合部21之间的距离的方式凹坑42相对前面电极17的第1表面17a的法线方向倾斜。

[0109] 参照图30,说明实施方式3的功率半导体模块1c的制造方法。本实施方式的功率半导体模块1c的制造方法具备与实施方式2的功率半导体模块1b的制造方法同样的工序,但主要在凹坑形成工序S5的方面不同。

[0110] 在本实施方式的凹坑形成工序S5中,形成相对前面电极17的第1表面17a的法线方向倾斜的凹坑42。倾斜的凹坑42通过对前面电极17中的成为接合部21的部分的周围照射向相对前面电极17的第1表面17a的法线方向倾斜的方向前进的激光46来形成。例如,通过相对前面电极17的第1表面17a的法线方向倾斜地配置激光光源45,从相对前面电极17的第1表面17a的法线方向倾斜的方向,用激光46照射前面电极17的第1表面17a。

[0111] 本实施方式的功率半导体模块1c除了实施方式2的功率半导体模块1b的效果以外,还起到以下的效果。

[0112] 在本实施方式的功率半导体模块1c中,凹坑42具有开口42c、底42d以及连接开口42c和底42d的侧面42e。在前面电极17的俯视时,底42d或者侧面42e的至少一部分处于比开口42c更远离接合部21的位置。在倾斜的凹坑42中,第1树脂部件30从前面电极17的剥离的发展方向进一步大幅变化。能够进一步防止第1树脂部件30从前面电极17的剥离到达接合部21。即使对功率半导体模块1c施加热循环,第1树脂部件30也能够将导线20持续固定到半导体元件15的前面电极17。能够进一步防止在接合部21发生裂纹。功率半导体模块1c具有提高的可靠性。

[0113] 实施方式4.

[0114] 本实施方式是将实施方式1至实施方式3的功率半导体模块1、1b、1c中的任意功率半导体模块应用于电力变换装置的例子。本实施方式的电力变换装置200没有特别限定,但以下说明是三相的逆变器的情况。

[0115] 图31所示的电力变换系统包括电源100、电力变换装置200以及负载300。电源100是直流电源,对电力变换装置200供给直流电力。电源100没有特别限定,但例如既可以由直流系统、太阳能电池或者蓄电池构成,也可以由与交流系统连接的整流电路或者AC/DC转换器构成。电源100也可以由将从直流系统输出的直流电力变换为其他直流电力的DC/DC转换器构成。

[0116] 电力变换装置200是连接于电源100与负载300之间的三相的逆变器,将从电源100供给的直流电力变换为交流电力,对负载300供给交流电力。电力变换装置200如图31所示,具备:主变换电路201,将直流电力变换为交流电力而输出;以及控制电路203,将控制主变换电路201的控制信号输出给主变换电路201。

[0117] 负载300是通过从电力变换装置200供给的交流电力驱动的三相的电动机。此外,负载300没有特别限定,是搭载于各种电气设备的电动机,例如被用作面向混合动力汽车、电动汽车、铁路车辆、电梯或者空调设备的电动机。

[0118] 以下,详细说明电力变换装置200。主变换电路201具备开关元件(未图示)和续流

二极管(未图示)。通过开关元件对从电源100供给的电压进行开关,主变换电路201将从电源100供给的直流电力变换为交流电力,供给到负载300。主变换电路201的具体的电路结构有各种例子,但本实施方式所涉及的主变换电路201是2电平的三相全桥电路,能够由6个开关元件和与各个开关元件反并联的6个续流二极管构成。在主变换电路201的各开关元件以及各续流二极管的至少任意一个中,应用上述实施方式1至实施方式3的功率半导体模块1、1b、1c中的任意功率半导体模块。关于6个开关元件,针对每2个开关元件串联连接而构成上下支路,各上下支路构成全桥电路的各相(U相、V相以及W相)。而且,各上下支路的输出端子、即主变换电路201的3个输出端子与负载300连接。

[0119] 另外,主变换电路201具备驱动各开关元件的驱动电路(未图示)。驱动电路既可以内置于半导体模块202,也可以与半导体模块202独立地设置。驱动电路生成驱动包含于主变换电路201的开关元件的驱动信号,对主变换电路201的开关元件的控制电极供给驱动信号。具体而言,依照来自控制电路203的控制信号,将使开关元件成为导通状态的驱动信号和使开关元件成为截止状态的驱动信号输出给各开关元件的控制电极。在将开关元件维持为导通状态的情况下,驱动信号是开关元件的阈值电压以上的电压信号(导通信号),在将开关元件维持为截止状态的情况下,驱动信号成为开关元件的阈值电压以下的电压信号(截止信号)。

[0120] 控制电路203以对负载300供给期望的电力的方式控制主变换电路201的开关元件。具体而言,根据应供给到负载300的电力,计算主变换电路201的各开关元件应成为导通状态的时间(导通时间)。例如,能够通过根据应输出的电压调制开关元件的导通时间的脉冲宽度调制(PWM)控制,控制主变换电路201。而且,以在各时间点对应成为导通状态的开关元件输出导通信号,对应成为截止状态的开关元件输出截止信号的方式向主变换电路201具备的驱动电路输出控制指令(控制信号)。驱动电路依照该控制信号,向各开关元件的控制电极输出导通信号或者截止信号作为驱动信号。

[0121] 在本实施方式所涉及的电力变换装置200中,作为包含于主变换电路201的半导体模块202,应用实施方式1至实施方式3的功率半导体模块1、1b、1c中的任意功率半导体模块。因此,本实施方式所涉及的电力变换装置200具有提高的可靠性。

[0122] 在本实施方式中,说明在2电平的三相逆变器中应用本发明的例子,但不限于此,能够应用于各种电力变换装置。在本实施方式中,设为2电平的电力变换装置,但既可以是3电平的电力变换装置,也可以是多电平的电力变换装置。在电力变换装置对单相负载供给电力的情况下,也可以在单相的逆变器中应用本发明。在电力变换装置对直流负载等供给电力的情况下,也可以在DC/DC转换器或者AC/DC转换器中应用本发明。

[0123] 应用本发明的电力变换装置不限于负载是电动机的情况,例如,能够嵌入到放电加工机或激光加工机的电源装置或者感应加热烹调器或非接触器供电系统的电源装置。应用本发明的电力变换装置能够用作太阳能发电系统或者蓄电系统等的功率调节器。

[0124] 应认为本次公开的实施方式1-4在所有方面为例示而非限制性的。只要不存在矛盾,也可以组合本次公开的实施方式1-4的至少2个。本发明的范围并非上述说明示出而由权利要求书示出,意图包括与权利要求书均等的意义以及范围内的所有变更。

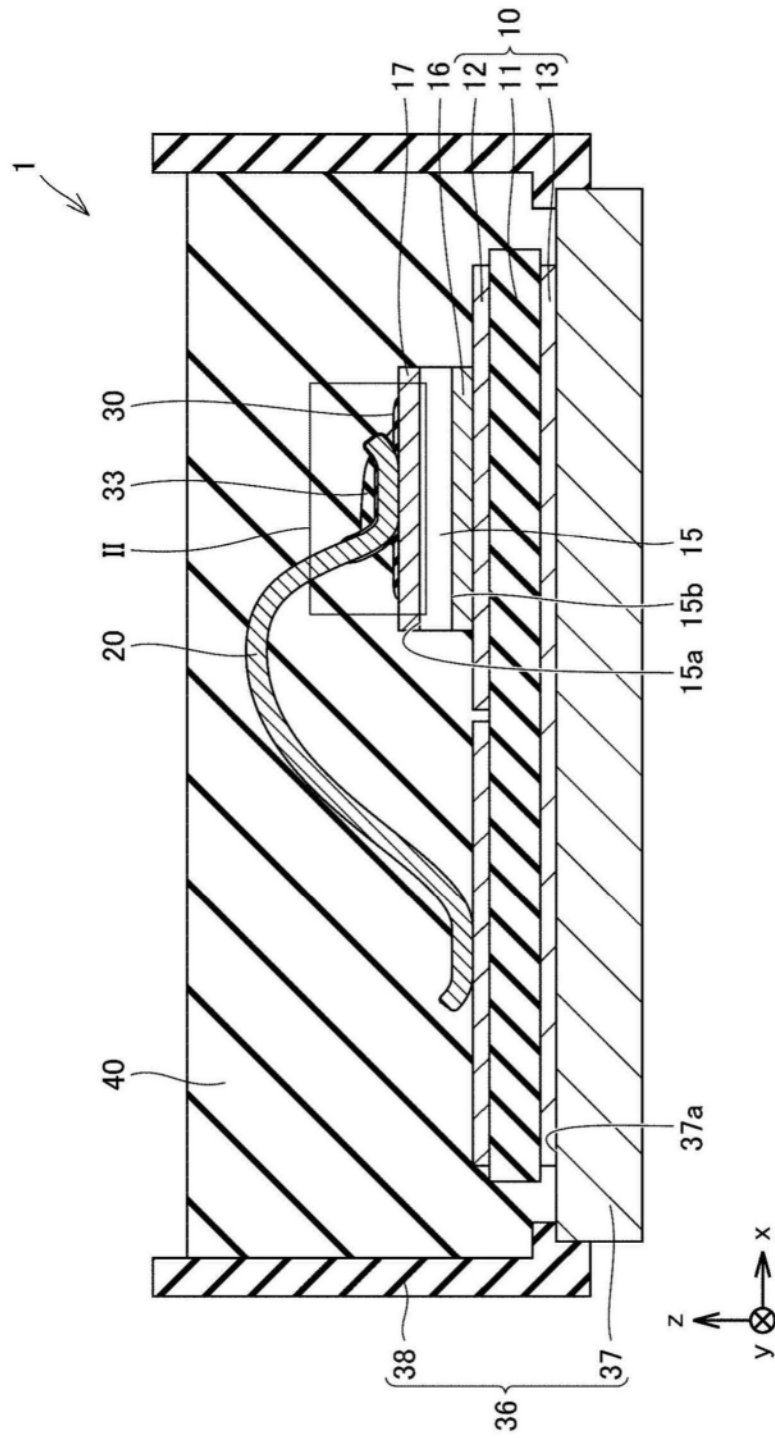


图1

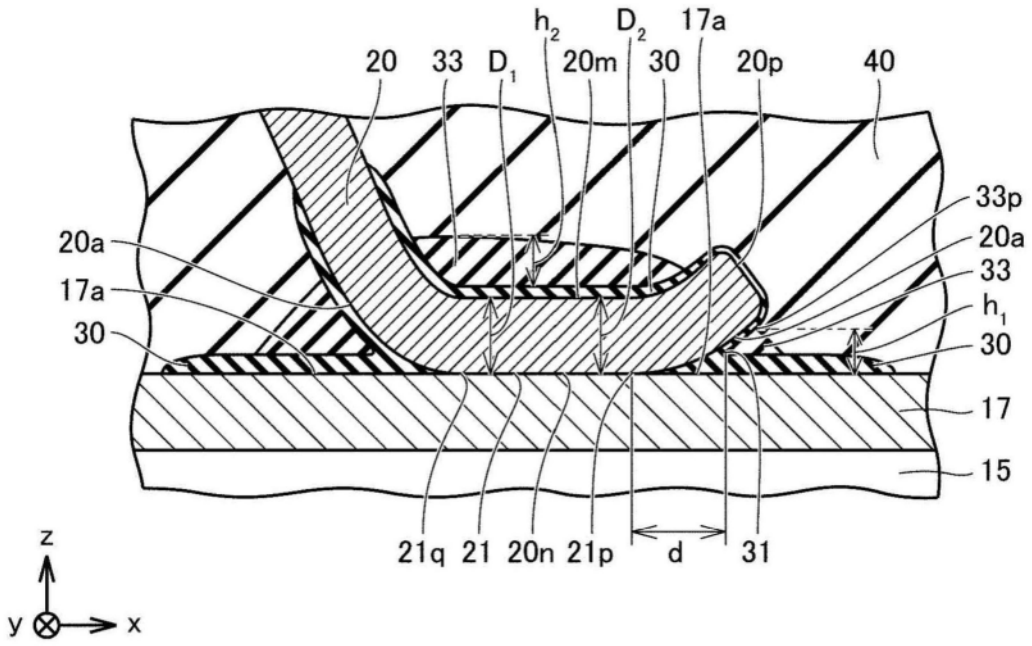


图2

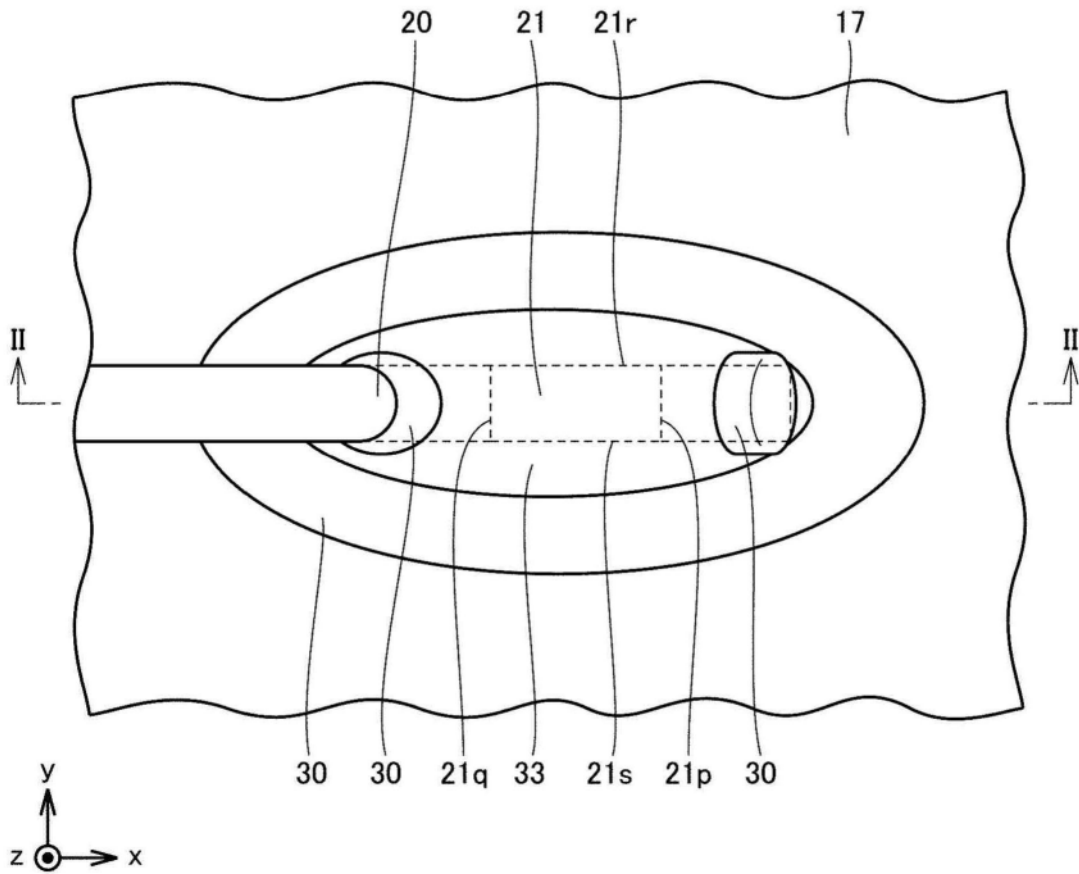


图3

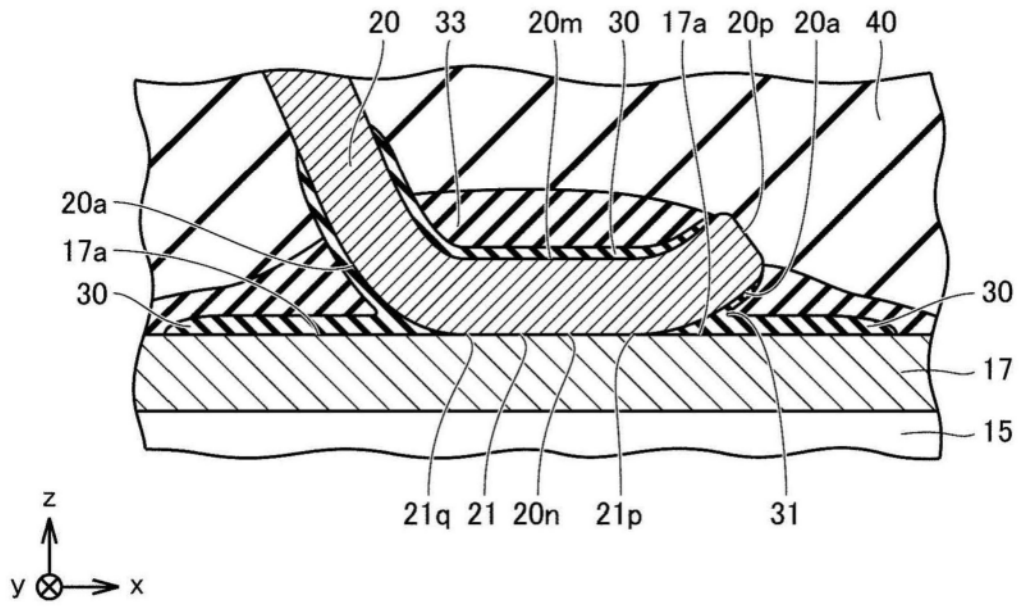


图4

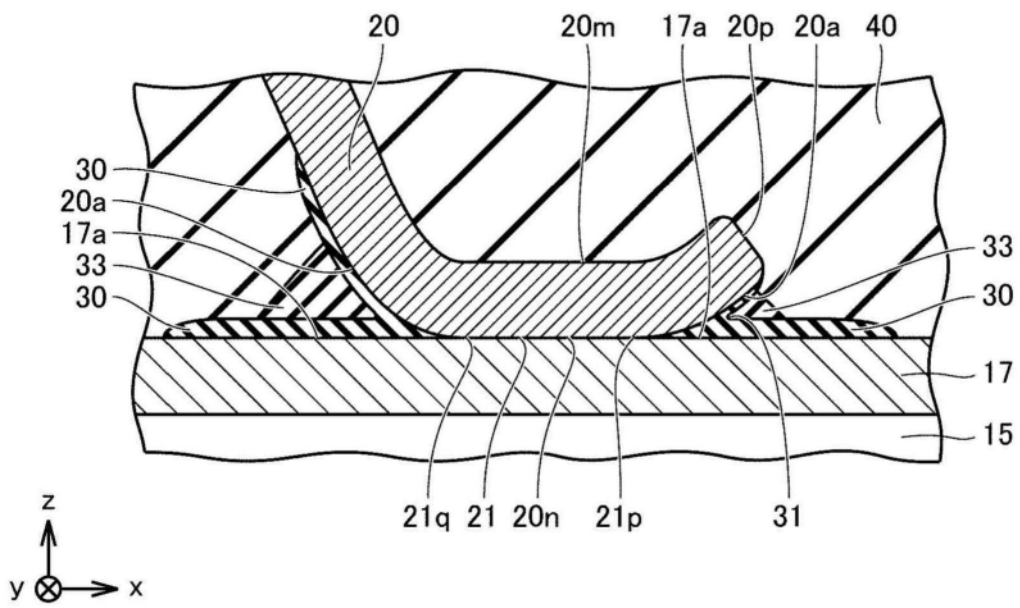


图5

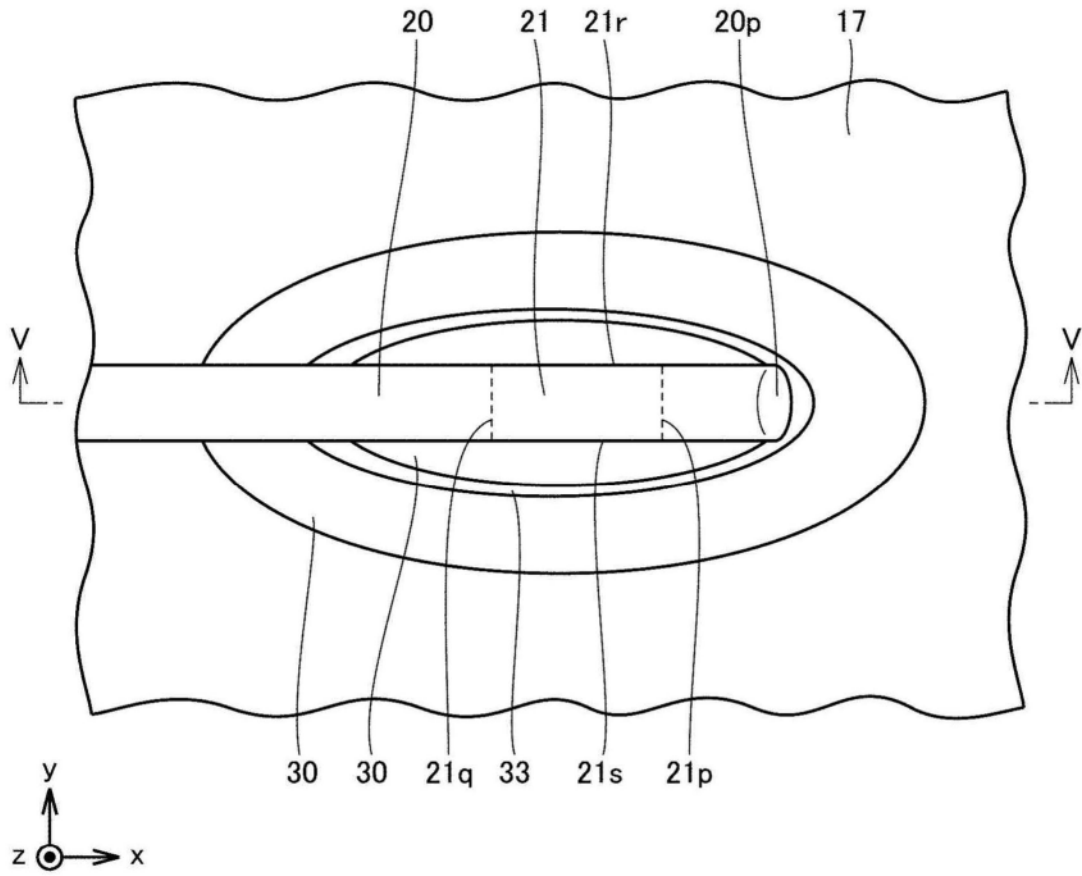


图6

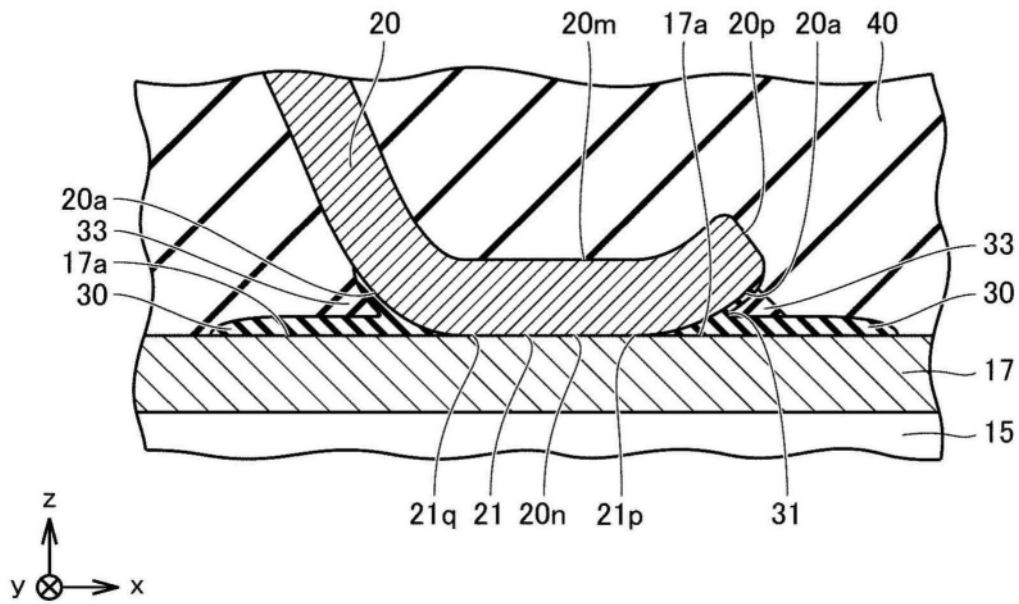


图7

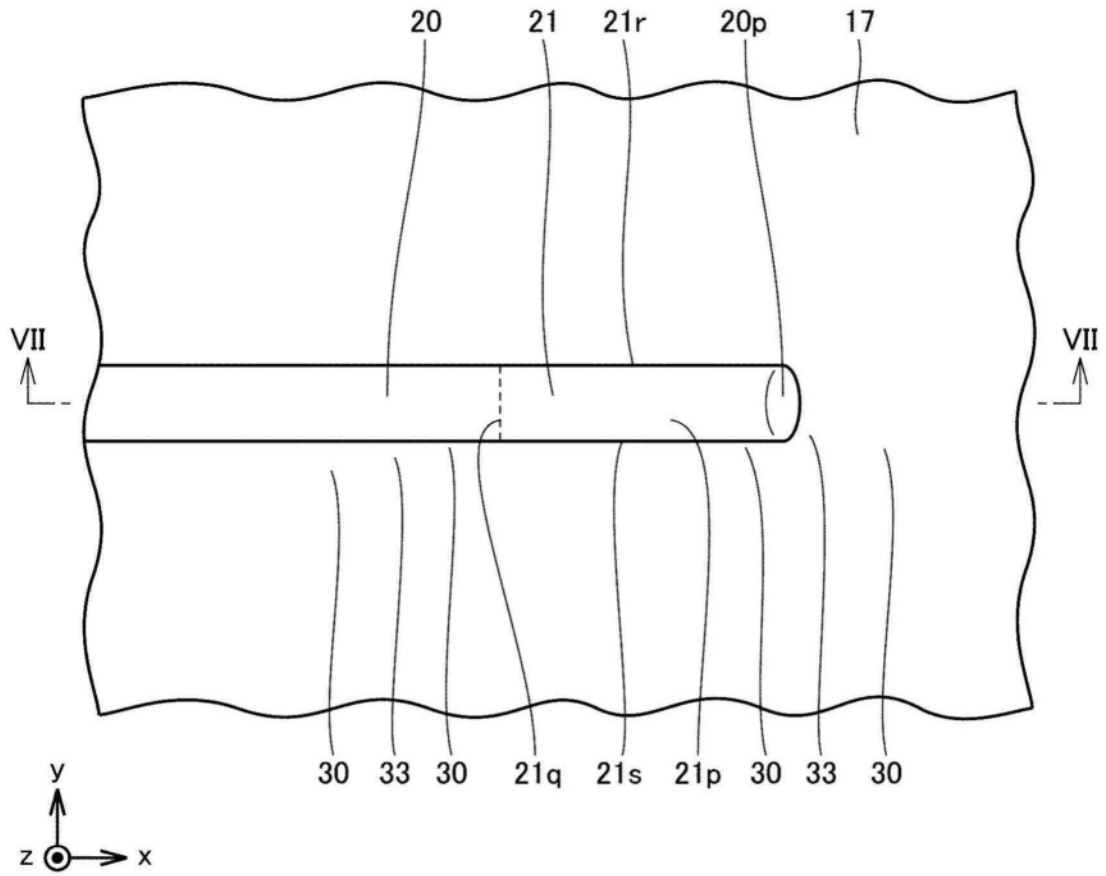


图8

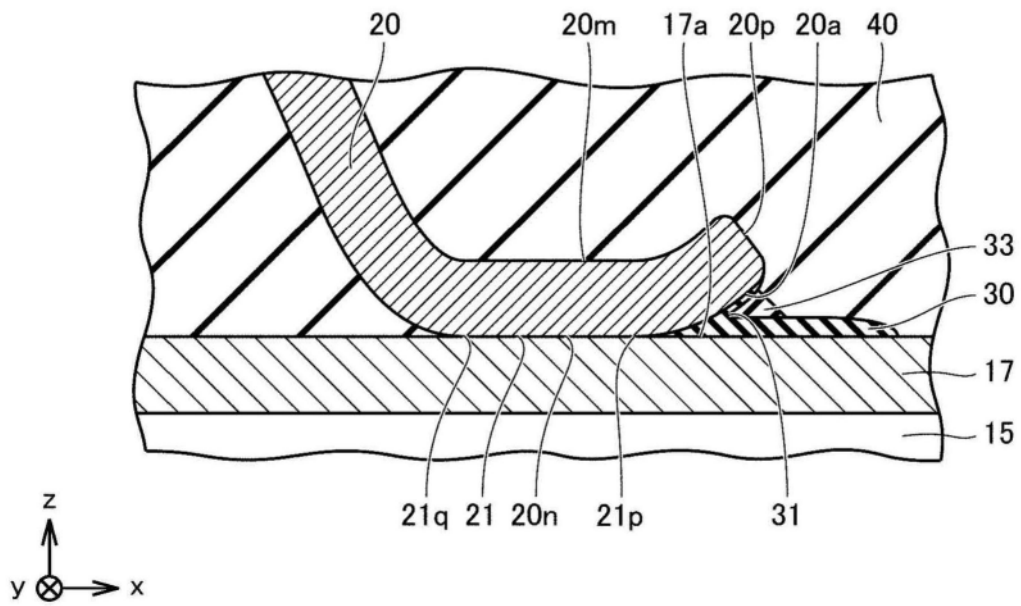


图9

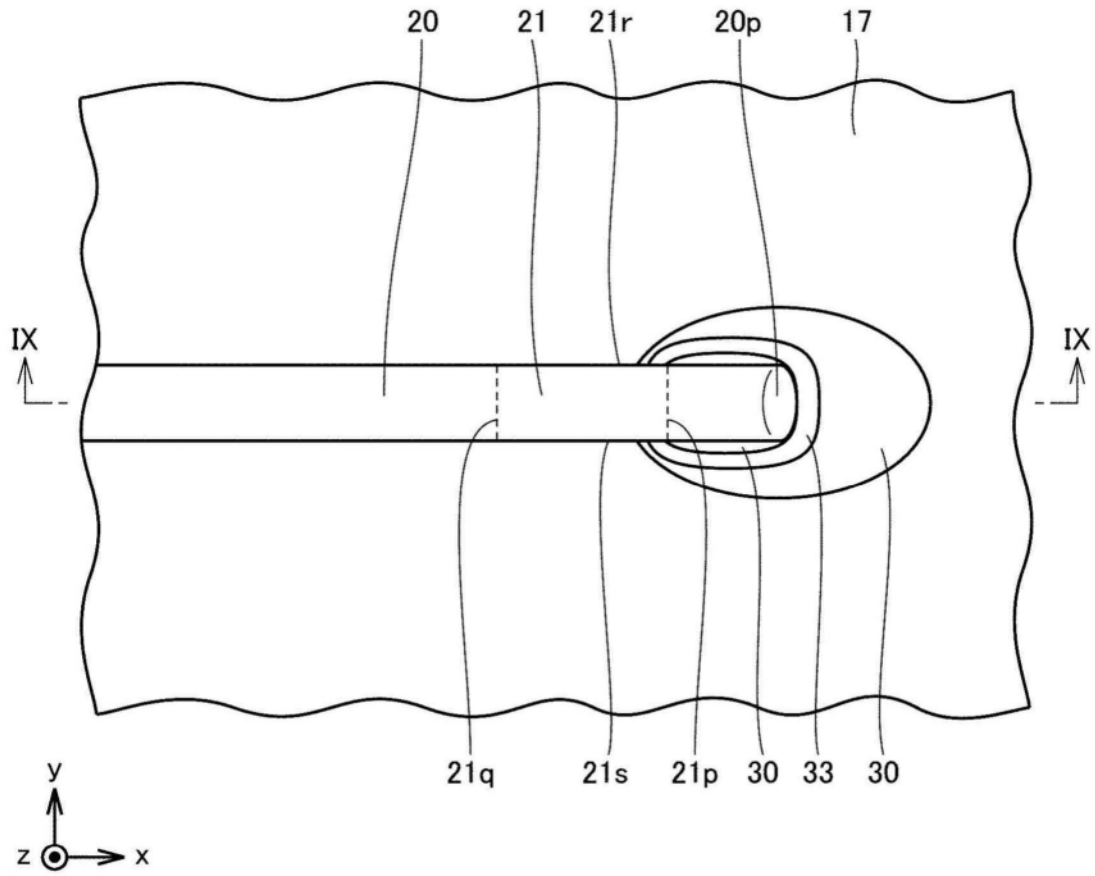


图10

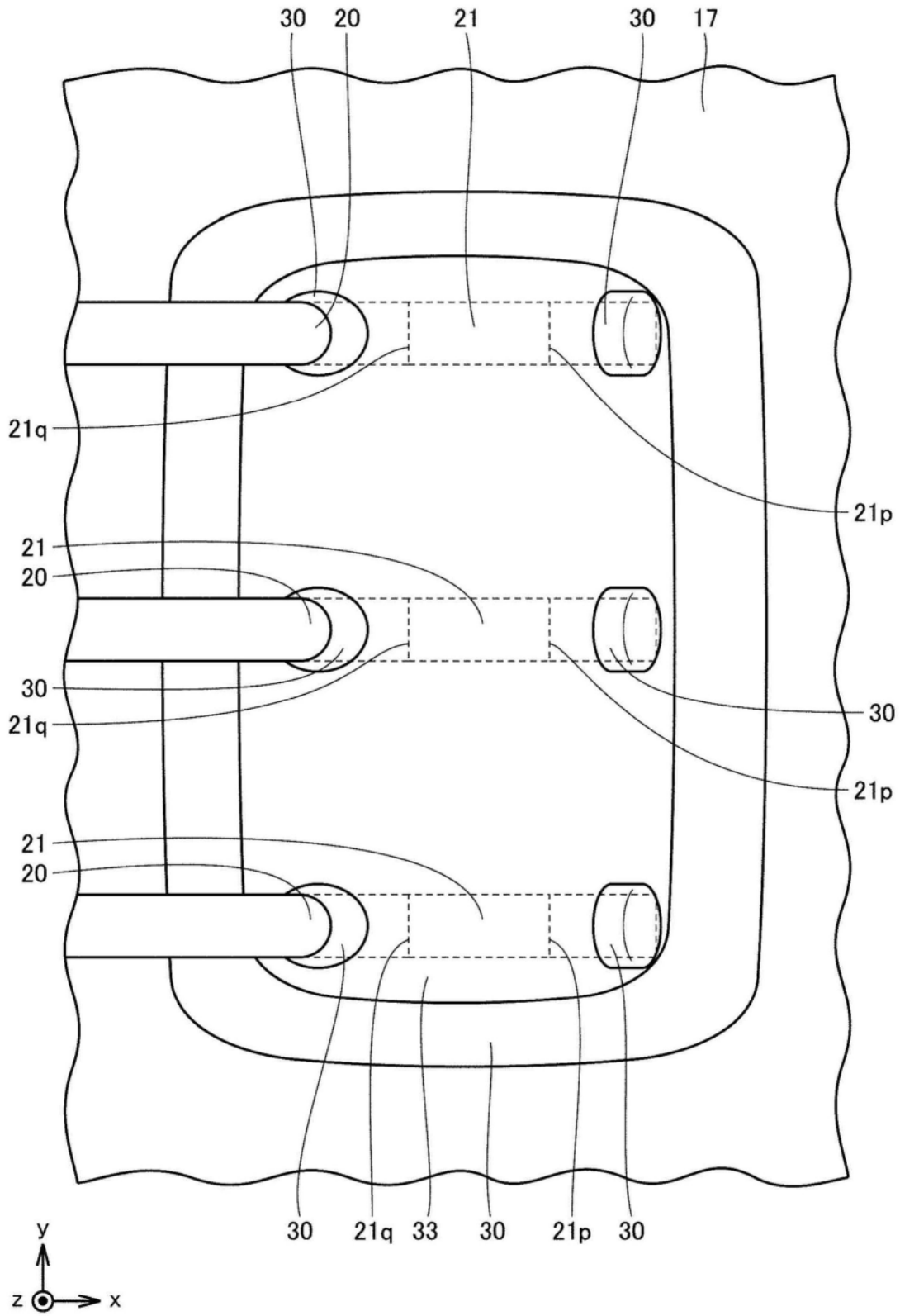


图11

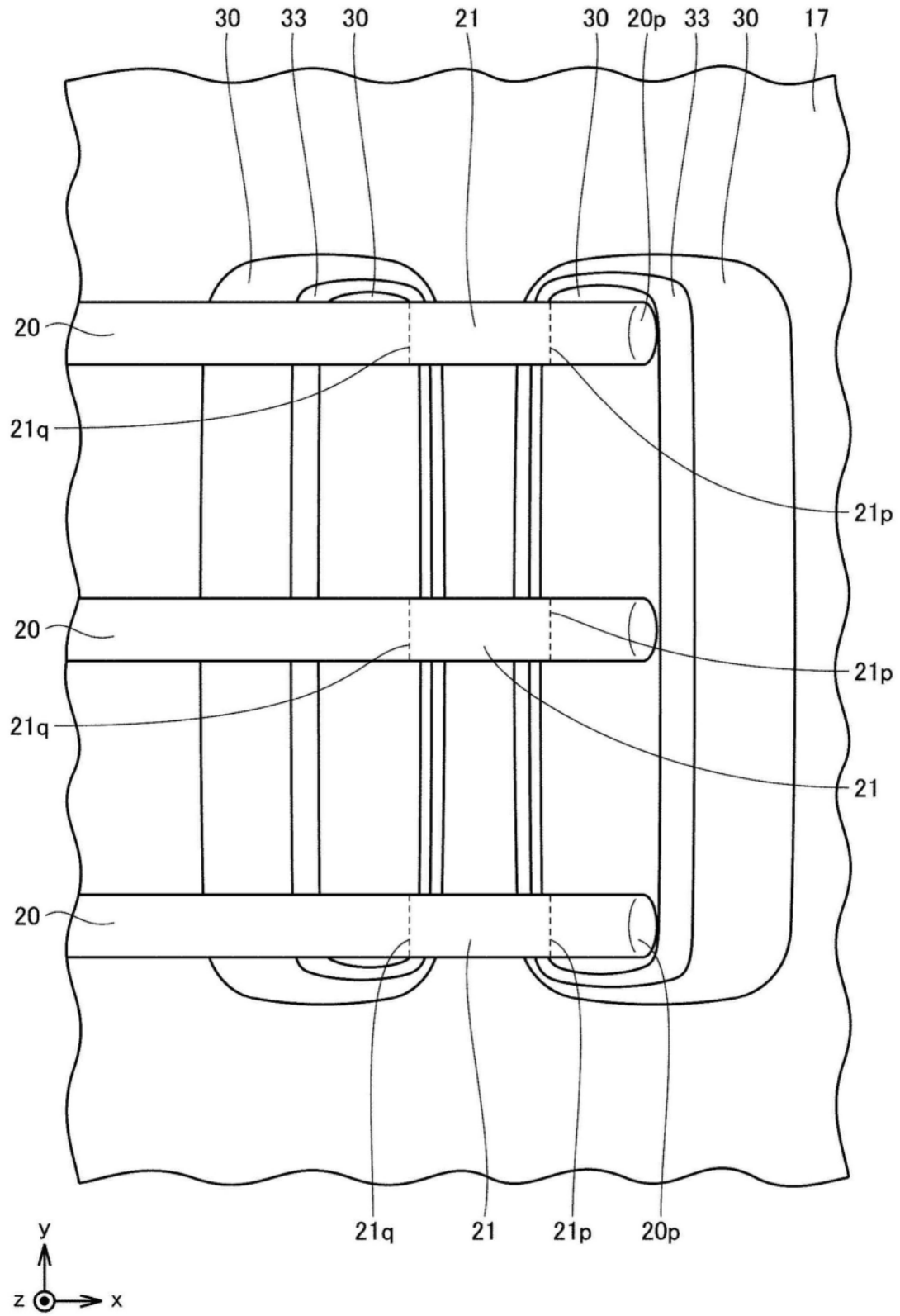


图12

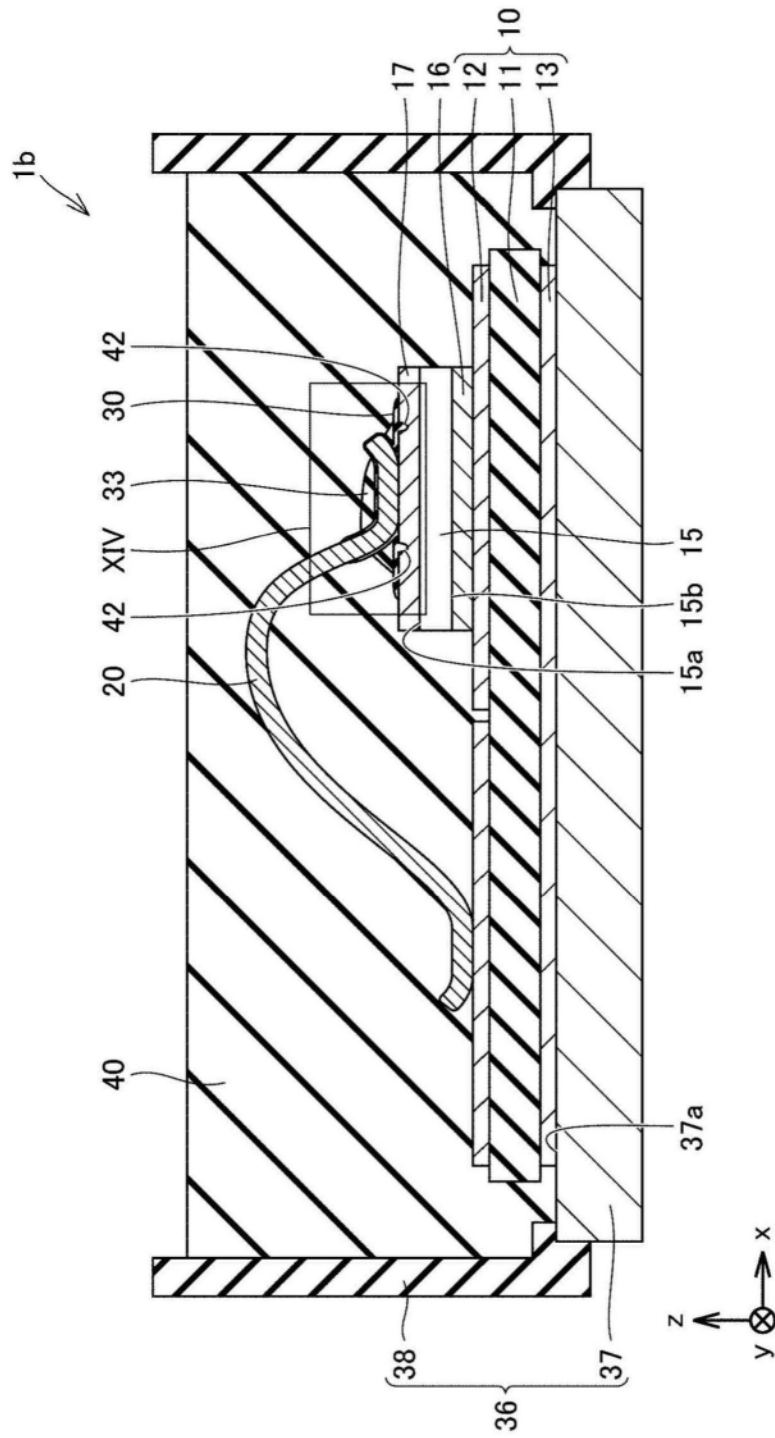


图13

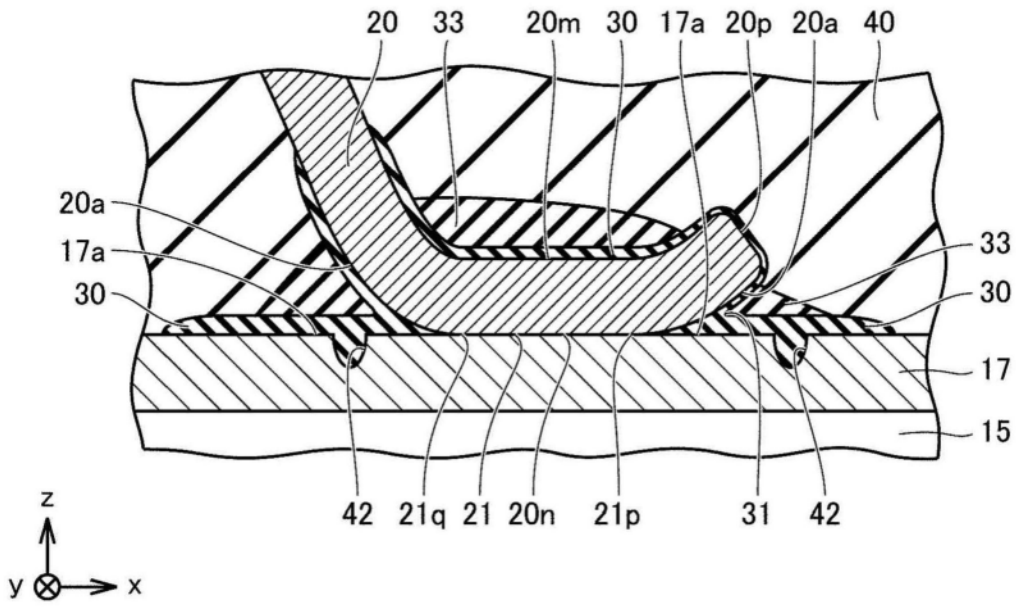


图14

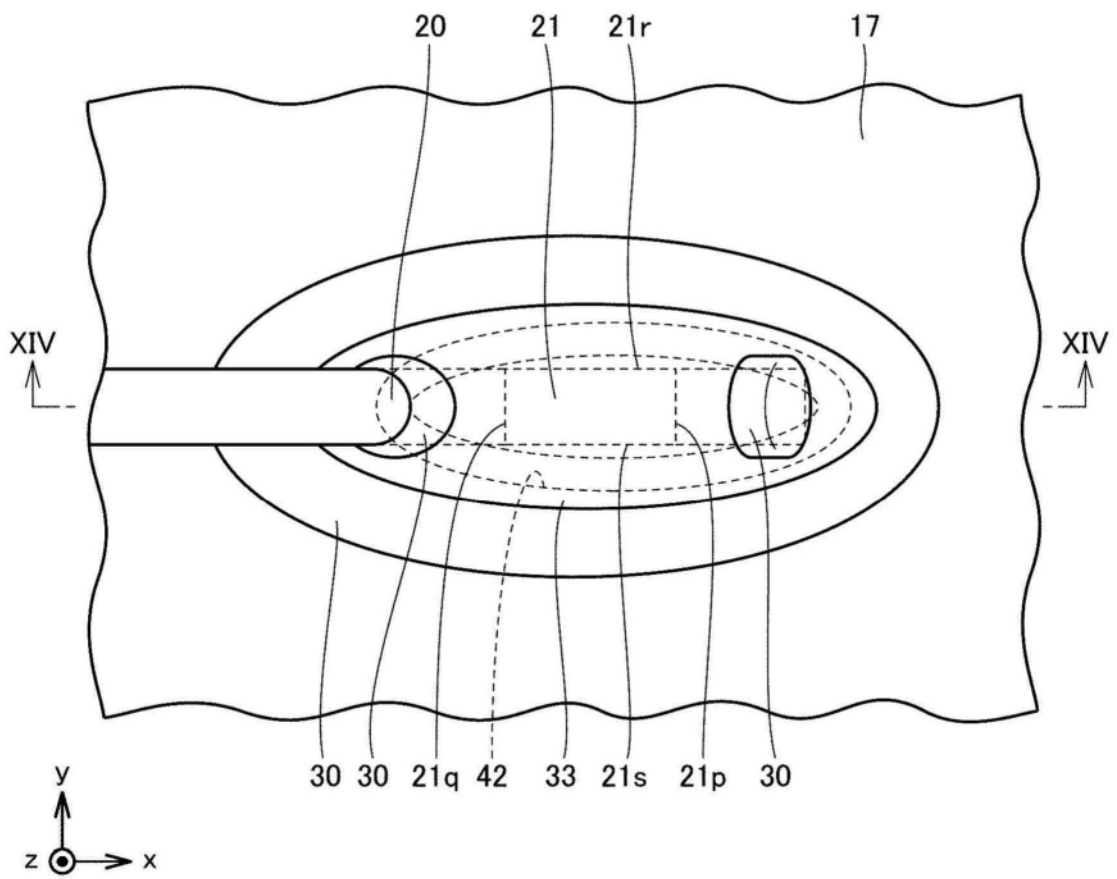


图15

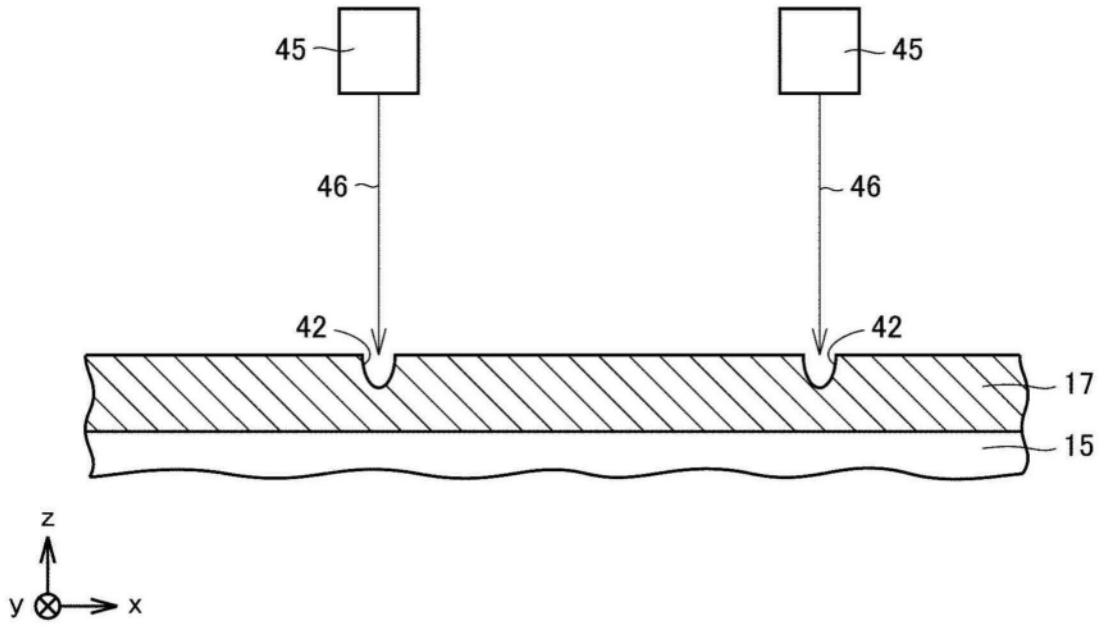


图16

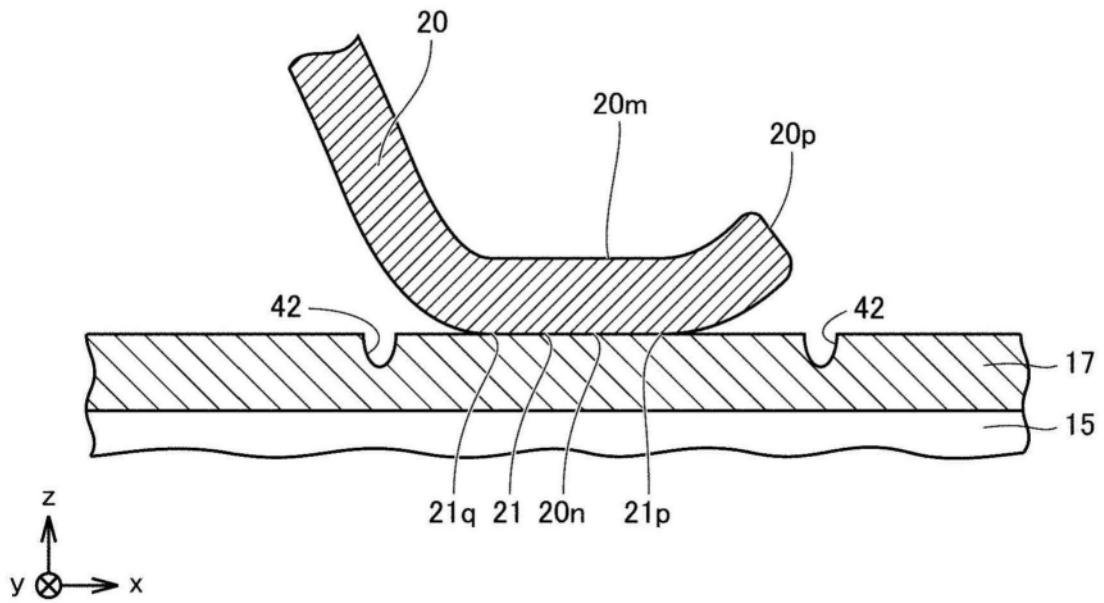


图17

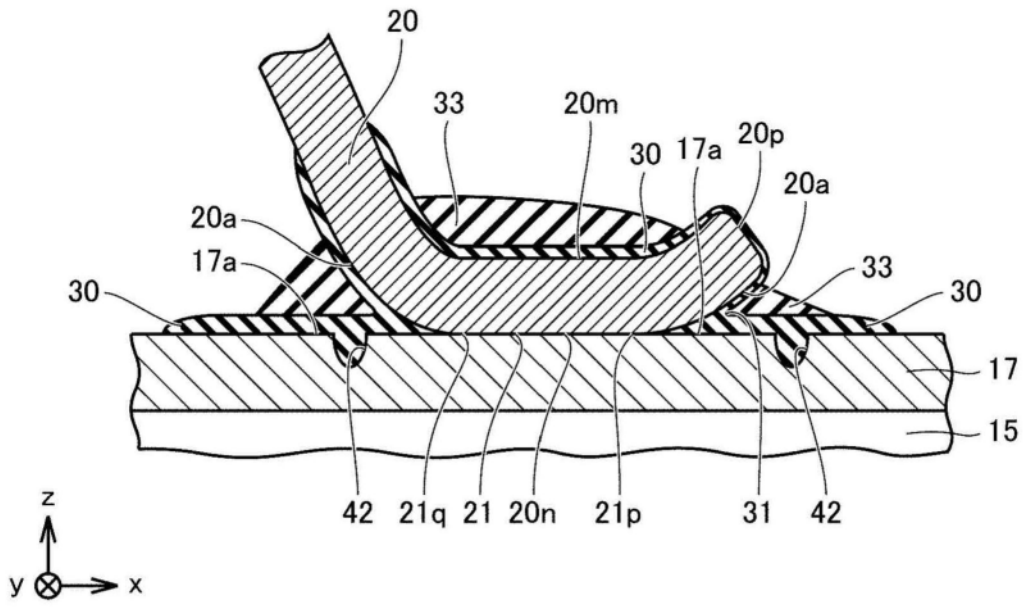


图18

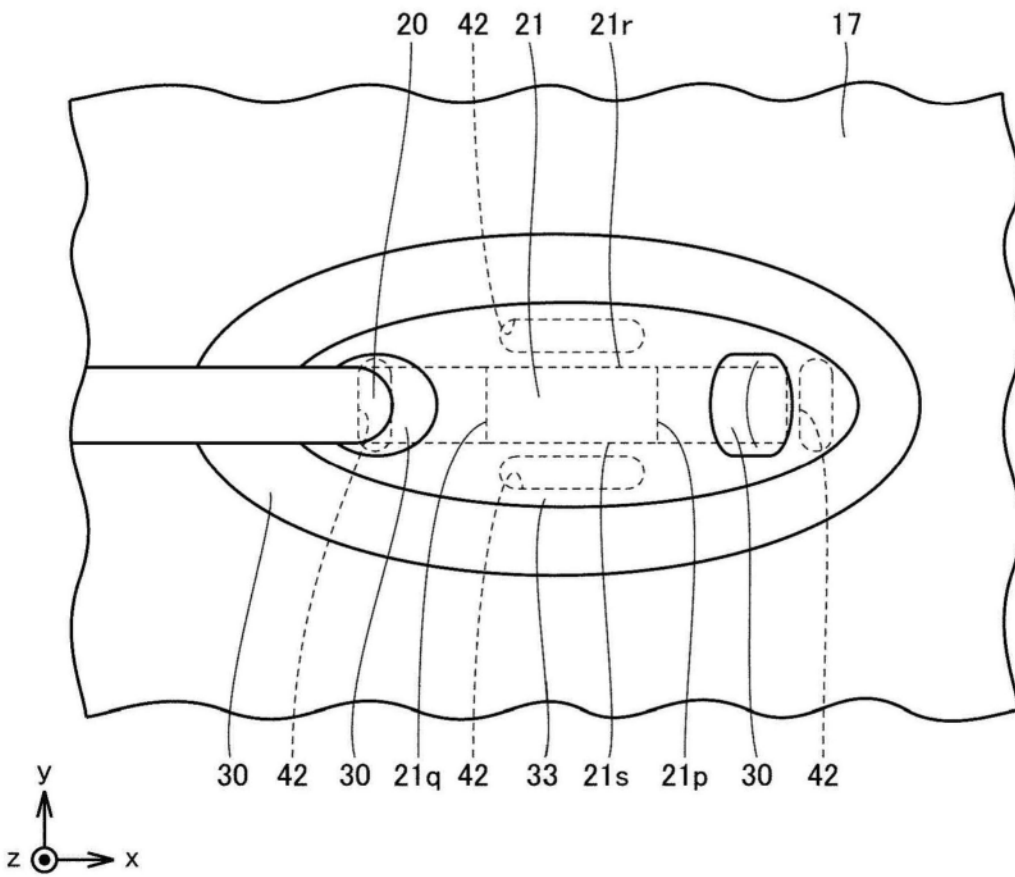


图19

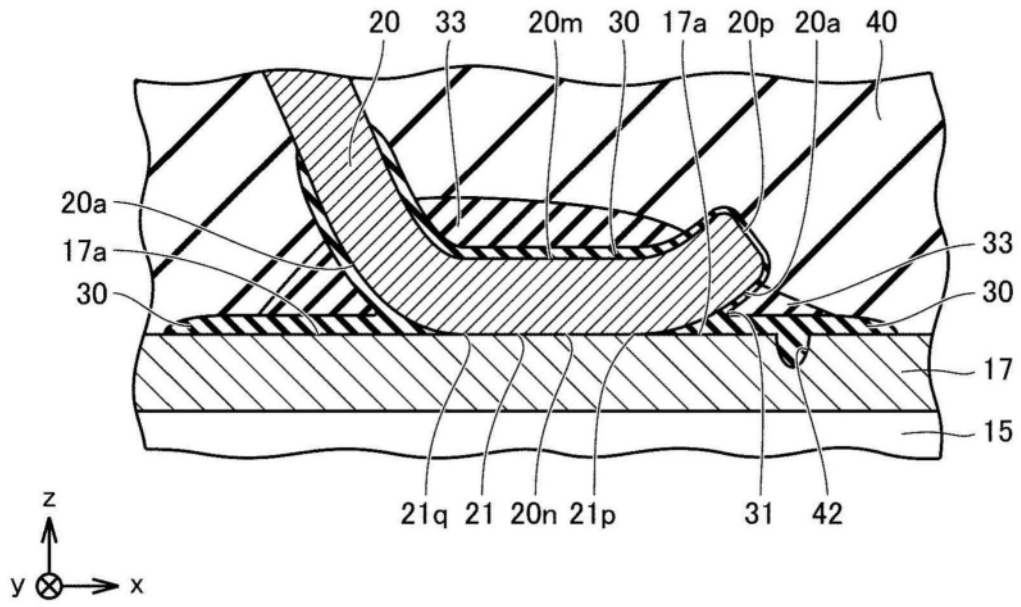


图20

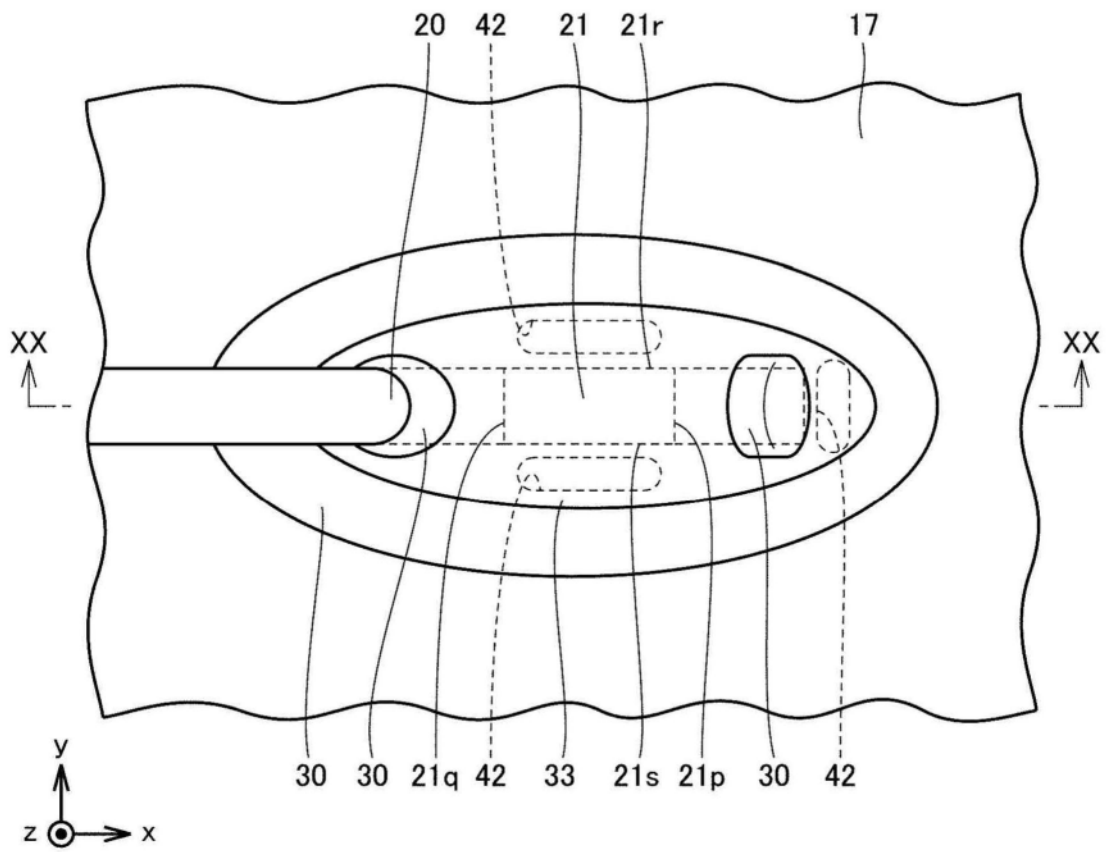


图21

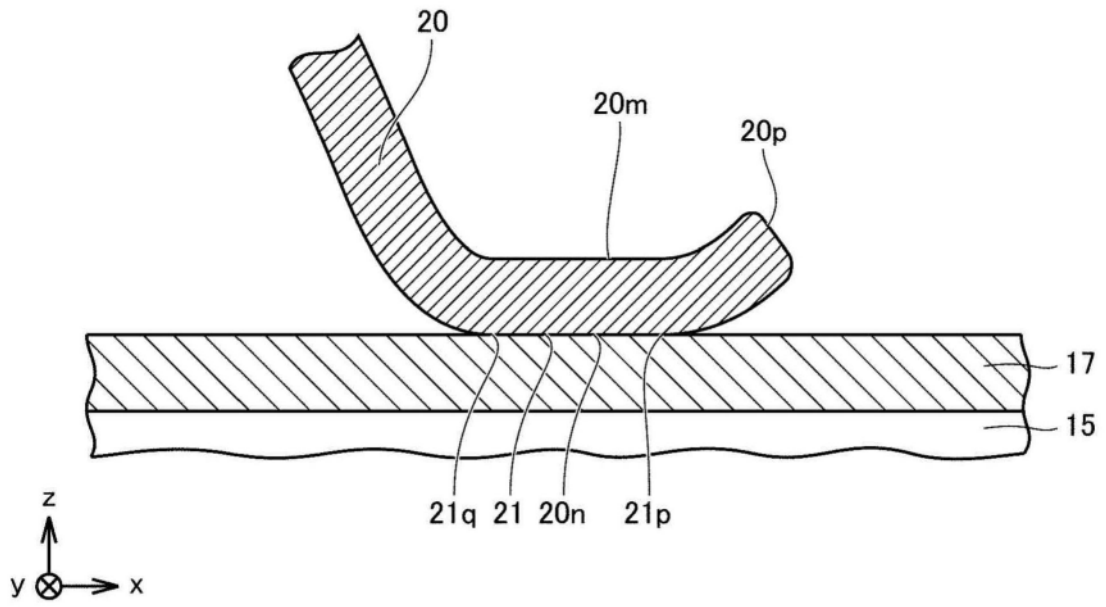


图22

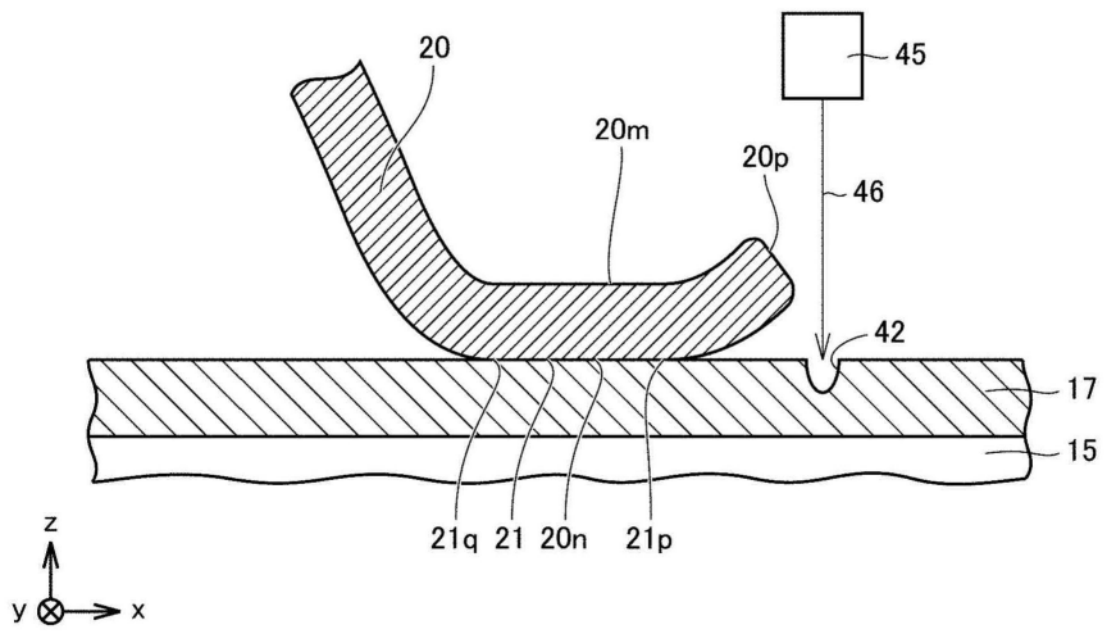


图23

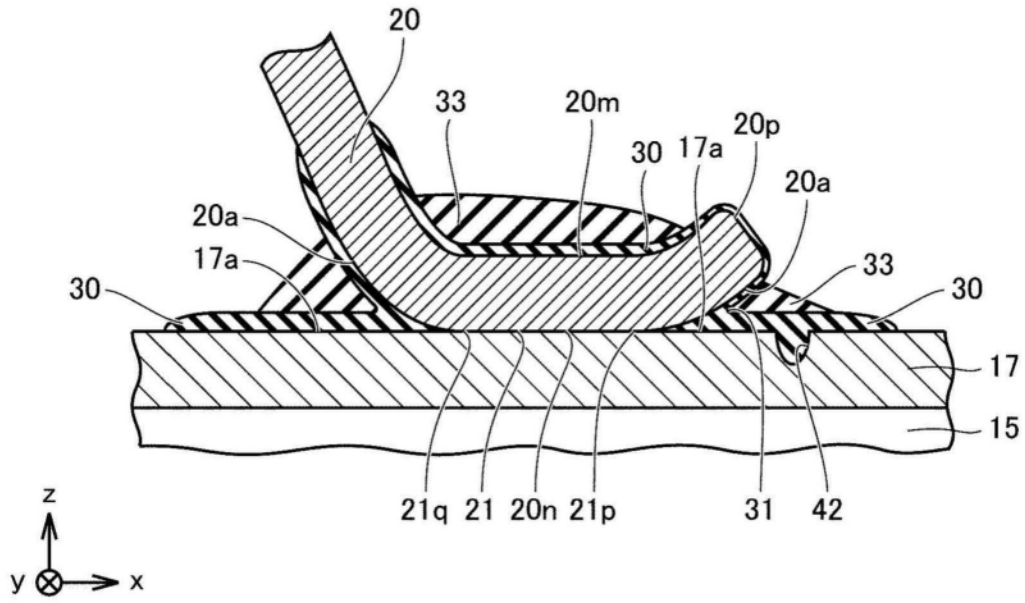


图24

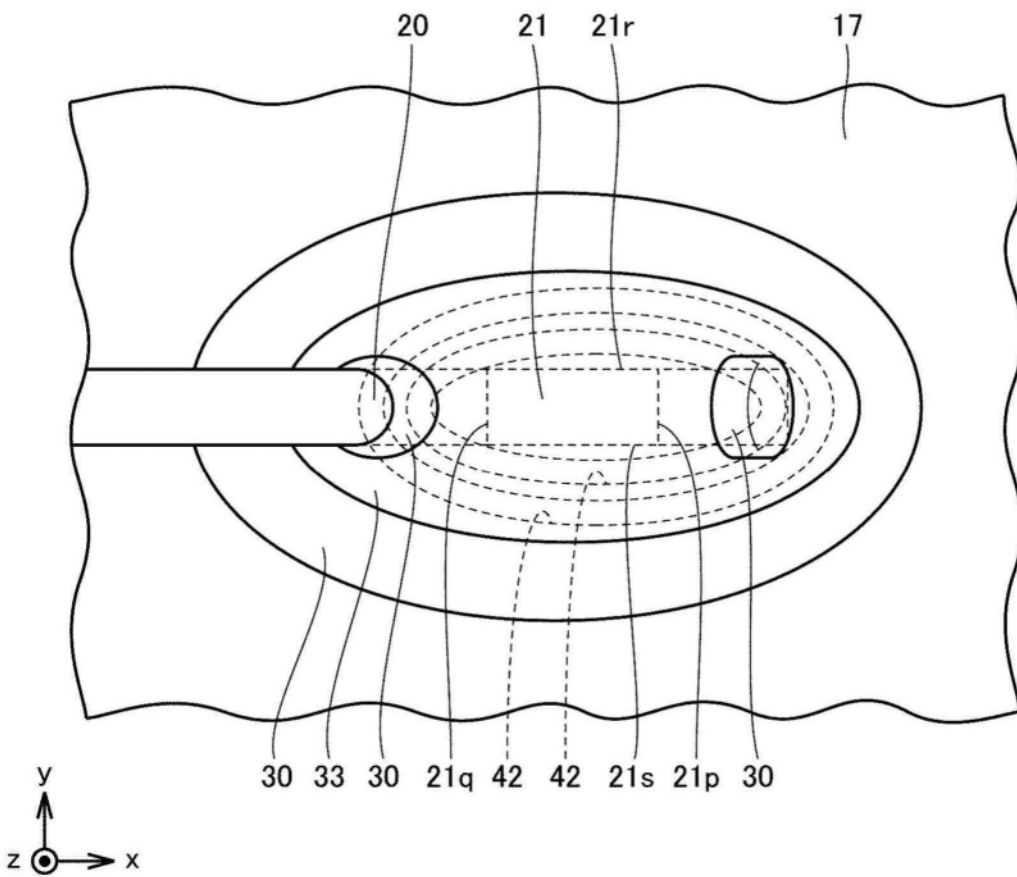


图25

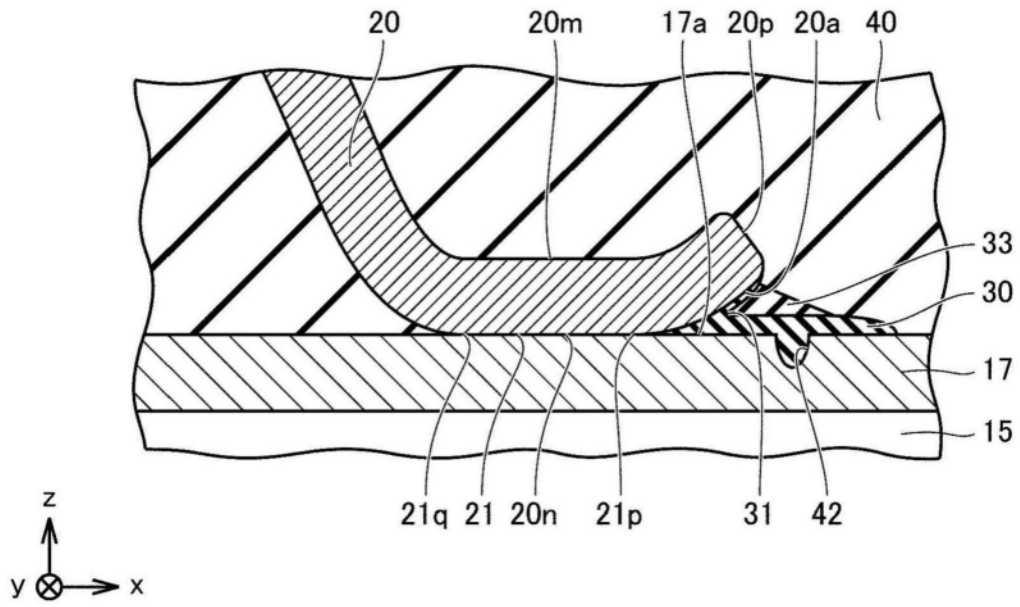


图26

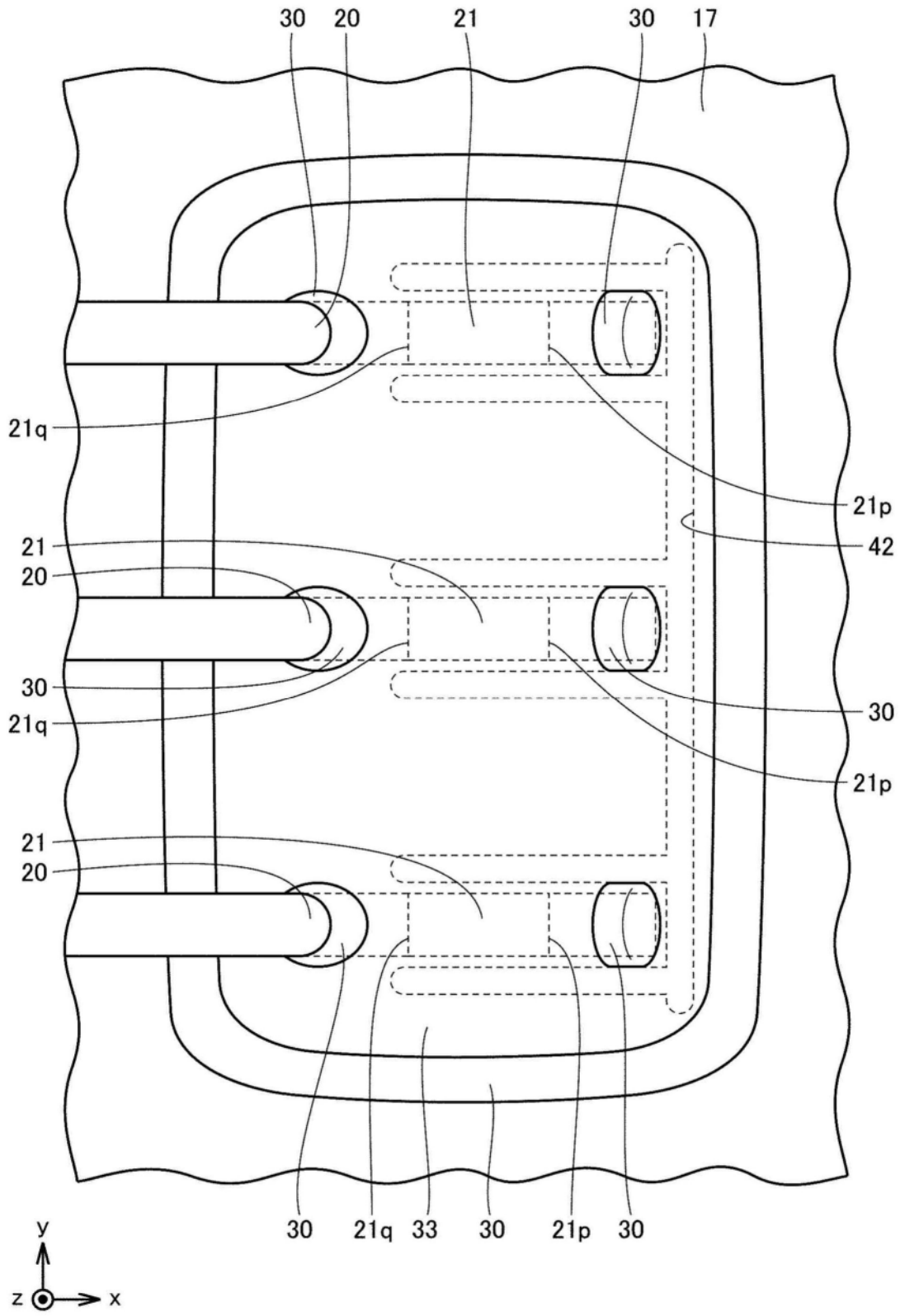


图27

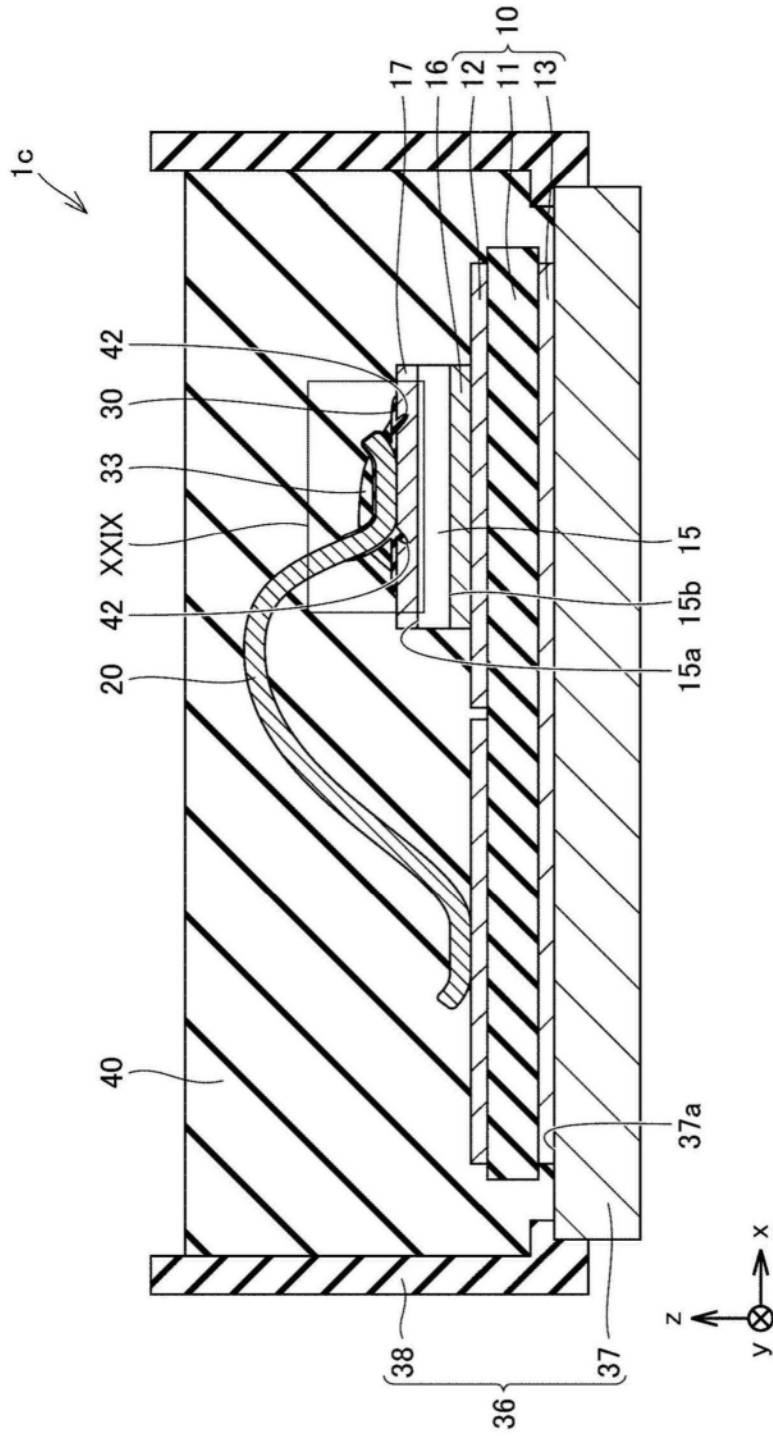


图28

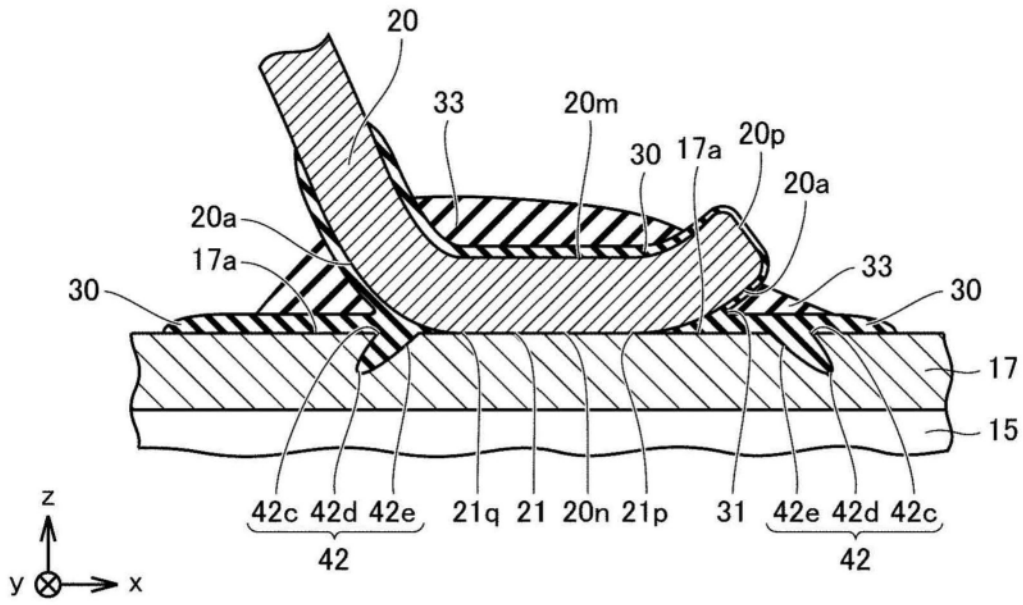


图29

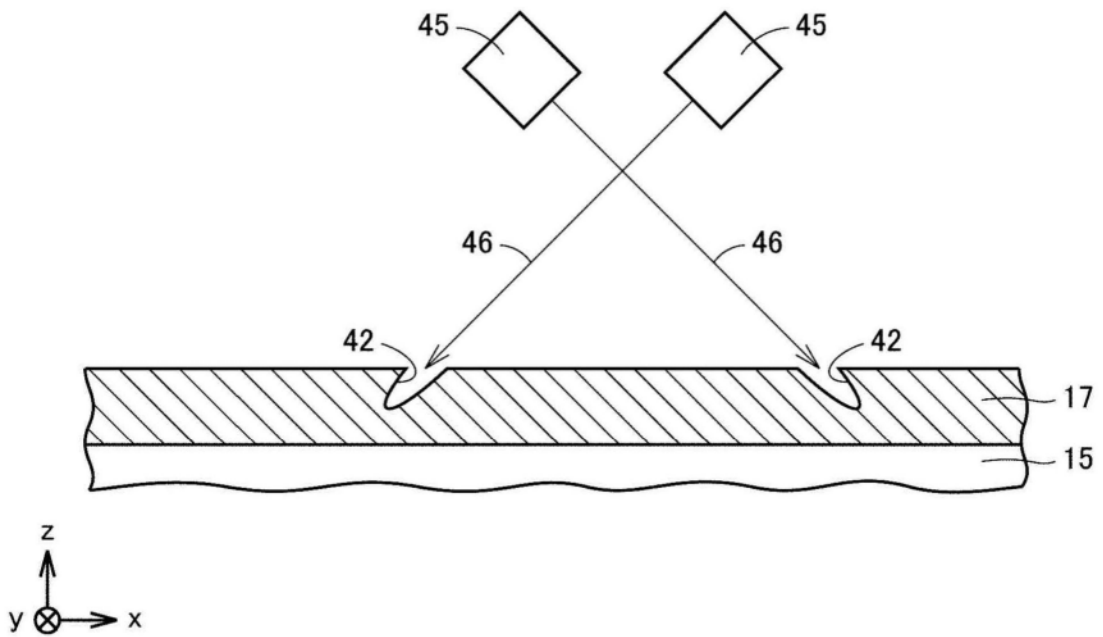


图30

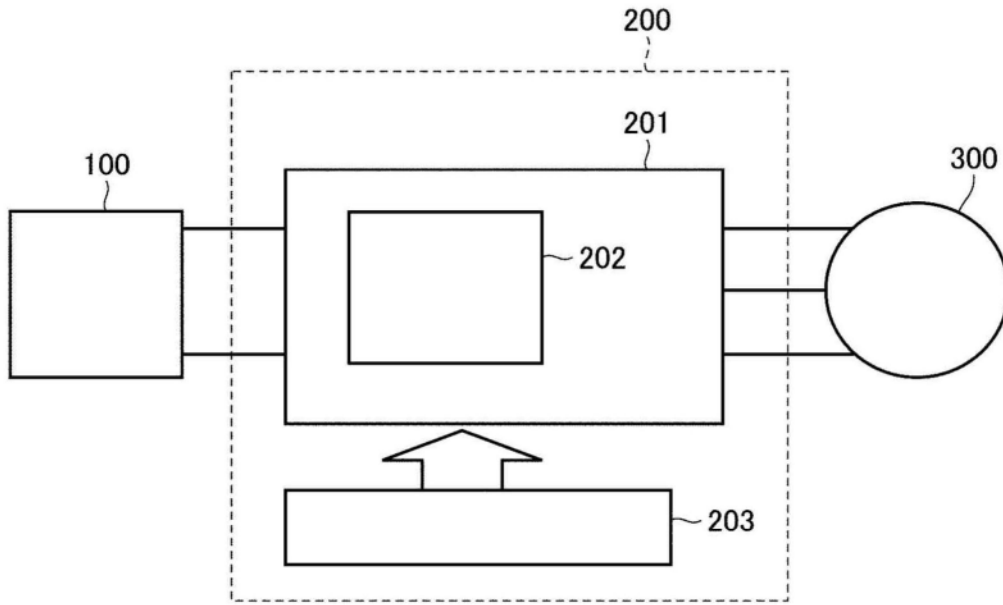


图31