

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 7 月 2 日 (02.07.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/134332 A1

(51) 国际专利分类号:
H01P 1/213 (2006.01) **H01P 11/00** (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/110360

(22) 国际申请日: 2019 年 10 月 10 日 (10.10.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201811642899.1 2018 年 12 月 29 日 (29.12.2018) CN

(71) 申请人: 清华大学(TSINGHUA UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清华园 1 号, Beijing 100084 (CN)。 同方威视技术股份有限公司(NUCTECH COMPANY LIMITED) [CN/CN]; 中国北京市海淀区双清路同方大厦 A 座 2 层, Beijing 100084 (CN)。

(72) 发明人: 李元景(LI, Yuanjing); 中国北京市海淀区双清路同方大厦 A 座 2 层, Beijing 100084 (CN)。 胡海帆(HU, Haifan); 中国北京市海淀区双清路同方大厦 A 座 2 层, Beijing 100084 (CN)。 赵自然(ZHAO, Ziran); 中国北京市海淀区双清路同方大厦 A 座 2 层, Beijing 100084 (CN)。 马旭明

(MA, Xuming); 中国北京市海淀区双清路同方大厦 A 座 2 层, Beijing 100084 (CN)。

(74) 代理人: 中科专利商标代理有限公司(CHINA SCIENCE PATENT & TRADEMARK AGENT LTD.); 中国北京市海淀区西三环北路 87 号 4-1105 室, Beijing 100089 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,

(54) Title: TERAHERTZ MIXER, METHOD FOR MANUFACTURING SAME, AND ELECTRONIC DEVICE COMPRISING SAME

(54) 发明名称: 太赫兹混频器及其制造方法及包括该混频器的电子设备

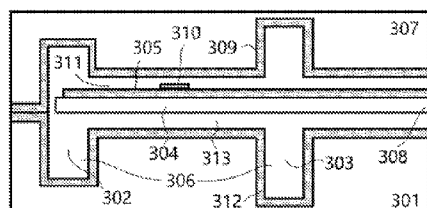


图 3

(57) Abstract: Disclosed are a terahertz mixer, a method for manufacturing same, and an electronic device comprising same. According to embodiments, the terahertz mixer comprises: a cavity used for forming a radio frequency input waveguide and a local oscillator input waveguide separately, and used for accommodating a suspended microstrip, wherein a step is formed on the inner side surface of the cavity; and the suspended microstrip formed by means of a semiconductor growth process and bridged over at least a portion of the step. The suspended microstrip respectively extends to the cavity in which the radio frequency input waveguide and the local oscillator input waveguide are located, to respectively form a microstrip antenna for receiving a radio frequency input signal and a local oscillator input signal.

(57) 摘要: 公开了一种太赫兹混频器及其制造方法及包括该混频器的电子设备。根据实施例, 该太赫兹混频器包括: 腔体, 用于分别形成射频输入波导和本振输入波导, 以及用于容纳悬置微带线, 在腔体的内侧表面上形成有台阶; 悬置微带线, 通过半导体生长工艺形成并跨接在台阶的至少一部分上, 悬置微带线分别延伸至射频输入波导和本振输入波导所在腔体内, 以分别形成用于接收射频输入信号和本振输入信号的微带线天线。



IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

太赫兹混频器及其制造方法及包括该混频器的电子设备

本申请要求于 2018 年 12 月 29 日提交的、申请号为 201811642899.1 的中国专利申请
的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本公开涉及通信领域，具体地，涉及太赫兹混频器及其制造方法及包括该混频器
的电子设备。

背景技术

近年来，太赫兹技术作为重要的研究领域，在国内外已经受到越来越广泛的关注。
从太赫兹波的大气传输特性中可以看出，在 183GHz、320GHz、380GHz、664GHz 附近
存在水分子吸收窗口，是用来探测大气湿度轮廓线的关键频段；在 94GHz、140GHz、
220GHz 毫米波传播受到衰减较小，基于点对点通信而被低空空地导弹和地基雷达所采
用。因而针对这些频段的研究非常重要。

无论太赫兹波应用于哪个方面以及哪个频段，都离不开对太赫兹波的接收，对于最
为常用的基于超外差体制的接收机来说，实现频率下变频作用的混频器是其中的一个关
键部件。在固态太赫兹雷达和通信等系统中，由于低噪声放大器实现较为困难，混频器
就成为了接收端的第一级，所以混频器性能的好坏直接关系到整个接收机系统的性能。
同时，由于同频段高性能本振源实现难度大，所以采用分谐波混频技术是解决此问题的
有效途径。在仅有的几类可工作于太赫兹频段的混频器中，只有基于平面肖特基二极管
的太赫兹分谐波混频器可工作于室温，无需提供如液氮等以实现苛刻的低温环境，因而
获得了较为普遍的应用。

针对 100GHz~500GHz 的太赫兹波段范围，目前主要的接收机方案之一是超外差式
接收机，尤其当频率高于 200GHz 时，基于硅基 CMOS 工艺和硅锗 CMOS 工艺的混频
器变频损耗较大，还不适合应用，所以仍主要依赖于平面封装的砷化镓肖特基二极管的
太赫兹分谐波混频器。

现有技术中平面封装的砷化镓肖特基二极管的太赫兹分谐波混频器的方案主要包
括以下几种：方案 1 是将砷化镓肖特基二极管倒装键合在石英基板微带线上，外围是金

属腔体。该方案简单易行，但缺点也较为明显，肖特基二极管倒装键合需采用导电胶或金丝绑定，其与微带线间的对准精度不好把控。石英微带线与金属腔体装配也存在对准误差。金属腔体加工随着频率的上升难度也逐渐增大，有些尺寸及角度很难实现。方案2是基于砷化镓的单片集成二次谐波混频器链路结构（肖特基二极管与微带线都采用砷化镓基片同步加工），外围是金属腔体。该方案可避免二极管与微带线的对准问题，但砷化镓基微带线与金属腔体装配也存在对准误差。整体加工成本相对于方案1较高。方案3是采用硅基微机械工艺加工腔体结构，肖特基二极管和微带线仍采用方案1和方案2中的常规方式。该方案可以降低混频器的整体重量，且同时能够保障腔体内尺寸，但微带线与腔体结构间的对准问题仍没有得到很好解决。

发明内容

有鉴于此，本公开的目的至少部分地在于提供一种能够很好地保证微带线与腔体之间的对准精度的太赫兹混频器及其制造方法以及包括该太赫兹混频器的电子设备。

根据本公开的一个方面，提供了太赫兹混频器，包括：腔体，用于分别形成射频输入波导和本振输入波导，以及用于容纳悬置微带线，在腔体的内侧表面上形成有台阶；悬置微带线，通过半导体生长工艺形成并跨接在台阶的至少一部分上，悬置微带线分别延伸至射频输入波导和本振输入波导所在腔体内，以分别形成用于接收射频输入信号和本振输入信号的微带线天线。

根据本公开的另一方面，提供了一种制造太赫兹混频器的方法，包括：在硅基体或砷化镓基体上形成沟槽结构，沟槽结构包括台阶；在硅基体或砷化镓基体的内侧表面和沟槽的侧壁上形成金属层；跨接在台阶的至少一部分上形成悬置微带线。

根据本公开的第三方面，还提供了一种电子设备，包括由上述的太赫兹混频器形成的集成电路。

根据本公开的实施例，通过采用在混频腔体内直接生长形成悬置微带线的介质基片，并通过光刻及腐蚀工艺确定介质基片（即二氧化硅基板）及金属层的尺寸及位置，从而保证悬置微带线与腔体的对准精度，提高悬置微带线混频器的工作性能。由于悬置微带线的介质基片直接生长在混频腔体内，其与底部的金属层形成良好接触，避免了目前采用导电银胶涂抹不均匀或存在气泡等问题，保证了混频器加工工艺的可控性，提高了悬置微带线混频器的工作性能。同时，由于采用了大部分处于悬浮状态的悬置微带线，从

而具有比常规微带线更高的 Q 值，接近于无色散。

附图说明

通过以下参照附图对本公开实施例的描述，本公开的上述以及其他目的、特征和优点将更为清楚，在附图中：

图 1 示出了根据本公开的实施例的太赫兹混频器的结构示意图；

图 2a 和图 2b 示出了沿图 1 中的 A-A' 截取的根据本公开的实施例的示例截面视图；

图 3 示出了沿图 1 中的 B-B' 截取的根据本公开的实施例的示例截面视图；

图 4a 和图 4b 示出了沿图 1 中的 A-A' 截取的根据本公开的实施例的另一示例截面视图；

图 5 示出了沿图 1 中的 B-B' 截取的根据本公开的实施例的另一示例截面视图；

图 6a 至图 6d 示出了根据本公开的实施例的制造太赫兹混频器的流程的示意图；以及

图 7 示出了根据本公开的实施例的肖特基二极管的局部放大图。

贯穿附图，相同或相似的附图标记表示相同或相似的部件。

具体实施方式

根据本公开的实施例的太赫兹混频器主要采用硅基微纳加工工艺和微机械加工工艺实现太赫兹单片集成式悬置微带线混频器。悬置微带线混频器，结构上与常规的微带线混频器类似，只是大部分微带线底部处于悬浮状态，介质基板不与地接触而悬置在空气中，所以其电磁场的大部分处于空气中，介质影响不大，其有效介电常数接近于 1，从而其特性参量接近空气中的参量，线中损耗大大减小，且具有比常规微带线更高的 Q 值，接近于无色散。关于该太赫兹混频器的整体结构的实施例如图 1 所示。

该太赫兹混频器是单片集成悬置微带线混频器，主要包括腔体结构和悬置微带线电路结构。腔体用于分别形成射频输入波导和本振输入波导，以及用于容纳悬置微带线，在腔体的内侧表面上形成有台阶，用于支撑悬置微带线的介质基片。如图 1 所示，由硅基（也可以为砷化镓基，本公开的实施例不限于此）构成表面存在金属层的腔体结构、射频输入波导结构 101 和本振输入波导结构 102。在金属层所包围的腔体内放置悬置微带线电路结构。悬置微带线电路结构通过半导体生长工艺形成并跨接在台阶的至少一部

分上，因此悬置微带线的大部分结构处于悬浮的状态。悬置微带线电路的一部分分别延伸至射频输入波导和本振输入波导所在腔体内，以分别形成用于接收射频输入信号和本振输入信号的微带线天线。

悬置微带线电路由介质基片和导带金属构成，其中，介质基片通过半导体生长工艺形成并跨接在台阶的至少一部分上，导带金属进一步通过半导体生长工艺形成在介质基片的顶部表面的至少一部分上。如图 1 所示，形成有介质基片（例如二氧化硅）110，在介质基片（例如二氧化硅）110 上形成有微带电路的导带金属层 111。

在本公开的其他实施例中，介质基片还可以采用氮化硅基片或砷化镓基片等其他绝缘物材料，本公开的实施例不限于此。

进一步地，在导带金属层 111 上包含肖特基二极管键合的对准标记，在微带电路上设置有砷化镓肖特基二极管 109，其中二极管可以为倒装键合也可以为正面键合，还可以通过特殊工艺将肖特基二极管结构直接生长在二氧化硅基片上，且肖特基二极管金属与悬置微带线金属连接。混频器中其他部分构成及尺寸参数可参考现有技术，或其他文献或专利。

上述混频器的工作过程包括，需要接收的太赫兹信号，通过射频输入波导结构 101，在波导-过渡-悬置微带线结构中，将太赫兹信号传输到悬置微带线的天线结构 104 中；由本振输入波导端口 102 进入的本振信号，经过双工器的微带过渡结构 107，和本振低通滤波器结构 106 后，在砷化镓肖特基二极管 109 中与射频信号发生混频，射频信号与本振的二次谐波进行混频，做差后的中频信号，经过中频滤波器结构 108 到达中频输出端口 103，再由外加的 SMA 接头传输到负载上。为了避免肖特基二极管对的非一致性而产生的直流偏量，由微带电路中引出接金属腔体的接地线结构 105。其中悬置微带线基板（即介质基片）110 为二氧化硅结构，其上为用于形成微带电路的金属 111。由射频输入波导 101，本振输入波导 102 和内部悬置微带线放置的空间共同构建的腔体结构由金属层包裹，且金属层外围是硅基材质 112。

射频信号和本振信号分别从各自端口馈入，经过渡到悬置微带线并经相应匹配网络后加载到混频二极管上，由于本振信号频率低于射频端口波导截止频率，所以本振信号不会从射频端口处泄漏，而射频信号由于本振低通滤波器（通本振频率、阻射频频率）的存在而不会从本振端口泄漏，从而实现这两个端口间的隔离。混频产生的中频信号从本振双工器通过一个微带低通滤波器输出。

下面结合更具体的示例对本方案的具体内容进行说明，应理解，图中尺寸与比例仅用于说明，与实际结构无关。

参考图 2a 和图 2b，其为图 1 中沿 A-A' 截取的截面视图。该方案的悬置微带线结构同时嵌入到顶部晶圆片 204 和底部晶圆片 201 的内部。其中，图 2a 不存在悬置微带电路接地结构部分，图 2b 存在悬置微带电路接地结构部分。硅基晶圆片 201 中存在沟槽结构 207，且在沟槽结构的侧壁及晶圆表面上生长金属层 208，与带有沟槽结构的生长金属层 202 的硅基晶圆片 204 构成了腔体结构 206。而腔体内存在二氧化硅层基片结构 203，其上生长金属层 205，构成悬置微带电路结构。

参考图 3，其为图 1 中沿 B-B' 截取的截面视图。与图 2a 和图 2b 为同一方案。硅基晶圆片 301 上有沟槽结构，且在沟槽与表面生长金属层 312；硅基晶圆片 307 上有沟槽结构，且在沟槽与表面生长金属层 309。金属键合构成了腔体结构 306，其中射频输入波导 302，本振输入波导 303 和悬置微带线腔体部分 311 由上下两片硅基晶圆片 301 和 307 键合而构成，可以在空间上反向引出，如图 1 所示。腔体内存在二氧化硅层基片结构 304，其上生长金属层 305，构成悬置微带电路结构。肖特基二极管对 310 在悬置微带线上放置，而其中频输出端口 308 则在旁侧引出。

参考图 4a 和图 4b，其为图 1 中沿 A-A' 截取的截面视图的另一示例方案，悬置微带线嵌入到底部晶圆片 401 内部。其中，图 4a 不存在悬置微带电路接地结构部分，图 4b 存在悬置微带电路接地结构部分。带有沟槽结构的硅基晶圆片 401 上生长金属层 402，与生长金属层 402 的硅基晶圆片 404 构成了腔体结构 406 和 407。而腔体内存在二氧化硅层基片结构 403，其上生长金属层 405，构成悬置微带电路结构。

参考图 5，其为图 1 中沿 B-B' 截取的截面视图。与图 4a 和图 4b 为同一方案。硅基晶圆片 501 上有沟槽结构，且在沟槽与表面生长金属层 509；硅基晶圆片 507 上有沟槽结构，且在沟槽与表面生长金属层 509。金属键合构成了腔体结构，其中射频输入波导 502，本振输入波导 503 和悬置微带线腔体部分 511 由上下两片硅晶圆片 501 和 507 键合而构成，可以在空间上反向引出，如图 1 所示。腔体内存在二氧化硅层基片结构 504，其上生长金属层 505，构成微带电路结构。肖特基二极管对 510 在悬置微带线上放置，而其中频输出端口 508 则在旁侧引出。

容易理解的是，可以根据实际设计的需要，而选择将硅基单片集成悬置微带线混频器的内部悬置微带线结构嵌入到顶部晶圆片空间内或底部晶圆片空间内。

另外，硅基单片集成悬置微带线混频器的直流接地部分，可以从悬置微带线的侧边引出，可以在其他的位置引出（例如可以在射频输入波导口与本振输入波导口之间），本公开对此不做限定。但当在其他位置引出时，需要对悬置微带线的整体阻抗匹配重新优化。

下面结合图 6a 至图 6d，以图 2a、图 2b 和图 3 中的混频器的结构为例，对混频器的制造方法进行说明。

参考图 6a，采用高阻硅晶圆 601 制备混频器的腔体结构及内部微带电路的支撑结构。该高阻硅晶圆的电阻率为 $1\sim 10\text{K}\Omega\cdot\text{cm}$ ，厚度为 100 微米~2000 微米。首先通过深沟槽刻蚀技术对高阻硅晶圆片 601 进行沟槽刻蚀，由于深沟槽结构的深度不同，可能需要单独刻蚀，也可以通过深宽度调整，同时进行沟槽刻蚀。沟槽刻蚀深度可以为 30 微米~1500 微米，沟槽倾斜角度的范围为 $88^\circ\sim 90^\circ$ ，具体尺寸需根据标准矩形波导口和设计参数共同确定。刻蚀出两个深沟槽结构后，可采用角度溅射或蒸镀等方式生长金属，保证在硅晶圆片 601 上的沟槽侧壁和表面都形成金属层 602，之后采用电镀等方案将金属层生长至需要的厚度，约 0.5 微米~5 微米，保证电磁波传输的趋附深度。然后在表面生长牺牲材料或阻挡层，再采用化学机械平坦化工艺将表面打平至金属层。这样深沟槽结构中填充牺牲材料 603，在后面形成波导输入端口时需要腐蚀干净。图 6a 分别给出该步工艺在图 1 的 A-A' 和 B-B' 位置的截面示意图。

参考图 6b，在上步工艺的基础上，生长一层二氧化硅层 604，厚度大约 10 微米~100 微米之间，由于生长厚度较厚，可采用低压力化学气相沉积法，或者等离子体增强化学的气相沉积法生长，这样该二氧化硅层便可以致密的生长在金属及牺牲材料之上。然后通过光刻工艺，将其余不需要二氧化硅区域的材料进行腐蚀，并清洗干净。然后，再通过溅射或蒸镀等方式生长金属，保证二氧化硅层 604 表面都形成金属层 605，之后采用电镀等方案将金属层生长至需要的厚度，约 0.5 微米~5 微米，保证电磁波传输的趋附深度。然后再通过光刻工艺，将其余不需要金属的区域进行腐蚀或剥离，并清洗干净。这样二氧化硅层 604 和金属层 605 便构成了微带线结构。具体二氧化硅层 604 的厚度及图形尺寸，以及金属层 605 的厚度及图形尺寸，可根据系统整体设计指标来确定。图 6b 分别给出该步工艺在图 1 的 A-A' 和 B-B' 位置的截面示意图。

参考图 6c，在上步的工艺基础上，对硅晶圆片 601 深沟槽结构中的牺牲材料 603 进行腐蚀，并保证清洗干净。在牺牲材料腐蚀之后，沟槽结构 606 上方的二氧化硅层 604

和金属层 605 将会处于悬置状态，且底部没有金属层结构，所以可直接根据要求对结构进行设计，从而形成悬置微带线天线结构，对输入的射频信号和本振信号向悬置微带线传输提供过渡。同时，用另一片高阻硅晶圆 607 制备混频器的腔体结构。该高阻硅晶圆的电阻率为 $1\sim 10\text{K}\Omega\cdot\text{cm}$ ，厚度为 100 微米~2000 微米。首先通过深沟槽刻蚀技术对高阻硅晶圆片 607 进行沟槽刻蚀，需要分别对三个区域进行沟槽刻蚀：射频输入波导口区域 610，本振输入波导口区域 611，以及悬置微带线腔体上盖区域 609。由于深沟槽结构的深度不同，可能需要单独刻蚀，也可以通过深宽度调整，同时进行沟槽刻蚀。沟槽刻蚀深度可以为 30 微米~1500 微米，沟槽倾斜角度的范围为 $88^\circ\sim 90^\circ$ ，具体尺寸需根据标准矩形波导口和设计参数共同确定。刻蚀出三个深沟槽结构后，可采用角度溅射或蒸镀等方式生长金属，保证在硅晶圆片 607 上的沟槽侧壁和表面都形成金属层 608，之后采用电镀等方案将金属层生长至需要的厚度，约 0.5 微米~5 微米，保证电磁波传输的趋附深度。图 6c 分别给出该步工艺在图 1 的 A-A' 和 B-B' 位置的截面示意图。

参考图 6d，在上步工艺的基础上，将硅晶圆片 607 与硅晶圆片 601 倒置对准，可通过定位孔或光刻对位标记等，保证精度控制在 1~5 微米以内。对准后，可采用晶圆级低温金扩散键合等工艺，将两块晶圆完全贴合；也可以对单颗混频器单元进行金扩散键合工艺，将上下两层晶圆完全贴合。这样，通过上下沟槽结构对准键合后，分别利用之前刻蚀并生长金属层的结构，形成了射频输入波导口 610，本振输入波导口 611，以及悬置微带线腔体上盖区域 609。在另一端还形成了中频输出端 612。在整体结构上，形成了拥有三个端口的腔体结构，三个端口分别对应图 1 中的 101 射频输入、102 本振输入、103 中频输出。且在该腔体中同样存在射频输入短路面和本振输入短路面，具体尺寸可根据设计要求进行调整。

需要说明的是，射频输入波导的波导口的引出方向和本振输入波导的波导口的引出方向可以与悬置微带线所在平面的法线方向平行（H 面探针）或与悬置微带线所在平面的法线垂直（E 面探针）。

参考图 7，为图 1 肖特基二极管部分的局部放大示意图。二氧化硅基底 701 上生长的金属层 702 整体构成了悬置微带线结构。肖特基二极管 703 倒装键合需采用导电胶或金丝绑定，或者在前面的制备过程中，通过特殊工艺直接在二氧化硅 701 上生长肖特基二极管结构 703。如果肖特基二极管需要键合，则在金属层 702 生长好并光刻后，根据将要使用的肖特基二极管外形尺寸，在金属层 702 上制作对准标记 704，该对准标记可

以为金属图案，也可以为二氧化硅等绝缘材料图案，该图案可以为十字形标记，也可以为其他方便对准肖特基二极管的标记。该对准标记可以限定肖特基二极管的放置位置，并确定角度偏移可控。然后再采用导电胶或金丝绑定等手段将肖特基二极管固定在悬置微带线上。

根据本公开的实施例，将二氧化硅基板直接生长在混频器腔体内，并可通过光刻及腐蚀工艺确定二氧化硅基板及金属层的尺寸及位置，从而保证悬置微带线与腔体的对准精度，提高悬置微带线混频器的工作性能。

根据本公开的实施例，将二氧化硅基板直接生长在混频器腔体内，其底部受沟槽结构的两侧结构支撑，并与金属层形成良好接触，避免了目前采用导电银胶涂抹不均匀或存在气泡等问题，保证了混频器加工工艺的可控性，提高悬置微带线混频器的工作性能。

根据本公开的实施例，肖特基二极管为直接接地结构，采用金属层光刻及腐蚀等工艺，令其与悬置微带线旁侧的金属层短路，可以精确控制短路线的外形尺寸，避免了导电银胶或金丝绑定等工艺不确定因素的引入，为混频器前期设计与性能测试的一致性，提供了有力保障。

根据本公开的实施例的混频器腔体结构，采用基于微机械加工的硅基材料，相比当前黄铜材料，大大降低了成本及器件的整体重量；悬置微带线采用二氧化硅或氮化硅等绝缘材料，其与硅基工艺兼容性很好，在保证工艺的稳定性的同时，降低了加工成本；此外，该类硅基混频器器件，还可以与其他有源或无源器件直接集成，如低噪声放大器，检波器，和外围偏置电路等。为进一步系统集成化做好了前期铺垫。

根据本公开的实施例的混频器腔体结构，采用深沟槽刻蚀工艺，可以精确的控制内部腔体的尺寸，突破了金属腔体小尺寸加工的极限问题，为更高频率的混频器应用提供了设计思路。本发明中混频器腔体结构，也可与石英基板悬置微带线，或单片集成砷化镓基板悬置微带线组合使用，根据本公开的实施例的硅基单片集成悬置微带线混频器类型并不限定。可以是单端、单平衡、双平衡、三平衡或 I/Q 等无源混频器，也可以是有源倍频器。极大地提高了系统设计的灵活性。

根据本公开实施例的太赫兹混频器可以应用于各种电子设备。例如，通过集成多个这样的混频器以及其他器件（例如，其他形式的晶体管等），可以形成集成电路（IC），并由此构建电子设备。因此，本公开还提供了一种包括上述太赫兹混频器的电子设备。电子设备还可以包括与集成电路配合的显示屏幕以及与集成电路配合的无线收发器等

部件。这种电子设备例如智能电话、计算机、平板电脑 (PC)、可穿戴智能设备、移动电源等。

另外,硅基单片集成器件结构及方式并不限于混频器的应用,也可应用在倍频器中。

同现有技术相比,本发明实施例的太赫兹硅基单片集成悬置微带线混频器,在提高混频器加工精度的同时,降低了器件重量及成本,提高了混频器性能,并为其进一步系统化集成提供了有利条件。

尽管以上已经结合本申请的优选实施例示出了本申请,但是本领域的技术人员将会理解,在不脱离本申请的精神和范围的情况下,可以对本申请进行各种修改、替换和改变。因此,本申请不应由上述实施例来限定,而应由所附权利要求及其等价物来限定。

权 利 要 求

1. 一种太赫兹混频器，包括：

腔体，用于分别形成射频输入波导和本振输入波导，以及用于容纳悬置微带线，在所述腔体的内侧表面上形成有台阶；

悬置微带线，通过半导体生长工艺形成并跨接在所述台阶的至少一部分上，所述悬置微带线分别延伸至所述射频输入波导和所述本振输入波导所在腔体内，以分别形成用于接收射频输入信号和本振输入信号的微带线天线。

2. 根据权利要求1所述的太赫兹混频器，其中，所述悬置微带线包括：

介质基片，所述介质基片通过半导体生长工艺形成并跨接在所述台阶的至少一部分上；

导带金属，所述导带金属通过半导体生长工艺形成在所述介质基片的顶部表面的至少一部分上。

3. 根据权利要求2所述的太赫兹混频器，其中，所述介质基片包括二氧化硅基片、氮化硅基片或砷化镓基片。

4. 根据权利要求2或3所述的太赫兹混频器，其中，所述介质基片的厚度为 $10\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ 。

5. 根据权利要求2至4中任一项所述的太赫兹混频器，其中，所述腔体由硅基体或砷化镓基体形成，在所述硅基体或所述砷化镓基体上形成有沟槽结构，在所述硅基体或所述砷化镓基体的内侧表面和所述沟槽的侧壁上形成有金属层，通过所述金属层之间的键合形成所述腔体。

6. 根据权利要求5所述的太赫兹混频器，其中，所述导带金属与所述金属层电连接。

7. 根据权利要求5或6所述的太赫兹混频器，其中，所述金属层的厚度根据电磁波传输的趋附深度要求确定。

8. 根据权利要求5至7中任一项所述的太赫兹混频器，其中，所述金属层的厚度为 $0.5\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 。

9. 根据权利要求5至8中任一项所述的太赫兹混频器，其中，所述沟槽结构包括用于形成所述射频输入波导的第一沟槽和用于形成所述本振输入波导的第二沟槽，所

述第一沟槽的深度方向和所述第二沟槽的深度方向与所述悬置微带线所在平面的法线方向平行。

10. 根据权利要求 5 至 9 中任一项所述的太赫兹混频器，其中，所述射频输入波导的波导口的引出方向和所述本振输入波导的波导口的引出方向与所述悬置微带线所在平面的法线方向平行或与所述悬置微带线所在平面的法线垂直。

11. 根据权利要求 5 至 10 中任一项所述的太赫兹混频器，还包括：

肖特基二极管，所述肖特基二极管倒装键合或正面键合在所述介质基片上，或者通过半导体生长工艺形成在所述介质基片上，且所述肖特基二极管与所述导带金属电连接。

12. 根据权利要求 11 所述的太赫兹混频器，其中，在所述导带金属上设置有对准标记，所述对准标记用于在键合所述肖特基二极管时进行对准。

13. 一种制造太赫兹混频器的方法，包括：

在硅基体或砷化镓基体上形成沟槽结构，所述沟槽结构包括台阶；

在所述硅基体或所述砷化镓基体的内侧表面和所述沟槽的侧壁上形成金属层；

跨接在所述台阶的至少一部分上形成悬置微带线。

14. 根据权利要求 13 所述的方法，其中，在硅基体或砷化镓基体上形成沟槽结构包括：

通过单独刻蚀或通过基于深宽度调整的同时刻蚀，在所述硅基体或所述砷化镓基体上分别形成第一沟槽和第二沟槽，其中，所述沟槽的参数根据矩形波导口标准和设计参数确定。

15. 根据权利要求 14 所述的方法，其中，在所述硅基体或所述砷化镓基体的内侧表面和所述沟槽的侧壁上形成金属层包括：

通过半导体生长工艺，在所述硅基体或所述砷化镓基体的内侧表面和所述沟槽的侧壁上形成金属层；

通过电镀工艺使所述金属层生长至预定的厚度。

16. 根据权利要求 15 所述的方法，其中，所述金属层的厚度根据电磁波传输的趋附深度要求确定。

17. 根据权利要求 16 所述的方法，在跨接在所述台阶的至少一部分上形成悬置微带线之前，还包括：

在所述金属层上生长牺牲材料或阻挡层；

通过平坦化工艺将所形成的牺牲材料或阻挡层打平至所述金属层，以在所述第一沟槽、所述第二沟槽以及其他用于形成所述悬置微带线的沟槽区域内形成牺牲层结构。

18. 根据权利要求 17 所述的方法，跨接在所述台阶的至少一部分上形成悬置微带线包括：

通过半导体生长工艺，在所述金属层上形成介质层；

通过刻蚀工艺去除所述介质层的一部分，以使得所形成的介质基片跨接在所述台阶的至少一部分上；

通过半导体生长工艺，在所述介质基片上形成导带金属层；

通过电镀工艺使所述导带金属层生长至预定的厚度；

通过刻蚀工艺去除所述导带金属层的一部分，以在所述介质基片的顶部表面的至少一部分上形成导带金属。

19. 根据权利要求 18 所述的方法，在跨接在所述台阶的至少一部分上形成悬置微带线之后，还包括：

去除所述第一沟槽、所述第二沟槽以及其他用于形成所述悬置微带线的沟槽区域内的所述牺牲层结构，使得所述悬置微带线悬置于所述第一沟槽、所述第二沟槽以及其他用于形成所述悬置微带线的沟槽区域的上方，从而在所述第一沟槽和所述第二沟槽的区域内形成微带线天线。

20. 根据权利要求 18 或 19 所述的方法，还包括：

在所述介质基片上倒装键合或正面键合肖特基二极管，或通过半导体生长工艺，在所述介质基片上形成所述肖特基二极管，且使所述肖特基二极管与所述导带金属电连接。

21. 根据权利要求 18 至 20 中任一项所述的方法，其中，将所述导带金属与所述金属层电连接。

22. 根据权利要求 18 至 20 中任一项所述的方法，其中，在所述导带金属上形成对准标记。

23. 一种电子设备，包括由如权利要求 1~12 中任一项所述的太赫兹混频器形成的集成电路。

1/5

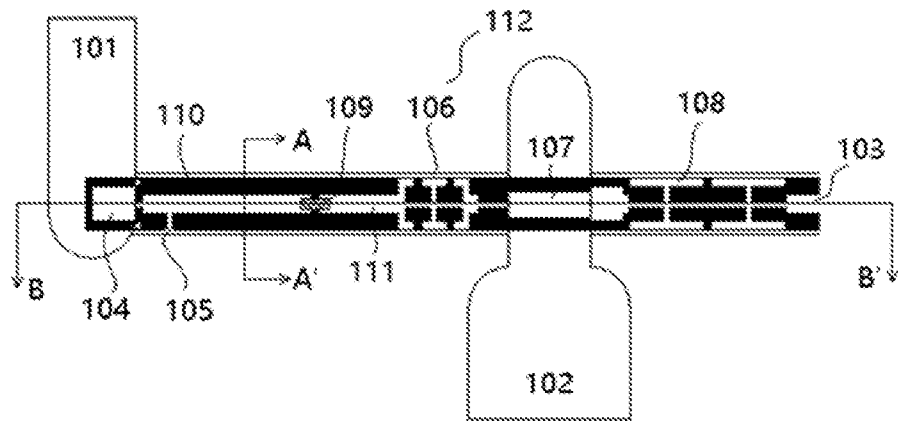


图 1

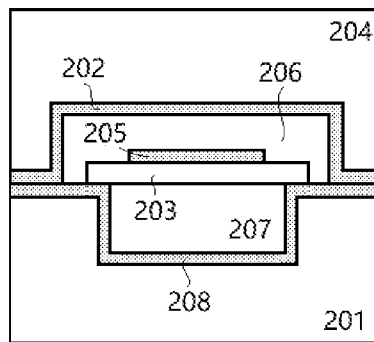


图 2a

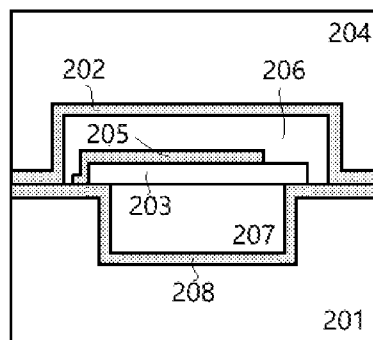


图 2b

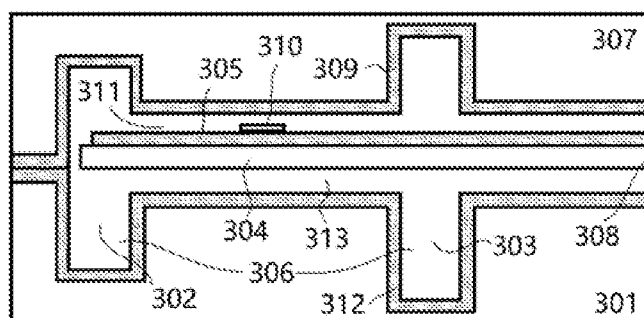


图 3

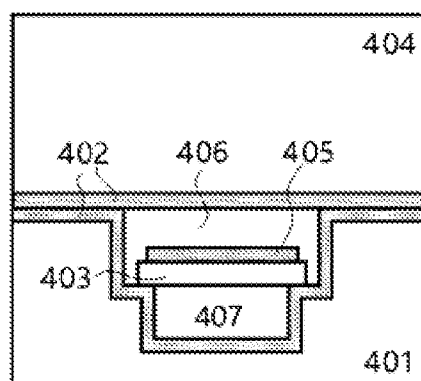


图 4a

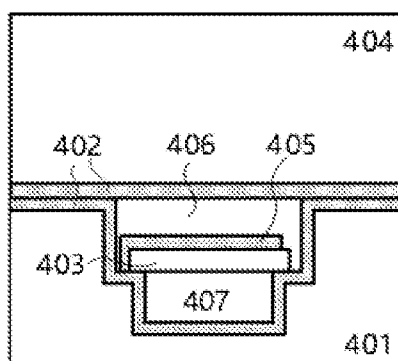


图 4b

3/5

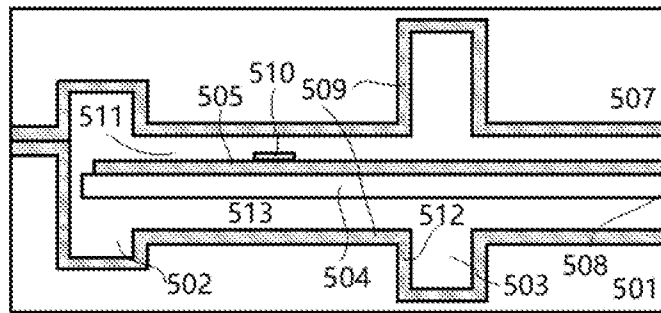


图 5

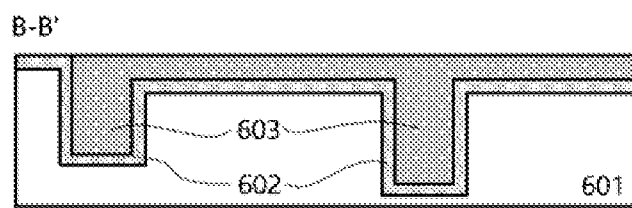
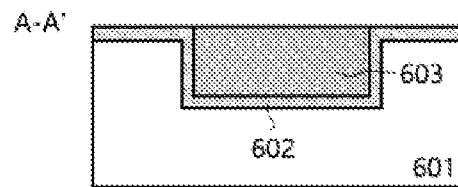


图 6a

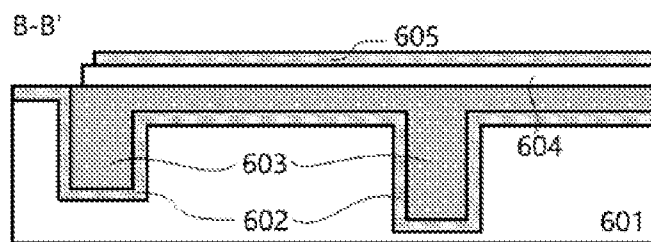
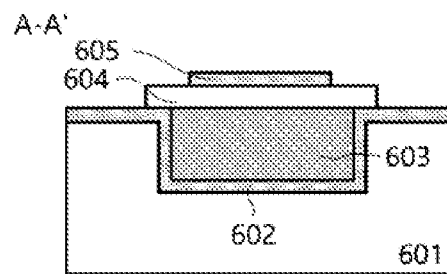


图 6b

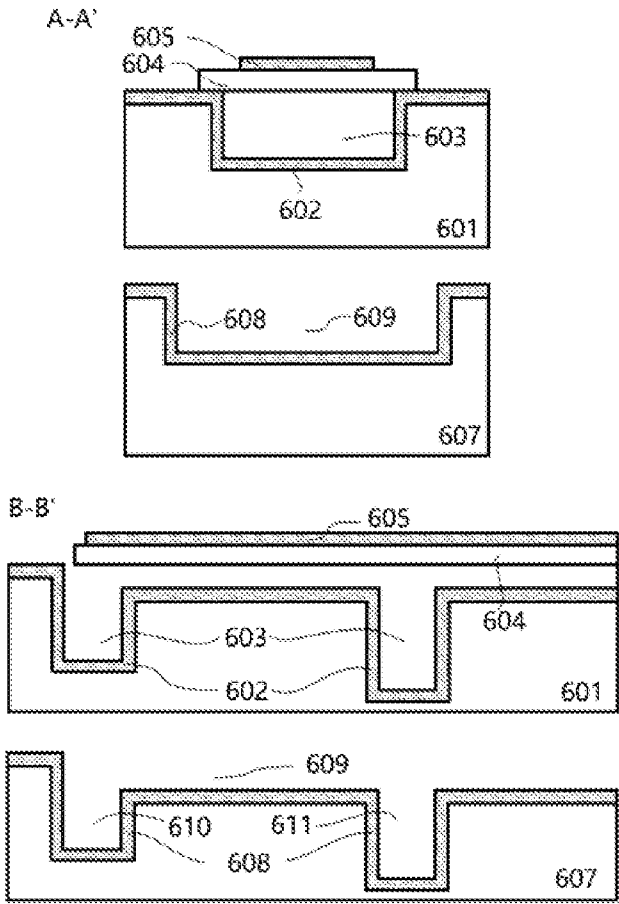


图 6c

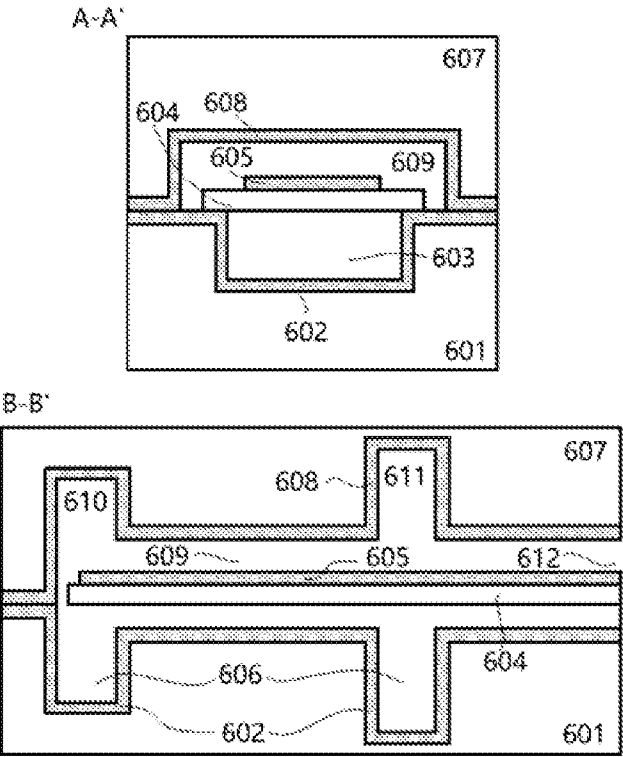


图 6d

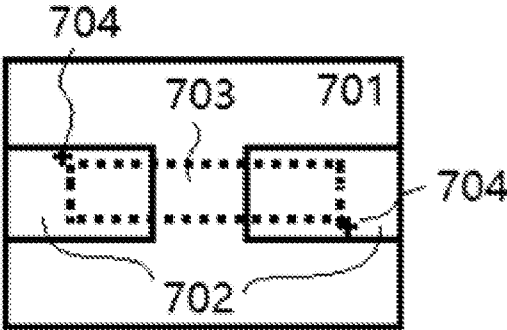


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/110360

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01P 1/213(2006.01)i; H01P 11/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI, IEEE: 太赫兹, 混频器, 悬空, 微带线, 生长, 金属层, terahertz, mixer, suspend, microstrip line, generated, growth, metal layer

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 104158495 A (CHINA ELECTRONICS TECHNOLOGY GROUP CORPORATION NO. 13 RESEARCH INSTITUTE) 19 November 2014 (2014-11-19) description, paragraphs [0004]-[0024], and figure 1	1-23
A	CN 102891081 A (WANG, Hao) 23 January 2013 (2013-01-23) entire document	1-23
A	US 2017250458 A1 (ROHM CO., LTD. et al.) 31 August 2017 (2017-08-31) entire document	1-23
A	MIN, Yingcun et al. "The Design of 110GHz Frequency Tripler Using GaN-Based Planar Schottky Diodes" IEEE, 30 September 2016 (2016-09-30), entire document	1-23
PX	CN 109509952 A (NUCTECH COMPANY LIMITED) 22 March 2019 (2019-03-22) claims 1-23	1-23
PX	CN 109509953 A (TSINGHUA UNIVERSITY et al.) 22 March 2019 (2019-03-22) claims 1-23	1-23
PX	CN 209133660 U (NUCTECH COMPANY LIMITED) 19 July 2019 (2019-07-19) description, paragraphs [0020]-[0046]	1-23



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 December 2019

Date of mailing of the international search report

30 December 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/110360

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 209133661 U (TSINGHUA UNIVERSITY et al.) 19 July 2019 (2019-07-19) description, paragraphs [0019]-[0046]	1-23

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/110360

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	104158495	A	19 November 2014	CN 104158495 B	01 February 2017
CN	102891081	A	23 January 2013	CN 102891081 B	25 February 2015
US	2017250458	A1	31 August 2017	US 10276919 B2	30 April 2019
				JP 2017157907 A	07 September 2017
CN	109509952	A	22 March 2019	None	
CN	109509953	A	22 March 2019	None	
CN	209133660	U	19 July 2019	None	
CN	209133661	U	19 July 2019	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/110360

A. 主题的分类 H01P 1/213 (2006.01) i; H01P 11/00 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) H01P 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) WPI, EPDOC, CNPAT, CNKI, IEEE: 太赫兹, 混频器, 悬空, 微带线, 生长, 金属层, terahertz, mixer, suspend, microstrip line, generated, growth, metal layer		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 104158495 A (中国电子科技集团公司第十三研究所) 2014年 11月 19日 (2014 - 11 - 19) 说明书第0004-0024段, 附图1	1-23
A	CN 102891081 A (王昊) 2013年 1月 23日 (2013 - 01 - 23) 全文	1-23
A	US 2017250458 A1 (ROHM CO., LTD. 等) 2017年 8月 31日 (2017 - 08 - 31) 全文	1-23
A	MIN, Yingcun 等. "The design of 110GHz Frequency Tripler using GaN-Based Planar Schottky Diodes" IEEE, 2016年 9月 30日 (2016 - 09 - 30), 全文	1-23
PX	CN 109509952 A (同方威视技术股份有限公司) 2019年 3月 22日 (2019 - 03 - 22) 权利要求1-23	1-23
PX	CN 109509953 A (清华大学 等) 2019年 3月 22日 (2019 - 03 - 22) 权利要求1-23	1-23
PX	CN 209133660 U (同方威视技术股份有限公司) 2019年 7月 19日 (2019 - 07 - 19) 说明书第0020-0046段	1-23
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 "T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期 2019年 12月 16日		国际检索报告邮寄日期 2019年 12月 30日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		受权官员 王国纲 电话号码 86-(10)-53961755

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/110360

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 209133661 U (清华大学 等) 2019年 7月 19日 (2019 - 07 - 19) 说明书第0019-0046段	1-23

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/110360

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	104158495	A	2014年 11月 19日	CN 104158495 B	2017年 2月 1日
CN	102891081	A	2013年 1月 23日	CN 102891081 B	2015年 2月 25日
US	2017250458	A1	2017年 8月 31日	US 10276919 B2	2019年 4月 30日
				JP 2017157907 A	2017年 9月 7日
CN	109509952	A	2019年 3月 22日	无	
CN	109509953	A	2019年 3月 22日	无	
CN	209133660	U	2019年 7月 19日	无	
CN	209133661	U	2019年 7月 19日	无	