

(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9月17日 (17.09.2020)



(10) 国际公布号  
WO 2020/181630 A1

- (51) 国际专利分类号:  
G02B 26/10 (2006.01) G01S 7/481 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/084038
- (22) 国际申请日: 2019年4月24日 (24.04.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:  
201910187328.1 2019年3月13日 (13.03.2019) CN
- (71) 申请人: 上海交通大学 (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国上海市上海市闵行区东川路800号, Shanghai 200240 (CN)。
- (72) 发明人: 陆梁军 (LU, Liangjun); 中国上海市闵行区东川路800号, Shanghai 200240 (CN)。 许

维翰 (XU, Weihan); 中国上海市闵行区东川路800号, Shanghai 200240 (CN)。 周林杰 (ZHOU, Linjie); 中国上海市闵行区东川路800号, Shanghai 200240 (CN)。 刘娇 (LIU, Jiao); 中国上海市闵行区东川路800号, Shanghai 200240 (CN)。 陈建平 (CHEN, Jianping); 中国上海市闵行区东川路800号, Shanghai 200240 (CN)。

(74) 代理人: 上海恒慧知识产权代理事务所 (特殊普通合伙) (SHANGHAI HENGHUI INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY); 中国上海市徐汇区宜山路801号金陵商务广场A座504室, Shanghai 200233 (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,

(54) Title: SILICON-BASED HYBRID INTEGRATED LASER RADAR CHIP SYSTEM

(54) 发明名称: 硅基混合集成激光雷达芯片系统

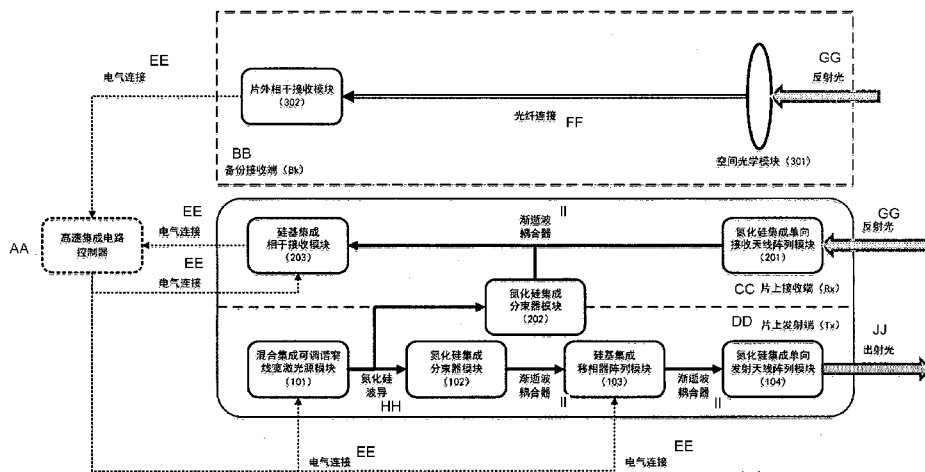


图 1

- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| 101 Hybrid integrated tunable narrow linewidth laser source module       | BB Backup receiving terminal (Bk)     |
| 102, 202 Silicon nitride integrated beam splitter module                 | CC On-chip receiving terminal (Rx)    |
| 103 Silicon-based integrated phase shifter array module                  | DD On-chip transmitting terminal (Tx) |
| 104 Silicon nitride integrated one-way transmitting antenna array module | EE Electrical connection              |
| 201 Silicon nitride integrated one-way receiving antenna array module    | FF Optical fiber connection           |
| 203 Silicon-based integrated coherence receiving module                  | GG Reflected light                    |
| 301 Space optical module   | HH Silicon nitride waveguide          |
| 302 Off-chip coherence receiving module                                  | II Evanescent wave coupler            |
| AA High-speed integrated circuit controller                              | JJ Outgoing light                     |

(57) Abstract: A silicon-based hybrid integrated laser radar chip system. According to a light path sequence, a transmitting terminal (Tx) of the system sequentially comprises a tunable narrow linewidth laser source (101), a silicon nitride beam splitter, a silicon-based phase shifter array, and a silicon nitride one-way transmitting antenna array; according to a principle that the light path is reversible, a receiving terminal (Rx) of the system sequentially comprises a silicon nitride one-way receiving antenna array, a silicon nitride beam splitter, and a silicon-based coherence receiving module (203), and further comprises a backup system and an electric domain control

WO 2020/181630 A1

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, 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))。

processing module. Modules on a silicon platform and a silicon nitride platform realize multilayer single-chip integration with the help of a silicon/silicon nitride evanescent wave coupler; a gain chip in the tunable narrow linewidth laser source (101) and a silicon nitride waveguide are subjected to hybrid integration by horizontal coupling; by means of multi-platform and multi-field hybrid integration, the high-speed flexible wave beam formation, rotation and directivity receiving of a free space laser signal can be realized in a phased array way; and the system does not contain movable devices, and has high integration density, good CMOS compatibility, low large-scale volume production cost, and extremely high practical value.

**(57) 摘要:** 一种硅基混合集成激光雷达芯片系统, 按照光路顺序, 其发射端 (Tx) 依次包括: 可调谐窄线宽激光源 (101)、氮化硅分束器、硅基移相器阵列、氮化硅单向发射天线阵列; 按照光路可逆原理, 其接收端 (Rx) 依次包括: 氮化硅单向接收天线阵列、氮化硅分束器、硅基相干接收模块 (203), 还包备份系统及电域控制处理模块; 其中, 硅平台与氮化硅平台上各模块借助硅/氮化硅渐变波耦合器实现多层单片集成; 可调谐窄线宽激光源 (101) 中的增益芯片与氮化硅波导通过水平耦合进行混合集成; 通过多平台、多领域混合集成, 以相控阵方式实现了自由空间激光信号高速灵活的波束成形、旋转及方向性接收; 不含活动器件、集成密度高、CMOS兼容性好、规模化量产成本低, 具有极高的实用价值。

## 硅基混合集成激光雷达芯片系统

### 技术领域

本发明属于光电探测领域，特别是一种硅基混合集成激光雷达芯片系统。

### 背景技术

激光探测与测距 (LiDAR, Light Detection And Ranging), 又称激光雷达是以一束旋转的激光束对所处环境进行高速采样, 以获取三维深度信息的遥感技术。和传统微波雷达类似, 激光雷达也依靠发射并接收目标反射的电磁波的原理工作, 然而激光雷达的工作波长远小于前者, 这使它先天性地具备更高的分辨精度, 更大的瞬时带宽, 以及更强的集成潜力。与此同时, 伴随着军用和民用空间遥测与无人载具的蓬勃发展, 从环境中高速地获取精细的探测数据的需求日益旺盛, 这推动激光雷达市场蓬勃发展。时至今日基于机械系统旋光方案的激光雷达已经十分成熟, 并在轻量化、小型化、廉价化的方向上开展着积极的行业竞争。尽管如此, 由于机械系统具有运动部件, 考虑到机械磨损、结构可靠性、运动控制的精确性、以及加速度环境下惯性的影响, 机械旋光方案很难同时实现高速、大角度的光束旋转。这显著限制了激光雷达在自由空间中的采样速度; 换言之, 光学提供的关键技术优势受制于机械系统的瓶颈, 最终限制了该技术在实时领域的应用。

在传统机械方案之外, 一些基于伺服电机和微镜阵列的半固态微机电系统 (MEMS, Micro-Electro-Mechanical System) 解决方案, 以及介于两者之间的混合固态方案也得到了产业界的初步调研, 但由于半固态系统始终含有运动部件, 该方案在速度提升上的优势并不显著。与此同时, 伴随着硅基液晶技术 (LCoS, Liquid Crystal on Silicon) 的发展, 全固态的液晶相控阵方案也获得了相应发展。然而, 由于液晶相控阵单元尺寸, 以及功率容限的限制, 加之硅基液晶技术的成本和控制复杂度缺乏竞争力, 液晶相控阵方案在科研界的一些集中探索后逐渐变得无人问津。

尽管液晶相控阵本身逐渐淡出业界的视野, 基于相控阵原理的激光雷达方案的确可以摆脱运动部件的约束, 实现三个数量级及以上的扫描速度提升。整体而言, 相控阵由相位关系稳定的相干波源组成, 这些波源的辐射场将在自由空间中形成干涉图样, 干涉相消处的能量将会集中到干涉相长处, 在远场中形成具有方向性的高能量光束; 通过改变波源之间的相位关系, 则可以改变干涉图样, 进而在远场的不同方向上形成光束; 以此类推即可实现远场中的波束扫描。

近十年来, 伴随着硅基光子学的发展, 硅绝缘体 (Silicon-On-Insulator, SOI) 上能够集成的光学器件越来越丰富。借助硅基芯层和石英包层间较高的折射率差, 硅基波导可以以极小的弯曲半径支持紧凑复杂的无源器件设计; 借助热光效应或色散载流子效应, 硅基移相器可以使用较低的功耗实现  $\pi$  乃至数  $\pi$  的相移; 借助周期刻蚀的光栅结构, 波导中的导模会散射到自由空间中并经由相干形成具有方向性的波束; 借助同样和 CMOS 工艺兼容的氮化硅可以和硅平台构成三维集成光子回路系统; 此外, 借助氮化硅的高功率容限, 加工误差不敏感, 低损耗, 与低折射率差等特性能够进一步提供更多的设计自由度, 实现平台的优势互补。最后, 借助半导体电子产业长期以来在工艺精度上的前期投入, CMOS 兼容的硅基光子学芯片能够以极具竞争力的成本实现液晶单元无法比拟的单元粒度。

也正因此, 学界对硅基光相控阵技术产生了浓厚兴趣。自 2009 年比利时微电子研究中心在 *Optics Express* (Vol. 34, No. 9, pp. 1477-1479, 2009) 上提出波长调谐配合一维相控阵进行空间波束旋转以来, 已经报道的工作中, 麻省理工学院的大规模二维面阵在 *Nature* (Vol. 493, pp. 195 - 199, 2013) 上展示了相控阵在远场形成任意图案的能力, 实验验证了其工艺可控性与波束成形的灵活性; 加州大学圣芭芭

拉分校的研究团队于 2015 年在 *Optics Express* (Vol. 23, No. 5, pp. 195 - 199, 2015) 上报了硅绝缘体-III/V 族材料混合集成的单片系统, 作为当时器件种类最复杂、集成密度最高的集成光学芯片, 该工作展示了一个集成有片上光源的光相控阵二维发射机, 达到了较高的完成度; 2016 年, INTEL 公司在 *Optica* (Vol. 3, No. 8, pp. 887-890, 2016) 上发表了硅绝缘体平台上的无混叠高性能稀疏相控阵列, 在扫描范围和可分辨点数上取得显著突破, 光束精细度在两个旋转轴上均达到  $0.14^\circ$ , 逼近了传统光学系统的聚焦能力; 2017 年, 麻省理工先后在 *Optics Letter* 上先声夺人地展示了氮化硅平台上的超大规模静态阵列 (Vol. 42, No. 1, pp. 21-24, 2017) 和基于调频连续波的硅基集成激光雷达系统 (Vol. 42, No. 20, pp. 4091-4094, 2017), 前者刷新了光束精细度上的记录, 达到  $0.02^\circ$ , 后者实现了傍轴布置的一体化收发, 而且也集成了锗硅探测器, 但依旧没有片上光源; 2018 年各大杂志和学术会议上陆续报道一些直接在硅上沉积氮化硅材料作为天线的规模化设计 (*European Conference on Optical Communication (ECOC)*, DOI: 10.1109/ECOC.2018.8535530; *Optics Express*, Vol. 26, No. 3, pp. 2528-2534, 2018), 同时自动化稀疏阵列设计 (*Optics Express*, Vol. 26, No. 15, pp. 19154-19170, 2018) 和动态片上校准 (*Optics Express*, Vol. 26, No. 3, pp. 3199-3210, 2018) 也得到了广泛探索; 在同一年, INTEL 公司的光相控阵专利 (WO/2018/125403) 正式公布, 该设计方案提出采用多个具有细微差异的子阵列的合成为一个发射阵列, 依靠游标效应的特点使不同子阵的干涉主极大相互错开, 实现无混叠发射, 应当注意的是其精细度和噪声抑制是相加的关系, 而不是本发明中相乘的关系, 此外, 该方案和稀疏阵列类似, 将提高发射机的底噪。最后, 2018 年以光学相控阵或激光相控阵为题的国内专利也开始逐渐增加, 其中“一种基于热光开关和硅光相控阵的单波长多线扫描系统”(CN201810240144) 试图使用热光开关将输出光路由到光栅周期不同的子阵列, 实现单波长的多线扫描, 该方案尽管避免了波长可调谐激光器的使用, 但随着其线数的增加, 开关尺寸, 子阵数目和控制电路复杂度会成为严重问题, 限制光相控阵的波束精细度以及整体的输出功率以及片上插损, 此外该方案也没有给出接收器的相关设计; “基于波分复用的集成多波束光相控阵延迟网络”(CN201810424574), “一种基于硅基的多波束光学相控阵天线”(CN201810695911), 分别从两种技术路径给出了多波束光学相控阵的实现方案, 但这些工作主要围绕如何在相控阵之前增加光子回路, 从而实现更加复杂的波束控制功能这个问题展开, 并没有详细地给出光相控阵本身的设计以及激光雷达系统的构成方式; “一种基于金属缝隙波导的光学相控阵芯片发射端”(CN201810619456) 与“宽范围扫描的宽带激光相控阵系统”(CN201810558205) 则采用不同的光子天线及去耦合设计方案, 计划将光子天线间隔降低到半个到一个波长之间, 从而提高发射侧天线集成密度, 实现大范围无混叠波束旋转, 但是相控阵的波束精细度和相控阵的总尺寸是成反比的, 为了同传统空间光学精细的远场分辨率竞争, 这些高密度集成的光子天线的总数将达到数千到数万之间, 极大地增加了控制电路复杂度与上位机的负担。更早一些的“有源光相控阵光子集成芯片及其制备方法”(CN 201611027155) 主要介绍了基于 III/V 族平台的光子相控阵制备工艺, 由于 III/V 平台波导芯层-包层折射率差远小于硅基, 波导模式分布较宽, 其器件尺寸与弯曲半径均较大, 通道间耦合更加严重, 加之 III/V 族芯片成本高昂, 于芯片设计而言理论性能不高, 于规模产量而言则没有突出优势。

综上所述, 尽管光相控阵激光雷达百家争鸣, 但还有很多基本问题没有解决: 从平台而言, 纯硅方案受限于硅波导中存在的双光子吸收现象 (TPA, Two-Photon Absorption), 难以支持长距离激光雷达应用所需的高发射功率; 氮化硅领域的工作则缺乏低功耗的动态元件, 只报道了一些用于技术验证的无源元件或静态阵列; 纯 III/V 族平台在性能和成本上都不适合光相控阵的设计与生产; 硅绝缘体-III/V 族材料键合的设计则存在可靠性和散热问题; 此外, 一些工作报道了多层平台上的分立元件, 这些工作或许在科研意义上具有各种各样的参考价值, 但不一定适用于本领域的系统应用。故而, 现有工作内容中

尚不存在本发明中基于多层硅-氮化硅平台设计的芯片系统，也鲜有工作达到了本发明中激光雷达系统的完成度与游标收发的灵活性。

## 发明内容

针对上述现有实现方案中存在的缺陷，本发明提供一种硅基混合集成激光雷达芯片系统，是一种将硅基 CMOS 工艺加工的硅-氮化硅三维集成芯片和基于 III/V 族材料的增益芯片混合集成（Hybrid Integration）实现的光电混合系统：具体而言，本发明针对激光雷达应用，基于硅基 CMOS 工艺，借助集成光路和集成电路实现片上可调谐激光的产生，基于相控阵原理的波束成形与波束旋转，基于相控阵原理的回波接收，和片上集成的相干探测；只要芯片系统和具体任务场景所需的电域控制器构成基本的电域连接，即可为具体任务提供激光雷达数据。该发明在扫描速度、加工成本、整体功耗、系统尺寸等方面具有明显优势，具有极高的应用价值。

为实现上述目的，本发明的技术解决方案如下：

一种硅基混合集成激光雷达芯片系统，其特点在于，该芯片系统由发射端、接收端和备份接收端组成；所述的发射端按照光路顺序依次包括混合集成可调谐窄线宽激光光源模块、氮化硅成分束器模块、硅基集成移相器阵列模块和氮化硅集成单向发射天线阵列模块，所述的接收端包括氮化硅集成单向接收天线阵列模块、氮化硅成分束器模块和硅基集成相干接收模块，所述的备份接收端按照光路顺序依次包括空间光学模块和片外相干接收模块；所述的发射端的混合集成可调谐窄线宽激光光源模块的激光器电域控制、硅基集成移相器阵列模块移相器电域控制和所述的接收端的硅基集成相干接收模块的信号处理由光芯片系统外的高速集成电路模块实现。

所述的激光器模块同时提供雷达应用所需的探测光和参考光，分束器模块将单路输入的探测光功率均衡分配到  $N$  路波导中，经过含有  $N$  个通道的移相器阵列，最终从  $N$  通道的单向发射天线阵列离开芯片系统，进入自由空间并照射目标，其中  $N$  大于等于 4；在接收端，分束器模块会将单路输入的参考光功率均衡分配到  $M$  路波导中，与此同时，由目标反射的信号光将从  $M$  通道的单向接收天线阵列耦合进入芯片系统，来自分束器模块的  $M$  通道参考光和来自接收天线阵列的  $M$  通道信号光将在相干接收模块中进行光电探测，产生含有目标距离信息的电信号，其中  $M$  大于等于 4，且  $M$  和  $N$  可以不相等。

若定义以阵列中心线为轴的球坐标系，通过在移相器阵列中设置合适的相位，各天线上的光信号经历了相应的延迟，其辐射场在自由空间中相干叠加，将会在远场中特定经度上产生具有方向性的波束；通过改变通道间的相位关系，可在另一个经度上形成具有方向性的波束；以此类推，就可以在自由空间中不同的经度间进行角度旋转。

所述的发射端最终的远场角分布是单向天线阵列辐射场干涉得到的定向波束，或者，输入到发射端的光功率将以极高的方向增益集中在一个定向波束内；通过调整发射端内通道间的相位关系与输入到发射端的波长，就可以将光束投射到自由空间中以芯片为中心的半球内的任意方向。

尽管所述的接收端通过光路可逆原理，只接收来自目标立体角方向的反射光，但接收端的阵列并不一定是发射端阵列的镜像复刻，在不同的实施例中，可以采用但不限于采用具有游标差异的阵列、具有不同天线数（ $M$ ）或不同阵列几何参数的阵列、乃至采用不同单元接收天线的阵列，以实现更加复杂灵活且高速精细的探测功能。

所述的单向发射天线阵列中的单向发射天线由光栅结构实现；通过刻蚀，光栅上存在周期性的折射率扰动，会将波导内的导模散射到自由空间中；具体而言，每个周期内包含两处强弱不同的扰动，通过

优化其强度关系及相对位置，实现向上相干相长，向下相干相消，从而进行单向发射。在此基础上，周期性的发射天线等效于具有线性光程差的相控阵列，由于天线的延伸方向与天线阵列的排布方向垂直，同前述的相干叠加过程相同，这将在远场的特定纬度上形成具有方向性的波束；通过改变输入到发射端的波长，天线上散射元之间线性的光程差将导致不同的相移，并在另一个纬度上形成有方向性的波束；以此类推，就可以在自由空间中不同的纬度间进行角度旋转。

所述的发射端最终的远场角分布是上述干涉图样对应经纬度交点方向上的定向波束，或者说，输入到发射端的光功率将以极高的方向增益集中在球心与这个交点的连线方向上的波束内；通过调整发射端内通道间的相位关系与输入到发射端的波长，就可以将光束投射到自由空间中以芯片为中心的半球内的任意方向；以辐射度学而言，上述方向可以表述为一个具体的立体角元，如果在某个立体角上存在距离雷达芯片系统一定距离的目标，目标反射的光信号中将有一部分以具有方向性的平面波原路返回，并在接收端以光路可逆原理接收，借助当前激光雷达系统工作制式下的换算关系，即可得到目标距离芯片系统的距离。

所述的接收端通过光路可逆原理，只接收来自目标立体角方向的反射光，但接收端的阵列并不必须是发射端阵列的镜像复刻，在不同的实施例中，可以采用但不限于采用具有游标差异的阵列、具有不同天线数（M）或不同阵列几何参数的阵列、乃至采用由不同单元接收天线构成的阵列，以实现更加复杂灵活的探测功能；显然，由于整个探测过程是发射端和接收端方向性上的综合，此方案为系统设计提供了更多的自由度，同样也能在类似设计方案下显著提高系统的整体性能。

所述的混合集成可调谐窄线宽激光源模块包括可调谐外腔激光器与光信号放大器两个主要部分。可调谐外腔激光器包括增益芯片与氮化硅可调谐外腔，增益芯片可以采用但不限于采用 III/V 族材料加工得到的反射式半导体放大器（RSOA, Reflective Semiconductor Optical Amplifier）芯片；氮化硅外腔的滤波部分可以采用但不限于采用具有游标效应的双微环谐振器结构，外腔的反射部分可以采用反射率可调的集成环形镜结构；增益芯片和外腔一起构成激光器，采用热光或者压电形变的方式调谐外腔的滤波及反射特性，即可将波长幅度可调的窄线宽激光信号输入到后续放大芯片中。

所述的光放大器可以采用一级到多级透射式级联光放大器，具体的放大器芯片可以采用但不限于采用典型的 III/V 族集成半导体放大器。

所述的增益芯片与光信号放大器芯片通过但不限于通过水平耦合和氮化硅波导混合集成，同时，放大器芯片的输入输出端口需要布置在同侧，便于进行混合集成。

所述的光放大器结构最后将高能量窄线宽激光重新输入到氮化硅波导中，并经由一个可调分路器将能量分配到发射端和接收端，其中大部分能量输送给发射端；输入到接收端的小部分能量将用作相干探测的参考光，并通过另一个可调分路器路由到片内接收端或片外接收端；能量分配后两个波导总线上可以按照需要补充配置功率监控手段，并将结果反馈到放大器芯片和用于能量分配的可调分路器结构。

所述的分束器模块可以采用但不限于采用级联多模干涉耦合器，星型耦合器等无源分束结构实现。

所述的移相器阵列模块可以采用但不限于采用高速热调移相器、电调移相等典型移相器设计，移相器上驱动电压的控制可以采用一并集成在片上的 CMOS 集成数模转换器，或多芯片封装时另一块芯片上的 CMOS 集成数模转换器实现，数模转换器 and 高速集成电路模块通过电气端口连接。

所述的单向发射/接收天线阵列模块由阵列化排布的氮化硅单向天线构成，天线采用多层刻蚀氮化硅波导光栅结构。

所述的相干接收模块使用锗硅平衡探测器同时接收参考光与信号光，通过对参考光进行匹配相移，实现高方向增益且共模抑制的相干接收，提高收发过程的信噪比，并将含有当前工作制式下的相移或频移的电信号输出给信号处理模块，最终恢复为当前对象的距离或速度信息。

所述的空间光学模块采用大数值孔径透镜系统对自由空间中传播的平面波进行聚光，并收束到光纤中，输送给片外相干探测模块。

所述的片外相干探测模块采用光纤连接从空间光学模块和片上可调分路器输出端口获得信号光与参考光，采用平衡探测凡是进行光电探测，并将电信号输送给信号处理模块恢复为当前对象的距离或速度信息。

所述的高速集成电路模块可以采用但不限于采用现场可编程门阵列（FPGA，Field-Programmable Gate Array），专用集成电路（ASIC，Application-Specific Integrated Circuit）等典型集成电路实现；所有电光控制和光电转换将在发射端和接收端内完成，发明所给出的芯片系统与高速电路模块之间只存在电气连接，两者可以采用多芯片组件（MCM，Multi-Chip Module）或系统级封装（SIP，System In a Package）进行光电混合封装。

本发明和现有技术相比，有益效果主要体现在如下方面：

1、 本发明不含任何运动部件，给定相同带宽的电域互连线，可以支持高于传统方案三到四个数量级的连续扫描速度，其扫描速度的进一步提高可以依托光通信领域调制器技术的发展，并且具备足够的空间在损耗、带宽、线性度等指标上权衡利弊。同时，作为一个全固态器件，系统中不存在机械磨损，在加速度迅速变化的环境中可以维持稳定工作。

2、 本发明使用相控阵技术，在扫描范围内支持任意角度随机式的波束成形，通过合理配置搜索方式，充分利用其灵活扫描的特性，其速度优势将得到进一步巩固。此外，本发明具有同轴一体化相控阵收发的特性，最大限度利用了光路可逆，降低了收发损耗，倍增了基于相控阵的波束方向选择性。

3、 本发明中的硅-氮化硅三维集成芯片与 CMOS 工艺兼容，借助半导体电子产业的成熟工艺，通过大规模批量生产，可以将芯片成本显著降低；III/V 族增益芯片技术成熟、价格低廉、性能稳定，并且布置于光子回路的边缘，其增益的热稳定性高于其他混合集成手段，对波束成形系统的热串扰也更低。

4、 本发明结构紧凑、尺寸微小，完全集成了激光雷达系统中的激光调谐，电光控制与光电转换，系统和上位机之间只存在电域互联。通过规范封装，该芯片系统可以和电子陀螺仪、气压计等常见芯片一样集成在上位机所在的集成电路板上，甚至可以改进为一种即插即用式的智能硬件，为各式各样的设备提供光电探测数据。

## 附图说明

图 1 为本发明硅基混合集成激光雷达芯片系统的架构图。

图 2 为本发明硅基混合集成激光雷达芯片系统工作模式原理图，其中 (a) 为脉冲制式原理图，(b) 为调频连续波制式原理图。

图 3 为本发明硅基混合集成激光雷达芯片系统工作模式运行流程图，其中 (a) 为脉冲制式流程图，(b) 为调频连续波制式流程图

图 4 为本发明中相控阵波束控制及游标收发原理图，其中 (a) 为光相控阵相干合束示意图，(b) 为游标收发方向性叠乘示意图。

图 5 为本发明采用同轴游标收发阵列的实施例结构图。

图 6 为本发明实施例中硅-氮化硅多层平台层间耦合器示意图。

图 7 为本发明实施例中 III/V 增益芯片与硅-氮化硅芯片耦合结构示意图。

图 8 为本发明实施例中混合集成可调谐窄线宽激光源模块示意图。

图 9 为本发明实施例中氮化硅集成游标微环的结构及工作原理示意图。

图 10 为本发明实施例中反射率可调环形镜的结构及工作原理示意图。

图 11 为本发明实施例中氮化硅集成分束器示意图其中 (a) 为级联多模干涉仪结构, (b) 为星型耦合器结构。

图 12 为本发明实施例中硅基集成调制器阵列示意图。

图 13 为本发明实施例中发射/接收天线阵列示意图其中 (a) 为位于下层的氮化硅接收天线阵列, (b) 为位于上层的氮化硅发射天线阵列。

图 14 为本发明实施例中相干接收阵列示意图。

### 具体实施方式

为了进一步阐明本方案的目的、技术方案及核心优势,下文结合附图和实施例,对本发明进行进一步详细说明。请注意,下述具体实施例仅起解释目的,并不用于限定本发明。同时,实施例中不同实现方案涉及到的技术特征只要彼此未构成冲突,就可以相互结合。

参考图 1 所示,一种硅基混合集成激光雷达芯片系统,包括发送端 Tx、接收端 Rx 和备份接收端 Bk 三个主要组成部分;发送端包括混合集成可调谐窄线宽激光源模块 101、氮化硅集成分束器模块 102、硅基集成移相器阵列模块 103 与氮化硅集成单向发射天线阵列模块 104;接收端包括氮化硅集成单向接收天线阵列模块 201、氮化硅集成分束器模块 202 与相干接收模块 203;备份接收端包括空间光学模块 301 与片外相干接收模块 302;发射端的混合集成可调谐窄线宽激光源模块 101 电域控制,硅基集成移相器阵列模块 103 电域控制,及接收端的相干接收模块 203 由芯片系统外的高速集成电路模块实现电域控制。

如图 2 所示,芯片系统支持两个主要工作制式,即脉冲制式与调频连续波制式。脉冲制式通过调节集成可调谐激光源外腔反射率改变激光器的增益损耗关系,最终直接调制激光器的出光情况,这不仅允许对激光进行 0/1 调制得到光脉冲,还允许依靠电域调制信号进行脉冲编码。调制后脉冲光经过放大与相干发射后照射到目标上,其反射光中一部分沿原始光路返回,并经过光探测器接收转换为电信号。需要强调的是,在脉冲制式下,集成光源处的光开关把参考光路由到芯片外,片上和片外平衡探测器均处于单端输入工作状态,即作为普通探测器使用;与此同时,备份光学系统快门保持关闭状态。通过对片上接收端和片外端还原得到的电信号进行自相关运算,即可提取信号在光域上传输的时间。通过校正并消除芯片回路中的传输时间,还原得到自由空间中光的往返时间,最终由往返时间测算目标距离雷达系统的距离。如果脉冲宽度为 $\tau_p$ ,脉冲间隔为 $T$ ,往返时间为 $\Delta t$ ,那么该制式的实测距离 $R$ ,距离分辨率 $\Delta R$ ,最大无混叠测量距离 $R_{amb}$ 如下公式所示:

$$R = 0.5c\Delta t$$

$$\Delta R = 0.5c\tau_p$$

$$R_{amb} = 0.5cT$$



上式中， $c$  表示光速，系数 0.5 反映了信号实际传播距离是测量距离的两倍。为了提高距离分辨率，将测距方向上的独立目标尽可能地区分开来。为此，脉冲制式雷达系统倾向于采用足够短的脉冲。若将脉宽和时间间隔视作占空比，则提高当前可测距离的分辨率等于降低占空比。

由傅里叶变换性质，在时域上压缩脉冲持续时间相当于在频域上扩展脉冲的频谱，这将增大和系统带宽相关的噪声。当接收机要求的信噪比一定时，探测同一目标，发射脉冲的峰值功率需要进一步提高。这对发射机的功率容限提出了更高要求。

此外，由辐射度学，当前探测达到所要求某个的信噪比时系统辐射的总能量是一定的。于此同时，由于脉冲持续时间与带宽成反比，某个给定的信噪比下峰值功率与带宽成正比——故而如果能使用更小的脉冲带宽，理论上可以同时从噪声和能量守恒两个方面降低峰值功率。调频连续波制式就是这样一种通过脉冲压缩技术降低峰值功率的方法，典型的调频方案使得距离分辨率不再与脉冲持续时间相关，而与调频对应的啁啾频率范围  $\Delta f_M$  成反比，这打破了前述的矛盾。

在本发明中，调频连续波制式也通过相干发射和相干接收进行波束发射和光电转换。与脉冲制式不同的是，调频连续波制式中电域控制信号在小范围内高速改变集成可调谐激光源的外腔谐振波长，从而得到频率调制的连续光信号。由于光波段的频率显著高于微波，光域上尚不足以导致显著相位关系变化的波长调制（例如中心波长  $1550 \text{ nm}$ ，波长变化  $0.01 \text{ nm}$ ），对应的频率变化十分剧烈（约  $1.25 \text{ GHz}$ ）。换言之，在不影响相干发射和相干接收的方向性的同时（对应约  $10^{-3}^\circ$  角度变化），接收光和参考光拍频得到的电信号存在大量的频率变化，由于时间发射的信号具有不同的频率，通过对电信号进行再一次拍频，即可比较发射信号和接收信号之间的时间延迟，通过同样的校正即可得到雷达到目标的往返时间；以线性调频为例，如果测得的频率变化为  $\Delta f$ ，单位时间调频速度为  $k$ ，则该制式的实测距离  $R$ ，距离分辨率  $\Delta R$ ，最大无混叠测量距离  $R_{\text{amb}}$  如下公式所示：

$$R = 0.5c\Delta f/k$$

$$\Delta R = 0.5c/\Delta f_M$$

$$R_{\text{amb}} = 0.5c\Delta f_M/k$$

如前所述，该方案能够以更低的峰值功率提供同等水平脉冲制式的信噪比；此外由于系统带宽的减少，整体噪声的降低，该方案的平均功率也会更低；最后，连续波输出便于激光器的功率监控和校正。本发明中使用调频连续波为基本的探测模式，同时可以随应用场合的需要配合使用脉冲制式，乃至混合制式，即调频脉冲制式，调频进行脉冲压缩，依靠脉冲往返时间测量目标的距离信息，使用频率变化测量目标直径方向相对运动导致的多普勒频率漂移，即：

$$R = 0.5c\Delta t$$

$$f_D(t) = f_R(t) - f_T(t - \Delta t) = \frac{2v_R}{c} f_T(t - \Delta t)$$

上式中  $f_D$  是  $t$  时刻测量的双程多普勒频移，等于  $t$  时刻测量的接收频率  $f_R$  减去  $\Delta t$  时刻前对应的发射频率  $f_T$ ，由于收发机位于同一芯片系统内，以雷达平台建立的参考系中发射机和接收机均处于静止状态，则径向相对速度为  $v_R$  时，由多普勒效应公式可化简建立上式中的关系。该公式存在一定近似，在具体工作中可

以使用标定方法建立查找表，应用于精度要求更高的场合。

显然，上述工作制式只和上位机控制下的可调谐激光源、激光源附属的光开关单元以及片外备份系统的光学系统相关，与方向性波束的接收和发射相互独立。在此基础上，芯片系统依靠相控阵原理对任意制式下的光信号进行波束成形与波束旋转。所谓相控阵，即相位关系稳定的相干波源组成的阵列；如图 4(a)所示，当均匀一维相控阵具有线性相位差时，来自各子波源的波阵面相干叠加，形成与等相位面垂直方向上的定向波束。同理，稀疏或者高维相控阵的远场干涉分布则可以根据波源几何关系和相位关系进行数值计算。

光相控阵是相控阵原理的光域应用；具体而言，在本芯片系统中，为了降低控制电路的复杂度，三维空间中的波束控制分别在以芯片中轴建立的球坐标系的经纬度上相互独立，即经度 $\psi$ 方向由片上集成的多通道动态光相控阵实现，纬度 $\theta$ 方向上由可调谐激光源和静态光栅天线结合实现；这允许将系统分解为两个一维相控阵理解，而系统最终形成的远场波束是经纬度波束的交集。这与灵活的波束控制与快速的波束成形并行不悖，并且如前所述，与系统工作制式无关。以一维均匀相控阵为例，如果通道间相位间隔为 $\varphi$ ，几何间隔为 $d$ ，则其主波束所在角度可以给出为：

$$\psi = \text{asin}\left(\frac{\lambda\varphi}{2\pi d}\right)$$

同时，对于给定的均匀光栅天线，光栅常数为 $\Lambda$ ，光栅中光模式的有效折射率为 $n_{eff}$ ，当其入射波长为 $\lambda$ ，则波束的出射角度为：

$$\theta = \text{asin}\left(n_{eff} - \frac{\lambda}{\Lambda}\right)$$

非均匀阵列或者切趾设计的天线对应的波束成形关系可以参考以上公式估计，也可以由数值计算精确给出，此处不与赘述。总之，光信号经过上述架构的混合相控阵形成具有方向性的波束并照亮了远场的特定目标，回波信号由光路可逆原理依靠结构如图 13(a)所示的单向接收天线阵列耦合回到芯片系统中；或者依靠片外傍轴的备份光学系统耦合到光纤中。前者会对子通道接收到的信号进行相位补偿，形成方向性；后者在接受上不具有方向敏感性，其光学系统以尽可能大的数值孔径将空间光耦合到光纤中。具体而言，上述的接收阵列和发射阵列按照图 5 所示的同轴游标收发阵列的形式组织，其中接收阵和发射阵在天线间隔上具有微小的差异，从而在方向性上具有差异，由于完整的探测过程涉及到收发两部分方向性的交集，游标接收阵可以进一步提高探测的精细度，同时避免噪声与信号混叠，其原理如图 4 (b) 所示。

最终，接收机接收到的光信号经过光电转换得到的电信号，并离开芯片系统供上位机处理。至此，上文总结了激光雷达芯片系统的工作制式、测距原理以及波束成形及波束控制原理及实施例的基本方案。

在上述方案的基础上，实施例芯片系统采用硅-氮化硅多层平台芯片与 III/V 族增益芯片混合集成实现。多层平台芯片及其层间使用的渐逝波耦合器如图 6 所示，III/V 族芯片和多层平台芯片中的氮化硅层之间的水平耦合使用图 7 所示的模斑转换器实现。

如图 8 所示的混合集成可调谐窄线宽激光源采用反射型半导体光放大器、集成氮化硅外腔、透射型半导体光放大器以及所属的分光和光开关单元组成。反射型半导体光放大器通过电泵浦使直接带隙位于工作波长上的 III/V 族材料实现粒子数反转，放大器一端全反射，一端全透射，和基于游标效应的氮化

硅集成双微环谐振器及反射率可调环形镜构成谐振腔，经过谐振腔选模的自发辐射光子在增益介质中得到反复的受激辐射放大，不受谐振腔支持的模式由于增益小于损耗，不能从模式竞争中胜出，并最终导致大部分反转粒子为工作波长的受激辐射提供能量，最终在工作波长上形成了激光输出。

通过调节氮化硅外腔中的游标双环的中心波长调节外腔选择的中心波长；如图 9 所示，由于游标双环的尺寸/自由光谱范围具有微小差异，故而同时支持的连续调谐和跳模调谐两种波长调谐方式，为进一步提高调谐速度，微环由压电形变调节其几何长度并改变谐振波长，回路中的相位补偿则由热调移相器实现。经过游标微环选择波长后的光能量传输到可调环形反射镜处，然后如图 10 所示从工作在 3dB 分束点附近的等臂马赫曾德尔干涉仪结构的一臂输入，在干涉仪输出端分束为两路等相位等振幅的信号光后绕行萨格纳克环形镜并从另一侧输入干涉仪，并通过相干合束反射回输入端。在马赫曾德尔干涉仪上集成有热调移相器或者压电形变移相器，通过改变臂间相位差，可以借助相干将输入光宽谱路由到激光输出方向上，从而实现可调反射率。输出方向上可以补充配置热调移相器，即可补偿输出到后续波导结构中激光的相位。借助氮化硅波导的低损耗特性，该激光器能够得到数百到数千赫兹线宽的窄线宽激光输出，同时借助微环调谐与反射镜调谐，可以得到所需的波长可调，幅度可调，窄线宽激光输出。

激光腔外的氮化硅波导将合束后的激光输出再次耦合到硅-氮化硅芯片外的低噪声透射式半导体光放大器上，该光放大器也借助电泵浦实现粒子数反转，反转粒子数以受激辐射参与输出激光的放大，从而大幅提高输出信号的能量，放大后的激光信号再次通过端面上的模斑转换器耦合到硅-氮化硅芯片上，利用氮化硅波导的高功率容限提高波导总线上的功率密度。

在上述方案的基础上，回到硅-氮化硅多层平台上的激光由第二个马赫曾德尔干涉仪进行耦合可调的分束，分别输送给发送端和接收端，作为参考光使用；通过在不同输出口后进一步补充分束器与探测器，探测器内将产生光生载流子，借助跨阻放大器放大光生载流子得到光电流，即可实现激光器模块的功率监控。

在上述方案的基础上，输送给接收端的参考光将经过第三个马赫曾德尔干涉仪结构，决定将参考光路由到片上接收端或片外备份接收端，协助不同制式的相干或非相干接收。

在上述方案的基础上，输送给发送端的主光束将经由如图 11 所示的星型耦合器或级联分束多模干涉仪结构分入片上动态相控阵通道中，由于相控阵通道大于等于 16 路，子通道中的功率将显著降低，从而与硅基平台的功率容限相兼容。显然，随着片上相控阵通道数目的增加，芯片整体的功率容限将只取决于氮化硅总线波导的设计。

在上述方案的基础上，分束到子通道中的光能量将借助如图 6 所示的层间耦合器从氮化硅波导耦合到硅基波导中，并经过如图 12 热光移相器或者电光移相器进行相位控制。其中热光移相器借助热光效应改变硅的折射率，从而改变信号光的相位；而电光移相器借助色散载流子效应提供相移，这会带来一定的片上损耗。

在上述方案的基础上，调相后的子通道光束再经过层间耦合器从硅基波导耦合到氮化硅波导中，最大限度结合硅基波导可调性强与氮化硅波导高功率容限，高加工容差，低损耗的特征，实现两者的优势互补。

在上述方案的基础上，通过不同氮化硅波导层之间的耦合与布线，可以实现子通道天线阵列的超高密度排列，如果多层平台上可以集成 N 层氮化硅波导，而氮化硅天线之间的无耦合间隔为 D，则系统的天线密度可以降低到 D/N，最终即可使用简洁且主瓣功率集中的均匀阵列扩大无混叠范围，乃至消除远场上

的所有旁瓣。

在上述方案的基础上，出射阵列由如图 13 多层刻蚀氮化硅波导光栅天线构成，多层刻蚀结构针对向上发射优化周期内两处折射率扰动的强弱关系和相对位置，由光路可逆原理，等效于优化自上接收；同理，对应抑制的向下发射等效于抑制的自下接收；故而单向发射天线不止最大限度将片上的能量向片外发射，同时可以避免较低波导层天线发射的波束耦合回较高波导层天线中，避免层间的相位串扰。最后，这也保证了输出阵列的发射光束不会耦合回同轴布置的接收阵列中。

在上述方案的基础上，由架构和原理相同，但具有游标差异的单层稀疏游标光阵列对远场回波进行方向性接收，或者借助大数值孔径透镜或大数值孔径光学系统进行方向不敏感性接收。接收光相控阵依据光路可逆原理实现相干接收，在几何上更稀疏，在通道数目上则可以保持一致，也可以适当减少，以覆盖更大的面积为目的，实现更强的方向性，其片上器件和组成与发射阵列基本相同，此处不与赘述；透镜光学系统按照典型的聚焦系统设计，将远场反射的平行光聚焦并耦合回到光纤中，相应设计属于成熟的常规技术方案，此处不与赘述。

在上述方案的基础上，相干接收或光纤接收得到的光信号输入到片上或片外的相干接收模块处，相干接收模块结构和原理如图 14 所示，参考光和信号光经过光探测器光电转换得到光电流，并由跨阻放大器运算放大后输出为共模噪声抑制后的电信号。当该结构只有信号光输入时，等效于一个光探测器后接一个跨阻放大器，可以作为普通光探测器使用，从而兼容不同的工作制式。

在上述方案的基础上，所有硅波导或氮化硅波导的布线均遵循间层布置，邻层耦合的规范，从而提高层间耦合效率，抑制信号路由时的串扰。需要补充的是，输出阵列处上下层的氮化硅天线并不彼此重叠，故而可以采用邻层布置。对于潜在的重叠排布，可以根据设计需求移除发射侧所属的光栅，维持尽可能多的接收光栅；或者以最低混叠为目标，移除接收侧的对应光栅，并通过使用整体面积更大的接收侧阵列补偿部分光栅缺失导致的接收性能劣化。

在上述方案的基础上，所有涉及到的硅波导或氮化硅波导可以进行不同的几何设计，并采用锥形模斑转换器互相匹配，实现弯曲半径，功率容限和损耗之间的权衡。例如，可以在长距离/高功率布线时使用超宽波导结构提高功率容限，降低损耗，也可以采用窄宽度结构实现更小的弯曲半径。

在上述方案的基础上，芯片系统所含的电源，电信号输入与输出端口部分采用高速电路封装所需的阻抗匹配和电源完整性设计，并可以采用多芯片组件（MCM, Multi-Chip Module）或系统级封装（SIP, System In a Package）与现场可编程门阵列（FPGA, Field-Programmable Gate Array），专用集成电路（ASIC, Application-Specific Integrated Circuit）等典型集成电路实现的上位机实现光电混合封装。由于芯片系统不含外接的光端口，光信号在片上产生，并在片上控制与处理，故而，所需的光电封装和上位机的硬件软件设计规范属于成熟的常规技术方案，此处不与赘述。

在上述方案的基础上，由于芯片系统尺寸小，硅-氮化硅芯片 CMOS 兼容，III/V 族芯片工艺成熟，价格低廉，整体成本较低，可以借助多芯片系统联动，进一步构成合成孔径系统，并由中央控制器进行控制与数据分析，进而提高整体性能。

同领域的科研或产业部门人员容易理解，以上内容仅为本发明的较佳实施例，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

## 权 利 要 求 书

1. 一种硅基混合集成激光雷达芯片系统，其特征在于，该芯片系统由发射端 (Tx)、接收端 (Rx) 和备份接收端 (Bk) 组成，所述的发射端按照光路顺序依次包括混合集成可调谐窄线宽激光源模块 (101)、氮化硅成分束器模块 (102)、硅基集成移相器阵列模块 (103) 和氮化硅集成单向发射天线阵列模块 (104)，所述的接收端包括氮化硅集成单向接收天线阵列模块 (201)、氮化硅成分束器模块 (202) 和硅基集成相干接收模块 (203)，所述的备份接收端按照光路顺序依次包括空间光学模块 (301) 和片外相干接收模块 (302)；所述的发射端的混合集成可调谐窄线宽激光源模块 (101) 的激光器电域控制、硅基集成移相器阵列模块 (103) 移相器电域控制和所述的接收端的硅基集成相干接收模块 (203) 的信号处理由光芯片系统外的高速集成电路模块实现。
2. 如权利要求 1 所述的硅基混合集成激光雷达芯片系统，其特征在于，所述的激光器模块 (101) 同时提供雷达应用所需的探测光和参考光，分束器模块 (102) 将单路输入的探测光功率均衡分配到 N 路波导中，经过含有 N 个通道的移相器阵列 (103)，最终从 N 通道的单向发射天线阵列 (104) 离开芯片系统，进入自由空间并照射目标，其中 N 大于等于 4；在接收端，分束器模块 (202) 会将单路输入的参考光功率均衡分配到 M 路波导中，与此同时，由目标反射的信号光将从 M 通道的单向接收天线阵列 (201) 耦合进入芯片系统，来自分束器模块 (202) 的 M 通道参考光和来自接收天线阵列 (201) 的 M 通道信号光将在相干接收模块 (203) 中进行光电探测，产生含有目标距离信息的电信号，其中 M 大于等于 4，且 M 和 N 可以不相等。
3. 如权利要求 1 所述的硅基混合集成激光雷达芯片系统，其特征在于，所述的单向发射天线阵列 (104) 中的单向发射天线由多层刻蚀氮化硅波导光栅结构实现；通过刻蚀，光栅上存在周期性的折射率扰动，会将波导内的导模散射到自由空间中；每个光栅周期内包含两处强弱不同的扰动，通过优化其强度关系及相对位置，实现向上相干相长，向下相干相消，从而进行单向发射。
4. 如权利要求 1 所述的硅基混合集成激光雷达芯片系统，其特征在于，所述的发射端 (Tx) 最终的远场角分布是单向天线阵列辐射场干涉得到的定向波束，或者，输入到发射端的光功率将以极高的方向增益集中在一个定向波束内；通过调整发射端内通道间的相位关系与输入到发射端的波长，就可以将光束投射到自由空间中以芯片为中心的半球内的任意方向。
5. 如权利要求 1 所述的硅基混合集成激光雷达芯片系统，其特征在于，所述的混合集成可调谐窄线宽激光源模块 (101) 包括可调谐外腔激光器与光信号放大器，其中，可调谐外腔激光器的外腔可以进行直接调制。
6. 如权利要求 5 所述的硅基混合集成激光雷达芯片系统，其特征在于，所述的可调谐外腔激光器包括增益芯片与氮化硅可调谐外腔，增益芯片采用 III/V 族材料加工得到的反射式半导体放大器芯片；氮化硅外腔的滤波部分采用具有游标效应的双微环谐振器结构，外腔的反射部分可以采用反射率可调的集成环形镜结构；增益芯片和外腔一起构成激光器，采用热光或者压电形变的方式调谐外腔的滤波及反射特性，即可将波长幅度可调的窄线宽激光信号输入到后续放大芯片中。
7. 如权利要求 5 所述的硅基混合集成激光雷达芯片系统，其特征在于，所述的光放大器采用一

级到多级透射式级联光放大器。

8. 如权利要求 5 所述的硅基混合集成激光雷达芯片系统, 其特征在于, 所述的增益芯片与光信号放大器芯片通过水平耦合和氮化硅波导混合集成, 同时, 放大器芯片的输入输出端口需要布置在同侧, 便于进行混合集成。
9. 如权利要求 5 所述的硅基混合集成激光雷达芯片系统, 其特征在于, 所述的光放大器结构最后将高能量窄线宽激光重新输入到氮化硅波导中, 并经由一个可调分路器将能量分配到发射端和接收端, 其中大部分能量输送给发射端; 输入到接收端的小部分能量将用作相干探测的参考光, 并通过另一个可调分路器路由到片内接收端或片外接收端; 能量分配后两个波导总线上可以按照需要补充配置功率监控手段, 并将结果反馈到放大器芯片和用于能量分配的可调分路器。
10. 如权利要求 1 所述的硅基混合集成激光雷达芯片系统, 其特征在于, 所述的分束器模块(102/202)采用级联多模干涉耦合器或星型耦合器无源分束结构实现。
11. 如权利要求 1 所述的硅基混合集成激光雷达芯片系统, 其特征在于, 所述的移相器阵列模块(103)与硅基集成相干接收模块(203)内的移相器采用高速热调移相器、电调移相等典型移相器设计, 移相器上驱动电压的控制可以采用一并集成在片上的 CMOS 集成数模转换器, 或多芯片封装时另一块芯片上的 CMOS 集成数模转换器实现, 数模转换器和总控制回路通过高速电气连接相连。
12. 如权利要求 1 所述的硅基混合集成激光雷达芯片系统, 其特征在于, 所述的单向发射/接收天线阵列模块(104/201)由阵列化排布的氮化硅单向天线构成, 天线采用多层刻蚀氮化硅波导光栅结构。
13. 如权利要求 1 所述的硅基混合集成激光雷达芯片系统, 其特征在于, 所述的硅基、氮化硅基各模块光学波导之间采用重叠对称锥形渐逝波耦合器实现三维集成芯片中不同层间的耦合, 三维芯片中采用邻层耦合, 间层重叠的布线规范。
14. 如权利要求 1 所述的硅基混合集成激光雷达芯片系统, 其特征在于, 所述的硅基集成相干接收模块(203)使用锗硅平衡探测器同时接收参考光与信号光, 通过对参考光进行匹配相移, 实现高方向增益且共模抑制的相干接收, 提高收发过程的信噪比, 并将含有当前工作制式下的相移或频移的电信号输出给信号处理模块, 最终恢复为当前对象的距离或速度信息。
15. 如权利要求 1 所述的硅基混合集成激光雷达芯片系统, 其特征在于, 所述的空间光学模块(301)采用大数值孔径透镜系统对自由空间中传播的平面波进行聚光, 并收束到光纤中, 输送给片外探测器模块。
16. 如权利要求 1 所述的硅基混合集成激光雷达芯片系统, 其特征在于, 所述的片外探测器模块(302)采用光纤连接从空间光学模块和片上可调分路器输出端口获得信号光与参考光, 采用平衡探测方式进行光电探测, 并将电信号输送给信号处理模块恢复为当前对象的距离或速度信息。



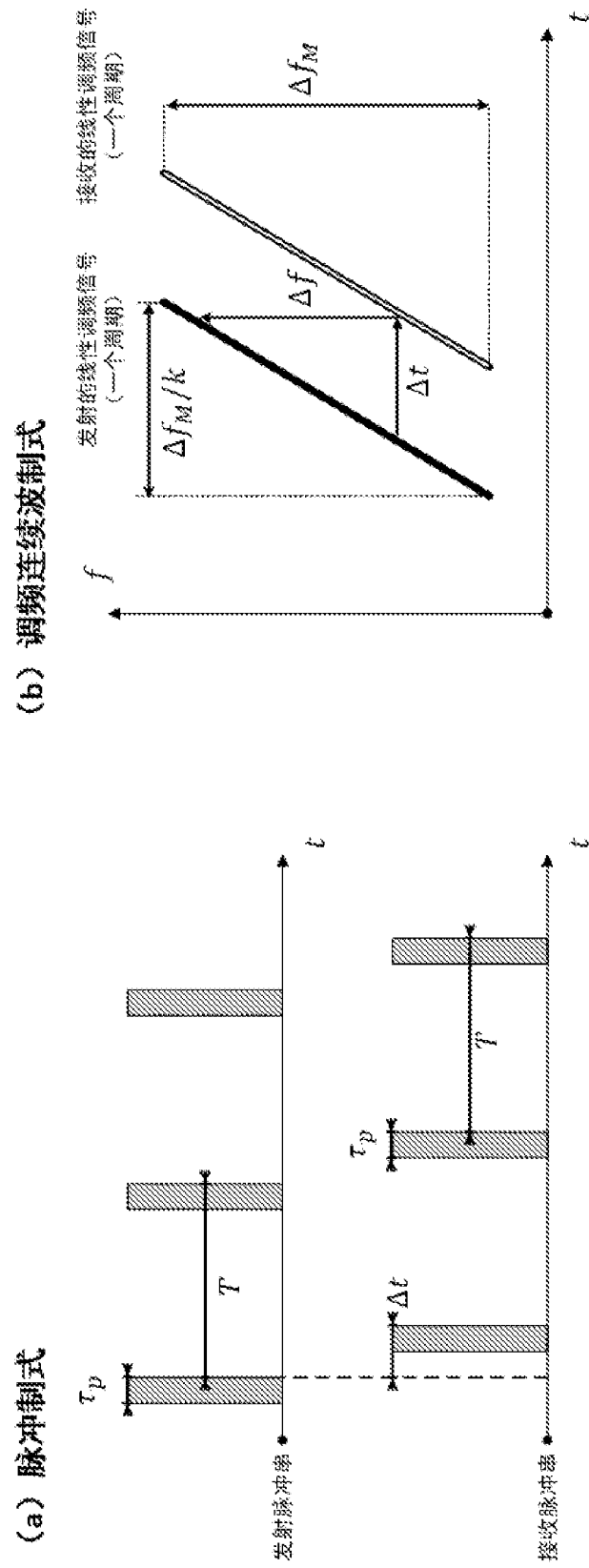


图 2



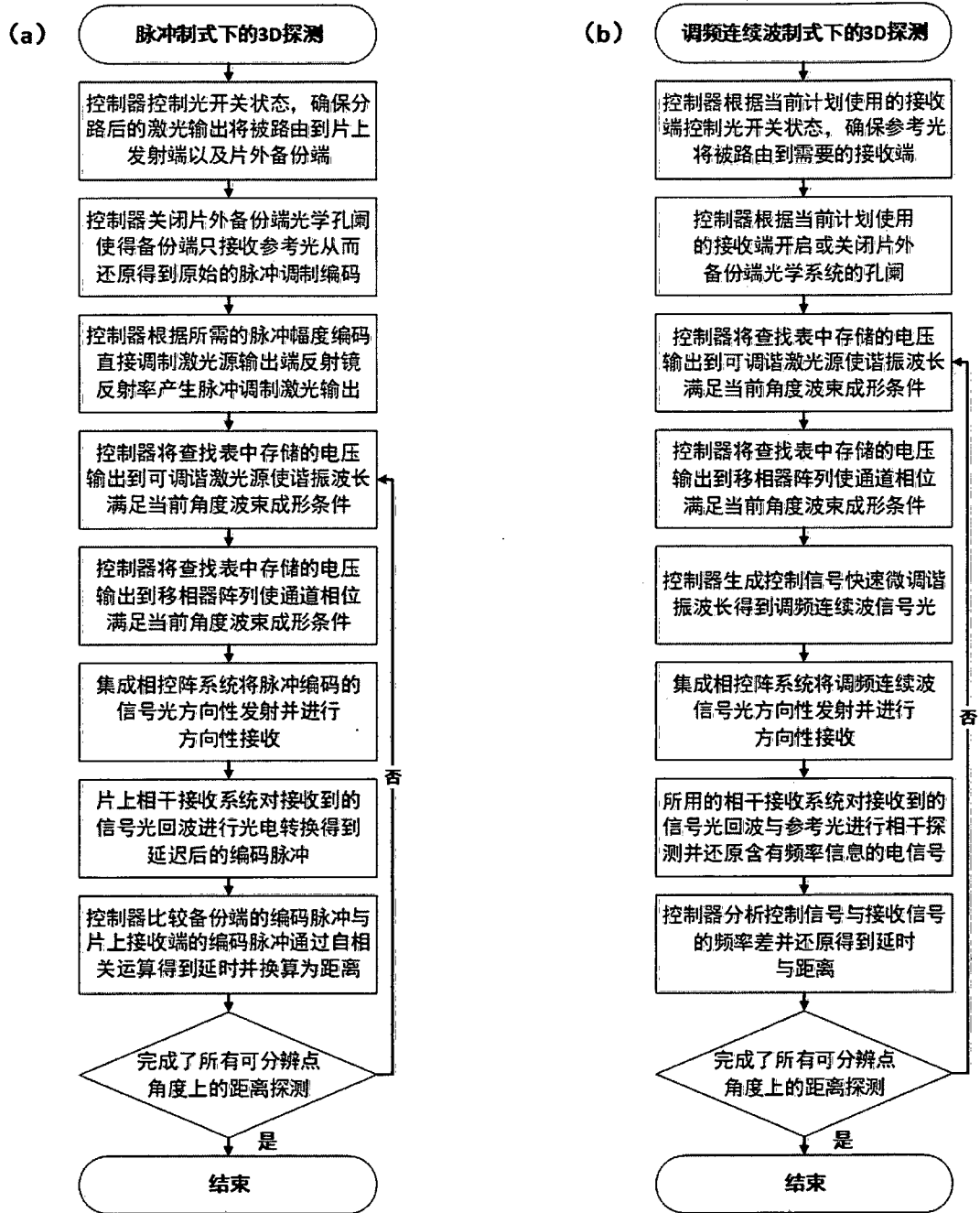


图 3

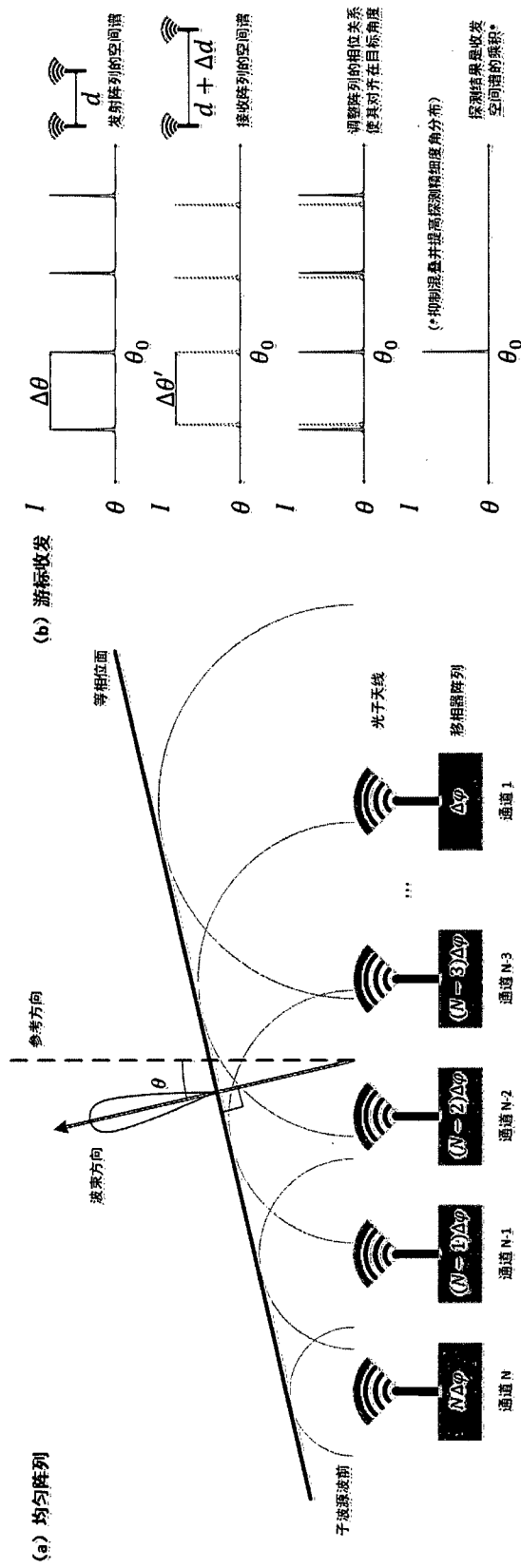


图 4

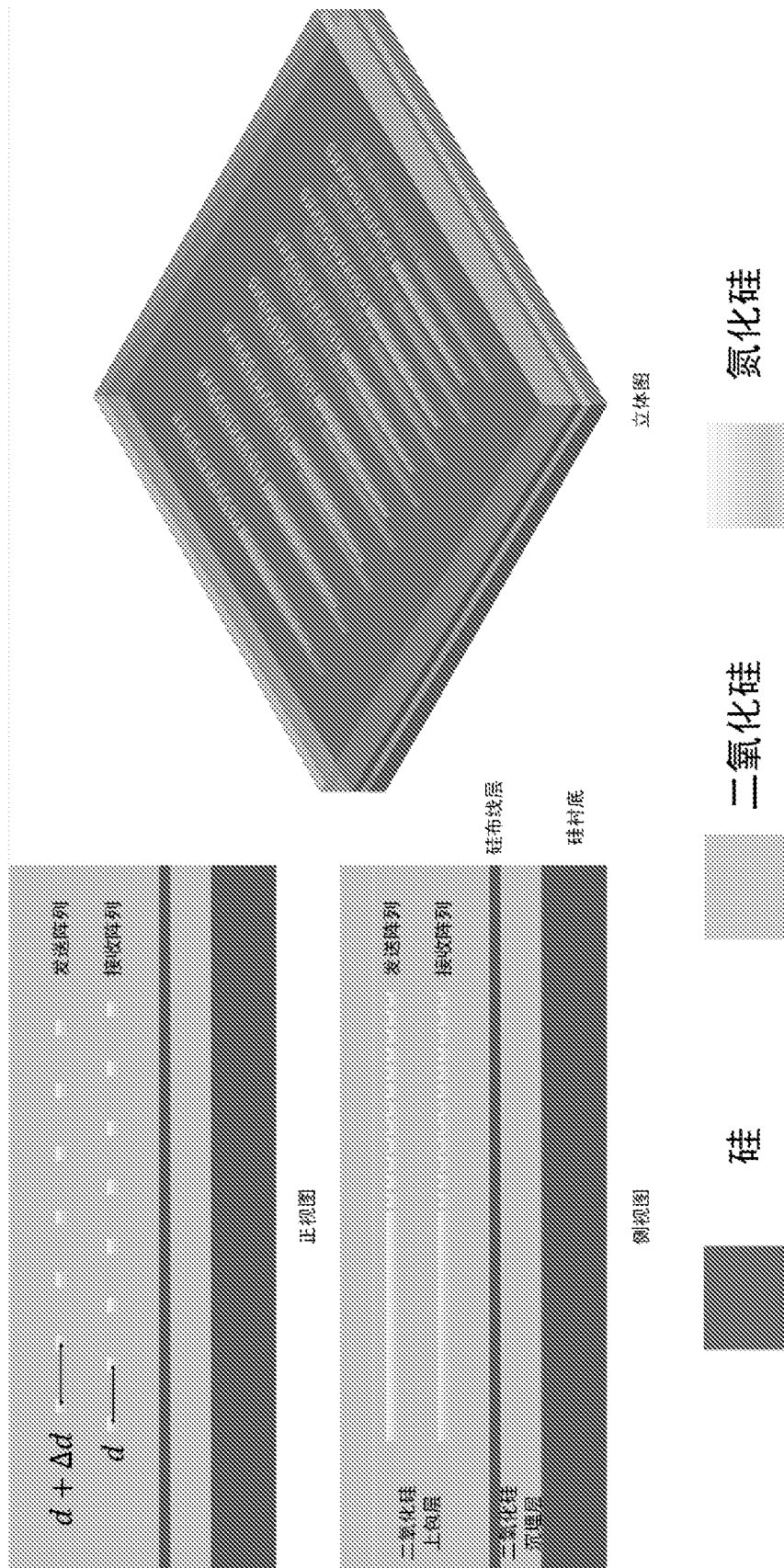


图 5

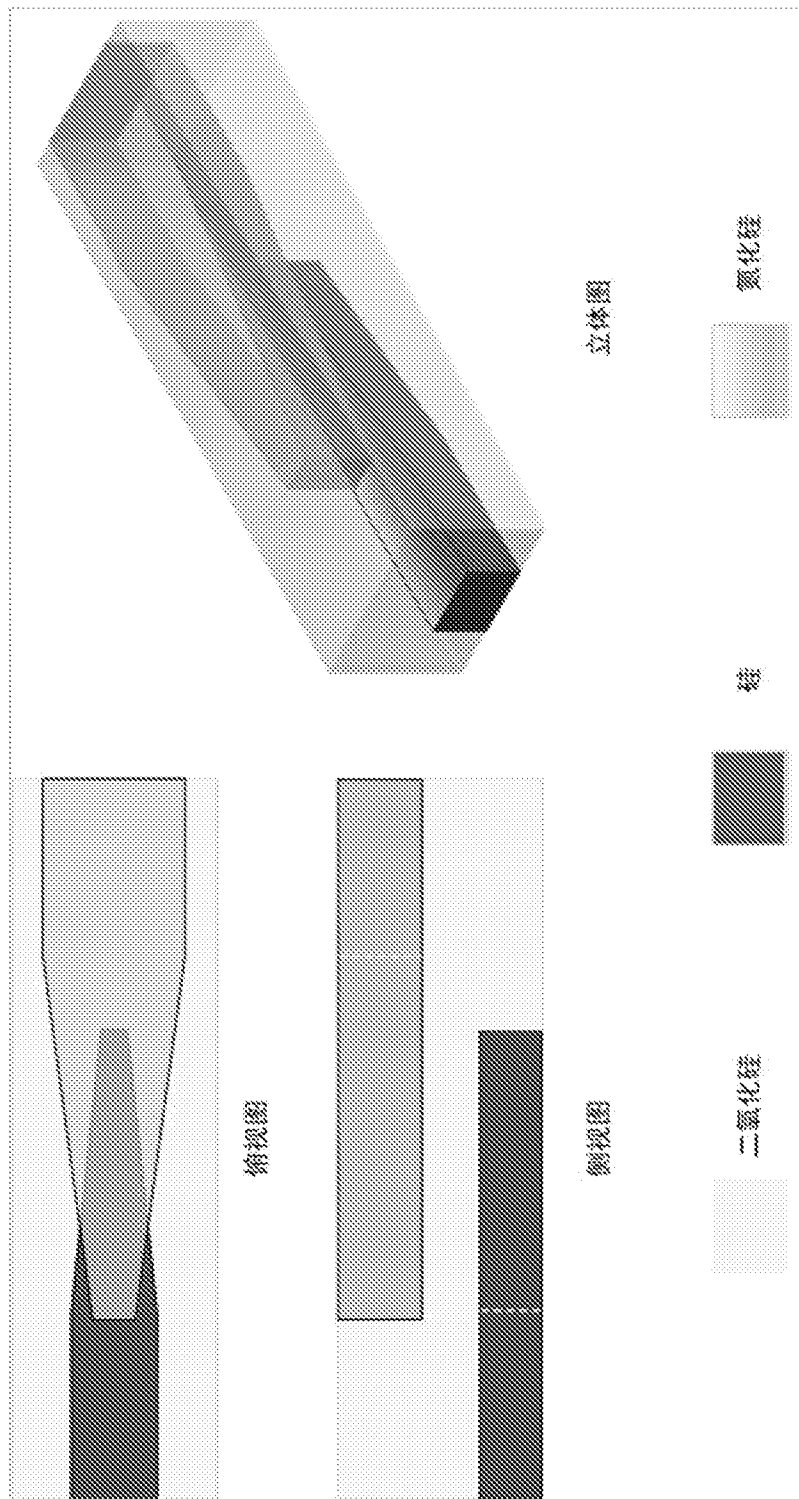


图 6

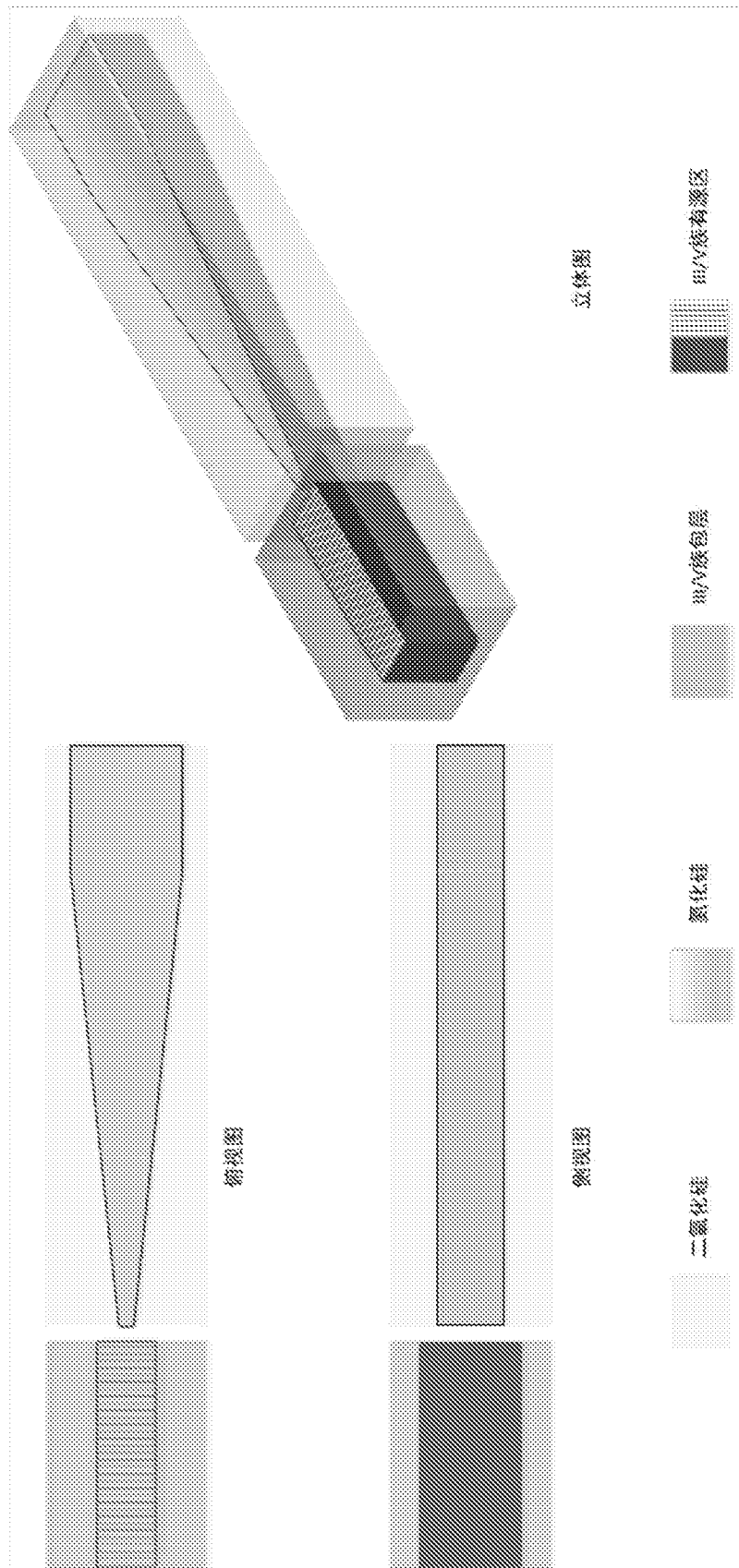


图 7

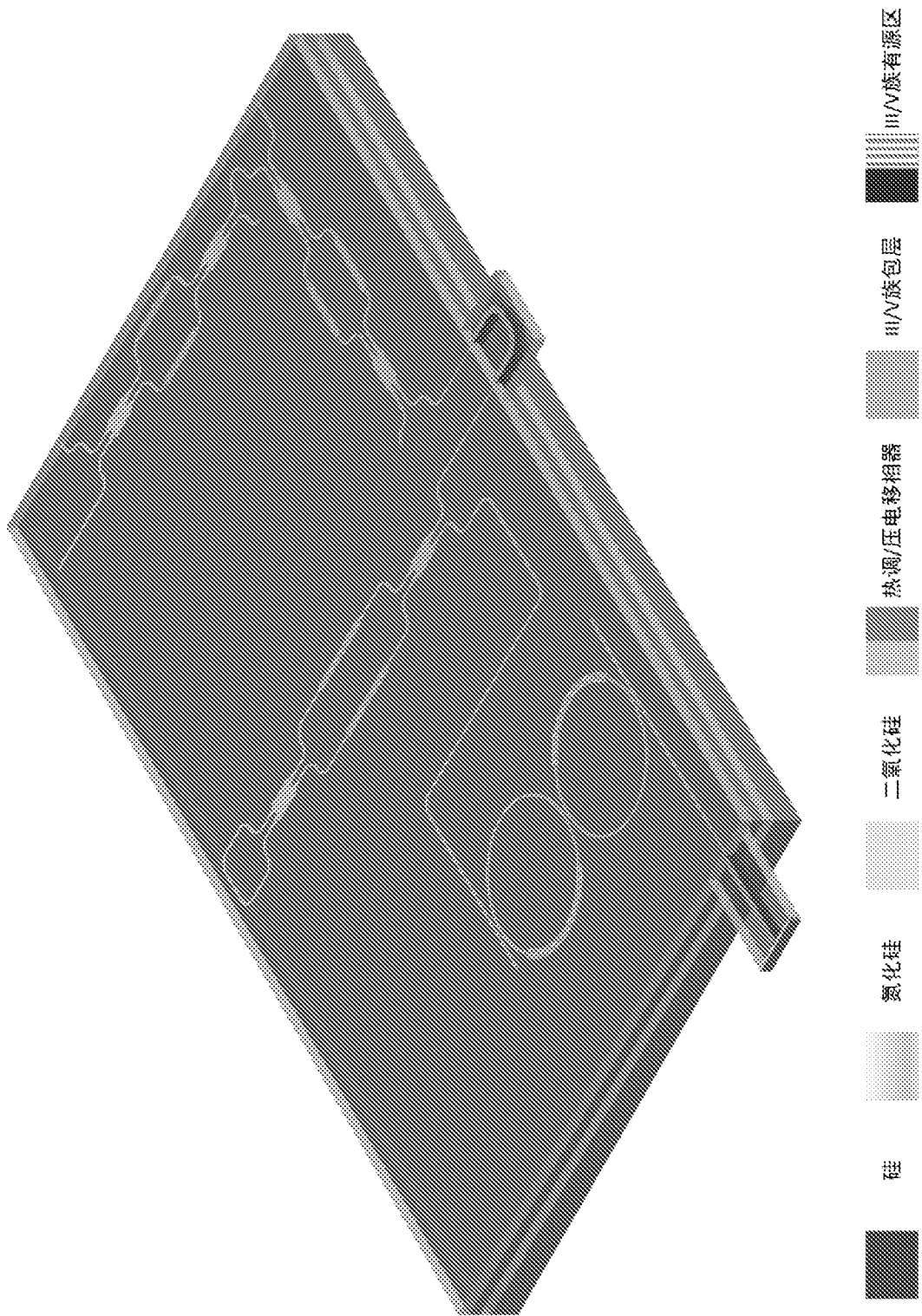


图 8



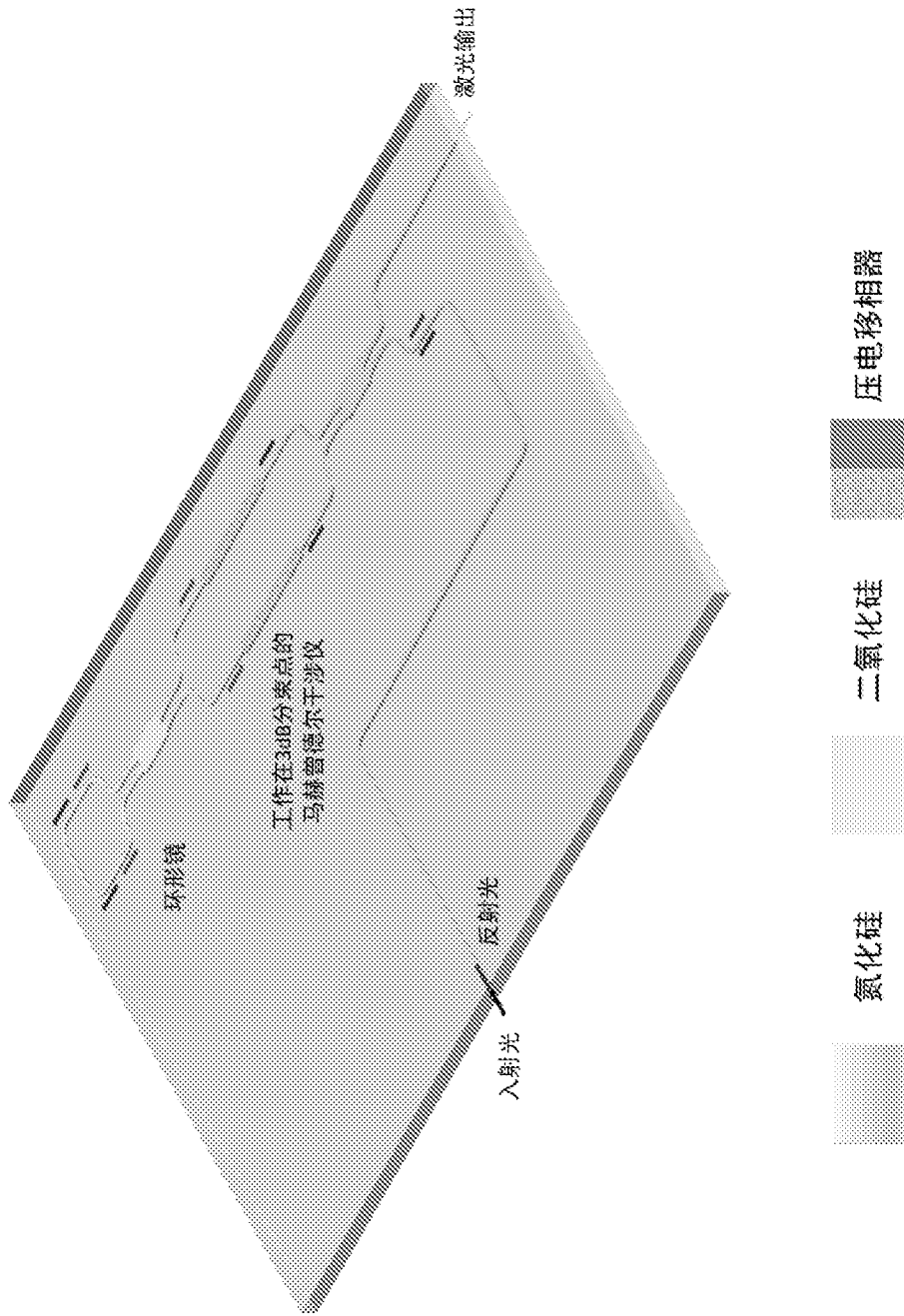


图 10



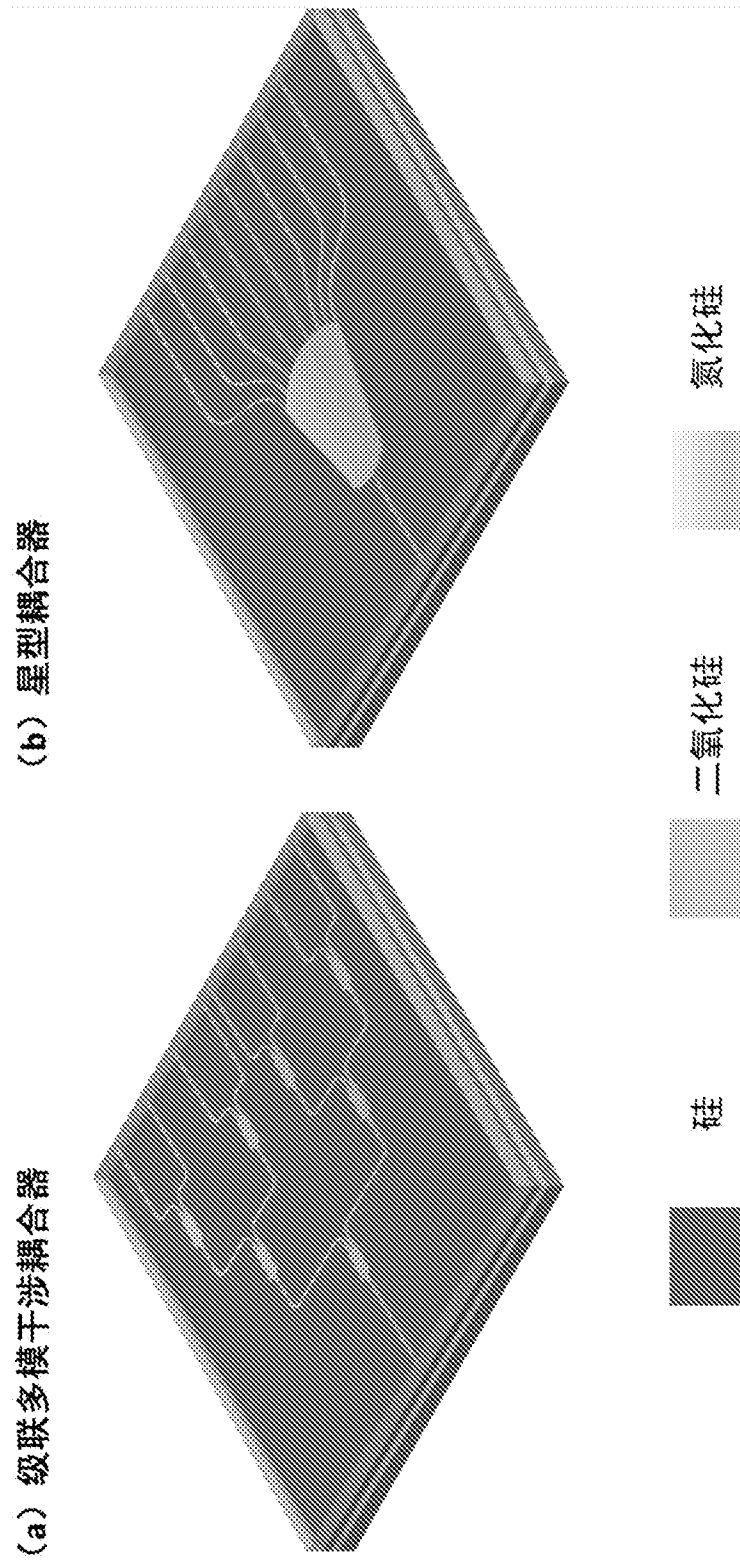


图 11

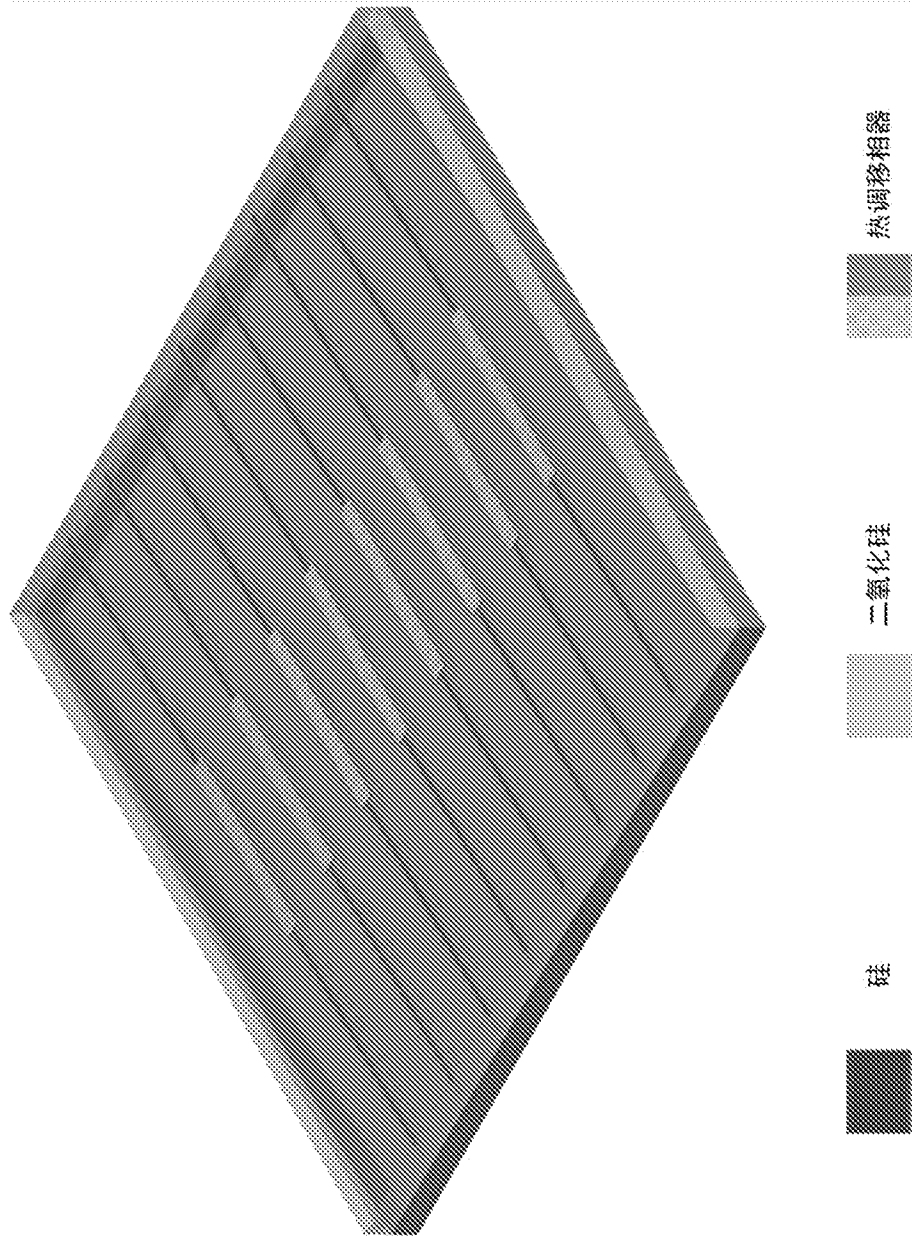


图 12

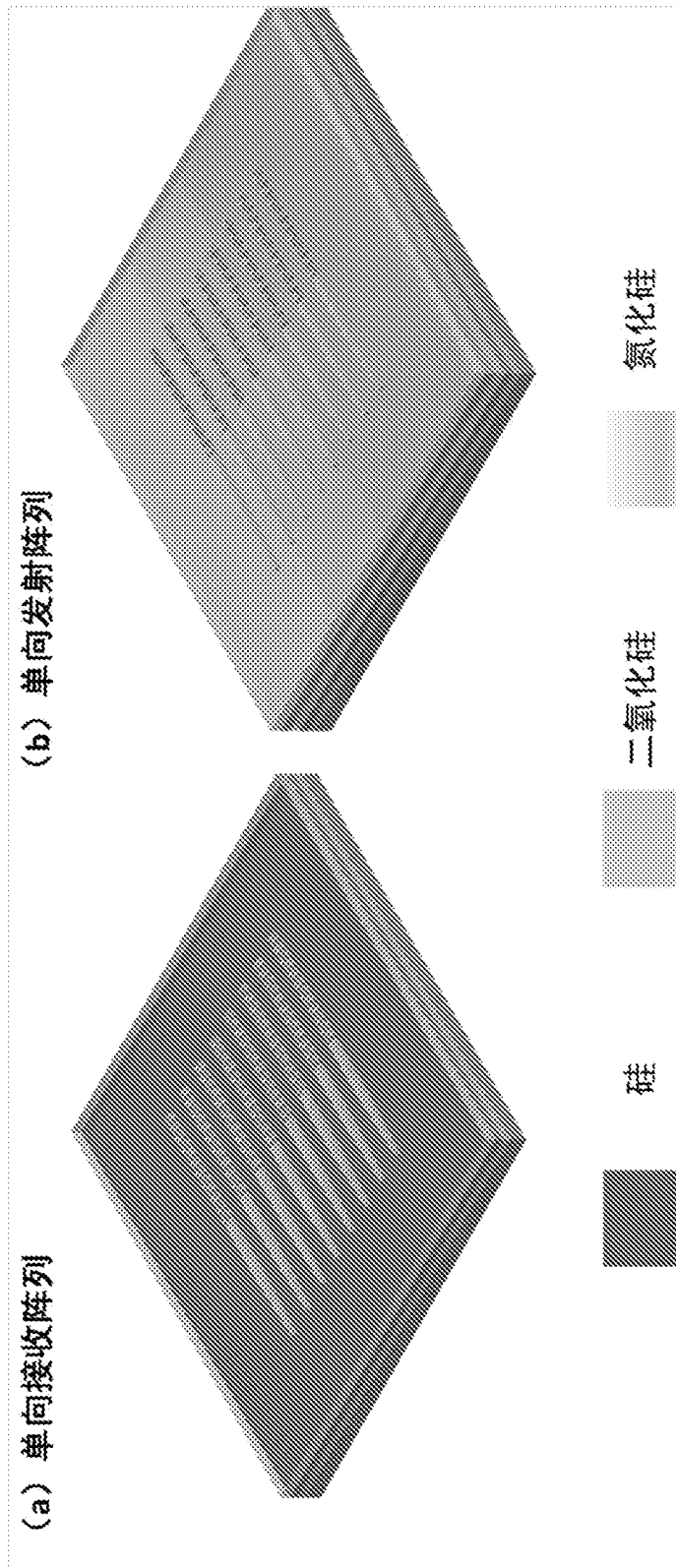


图 13

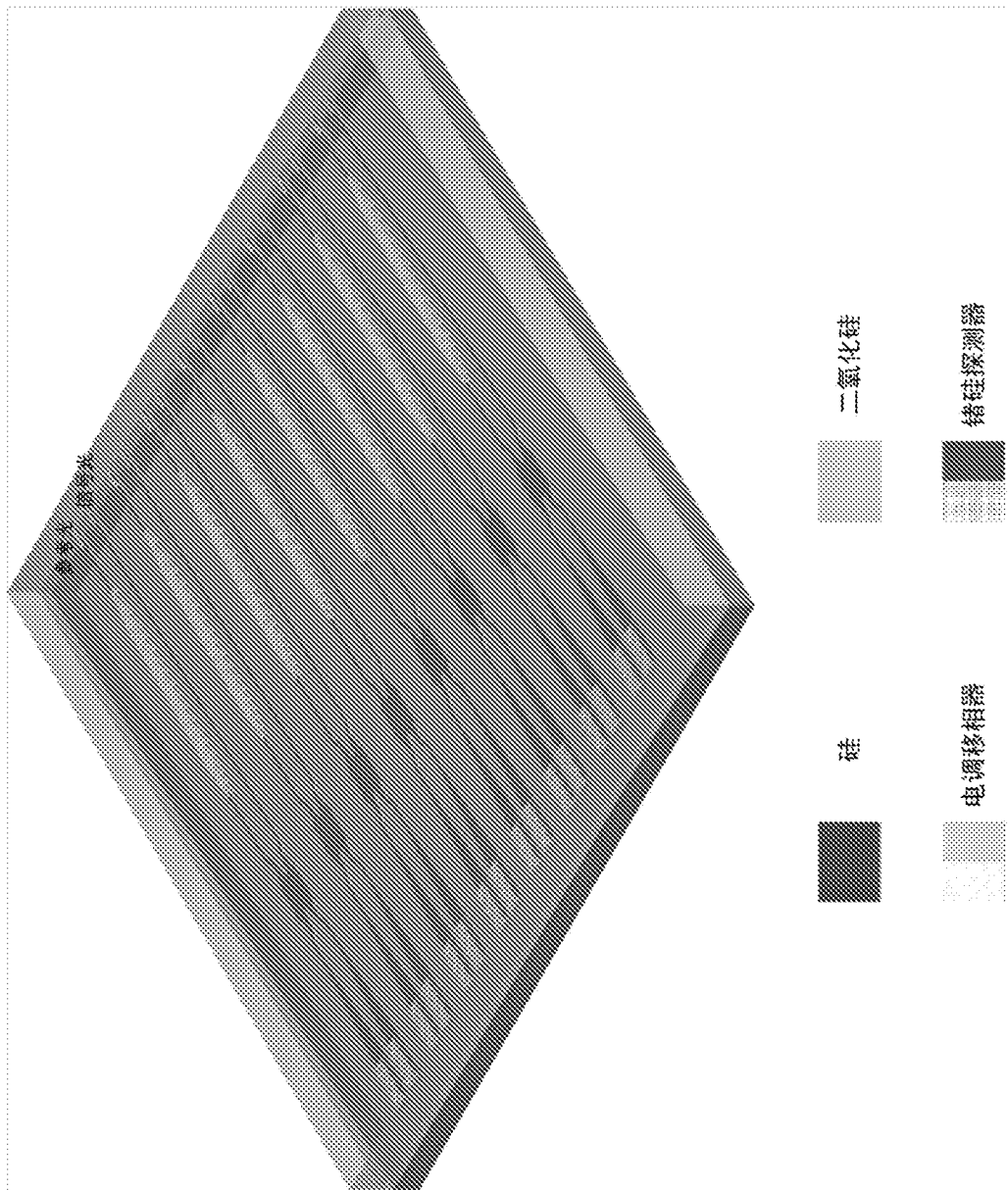


图 14

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/084038

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
G02B 26/10(2006.01)i; G01S 7/481(2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G02B, G01S		
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: 硅基, 激光, 雷达, 氮, 接收, 天线, 集成, 芯片, 相移, 片外; SOI, silicon, radar, emission, CMOS, chip, nitrification, nitride, nitrifier, phasic, integration		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 106773028 A (JILIN PROVINCE CHANGGUANG RAYS LASER TECHNOLOGY CO., LTD.) 31 May 2017 (2017-05-31) description, paragraphs [0035], [0066]-[0081], [0127]-[0132], and [0035], and figures 1 and 2	1-16
A	CN 106908776 A (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY) 30 June 2017 (2017-06-30) entire document	1-16
A	CN 108513619 A (DJI-INNOVATIONS CO., LTD.) 07 September 2018 (2018-09-07) entire document	1-16
A	CN 108231803 A (THE 55TH RESEARCH INSTITUTE OF CHINA ELECTRONIC TECHNOLOGY GROUP CORPORATION) 29 June 2018 (2018-06-29) entire document	1-16
A	CN 104133336 A (INSTITUTE OF SEMICONDUCTORS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 05 November 2014 (2014-11-05) entire document	1-16
A	US 2008157090 A1 (THOMSON, D. B. et al.) 03 July 2008 (2008-07-03) entire document	1-16
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 <b>22 November 2019</b>		Date of mailing of the international search report <b>13 December 2019</b>
Name and mailing address of the ISA/CN <b>China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088 China</b>		Authorized officer
Facsimile No. (86-10)62019451		Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/CN2019/084038**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	106773028	A	31 May 2017	CN	106773028	B	28 September 2018
CN	106908776	A	30 June 2017	None			
CN	108513619	A	07 September 2018	WO	2019041257	A1	07 March 2019
CN	108231803	A	29 June 2018	None			
CN	104133336	A	05 November 2014	CN	104133336	B	23 March 2018
US	2008157090	A1	03 July 2008	None			

<b>A. 主题的分类</b> G02B 26/10(2006.01)i; G01S 7/481(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>B. 检索领域</b> 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) G02B, G01S  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: 硅基, 激光, 雷达, 氮, 接收, 天线, 集成, 芯片, 相移, 片外; SOI, silicon, radar, emission, CMOS, chip, nitrification, nitride, nitrifier, phasic, integration		
<b>C. 相关文件</b>		
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 106773028 A (吉林省长光瑞思激光技术有限公司) 2017年 5月 31日 (2017 - 05 - 31) 说明书第[0035], [0066]-[0081], [0127]-[0132], [0035]段、图1-2	1-16
A	CN 106908776 A (上海交通大学) 2017年 6月 30日 (2017 - 06 - 30) 全文	1-16
A	CN 108513619 A (深圳市大疆创新科技有限公司) 2018年 9月 7日 (2018 - 09 - 07) 全文	1-16
A	CN 108231803 A (中国电子科技集团公司第五十五研究所) 2018年 6月 29日 (2018 - 06 - 29) 全文	1-16
A	CN 104133336 A (中国科学院半导体研究所) 2014年 11月 5日 (2014 - 11 - 05) 全文	1-16
A	US 2008157090 A1 (THOMSON, Darren Brent 等) 2008年 7月 3日 (2008 - 07 - 03) 全文	1-16
<input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 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 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “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 11月 22日		国际检索报告邮寄日期 2019年 12月 13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		授权官员 刘玫 电话号码 86-(10)-53962559

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/084038

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	106773028	A	2017年 5月 31日	CN	106773028	B	2018年 9月 28日
CN	106908776	A	2017年 6月 30日	无			
CN	108513619	A	2018年 9月 7日	WO	2019041257	A1	2019年 3月 7日
CN	108231803	A	2018年 6月 29日	无			
CN	104133336	A	2014年 11月 5日	CN	104133336	B	2018年 3月 23日
US	2008157090	A1	2008年 7月 3日	无			