

说明书

发明名称：激光雷达芯片和激光雷达

[0001] 本申请要求于2022年7月25日提交中国专利局、申请号为202210874886.7、发明名称为“激光雷达芯片和激光雷达”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

[0002] 本申请涉及激光雷达技术领域，特别是涉及一种激光雷达芯片和激光雷达。

背景技术

[0003] 随着科技的发展和社会的不断进步，激光雷达技术得到了越来越多的关注和迅猛发展。常见的全固态激光雷达包括光学相控阵（Optical Phased Array, OPA）激光雷达和焦平面开关阵列两种方式，其在尺寸、重量和速度上都具有机械式激光雷达无法比拟的优势。

[0004] 传统焦平面开关阵列方式的全固态激光雷达，将视场内每个角度都映像成焦平面的一个像素，每个像素仅由一个光学天线和一个开关组成。光源输入激光可以通过一个级联的开关阵列线路输出到发射阵列的任意一个光栅耦合器单元。因此通过开关阵列切换光源输入到不同的发射光栅通道，就可以实现激光雷达所需的二维光束扫描。然而传统焦平面开关阵列方式的全固态激光雷达只能接收处理单一偏振态的反射光，导致雷达会丢失一部分待测信息，其探测距离和探测准确性就会相应受限。如何提供一种能提高探测距离和准确性的激光雷达，是一个亟待解决的问题。

发明概述

技术问题

[0005] 基于此，有必要针对上述问题，提供一种能够提高探测距离和准确性的激光雷达芯片和激光雷达。

技术解决方案

[0006] 一种激光雷达芯片，包括分光器、分束器、接收器和发射器，所述发射器为焦

平面开关阵列发射器，所述发射器包括光开关阵列和光栅耦合器阵列，所述光开关阵列包括多个光开关，所述光栅耦合器阵列包括多个光栅耦合器，所述光栅耦合器阵列通过所述光开关阵列连接所述分光器，所述分光器同时与所述接收器相连，所述光栅耦合器阵列通过所述分束器与所述接收器连接，所述分束器与所述分光器相连；

[0007] 所述激光雷达芯片接收激光信号，通过所述分光器输出测量光至所述焦平面开关阵列发射器，同时通过所述分光器输出本振光至所述接收器；

[0008] 所述光开关阵列通过相应的光开关来将所述测量光导入到所述光栅耦合器阵列中相应的光栅耦合器，并通过所述光栅耦合器出射；

[0009] 所述光栅耦合器接收到的反射回波通过所述分束器进行偏振分束后传输至所述接收器；

[0010] 所述光栅耦合器为双偏振光栅耦合器。

[0011] 在其中一个实施例中，所述激光雷达芯片还包括回波耦合器，所述回波耦合器分别连接所述分光器、所述光开关阵列和所述分束器；所述回波耦合器将从所述分光器传来的测量光传输至所述光开关阵列，并将所述光开关阵列从光栅耦合器接收到的反射回波传输至所述分束器。

[0012] 在其中一个实施例中，所述光开关为双偏振光开关。

[0013] 在其中一个实施例中，所述双偏振光开关包括输入端、第一输出端和第二输出端，所述输入端与上一级双偏振光开关的第一输出端或回波耦合器相连，所述第二输出端与下一级的双偏振光开关的输入端或光栅耦合器相连，所述双偏振光开关通过所述输入端接收测量光，并通过所述第一输出端和所述第二输出端中的一个输出测量光；所述双偏振光开关在处于第一状态时通过所述第一输出端输出测量光，所述双偏振光开关在处于第二状态时通过所述第二输出端输出测量光。

[0014] 在其中一个实施例中，所述分束器分束后的光分别与所述本振光混频后传输至所述接收器。

[0015] 在其中一个实施例中，所述双偏振光栅耦合器为偏振不敏感光栅耦合器，所述偏振不敏感光栅耦合器的单端口与所述双偏振光开关连接，将接收到的具有TE

和TM偏振态的光输出至所述双偏振光开关。

[0016] 在其中一个实施例中，所述双偏振光栅耦合器为偏振分束光栅，所述发射器还包括偏振合束器，所述偏振分束光栅的双端口均连接所述偏振合束器，所述偏振合束器连接所述双偏振光开关；所述双偏振光栅耦合器将接收到的具有TE和TM偏振态的光均转换为TE偏振光后传输至所述偏振合束器，所述偏振合束器对两路TE偏振态的光进行偏振合束后输出TE和TM偏振光至所述双偏振光开关。

[0017] 在其中一个实施例中，所述双偏振光开关为相变材料光开关。

[0018] 在其中一个实施例中，所述相变材料光开关在相变材料为晶态时处于第一状态/第二状态，所述相变材料光开关在相变材料为非晶态时处于第二状态/第一状态；所述相变材料晶态和非晶态的切换控制方式包括外部电极加热、激光脉冲或电脉冲刺激。

[0019] 在其中一个实施例中，所述激光雷达芯片上还设有与外部处理器相电性连接的电接触点，所述电接触点与所述接收器和所述光开关相电性连接。

[0020] 一种激光雷达，包括壳体、设于壳体内部的激光器、处理器、准直透镜系统和上述的激光雷达芯片，所述激光器为所述激光雷达芯片提供激光信号，所述处理器用于控制所述激光器和所述激光雷达芯片的工作，所述准直透镜系统将所述激光雷达芯片发出的光导引出去。

有益效果

[0021] 上述激光雷达芯片和激光雷达，焦平面开关阵列发射器中利用双偏振光栅耦合器进行信号收发，实现偏振不敏感探测，有效提高了激光雷达的探测距离和准确性。

附图说明

[0022] 为了更清楚地说明本申请实施例或传统技术中的技术方案，下面将对实施例或传统技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0023] 图1为一实施例中激光雷达芯片的结构框图；

[0024] 图2为另一实施例中激光雷达芯片的结构框图；

- [0025] 图3为一实施例中激光雷达芯片的结构原理图；
- [0026] 图4为一实施例中相变材料光开关光束扫描侧视示意图；
- [0027] 图5为一实施例中光开关单元“ON”状态示意图；
- [0028] 图6为一实施例中光开关单元“OFF”状态示意图；
- [0029] 图7为一实施例中双偏振光栅耦合器的原理示意图；
- [0030] 图8为另一实施例中双偏振光栅耦合器的原理示意图；
- [0031] 图9为另一实施例中激光雷达芯片的结构原理图；
- [0032] 图10为一实施例中相变材料光开关的结构示意图；
- [0033] 图11为图10中相变材料光开关的A-A'剖视图；
- [0034] 图12为图10中相变材料光开关的B-B'剖视图；
- [0035] 图13为图10中相变材料光开关的C-C'剖视图；
- [0036] 图14为另一实施例中相变材料光开关的结构示意图；
- [0037] 图15为图14中相变材料光开关的A-A'剖视图；
- [0038] 图16为图14中相变材料光开关的B-B'剖视图；
- [0039] 图17为图14中相变材料光开关的C-C'剖视图。

本发明的实施方式

- [0040] 为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本申请进行进一步详细说明。应当理解，此处描述的具体实施例仅仅用以解释本申请，并不用于限定本申请。
- [0041] 除非另有定义，本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本申请的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中在本申请的说明书中所使用的术语只是为了描述具体的实施例的目的，不是旨在限制本申请。
- [0042] 可以理解，以下实施例中的“连接”，如果被连接的电路、模块、单元等相互之间具有电信号或数据的传递，则应理解为“电连接”、“通信连接”等。
- [0043] 自动驾驶、空间光通信、生物传感等领域的迅猛发展，不断推动着三维成像技术的发展，因而激光雷达技术得到了越来越多的关注和迅猛发展。激光雷达光束控制可以通过机械方式实现，然而，为实现大孔径、高分辨率、低损耗的激光雷达，这就需要全固态的激光雷达，常见的全固态激光雷达包括光学相控阵

激光雷达和焦平面开关阵列两种方式，其在尺寸、重量和速度上都具有机械式激光雷达无法比拟的优势。

- [0044] 然而采用OPA实现激光雷达所需的大角度、高分辨率光束扫描，除了需要精确的相位控制，还有多个挑战需要攻克。1) OPA光束扫描范围受限于其输出光束旁瓣。为了消除旁瓣，相控阵发射天线单元间距理论上要小于 $1/2$ 波长。而通常即使用波导光栅作为发射单元，为了有效抑制发射单元间的串扰，波导间距一般也需要远大于光波波长。虽然使用随机间距波导光栅阵列可以一定程度上抑制旁瓣，但不可避免会增大噪声。2) 实现高分辨率光束扫描，需要大口径OPA。而为了抑制旁瓣影响，发射天线单元间距需要尽可能小，这就导致OPA阵列规模庞大。二维OPA往往需要有几万甚至几十万个相控发射单元，工程实现的难度超大。因此现有OPA通常使用一维相控波导阵列加波导光栅输出阵列的方案，通过波导相位控制实现在一维方向上进行扫描，通过改变光波波长导致波导光栅输出角度变化来实现第二维度的扫描。问题是为了实现激光雷达所需的扫描范围，如 30° ，需要很大范围的波长调谐才能实现，如200nm。而这样的大范围可调激光器成本昂贵，很难满足激光雷达产品需求。
- [0045] 而使用焦平面开关阵列的方法实现激光雷达所需的光束扫描可以很好地避免上述OPA的问题。它是将视场内每个角度都映像成焦平面的一个像素，每个像素仅由一个光学天线和一个开关组成（这有助于提高单片集成度）。光源输入激光可以通过一个级联的开关阵列线路输出到发射阵列的任意一个光栅耦合器单元，将发射阵列放置于一个准直透镜的焦面位置，不同光栅发射的光束由于其相对透镜光轴的位置不同，经过透镜后形成不同角度的准直光束。因此通过开关阵列切换光源输入到不同的发射光栅通道，就可以实现激光雷达所需的二维光束扫描。
- [0046] 常见的开关阵列包括MZI（Mach - Zehnder Interferometer，马赫-曾德尔干涉仪）光开关和MEMS（Micro-Electro-Mechanical System，微机电系统）光开关。采用级联MZI光开关实现激光雷达多采用热调方式，由于MZI光开关本身的工作性质，其主要受限于尺寸和高功耗，很难在单片上实现非常多的通道；而采用MEMS光开关，则具有尺寸小，功耗低开关速度快等优势，然而硅基片上MEMS

光开关对工艺要求非常高。

[0047] 此外，无论是光学相控阵激光雷达还是焦平面光开关阵列激光雷达，由于其受限于波导与耦合光栅的偏振选择性，使得接收端仅能够处理单偏振（如TE（Transverse Electric Wave，横电波）模式）的信息，然而对于待测物体来说，即使入射光为单偏振模式，其经过不同物体表面反射光可能不再是单一偏振态，如果仅能接收处理单一偏振态的反射光，那么激光雷达有可能会丢失一部分待测信息，其探测距离和准确性就会相应受限。

[0048] 因此，为了实现大孔径、高分辨率、快速的全固态激光雷达，同时减小器件尺寸，降低功耗，实现更多的阵列单元进而实现更大的视场角和扫描精度，同时能够兼顾两种偏振态的信息调高系统的精度和准确性是目前全固态激光雷达亟待解决的关键问题。

[0049] 基于前述的OPA技术方案以及焦平面开关阵列技术方案的缺陷，主要是由于设计和工艺复杂，阵列单元尺寸较大，功耗高等问题；同时无论是光学相控阵激光雷达还是焦平面光开关阵列激光雷达，由于其受限于波导与耦合光栅的偏振选择性，使得接收端仅能够处理单偏振（如TE模式）的信息，从而限制激光雷达的精度和准确性。

[0050] 在一个实施例中，提供了一种激光雷达芯片，如图1所示，激光雷达芯片100包括分光器110、分束器（图中未示出）、接收器200和发射器300，发射器300为焦平面开关阵列发射器，发射器300包括光开关阵列和光栅耦合器阵列，光开关阵列包括多个光开关310，光栅耦合器阵列包括多个光栅耦合器360，光栅耦合器阵列通过光开关阵列连接分光器110，分光器110同时与接收器200相连，光栅耦合器阵列通过分束器与接收器200连接，分束器与分光器110相连。激光雷达芯片100接收激光信号，通过分光器110输出测量光至焦平面开关阵列发射器，同时通过分光器110输出本振光至接收器200；光开关阵列通过相应的光开关310来将测量光导入到光栅耦合器阵列中相应的光栅耦合器360，并通过光栅耦合器360出射；光栅耦合器360接收到的反射回波通过分束器进行偏振分束后传输至接收器200。发射器300中光栅耦合器360的类型并不唯一，可采用单偏振光栅耦合器，也可采用双偏振光栅耦合器。本实施例中，光栅耦合器360采用双偏振光

栅耦合器，双偏振光栅耦合器即是指可接收两种偏振波的光栅耦合器。

[0051] 进一步地，激光雷达芯片100还包括回波耦合器120，回波耦合器120分别连接分光器110、光开关阵列和分束器；回波耦合器120将从分光器110传来的测量光传输至光开关阵列，并将光开关阵列从光栅耦合器360接收到的反射回波传输至分束器。光栅耦合器360接收到的反射回波可以是直接传输至与接收器200连接的分束器，也可以是通过光开关阵列传输至与接收器200连接的分束器。本实施例中，光栅耦合器360接收到的反射回波通过光开关阵列传输至分束器，光开关阵列为双偏振光开关阵列，即光开关阵列中的光开关310采用双偏振光开关，双偏振光开关即是指允许两种偏振波通过的光开关。焦平面开关阵列发射器中采用双偏振光开关控制测量光传输的光路，并利用双偏振光栅耦合器进行信号收发，通过光路控制实现偏振不敏感探测。

[0052] 其中，根据光开关310在发射器300中所在位置不同，可将光开关310分为行选择光开关单元320和列选择光开关单元340。光开关310的具体类型并不唯一，在一个实施例中，光开关310为相变材料光开关。相变材料光开关采用相变材料和其他波导材料制作而成，相变材料在受到外部刺激时，可以在晶态和非晶态之间交替变化，且相变材料在晶态和非晶态之间所具有的折射率和材料损耗也会发生变化，因此当相变材料状态变化时，相变材料波导和其他波导材料所组成的混合波导中所对应的有效折射率不同，利用这一原理可以控制相变材料光开关在相位匹配和相位失配状态中切换，对应开关的“ON”或“OFF”状态，从而实现了对测量光的传输光路控制。

[0053] 采用相变材料光开关进行开关切换，相对于MZI光开关可减小器件尺寸，降低功耗。其中，相变材料光开关的开关速度可达纳秒级，开关频率可以达到GHz，因此即使数千采样点的水平波束扫描也可以在微秒量级完成。同时，相变材料光开关的功耗与热控级联MZI光开关相比得到了有效减小；整个激光雷达发射及接收可以于单一芯片上实现，尺寸较小；采用单一波长就可以实现全固态大角度高质量二维光束扫描，可望实现低成本和高可靠性。本实施例中，采用相变材料光开关控制测量光传输的光路，开关切换速度快且功耗低，可快速完成多通道的波束扫描，能够支持在单个激光雷达芯片上进行多通道的扩展，在单个

激光雷达芯片上实现更多的阵列单元进而实现更大的视场角和扫描精度。

[0054] 此外，激光雷达芯片100是PIC (Photonic Integrated Circuit 光子集成芯片) 单片机，具体可在SOI (Silicon-On-Insulator, 绝缘衬底上的硅) 衬底上形成接收器200和发射器300。进一步地，激光雷达芯片100上还设有与外部处理器相电性连接的电接触点，电接触点与接收器200和光开关310相电性连接。

[0055] 在一个实施例中，分束器分束后的光分别与本振光混频后传输至接收器200。具体地，激光雷达芯片100对波长为 λ 的线性调频连续波激光信号进行分束得到测量光和本振光，接收器200根据本振光和经过分束器进行偏振分束后的光进行混频和平衡光探测处理，得到目标物体信息。进一步地，光栅耦合器360出射的光束经过激光雷达的准直透镜系统后发射至目标物体；目标物体的反射回波经过准直透镜系统后返回光栅耦合器360。其中，激光雷达芯片100位于准直透镜系统的焦平面处，接收器200可采用相干探测接收器，在对焦平面开关阵列发射器中相关相变材料光开关进行状态切换确定传输测量光的光路后，测量光沿光路输送至对应光栅耦合器360从激光雷达芯片100表面出射，出射光束经置于激光雷达芯片100上方的准直透镜系统准直，形成不同空间方向的雷达扫描光束。测量光进入焦平面开关阵列发射器后通过控制行选择光开关单元320、列选择光开关单元340，可以切换致任意阵列单元的光栅耦合器360垂直于激光雷达芯片100表面出射。雷达扫描光束在被目标物体反射后形成的反射回波，通过同一光路返回进入接收器200，接收器200根据反射回波和本振光进行信号处理得到目标物体信息，实现对目标物体的探测。例如，接收器200将反射回波和本振光混频后通过平衡光探测，实现对目标物体空间方位、距离以及移动速度的探测。回波耦合器120可以采用50/50分光耦合器，也可以采用环形器以减小光损耗。反射回波信号与本振光混频后通过平衡光探测可实现对目标物体空间方位、距离、以及移动速度的探测。

[0056] 在一个实施例中，如图1所示，光开关310包括行选择光开关单元320和列选择光开关单元340，行选择光开关单元320依次连接后经过回波耦合器120与接收器200连接，各行选择光开关单元320分别对应与两个以上依次连接的列选择光开关单元340相连接，各列选择光开关单元340分别与对应一光栅耦合器360连接。

其中，可将行选择光开关单元320与相应的列选择光开关单元340同行设置，同一行的列选择光开关单元340依次连接后与对应的行选择光开关单元320连接。行选择光开关单元320和列选择光开关单元340阵列设置形成焦平面开关阵列，光开关单元之间通过阵列波导传输光信号，阵列波导可以是硅阵列波导或氮化硅阵列波导。阵列波导可以是在SOI衬底的硅层通过自由空间子波聚焦合束，也可以先将阵列波导的光信号耦合到置于其上方的介质层波导，然后在介质层通过自由空间子波聚焦合束。

[0057] 如图1所示，可将依次连接后的行选择光开关单元320中，按照连接关系将位于远离接收器200一侧的行选择光开关单元320，即位于最末端的行选择光开关单元320，称为位于末端的行选择光开关单元320；其他未处于末端的行选择光开关单元，则可称为位于非末端的行选择光开关单元320。在一个实施例中，位于非末端的行选择光开关单元320连接一路依次连接的列选择光开关单元340，位于非末端的行选择光开关单元320处于第一状态时，测量光传输至下一个行选择光开关单元320；位于非末端的行选择光开关单元处于第二状态时，测量光传输至对应的列选择光开关单元340。

[0058] 位于末端的行选择光开关单元320连接两路依次连接的列选择光开关单元340，位于末端的行选择光开关单元320处于第一状态时，测量光传输至其中一路列选择光开关单元340；位于末端的行选择光开关单元320处于第二状态时，测量光传输至另一路列选择光开关单元340。列选择光开关单元340处于第一状态时，测量光传输至下一个列选择光开关单元340；列选择光开关单元340处于第二状态时，测量光传输至对应的光栅耦合器360。

[0059] 其中，同一路的列选择光开关单元340同行设置，位于末端的行选择光开关单元320与两行列选择光开关单元340相连接。也就是说，行选择光开关单元320的数量可以比焦平面开关阵列的行数少一个，通过对位于末端的行选择光开关单元320进行状态切换，可实现两行光传输控制，降低成本。

[0060] 在另一个实施例中，如图2所示，位于末端的行选择光开关单元320连接一路依次连接的列选择光开关单元340，位于末端的行选择光开关单元320设置为第二状态，测量光传输至对应的列选择光开关单元340。可以理解，位于非末端的行

选择光开关单元320，以及不同行中列选择光开关单元340的切换原理与上文中类似，在此不再赘述。本实施例中，对应焦平面开关阵列的每一行都设置一个行选择光开关单元320，可将位于末端的行选择光开关单元320固定设置为第二状态，在接收到测量光后直接传输给对应的列选择光开关单元340。

[0061] 其中，行选择光开关单元320和列选择光开关单元340均为采用相变材料的光开关单元，可以理解，根据光开关单元在焦平面开关阵列发射器的连接关系不同，光开关单元的选择状态与测量光的传输方向之间的对应关系也会有所不同，即第一状态可以是对应光开关单元的“ON”/“OFF”状态，第二状态可以是对应光开关单元的“OFF”/“ON”状态。

[0062] 具体地，可通过控制相变材料在晶态和非晶态之间切换，从而控制相变材料光开关的状态。在一个实施例中，相变材料光开关在相变材料为晶态时处于第一状态/第二状态，相变材料光开关在相变材料为非晶态时处于第二状态/第一状态；相变材料的状态切换方式包括外部电极加热、激光脉冲或电脉冲刺激。其中，相变材料光开关的“ON”（“OFF”）状态既可以对应晶态也可以是非晶态，只要相变材料光开关中相变材料波导的波导尺寸满足相位匹配（失配）条件即可。可通过外部刺激如外部电极加热，激光脉冲或者电脉冲刺激等方式，使相变材料在晶态和非晶态之间交替变化，从而实现对相变材料光开关的状态切换。

[0063] 为便于理解，以下均以相变材料光开关的第一状态为“ON”状态，第二状态为“OFF”状态为例进行解释说明。

[0064] 如图3所示，光栅耦合器360采用单偏振光栅耦合器362，则激光雷达芯片100为单偏振相干激光雷达光子芯片。线性调频的测量光经过行选择光开关单元320，当行选择光开关单元320处于“ON”状态时，光信号直接通过行选择光开关单元320，不发生方向改变，光信号继续在纵向上传输直到抵达下一个行选择光开关单元320再进行选择；当行选择光开关单元320处于“OFF”状态时，光信号发生耦合，光信号进入阵列行横向传输，直到抵达下一个列选择光开关单元340进行方向选择。

[0065] 耦合到阵列行的测量光依次进入列选择光开关单元340，当列选择光开关单元3

40处于“ON”状态时，光信号在横向通道上继续传输，当列选择光开关单元340处于“OFF”状态时，光信号会耦合到单偏振光栅耦合器362，单偏振光栅耦合器362将沿平面传输的光信号从激光雷达芯片100表面垂直发射到自由空间。如图4所示，在自由空间中放置一个准直透镜系统400，其距离单偏振光栅耦合器362的距离为透镜焦距，准直透镜系统400具体可包括透镜，从单偏振光栅耦合器362发射出来的光信号经透镜准直发射到目标物体。通过控制每个光开关单元的状态，可以在 $M \times N$ 个发射点出射测量光，经过准直透镜系统400产生不同的扫描角度对远处目标物体进行扫描。对应地，接收器200接收到反射回波后，将反射回波和本振光混频得到两路光信号，根据两路光信号进行平衡光探测得到目标物体信息，实现对目标物体的探测。

[0066] 在一个实施例中，如图5和图6所述，双偏振光开关包括输入端port0、第一输出端port1和第二输出端port2，输入端port0与上一级双偏振光开关的第一输出端port1或回波耦合器120相连，第二输出端port2与下一级的双偏振光开关的输入端port0或光栅耦合器360相连，双偏振光开关通过输入端port0接收测量光，并通过第一输出端port1和第二输出端port2中的一个输出测量光；双偏振光开关在处于第一状态时通过第一输出端port1输出测量光，双偏振光开关在处于第二状态时通过第二输出端port2输出测量光。具体地，依次连接后的行选择光开关单元320中，第一个行选择光开关单元320的输入端port0与回波耦合器120连接，第一个行选择光开关单元320的第一输出端port1与下一个行选择光开关单元320的输入端port0连接，第一个行选择光开关单元320的第二输出端port2与同行第一个列选择光开关单元340的输入端port0连接，同行第一个列选择光开关单元340的第一输出端port1与下一个列选择光开关单元340的输入端port0连接，同行第一个列选择光开关单元340的第二输出端port2连接对应的光栅耦合器360。可以理解，除了最末端的行选择光开关单元320和最末端的列选择光开关单元340之外，位于第一个行选择光开关单元320之后级联的行选择光开关单元320，其两个输出端的连接关系与第一个行选择光开关单元320类似，同一行中位于第一个列选择光开关单元340之后级联的列选择光开关单元340，其两个输出端的连接关系与第一个列选择光开关单元340类似，在此不再赘述。

- [0067] 同样以行选择光开关单元320和列选择光开关单元340均为采用相变材料的光开关单元为例，当光开关单元处于“ON”状态时，由光开关单元的输入端port0接入的光信号直接通过光开关单元的第一输出端port1输出，不发生方向改变；当光开关单元处于“OFF”状态时，光信号发生耦合，从输入端port0耦合到第二输出端port2 输出。例如，将行选择光开关单元320切换为“OFF”状态时，光信号发生耦合，从输入端port0耦合到第二输出端port2输出，光信号进入阵列行横向传输抵达列选择光开关单元340进行方向选择。若列选择光开关单元340处于“OFF”状态，则光信号会耦合到列选择光开关单元340连接有单偏振光栅耦合器362的第二输出端port2输出。
- [0068] 在一个实施例中，光栅耦合器360为双偏振光栅耦合器。具体地，行选择光开关单元320和列选择光开关单元340均为相变材料双偏振的光开关单元。可通过对光开关单元的波导厚度和宽度的选择，实现双偏振的光开关单元，即在一定的波导横截面设计下，对应光开关单元的“ON”或“OFF”状态时，能够使TE和TM（Transverse Magnetic Wave，横磁波）模式同时满足相位匹配或相位失配条件，即“ON”（“OFF”）状态下，TE和TM偏振态能够同时从光开关单元的端口port1（port2）输出。其中，双偏振光栅耦合器可以是单端口或双端口的双偏振光栅耦合器，单端口的双偏振光栅耦合器可以直接与对应的列选择光开关单元340连接，双端口的双偏振光栅耦合器则可通过偏振合束器与对应的列选择光开关单元340连接。光栅耦合器360采用双偏振光栅耦合器时，接收器200接收到反射回波后，将反射回波和本振光混频得到四路光信号，根据四路光信号进行平衡光探测得到目标物体信息，实现对目标物体的探测。
- [0069] 具体地，双偏振光栅耦合器与双偏振光开关单元的连接可以有如图7和图8两种连接方案。
- [0070] 在一个实施例中，如图7所示，双偏振光栅耦合器为偏振不敏感光栅耦合器，偏振不敏感光栅耦合器的单端口与双偏振光开关连接，将接收到的具有TE和TM偏振态的光输出至双偏振光开关。具体地，当双偏振光栅耦合器是单端口输出的偏振不敏感光栅耦合器时，即当入射光为TE/TM两种偏振态，其耦合到SOI芯片上的光TE/TM偏振均从一个端口输出，则可将该端口直接与基于相变材料的列

选择光开关单元340相连，TE、TM两种偏振态经过列选择光开关单元340并沿光路原路返回到接收器200。

- [0071] 在另一个实施例中，如图8所示，双偏振光栅耦合器为偏振分束光栅，发射器300还包括偏振合束器380，偏振分束光栅的双端口连接偏振合束器380，偏振合束器380连接双偏振光开关；双偏振光栅耦合器将接收到的具有TE和TM偏振态的光均转换为TE偏振光后传输至偏振合束器380，偏振合束器380对两路TE偏振态的光进行偏振合束后输出TE和TM偏振光至双偏振光开关。具体地，当双偏振光栅耦合器是双端口输出的偏振分束光栅时，即TE/TM偏振从光栅耦合器的两个端口以TE模式分别输出，此时需要一个倒置的偏振分束器——偏振合束器380，两个TE分量通过偏振合束器380合成TE/TM到同一端口输出，将偏振合束器380的输出端口再与列选择光开关单元340相连接，使待测信号沿原路返回到接收器200。
- [0072] 本实施例中，将行选择光开关单元320和列选择光开关单元340设计为双偏振光开关单元，且光栅耦合器360选择双偏振光栅耦合器，发射器300能接收目标物体反射光信号中的TE分量和TM分量，实现偏振不敏感探测，达到最佳探测灵敏度和距离，能够兼顾两种偏振态的检测精度和准确性。
- [0073] 在一个实施例中，如图9所示，行选择光开关单元320和列选择光开关单元340均为相变材料双偏振的光开关单元，光栅耦合器360为双偏振光栅耦合器364，则激光雷达芯片100为双偏振相干激光雷达光子芯片。发射器300还包括偏振合束器380，各双偏振光栅耦合器364分别通过一偏振合束器380与对应的列选择光开关单元340连接。双偏振光栅耦合器364作为焦平面开关阵列的发射器件，通过偏振合束器380连接到列选择光开关单元340的交叉端口。而含TE、TM分量的回波信号进入接收器200后通过偏振分束器将TE、TM分离，分别与分束后的本振光混频及平衡光探测，探测到的两个偏振分量信号最后经数字信号处理合成为激光雷达探测信号。
- [0074] 在一个实施例中，当双偏振光开关采用相变材料光开关时，相变材料光开关具体可包括并排设置的输入波导、输出波导和位于输入波导、输出波导之间的耦合波导，耦合波导位于输入波导和所述输出波导之间，耦合波导为带有相变材

料的混合波导，输入波导的一端形成输入端port0，另一端形成第一输出端port1，输出波导与第一输出端port1临近的一端形成第二输出端port2，耦合波导用于选择性的将从输入端port0进来的光导引至第一输出端port1或第二输出端port2。其中，输入波导和输出波导的具体类型并不唯一，输入波导可以是硅波导或氮化硅波导，输出波导也可以是硅波导或氮化硅波导。对应地，耦合波导可以是相变材料波导与硅波导组成的混合波导，即混合波导由硅波导及其上覆盖的相变材料波导组成。本实施例中，耦合波导包括波导层和形成在波导层上方的相变材料层。如图10-图13所示，波导1、波导2、波导3为硅波导或氮化硅波导，波导4为相变材料波导。波导1作为相变材料光开关的输入波导，波导2作为相变材料光开关的输出波导，波导3和波导4作为耦合波导。

[0075] 具体地，波导1的一端11作为相变材料光开关的输入端port0，另一端12作为相变材料光开关的第一输出端port1，波导2与第一输出端port1临近的一端22作为相变材料光开关的第二输出端port2。中间硅波导和相变材料波导组成的耦合波导起到耦合的中间桥梁作用。当相变材料状态变化时，相变材料波导和硅波导所组成的耦合波导不同模式所对应的有效折射率不同，利用这一原理，输入波导、输出波导的模式与混合波导的模式可以在相位匹配和相位失配状态中切换，即光信号在第一输出端口port1和第二输出端port2中交替输出，对应开关的“ON”或“OFF”状态。

[0076] 在另一个实施例中，相变材料光开关包括输入波导和输出波导，输出波导为带有相变材料的混合波导。输入波导的一端形成输入端port0，另一端形成第一输出端port1，输出波导与第一输出端port1临近的一端形成第二输出端port2，输出波导用于选择性的将从输入端port0进来的光导引至第一输出端port1或第二输出端port2。其中，输入波导可以是硅波导或者氮化硅波导，输出波导可以是相变材料波导与硅波导组成的混合波导。本实施例中，输出波导包括波导层和形成在波导层上方的相变材料层。进一步地，输入波导包括输入段、输入耦合段和第一输出段，输出波导包括输出耦合段和第二输出段，输入耦合段和输出耦合段的长度相当且并排设置，相变材料层位于输出耦合段，第一输出段和第二输出段的端部分别形成第一输出端port1和第二输出端port2。

- [0077] 如图14-图17所示，波导1、波导2为硅波导或氮化硅波导，波导3为相变材料波导。波导1作为相变材料光开关的输入波导，波导2和波导3作为相变材料光开关的输出波导。具体地，波导1的一端11作为相变材料光开关的输入端port0，另一端12作为相变材料光开关的第一输出端port1，波导2与第一输出端port1临近的一端22作为相变材料光开关的第二输出端port2。输出波导即为硅波导与相变材料组成的混合波导，当相变材料在晶态与非晶态之间转换时，由于模式匹配和模式失配，光信号可以直通或者耦合进输出波导中。
- [0078] 以上即是提供了相变材料光开关两种不同的结构，图10-图13所示结构与图14-图17所示结构相比，具有损耗小、消光比大的优势。
- [0079] 在一个实施例中，还提供了一种激光雷达，包括壳体、设于壳体内部的激光器、处理器、准直透镜系统和上述激光雷达芯片，激光器为激光雷达芯片提供激光信号，处理器用于控制激光器和激光雷达芯片的工作，准直透镜系统将激光雷达芯片发出的光导引出去。
- [0080] 以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合，为使描述简洁，未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述，然而，只要这些技术特征的组合不存在矛盾，都应当认为是本说明书记载的范围。
- [0081] 以上所述实施例仅表达了本申请的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本申请构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本申请的保护范围。因此，本申请专利的保护范围应以所附权利要求为准。

权利要求书

- [权利要求 1] 一种激光雷达芯片，其特征在于，包括分光器、分束器、接收器和发射器，所述发射器为焦平面开关阵列发射器，所述发射器包括光开关阵列和光栅耦合器阵列，所述光开关阵列包括多个光开关，所述光栅耦合器阵列包括多个光栅耦合器，所述光栅耦合器阵列通过所述光开关阵列连接所述分光器，所述分光器同时与所述接收器相连，所述光栅耦合器阵列通过所述分束器与所述接收器连接，所述分束器与所述分光器相连；
- 所述激光雷达芯片接收激光信号，通过所述分光器输出测量光至所述焦平面开关阵列发射器，同时通过所述分光器输出本振光至所述接收器；
- 所述光开关阵列通过相应的光开关来将所述测量光导入到所述光栅耦合器阵列中相应的光栅耦合器，并通过所述光栅耦合器出射；
- 所述光栅耦合器接收到的反射回波通过所述分束器进行偏振分束后传输至所述接收器；
- 所述光栅耦合器为双偏振光栅耦合器。
- [权利要求 2] 根据权利要求1所述的激光雷达芯片，其特征在于，所述激光雷达芯片还包括回波耦合器，所述回波耦合器分别连接所述分光器、所述光开关阵列和所述分束器；所述回波耦合器将从所述分光器传来的测量光传输至所述光开关阵列，并将所述光开关阵列从光栅耦合器接收到的反射回波传输至所述分束器。
- [权利要求 3] 在根据权利要求2所述的激光雷达芯片，其特征在于，所述光开关为双偏振光开关。
- [权利要求 4] 根据权利要求3所述的激光雷达芯片，其特征在于，所述双偏振光开关包括输入端、第一输出端和第二输出端，所述输入端与上一级双偏振光开关的第一输出端或回波耦合器相连，所述第二输出端与下一级的双偏振光开关的输入端或光栅耦合器相连，所述双偏振光开关通过所述输入端接收测量光，并通过所述第一输出端和所述第二输出端中

的一个输出测量光；所述双偏振光开关在处于第一状态时通过所述第一输出端输出测量光，所述双偏振光开关在处于第二状态时通过所述第二输出端输出测量光。

- [权利要求 5] 根据权利要求4所述的激光雷达芯片，其特征在于，所述分束器分束后的光分别与所述本振光混频后传输至所述接收器。
- [权利要求 6] 根据权利要求4所述的激光雷达芯片，其特征在于，所述双偏振光栅耦合器为偏振不敏感光栅耦合器，所述偏振不敏感光栅耦合器的单端口与所述双偏振光开关连接，将接收到的具有TE和TM偏振态的光输出至所述双偏振光开关。
- [权利要求 7] 根据权利要求4所述的激光雷达芯片，其特征在于，所述双偏振光栅耦合器为偏振分束光栅，所述发射器还包括偏振合束器，所述偏振分束光栅的双端口均连接所述偏振合束器，所述偏振合束器连接所述双偏振光开关；所述双偏振光栅耦合器将接收到的具有TE和TM偏振态的光均转换为TE偏振光后传输至所述偏振合束器，所述偏振合束器对两路TE偏振态的光进行偏振合束后输出TE和TM偏振光至所述双偏振光开关。
- [权利要求 8] 根据权利要求4所述的激光雷达芯片，其特征在于，所述双偏振光开关为相变材料光开关。
- [权利要求 9] 根据权利要求8所述的激光雷达芯片，其特征在于，所述相变材料光开关在相变材料为晶态时处于第一状态/第二状态，所述相变材料光开关在相变材料为非晶态时处于第二状态/第一状态；所述相变材料晶态和非晶态的切换控制方式包括外部电极加热、激光脉冲或电脉冲刺激。
- [权利要求 10] 根据权利要求1所述的激光雷达芯片，其特征在于，所述激光雷达芯片上还设有与外部处理器相电性连接的电接触点，所述电接触点与所述接收器和所述光开关相电性连接。
- [权利要求 11] 一种激光雷达，其特征在于，包括壳体、设于壳体内的激光器、处理器、准直透镜系统和权利要求1所述的激光雷达芯片，所述激光器为

所述激光雷达芯片提供激光信号，所述处理器用于控制所述激光器和所述激光雷达芯片的工作，所述准直透镜系统将所述激光雷达芯片发出的光导引出去。