[19]中华人民共和国专利局

[51]Int.Cl[6]
G02F 2/02

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 95191534.7

[43]公开日 1997 年 1 月 15 日

[11] 公开号 CN 1140492A

[22]申请日 95.2.7

[30]优先权

[32]94.2.9 [33]US[31]08/193,979

[86]国际申请 PCT/US95/01569 95.2.7

[87]国际公布 WO95/22080 英 95.8.17

[85]进入国家阶段日期 96.8.8

[71]申请人 洛克希德马丁公司

地址 美国马里兰州

[72]发明人 J·S·阿亨恩

小·J·W·利特尔

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

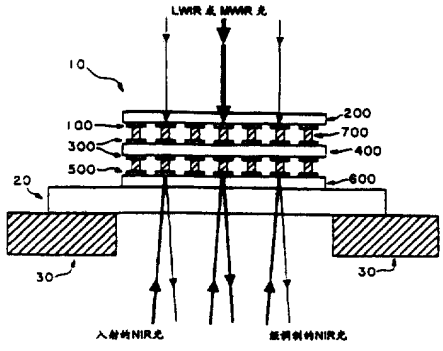
代理人 马铁良 萧掬昌

权利要求书 3 页 说明书 12 页 附图页数 7 页

[54]发明名称 红外图像变换器

[57]摘要

一种用于将中波红外和长波红外的热致图像变换为相干的近红外图像的器件，它包含：以量子阱为基础的光调制器（500）和红外光检测器（100）的二维阵列。每个调制器与相关的光检测器集成或混合装配，并且其组合体连接到电子电路上，中红外或长红外光强度的变化由每个光检测器变换为施加到它相关的调制器上的偏置电压的变化。该偏置电压变化调制照射调制器的近红外光的强度和/或相位。



权　利　要　求　书

1.一种变换装置，用于将第一预定范围波长的光的变化变换为第二预定范围波长的光的变化，包含:

一基片;

一吸收调制器，包含具有由于重的空穴激子形成的一个吸收率的多个量子阱，当预定的偏置电压施加到调制器上时，在第二预定范围内的波长下该吸收率最大;

一光检测器，具有多个量子阱并且电连接到吸收调制器上；以及

一装置，电连接到吸收调制器和光检测器，用于对吸收调制器和光检测器提供偏置电压;

其中，电连接的光检测器和吸收调制器分布在基片上，并且具有第一强度和在第一预定范围内的波长的光入射到光检测器上、并且具有第二强度、第二相位和在第二预定范围内的波长的光入射到吸收调制器时，第一强度的变化形成吸收调制器上的偏置电压的变化，使得第二强度和第二相位的至少其中之一产生变化.

2.如权利要求 1 所述的装置，包含一个二维吸收调制器阵列，一个二维光检测器阵列，和多个电源装置，其中每个光检测器电连接到相关的吸收调制器上，以及每个电连接的光检测器和吸收调制器电连接到相关的电源装置上并分布在该基片上.

3.如权利要求 1 所述的装置，其中的光检测器包含的一个多层结构具有多个量子阱，每个量子阱具有一个被约束的基能态和一个被约束的激发能态；并且具有多个交错在各量子阱之间的超晶格结构的位垒层，每个超晶格结构位垒层都具有与它的各邻近的量子阱的受激态共振的能态的微带，并且各微带和激发态为通过吸收具有在第一预定范围内的波长的光子而从基能态激发到激发能态和微带的载流子提供穿过各阱和各层的连续的电沟道.

4.如权利要求 1 所述的装置，其中的光检测器沿垂直方向与吸收调制器整体式形成.

5.一种变换装置，用于将具有在第一预定范围内的波长的第一图像变换为具有在第二预定范围内的波长的第二图像，包含:

一光检测器阵列，按一像素格式分布在第一基片上，每个光检测器

包含多个量子阱，并且当第一图像入射到变换器时，产生一个幅值与第一图像的一个相关像素的强度成比例的光电流；

一电子电路部分，位于第二基片上；以及

一光调制器阵列，按照像素格式分布在第三基片上，每个光调制器包含具有预定厚度和由于重空穴激子形成的吸收率的多个量子阱调制器层，该吸收率根据施加到光调制器上的电压在第二预定范围内的波长下变化；

其中，该电子电路部分夹在并电连接到光检测器和光调制器之间，当第一图像入射到变换器上时，用于将由光检测器产生的光电流变换为该施加到相关的光调制器上的电压，以将第一图像变换为第二图像。

6.如权利要求 5 所述的图像变换器，其中每个光检测器包含的多层结构具有多个量子阱，每个量子阱具有被约束的基态和被约束的激发态；并且具有多个交错在各量子阱之间的超晶格结构位垒层，每个超晶格结构位垒层具有与它的各邻近的量子阱的激发能态共振的能态的微带，以及各微带激发能态为通过吸收具有在第一预定范围内的波长的光子而从基能态激发到激发能态和微带的载流子提供穿过各阱和各层的连续的电沟道。

7.一种集成式图像变换器，用于将具有在第一预定范围内的波长的红外图像变换为具有在第二预定范围内的波长的第二图像，包含:

一第一基片；

一红外检测器阵列部分，包含多个按像素格式分布的红外检测器，每个红外检测器用于当红外图像入射到变换器上时产生其幅值与入射的红外图像的相关像素的强度成比例的光电流；

光调制器阵列部分，包含多个按像素格式分布的光调制器，每个光调制器用于根据施加到光调制器上的电压吸收具有在第二预定范围内的波长的光；以及

电子电路部分，位于在第二基片上并包含多个用于将由红外检测器产生的光电流变换为电压；

其中，该红外检测器阵列部分和光调制器阵列部分一个位于另一个之上并位于在第一基片之上，并且多个变换装置以像素为单位电连接到红外检测器阵列部分和光调制器阵列部分的其中之一上，以便将由光电流变换的电压施加到其中相关的一个光调制器上，并将红外图像变换为

第二图像。

8.在一种包含多个量子阱的半导体装置中的，将具有在第一预定范围内的波长的光变换为具有在第二预定范围内的波长的光的方法，包含的步骤有:

将具有在第一预定范围内的波长的光变换为电流，该电流的幅值由所变换的光的强度来确定;

将该电流变换其幅值与该电流的幅值成比例的电压；以及

响应于该电压控制具有在第二预定范围内的波长的光的强度和相位中的至少其中之一。

说　明　书

红外图像变换器

本发明涉及一种用于将一个频谱区的图像变换为另一个频率区的图像的半导体量子阱装置。

近来根据在半导体量子阱（ QW ）中的电场与强吸收谐振的关系，对范围广泛的电光装置进行很多的研究工作。在 QW 中，一种半导体材料薄层夹在不同材料的覆盖层之间，各种材料的电性能是这样的，即电位阱（在中心层中）形成在两个电位垒（在二覆盖层中）之间。最级为 100Å（埃）的小的 QW 厚度导致电荷载流子沿厚度方向移动的量化。

此外， QW 呈现量子约束的斯塔克（ Stark ）效应，在这种效应中，与产生轻和重空穴激子有关的 QW 的峰值光吸收波长响应于施加的电场移动到较长波长。由于这些峰值激子的吸收具有有限的频谱宽度（由电子/空穴与材料杂质和声子相互作用引起），在接近峰值的波长下的 QW 的透射率随施加的电场变化而变化。 QW 器件的这些和其它方面将在 Little, Jr 等人共同转让的美国专利第 5047822 号中予以介绍，在这里特意引入该专利作为参考。

由于单一的 QW 是那样薄，通常通过层叠很多个（例如 50 个） QW 来制造这些器件，以便产生明显的光效应。多层量子阱（ MQW ）器件的很多方面介绍在 C. Weisbuch 等人的 Quantum Semiconductor Structure（量子半导体结构）. Academic Press, Inc., San Diego, Colif (1991)中。

一种简单的 MQW 器件是一个吸收调制器，在其中通过改变施加的电场，使量子阱的激子吸收边缘与窄频带的光源（例如激光）的波长相一致或者不一致。因此，利用调制器透过或反射的光的强度按照施加的电场或偏置电压而变化，如上所述。

关于这种吸收调制器（虽根据 Wannier-Stark 定位而不是量子约束的斯塔克效应)介绍在 K. K. Law 等人的“ Narmally-Off High-Constrast Asymmetric Fabry-Perot Reflectron Modulator Using Wannier-stark Localization ina Superlattice ”，以及 K. -K 等人的“ Self-Electro-Optic Device Based on a superlattice Asymmetric Fabry-Perot Modulator with an On/Off Rati>100:1 ”. 应用物理通讯第 57 卷第 1345 － 1347 页

（ 1990.9.24 ））. 与由于量子约束的斯塔克效应形成的激子的吸收峰值的 QW 向较长波长的偏移相对比， Wannier-Stark 定位导致向较短的波长的偏移，在超晶格结构中增强了电场.

通常，超晶格结构是一种交错的薄位垒层和 QW 的层叠结构，在其中各 QW 以共振方式耦合，使 QW 的离散电荷－载流子能级展宽进入各微带. 施加电场破坏了这种共振，使相邻的各 QW 中的能级失配因此要在几个 QW 上确定这些能级. 这样就将光吸收频谱由一平滑的微带分布变为带峰值的 QW 激子分布，并且使吸收边缘形成蓝色偏移.

如下面更详细介绍的，本申请人的发明可以利用 MQW 或超晶格结构来具体实现. 此外，应当理解，在本申请中介绍的这种结构可以利用各种各样的半导体制造方法来形成，例如金属－有机化学蒸镀沉积、分子束外延、电化学沉积法. 例如参阅 J. Switzer 等人的“电沉积的陶瓷超结格结构” Sci 卷 247，第 444 － 445 页，（ 1990.1.26 ）；以及上面列举的 Weisbuch 等人的著作.

简单的 MQW 吸收调制器工作在室温下可能呈现的调制深度即最小到最大吸收率的比值约 10:1 到 30:1 . 这些低的调制深度可以通过将 MQW 结构和适当的光共振腔相结合来提高. 这种共振腔例如为一对不对称的 Fabry-Perot 频谱分析干涉仪（ ASFPE ）. ASFPE 是一种由具有不同反射率的两个平面镜构成的光共振腔. 在由 Terrancel. Worcheshy 和 Kenneth J.Ritter 1993.8.20 申请的共同转让的美国专利申请第 08/109550 号中介绍了这种装置，在这里参照引用了该专利申请.

QW 的另一种应用是量子阱红外光探测器（ QWIP ）. 在包括 M. O. Manasrch 编辑的用于长波长的红外探测器的半导体量子阱和超晶格结构（第 55 － 108 页， Artech House, Boston, Mass. (1993)）的文献中介绍的 QWIP 中，由在 GaAs 的 QW 中的束缚态电子进入在 QWIP 覆盖层中的高迁移率薄道的内部光发射，提高了在出现热释光时的 QWIP 的电导率，该热释光即从约 8000 到约 12000 毫微米的长波红外（ LWIR ）波长或从约 3000 到约 5000 毫微米的中波红外（ MWIR ）波长的光. 当工作在固定的偏置电压时，随着流经 QWIP 的电流的增加检测该光. 由 QW 的宽度（通常在 4 到 8 毫微米宽度范围内）和覆盖层的成分（标称厚度的 $Al_{(x)}Ga_{(1-x)}As$ 层， X 的范围为 0.2 到 0.6 ）确定 QWIP 的特性（例如峰值响应波长、光频带宽度、和电特性）.

与电荷耦合器件（ CCD ）成像器相似，可提供 QWIP 的阵列，以便形成热致图像．在常规的热致图像系统中，检测器元件的阵列与一硅多路转换器相匹配，该多路转换器以一种“组桶”（ bucket brigade ）方式顺序地由每个基元读出电流（即由每个基元将电荷会聚到一电容器，然后沿着一行电容器传递到列读出电容器组，该电容器组将电荷顺延传递到在多路转换器上的单一电荷测量元件上）．每个电荷包的原来的位置被跟踪，以电方式重新构成图像，通常是在监视器上形成电视图像。

现时还没有实现对于 QWIP 的电特性最优化的多路转换器．已经投入使用的多路转换器不能很好地适用于通常在液氮温度附近的温度下工作的相当高的暗电流，并且大大提高了成像系统的成本．此外，多路转换器是由硅而不是 GaAs 制成的，热膨胀系数的不协调限制了阵列的实际尺寸，使其充分低于由于 GaAs 的晶体生长和处理技术提出的限制。此外，由于多路转换器必须尽可能接近检测器定位，还必须对它们进行冷却，但是多路转换器的热容积和热耗散加重了常规的冷却系统的负担。

申请人已经认识到，流经 QWIP 的电流可以用于为 MQW 调制器提供所需的偏置电压．在这样一种装置中，由于 MWIR 或 LWIR 光照射 QWIP 的光量变化引起的 QWIP 电流的变化，将使由 MQW 调制器反射或透射的近红外（ IR ）光（即波长从约 800 毫微米到 2000 毫微米）的光量或相位产生变化.因此， LWIR 或 MWIR 光的强度变化变换为 NIR 光的强度或相位的变化.

由 V. Gorfinkle 等人的论文“通过次带内（ Interswbband ）吸收的量子阱的带内光特性的快速调制”（应用物理通讯，第 60 卷，第 3141 - 3143 页（ 1992.6.22 ））介绍了掺杂的 MQW 吸收调制器的理论，其中利用 LWIR 光子的次带内吸收调制 NIR 光子的带内吸收强度． LWIR 吸收将部分地消耗处于基态的载流子的数目，因此改变 NIR 吸收的最终状态的密度。

将这种例如用于将 LWIR 信息变换为 NIR 信息的器件的明显的缺点是由于在同一 MQW 结构中发生各种吸收作用，使工作的 LWIR 和 NIR 波长的光相互依赖．此外，为了进行明显的 NIR 吸收调制，需要很大的 LWIR 通量，并按波导的布局进行制造.

申请人的发明提供一种装置和方法，用于将中波红外（ MWIR ）或长波红外（ LWIR ）热致图像变换成相干的近红外（ NIR ）图像．该装置包括：量子阱红外光检测器（ QWIP ）的二维（ 2D ）阵列、量子阱光调制器的 2D 阵列、以及－电子电路．入射到 QWIP 阵列上的 LWIP 或 MWIR 光的强度变化变换为光调制器的偏置电压的变化．偏置电压的变化导致由调制器阵列反射的（或经其透射的） NIR 光的强度和/或相位的变化．

根据申请人的发明的一个方面，一种混合式的图像变换器包含分布在第一基片上的红外检测器阵列部分、位于第二基片上的电子电路部分、以及分布在第三基片上的光调制器阵列部分．电子电路部分夹在红外检测器部分和光调制器部分之间，用于将在红外检测器阵列的像素中产生的光电流变换为施加到相关的光调制器阵列的像素上的电压。

根据申请人的发明的另一个方面，一种集成式图像变换器包括：位于在第一基片上的红外检测器阵列部分和光调制器阵列部分（通过将其中一个部分置于基片上，再将另一个部分置于该部分上），以及位于在第二基片上的电子电路部分．例如利用铟凸起焊接技术将电子电路部分的各元件以像素为单位电连接到红外检测器/调制器阵列的各基元上。

申请人的图像变换器具有的优点是可以独立地选择操作波长、对低光强度的灵敏度、以及平面（而不是波导）几何参数，使得它能理想地适合于二维的所说阵列。由于 NIR 光源可以是一个激光器，所形成的相干的 NIR 图像可以用作一个光信号处理器的输入，该处理器能够进行复杂的图像分析，例如图形确认或背景杂波抑制。

结合附图通过阅读如下的详细介绍，将会更好地理解申请人的发明的特征和优点，其中：

图 1 是根据申请人的发明包括红外检测器阵列、电子装置部分、和光调制器阵列的混合式图像变换器的示意断面图；

图 2 是根据申请人的发明的混合式图像变换器的红外检测器部分、电子装置部分、和光调制器部分的电示意图；

图 3 是根据申请人的发明的包括红外检测器/光调制器阵列和电子装置部分的集成式图像变换器的示意断面图；

图 4 是根据申请人的发明的包括红外检测器/光调制器部分和电子装置部分的集成式图像变换器的电示意图；

图 5 是根据申请人的发明的集成式图像变换器的一个像素按第一种方式连接到电子装置部分的示意断面图;

图 6 是根据申请人的发明的集成式图像变换器的一个像素按第二种方式连接到电子装置部分的示意断面图;

图 7 是根据申请人的本发明的集成式图像变换器按照第二种方式连接到电子装置的电示意图;

图 8a 和 8b 表示利用申请人的发明的一个实施例的将 MWIR 光的强度的变化变换为 NIR 光的强度变化特性; 以及

图 9a 和 9b 表示利用申请人的发明的第二实施例的将 MWIR 光的强度变化变换为 NIR 吸收特性的变化的特性曲线。

图 1 表示混合式图像变换器 10 的示意断面图, 它包含: 分布在基片 200 上的 QWIP 像素阵列、分布在基片 400 上的电子电路像素 300, 以及分布在基片 600 上的光调制器像素阵列 500. 混合式图像变换器 10 通常位于在基片 20 上, 该基片 20 可透过 NIR 光, 并且是一个良好的热导体(例如蓝宝石). 透明基片 20 位于一致冷头 30 上, 该致冷头 30 将基片 20 和混合式图像变换器 10 冷却到一适宜的低的温度(例如开式温度 77 度). 通常, 光调制器可以工作在室温下, 但 QWIP 必须冷却到一适于电子电路产生足够比差信号的温度, 即 QWIP 暗电流应当足够低, 使 QWIP 光电流为合适的百分值, 例如为至少 1 % 的暗电流. 这样冷却的结果, 实际上提高了光调制器的性能.

最好, 在阵列 100 中的每个 QWIP 像素包含多个位于下面更详细介绍的两个 n 型接触层之间的 n 型 QW . 为在每个像素中吸收 LWIR 或 MWIR 光, 最好除去 QWIP 基片 200 (例如使用化学 - 机械抛光), 由此消除在大的阵列中各像素之间的光的相互干扰. 消除基片 200 将有利于使在 QWIP 阵列中的应力最小, 这种应力是由于在 QWIP (由 III - V 类半导体例如 GaAs 构成) 和电子像素 300 和基片 400 (通常由硅构成) 之间的热膨胀系数不谐调引起的. 由于图像变换器 10 必须在装置的使用寿命范围内在室温和低温 (致冷) 之间轮换多次使用, 这一点是很重要的.

电子电路像素 300 将在 QWIP 像素阵列 100 中产生的光电流变换为施加到在阵列 500 中的各个 QW 调制器像素上的电压. 通道孔(未表示)用于将在基片 400 一侧上的像素电连接到它们各自相关的在基片 400 另

一侧上的像素上。电子电路像素可以是（但不限定是）常规的硅互阻抗放大器（即电流－电压变换器），它分布在硅基片上。下面更详细地介绍根据申请人的发明的这些电路和变更实例。

最好，在阵列 500 中的每个 QW 光调制器像素包含多个未掺杂的 QW，它们分布在 n 型接触面和 P 型接触面之间，以形成 p-i-n 二极管，它们或者分布在两个 n 型接触层之间，以构成一个 n-i-n 调制器。假如基片 600 在 QW 调制器的工作波长下是不透光的，则最好利用化学－机械抛光将调制器基片 600 除去。除去基片 600 还将有利于使由于在调制器阵列和电子装置部分之间热膨胀系数的不协调引起的 QW 光调谐器阵列中产生的应力降到最小，如上针对 QWIP 所述的。

利用如在上述参考的美国专利申请第 08/109550 号中介绍的技术，例如利用铟凸起焊接件 700 将 QWIP 像素 100 和 QW 调制器像素 500 电连接到电子电路 300 上。

在如图 1 所示的混合式图像变换器 10 的工作过程中，LWIR 或 MWIR 光经过基片 200（假如还没有被除去）入射到 QWIP 像素 100 上（在图 1 中利用各种不同粗细的箭头表示各种强度不同的 LWIR 或 MWIR 光）。非均匀强度 NIR 光束通过透明基片 20 和基片 600（假如还没有除去）入射到 QW 调制器像素 500 上。由于电子电路 300 对于 LWIR 或 MWIR 光的强度变化的响应引起的在调制器像素 500 上的逐个像素偏置状况的变化，使得由 QW 调制器像素 500 反射的 NIR 光的强度或相位能由原来的 LWIR 或 MWIR 光的变化按比例进行调制（NIR 光的强度或相位变化在图 1 也用不同粗细的箭头来表示）。

这一实施例的图像变换器便于使 QWIP 阵列 100、电子电路 300 和 QW 光调制阵列 500 的特性独立地实现最优。例如，由于 QWIP100 和 QW 光调制器 500 位于不同的基片上，两个部分的生长状态（例如在生长过程中的基片温度）和材料组成（例如在 AlGaAs 层中的铝的浓度）最好不同，以使每个部分都具有最好的性能。

图 2 表示混合式图像变换器 10 的一个像素的电示意图，它包含：QWIP100（由一电阻表示）、电子电路 300、以及 QW 光调制器 500（由一个二极管表示）。电子电路 300 对 QWIP100 提供电压偏置 Vdet。互阻抗放大器 310 将 QWIP 中的光电流变换为偏置电压 Vmod，Vmod 施加到 QW 调制器 500 上。

应当理解，图 2 中所示的电子电路 300 仅是各种各样的电路的一个示意表示，这些电路能够完成将电流变换为电压的功能．可以采用现代半导体电子技术来实现更完善的电路，例如对互阻抗放大器或多增益级的输出采用增益和偏差校正，以便得到使 QW 调制器 500 工作所需的电压（通常在 1 － 10 伏范围内）．

图 3 表示一种集成式图像变换器 10′的示意断面图，它包含：分布在基片 200′上的集成式的 QWIP/QW 光调制器像素阵列 800 和分布在基片 400′上的电子电路像元 300′．利用例如如上所述的铟凸起 700′将 QWIP/QW 调制器像素 800 电连接到电子电路像素 300′．集成的图像变换器 10′位于一致冷头 30′上，它将该器件冷却到一个适宜的低的温度（例如开式 77 度）．

下面更详细地介绍集成的 QWIP/QW 光调制器像素 800 和电子电路像素 300′．应认识到，在图 3 所示的每个像素一个铟凸起 700′的电连接实际上可以是每个像元形成一个以上的电连接，如下面介绍的．

如上对于混合式图像变换器 10 所介绍的，最好利用化学－机械抛光除去基片 200′，以便降低光的相互干扰，并将由于在集成式图像变换器 10′的检测器/调制器部分和电子电路部分之间的热膨胀系数的不协调引起的应力降至最小．

在图 3 所示的集成式图像变换器 10′的工作过程中．LWIR 或 MWIR 光经过基片 200′（假如还没有除去）入射到 QWIP/QW 调制器像素 800 上．（在图 3 上用不同粗细的箭头来表示强度不同的 LWIR 或 MWIR 光）．排均匀强度的 NIR 光束还经过基片 200′（假如还没有除去）入射到像素 800．由电子电路 300′响应 LWIR 或 MWIR 光的强度变化产生的像素 800 的调制器部分上的偏置电压的逐个像素的变化，使由像素 800 反射的 NIR 光的强度或相位按与原来的 LWIR 或 MWIR 图像的变化成正比例的方式受到调制（在图 3 中 NIR 光的强度或相位的变化也用不同粗细的箭头表示）．因此，将 LWIR 或 MWIR 图像变换为 NIR 图像．

图 4 表示集成式图像变换器 10′的一个像素的电示意图，它包含：QWIP100′（由电阻表示）、电子电路 300′、和 QW 光调制器 500′（由二极管表示）．这里，所示 QWIP100′和 QW 调制器 500′是电气上串联的，因为正如下面将更详细解释的，这两部分是一个在另一个之后形成在一个共用基片 200′上的．电子电路 300′对 QWIP100′提供检测器偏置

电压 Vdet．互阻抗放大器 310′将在 QWIP 中的光电流变换为与检测器偏置电压 Vdet 的符号相反的电压，因为例如这样的互阻抗放大器将使输出反相．利用一个电压求和元件 320 将这一电压加到检测器偏置电压 Vdet 上．求和的偏置电压由一电压反相元件 330 反相并作为 Vmos 加到 QM 光调制器 500′上．元件 310′、320 和 330 按照工作要求保证 QW 光调制器 500′处于反向偏置之下．

应认识到，图 2 中所示的电子电路 300′仅是能够实现将电流变换为电压的功能的各种各样的电路中的一个示意代表．可以采用现代半导体电子技术来实现更完善的电路，例如对互阻抗放大器 310′和多增益级的输出进行增益和偏差校正，以得到使 QW 调制器 500′工作所需的电压（通常为 1 － 10 伏范围）．

图 5 表示集成式图像变换器的一个像素 800 的外延层结构的示意断面图，它包含 QWIP 部分 100′和分布在基片 200′上的 QW 调制器部分 500′．正如下面更详细介绍的，用在 QWIP 部分 100′中的材料与用在 QW 调制器部分 500′中的材料相似；因此，因此顺序生长（例如利用分子束外延）是没有问题的．利用铟凸起 700′将图 5 中的像素 800 电连接到电子电路像素 300′．

QWIP 部分 100′最好包含位于两个 n 型接触层 120′和 130′之间的多个 n 型 QW110′．此外，QWIP 部分 100′包括一光栅 140′或其它装置，用于将适当偏振的 LWIR 或 MWIR 光（即，为了产生次带内的光吸收按照偏振选择规则所需要的垂直于量子阱层 110′）耦合到 QWIP 部分 100′．

最好，QM 调制器部分 500′包含多个分布在 n 型接触层 520′和 P 型接触层 530′之间的掺杂的 QW510′，因此形成 p-i-n 二极管的本征（i）区．假如需要改变调制器部分的电阻，如下面对申请人的发明的另一些实施例所介绍的，可使接触层 530′进行 n 型掺杂，以便形成 n-i-n 光调制器．

接触层 520′可以由和 QWIP 接触层 130′相同的材料组成，并掺杂到同样的程度．在这种情况下，两个接触层 130′和 520′将形成一个将 QWIP 部分 100′电连接到 QW 调制器部分 500′的单一连续层．在另一实施例中，接触层 520′最好能包含一绝缘平面镜，它在 QW 调制器部分 500′的 NIR 工作波长具有高的反射率（>99 %）（如在上面参考的 K. -K. Law

等人的文章中所介绍的）．这会防止 NIR 光进入 QWIP 部分 100′（按某些 QWIP 设计，会吸收 NIR 光，因此降低调制器的性能，并在 QWIP 部分 100′产生不希望有的光电流，即产生相互干扰）．还会防止 NIR 光由光栅 140′折射（或散射）．在光栅 140′处的 NIR 光的折射（或散射）能降低 NIR 图像的质量．

像素 800 的阵列可以利用标准的半导体照像蚀刻技术形成．通过将围绕像素的材料蚀刻掉以露出最接近基片 200′的接触层 530′，可形成通常为一个尺寸约为 50 微米乘 50 微米的正方形的像素．在大多数应用场合，对于阵列所有的像素来说，接触层 530′是共用的，因此总共仅需要一个电接触点，而不是每个像素都需要一个电接触点．第二蚀刻步骤用于露出中间接触层 130′和 520′的一个小的区域．光栅 140′通常蚀刻深入接触层 120′并用薄金属膜涂覆．

如在图 5 中所示，铟凸起 700′用于将 QWIP 接触层 120′、共用中间接触层（ 130′和 520′）、以及 QW 调制器接触层 530′连接到电子电路 300′上．在这一实施例中，例如图 4 所示的电子电路 300′用于控制集成的图像变换器像素 800．

光调制器 500′的一个典型的 QM 部分 510′包含每个厚度例如为 10 毫微米的多个（例如 80 ）未掺杂的 GaAs 量子阱，它们由各例如 $Al_{(0.3)}Ga_{(0.7)}As$ 层（每层厚度例如 5 毫微米）构成的覆盖层所分开．平面镜接触层 520′包含多个（例如 10 个）相互交替的例如为 $Al_{(0.3)}Ga_{(0.7)}As$ 和 AlAs 层．接触层 530′通常由 GaAs 构成．

在由 John W. Little, Jr，在 1992.6.30 申请的共同转让的美国专利申请第 07/906417 号中介绍了对于 QWIP100′的 QW 部分 110′的优选的设计，这里引入该申请提供参考．它被称为微带－传输（ MBT ）的量子阱红外检测器．一个用于该 LWIR 的示例的 MBT 结构包含多个（例如 40 ）厚度例如为 8 毫微米的 n 型 GaAs QW，它们由超晶格结构的位垒层分开．该超晶格结构的位垒层包含厚度经选择的（例如分别为 1.5 毫微米和 4 毫微米）例如为 GaAs 和 $Al_{(0.3)}Ga_{(0.7)}As$ 的多个（例如 10 ）交错的层，以便在位垒层中形成一个各能态的微带，该位垒层用作由 QW 输出的光激发的载流子的高迁移率的沟道．

由于 MBT 设计在材料成分选择方面能有更大的灵活性，用在集成式图像变换器的 MBT 设计与其它 QWIP 设计比较是优选的．例如，可

以在 QW 调制器部分 500′和 QWIP 部分 100′中的所有各 AlGaAs 层中均采用相同的铝浓度以在一个共用的基片上顺序地生长这些部分，这与采用不同的各个铝浓度相比，其复杂程度较低。

图 6 表示集成式图像变换器的一特别简单的实施例，它是具有如图 5 所示的大体相同元件的一个像素的外延层结构的示意断面图。这里，电子电路 300′是一个简单的电压源，该电压源仅在两点连接到像素 800，即连接到接触层 120′和接触层 530′（即，中间接触层 130′和 520′不连接到电子电路上）。图 7 表示集成式图像变换器的这一实施例的电示意图。QWIP 部分 100′和 QW 调制器部分 500′串联连接，偏置电压 V_{bias} 施加到该串联电路上。V_{bias} 的一部分加在 QWIP 部分 100′上（在图 7 中标以 V_{det}），V_{bias} 的一部分加在 QW 调制器部分 500′上（在图 7 中标以 V_{mod}）。QWIP 部分 100′的电阻的光致变化引起串联电路偏置电压分布的变化，因此，引起调制器部分 500′上的偏置电压的变化。

这种分压器装置仅当流经 QWIP 的总电流的主要部分是光电流而不是热致（暗）电流（即 QWIP 有限的本底电流）时才是有效的。这就要求低的工作温度或较短波长（MWIR）的 QWIP 响应。由于该电子电路简化了，这种方式对于低成本的图像系统（例如用于观察 MWIR 情况的图像放大器的前端）是有利的。

分析图 7 所示的等效电路表明，调制器上偏置电压的变化 ΔV_{mod} 与 QWIP 中的电阻上的百分比变化 $\Delta R_{det}/R_{det}$ 相关，由如下表达式表示：

$$\Delta V_{mod} = - V_{bias} \cdot \frac{R_{mod}/R_{det}}{(1 + R_{mod}/R_{det})^2} \cdot \Delta R_{det}/R_{det} \qquad (1)$$

其中 V_{bias} 是在该像素上的总的偏置电压，R_{mod} 和 R_{det} 分别是调制器 500′和 QWIP100′的有效电阻。对于固定的 $\Delta R_{det}/R_{det}$，当 R_{det} 等于 R_{mod} 时 ΔV_{mod} 最大。在这些条件下，在调制器上的偏置电压是 $V_{bias}/2$，它在调制器偏置电压上引起的相对变化符含下式：

$$\Delta V_{mod}/V_{mod} = -1/2 \cdot \Delta R_{det}/R_{det} \qquad (2)$$

一种示例 MWIR MBT 包含多个（例如 40）厚度如为 4 毫微米的 $In_{(0.1)}Ga_{(0.9)}As$ 量子阱，它们由包含多个（例如 10 个）厚度例如分别为 2 和 3 毫微米的交替的 $Al_{(0.3)}Ga_{(0.7)}As$ 和 $Al_{(0.5)}Ga_{(0.5)}As$ 层的超晶格位垒分隔开。

对于具有上述结构的 MWIR QWIP，在 80K 下，测量的电阻范围为 1×10^{10} 到 1×10^{11} 欧，这一范围可与反向偏置的 p-i-n 二极管有效电阻即 QW 调制器部分 500′的电阻相比拟．我们发现，通过改变由 300K 黑体到 500K 黑体的输入图像测量到的 QWIP100′的电阻的百分值变化，对于一个试样来说，在 QWIP 偏置电压为 4 伏时，大约为 0.37．

当将这样一个 QWIP 与调制器串联并施加约 10 伏的偏置电压时，在 QWIP 部分 100′和调制器部分 500′之间的偏置电压分压近于相等，对于检测器电阻的约为 0.4 的百分值变化，引起的调制器上偏置电压的变化（由方程(2)）应为约 1 伏．对于在 80K 下 QW 调制器中得到的相当尖锐的吸收谱线宽度，这在调制器部分内足以引起 NIR 光的吸收率相当大的变化。

图 8a 和 8b 表示利用图 6 所示的串联偏置的集成式图像变换器的一个实施例，将 MWIR 光的强度变化转变为 NIR 光的强度变化的实验结果．在这种器件中，调制器部分中的 QW510′由厚度为 10 毫微米的 $In_{(0.08)}Ga_{(0.92)}As$ 构成．图 8a 表示在有或没有光由 MWIR 源入射到像素上，在 NIR 频谱区内的器件的透射率．对于“MWIR 源断开”曲线，在 880 毫微米附近的透射率的下降是由于激子吸收所引起的．当 MWIR 源接通时，这一急剧下降变平，并移动到较长的波长区．这种情况与增加偏置电压时，在 NIR 频谱中所观察的现象相同．这意味着当 MWIR 光接通而不是断开时，在 QW 调制器部分 500′两端形成最高的偏置电压．这与在出现 MWIR 光时由于 QWIP 的电阻的降低引起电压重新分布的说法一致。

图 8b 表示在没有 MWIR 光时和出现 MWIR 光时在 8 － 8 毫微米的波长下的试样的透射率．（水平轴为时间轴，指的是快门打开使 MWIR 光照到像素上的时间）．响应于 MWIR 光的强度变化的 NIP 光的强度变化（以透射率的变化来表示）是利用集成式图像变换器像素 800 形成图像变换的直接证据。

在这一被测试样上施加电场的情况下，激子的吸收不再明显尖锐。推测起来是由于这一问题引起的，即由于在 InGaAs 量子阱不协调的晶格结构中的应力引起试样出现问题．

图 9a 和 9b 表示利用在如图 6 所示的串联偏置的方案（分别为 － 4 伏和 － 5 伏偏置）的集成式图像变换器的第二实施例中的图像变换的实

验结果．在这一试样中， QW510 由厚度约为 10 毫微米的高质量 GaAs 构成的， QWIP 部分与对 MWIR 操作的上述介绍中的相似．由于 GaAs 基片对于调制器的工作波长是不透明的，测量光电流 I_{pc} 相对于波长（在 NIR 频谱区）的关系曲线，而不是测量透射率曲线．在这种方式的测量中，光电流信号与在试样中的吸收强度成比例，在光电流中的各峰值表示激子的吸收．在图 9a 和 9b 中的左竖直轴是相对光电流（标以 I_{pc}），右竖直轴是在试样上 MWIR 光产生的光电流对 MWIR 光断开时的光电流的比．对－ 4 伏偏置和－ 5 伏偏置的情况（分别为图 9a 和 9b），与 MWIR 光断开的情况相比，激子吸收特性曲线在 MWIR 光照射时仍然清晰尖锐，并移动到较长的波长区．接通/断开（ on/off ）比的范围在 4 到 5，这意指对于图像变换器的操作得到了这种幅度的 NIR 调制深度．

上面已根据各特定实施例对申请人的发明进行了介绍。然而，本技术领域的一般专业人员会认识到，本发明并不限于这些实施例，实际上，本发明的原理可以在其它装置和方法中体现和实践．因此，本发明不应以为是由这些特定的实施例来限定的，而是由如下权利要求限定的。

说 明 书 附 图

图 1

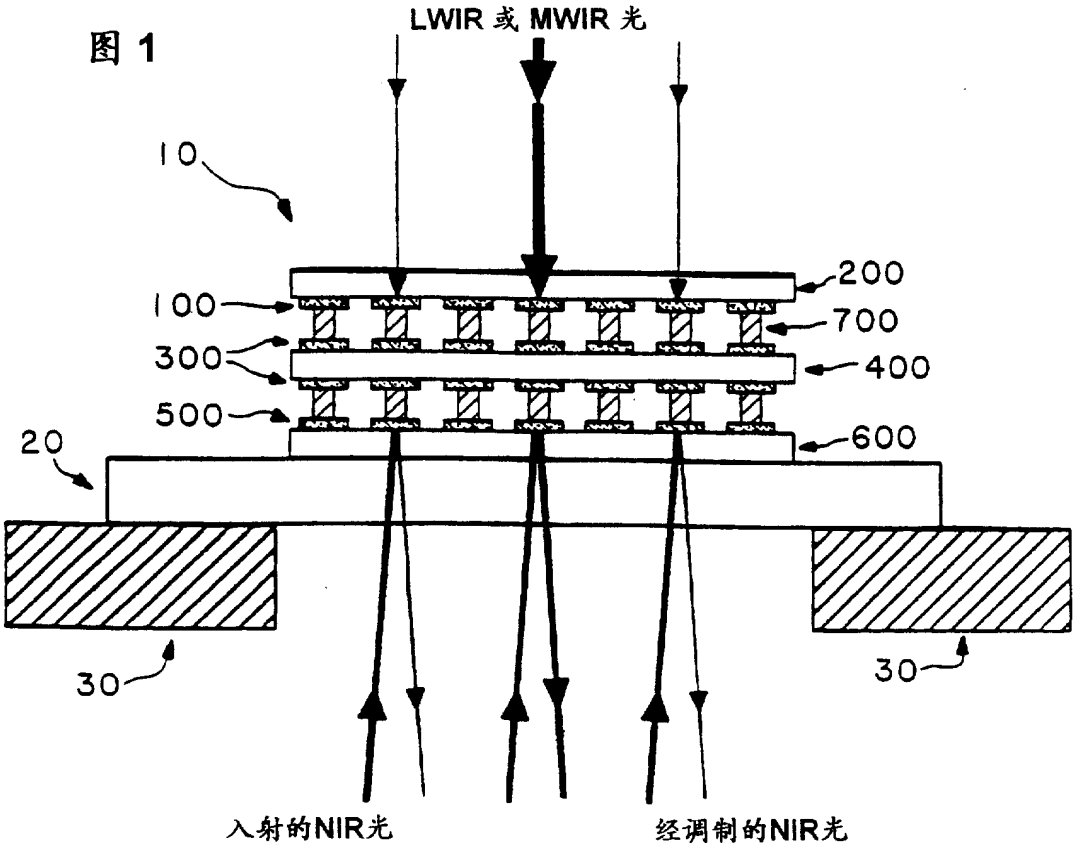
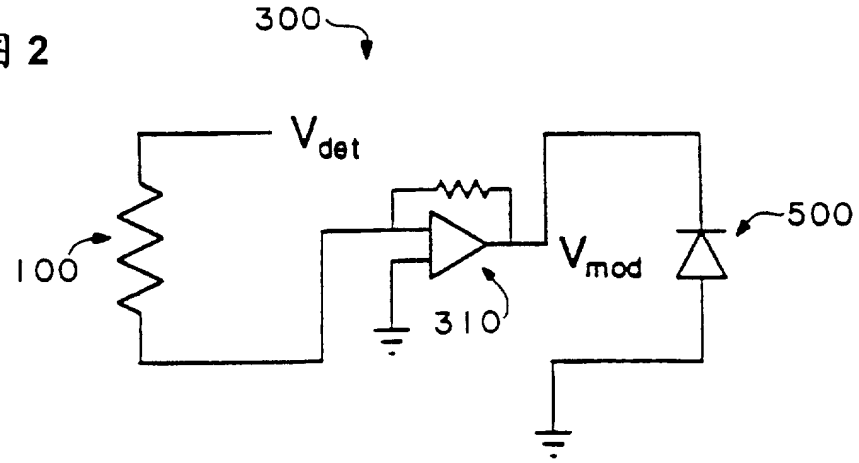

LWIR 或 MWIR 光
10
200
100
700
300
400
500
600
20
30
30
入射的NIR光
经调制的NIR光

图 2


300
V_{det}
100
V_{mod}
500
310

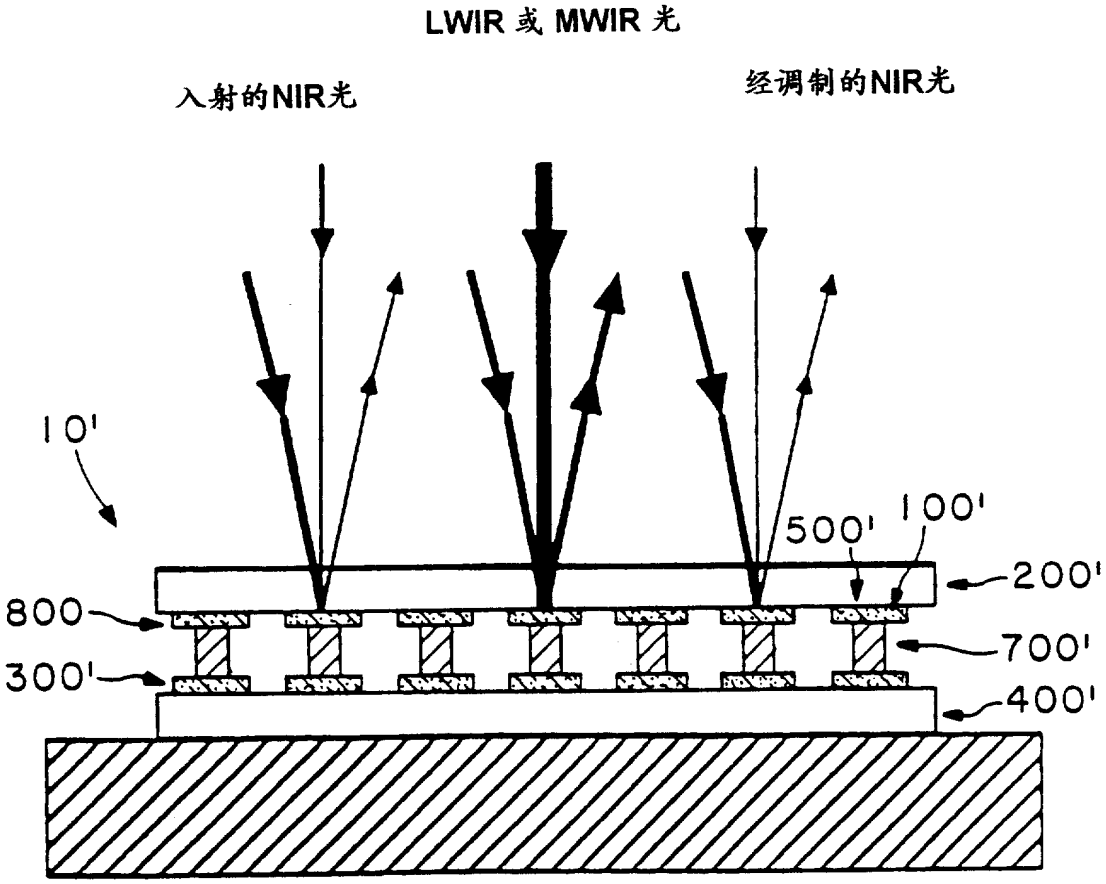
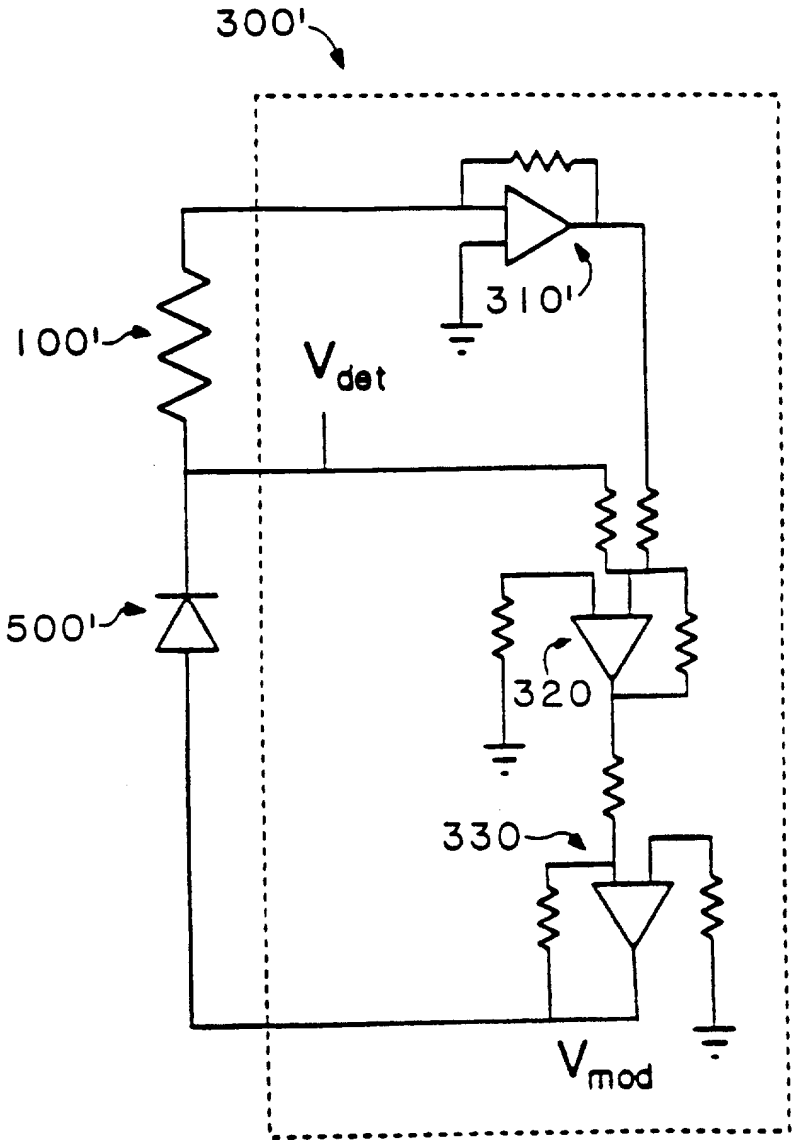


图 3

图 4



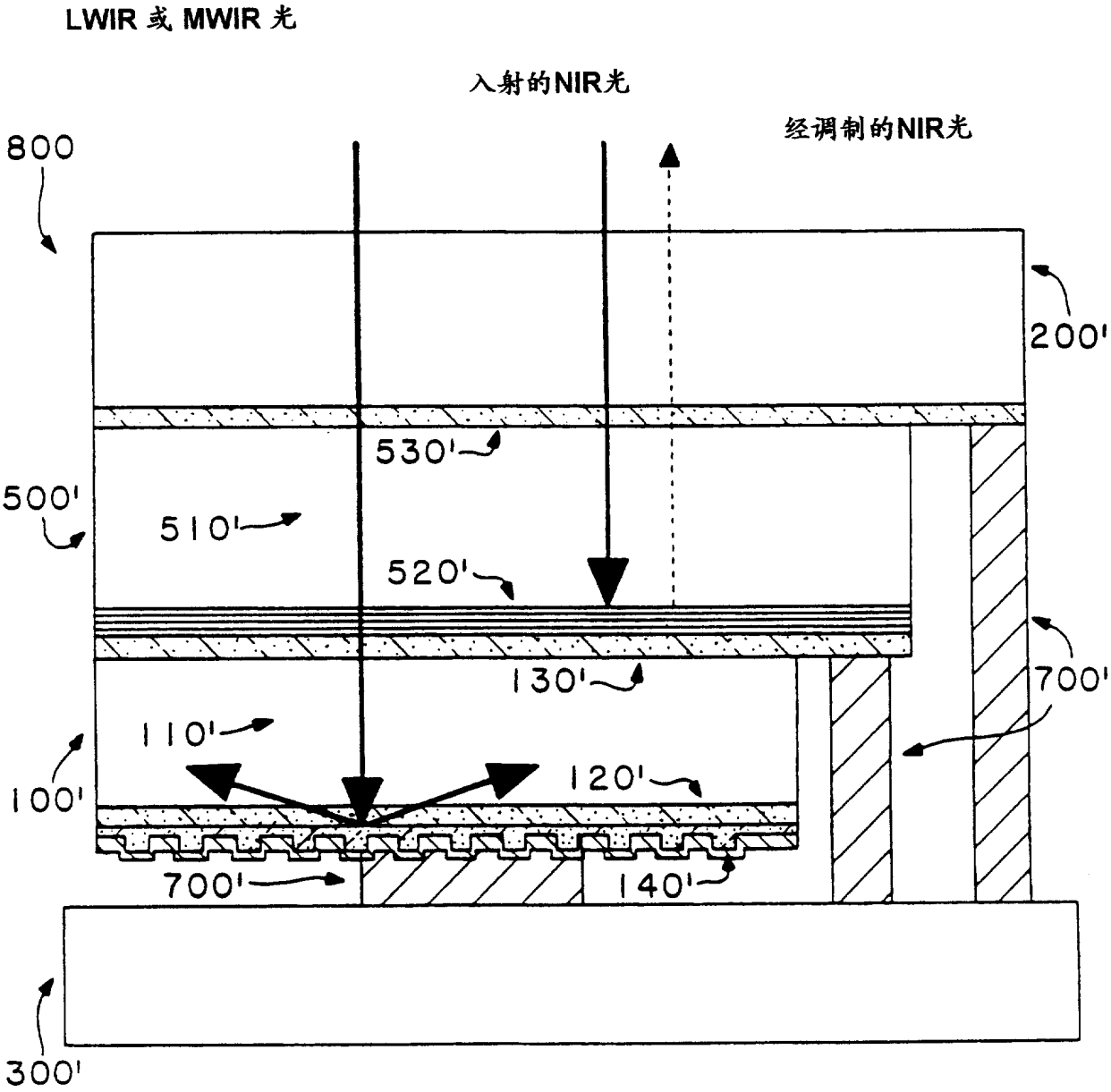

LWIR 或 MWIR 光
入射的NIR光
经调制的NIR光
800
200'
530'
500'
510'
520'
700'
130'
110'
120'
100'
700'
140'
300'

图 5

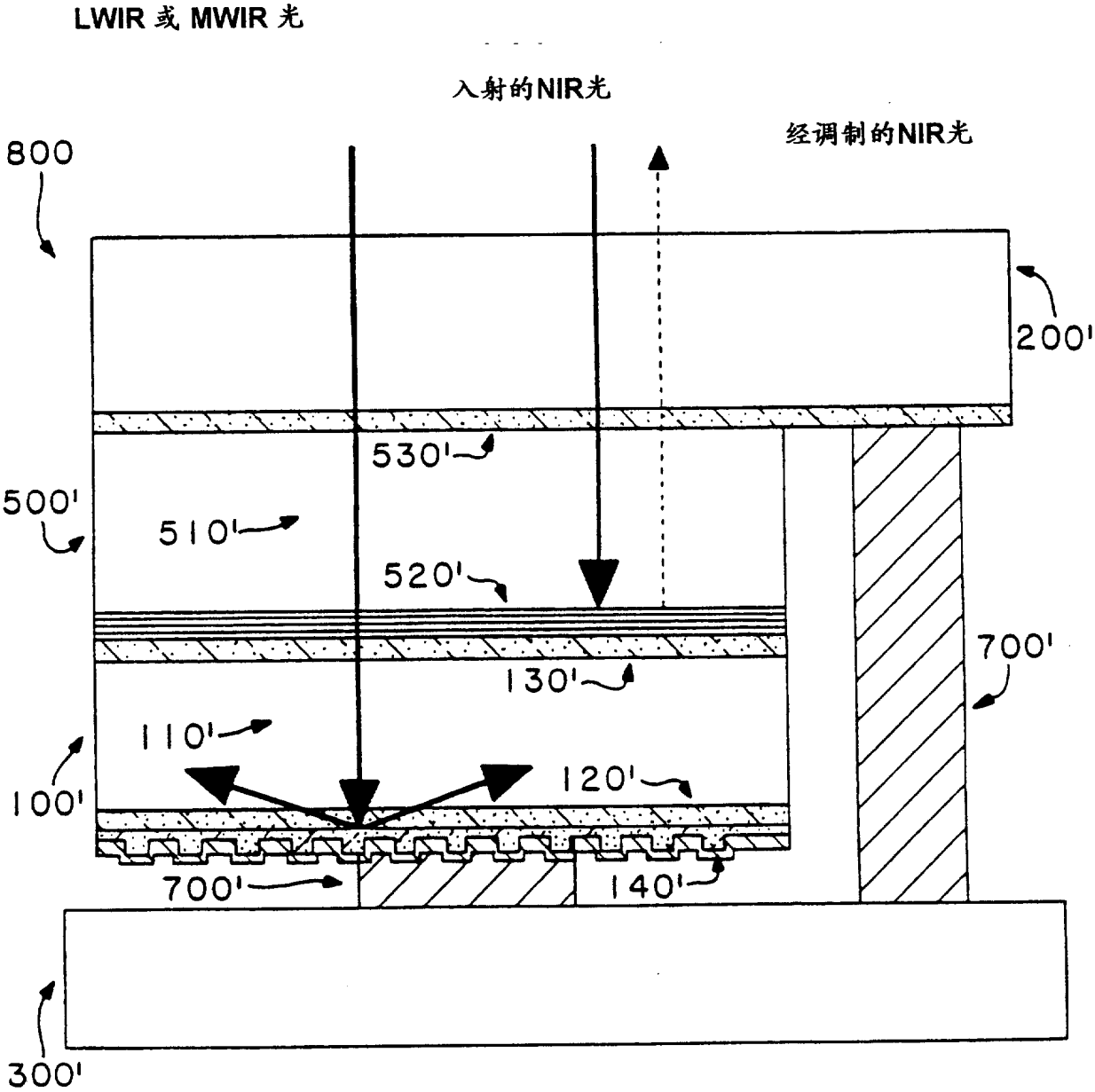

LWIR 或 MWIR 光
入射的NIR光
经调制的NIR光
800
200'
530'
500'
510'
520'
700'
130'
110'
120'
100'
700'
140'
300'

图 6

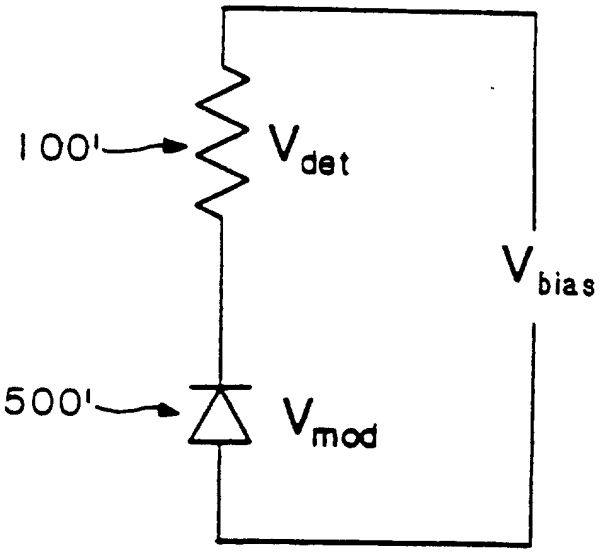

100'
V_{det}
V_{bias}
500'
V_{mod}

图 7

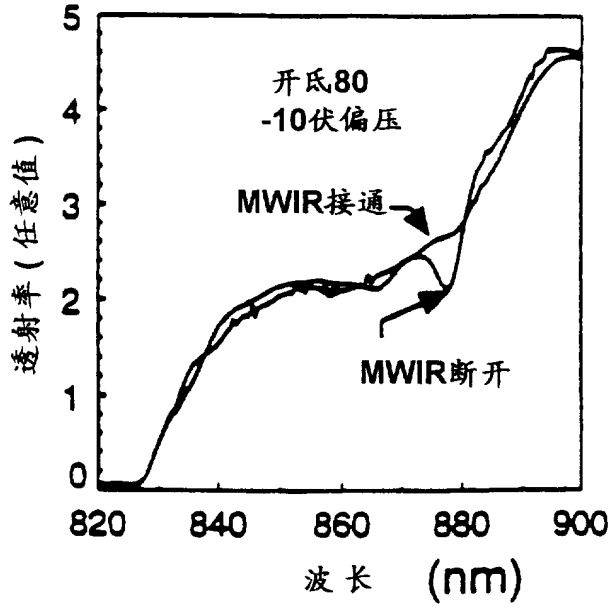

开氏80
-10伏偏压
MWIR接通
MWIR断开
透射率(任意值)
波长 (nm)
0
1
2
3
4
5
820
840
860
880
900

图 8 a

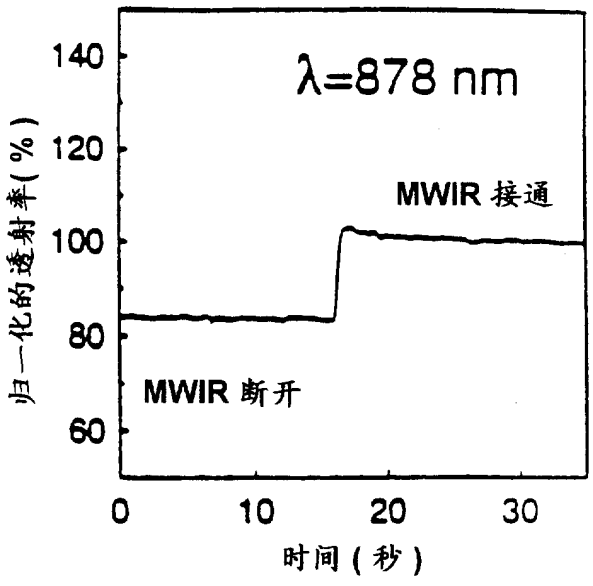

λ=878 nm
MWIR 接通
MWIR 断开
归一化的透射率(%)
时间(秒)
60
80
100
120
140
0
10
20
30

图 8 b

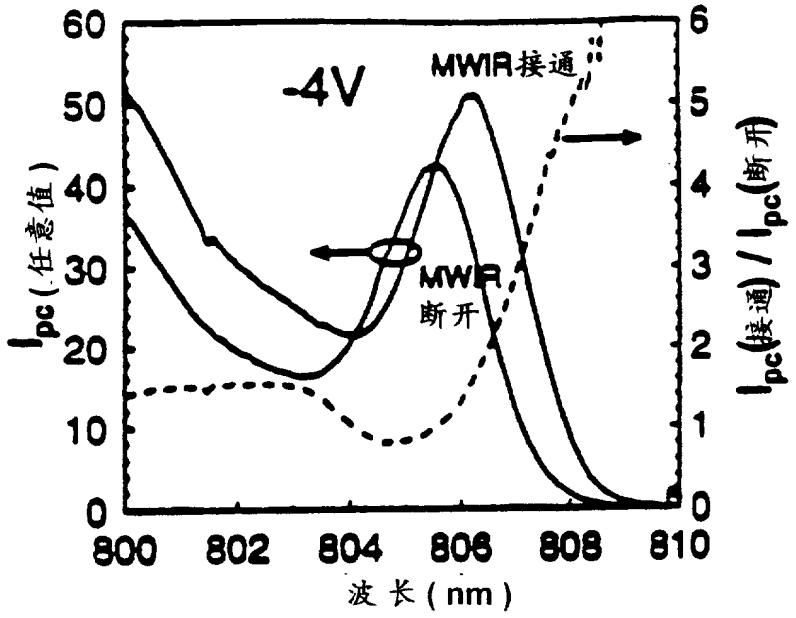

-4V
MWIR接通
MWIR
断开
I_{pc}(任意值)
I_{pc}(接通) / I_{pc}(断开)
波长(nm)
60
50
40
30
20
10
0
6
5
4
3
2
1
0
800
802
804
806
808
810

图 9 a

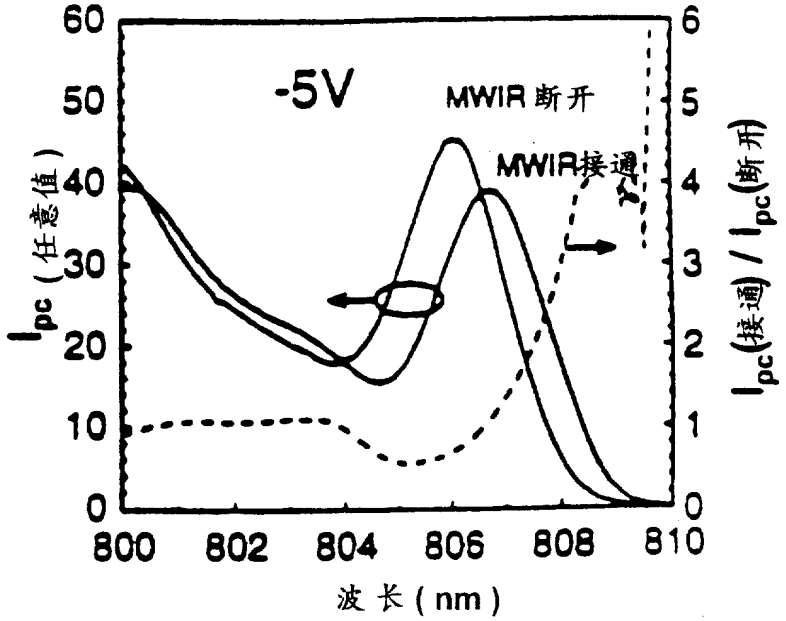

-5V
MWIR断开
MWIR接通
I_{pc}(任意值)
I_{pc}(接通) / I_{pc}(断开)
波长(nm)
60
50
40
30
20
10
0
6
5
4
3
2
1
0
800
802
804
806
808
810

图 9 b