(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 102466899 A
(43)申请公布日 2012.05.23

(21)申请号 201010600112.2

(22)申请日 2010.12.16

(30)优先权数据
10-2010-0112041 2010.11.11 KR

(71)申请人 仁荷大学校产业协力团
地址 韩国仁川广域市

(72)发明人 咸炳承 徐华

(74)专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002
代理人 瞿卫军

(51)Int.Cl.
G02F 1/03(2006.01)

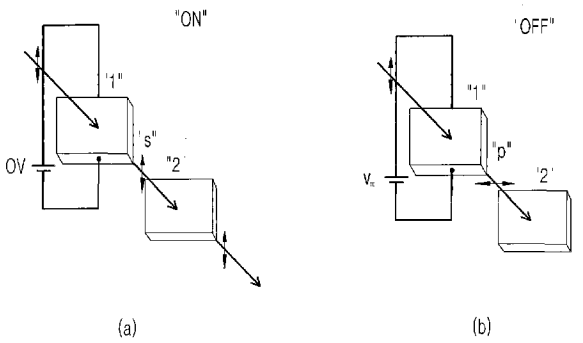
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 2 页

(54)发明名称

光偏振式光开关

(57)摘要

本发明涉及一种选择性通过偏振光的光开关，为了解决现有技术中，大部分的光开关通常都需要利用一道强耦合光并在低温条件下才能实现控制光的开与关，因而导致增加了实际应用的难度，本发明所提供的光开关由普克尔斯盒与等离子体复合化的超材料结构来集成光路，通过改变施加在普克尔斯盒上的电压来控制光的偏振，从而使超材料结构可以对不同偏振方向的入射光进行选择性的通过，进而实现切换光路的目的。该光开关由于利用超材料来实现等离子体电磁感应透明，因而具有尺寸小、开关速度快、结构简单以及稳定性高等优点，并且可以在室温条件下实现，可以应用于光通信和光信息处理等技术领域。



CN 102466899 A

1. 一种光偏振式光开关，其特征在于，所述光偏振式光开关包括普克尔斯盒与等离子体复合化的超材料结构，由所述普克尔斯盒与等离子体复合化的超材料结构来集成光路，在普克尔斯盒中通过电压来控制光的偏振，从而决定光是否能够通过超材料结构。

2. 根据权利要求 1 所述的光偏振式光开关，其特征在于，所述等离子体复合化的超材料结构是由纳米尺寸的金丝或者银丝制成。

3. 根据权利要求 1 所述的光偏振式光开关，其特征在于，所述等离子体复合化的超材料结构是由一根单金属丝和一对双金属丝相互垂直叠放而成；

所述一对双金属丝制作于玻璃表面上，所述玻璃内嵌有用作填充物的光敏聚合物。

4. 根据权利要求 3 所述的光偏振式光开关，其特征在于，所述一对双金属丝置于下层，所述两根金属丝相互之间按一定的径向错开值来错开一定距离。

5. 根据权利要求 3-4 任一项所述的光偏振式光开关，其特征在于，所述光偏振式光开关设置为通过入射光的偏振方向来控制对光的开关；其中，当入射光的电场方向平行于所述单金属丝的长边方向时，所述下层的双金属条不能直接被入射光激发，而是通过等离子体耦合被上层的单金属条所激发，产生不对称模式，从而光开关被打开，入射光能够通过。

6. 根据权利要求 5 所述的光偏振式光开关，其特征在于，所述上层单金属丝的频率设置为与下层双金属丝产生不对称模式时的共振频率相同，所述上层单金属丝的频率通过调整该金属丝的长度来控制。

7. 根据权利要求 6 所述的光偏振式光开关，其特征在于，所述光偏振式光开关设置为通过入射光的偏振方向来控制对光的开关；其中，当入射光的电场方向垂直于所述单金属丝的长边方向时，下层的双金属条可以直接被入射光激发，产生对称模式，开关被关掉，入射光不能通过。

8. 根据权利要求 7 所述的光偏振式光开关，其特征在于，所述下层的双金属丝产生对称模式时的共振频率设置为与其产生不对称模式时的共振频率相同，所述对称模式时的共振频率与不对称模式时的共振频率的变化通过双金属丝间的径向位移来控制。

9. 根据权利要求 5 或 7 所述的光偏振式光开关，其特征在于，所述入射光的电场方向是偏振方向，由所述普克尔斯盒来控制。

10. 根据权利要求 6 所述的光偏振式光开关，其特征在于，所述普克尔斯盒用于通过电压来调制入射光的相位，所述电压的方向为沿着入射光的传播方向或者垂直于入射光的传播方向。

光偏振式光开关

技术领域

[0001] 本发明涉及一种选择性通过偏振光的光开关，特别地，涉及将基于等离子体电磁感应透明(EIT-Electromagnetically InducedTransparency)及等离子体复合原理的超材料结构与普克尔斯盒(Pockels cell)一起来集成光路，利用电压调制光偏振，进而实现光路切换。

背景技术

[0002] 光开关作为按一定要求将一个光通道的光信号转换到另一个光通道的器件，可以使光路之间进行直接交换，是光网络中完成全光交换的核心器件。基于非线性效应的全光开关的研究日益成为全光通信领域关注的焦点。但是，这种器件的主要缺陷在于非线性效应的大小受到其器件尺寸及可见光强度的限制。

[0003] 最近，人们发现利用光子晶体的耦合可以使电磁场局域化，并且可以提高非线性效应（参考“Phys.Rep.”第408卷(2005年）第131-314页由Zayats等撰写的内容）。Nozaki等人在超小型光子晶体纳米腔及InGaAsP中利用强的载流感应非线性耦合，实现了全光开关（参考“Nat.Photonics”第4卷(2010年）第477-483页由Nozaki等撰写的内容）。此外，还存在等离子体电磁耦合振子的生成以使电磁场局域化，来提高非线性效应的其他方案。比如，Large等人也提出了利用非线性等离子体纳米天线来实现超高速光开关的想法（参考“NanoLett.”第10卷(2010年）第1741-1746页由Large等撰写的内容）。虽然他们的原理与机制不同，但是他们主要都是通过利用另一道耦合光改变共振频率以实现光路切换。

[0004] 上世纪末，由Harris提出的电磁感应透明由于可以用在慢速光、光开关等光信息处理领域，因而得到了广泛的研究。在共振频率中，电磁感应透明通过量子相消干涉(Quantum Destructive Interference)使得介质吸收减小而使得光通过（参考“Phys.Today”第50卷(1997年）第36页由Harris撰写的内容）。2008年，Zhang等提出了利用超材料结构实现等离子体电磁感应透明(Plasmoic EIT)的设想（参考“Phys.Rev.Lett.”第101卷(2008年）第047401页由Zhang等撰写的内容）。并在2009年，由Liu等人通过实验实现了这一想法（参考“Nat.Mater.”第8卷(2009年）第758-762页由Liu等撰写的内容）。然而，在超材料结构中，由于等离子体近场相互作用取代了一般的电磁感应透明中耦合光的作用，因而变的不易控制，之前一度被认为不适合应用于光开关中。

发明内容

[0005] （一）要解决的技术问题

[0006] 本发明是为了解决上述技术问题，而提供一种光偏振式光开关，其包括普克尔斯盒与超材料结构，通过在普克尔斯盒中由电压控制光的偏振，可以隔断或者通过入射光。

[0007] （二）技术方案

[0008] 为了解决上述技术问题，本发明提供一种光偏振式光开关，所述光偏振式光开关

包括普克尔斯盒与等离子体复合化的超材料结构，由所述普克尔斯盒与等离子体复合化的超材料结构来集成光路，通过在普克尔斯盒中由电压控制光的偏振，从而决定光是否能够通过超材料结构。

[0009] 并且，所述等离子体复合化的超材料结构是由纳米尺寸的金丝或者银丝制成。

[0010] 并且，所述等离子体复合化的超材料结构是由一根单金属丝和一对双金属丝相互垂直叠放而成；

[0011] 所述一对双金属丝制作于玻璃表面上，所述玻璃内嵌有用作填充物的光敏聚合物。

[0012] 并且，一对双金属丝置于下层，所述两根金属丝相互之间按一定的径向错开值径向错开一定距离。

[0013] 并且，所述光偏振式光开关设置为通过入射光的偏振方向来控制对光的开关；其中，当入射光的电场方向平行于所述单金属丝的长边方向时，所述下层的双金属条不能直接被入射光激发，而是通过等离子体耦合被上层的单金属条所激发，产生不对称模式，从而光开关被打开，入射光能够通过。

[0014] 并且，所述上层单金属丝的频率设置为与下层双金属丝产生不对称模式时的共振频率相同，所述上层单金属丝的频率通过调整该金属丝的长度来控制。

[0015] 并且，所述光偏振式光开关设置为通过入射光的偏振方向来控制对光的开关；其中，当入射光的电场方向垂直于所述单金属丝的长边方向时，下层的双金属条可以直接被入射光激发，产生对称模式，开关被关掉，入射光不能通过。

[0016] 并且，所述下层的双金属丝产生对称模式时的共振频率设置为与其产生不对称模式时的共振频率相同，所述对称模式时的共振频率与不对称模式时的共振频率的变化通过双金属丝间的径向位移来控制。

[0017] 并且，所述入射光的电场方向是偏振方向，由所述普克尔斯盒来控制。

[0018] 并且，所述普克尔斯盒用于通过电压来调制入射光的相位，所述电压的方向为沿着入射光的传播方向或者垂直于入射光的传播方向。

[0019] （三）有益效果

[0020] 根据本发明所提供的光偏振式光开关，使用普克尔斯盒来控制光的偏振，可以在光开关中通过调节电压来改变光的偏振，进而动态地控制等离子体的电磁感应透明；本发明所提供的光开关具有尺寸小、开关速度快、结构简单以及稳定性高等优点，可以应用于光通信和光信息处理等技术领域。

附图说明

[0021] 图 1 为本发明实施例所涉及的等离子体复合化的超材料结构单元模块的结构示意图；

[0022] 图 2 为本发明实施例所涉及的对图 1 所示出的超材料结构进行透射仿真的结果例示图；

[0023] 图 3 为本发明实施例所涉及的普克尔斯盒的结构示意图；

[0024] 图 4 为本发明实施例所涉及的依赖于偏振光的光开关的例示图。

具体实施方式

[0025] 本发明下述的实施例子只用于详细描述本发明，并非限制或者限定本发明的权利保护范围。根据本发明的具体说明及实施例，本领域的普通技术人员可容易推导出来的内容均视为属于本发明的权利范围内。

[0026] 下面结合附图，详细描述本发明所涉及的光偏振式光开关。

[0027] 与目前已经商业化的磁光开关不同，本发明不使用偏振光束分离器 PBS，而使用只有几百纳米尺寸大小的超材料。超材料是由具有与人工原子一样周期性的单元模块构成，其大小远小于被认为是均一介质的外部电磁波。本发明技术方案用数十纳米宽的金丝或银丝等金属丝来作为超材料的基础材料。上述单元模块包括由一根单金属丝和一对双金属丝相互垂直叠放而成，所述一对双金属丝制作于玻璃 (SiO_2) 表面上，所述玻璃内嵌有用作填充物的光敏聚合物 (PC403)。如图 1 所示，如上所述的采用多根金属丝排列形成单元模块来生成等离子体的结构被称之为等离子体复合化的超材料结构。

[0028] 这里，下层的双金属丝具有很独特的特性，当入射光的电场垂直于双金属丝的长边时，双金属丝不会被直接激发。但是如果在双金属丝的上层垂直叠放一根单金属丝，则上层被激发的单金属丝可以通过等离子体近场耦合来激发下层的双金属丝。此时，下层的双金属丝被激发而形成不对称等离子体模式 (Asymmetric mode)。当入射光的电场方向与双金属丝的长边相平行时，双金属丝被直接激发形成对称等离子体模式 (Symmetric mode)。一般情况下，不对称等离子体模式的频率低于对称等离子体模式的频率，但是如果沿着径向按一定的径向错开值 Δ 来错开所述双金属丝的时候，两种模式的频率会发生变换。所以通过调试一个适当的径向错开值 Δ，可以预计两者的频率会重迭在一起。具体的情况为，当径向错开值 Δ 较小时，对称等离子体模式的频率较高，而不对称等离子体模式的频率较低，随着径向错开值 Δ 增大，对称等离子体模式的频率会下降，而不对称等离子体模式的频率会上升；因而，最终，在某个可确定的径向错开值 Δ 的情况下，对称等离子体模式的频率将与不对称等离子体模式的频率相等，该径向错开值 Δ 可以通过仿真试验进行确定。

[0029] 并且，上层的单金属丝的频率必须与下层的双金属丝的共振频率相同，这可以通过金属丝的参数（长度、宽度等）来控制。

[0030] 当入射光的电场方向平行于单金属丝的长边方向，即垂直于双金属丝的长边方向时，上层的单金属丝被入射光激发，此时，下层的双金属丝不能直接被入射光激发，而是通过等离子体耦合被上层的单金属丝所激发（即偶极子 - 四极子耦合）。两者发生相消干涉，产生了等离子体电磁感应透明。此时，入射光能以较低的损失透过超材料结构，光开关就被打“开”了。

[0031] 当入射光的电场方向垂直于单金属丝的长边方向，即平行于双金属丝的长边方向时，下层的双金属丝可以直接被入射光激发。此时，没有等离子体耦合作用产生，入射光就不能通过，开关就被“关”掉了。

[0032] 本发明中，光开关根据表面等离子体只有几十飞秒的响应速度，而具有超高速度。然而，还需要另外可以控制光的偏振的部件，以使光开关的速度可由改变光的偏振的方式来决定。控制光偏振有若干方法，在本具体实施方式中使用普克尔斯盒，通过外加电压的变化来改变晶体对入射偏振光的偏振影响。

[0033] 如图 1 所示，为本发明实施例所涉及的超材料结构单元的结构示意图。其中，入射

光垂直于超材料结构入射，当入射光的电场方向平行于单金属丝的长边方向时，将其定义为“s”光。此时，下层的双金属丝不能被入射光直接激发，而上层单金属丝被入射光直接激发，其类似于光学天线，从而产生偶极子，通过近场的等离子体耦合作用又将下层的双金属丝激发，进而产生不对称等离子体模式。此时，在波长 687 纳米处，光的通过率最大达到 86.9%，相当于光开关被打“开”了。

[0034] 当入射光的电场方向转过 90 度，平行于单金属丝短边方向时，将其定义为“p”光。此时，下层的双金属丝直接被入射光激发，产生对称等离子体模式。此时，在波长 687 纳米处，只有 2%的光通过超材料结构，光开关相当于被“关”掉了。

[0035] 一般情况下，不对称模式与对称模式的频率不是重迭的，这里通过将两根金属丝沿径向按一定的径向错开值 Δ 错开一定的可调节的距离，从而将两者的频率均调制到 687 纳米。然后，为了能通过近场等离子体耦合作用将不对称模式激发，而调整单金属丝的长度，使它的频率与下层双金属丝的不对称模式频率相吻合。

[0036] 如图 2 所示，为本发明实施例所涉及的对图 1 所示出的超材料结构进行透射仿真的结果例示图。实线表示“s”光在 687 纳米处可以通过 86.9%的光，虚线表示“p”光在 687 纳米处可以通过 2%的光，此时，通过一般通过透射差分来衡量光调制的效果：$\frac{\Delta T}{T}(\lambda)=\frac{T_{on}(\lambda)}{T_{off}(\lambda)}-1$；这里，$T_{on}$ 及 T_{off} 分别为在普克尔斯盒所施加的电压 ON 及 OFF 时所涉及的光的通过率；其中，在 687 纳米附近，调制效果 $\frac{\Delta T}{T}$ 是 44.7%。

[0037] 图 3 为本发明实施例所涉及的普克尔斯盒的结构示意图。这里利用普克尔斯效应来进行相位调制，控制入射光的偏振。$\varphi\approx\varphi_0-\pi\frac{V}{V_\pi}$，其中，$V_\pi$ 是半波电压，φ 为相位。$V_\pi=\frac{d}{L}\frac{\lambda}{rn^3}$，它由材料特性以及尺寸比例 $\frac{d}{L}$ 所决定，其中，d 与 L 分别为厚度及长度，λ 为入射光的波长，r 和 n 分别为普克尔斯盒的材料常数及折射率。一般用 $NH_4H_2PO_4$(ADP)，KH_2PO_4(KDP)，$LiNbO_3$，$LiTaO_3$ 和 CdTe 来作为普克尔斯盒的晶体。这里用钛参杂 $LiNbO_3$ 作为普克尔斯盒晶体，当 d ＜＜ L 时，半波电压只需几伏，调制速度大于 100GHz。

[0038] 图 4 为本发明实施例所涉及的光偏振式光开关的结构例示图。其中，“1”为普克尔斯盒，“2”为超材料结构。图 4(a) 为开光“开”的状态，当入射光为“s”偏振时，普克尔斯盒上的电压为 0，入射光可以透过超材料结构。图 4(b) 为开关“关”的状态，普克尔斯盒上电压为半波电压，此时入射光从“s”偏振变为“p”偏振，不再能透过超材料结构。

[0039] 综上所述，本发明所公开的利用光偏振的光开关，其目的在于可将纳米结构超材料与普克尔斯盒或者其他光控偏振器集成光路，它具有结构简单，体积小的优势，并且有望提高光开关的速度。目前为止，由于大部分的光开关，通常都需要一道强耦合光来控制光的开与关，并且一般都要在低温条件下才能实现，这些都增加了实际应用的难度。而本发明利用超材料（比电磁波波长小的“单位元件”）实现的等离子体电磁感应透明将元件尺寸大大减小，结构内产生的等离子体作用代替了强耦合光，并且可以在室温条件实现。但是由于这种控制耦合的等离子相互作用是由结构本身所决定的，从而使得光透明变得被动不可控。在本发明技术方案中，等离子体电磁感应透明是基于等离子体耦合，通过光偏振，来控制等离子体相互作用产生与否，从而使等离子体电磁感应透明变的可以控制。本发明技术方案

中的超材料结构可以对不同偏振方向的入射光，选择性通过，进而可以实现切换光路的目的。并且，本发明技术方案利用普克尔斯效应来控制光的偏振方向，即利用改变施加在普克尔斯盒上的电压，来调制入射光的偏振。

[0040] 以上为例示本发明技术思想的优选实施例，以及相关的说明及附图，但本发明不由所述图示及说明的结构及功能所限制，可以理解为在不脱离本发明技术思想的范围内，可对本发明进行各种变形及修改，这样所有的变形及修改以及等价变换均应视作属于本发明的范围内。

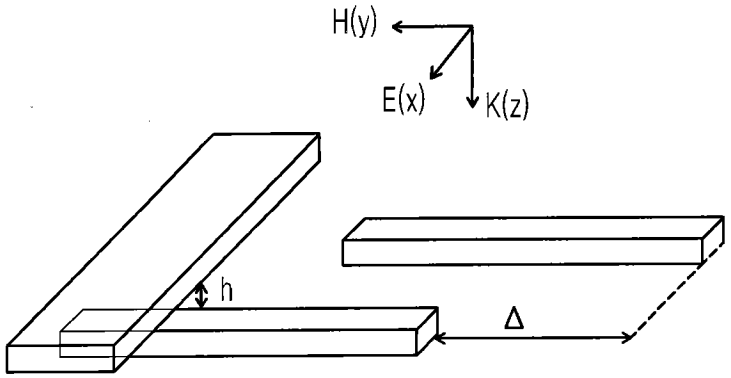

H(y)
E(x)
K(z)
h
Δ

图 1

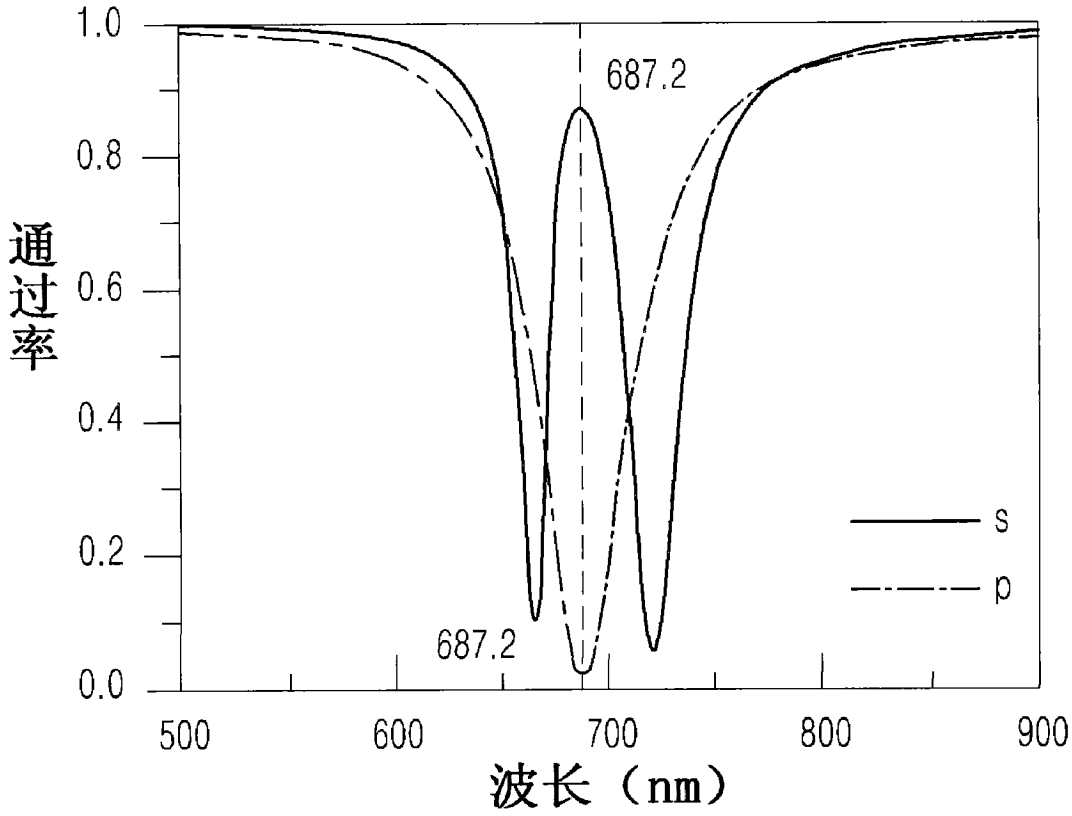

1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
通过率
687.2
687.2
s
p
500
600
700
800
900
波长（nm）

图 2

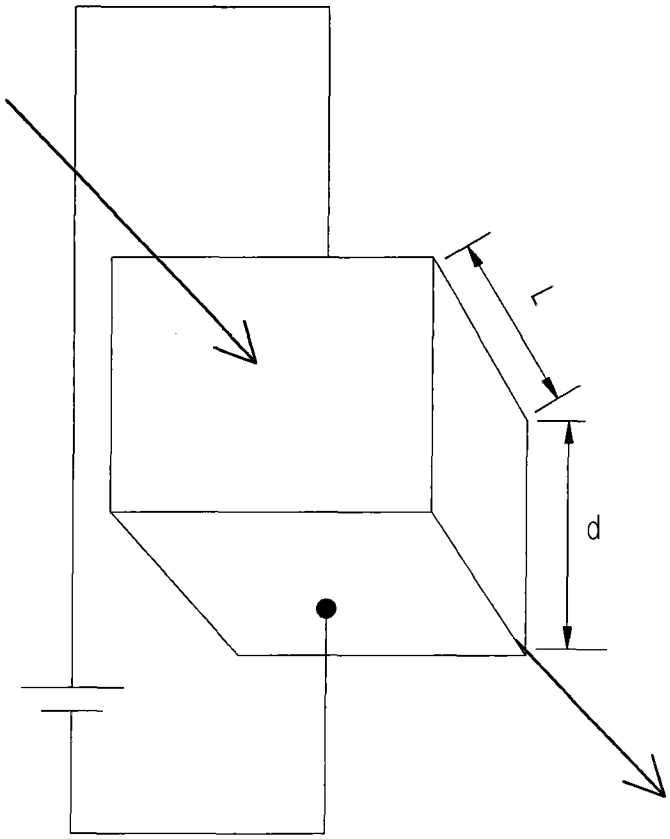


图 3

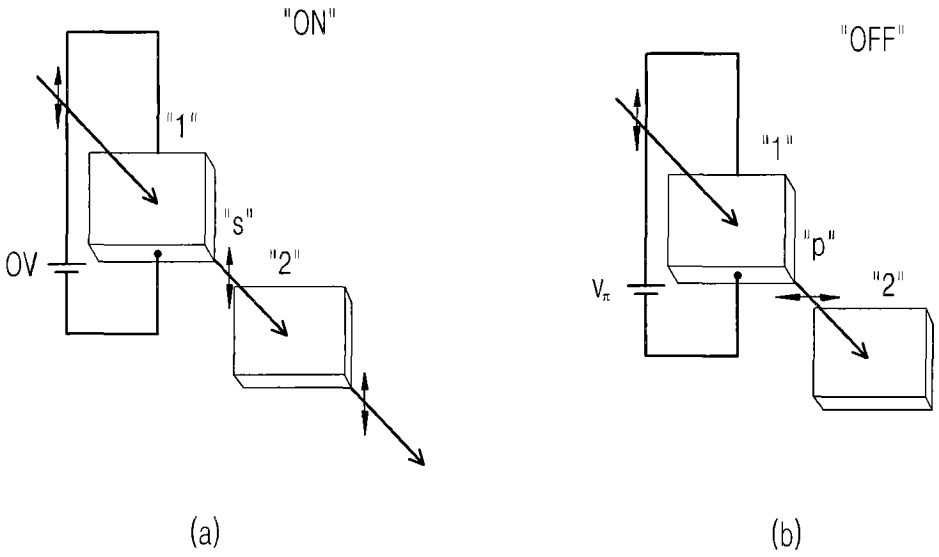


图 4