

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G02F 1/061 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200610029140.7

[43] 公开日 2007年1月24日

[11] 公开号 CN 1900768A

[22] 申请日 2006.7.20

[21] 申请号 200610029140.7

[71] 申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路800号

[72] 发明人 朱琨 邓晓旭 曹庄琪 沈启舜

[74] 专利代理机构 上海交达专利事务所
代理人 王锡麟 王桂忠

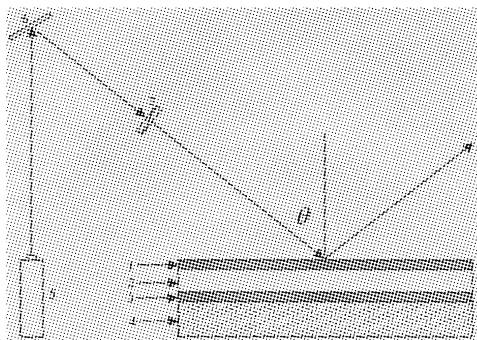
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

[54] 发明名称

应用自由空间耦合技术调制光的方法及调制器

[57] 摘要

一种应用自由空间耦合技术调制光的方法及调制器，调制器的下层金属膜、有机聚合物薄膜和上层金属膜依次镀在衬底的上表面，上下层金属膜和有机聚合物薄膜构成双面金属包覆波导结构，上层金属膜和有机聚合物薄膜构成了衰减全反射结构。方法如下：首先形成上述调制器，采用半导体激光产生激光信号直接入射到上层金属膜的上表面。当入射角达到模式匹配角时，产生导波共振，激发在有机聚合物薄膜内传播的导波。绘制调制器反射光强随入射角变化的曲线。选择产生导波共振的模式匹配角，作为调制器的工作点，在上下层金属膜上施加电信号，调制入射激光信号，探测反射激光信号并显示在示波器上。本发明电压低、易于集成、价格低廉、插入损耗低。



1、一种应用自由空间耦合技术调制光的调制器，包括：上层金属膜（1）、有机聚合物薄膜（2）、下层金属膜（3）和衬底（4），其特征在于：下层金属膜（3）、有机聚合物薄膜（2）和上层金属膜（1）依次镀在衬底（4）上表面，其中上下金属膜（1）、（3）和有机聚合物薄膜（2）构成有机聚合物双面金属包覆波导结构，上层金属膜（1）和有机聚合物薄膜（2）构成了衰减全反射结构，从激光器（5）发射的激光入射到上层金属膜（1）上表面所激发的导波就在有机聚合物薄膜（2）中传播。

2、根据权利要求1所述的应用自由空间耦合技术调制光的调制器，其特征是，上层金属膜（1）和下层金属膜（3）选用介电系数的实数部分在近红外光频范围内为负数的金属。

3、根据权利要求1或者2所述的应用自由空间耦合技术调制光的调制器，其特征是，上层金属膜（1）的厚度在20nm-30nm之间，下层金属膜（3）厚度大于或者等于300nm。

4、根据权利要求1所述的应用自由空间耦合技术调制光的调制器，其特征是，有机聚合物薄膜（2）的电光系数 $\gamma_{33} > 12 \text{ pm/V}$ ，厚度在 $15 \mu\text{m}$ - $30 \mu\text{m}$ 之间。

5、根据权利要求1所述的应用自由空间耦合技术调制光的调制器，其特征是，其工作波长在近红外光频范围内。

6、一种应用自由空间耦合技术调制光的方法，其特征在于，具体步骤如下：

第一步：选择具有较大电光系数的有机聚合物形成由上层金属膜（1）、有机聚合物薄膜（2）、下层金属膜（3）和衬底（4）组成的应用自由空间耦合技术调制光的方法及调制器，首先将衬底（4）置入丙酮溶液中，用超声波清洗，再用去离子水清洗后烘干，然后，将衬底置于溅射机中进行金属膜溅射，采用旋转成膜法在下层金属膜（3）上表面制备有机聚合物薄膜（2），采用电晕极化法在烘箱内将有机聚合物薄膜（2）加热至其玻璃化转变温度附近，在垂直于有机聚合物薄膜（2）上表面的方向施加极高的电场，使有机聚合物薄膜（2）内部的极性分子在电场作用下整齐的排列起来，保持电场作用，将烘箱温度缓慢降至室温，极性分子便被牢牢地冻结，这时再撤掉电场，有机聚合物薄膜（2）具有了电光特性，再

次采用溅射方法在有机聚合物薄膜(2)上表面溅射一层上层金属膜(1);

第二步:将激光器(5)发射出的激光通过偏振片(7) S偏振光或P偏振光后入射至放置在计算机控制的装有光强探测器的 $\theta/2\theta$ 测角仪上的反射型有机聚合物电光调制器的上层金属膜(1)上表面,电光调制器在测角仪上每转动 θ 角,反射光线转动 2θ 角,光强探测器放在测角仪的 2θ 转盘上,使用计算机控制测角仪转动,调节入射光在调制器上层金属膜(1)上的入射角从0度步进至90度,使用光强探测器绘制出调制器在整个入射角范围内ATR谱,根据ATR谱,选择一个与高阶导模相对应的吸收峰的下降沿的中点作为调制器的工作点,同时在调制器的上下层金属膜(1、3)上施加一个电信号,外加的电信号使有机聚合物薄膜(2)的折射率发生变化而引起光强的变化,从而实现了电信号对光信号的调制,使用探测器得到被调制的光信号,并同时将其显示在示波器上。

7、根据权利要求6所述的应用自由空间耦合技术调制光的方法,其特征是,第一步中,采用多次成膜使有机聚合物薄膜(2)到达设定的厚度。

8、根据权利要求6所述的应用自由空间耦合技术调制光的方法,其特征是,第一步中,在有机聚合物薄膜(2)上表面溅射一层20nm-30nm厚的上层金属膜(1)。

9、根据权利要求6所述的应用自由空间耦合技术调制光的方法,其特征是,第二步中,选择工作波长在近红外光频范围内的半导体激光器作为光源。

应用自由空间耦合技术调制光的方法及调制器

技术领域

本发明涉及的是一种方法与调制器,具体是一种应用自由空间耦合技术调制光的方法及调制器。属于光电子通信与光信息处理领域。

背景技术

按照工作原理,光调制器可以分为磁光式、声光式、电吸收式和电光式等。其中电光式调制器是人们研究得最多的一类光调制器。它是利用电光材料在外加电场的作用下发生电光效应而引起其折射率发生变化的特性来实现对传输光束调制的一类器件。按照电光调制器的结构,其又可分为体型电光调制器、波导传输型电光调制器与反射型电光调制器。

在反射型电光调制器中,入射光仅经过反射而输出,避免了光在波导中传输所产生的损耗,因此插入损耗很小。但是要实现反射光的调制,器件中必须存在对反射光的衰减吸收机制,而衰减全反射型电光调制器则能很好的满足这一需要。基于有机聚合物电光效应的衰减全反射型电光调制器随之成为人们研究的热点。经文献检索发现,世界上目前正在使用的衰减全反射型电光调制器可以分为两种:其一, Applied Optics 34(6), 20, February, 1995, Electro-optic polymer light modulator based on surface Plasmon resonance (应用光学. 34(6), 20, February, 1995, 基于表面等离子共振模的有机聚合物电光调制器), 该文中所提及的电光调制器,其主要原理是采用棱镜耦合方式使入射激光激发金属膜-有机聚合物薄膜界面上的表面等离子波,并使用外加电信号调制有机聚合物薄膜的折射率来改变表面等离子波的传播常数,进而实现对反射光强的调制。该实验用 100V 调制电压实现了 18.5%的调制度。显然,通过激发表面等离子波来调制反射光强,需要用很高的调制电压才能获得一定的调制度。因此人们开始研究如何使用更小的调制电压获得更高的调制度。其二, Optics & Laser Technology 33(6), 15, June, 2001, Low voltage electro-optic polymer light modulator using attenuated total internal reflection(光学与激光技

术. 33(6), 15, June, 2001, 低电压衰减全内反射有机聚合物电光调制器), 该文中所提及的电光调制器, 其主要原理是采用棱镜耦合方式使入射激光激发金属膜-有机聚合物薄膜-金属膜波导(双面金属包覆波导)中的导模, 并使用外加电信号调制有机聚合物薄膜的折射率来改变低阶导模的模式匹配角, 进而实现对反射光强的调制。用 12V 的调制电压实现了 60%的调制度。上述两种衰减全反射型电光调制器均有不足之处, 前者的不足有二: 1) 需要较高的调制电压; 2) 采用棱镜耦合方式限制了它的大规模集成性。而后者虽然降低了调制电压, 但是由于仍然使用了棱镜耦合方式而依然没有解决器件可大规模集成化的问题。

发明内容

本发明的目的在于克服现有技术中的不足, 提供一种应用自由空间耦合技术调制光的方法及调制器, 使其应用自由空间耦合技术激发有机聚合物双面金属包覆波导中的高阶导模, 并利用外加电信号实现对入射光的调制。该调制器具有调制电压低、易于集成、价格低廉、插入损耗低等特征。

本发明是通过以下技术方案实现的, 本发明调制器由上层金属膜、具有电光效应的有机聚合物薄膜、下层金属膜和衬底构成。下层金属膜、具有电光效应的有机聚合物薄膜和上层金属膜依次镀在衬底上。其中, 上下层金属膜和有机聚合物薄膜构成双面金属包覆波导结构, 上层金属膜和有机聚合物薄膜构成衰减全反射结构, 从激光器入射的激光束入射到上层金属膜上所激发的导模就在具有电光特性的有机聚合物薄膜中传播。

上层金属膜和下层金属膜一般可选用例如金、银、铜、铝等贵金属, 由于其介电系数的实部在可见光和近红外波段为负数, 使得双面金属包覆有机聚合物波导的有效折射率范围可以从零开始, 正是由于这一特殊的性质, 入射光可以直接耦合进本发明应用自由空间耦合技术的有机聚合物电光调制器。

上层金属薄膜的厚度应严格控制使耦合效率较大, 并且能将 S 偏振光或 P 偏振光有效耦合进有机聚合物薄膜内, 一般来说上层金属膜的厚度在 20nm-30nm 之间; 下层金属膜厚度应大于 300nm, 以此隔离衬底对波导的影响。本发明调制器的工作波长在近红外光频范围内选择。衬底一般选用具有较高平整度的玻璃。

有机聚合物薄膜应该选用具有较强电光效应的有机聚合物, 即该有机聚合物薄膜应具有较大的电光系数, 同时其厚度必须能承载高阶导模。通常有机聚合物

薄膜的电光系数 $\gamma_{33} > 12 \text{ pm/V}$ ，厚度在 $15 \mu\text{m} - 30 \mu\text{m}$ 之间。

在上述应用自由空间耦合技术调制光的调制器的基础上，本发明提出一种应用自由空间耦合技术调制光的方法。利用半导体激光器产生激光，然后将此激光直接入射到调制器的上层金属膜，当激光的入射角达到某一特定角度（模式匹配角）时，激光的大部分能量将被有机聚合物薄膜吸收，在有机聚合物薄膜内激发高阶导模，形成在有机聚合物薄膜内传播的导波，反射光的光强则降至最小，此过程称导波共振吸收。激光的入射角范围为 0 度到 90 度，在此入射角范围内存在多个模式匹配角，均能产生导波共振吸收，每一个导波共振吸收对应一个模式，称为导波共振模式（简称导模）。小角度模式匹配角对应的导模称为高阶导模。在整个入射角范围内，反射光强随入射角度变化的曲线称为 ATR 谱，ATR 谱上与导波共振吸收对应的峰称为吸收峰。利用计算机控制的装有光强探测器的 $\theta/2\theta$ 测角仪，可以绘制出基于自由空间耦合技术的反射型有机聚合物电光调制器的 ATR 谱。在 ATR 谱中，吸收峰最低点所对应的角度对有机聚合物薄膜的折射率 n_2 的变化非常敏感，尤其是对应高阶导模的吸收峰。当 n_2 发生一个微小的变化时，整个 ATR 谱的变化表现为沿坐标轴方向发生一段微小位移。吸收峰的下降沿存在着一段线性区，具有较大的斜率。如果将工作点选择在线性区的中点处，在电极上施加一个电压后，由于有机聚合物薄膜的电光效应会使其折射率发生一个微小的变化，进而引起 ATR 谱线沿横坐标方向发生平移变化，引起反射光强随工作电压线性变化，从而实现了一个反射型电光调制器的功能。

以下对本发明方法作进一步的说明，具体步骤如下：

第一步：选择具有较大电光系数的有机聚合物形成由上层金属膜、有机聚合物薄膜、下层金属膜和衬底组成基于自由空间耦合技术的反射型有机聚合物电光调制器。

首先将衬底置入丙酮溶液中，用超声波清洗，再用去离子水清洗后烘干。然后，将衬底置于溅射机中进行金属膜溅射，根据溅射功率和时间控制溅射厚度约为 300nm 的下层金属膜。此层金属膜既是衬底隔离层，又是下电极。采用旋转成膜法，将有机聚合物成膜在下电极上。为了使有机聚合物薄膜到达一定的厚度，可以进行多次成膜。这样，有机聚合物薄膜就可以承载一定数量的高阶导模。采用电晕极化法对有机聚合物进行极化，在烘箱内将聚合物材料加热至其玻璃化转

变温度附近,这时聚合物内部的极性分子出于可自由转动的状态,在垂直于聚合物表面的方向施加极高的电场,则聚合物内部的极性分子在电场作用下会整齐的排列起来,保持电场作用,将烘箱温度缓慢降至室温,这时极性分子便被牢牢地冻结,这时再撤掉电场,有机聚合物材料对外呈现一定的光学各向异性,在外加电信号的作用下就会发生电光效应。再次采用溅射方法,在有机聚合物薄膜上表面溅射一层 30nm 厚的金属膜,此层金属膜既是耦合层,又是上电极。

第二步:选择工作波长在近红外光频范围内的半导体激光器作为光源,使激光器发射出的激光信号通过偏振片变成 S 偏振光或 P 偏振光后入射至放置在计算机控制的装有光强探测器的 $\theta/2\theta$ 测角仪上的反射型有机聚合物电光调制器的上层金属膜的上表面。电光调制器在测角仪上每转动 θ 角,反射光线转动 2θ 角,光强探测器放在测角仪的 2θ 转盘上,能够保证探测器时刻跟踪反射光。使用计算机控制测角仪转动,调节入射光在调制器上层金属膜上的入射角从 0 度步进至 90 度,这样就可以绘制出调制器在整个入射角范围内 ATR 谱。根据 ATR 谱,选择一个与高阶导模相对应的吸收峰的下降沿的中点作为调制器的工作点,同时在调制器的上下电极之间施加一个电信号,外加的电信号使有机聚合物薄膜的折射率发生变化而引起光强的变化,从而实现了电信号对光信号的调制,使用探测器可以得到的被调制的光信号,并同时将其显示在示波器上。

本发明可以调制 S 偏振光或 P 偏振光,可应用于宽带网络的用户端接入、楼际无线通信以及代替现有声光调制器用于大孔径光束的调制。

本发明具有实质性特点和显著进步。1) 与传统的采用棱镜耦合方式的衰减全反射型电光调制器相比,由于采用了自由空间耦合方式,使得本发明涉及的电光调制器的体积大大减小,可集成性得到了很大的改善;2) 调制器制备简单,可采用具有较大电光系数的有机聚合物作为工作物质,材料处理方便、成本低廉。利用旋转成膜法可以很方便的有机聚合物薄膜的厚度。而且此类有机聚合物通过电晕极化的方法可以获得高于 LiNbO_3 等无机晶体的电光系数;3) 对于双面金属包覆波导来说,高阶导模对有机聚合物薄膜的折射率变化比低阶导模更敏感。采用棱镜耦合方式的衰减全反射型电光调制器,入射光在棱镜底部的入射角一般都较大,因此很难激发高阶导模。而本发明由于采用自由空间耦合方式,入射角可以从 0 度开始,可以很容易得到多个高阶导模。因此在相同调制电压下,

通过选用高阶导模作为调制对象,本发明比背景技术中基于衰减全内反射的低电压有机聚合物电光调制器具有更高的灵敏度。

附图说明

图 1 为本发明结构示意图

具体实施方式

如图 1 所示,本发明调制器由上层金属膜 1、有机聚合物薄膜 2、下层金属膜 3 和衬底 4 组成,下层金属膜 3、有机聚合物薄膜 2、上层金属膜 1 依次镀在衬底 4 的上表面,其中,上下金属膜 1、3 与有机聚合物薄膜 2 构成双面金属包覆波导结构,上层金属膜 1 与有机聚合物薄膜 2 构成了衰减全反射结构,从激光器 5 发射出的激光经过反射镜 6 与偏振片 7 入射到上层金属膜 1 上,激发在有机聚合物薄膜 2 内传播的高阶导模。

以下结合本发明方法提供两个实施例,实施例中给出的材料的介电常数和折射率均为在入射光波长为 832nm 时的情况下的值。

实施例 1

利用基于自由空间耦合技术的反射型有机聚合物电光调制器实现对波长为 832nm 的 S 偏振激光信号的调制。

第一步:选用 K9 玻璃作为衬底玻璃,将其置入丙酮溶液中,用超声波进行清洗,再用去离子水清洗干净放入烘箱内烘干。下层金属膜 3 材料采用金 ($\varepsilon = -25.2 + 1.6i$),利用溅射的方法镀在 K9 玻璃的上表面上,厚度为 300nm。有机聚合薄膜 2 材料选用聚酰亚胺,其折射率为 1.56,利用旋转成膜法镀在下层金属膜上,厚度约为 $15\ \mu\text{m}$ 。然后在有机聚合物薄膜 2 材料的玻璃化转变温度 (110°C) 附近,在垂直于有机聚合物表面的上方的金属针尖上施加极高的直流电压 (3000V),则有机聚合物薄膜内部的极性分子在电场作用之下会整齐地排列起来。保持电压,使温度缓慢降至室温,此时极性分子便被牢牢冻结。撤掉电场,有机聚合物薄膜对外便呈现一定的光学各向异性,即具有了电光特性。上层金属膜材料 1 也采用金 ($\varepsilon = -25.2 + 1.6i$),用溅射的方法镀在有机聚合物薄膜的表面,厚度约为 20nm。此时,溅射机的溅射功率必须采用一个较低的功率,防止有机聚合物薄膜被溅穿,在本实施例中的溅射功率为 40W。

第二步:激光器 5 选用工作波长为 832nm 的半导体激光器,偏振片 7 的偏振

方向为 S 偏振，导波共振模式为 TE₁₃ 模式，模式匹配角为 θ 。使从激光器 5 发射的激光束在确定的角度——模式匹配角 9.68 度入射到上层金属膜 1 的上表面上，激发在有机聚合物薄膜 2 中传播的导波。在调制器上下电极之间施加一个 12V 电信号，利用调制器的工作原理，实现电信号对入射激光信号的调制，使用探测器接收被调制器反射的已调制激光信号，得到 1.0V 的光信号，并将其显示在示波器上。

实施例 2

利用基于自由空间耦合技术的反射型有机聚合物电光调制器实现对波长为 832nm 的 P 偏振激光信号的调制。

第一步：选用 K9 玻璃作为衬底玻璃，将其置入丙酮溶液中，用超声波进行清洗，再用去离子水清洗干净放入烘箱内烘干。下层金属膜 3 材料采用金 ($\varepsilon = -25.2 + 1.6i$)，利用溅射的方法镀在 K9 玻璃的上表面上，厚度为 300nm。有机聚合薄膜 2 材料选用聚酰亚胺，其折射率为 1.56，利用旋转成膜法镀在下层金属膜上，厚度约为 30 μm 。然后在有机聚合物薄膜 2 材料的玻璃化转变温度 (170°C) 附近，在垂直于有机聚合物表面的上方的金属针尖上施加极高的直流电压 (3000V)，则有机聚合物薄膜内部的极性分子在电场作用之下会整齐地排列起来。保持电压，使温度缓慢降至室温，此时极性分子便被牢牢冻结。撤掉电场，有机聚合物薄膜对外便呈现一定的光学各向异性，即具有了电光特性。上层金属膜材料 1 也采用金 ($\varepsilon = -25.2 + 1.6i$)，用溅射的方法镀在有机聚合物薄膜的表面，厚度约为 30nm。此时，溅射机的溅射功率必须采用一个较低的功率，防止有机聚合物薄膜被溅穿，在本实施例中的溅射功率为 40W。

第二步：激光器 5 选用工作波长为 832nm 的半导体激光器，偏振片 7 的偏振方向为 P 偏振，导波共振模式为 TM₂₆ 模式，模式匹配角为 θ 。使从激光器 5 发射的激光束在确定的角度——模式匹配角 7.51 度入射到上层金属膜 1 的上表面上，激发在有机聚合物薄膜 2 中传播的导波。在调制器上下电极之间施加一个 12V 电信号，利用调制器的工作原理，实现电信号对入射激光信号的调制，使用探测器接收被调制器反射的已调制激光信号，得到 1.5V 的光信号，并将其显示在示波器上。

实施例 3

利用基于自由空间耦合技术的反射型有机聚合物电光调制器实现对波长为 832nm 的 S 偏振激光信号的调制。

第一步：选用 K9 玻璃作为衬底玻璃，将其置入丙酮溶液中，用超声波进行清洗，再用去离子水清洗干净放入烘箱内烘干。下层金属膜 3 材料采用金 ($\varepsilon = -25.2 + 1.6i$)，利用溅射的方法镀在 K9 玻璃的上表面上，厚度为 300nm。有机聚合薄膜 2 材料选用聚酰亚胺，其折射率为 1.56，利用旋转成膜法镀在下层金属膜上，厚度约为 $20 \mu\text{m}$ 。然后在有机聚合物薄膜 2 材料的玻璃化转变温度 (110°C) 附近，在垂直于有机聚合物表面的上方的金属针尖上施加极高的直流电压 (3000V)，则有机聚合物薄膜内部的极性分子在电场作用之下会整齐地排列起来。保持电压，使温度缓慢降至室温，此时极性分子便被牢牢冻结。撤掉电场，有机聚合物薄膜对外便呈现一定的光学各向异性，即具有了电光特性。上层金属膜材料 1 也采用金 ($\varepsilon = -25.2 + 1.6i$)，用溅射的方法镀在有机聚合物薄膜的表面，厚度约为 25nm。此时，溅射机的溅射功率必须采用一个较低的功率，防止有机聚合物薄膜被溅穿，在本实施例中的溅射功率为 40W。

第二步：激光器 5 选用工作波长为 832nm 的半导体激光器，偏振片 7 的偏振方向为 S 偏振，导波共振模式为 TE₁₇ 模式，模式匹配角为 θ 。使从激光器 5 发射的激光束在确定的角度——模式匹配角 14.75 度入射到上层金属膜 1 的上表面上，激发在有机聚合物薄膜 2 中传播的导波。在调制器上下电极之间施加一个 12V 电信号，利用调制器的工作原理，实现电信号对入射激光信号的调制，使用探测器接收被调制器反射的已调制激光信号，得到 1.3V 的光信号，并将其显示在示波器上。

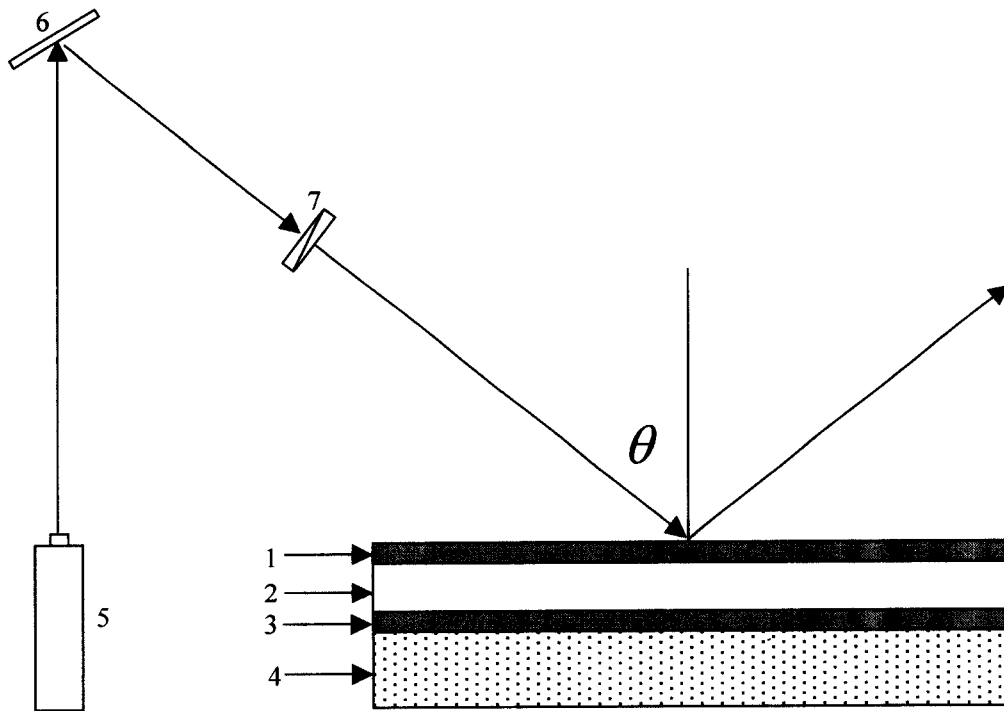


图 1