

光致异构全光逻辑门理论与实验研究^{*}

李燕明 陈理想 余卫龙[†]

(中山大学光电材料与技术国家重点实验室, 广州 510275)

(2006 年 12 月 19 日收到, 2007 年 1 月 31 日收到修改稿)

基于双光抽运探测模型, 利用偶氮苯聚合物光致异构和光致双折射效应, 建立了全光逻辑门的理论分析模型, 提出了一种新颖的全光逻辑门设计方案. 该方案基于输入抽运光和信号光的强度或偏振态, 设计了“与”门、“或”门、“异或”门和“异或非”门等基本功能的全光逻辑门. 以掺杂分散红 1 (DR1) 的聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 薄膜为样品进行实验, 得到了比较好的逻辑门运算实验结果, 与理论分析相符合.

关键词: 全光逻辑门, 光致异构, 光致各向异性

PACC: 4280V, 4265, 4270J

1. 引 言

人们对宽带宽、超高速通信与光子计算机的追求推动了非线性材料在光信息处理中的研究, 而基于光学非线性的全光逻辑门器件是实现光子计算机与信息处理的基础. 自 1937 年 Hartley^[1] 发现紫外光能够对偶氮苯中的氮-氮双键的构型产生影响以来, 由于具有体积小、重量轻、低传输延迟、低功耗和可以通过修饰分子适合特定应用的特点, 人们便对偶氮苯及其衍生物的光学性质进行了大量的研究^[2]. 偶氮苯材料在其吸收带内波长的光激励下可以实现可逆的光致异构, 表现出光致各向异性、二向色性和光致折射率改变等优良的 optical 特性, 使得它在光存储、光学信息处理、光孤子以及光学器件等研究领域有很大潜力, 因而受到人们的广泛关注^[3-6]. 目前文献报道有基于细菌视紫红质的全光逻辑门^[7-10], 还有采用半导体光放大器 (SOA) 中交叉增益调制效应的全光逻辑门等^[11-13]. 据我们所知, 目前尚未见基于掺偶氮苯聚合物的全光逻辑门的报道. 本文利用线-圆双偏振态抽运光之间的转换, 分别对应于偶氮苯薄膜样品光致双折射的产生与擦除的两种效应, 提出了基于掺偶氮苯有机聚合物薄膜的具有“与”、“或”、“异或”和“异或非”等全光逻辑门功能的实验新方案. 通过调节输入抽运光的偏振态或强度, 使样

品产生双折射及相应的折射率大小变化, 控制透过样品后的信号光的偏振态, 从而控制检偏器的透射光强, 最终以信号光作为桥梁实现对抽运光的不同逻辑操作. 实验结果表明全光逻辑门运算与理论分析相符合. 该方案具有设计结构简单、易于集成、消光比好等优点.

2. 理论分析

研究表明, 光致异构非线性效应主要包括角烧孔、重取向和取向扩散等过程, 而光致各向异性主要来源于角烧孔效应的贡献^[14], 特别是对于 Cis 态分子寿命比较长的偶氮苯有机聚合物材料, 角烧孔机制占主要地位. 该机理首先把 Trans 态分子作棒状假设, Cis 态分子作球状假设; 并且假定在计算折射率改变时, 只计算 Trans 态分子的方位角密度^[15]. 根据材料的对称性, 棒状分子在实验室坐标系中的空间取向如图 1 所示.

对于信号光为线偏振光, 抽运光分别为线偏振光和圆偏振光, 光致异构的速率方程可以分别写为^[15, 16]

$$\begin{aligned} \frac{dT_1}{dt} = & -q_{Tp} \sigma_{Tp} I_p \cos^2 \theta T_1 + q_{Cp} \sigma_{Cp} I_p (T_0 - T_1) \\ & -q_{Ts} \sigma_{Ts} I_s \cos^2 \theta_1 T_1 + q_{Cs} \sigma_{Cs} I_s (T_0 - T_1) \\ & + K(T_0 - T_1), \end{aligned} \quad (1a)$$

^{*} 国家自然科学基金(批准号: 30574167)资助的课题.

[†] 通讯联系人. E-mail: shewl@mail.sysu.edu.cn

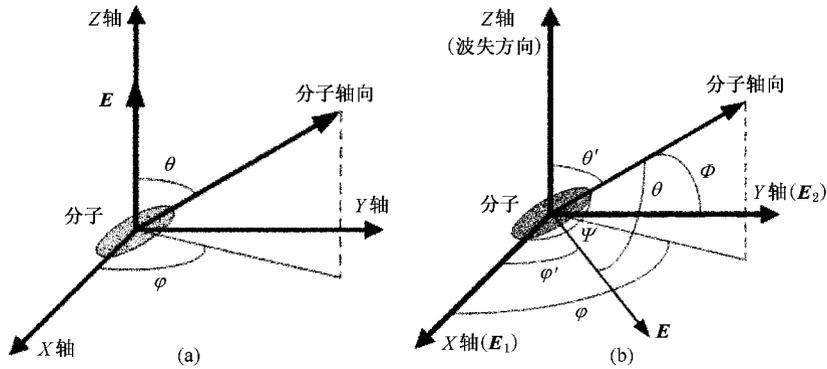


图1 棒状分子的空间取向示意图 (a)线偏振抽运光作用, E 为光场电矢量 (b)圆偏振抽运光作用, E_1 和 E_2 为圆偏振抽运光在主轴系上的两个分量

$$\begin{aligned} \frac{dT_c}{dt} = & -q_{Tp}\sigma_{Tp}I_p\sin^2\theta'T_c/2 + q_{Cp}\sigma_{Cp}I_p(T_0 - T_c) \\ & -q_{Ts}\sigma_{Ts}I_s\cos^2\theta_1T_c + q_{Cs}\sigma_{Cs}I_s(T_0 - T_c) \\ & + K(T_0 - T_c). \end{aligned} \quad (1b)$$

这里 T_1 , T_c 和 T_0 分别为线偏振抽运光激励、圆偏振抽运光激励和没有激励光时 Trans 态分子的方位角密度. I_p 和 I_s 分别为抽运光和信号光的强度. θ 为线偏振抽运光电场方向与 Trans 态分子轴的夹角, 而 θ_1 对应于信号光. θ' 为圆偏振抽运光的波矢方向与 Trans 态分子轴的夹角, q_{Tp} 与 q_{Cp} 分别为抽运光引起的 Trans 态分子量子产率和 Cis 态分子量子产率, 而 q_{Ts} 与 q_{Cs} 则对应于信号光. σ_{Tp} 与 σ_{Cp} 分别为抽运光引起的 Trans-Cis 和 Cis-Trans 异构的吸收截面张量元, 而 σ_{Ts} 与 σ_{Cs} 则对应于信号光. K 为热致 Cis-Trans 异构速率. 方程(1a)和(1b)右边第一项表征抽运光激发的 Trans-Cis 异构, 第二项表征抽运光激发的 Cis-Trans 异构, 第三项与第四项对应信号光, 第五项表征热致 Cis-Trans 弛豫. 根据文献[16], 值得注意的是线偏振光引起的 Trans-Cis 异构的有效吸收截面为 $\sigma_{Tp}\cos^2\theta$, 而圆偏振光引起的 Trans-Cis 异构的有效吸收截面为 $\sigma_{Tp}\sin^2\theta'/2$.

选择处于样品强吸收区的绿光(532 nm)为抽运光, 处于样品弱吸收区的红光(633 nm)作为信号光(样品的吸收谱由日本岛津公司 UV-3101PC 型紫外-可见-红外分光光度计测得, 结果如图2所示). 从吸收谱可以看出信号光吸收几乎为零, 而且在我们所讨论的情况中 $I_p \gg I_s$, 因此信号光所引起的光致 Trans-Cis 异构可以忽略不计(1a)(1b)式可以简化为

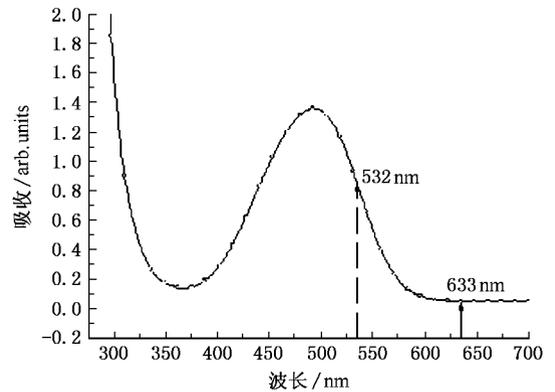


图2 掺杂 DRI 浓度为 5% 的 PMMA 薄膜的吸收谱

$$\begin{aligned} \frac{dT_1}{dt} = & -q_{Tp}\sigma_{Tp}I_pT_1\cos^2\theta + q_{Cp}\sigma_{Cp}I_p(T_0 - T_1) \\ & + K(T_0 - T_1), \end{aligned} \quad (2a)$$

$$\begin{aligned} \frac{dT_c}{dt} = & -\frac{1}{2}q_{Tp}\sigma_{Tp}I_pT_c\sin^2\theta' + q_{Cp}\sigma_{Cp}I_p(T_0 - T_c) \\ & + K(T_0 - T_c). \end{aligned} \quad (2b)$$

当 Trans 态分子的方位角密度达到光学稳态时我们可以得到

$$T_1 = T_0(I_p + \alpha)(\beta I_p\cos^2\theta + I_p + \alpha), \quad (3a)$$

$$T_c = T_0(I_p + \alpha)(\beta I_p\sin^2\theta'/2 + I_p + \alpha). \quad (3b)$$

这里 $\alpha = K(q_{Cp}\sigma_{Cp})$, $\beta = (q_{Tp}\sigma_{Tp})/(q_{Cp}\sigma_{Cp})$. 从(3a), (3b)式可以清楚的看到稳态时 Trans 态分子的方位角密度和光致方位角密度改变量 $\Delta T = T - T_0$ 都是各向异性的, 其具体形式由抽运光偏振方向和 α, β 的取值决定. 参数 α 与 β 的取值由所选偶氮染料、基底等材料参数以及抽运光的波长所决定. 对于我们所讨论的情况, 在可见光区量子产率 q_{Tp} 与 q_{Cp} 的变化很小, 而吸收截面 σ_{Tp} 与 σ_{Cp} 则有很大的变化^[17].

根据文献 [17] 如果信号光波长取为 633 nm 抽运光波长取为 490—560 nm 则 α 的值约为 1, β 的取值范围为 0.3—2.

当折射率改变很小时 $\Delta(n^2) \approx 2n \cdot \Delta n$ ($\Delta n \approx 10^{-3} - 10^{-2}$) 可得线偏振和圆偏振抽运光引起的折射率改变^[15]分别为

$$\Delta n_1 = (2\pi T_0 \chi_{33} / n\epsilon_0) \times \left[\frac{I_p + \alpha}{\beta I_p} \left(1 - \sqrt{\frac{I_p + \alpha}{\beta I_p}} \times \arctan \sqrt{\frac{\beta I_p}{I_p + \alpha}} - \frac{1}{3} \right) \right], \quad (4a)$$

$$\Delta n_c = \Delta n_1 = \Delta n_2 = (2\pi T_0 \chi_{33} / n\epsilon_0) \times \left\{ \frac{I_p + \alpha}{\beta I_p} \left[1 + \frac{(I_p + \alpha)\beta I_p}{\sqrt{1 + 2(I_p + \alpha)\beta I_p}} \times \ln \frac{2(I_p + \alpha)\beta I_p}{(\sqrt{1 + 2(I_p + \alpha)\beta I_p} + 1)^2} \right] - \frac{1}{3} \right\}. \quad (4b)$$

其中 Δn_1 和 Δn_2 分别对应圆偏振抽运光在主轴系上的两个分量 E_1 和 E_2 所引起的折射率改变.

对于我们讨论的情况, $\alpha = 1$ 和不同的 β , Δn_1 相对于 I_p 的变化曲线如图 3 所示. 从图 3 我们可以清楚地看到, 折射率的改变是负的并依赖于光强, 而且是可饱和的, Δn 的饱和值随着 β 的增加而增加. 因此, 线偏振和圆偏振抽运光激励样品的双折射效应表现为

$$\delta n_c = n_{\parallel} - n_{\perp} = \Delta n_1 - 0 = (2\pi T_0 \chi_{33} / n\epsilon_0) \times \left[\frac{I_p + \alpha}{\beta I_p} \left(1 - \sqrt{\frac{I_p + \alpha}{\beta I_p}} \right) \right], \quad (5a)$$

$$\delta n_c = n_{\parallel} - n_{\perp} = \Delta n_1 - \Delta n_2 = 0. \quad (5b)$$

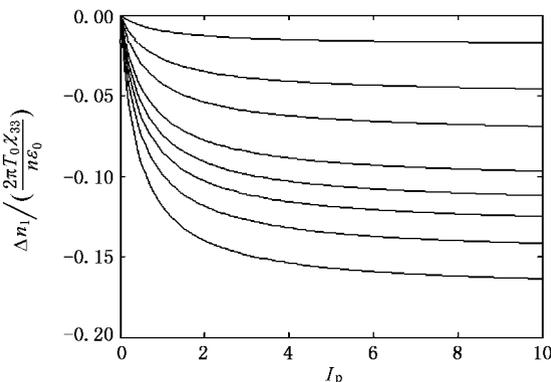


图 3 Δn_1 随 I_p 的变化曲线 图中曲线 $\alpha = 1$, β 从上到下依次取 0.1 0.3 0.5 0.8 1.0 1.2 1.5 和 2.0

由以上理论分析可知由于偶氮苯分子的光致异构和双折射特性, 在线偏振抽运光作用下, 偶氮苯分子不断地发生光致 Trans-Cis 异构循环, 偶氮苯分子对偏振光的选择性吸收使得 Trans 态分子最终倾向于排列在垂直于抽运光电矢量的方向上, 这种统计取向导致样品宏观光学各向异性, 而在圆偏振(或两束正交的且位相差为 $\pi/2$ 的奇数倍的线偏振)抽运光作用下, 偶氮苯分子对偏振光吸收在垂直于光波矢的平面上是各向同性的, 折射率改变在该平面内的变化也是相同的($\Delta n_1 = \Delta n_2$), 这种统计取向竞争效应就导致样品在该平面内呈现宏观光学各向同性. 因此, 线-圆双偏振态抽运光之间的转换, 对应于偶氮苯薄膜样品光致双折射的产生与擦除. 在不同偏振态抽运光的作用下, 样品表现出的宏观光学特性总结如表 1 所示.

表 1 样品在光照下的宏观光学特性

光波长与偏振态	633 nm 或者无光	532 nm	532 nm	532 nm =	532 nm 532 nm
分子分布					
宏观属性	各向同性	各向同性	各向同性	各向同性	各向同性

注: T 代表 Trans 态分子, C 代表 Cis 态分子

当样品出现宏观光学各向异性后,它就类似于一个单轴晶体,抽运光的波矢和偏振方向所在平面的法线方向即为该晶体的光轴方向.那么,在抽运探测的模型中,探测信号光经过置于正交偏振器对之间的样品后,其透射光强为^[18]

$$I_{\text{out}} = I_{\text{in}} \sin^2 \left(\frac{\pi \delta n d}{\lambda} \right), \quad (6)$$

其中, I_{in} 为探测信号光输入的光强, δn 为样品中光致异构非线性诱导产生的 o 光、e 光折射率差, d 为样品厚度, λ 为探测信号光的波长. 信号光经过样品后 o 光和 e 光的位相差为 $\Delta\phi = \pi \delta n d / \lambda$. 根据 (5a), (5b) 和 (6) 式可以得出以抽运光控制信号光的门效应: 当圆偏振抽运光作用(或者没有抽运光作用)样品时, 样品在 XY 平面上呈现光学各向同性, 线偏振信号光再经过样品后偏振方向不发生变化, 与检偏器的方向相互垂直, 所以输出为低水平信号(理想状态为零输出)形成“关”状态; 当线偏振抽运光作用样品时, 样品呈现光学各向异性, 光致异构非线性诱导产生的双折射效应使信号光的偏振态发生改变, 从而有较强的信号光透过检偏器, 形成“开”状态.

3. 实验方案

根据样品宏观光学特性对抽运光的光强及偏振状态的依赖关系, 即样品光致双折射的产生与擦除对应抽运光线-圆偏振态之间的转换, 以前已经讨论了光开关效应^[18], 现在在抽运探测的基础上设计了以 mW 量级抽运光控制的低功耗的逻辑“与”门、“或”门、“异或”门和“异或非”门等全光逻辑门. 通过调节抽运光的偏振态或强度, 使样品产生双折射及相应的折射率大小变化, 从而控制信号光的透射强度, 于是可实现对抽运光的不同逻辑操作(逻辑门简图如下图 4 所示).

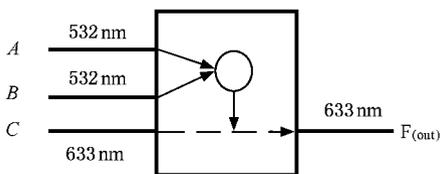


图 4 逻辑门简图

首先定义高透射光强的状态的编码为“1”, 低透射光强的状态的编码为“0”. A , B 和 C 为输入端口, F 为输出端口, F 的表达式为

$$F = (A * B) \cdot C, \quad (7)$$

其中 * 代表“与”门、“或”门、“异或”门和“异或非”门等具体的逻辑运算符. 整个 (7) 式代表这样一个过程: A 和 B 逻辑运算后再和 C “与”运算得到输出 F .

实验中, 两束 532 nm 的抽运光分别输入到 A 和 B , 633 nm 的信号光输入到 C 端, 信号光通过置于正交偏振器之间的样品后的透射强度的输出波形作为输出端“ F ”. 从 (7) 式可以知道 C 端为“0”时, F 输出为“0”; 当 C 为“1”时, F 输出为 $(A * B)$. 即当 C 为“0”时, 逻辑门处于悬空状态(Null); 当 C 为“1”时, 逻辑门处于工作状态. 因此 C 端相当于逻辑门的 Enable 端口一样, 通过改变输入 A , B 和 C 可以控制输出 F 的波形. 整个过程包括: 抽运光(产生光致异构非线性) → 样品(产生双折射) → 信号光(偏振态发生改变, 检偏器输出光强被调制) → 抽运光(逻辑运算). 全光逻辑门“与”门、“或”门、“异或”门和“异或非”门的真值表如表 2 所示.

表 2 全光逻辑门“与”门、“或”门、“异或”门和“异或非”门真值表

输入			输出 $F = (A * B) \cdot C$			
C	A	B	$A * B$	$A \oplus B$	$A + B$	$A \oplus B$
0	x	x	Null	Null	Null	Null
1	0	0	0	0	0	1
1	0	1	0	1	1	0
1	1	0	0	1	1	0
1	1	1	1	0	1	1

注: * 代表具体的逻辑运算符, x 代表任意输入

3.1. “与”门(AND)

在全光逻辑门设计中“与”门是最基础和最重要的. 在本文方案中, YAG 激光器发出的抽运光经过分束镜后分别通过 P_3 与 P_4 两个正交的偏振器, 再分别通过两个快轴平行的 1/4 波片, 这时输入端 A 和 B 两束抽运光分别为左旋和右旋圆偏振光, 当只有一束圆偏振抽运光作用的时候(左旋或者右旋), 样品呈现宏观光学各向同性, 信号光通过样品后偏振方向没有改变, 不能通过正交偏振器, 因此输出端 F 为“0”; 当两束圆偏振抽运光同时作用时, 其效果相当于一束线偏振抽运光作用, 样品呈现宏观光学各向异性, 信号光通过样品后, 在检偏器偏振方向的分量能够通过偏振器并到达探测器, 表明有高透射的输出信号光, 因此输出端 F 为“1”, 这样“与”门的逻辑运算就此形成.

为了简化系统, 我们只在反射镜 M_3 后面加一

个 $1/4$ 波片,快轴方向跟实验平台成 45° 角,那么当两束偏振正交的线偏振抽运光同时通过 $1/4$ 波片的时候就会合成一束线偏振光,而当只有一束线偏振抽运光通过的时候就相当于圆偏振光作用,其输入效果与前面两个 $1/4$ 波片的输入状态对应,这样就可以省一个 $1/4$ 波片,并且可以消除两个 $1/4$ 波片引起系统不稳定。

3.2. “异或”门(XOR)

在“与”门的基础上,移去 $1/4$ 波片,输入端的两束抽运光都为线偏振光,而且两束光是正交偏振的,通过调节薄玻璃片使它们的位相差为 $\pi/2$ 的奇数倍。当只有一束线偏振抽运光作用的时候,样品呈现宏观光学各向异性,信号光通过样品和检偏器后就会有高透射输出信号光,因此输出端就为“1”;当两束线偏振抽运光同时作用时,其效果相当于一束圆偏振抽运光作用,样品呈现宏观光学各向同性,信号光通过样品后偏振态没有改变,此时信号光没有相应的分量通过检偏器,因此输出端就为“0”。这样,我们就获得了“异或”门的逻辑运算。逻辑异或门(XOR)作为全光信号处理的关键器件之一,可以用于信号再生、数据编码、奇偶校验等^[20,21]。

3.3. “或”门(OR)

在“异或”门的基础上,简单地阐述“或”门的工作原理。首先把偏振器 P_3 与 P_4 的偏振方向调节到不是正交,输入端两束抽运光都为线偏振光,这时它们的偏振方向不是正交的。当至少有一束线偏振光作用时,样品就会呈现宏观光学各向异性,信号光通过样品后又相应的分量通过检偏器,表明有高透射的输出信号光,因此输出就为“1”;反之,输出则为“0”。这样就获得“或”门的实验系统。

3.4. “异或非”门(XNOR)

在“异或”门的基础上,通过改变抽运光的偏振状态来实现“异或非”门运算。输入端两束抽运光都为线偏振光,而且两束光位相差为 $\pi/2$ 的奇数倍。 C 端口不变,值得注意的是“异或非”门与前面分析的逻辑门编码机理不同,对抽运光的偏振状态进行编码, s 偏振为“0”, p 偏振为“1”。因此当两束光同偏振时(即输入同为“0”或“1”),样品表现为宏观光学各向异性,有高透射的信号光输出,输出端就为“1”;当两束光正交偏振时(即输入一个为“0”,另外一个“1”)样品表现为宏观光学各向同性,没有信号光能够透过检偏器,输出就为“0”,偏振依赖的“异或非”门就此形成。

4. 实验与结果

4.1. 实验装置

实验装置如图 5 所示,实验中所使用的抽运光是半导体激光抽运 YAG 倍频激光器激光(波长为 532 nm)处于样品的强吸收区,而使用的信号光是远离样品吸收区的 He-Ne 激光(633 nm)。抽运光经过半透半反的分束镜 BS_1 后分成光强大致相同的 A 光和 B 光, A 光经过分束镜后与透射的 B 光在分束镜 BS_2 共线后再通过反射镜 M_3 与探测光准确匹配照射在样品上。探测信号光 C 依次经过起偏器 P_1 、光阑、透镜、薄膜样品、检偏器 P_2 、截止滤光片,最后进入探测器,其中探测器由光电倍增管和高速数字示波器(Tektronix 公司生产,型号 TDS-3032)组成,放在探测器前面的截止滤光片用来滤掉抽运光的杂散光。起偏器 P_1 的偏振方向与实验平台成 45° 角,与检偏器 P_2 的偏振方向相互垂直,偏振器 P_3 与 P_4 的偏

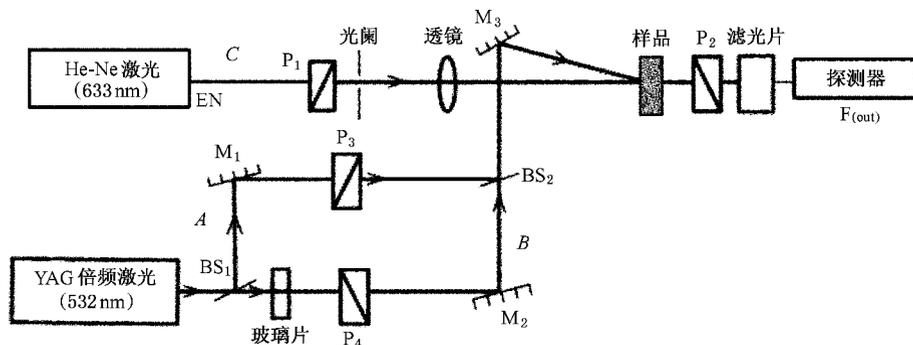


图 5 抽运探测模型的全光逻辑门实验装置图

振方向根据不同的逻辑门进行设置.所有偏振器均是格兰-汤姆森棱镜,其消光比为 50 dB.实验样品为掺杂 DR1 的 PMMA 薄膜,掺杂浓度(质量分数)为 5%,它是一种具有良好光学均匀性、其表面呈暗红色的新型材料样品,记为(PMMA + DR1 5%),样品的厚度大约 100 μm .样品的具体制备过程在文献 [22] 有详细的介绍.实验温度为 18 $^{\circ}\text{C}$,探测信号光功率为 0.2 mW.

4.2. 实验结果

4.2.1. “与”门实验结果

全光逻辑“与”门的实验结果如图 6 所示,两路输入端 A 和 B 分别为“10111100”和“11100111”,C 端输入二进制码为“11111100”,从图中可以知道输出波形恰好是 A 和 B 两路输入端的“与”运算结果,而且输出信号的消光比(ER)大约 15 dB 左右.实验中输入端 A 光功率为 12.8 mW 和 B 光为 12.6 mW.

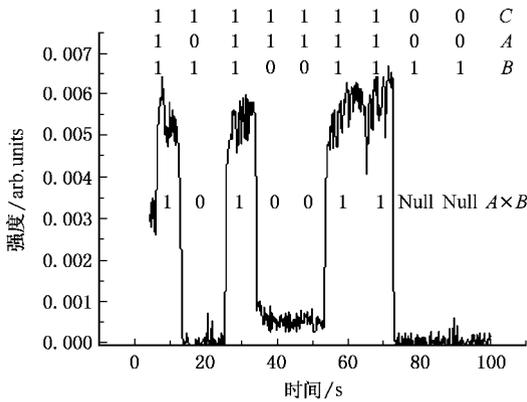


图 6 全光逻辑“与”门运算实验结果 A 和 B 为抽运光输入码元, C 代表信号光输入码元, $A \times B$ 为输出端的信号

4.2.2. “异或”门实验结果

全光逻辑异或门的实验输出结果如图 7 所示为,两路输入端 A 和 B 分别为“01111100”和“00011000”,C 端输入八位二进制码为“01111111”.从图中可以看出输出波形恰好是两路输入端的异或运算结果,而且输出信号的消光比相当好,已经达到 20 dB.实验中输入端 A 光功率为 26.8 mW 和 B 光为 26.2 mW.

4.2.3. “或”门实验结果

全光逻辑“或”门的实验输出结果如图 8 所示,两路输入端 A 和 B 分别为“000011010”和“110011000”,C 端输入二进制码为“01111111”,实验中所用的抽运光光功率分别为 $A = 16.2 \text{ mW}$ 和

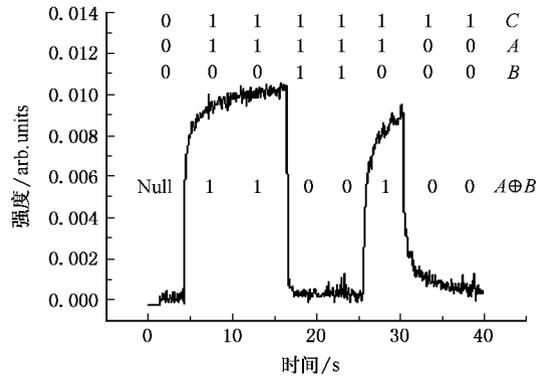


图 7 全光逻辑“异或”门运算实验结果 A 和 B 为抽运光输入码元, C 代表信号光输入码元, $A \oplus B$ 为输出端的信号

$B = 18.6 \text{ mW}$,两抽运光偏振方向的夹角为 105° .从图中可以得知输出波形恰好是两路输入端的“或”运算结果,而且输出信号的消光比也比较好.不过可以明显看到中间的透射峰比起两边的透射峰要低,这是因为两束抽运光同时作用的时候,偶氮苯分子光致异构在两个激发方向上产生竞争,削弱了样品的光致双折射效应,使样品的宏观光学各向异性减弱,因此透射的信号光就比单束光作用时要少,这与前面的理论分析相符合,也恰好验证了本文理论的正确性.

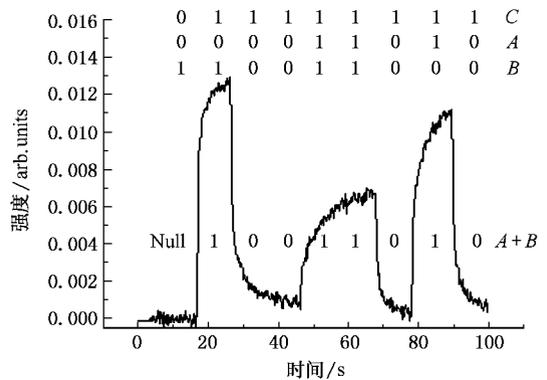


图 8 全光逻辑“或”门运算实验结果 A 和 B 为抽运光输入码元, C 代表信号光输入码元, $A + B$ 为输出端的信号

4.2.4. “异或非”门实验结果

全光逻辑“异或非”门的实验输出结果如图 9 所示,两路输入端 A 和 B 分别输入十位二进制码“1110000000”和“1111100000”,C 端输入恒为“1”,实验中输入端 A 光功率为 26.8 mW 和 B 光为 26.2 mW.从图中可以看出输出波形恰好是两路输入端的异或非运算结果,而且输出信号的消光比优于 10 dB,也

是比较理想的.

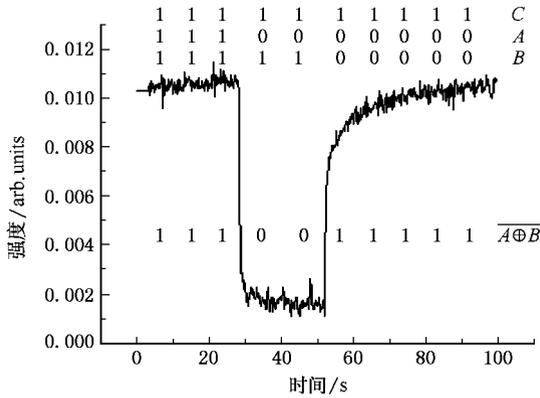


图9 光逻辑“异或非”门运算实验结果 A 和 B 为抽运光输入码元, C 代表信号光输入码元, $A \oplus B$ 为输出端的信号

5. 结 论

本文提出了基于掺偶氮苯聚合物光致异构的全光逻辑门的方案. 利用偶氮苯分子的光致异构和取向特性以及对偏振光的选择性吸收特性, 建立了全光逻辑门的理论分析模型, 设计了基于偏振状态或强度的具有“与”、“或”、“异或”和“异或非”等基本运算功能的光逻辑门. 在采用抽运探测模型的实验中, 通过适当调整抽运光的光强或者偏振状态, 获得各种信号光的输出波形. 实验结果表明, 以掺杂分散红1的聚甲基丙烯酸甲酯薄膜为样品的全光逻辑门具有消光比高等优点, 与理论分析相符合.

- [1] Hartley G S 1937 *Nature* **140** 281
- [2] Natansohn A, Rochon P 2002 *Chem. Rev.* **102** 4139
- [3] Yacoubian A, Aye T M 1993 *Appl. Opt.* **32** 3073
- [4] Luo D, She W, Lu W, Wu S, Zeng F, Tang T, Yao S 2004 *Appl. Phys. B* **78** 623
- [5] Wang X S, She W L, Lee W K 2004 *Opt. Lett.* **29** 277
- [6] Ivanova M, Llieva D, Minchev G, Petrova T, Dragostinova V, Todorov T, Nikolova L 2005 *Appl. Phys. Lett.* **86** 181902
- [7] Rao D V G L N, Aranda F J, Rao D N, Chen Z, Akkara J A, Kaplan D L, Nakashima M 1996 *Opt. Commun.* **127** 193
- [8] Feng X Q, Hou X, Yang W Z, Yang Q, Chen F 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 2803 (in Chinese) [冯笑强、侯 洵、杨文正、杨 青、陈 烽 2003 物理学报 **52** 2803]
- [9] Chen G Y, Zhang C P, Guo Z X, Wang X Y, Tian J G, Song Q W 2005 *J. Appl. Phys.* **98** 044504
- [10] Chen G Y, Zhang C P, Guo Z X, Tian J G, Zhang G Y, Song Q W 2005 *Chin. Phys.* **14** 774
- [11] Zhang X L, Dong J J, Wang Y, Huang D X 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 2066 (in Chinese) [张新亮、董建绩、王 颖、黄德修 2005 物理学报 **54** 2066]
- [12] Zhao C, Zhang X L, Dong J J, Huang D X 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 4150 (in Chinese) [赵 婵、张新亮、董建绩、黄德修 2006 物理学报 **55** 4150]
- [13] Wang Y, Zhang X L, Huang D X 2004 *Chin. Phys.* **13** 882
- [14] Delaire J A, Nakatani K 2000 *Chem. Rev.* **100** 1817
- [15] Nikolova L, Markovsky P, Tomova N, Dragostinova V, Mateva N 1988 *J. Mod. Opt.* **35** 1789
- [16] Wang X S, She W L 2005 *Phys. Rev. E* **71** 26601
- [17] Loucif-Saïbi R, Nakatani K, Delaire J A, Dumont M, Sekkat Z 1993 *Chem. Mater.* **5** 229
- [18] Wang C S, Fei H S, Yang Y Q, Wei Z Q, Qiu Y, Chen Y M 1999 *Opt. Commun.* **159** 58
- [19] Luo Y, She W, Wu S, Zeng F, Yao S 2005 *Appl. Phys. B* **80** 77
- [20] Hall K L, Rauschenbach K A 1996 *Electron. Lett.* **32** 1214
- [21] Poustie A J, Blow K J, Manning R J, Kelly A E 1999 *Opt. Commun.* **159** 208
- [22] Wu S, Yao S, She W, Luo D, Wang H 2003 *J. Mater. Sci.* **38** 401

Theoretical and experimental investigation on all-optical logic gates based on photoisomerization^{*}

Li Yan-Ming Chen Li-Xiang She Wei-Long[†]

(*The State Key Laboratory of Optoelectronic Materials and Technologies, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China*)

(Received 19 December 2006 ; revised manuscript received 31 January 2007)

Abstract

Based on the photoisomerization and photoinduced birefringence in azo-containing polymers, a theoretical model for all-optical logic gates is developed and a novel scheme of all-optical logic gates using pump-probe technique is presented theoretically and realized experimentally. The all-optical logic AND, OR, XOR and XNOR gate operations have been demonstrated experimentally based on the modulation of intensity or polarization of the pump beam and signal. The experimental results show a good performance, which are in agreement with the theoretical prediction.

Keywords : all-optical logic gates, photoisomerization, photoinduced anisotropy

PACC : 4280V, 4265, 4270J

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 10574167).

[†] Corresponding author. E-mail : shewl@mail.sysu.edu.cn