

# 光子“四端管”模型实验研究及其应用

## ——新事滤波器的模型研究\*

陈晓波 张光寅 郝昭 许京军 张春平

(南开大学物理系, 天津 300071)

樊美公 明阳福

(北京感光化学研究所, 北京 100101)

**提要** 在文献[1]的积分型光子“晶体管”的模型研究的基础上,利用螺塞喃光致色变材料进行了积分型“光子四端管”的模型实验研究,并对其应用器件之一——新事滤波器进行了详细的模型论证与研究。

**关键词** 光子“晶体管”,新事滤波器

## 1 引言

新事滤波器顾名思义就是一种能滤去静止不动的物体的象,而只有其中个别运动着的“新”的物体才会被显示出来的图象滤波显示器件。

它可应用的领域较多,例如机场或军事要地的监控,虽然被监控的环境很复杂,各种物体很多,但只要这个环境是个相对静止的,那么相对静止的物体就不会在这种“新事滤波器”上显示出来,只有其中个别被移动的物体才会显示出来,从而大大加强了要地监控的手段。

在“吸收非线性物理的新应用——积分型光子‘晶体管’的模型研究”中<sup>[1]</sup>,我们已利用光色材料的弱饱和光强参数的吸收非线性,创新地提出了积分型光子二端管、光子三端管和四端管等“光子晶体管”的研究构想,对其可能应用与性能已作了简要分析。本文利用螺塞喃光致色变材料进行了光子四端管模型的实验研究。

本文还利用积分型光子“四端管”模型,对其应用器件之一——新事滤波器进行了详细的模型论证,研究与计算。

## 2 积分型光子“四端管”的实验研究

### 2.1 变色材料与变色效应

螺塞喃光致色变材料在紫外光的照射下,其无色体的分子链发生断裂,并重新连接而转变为有色的异构体,从而发生变色效应。用 UV-365 型光谱仪实际测量该材料的吸收谱线可以发

\* 国家自然科学基金和国家教委跨世纪优秀人才计划资助项目。

收稿日期: 1995年1月3日; 收到修改稿日期: 1995年5月10日

现,在变色之前,材料只在 380 nm 附近有一个强烈的吸收峰;而用 Hg 灯照射 5 s 后,材料在 680 nm 附近又出现了一个吸收峰,这就是异构体的吸收峰,从而构成文献[1]理论分析中的变色能级|3)。

在变色之后,每隔 10 min 对异构体的吸收峰进行测量,可以看到,该吸收峰会逐渐衰减,直至消失。对这一变色体退色过程的时间进行测量就可得到能级|3)的寿命(如图 1 所示)。

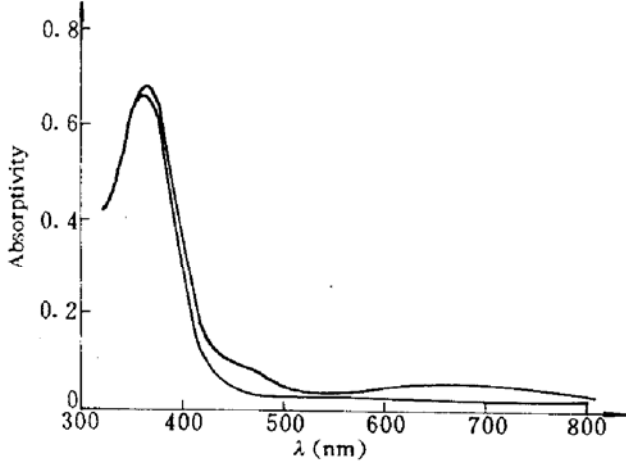


Fig. 1 The absorptivity of the photochromic material before and after being irradiated by a weak ultra-violet light

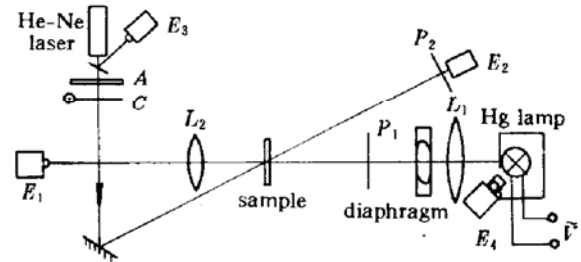


Fig. 2 The setup of the experiment

### 2.2 实验装置及实验方法

光子“四端管”的实验装置如图 2 所示。其中 A 是透过率从 0.003 变化到 92% 的光衰减器, C 是挡板, M 是反射镜, E<sub>1</sub> ~ E<sub>4</sub> 均为光探头,其中 E<sub>1</sub>, E<sub>4</sub> 是全谱段热释电光探测器, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> 是硅光探测器, L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> 均为石英玻璃透镜, P<sub>1</sub> 是 ZB3 滤波片,它透过 300~480 nm 的光,而 P<sub>2</sub> 是 CB580 滤波片,可滤掉波长大于 580 nm 的光,这是为了防止汞灯散射光的影响。

由文献[1]分析可知,汞灯发出的光经滤波片 P<sub>1</sub> 就构成了理论中的 I<sub>1</sub> 光; He-Ne 激光器输出的 632.8 nm 的光和材料亚稳的异构体基态吸收共振,从而构成了理论分析中的 I<sub>2</sub> 光。I<sub>1</sub> 光在强光区可由汞灯所加电压调节,在弱光区需使用光阑进行调节。由于变色过程的时间效应,在做此实验的过程中,需要每隔一定时间(2 min)测一个点,故用挡板 C 对此进行控制。

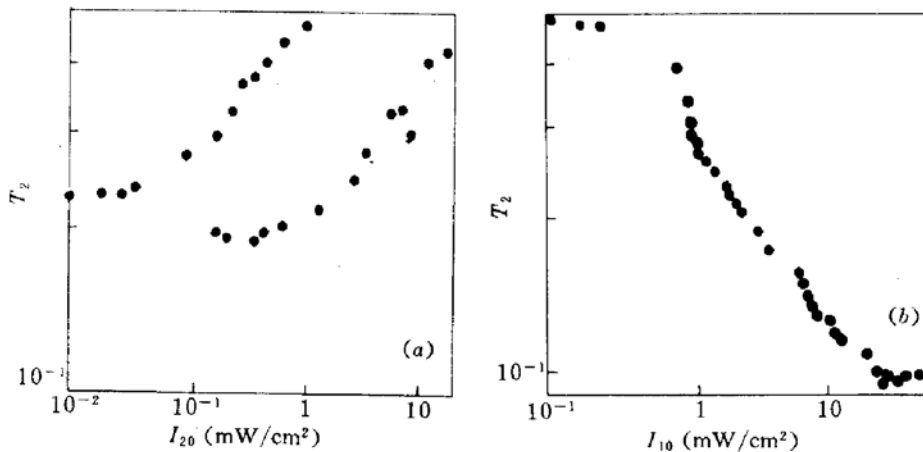


Fig. 3

(a) experimental result of the curves  $T_2 \sim I_{20}$ ;

(b) experimental result of the curves  $T_2 \sim I_{10}$

测量得到的实验结果如图 3 所示。其中,由 I<sub>10</sub>-T<sub>2</sub> 图可以看出,在 I<sub>10</sub> 极弱和极强的两个极

端条件下,  $I_2$  的透过率是分别处在平坦的高透和低透区, 在适当的  $I_{10}$  的变化范围内,  $I_2$  迅速从高透变为低透而显现出急剧的反饱和吸收非线性。它与文献[1]理论模型研究所分析的负阻光子三端管完全吻合。

另外, 由  $I_2$ - $T_2$  图可以看出, 在  $I_2$  极弱和极强的两个极端条件下,  $T_2$  是分别处在平坦的低透和高透区, 在适当的  $I_2$  变化范围内,  $T_2$  迅速从低透变为高透, 而  $I_1$  则能有效地调整, 控制  $I_2$  出现这种吸收非线性的区域。这与文献[1]理论模型研究中的可控光子二端管完全吻合。

总之, 上述实验结果与文献[1]的理论模型研究的结论完全吻合。完全可以相信, 只要选取合适的变色材料, 使之具有模型所要求的变色特性, 则模型研究所得到的光子晶体管的性质很易实现。要说明的是, 细菌视红紫质材料是一种完全满足光子晶体管模型所要求的变色材料的各项性能指标的变色材料, 这也是我们进一步所要开展的工作。

### 3 新事滤波器原理

由文献[1]可知, 利用光色材料的吸收非线性构造的积分型光子“晶体管”模型, 可以构造系列并行运行吸收非线性光子学器件模型。其中对于图 4 所示的光子四端管模型,  $\nu_1$  频率的光是导致光致变色的,  $\nu_2$  频率的光是导致光致退色的,  $T_1$ - $I_{10}$  构成一种自反馈光子二端管, 而  $I_{20}$  能有效地影响或调整它的性能, 其计算结果示于图 5。在此基础上可以构造新事滤波器。

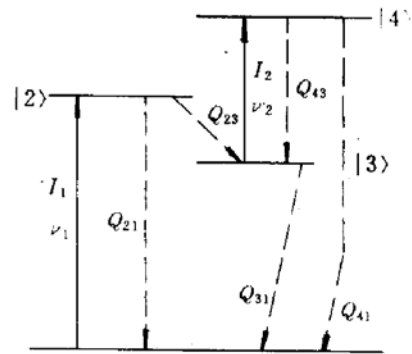


Fig. 4 The illustration of the energy structure of a photonic tetrode

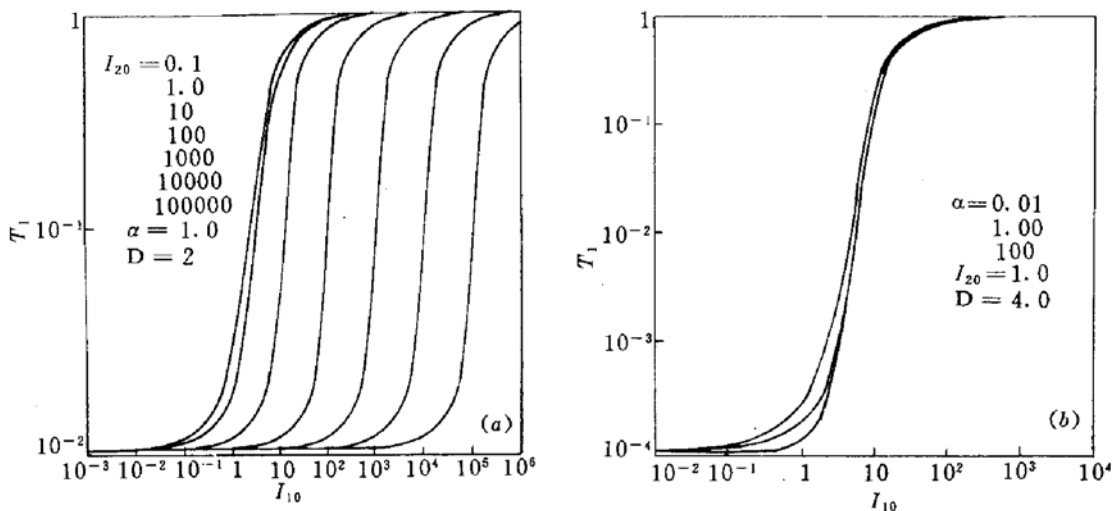


Fig. 5 The theoretical curves of a self-feedback photonic “diode”

对于图 6 所示的光学系统, 位于物面上的相对静态环境系统由  $L_1$  透镜成像在第一象面上(象是倒立的), 再经  $L_2$  透镜成像在第二象面上(象是正立的)。而一合适的光学簿的光色材料是放置在第一象面上的。

若分别交替用  $\nu_1, \nu_2$  这两种频率的光照明物面, 则在只有  $\nu_1$  照明期间, 由于其光致变色的作用, 自然会在第一象面上的光色材料上留下颜色为  $\lambda_2$  的象,  $\lambda_2$  的象的强弱是与物面上静态环境物体的亮暗对应的; 而穿透过第一象面的  $\nu_1$  频率的光在第二象面上所成的象则由于在第一

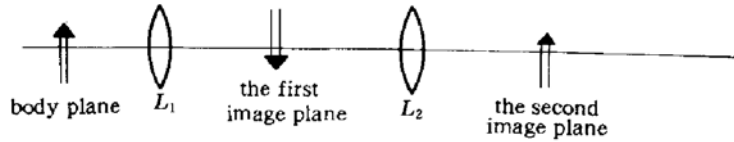


Fig. 6 The illustration of the optical system of a novel filter

象面上对  $\nu_1$  而言的光子二端管的吸收非线性而表现为亮处更亮、暗处更暗的反差更大的图象。

此时,假如再用  $\nu_2$  频率的光来照明这相对不变的静态环境,并假设该环境对  $\nu_1$ ,  $\nu_2$  的反射率之比是一样的,即对  $\nu_1$  而言亮的物体对  $\nu_2$  也是亮的。

如果再由一光学系统把  $\nu_2$  频率的光也成象在  $\nu_1$  的第一象面上,并且使  $\nu_2$  的象与原来  $\nu_1$  的象严格对准。由于  $\nu_1$  越亮处  $\nu_2$  也是越亮的,  $\nu_2$  的退色作用也就越强。因而我们可以得到结论,由于  $\nu_2$  的光致退色作用,  $\nu_1$  光在光色材料上留下的象被均匀地减弱了。穿透过光色材料的  $\nu_1$  光在第二象面上所成的象的反差也就减小了。

如果保持  $\nu_1$  的照明强度不变,而增大  $\nu_2$  的照明强度,使  $\nu_2$  的退色作用增强,就有可能完全把  $\nu_1$  在第一象面上留下的  $\lambda_2$  颜色的象退色掉而成为一均匀的本底(线性的),此时,在第二象面上  $\nu_1$  的象的反差与物面上静态环境是完全一样的。

其物理图象是  $\nu_2$  光把布居迅速从变色态基态  $|3\rangle$  褪激发至稳定态基态  $|1\rangle$ ,使得光色材料此刻表现为完全没有非线性作用的一个线性系统。

假如继续增大  $\nu_2$  光的照明强度,即  $\nu_2$  在退色作用继续增强,此时,光色材料的吸收非线性又表现出来了,而且是表现为对  $\nu_1$  的亮处  $\nu_2$  的退色作用更强,使得光色材料对亮处  $\nu_1$  的吸收比暗处要更强,这样就使得在第二象面上  $\nu_1$  所成的象的反差比原物面上静态环境系统物体亮度的反差更小。甚至有可能第二象面上  $\nu_1$  所成的象的反差减小到相当小的程度,使之表现为一均匀强度的本底背景。

即照在光色材料上的  $\nu_1$  光的图象无论原来强弱有何不同,穿透光色材料后,象面上各点处  $\nu_1$  光的强度是相同的。自然在第二象面上,  $\nu_1$  光的象完全是一均匀光强的本底。

在此基础上,进一步要构成“新事滤波器”,则只需让  $\nu_1$ ,  $\nu_2$  两束光交替照明即可,其交替照明的周期  $T$  需比亚稳的光色材料异构体的基态  $|3\rangle$  的寿命  $\tau$  小即可。

这样,静物是对应均匀背景,而对“运动”的物体,则  $\nu_1$  和  $\nu_2$  分别照明时,它对应的位置是不一样的,因而  $\nu_2$  无法把  $\nu_1$  的光强拉成均匀的本底。即在  $\nu_1$  照到而  $\nu_2$  未照到的位置,则  $\nu_1$  有较高的透射,则这个位置上第二象面会呈现出一个更亮的(比背景更亮的)该物体的图象。而在  $\nu_2$  照到、 $\nu_1$  未照到的位置,则  $\nu_1$  在此处有更低的透射,即这个位置上第二个象面会呈现出一个更暗的(比背景更暗的)该物体的图象。

这种非同时的非线性相关器件是吸收非线性物理的独到之处。

## 4 计算结果

由光子四端管中的自反馈光子二端管模型可以构造这种新事滤波器器件。

其关键在于改变  $I_1(0)$ , 能使  $I_1(T)$  保持着相同的强度所需的  $I_2(0)$  是与  $I_1(0)$  线性相关的(即成线性关系)。

经过反复研究,我们选择  $D = 4$ ,  $\alpha = 0.1$  和  $\alpha = 1$ ,作了  $I_1(0)-I_1(T)$  随  $I_2(0)$  变化的曲线,如图 7 所示。图 7 上还作了  $I_1(0) = 10$  的直线,可以看出适当选择  $I_1(0)$ ,  $I_2(0)$  和  $I_1(T)$  的变化范围,基本存在着使  $I_1(T)$  保持不变的、 $I_1(0)-I_2(0)$  关系曲线为线性相关的情况。

仔细计算了  $I_1(T) = 10$  的情况下的几个  $I_1(0)$ ,  $I_2(0)$ ,  $I_1(0)/I_2(0)$  的点,结果列于表 1。可以看出,对  $\alpha = 0.1$  时,在  $I_1(0) = 10 \rightarrow 10^5$  的四个数量级的变化范围内, $I_1(0)/I_2(0)$  基本是相同的,即  $I_1(0)-I_2(0)$  为线性相关的,说明在这个条件下,新事滤波器是能很好成立的。

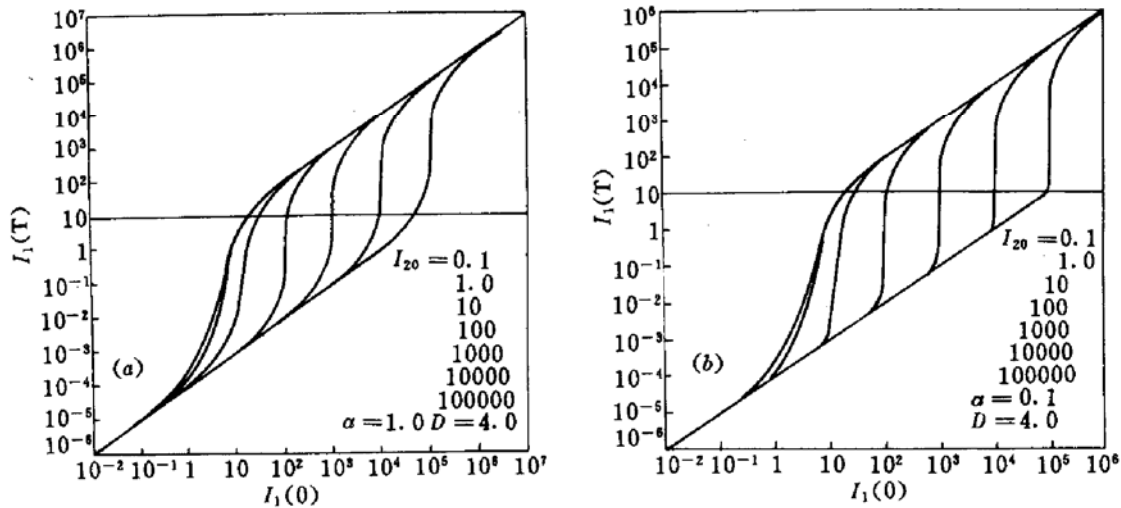


Fig. 7 The calculation curves of the novel filter

Table 1 The calculated properties of the novel filter

$\alpha = 1.0$			$\alpha = 0.1$		
$I_{10}$	$I_{20}$	$I_{10}/I_{20}$	$I_{10}$	$I_{20}$	$I_{10}/I_{20}$
28.15	10	2.815	28.15	10	2.815
116.48	$10^2$	1.1648	116.63	$10^2$	1.166
1002.6	$10^3$	1.0026	1010.7	$10^3$	1.011
9059.0	$10^4$	0.9059	10007.9	$10^4$	1.001
50004.3	$10^5$	0.5000	83123.0	$10^5$	0.831

由图 7 和表 1 可以看出很重要的两个参量的物理意义,第一是光密度  $D$ ,它既决定了透过率非线性变化的范围,也决定了  $I_1(0)-I_2(0)$  线性相关的范围;第二, $\alpha$  可以对  $I_1(0)-I_2(0)$  对线性相关的偏离作出微调,使之能有效地适应实际情况中物面上静态环境对  $\nu_1$ ,  $\nu_2$  两频率光的反射率的差别所带来的影响。

需要说明的是  $I_1(0)$ ,  $I_2(0)$  是经过  $L_1$  后即将穿入光色材料时的光强,它们是很易控制的。另外,还需要特别指出的是,这类利用光色材料的吸收非线性构造的光子学非线性器件的成本很低,适于大规模应用。

### 参 考 文 献

- 1 陈晓波,张光寅等. 吸收非线性物理的新应用——积分型光子“晶体管”的模型研究. 中国激光, 1995, A22(11):865

Experimental Investigation of an Integrating Photonic "Quadrode"  
Model and an Applied Device  
——New-Things-Filter

Chen Xiaobo Zhang Guangyin Hao Zhao Xu Jingjun Zhang Chunpin  
(Department of Physics, Nankai University, Tianjin 300071)

**Abstract** Based on the models of the integrating photonic "transistor", a model of new things filter—one kind of the application device of the integraing photonic "transistor" is researched and analyzed.

**Key words** new things filter, photonic "transistor"

\*\*\*\*\*

广 告

力科光电有限公司向您致谢

力科公司自 1992 年创办以来,受到光学界的关怀而不断发展,为答谢广大客户,力科公司将以最好的品质和服务,为国内外用户效劳。

- 1 非线性晶体: KTP, DKDP, KDP, LI, LBO, BBO;
- 2 激光晶体: Nd: YAG, Cr: Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, Ti: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;
- 3 光学材料: CaF<sub>2</sub>, BaF<sub>2</sub>, MgF<sub>2</sub> 等。
- 4 二维光学调整架,晶体抛光,镀膜服务

力科光电有限公司  
济南七里河路 32 号

电 话: 0531-8931365  
传 真: 0531-8940794  
6960227

联系人: 祁建平

邮 码: 250100