

文章编号:1002-2082(2001)02-0046-04

细菌视紫红质光开关特性实验研究

田燕宁¹,冯晓强²,陈峰³,侯洵^{2,3}

(1. 西安交通大学电信学院,陕西 西安 710049;2. 西北大学光子学与光子技术研究所,陕西 西安 710069;3. 中国科学院西安光学精密机械研究所,陕西 西安 710068)

摘 要:介绍实现光子开关材料 BR 分子的重要性。理论上分析 BR 分子材料光学特性,实验观测 BR 分子材料在 400nm 和 632nm 光照射下的相互抑制作用,最后分析 BR 的光子开关特性。
关键词:光子开关;相互抑制;光异构化;光循环;非线性吸收特性
中图分类号:TN74-34 **文献标识码:**A

引言

细菌视紫红质是一种重要的光敏蛋白生物光色材料,简称 BR 或菌紫质,存在于嗜盐菌的细胞膜上,具有光驱动质子泵功能。BR 所具备的光致变色、非线性光学变换、直视图显示、高速光电响应、双稳态、开关存储等特性,在光学信息存储与处理、快速光电探测、人工神经网络等方面具有潜在的应用前景^[1-3]。

在特定波长光照射下,处于基态的 BR 分子发生一系列相应的分子结构变化,即光异构化过程,形成一定的光循环。在光循环过程中,其中间产物的各吸收波长相对于初态发生一定的频移。光循环如图 1 所示,图中标出各中间态对应的吸收峰值和时间常数。对于光子开关而言,是利用 BR 分子在 570nm、412nm 光作用下,其基态 B 态和 M 态对此两束光造成的非线性吸收特性来实现的。由于 BR 分子光异构化过程非常快,达到 ps 量级(B 态与 K 态之间),且以分子作为逻辑门理论最小工作单元,因而有望使光子开关的速度及集成度得到

更进一步的提高。

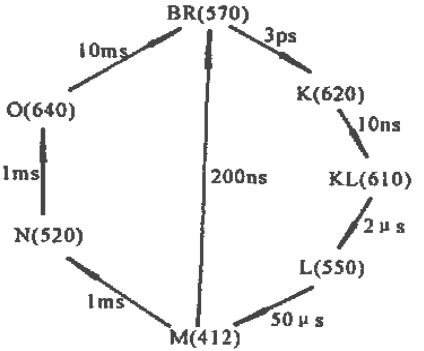


图 1 BR 分子光循环

1 理论分析^[3-5]

对于 BR 分子来说,M 态的寿命最长。文中将光循环简化为两个最重要的态:基态 B 和最稳中间态 M 之间的转换,其吸收峰波长分别为 570nm 和 412nm(B 态与 M 态的吸收谱如图 2 所示)。在波长为 570nm 黄光的照射下,处于基态 B 的 BR 分子吸收其光子,跃迁到一中间态,经过热弛豫到 M 态,使得大部分分子处

收稿日期:2000-05-24

基金项目:①国家攀登计划“九五”预选项目(95-预-20);②国家自然科学基金项目(No.69907006)

作者简介:田燕宁(1974-),女,陕西富平人,西安交通大学电信学院博士,主要从事 BR 材料高密度光学存储方面研究工作。
中国知网 <https://www.cnki.net>

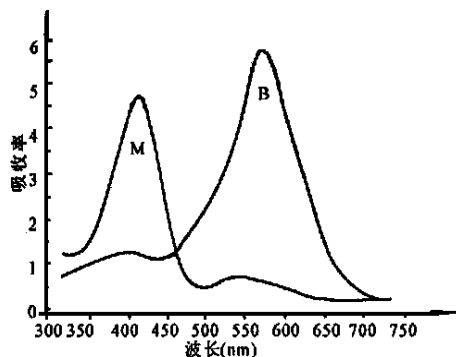
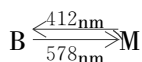


图2 基态B和M态的吸收谱

于中间态M态。在波长为412nm紫光照射下,处于M态的分子又吸收其光子,并跃迁到更高的激发态,且很快返回到B态。这一转换过程可表示为



在波长为 λ 、强度为 I_i 的几束光照射下,B态浓度随时间的变化由下式描述:

$$\frac{dB}{dt} = \frac{M}{\tau} + \sum_i K_{M \rightarrow B}(\lambda_i) M - K_{B \rightarrow M}(\lambda) B \quad (1)$$

B 和 M 分别是处于基态B和中间态M的BR分子浓度, τ 是M态寿命时间常数, $K_{B \rightarrow M}(\lambda)$ 和 $K_{M \rightarrow B}(\lambda)$ 分别是正向和逆向光反应的速率常数,分别由下式给出:

$$K_{B \rightarrow M}(\lambda) = 2.3026 \frac{\Phi_{B \rightarrow M} \epsilon_{B \rightarrow M}(\lambda) N_A \lambda}{N_A h c}$$

$$K_{M \rightarrow B}(\lambda) = 2.3026 \frac{\Phi_{M \rightarrow B} \epsilon_{M \rightarrow B}(\lambda) N_A \lambda}{N_A h c}$$

$\Phi_{B \rightarrow M}$ 和 $\Phi_{M \rightarrow B}$ 分别是由基态B到M态、M态到B态的量子效率; $\epsilon_{B \rightarrow M}$ 和 $\epsilon_{M \rightarrow B}$ 是波长为 λ 的光引起的正向和逆向反应的摩尔消光系数。

当细菌视紫红质在这几束光同时作用下达到稳定时,则 $dB/dt = 0, N = B + M$ 。由(1)式可得:

$$B = N \left(\frac{1}{\tau} + \sum_i K_{M \rightarrow B}(\lambda_i) \right) / \left\{ \frac{1}{\tau} + \sum_i K_{B \rightarrow M}(\lambda_i) + K_{M \rightarrow B}(\lambda) \right\} \quad (2)$$

由比尔-朗珀定律得:

$$dI_\lambda/dz = -\alpha_\lambda I_\lambda \quad (3)$$

其中 z 为膜厚方向, $\alpha = -2.3026[\epsilon_{B \rightarrow M}(\lambda) B + \epsilon_{M \rightarrow B}(\lambda) M]$ 。

2 实验

简单光路如图3所示。在实验中, λ 是参考读出光,由卤钨灯和干涉滤波片获得,波长为525nm。 λ 是钛宝石激光器输出光的倍频激光,波长是400nm。 λ 是He-Ne激光,波长为632nm。 λ 激发BR分子使之发生光异构化,由

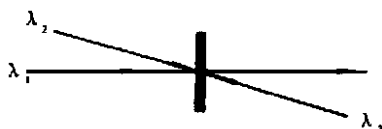


图3 简单光路图

B态变为M态。 λ 激发BR膜分子使之由M态变为B态。本实验中, λ 、 λ 的光强度远大于 λ 的光强度,所以, λ 对BR膜分子中B态和M态的浓度影响忽略不计, λ 、 λ 的强度有所改变,则膜分子中B态和M态的浓度随之而变。因而,通过改变 λ 、 λ 的强度,即可达到改变BR膜分子处于B态和M态的浓度。由于B态和M态浓度发生一定的改变,所以可通过BR膜来调控波长为 λ 光的透射光强度。即通过改变入射到BR膜上的 λ 、 λ 的光强度,在两束光的相互作用下,使得BR膜对 λ 光的透射特性发生某一改变,随之, λ 的透过光强度亦有一定改变。

3 实验结果与分析

下面对不同光束作用下得到的实验数据进行分析与处理。

在对下述图的分析中,均将其按一般的光开关分为A、B和C三个区域,B区域为开关工作区域。若 I_λ 是 λ 波长光的光强, I_{λ_0} 和 I_{λ_1} 分别是波长为 λ 光波照射到BR膜上的入射和出射光强。 $I_{0k低}$ 和 $I_{0k高}$ 分别为图K($K = 4 - 7$)情况下的阈值,且在分析过程中,以 $I_{\lambda_0} = 13\text{nW}$ 为准。对应于此阈值入射开关控制光亦存在两个阈值 $I_{i0低}$ 和 $I_{i0高}$, i 表示波长为 λ 的入射光强。当 $I_{i1} < I_{0k低}$ 时,输出为0,开关闭合;

$I_{11} > I_{0k\text{高}}$ 时, 输出为 1, 开关打开。

1) 以 525nm 黄绿光作为参考读出光, 400nm 紫光作为输入信息, 实验测定的数据如图 4 所示。由图可知, 透射光功率随入射紫光功率、入射参考光功率变化。

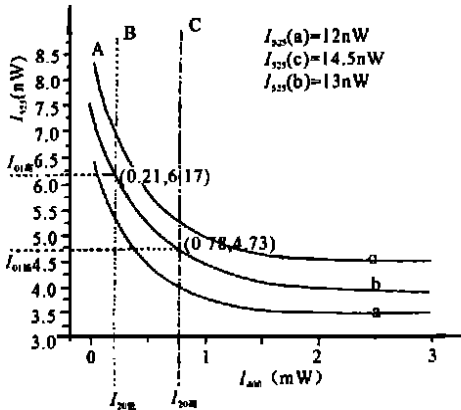


图 4 光开关的曲线分析图

对图 4 所示的曲线进行开关分析: $I_{\lambda_0} = 0$ 时, 取一合适的 $I_{20\text{高}}$ 和 $I_{20\text{低}}$, 对某一参考光存在着相应的 $I_{01\text{低}}$ 和 $I_{01\text{高}}$; 当 $I_{\lambda_0} > I_{20\text{高}}$ 时, $I_{\lambda_1} < I_{01\text{低}}$, 输出为 0, 开关闭合; 当 $I_{\lambda_0} < I_{20\text{低}}$ 时, $I_{\lambda_1} > I_{01\text{高}}$ 时, 输出为 1, 开关打开。以 λ 作为控制光的输入, 则可以实现光子开关转换。

2) 以 525nm 黄绿光作为参考读出光、632nm He-Ne 光作为输入信息作用于 BR 膜, 实验测定的数据如图 5 所示。该曲线为随入射 He-Ne 光功率、入射参考光功率变化时的透射光功率变化曲线图。

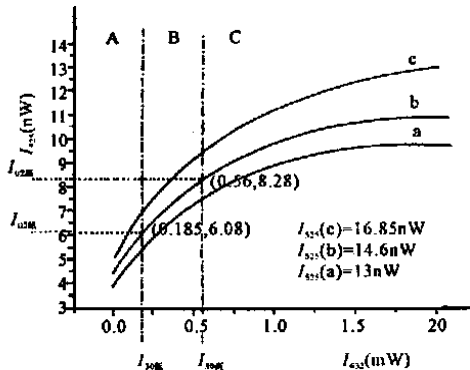


图 5 光开关的曲线分析图

对图 5 所示的曲线进行开关分析: I_{λ_0} 为

定值, 取一合适的 $I_{30\text{低}}$ 和 $I_{30\text{高}}$, 对于某一定值 I_{λ_0} , 存在对应的 $I_{02\text{低}}$ 和 $I_{02\text{高}}$ 。当 $I_{\lambda_0} < I_{30\text{低}}$ 时, $I_{\lambda_1} < I_{02\text{低}}$, 输出为 0, 开关闭合; 当 $I_{\lambda_0} > I_{30\text{高}}$ 时, $I_{\lambda_1} > I_{02\text{高}}$, 输出为 1, 开关打开。以 λ 作为开关输入控制光, 则可实现开关转换。

3) 以 525nm 黄绿光作为参考读出光、400nm 紫光和 632nm He-Ne 光同时作为信息输入作用于 BR 膜, 实验测定的数据如图 6 和图 7 所示。它们为入射 He-Ne 光功率、紫光功率变化时的透射光功率变化曲线图。

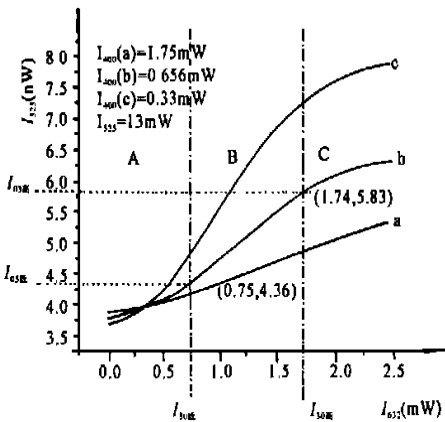


图 6 光开关的曲线分析图

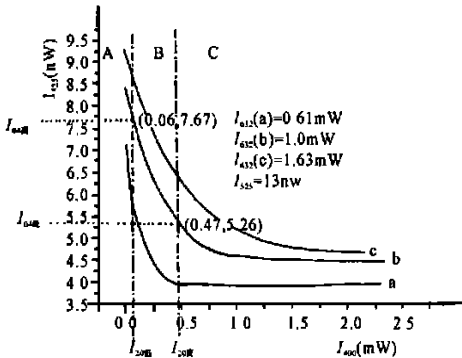


图 7 光开关的曲线分析图

对图 6、图 7 所示的曲线进行如图 4、图 5 的开关分析, 对图 6 所示的情况下可以 λ 作为控制光的输入, 实现光子开关转换。对图 7 所示的情况, 可以 λ 作为开关输入控制光, 则可实现开关效应, 即 400nm 光与 632nm 光同时作用于菌紫质上, 两束光均可作为开关控制光。

从实验数据分析可得：

光 强 对应图	I_{λ_0} (nW)	I_{λ_0} (nW)		I_{λ_0} (nW)		I_{λ_k} (nW)	
		I_{20} 低	I_{20} 高	I_{30} 低	I_{30} 高	I_{0k} 低	I_{0k} 高
图④	13	0.21	0.78	0		4.73	6.17
图⑤	13	0		0.185	0.56	6.02	8.28
图⑥	13	0.656		0.75	1.74	4.36	5.83
图⑦	13	0.06	0.47	1.0		5.26	7.67

3 结束语

光计算机是未来计算机发展的一个十分重要的方向，而作为其必备部分的光子开关因此显得十分重要。BR 作为特殊的生物分子材料，它有多种变种，且每种变种都有一定的特性。其原初光异构化过程非常快，可在 430fs 内完成，又具有高空间分辨率(> 5000 线/mm)、高光灵敏度和高循环次数(> 10⁵ 次)。本文从实验原理上验证了利用生物分子材料 BR 的变种 D⁹⁶N 可实现光子开关。当 He⁻Ne 光或紫光或二者同时照到 BR 膜上时，随着入射光光强的改变，引起了膜特性的改变，参考光光强也发生相应的改变。将入射光作为控制信号光，可实现光子开关。

参考文献：

[1] Robert R Berge·Nature of the primary photochemical events in rhodopsin and bacteriorhodopsin[J]·Biochemica et biophysica Acta. 1990, 1016:293-327.

[2] M Sanio, U Settele, K Anderle, and N Hamp·Optically addressed direct-view display based on bacteriorhodopsin [J]·Optics Letters, 1999, 24(6): 379-381.

[3] ZHANG Tian-hao, ZHANG Chun-ping, FU Guang-hua, ZHANG Guang-yin, LI Yu-dong, Q Wang Song·Application of Light-sensitive protein bR film to photonic logic gates[J]·红外与毫米波学报, 1999, 18(3): 177-182.

[4] LI Qun-gu, CHUN Ping-zhang, AN Fu-niu, JIA Li, GUANG Yin-zhang, YONG Mei-wang, MING Yong-tong, JI Lun-pan·Bacteriorhodopsin based photonic logic gate and its applications to grey level image subtraction [J]·Optics communications, 1996, 131: 25-30.

[5] D V G L N Rao, F J Aranda, D Narayana Rao, Z Chen, J A Akkara, D L Kaplan, M Nakashima·All-optical logic gates with bacteriorhodopsin films [J]·Optics Communications, 1996, 127:193-199.

PHOTONIC SWITCHES BASED ON BACTERIORHODOPSIN

TIAN Yan-ning¹, FENG Xiao-qiang², CHEN Feng³, HOU Xun^{2,3}

(1·Xian Jiaotong University, Xian 710049, China; 2·Northwest University, Xian 710069;

3·Xian Institute of Optics & Precision Mechanics, Academic Sinica, Xian 710068, China)

Abstract:The importance of BR which is used in achieving photonic switches is summarized simply·The principle and ways how to realized photonic switches based on BR are analyzed in detail·Under illuminatiing by two beams at 568nm and 412nm, the transmission of two beams is modulated by BR in a complementary fashion·Then, this paper shows the experiments of photonic switches·The datas from experiments are analyzed finally·
Keywords:bacteriorhodopsin; photonic switch; mutual-controlling; photoisomer; nonlinear absorption; photocycle