

# 细菌视紫红质膜非线性吸收特性 及其光子学应用\*

李玉栋 孙 骞 张春平 富光华 鲁 锐 张光寅  
(南开大学物理系, 天津 300071)

Q. Wang Song R. R. Birge

(W. M. Keck Center for Molecular Electronics, Syracuse University, Syracuse, NY 13244, USA)

**摘 要** 对细菌视紫红质膜在两束非同频光照射下的非线性吸收特性进行了详细的理论分析, 并讨论了细菌视紫红质膜非线性吸收特性在光子学方面的一些新应用。

**关键词** 细菌视紫红质, 非线性吸收, 光子学应用。

## 1 引 言

细菌视紫红质(bacteriorhodopsin, 简称bR)是一种生物光色材料,它存在于嗜盐菌的细胞膜上,是嗜盐菌紫膜中的光驱动质子泵分子。光照时,处于基态的细菌视紫红质分子吸收光子后发生异构化,经过一系列中间态,将细胞内的 $H^+$ 泵出胞外,返回初始状态,从而完成一次光循环<sup>[1]</sup>(见图1)。细菌视紫红质分子便于制备成薄膜材料即细菌视紫红质膜。细菌视紫红质膜是一种非常优良的非线性光学材料。在单频光照射下,细菌视紫红质膜表现出较强的非线性饱和吸收特性<sup>[2-4]</sup>,在两束相干光照射下,细菌视紫红质膜会形成吸收光栅<sup>[5]</sup>。目前,大部分细菌视紫红质膜的应用都是基于以上两种特性的。细菌视紫红质膜已被用于实时光学信息处理、光电转换、双稳态、光开关、光学图像识别、信息存储、光学滤波、神经网络以及分子电子器件等方面<sup>[6-10]</sup>。本文对双束非同频光照射下的细菌视紫红质膜的吸收特性进行了详细的理论分析,根据该特性本文提出并分析了细菌视紫红质膜在光子学方面的若干新的应用。

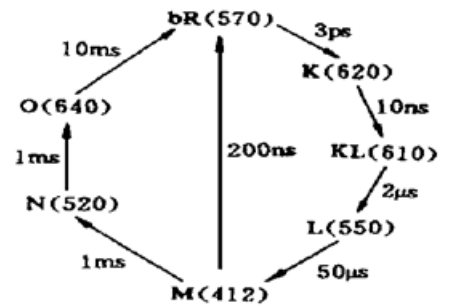


Fig. 1 Photochemical cycle of bR film

## 2 理论分析

在细菌视紫红质膜的光循环中,有两个最重要的态:基态B和最稳中间态M。它们的吸

\* 国家自然科学基金(19674030, 69477007)和天津市自然科学基金资助项目。

收稿日期:1997-11-26; 收到修改稿日期:1998-03-03

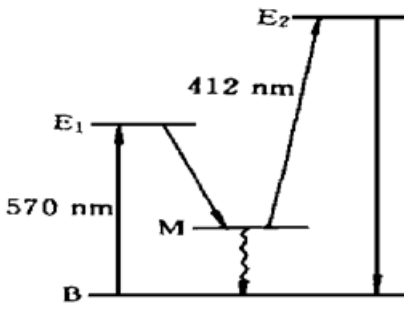
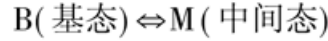


Fig. 2 Simplified energy level diagram of the bR Photocycle

收峰波长分别为 570 nm 和 412 nm, 分别位于可见光的黄光区和紫光区。可以将细菌视紫红质的光循环简化为一个两态光色系统如图 2 所示:



当黄(570 nm)、紫(412 nm)两束光同时照射细菌视紫红质膜时, B 态分子吸收黄光跃迁到 E<sub>1</sub>, 然后弛豫到 M 态; M 态分子吸收紫光跃迁到更高的激发态 E<sub>2</sub>, 并很快返回到 B 态。同时一部分 M 态分子通过热弛豫回到 B 态。这样就形成了 B 态和 M 态之间的简化的两态光循环系统。

当波长和光强分别为 λ<sub>i</sub> (i = 1, ..., n), 和 I<sub>λ<sub>i</sub></sub> 的几束光同时照射到细菌视紫红质膜上时, 每束光都可以导致正向(B → M) 和逆向(M → B) 的光反应, 但正向和逆向光反应的消光系数不同。此时描写 B 态分子浓度随时间变化的微分方程为

$$\frac{dN_B}{dt} = \frac{N_M}{\tau} + \sum_{i=1}^n (-K_{\lambda_i}^{B \rightarrow M} N_B + K_{\lambda_i}^{M \rightarrow B} N_M) \tag{1}$$

式中 N<sub>B</sub> 和 N<sub>M</sub> 分别为 B 态和 M 态的物质的量浓度, τ 为 M 态的寿命, K<sub>λ<sub>i</sub></sub><sup>B→M</sup> 和 K<sub>λ<sub>i</sub></sub><sup>M→B</sup> 为正向和逆向光反应的速率常数, 它们分别由下式给出:

$$K_{\lambda_i}^{B \rightarrow M} = 2.3026 \Phi^{B \rightarrow M} \epsilon_{\lambda_i}^{B \rightarrow M} \lambda_i I_{\lambda_i} / (N_A h c) \tag{2}$$

$$K_{\lambda_i}^{M \rightarrow B} = 2.3026 \Phi^{M \rightarrow B} \epsilon_{\lambda_i}^{M \rightarrow B} \lambda_i I_{\lambda_i} / (N_A h c) \tag{3}$$

Φ<sup>B→M</sup> 和 Φ<sup>M→B</sup> 为正向和逆向反应的量子产额, ε<sub>λ<sub>i</sub></sub><sup>B→M</sup> 和 ε<sub>λ<sub>i</sub></sub><sup>M→B</sup> 是波长为 λ<sub>i</sub> 的光引起的正向和逆向反应的摩尔消光系数, N<sub>A</sub> 为阿佛加德罗常数, h 为普朗克常数, c 为光速。

只有当 B → M 的分子数和 M → B 的分子数相等时, 细菌视紫红质才达到稳态, 此时 dN<sub>B</sub>/dt = 0, 代入方程(1) 可得稳态下 B 态的摩尔浓度:

$$N_B = N \left( \frac{1}{\tau} + \sum_{i=1}^n K_{\lambda_i}^{M \rightarrow B} \right) / \left[ \frac{1}{\tau} + \sum_{i=1}^n (K_{\lambda_i}^{B \rightarrow M} + K_{\lambda_i}^{M \rightarrow B}) \right] \tag{4}$$

根据比尔-朗伯定律, 当一束单色光照射细菌视紫红质膜时, 透射光强可写为

$$dI_{\lambda} / dz = - 2.3026 (\epsilon_{\lambda}^{B \rightarrow M} N_B + \epsilon_{\lambda}^{M \rightarrow B} N_M) I_{\lambda} \tag{5}$$

解方程组(2) ~ (5) 式, 就可以得到稳态下细菌视紫红质膜的透射特性。

当 n > 1, 即多束不同波长的单色光同时照射细菌视紫红质膜时, 方程组(2) ~ (5) 式没有解析解。通过数值方法可以定性分析细菌视紫红质膜的吸收及透射特性。为了简单起见, 可以只考虑两种单色光入射细菌视紫红质膜的情况, 它们分别是 λ<sub>1</sub> = 412 nm 的紫光和 λ<sub>2</sub> = 570 nm 的黄光, 其配置如图 3 所示。用四阶龙格-库塔法计算方程组(2) ~ (5) 式的数值解。在数值计算中(除特别指出外) 本文采用的参数分别为: ε<sub>570</sub><sup>B→M</sup> = 61000, ε<sub>570</sub><sup>M→B</sup> = 5000, ε<sub>412</sub><sup>M→B</sup> = 55000, ε<sub>412</sub><sup>B→M</sup> = 17000, τ = 7 s, Φ<sup>B→M</sup> = Φ<sup>M→B</sup> = 0.65, z = 0.02 cm。

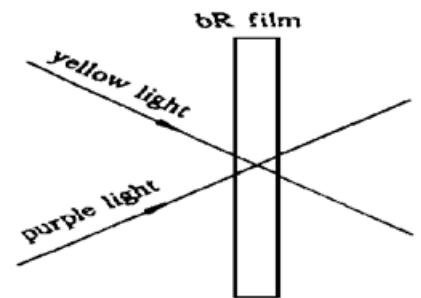


Fig. 3 Schematic illustration for photonics applications of bR film

### 3 应用分析

数值计算结果如图 4~ 图 6 所示。图 4 给出了不同光强的紫光照射下, 黄光的透射光强

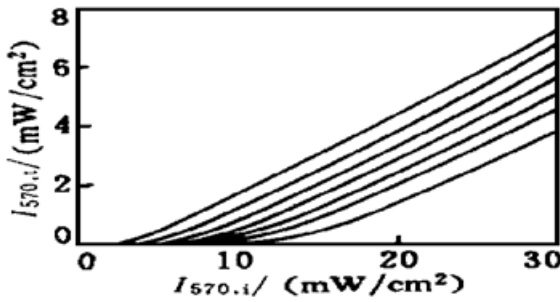


Fig. 4 Relationship between  $I_{570,t}$  and  $I_{570,i}$  for different  $I_{412,i}$  when the concentration of bR film is defined ( $N = 3.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ). For the curves from up to down,  $I_{412,i}$  are: 0, 3, 6, 9, 12, 15, and 20  $\text{mW}/\text{cm}^2$ , respectively

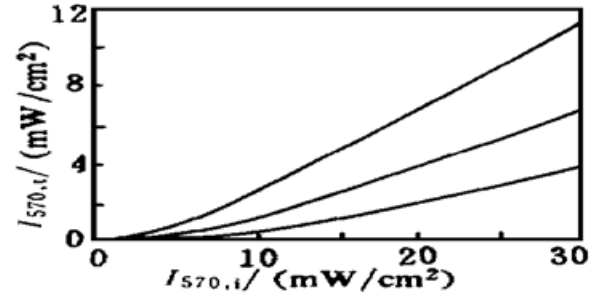


Fig. 5 Relationship between  $I_{570,t}$  and  $I_{570,i}$  for different concentration of bR film, when  $I_{412,i}$  ( $I_{412,i} = 3 \text{ mW}/\text{cm}^2$ ) is defined. For the curves from up to down, the concentrations of bR film are:  $2.0 \times 10^{-3}$ ,  $3.0 \times 10^{-3}$ , and  $4.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , respectively

( $I_{570,t}$ ) 和入射光强( $I_{570,i}$ ) 之间的关系。图 4 中由上到下各条曲线分别对应浓度为  $N = 3.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的细菌视紫红质膜在入射紫光光强为  $0 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 、 $3 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 、 $6 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 、 $9 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 、 $12 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 、 $15 \text{ mW}/\text{cm}^2$  和  $20 \text{ mW}/\text{cm}^2$  时的情况。由图可知: 在  $I_{570,i}$  较低时,  $I_{570,t}$  很弱, 只有当  $I_{570,i}$  达到某一数值后(此数值与细菌视紫红质膜参数和紫光光强有关),  $I_{570,t}$  才随  $I_{570,i}$  线性增加, 称此数值为阈值光强。为简单起见, 可以近似地把图 4 中的曲线的线性部分的延长线与横坐标的交点作为各条曲线所对应的阈值。对于一块特定的细菌视紫红质膜来说, 其阈值随入射紫光光强的增大而增大。文中还计算了光强为  $3 \text{ mW}/\text{cm}^2$  的紫光照射下, 不同物质的量浓度 ( $N$ ) 的细菌视紫红质膜中黄光透射光强和入射光强之间的关系, 结果如图 5 所示, 图中从上到下各条曲线对应  $N$  分别为  $2.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $3.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $4.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的情况。由图可见, 随细菌视紫红质膜浓度  $N$  增大, 阈值光强也随之增大。图 6 给出紫光入射光强为  $3 \text{ mW}/\text{cm}^2$  时, M 态寿命  $\tau$  不同的细菌视紫红质膜中黄光透射光强与入射光强的关系, 图中从上到下各条曲线分别对应于  $\tau = \infty$ ,  $15 \text{ s}$  和  $7 \text{ s}$ , 由图可见,  $\tau$  越大, 阈值越小, 透射曲线的非线性区越短。从图 4~ 图 6 可以看出, 当黄光和紫光同时照射细菌视紫红质膜时, 膜参数会影响细菌视紫红质膜对黄光的吸收, 同时入射紫光的光强也会影响细菌视紫红质膜对黄光的吸收。

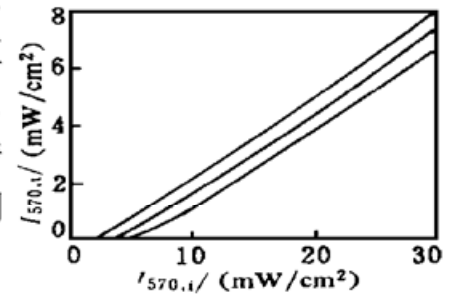


Fig. 6 Relationship between  $I_{570,t}$  and  $I_{570,i}$ , when the concentration of the bR film and  $I_{412,i}$  ( $N = 3.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  and  $I_{412,i} = 3 \text{ mW}/\text{cm}^2$ ) are defined. For the curves from up to down, M state lifetimes of bR are  $\infty$ ,  $15 \text{ s}$ , and  $7 \text{ s}$ , respectively

利用细菌视紫红质膜的非线性吸收特性可以实现“胜者全取”<sup>[11]</sup>型取阈操作。例如, 考虑细菌视紫红质膜浓度  $N = 3.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 紫光入射光强为  $3 \text{ mW}/\text{cm}^2$  时黄光的透射性质, 此情况对应于图 4 和图 5 中的上数第二条曲线。可近似地认为当  $I_{570,i} \leq 3.0 \text{ mW}/\text{cm}^2$  时, 紫光对细菌视紫红质分子的影响相对较强, 细菌视紫红质分子大部分处于 B 态, 黄光几乎全部被吸收, 故  $I_{570,t} \approx 0$ 。当  $I_{570,i} \geq 3.0 \text{ mW}/\text{cm}^2$  时, 黄光占主导地位, 细菌视紫红质分子大

部分处于 M 态。此时,  $I_{570,t}$  随  $I_{570,i}$  的增大而线性增大。细菌视紫红质膜的这种特性正是“胜者全取”操作所需要的。 $3.0 \text{ mW/cm}^2$  就是该操作对应的阈值。细菌视紫红质膜的阈值是可调的, 细菌视紫红质浓度或入射紫光光强越大, 阈值越高。利用这一取阈操作, 人们可以在光学信息处理中实现光学图像的背景滤除, 提高光学图像的质量。如果黄光载有的信息是弱信息和强的均匀背景构成的, 就很难分辨出有用的弱信号。利用细菌视紫红质膜的“胜者全取”操作, 通过适当调整入射紫光的强度, 使取阈操作的阈值刚好等于均匀背景的背景强度, 这样均匀背景的光全部被细菌视紫红质膜吸收, 而信号光可以透过细菌视紫红质膜。于是在透射黄光中就可以得到不含亮背景的信号光。

利用细菌视紫红质膜还可以实现光电取阈操作。使黄光载有信息, 作为信号光, 用被电路控制和调节的紫光作为控制光, 使信号光与控制光同时照射到细菌视紫红质膜, 由此可实现多种取阈操作, 且取阈操作的阈值是可调的。例如, 可以实现如图 7 所示的取阈操作。图 7 中所示的取阈操作是当信号光低于  $10 \text{ mW/cm}^2$  时输出很小, 当信号光达到  $10 \text{ mW/cm}^2$  时, 输出突变增大, 其后输出光强随输入光强线性增大。该取阈操作可以这样实现: 根据图 4 所示的特性曲线, 选取控制光光强为  $20 \text{ mW/cm}^2$ , 这样, 当信号光(黄光)光强小于  $10 \text{ mW/cm}^2$  时, 输出(透射)光强很小。当信号光大于  $10 \text{ mW/cm}^2$  时, 给出一个控制信号将紫光去掉, 则透射黄光光强按图 4 中最上端的曲线变化, 这样就实现了图 7 所示的取阈操作, 这种操作可用于光计算或光学信息处理中。

图 8 给出了不同光强的紫光入射细菌视紫红质膜时, 黄光(虚线)、紫光(实线)透过光强与入射黄光光强之间的关系。从上到下各条实线分别表示入射紫光光强  $I_{412,i}$  为  $15 \text{ mW/cm}^2$ 、 $12 \text{ mW/cm}^2$ 、 $9 \text{ mW/cm}^2$ 、 $6 \text{ mW/cm}^2$ 、 $3 \text{ mW/cm}^2$  时紫光透射光强随入射黄光光强  $I_{570,i}$  的变化关系。可以看出随着  $I_{570,i}$  的增加, 紫光透射光强逐渐减小, 逐渐趋于零。在  $I_{570,i}$  较小时, 紫光透射光强随  $I_{570,i}$  的变化基本是线性的。图中从上到下各条虚线分别表示紫光光强为  $3 \text{ mW/cm}^2$ 、 $6 \text{ mW/cm}^2$ 、 $9 \text{ mW/cm}^2$ 、 $12 \text{ mW/cm}^2$ 、 $15 \text{ mW/cm}^2$  时, 黄光透射光强与入射黄光光强的关系, 在  $I_{570,i}$  较大时, 这种关系基本是线性的。由图 8 还可以看出, 当  $I_{570,i}$  大于某阈值后, 可以近似认为, 对应于不同的  $I_{412,i}$ ,  $I_{570,t}$  的曲线是一组相互平行的直线。这些直线之间的距离即黄光透射光强的变化正比于它们对应的  $I_{412,i}$  的差。如果让有某种光强分布的黄光入射细菌视紫红质膜, 再让具有另一种光强分布的紫光入射细菌视紫红质膜, 此时紫光照射前后黄光透射光强的差正比于紫光的光强分布, 由此, 可以实现光学数字减法。下面对这种光学减法进行了简单的数学描述。

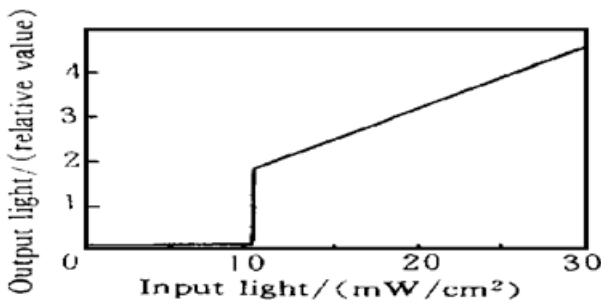


Fig. 7 One kind of the thresholding operation which can be realized using a bR film

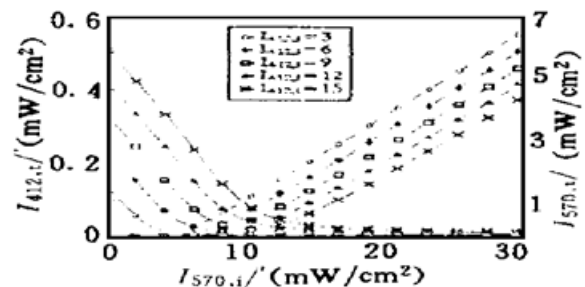


Fig. 8 Relationship between  $I_{412,t}$  and  $I_{570,t}$  with  $I_{570,i}$  for different  $I_{412,i}$

由于  $\epsilon_{570}^{M \rightarrow B} \ll \epsilon_{570}^{B \rightarrow M}$ ,  $\epsilon_{412}^{B \rightarrow M} \ll \epsilon_{412}^{M \rightarrow B}$ , 即黄光主要引起细菌视紫红质分子由 B 态到 M 态的转

化, 而紫光主要引起细菌视紫红质分子由 M 态到 B 态的转化, 可以忽略  $\epsilon_{570}^{M \rightarrow B}$  和  $\epsilon_{412}^{B \rightarrow M}$ 。取黄光下标为 y, 紫光下标为 p, 由方程组(2)~(5)可得:

$$dI_y/dz = -2.3026\epsilon_y^{B \rightarrow M}N_B I_y, \quad dI_p/dz = -2.3026\epsilon_p^{M \rightarrow B}N_M I_p, \quad N_M = N - N_B, \quad (6)$$

$$N_B = N[(C/\tau) + \epsilon_p^{M \rightarrow B}I_p\lambda_p]/[(C/\tau) + \epsilon_y^{B \rightarrow M}I_y\lambda_y + \epsilon_p^{M \rightarrow B}I_p\lambda_p],$$

其中  $C = N_Ahc/(2.3026\Phi)$ ,  $I_y|_{z=0} = I_{y,i}$ ,  $I_p|_{z=0} = I_{p,i}$

解方程组(6), 得

$$I_{y,t} - I_{y,i} = (C/\tau)/(\epsilon_p^{M \rightarrow B}\lambda_p) \ln(I_{p,t}/I_{p,i}) + (\lambda_p/\lambda_y)(I_{p,t} - I_{p,i}) \quad (7)$$

人们可以在细菌视紫红质膜的制备过程中有目的地对它进行修饰, 使 M 态寿命很长 ( $\tau \rightarrow \infty$ ), 这样(7)式可以简化为

$$I_{y,t} - I_{y,i} = (\lambda_p/\lambda_y)(I_{p,t} - I_{p,i}) \quad (8)$$

由图 8 可见, 在黄入射光较强时, 黄光处于线性透射区, 紫透射光强度趋近于零, (8)式变成(9)式的形式:

$$I_{y,t} = I_{y,i} - (\lambda_p/\lambda_y)I_{p,i} \quad (9)$$

在紫入射光较强时, 紫光处于线性透射区, 黄透射光趋近于零, 于是(8)式变为

$$I_{p,t} = I_{p,i} - (\lambda_y/\lambda_p)I_{y,i} \quad (10)$$

将黄入射光强写为:  $A\Delta I_{y,i}$ , 紫入射光强写为:  $B\Delta I_{p,i}$ , 且使  $\Delta I_{y,i}/\Delta I_{p,i} = \lambda_p/\lambda_y$ 。两束光入射细菌视紫红质膜后,

当  $A > B$  时, 由(9)式, 黄透射光强代表  $A - B$  的编码:

$$I_{y,t} = A\Delta I_{y,i} - (\lambda_p/\lambda_y)B\Delta I_{p,i} = (A - B)\Delta I_{y,i}$$

当  $A < B$  时, 由(10)式, 紫透射光强代表  $A - B$  的编码:

$$I_{p,t} = B\Delta I_{p,i} - (\lambda_y/\lambda_p)A\Delta I_{y,i} = (B - A)\Delta I_{p,i}$$

通过测量透射紫光或透射黄光, 可以得到  $A - B$ , 由此可以进行光学数字减法。

由图 8 可见, 黄光与紫光的透射是互补的。若以黄光在细菌视紫红质膜上写入正图像, 可用紫光读出其负图像。即用较弱的均匀紫光照射细菌视紫红质膜时, 透射紫光光强分布与黄光光强分布刚好相反, 这样人们可以将黄光图像转变为紫光图像。反之, 用载有图像的紫光照射细菌视紫红质膜, 若以适当光强的均匀黄光照射细菌视紫红质膜, 则可在透射的黄光光束中出现紫光图像的负图像, 即紫光图像也可转变为黄光图像。因此, 细菌视紫红质膜可以用于制作反像器。

**结 论** 本文对细菌视紫红质膜的调制透射特性进行了详细的理论分析, 结果表明当有黄、紫两束光同时照射到细菌视紫红质膜上时, 任何一束光的透射光强不但受膜参数的影响, 而且受另一束光强度的影响。应用细菌视紫红质膜的这种特性, 取一束光作为信号光, 另一束光作为调制光, 选取适当的细菌视紫红质膜参数, 利用细菌视紫红质膜可以实现“胜者全取”、光学数字相减、反像器等操作。

## 参 考 文 献

- [1] Oesterhelt D, Stoekenius W. Isolation of the cell membrane of Halobacterium Halobium and its fraction into red and purple membrane. In: Fleischer S, Packer L, ed. *Methods of Enzymology, Biomembranes Part A*, New York:

Academic Press, 1974. 667~ 678

- [2] Oesterhelt D, Brauchle C, Hampp N. Bacteriorhodopsin: a biological material for information processing. *Quart. Rev. Biophys.*, 1991, **24**(4) : 425~ 478
- [3] Werner O, Fisher B, Lewis A *et al.*. Saturable absorption wave mixing, and phase conjugation with bacteriorhodopsin. *Opt. Lett.*, 1990, **15**(20) : 1117~ 1119
- [4] Thoma R, Hampp N, Brauchle C *et al.*. Bacteriorhodopsin film as spatial light modulators for nonlinear-optical filtering. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(9) : 651~ 653
- [5] Okamoto T, Yamaguchi I, Boothroyd S A *et al.*. Novelty filter that uses a bacteriorhodopsin film. *Appl. Opt.*, 1997, **36**(2) : 508~ 511
- [6] Thoma R, Hampp N. Real-time holographic correlation of two video signals by using bacteriorhodopsin films. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(16) : 1158~ 1160
- [7] Song Q W, Zhang C, Blumer R *et al.*. Chemically enhanced bacteriorhodopsin thin-film spatial light modulator. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(16) : 1373~ 1375
- [8] Wang Feng, Liu Liren, Li Qingguo. Readout of a real-time hologram in bacteriorhodopsin film with high diffraction efficiency and intensity. *Opt. Lett.*, 1996, **21**(20) : 1697~ 1699
- [9] Birge R R. Photophysics molecular electronic applications of the rhodopsins. *Annu. Rev. Phys. Chem.*, 1990, **41** : 683~ 733
- [10] Takei H, Lewis A, Chen Z *et al.*. Implementing receptive fields with excitatory and inhibitory optoelectrical responses of bacteriorhodopsin films. *Appl. Opt.*, 1991, **30**(4) : 500~ 509
- [11] Bergeron A, Arsenault H H, Eustache E *et al.*. Optoelectronic thresholding module for winner-take-all operations in optical neural networks. *Appl. Opt.*, 1994, **33**(8) : 1463~ 1468

附录: 正向反应的速率常数的推导

$K_{\lambda}^{B \rightarrow M}$  = 每秒通过细菌视紫红质膜单位截面的光子数  $\times$  吸收截面 ( $\sigma$ )  $\times$  量子产额 ( $\Phi^{B \rightarrow M}$ )。由比尔-朗伯定律, 正向反应引起的光强变化为:  $dI_{\lambda}/dz = N_B N_A \sigma$ , 则有  $\sigma = \frac{\ln(I_{\lambda,0}/I_{\lambda})}{N_B N_A d} = \frac{2.3026 \lg(I_{\lambda,0}/I_{\lambda})}{N_B N_A d}$ , 这里  $d$  为样品厚度。由光密度:  $OD_{\lambda}^{B \rightarrow M} = \lg(I_{\lambda,0}/I_{\lambda}) = \epsilon_{\lambda}^{B \rightarrow M} N_B d$ , 所以  $\sigma = 2.3026 \epsilon_{\lambda}^{B \rightarrow M} / N_A$ 。

$$\therefore K_{\lambda}^{B \rightarrow M} = \frac{I_{\lambda}}{h \cdot c / \lambda_{\lambda}} \times \frac{2.3026 \epsilon_{\lambda}^{B \rightarrow M}}{N_A} \times \Phi^{B \rightarrow M} = \frac{2.3026 \Phi^{B \rightarrow M} \epsilon_{\lambda}^{B \rightarrow M} \lambda I_{\lambda}}{N_A h c}$$

同理可推出逆向反应的速率常数的公式: 方程(3)。

## Nonlinear Absorption Property and Its Photonics Applications of Bacteriorhodopsin Film

Li Yudong      Sun Qian      Zhang Chunping      Fu Guanghua  
Lu Rui      Zhang Guangyin

(Department of Physics, Nankai University, Tianjin 300071)

Q. Wang Song      R. R. Birge

(W. M. Keck Center for Molecular Electronics, Syracuse University, Syracuse, NY 13244, USA)

(Received 26 November 1997; revised 3 March 1998)

**Abstract** We studied theoretically the nonlinear absorption property of bR film illuminated by two beams with different wavelength. Based on the nonlinear absorption property, we showed some new photonics applications of bR film.

**Key words** bacteriorhodopsin, nonlinear absorption, photonics applications.