

文章编号: 0258-7025(2001)02-0176-03

# 菌紫质生物分子膜多波长信息读写系统的研究\*

陈 烽<sup>1</sup> 侯 洵<sup>1</sup> 李宝芳<sup>2</sup> 李兴常<sup>2</sup> 江 龙<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院西安光机所瞬态光学技术国家重点实验室 西安 710068)  
(<sup>2</sup> 中国科学院化学所分子科学中心 北京 100062)

**提要** 讨论了新型细菌视紫红质基因变种材料的光学信息读、写和擦除特性,建立了一套细菌视紫红质生物分子膜三波长的光信息读写系统。根据  $B$  到  $P$  态的光化学反应过程,利用 670 nm 红光实现信息的写入,采用 490 nm 波长光使  $P$  态复原为基态,以擦除所记录的信息,利用  $B$  和  $P$  态吸收特性的差异,选择 594 nm 波长光实现了信息的读出。

**关键词** 细菌视紫红质,光致变色,光存储

中图分类号: O 438 文献标识码: A

## Study on Multi-wavelength EDRAW System of Optical Information for Bacteriorhodopsin Molecule Film

CHEN Feng<sup>1</sup> HOU Xun<sup>1</sup> LI Bao-fang<sup>2</sup> LI Xing-chang<sup>2</sup> JIANG Long<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> State Key Laboratory of Transient Optics & Technology, Xi'an Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068;

<sup>2</sup> Center of Molecule Science, Institute of Chemistry, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

**Abstract** In this paper, the characteristics of new gene variant ( $BR_{MIB}$ ) and its behavior of the writing, reading and erasing of the information in a bacteriorhodopsin film are investigated. A system of three-wavelength EDRAW (Erase Direct Read After Write) was constructed. Optical data was written into BR film with 670 nm laser based on the  $B$  to  $P$  photochemistry reaction. Then the information was erased with 490 nm laser based on the reconversion of the photoproduct state  $P$ . The resulting data could be read out with 594 nm laser based on the differential absorption of  $B$  and  $P$  states.

**Key words** bacteriorhodopsin, photochromic, optical storage

## 1 引言

细菌视紫红质(Bacteriorhodopsin,简称菌紫质或BR)是一种存在于嗜盐菌紫膜中的光敏蛋白,是到目前为止人们研究得最多、也最为了解的蛋白质之一<sup>[1]</sup>。近年来,菌紫质在光信息存储和处理等方面显示出巨大的应用潜力,这不仅表现在自然的BR(野生BR)材料方面,同时更多地显现在各种新型的基因变种材料上<sup>[2]</sup>。目前来说,能否有效地利用基因技术来修饰材料特性是获得菌紫质技术应用成功

的关键所在。通过基因改性,可以实现BR对不同应用方面的需要,如在室温下的长寿命存储和在实时模式识别中的快速光信息处理等。本文利用新型菌紫质基因变种材料制备了具有优良光致变色特性的BR高分子聚合体薄膜,建立了一套多波长光信息读写和擦除系统,并在此系统上,实现 $B$ - $P$ 态之间的长寿命光信息存储操作。

## 2 菌紫质光致变色特性与光信息存储

某些物质能够吸收特定波长的光,从而引起分子结构变化,而产生材料颜色的可逆变化的现象被称为光致变色现象。如图1所示:

\* 国家“九五”攀登计划预选项目(攀登计划95-预-20),国家自然科学基金(69907006)资助项目。

收稿日期:1999-07-26;收到修改稿日期:1999-09-24

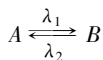


图 1 光致变色机理

Fig.1 Principle of Photochromatism

$A$ 、 $B$  是两种不同分子构型的同一物质,它们具有不同的光吸收特性,在不同波长光的刺激下,它们可以发生可逆的转化。作为光致变色材料,其主要应用是作为光信息存储介质,与传统的基于光化学反应的感光材料(如无机银盐、重氮感光剂等)相比,最大的优点就在于可多次重复使用。

菌紫质作为一种生物分子的光致变色材料,其光致变色主要是利用其光循环中基态与其中某些中间态之间的相互转换来实现。BR 的光存储机理是利用其光致变色特性,将信息以不同分子态加以存储,如把  $B$  态作为 0 存储,而把光致变色中另外一个中间态作为 1 存储,并以不同波长的光进行信息的擦写和读取。

至今研究最为广泛的是 BR 分子的基态( $B$  态)与中间态( $M$  态)之间的光致变色,它在实时信息存储和处理等领域已有许多应用成果。原因是  $M$  态是自然条件下 BR 的光循环中间态中寿命最长的一个,且两态的吸收峰值差异较大(160 nm),易于操作。但野生 BR 材料的  $M$  态寿命也仅仅为数毫秒,这大大制约了它在许多重要领域中的应用前景,特别是在长寿命光信息存储这一有着重要应用前景的领域。近年来,随着生物基因工程的迅速发展,人们可以通过基因改性的方法改变菌紫质光循环过程中的一些关键步骤,从而改变菌紫质某些重要的光化学特性,包括获得新的稳态分子结构和改变中间态的吸收特性。Hampp 等在近期研究中发现 BR 光循环中存在新的分支和长寿命 9-*cis* 分支结构,这一分支态在常温下的稳定性可能保持在 10 年以上<sup>[3]</sup>。这一发现对菌紫质在光存储中的应用研究具有重要的意义。

### 3 材料与方法

实验材料采用目前新型的 BR 基因变种 M1B,通过与高分子聚合体混合,制备成光学性能优良的高分子聚合体薄膜(Polymer film)。制备的薄膜尺寸为直径 25 mm,厚度约为 30  $\mu\text{m}$  570 nm 处的光密度为 2.2,膜层基底为 2 mm 厚的光学玻璃。

BR 分子的  $B$  态(基态)与新的分支态  $P$  态之间可以形成稳定的光致变色, $B$  态与  $P$  态的光致变色

可由图 2 表示。在红光(640 nm 波长附近)的照射下,BR 分子可被激发到  $P$  态(代表 1), $P$  态的吸收峰在 490 nm 左右, $P$  态在 490 nm 光的照射下将返回 BR 态(代表 0)。使用上述两种波长的光可实现信息的写入(640 nm)和擦除(490 nm)。由于 BR 分子不同态之间的光吸收带存在一定的重叠,这对写入信息的读出带来了较大困难。既需要读出光能够可靠地提取记录的信息,同时又要避免对写入信息的改变,即无破坏式的读出。

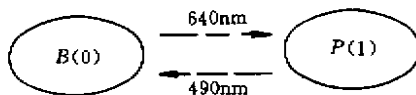
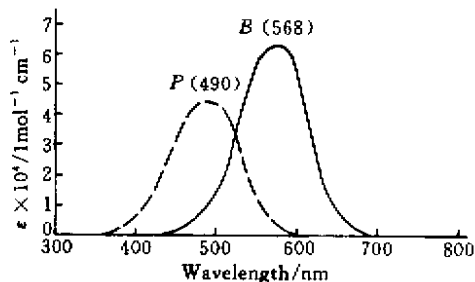
图 2 BR 分子的  $B$  态与  $P$  态之间的光致变色Fig.2 Photochromic properties of  $B$  and  $P$  states of Bacteriorhodopsin图 3 BR 分子  $B$  态和  $P$  态的吸收光谱曲线Fig.3 Absorption spectrum of  $B$  and  $P$  states

图 3 为 BR 分子  $B$  态和  $P$  态的吸收光谱曲线。可以看出  $P$  态的吸收带宽为 450 ~ 550 nm,需要尽量采用远离菌紫质  $P$  态吸收峰值波长的光作为读出光,以避免写入信息被损伤,从而导致多次读出操作后的信息的丢失;同时读出光还需要满足通过不同 BR 分子态( $B$  态和  $P$  态)后足够的信噪比,以准确地反应记录信息。BR 态的吸收峰在 570 nm 左右(随材料的物理、化学环境等因素的差别可能稍有变化),吸收带宽在 540 ~ 610 nm 附近。在此波长范围内的光将被  $B$  态分子吸收,通过的光能量将被减弱,处于  $P$  态的 BR 分子如不吸收这一入射光,通过后的光强度将基本不变,这一差异将被后面的探测系统所甄别。因此,需要采用  $P$  态分子吸收带外和  $B$  态分子转化吸收带内波长的光作为读出光。而由于  $B$  态向  $P$  态转化的量子效率远低于  $P$  态向  $B$  态转化的量子效率<sup>[4]</sup>,因此远离  $P$  态吸收峰值且在  $B$  态吸收带之内波长的微弱读出光将由于达不到  $P$  态的激发

阈值而无法将 B 态分子激发到 P 态,同时又不会将 P 态分子激发回到 B 态。同时考虑读出信号的对比,我们选择了 594 nm 附近波长作为读出光,满足信息读取操作的需要。

### 4 光信息的读/写/擦除系统

BR 的光信息读、写和擦除系统如图 4 所示,包括了写入、读出和擦除三部分:写入部分由光源、光学滤波、扩束与准直、成像光学系统及 CCD 实时监测系统组成。光源是美国 PRELIMINARY 公司的 SDL-07470-P5 型 LD 抽运的光纤耦合二极管激光器,其输出波长为 670 nm,400 μm 的光纤传光束;光学滤波主要用来改善写入光的均匀性;CCD 监测系统用于成像光路的精密调校,包括一个 CCD 器件和一个显示器。由 LD 激光器输出的激光束经过滤波、扩束和准直以后,通过携带有待记录信息的透明片或空间光调制器,经过成像光学系统成像在 BR 薄膜上,利用其光致变色原理将信息记录在 BR 膜上。BR 膜后面的成像系统可以将成像情况放大后,由 CCD 实时监测系统转化为视频信号,以便于对记录系统进行精细调整。

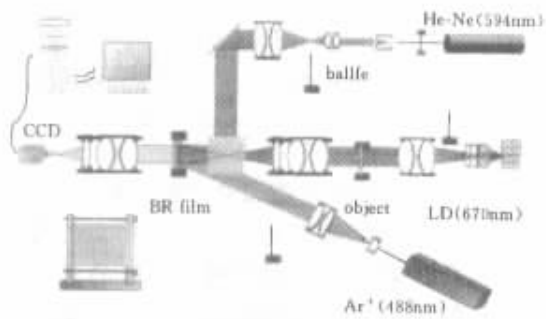


图 4 光信息读、写和擦除系统

Fig.4 Schematic of the setup for E-DRAW of BR film

擦除部分较为简单,由氩离子激光器和扩束、准直镜构成。氩离子激光经过扩束准直后,可直接对准 BR 膜的待擦除区域实施信息的擦除工作。氩离子激光器是美国光谱物理公司的 Beamlok2085-15 激光器,采用其输出的 488 nm 单线激光。

读出部分由黄光 He-Ne 激光器(波长 594 nm),成像光学系统、图像读出系统组成。图像读出系统由台湾敏通公司的 1288-1CCD 器件和 HJ5200 图像采集卡构成,可直接将读取信息通过图像采集卡转换为计算机图形文件。图中挡板在执行一种操作时,另外两路挡板插入。

信息的读出过程为:经过准直后的读出光通过照射已携带记录信息的 BR 膜,再经 BR 膜后的成像系统成像在 CCD 器件上,其视频输出信号经图像采集处理设备将空间光强度变化的图像转换为计算机图形文件加以存储。

实验中,数据信息的写入激光功率为 100 mW/cm<sup>2</sup>;读出光强为 2 mW/cm<sup>2</sup>;擦除光强为 10 mW/cm<sup>2</sup>;最低写入阈值为 27 nJ/μm<sup>2</sup>。记录信息的读出表现为低损伤的读出模式,记录三个月后,累积连续读出 80 K(平均读出光功率为 2 mW/cm<sup>2</sup>),图像对比无下降(CR ~ 1:1.67)。记录的图像如图 5 所示(记录 115 天后的读出结果)。实验中,读出对比度在不同时间的观测中(相同读出光强条件下,读出光功率 2 mW/cm<sup>2</sup>)保持十分稳定,这一方面证明了信息记录态的稳定性,另一方面,也证实了读出光未影响记录信息的状态。



图 5 实验结果

Fig.5 Experimental results

实验记录图像的清晰度是由记录、读出光学系统的空间分辨率和 CCD 器件的像素大小等因素决定的,特别是后者影响更为重要;如果采用弱光读出,则可以提高信噪比,但对 CCD 器件的灵敏度和动态范围要求较高。

### 参 考 文 献

- 1 N. Hampp, A. Silber. Functional dyes from nature: Potentials for technical applications. *Pure & Appl. Chem.*, 1996, **68** (7):1361 ~ 1366
- 2 M. Bacon, C. H. Wang, A. K. Kar *et al.*. Nanosecond optical excitation dynamics of long *M*-state lifetime bacteriorhodopsin films. *Opt. Comm.*, 1996, **124**(1,2):175 ~ 183
- 3 John D. Downie, Dogan A. Tomucin, Daniel T. Smithey *et al.*. Long holographic lifetimes in bacteriorhodopsin films. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(9):730 ~ 732
- 4 G. Mahler, V. May, M. Schreiber. *Molecular Electronics*. New York: Academic Press, 1996. 359 ~ 380