

细菌视紫红质高分辨图象存储中 吸收和散射现象的实验研究^{*}

刘伟民¹ 陈 烽^{2,3} 杨 青² 侯 洵^{1,2}

(1 西北大学光子学与光子技术研究所, 西北大学光电技术省级重点开放实验室, 西安 710069)
(2 中国科学院西安光学精密机械研究所, 瞬态光学技术国家重点实验室, 西安 710069)
(3 西安交通大学电子与信息工程学院, 西安 710049)

摘 要 本文利用细菌视紫红质变种材料 BR_{D96N} 的基态和 M 态实现了图象的高分辨存储. 实验研究了该样品的吸收特性; 在此基础上分析了散射光对 BR 膜图象质量的影响, 并通过合理的控制激发光强和激发时间在 BR 膜样品上得到分辨率为 800lp/mm 的高分辨图象.
关键词 BR 膜; 高分辨; 吸收; 散射; 激发光强; 激发时间

0 引言

细菌视紫红质(BR)是一种新奇的光能转化器,它是嗜盐菌 *Halobacterium halobium* 及其它嗜盐生物膜的一部分. 细菌视紫红质具有的光敏特性和光循环特性使得它在膜生物学和光存储领域有很大的潜力, 高分辨率(5000lp/mm)、高光敏度($10^{-3}\text{J}/\text{cm}^2$)、高循环使用次数(>106 次)等 是其他光致色变材料无法比拟的, 其独特的性质使得它在光学信息存储及处理方面有广泛的应用前景¹, 并且在某些方面已取得很大进展. 限制其使用的主要问题是衍射效率不够高(4%左右), 在室温下 M 中间态寿命不够长(几 ms), 不过随着基因工程和生化技术的提高和成熟, 优化设计变种菌紫质, 改善其物理和化学性质, 近年来在一些变种 D^{85N} 及 D^{96N} 等材料中发现了在室温下 M 态为长寿命态, 可长时间稳定地保持.

基于菌紫质的优良光学特性, 本文开展了 BR 膜的高分辨图象存储的研究工作. 在 BR 膜图象存储的过程中, 我们发现激光激发 BR 膜分子的记录光强对实验的结果有很大影响, 当记录光强比较强时, BR 膜记录区域在读出时呈现出一片模糊状态, 我们分析这可能是因为激发时由

于散射光的影响使本未被激发的区域呈现不同程度的激发, 导致图象的衬比(度)下降和图象分辨率降低. 而当激发光强很弱时, 虽然可以减小光散射对图象的影响, 但同时由于 BR 膜激发的程度不足也会造成图象衬比(度)过小而无法判读. 因此, 我们针对这种现象进行了实验分析. 无论将 BR 用作任何一种存储方式(二维光存储²、三维光存储或全息光存储), 散射光对存储的影响都是不可避免的, 这种影响也是导致 BR 存储密度下降因素之一, 因此这方面的研究对于提高 BR 的存储密度起着一定的促进作用. 实验中样品厚度为 30 μm , 直径为 25mm.

1 样品吸收特性的实验研究

不同类型的 BR 膜样品, 由于制备条件的微小变化(温度、湿度、掺杂、酸碱度、盐浓度)都可能引起 BR 光循环中间体的寿命、吸收光谱等一些特性的改变, 因此了解实验中所使用 BR 膜样品的吸收特性是非常必要的.

实验装置如图 1 所示, 激发光路中, LD 激光器输出激光作为激发光源, 将经过扩束准直的光

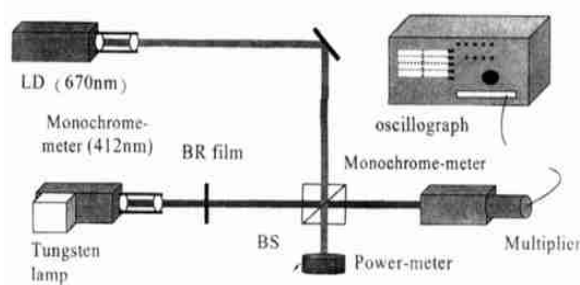


图 1 BR 膜吸收特性实验光路图

Fig.1 Experimental setup for absorption of BR film
束直接照射在 BR 膜面上,使 BR 膜的整个膜面受到激发. 探测光路中,用单色仪选择白光光源中 $\lambda=412\text{nm}$ 的光作为探测光,探测时为了避免激发光的影响,我们利用了另一个单色仪,这样只允许 $\lambda=412\text{nm}$ 的读出光进入探测器,探测器是灵敏度很高的光电倍增管,最后由示波器显示倍增管的探测结果. 在整个实验中激发和探测是同时进行的.

通过实验,我们在激发光强不同的条件下,探测 BR 膜对 $\lambda=412\text{nm}$ 的读出光的透过情况. 从实验中可以看出,激发光强不同, BR 膜呈现出了不同的稳态吸收,这是因为在激发过程中, BR 膜分子吸收光由基态(B 态)跃迁到激发态(M 态),同时 M 态的 BR 分子又通过热弛豫和光吸收回到 B 态,整个过程直至建立了一个稳定的动态平衡(稳态吸收)时, B 态与 M 态的分子才会保持恒定比例(也就是说 BR 分子处于稳态吸收状态),在实验中 BR 膜对 $\lambda=412\text{nm}$ 读出光的透过保持恒定值,不再因为激发光的继续照射而改变³.

图 2 显示了 BR 膜在不同激发光强的激发下达到稳态吸收时读出光透过光强的变化情况,数值 A 定义为一相对变化值,即

$$A = (I_B - I_M) / I_B$$

且 $0 \leq A < 1$ 时,式中 I_B 为未激发时 BR 膜对

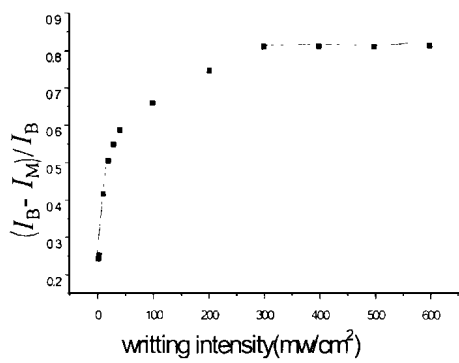


图 2 菌紫质的饱和吸收

Fig.2 Saturated absorption of BR film

读出光的透过光强,其值为一常量; I_M 为 BR 膜激发后达到稳态时对读出光的透过光强. 对于 $\lambda=412\text{nm}$ 的读出光来说,由于光激发后 M 态的粒子数增多引起对 412nm 光吸收的增强,因此 $I_M < I_B$,同时不同的激发光强会引起不同的 B 态、M 态的粒子数分布,因此 I_M 是随着激发光强的改变而改变的,从 A 的表达式可以看出,当 I_M 减小时 A 值增大,所以我们可以认为 A 值的变化反映了激发下 BR 膜达到稳态时对读出光的吸收变化. 可以看出,随着激发光强的增加数值 A 将非线性递增,当激发光强大于或等于 $300\text{mW}/\text{cm}^2$ 时,数值 A 基本恒定.

激发时间定义为从激发零时刻起到达动态平衡时的这一段时间. 表 1 记录了不同激发光强下激发时间的变化情况. 可以看出,随着激发光强的增加激发时间将缩短.

表 1 不同激发光强下的激发时间

激发光强(mW/cm^2)	激发时间(min)
300~600	<5
100~300	5~10
10~100	10~20
1~10	>20

基于以上的实验结果,我们对该样品的吸收特性得出了以下结论:

首先,由图 2 可以看出,对于不同的激发光强, BR 膜显示了不同的稳态吸收,而且稳态吸收是随着激发光强的增加而增加的;当激发光强为 $300\text{mW}/\text{cm}^2$ 时, BR 膜达到最大的稳态吸收,即饱和吸收,此时 BR 膜的吸收不再随光强的增加而改变.

其次,由表 1 可以看出激发光强的增加, BR 膜到达稳态吸收所经历的激发时间将会缩短,饱和吸收激励的激发时间小于 5min .

2 散射光对成象质量影响的实验研究

BR_{D96N} 图象写入、读出系统实验装置如图 3. 写入部分由光源、光学滤波、扩束与准直、鉴别率板、成象系统及 CCD 实时监测系统组成. 光源是 LD 抽运的光纤耦合二极管激光器,其输出波长为 670nm ; 光学滤波器主要来改善写入光的均匀性;光学系统中,我们采用了鉴别率板,其第 25 组

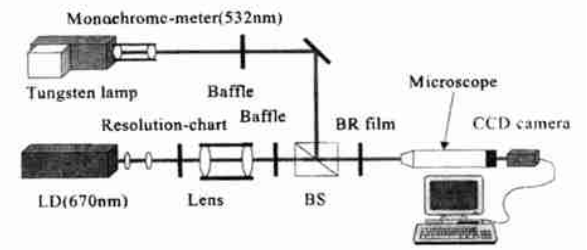


图 3 BR 膜的高分辨图象存储的光路图
Fig.3 Experimental setup for high-resolution image storage of BR film

条纹分辨率为 200lp/mm ，成象使用了分辨率很高的成象透镜，然后利用显微镜观察成象情况；CCD 监测系统用于成象光路的精密调校和图象采样。由 LD 激光器输出的激光经过滤波、扩束和准直以后，通过 2 号鉴别率板，进入成象系统并成象在 BR 膜上。读出部分是由钨灯经单色仪选出的 530nm 光作为读出光源、显微镜、CCD、图象采集卡组成。图象读出系统用显微镜将 BR 膜图象放大后，再由 CCD 实时监测并转化成视频信号，显示在计算机屏幕上。

我们分别将 1min 激发时间不同激发光强下 400lp/mm 的高分辨图象存储在 BR 膜上，并利用灰阶分析程序对其进行灰阶分析。灰阶分析程序原理如图 4 所示，其分析的结果(图 5)是对图 4 分析区域沿 X 轴图象的强度分布，其中图 5 中的每一点强度值是图 4 中沿 Y 轴每一列象素强度值的求和平均。在此分析基础上，再选择散射光影响最小的激发光强，利用不同的激发时间激发 BR 膜成象。从而找到 BR 膜上产生图象衬比(度)最佳的激发光强和激发时间。

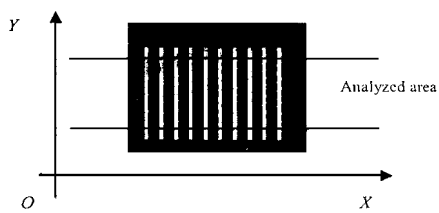


图 4 灰阶分析示意图
Fig.4 The sketch map of gray analysis

我们首先要证明 BR 膜图象质量确实受到了散射光的影响。图 5 所示为灰阶分析程序对图象中分辨率最高的一组系统所进行的灰阶分析。图 5(a) 是对 200mW/cm^2 的激发光成象于 BR 膜所做的灰阶分析。这里读出光($\lambda = 530\text{nm}$, 200mW/cm^2)与写入光同时作用于 BR 膜，由于写入光强

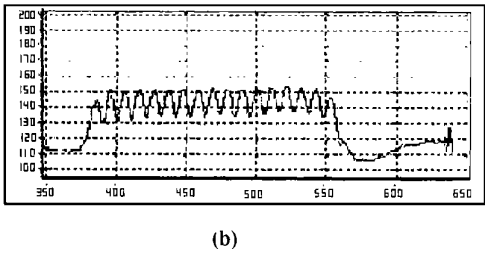
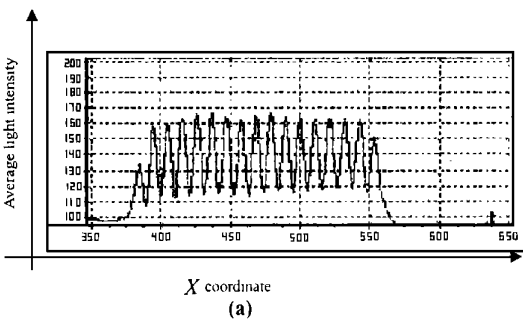


图 5 灰阶分析结果
Fig.5 The result of gray analysis

很弱，它可以直接被 CCD 探测，而且对于 BR 膜的激发也是非常不明显的，所以我们认为 BR 膜成象基本不受散射光的影响。图 5(b) 是利用 100mW/cm^2 的激发光强激发 BR 膜所成图象(只由读出光读出)的灰阶分析。可以看出，与图 5(a) 相比，图 5(b) 中波谷处(即暗条纹成象处本应不被激发的地方)透过光强明显升高，这说明此处受到了相对较弱的激发，这种激发主要来自散射光。

在以上分析的基础上，首先，我们分别选用了 5mW/cm^2 、 10mW/cm^2 、 50mW/cm^2 、 100mW/cm^2 、 200mW/cm^2 、 250mW/cm^2 等一系列激发光强用 1min 的激发时间将图象写入 BR 膜，图 6 显示了不同光强下图象的相对衬比(度)，可以很明显地看出散射光对 BR 膜图象质量影响的变化。

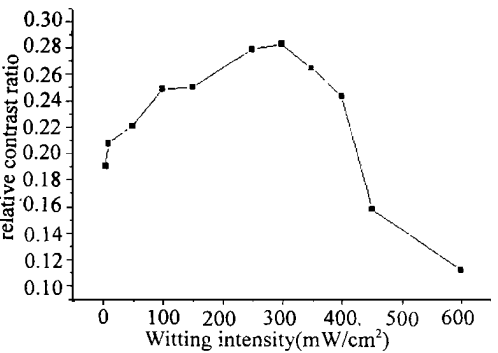


图 6 激发光强对衬比(度)的影响
Fig.6 Wavelength of writing light effects the relative contrast ratio

可以明显地看出激发光强在 $250\text{mW}/\text{cm}^2 \sim 350\text{mW}/\text{cm}^2$ 的范围内, 散射光对图象影响最小, 也就是说写入的图象衬比(度)最好. 与此同时, 我们又对 $300\text{mW}/\text{cm}^2$ 不同激发时间所写入的图象进行分析, 从分析中看出随着激发时间的增加, 散射光对图象质量的影响也会增强.

综上所述, 通过实验我们得出了以下几点结论:

1) 在假设散射不影响图象分辨率的条件下, 我们可以从实验一看出, 在激发光强小于 $300\text{mW}/\text{cm}^2$ 的情况下, 图象的衬比(度)是随着激发光强的增加而增加的; 在激发光强大于 $300\text{mW}/\text{cm}^2$ 的情况下, 由于 $300\text{mW}/\text{cm}^2$ 的激发光强已经使 BR 膜达到了饱和吸收, 此时 BR 膜的吸收随光强的增大基本不变, 所以可以说明, $300\text{mW}/\text{cm}^2$ 以上的光强所激发的图象将产生相同的而且是最好的衬比(度). 然而从实验二的结果可以看出, 当激发光强大于 $300\text{mW}/\text{cm}^2$ 时, 图象的衬比(度)有明显的下降, 这就可以说明散射光的光强是随着激发光的光强的增加而增加的, 由于散射光的影响, 图象的衬比(度)反而会因激发光强的增强而下降. 同时也可由图 6 看出, 激发光强应控制在 $250\text{mW}/\text{cm}^2 \sim 350\text{mW}/\text{cm}^2$ 的范围内.

2) 从表 1 可以看出, $300\text{mW}/\text{cm}^2$ 以上的激发光激发 BR 膜值饱和吸收所用的激发时间在 5min 以内, 所以最佳的激发时间应小于 5min . 这是因为, 虽然散射光的光强很弱, 但是它仍可以对

BR 分子有一定程度的激发, 这种强度的激发使 BR 分子达到了相对较小的稳态吸收, 而且激发时间大于 5min , 所以控制激发时间在 5min 之内, 可以使散射光所激发的 BR 分子不能达到稳态吸收, 图象衬比(度)也就得到了提高. 由本实验中可以得出, 在同一激发光强的情况下, 随着激发时间的增加, 图象的衬比(度)随之下落, 所以激发时间应控制在 1min .

3 实验结果

基于以上的分析结果, 图象写入激发光强控制在 $250\text{mW}/\text{cm}^2$ 到 $350\text{mW}/\text{cm}^2$ 的范围内, 激发时间 1min ; 读出光光强为 $200\text{mW}/\text{cm}^2$, 记录信息的读出为低损伤的读出模式. 图 7 显示了 BR 膜上存储的 $800\text{lp}/\text{mm}$ 的图象.



图 7 BR 膜存储 $800\text{L}/\text{mm}$ 图象

Fig. 7 The $800\text{L}/\text{mm}$ image of BR film

参考文献

- 1 Oesterhelt D, Brauchle D, Hampp N. Bacteriorhodopsin: a biological material for information processing. Quarterly Reviews of Biophysics, 1991, 24(4): 425~478
- 2 Chen Feng, Hou Xun, Li B F, Li X C, Jiang Long, Hampp N. Optical information storage of bacteriorhodopsin molecule film: experimental study. Material Science & Engineering(B), 2000, 76(2): 395~397
- 3 黄玉华, 袁勤敢, 赵有源等. 细菌视紫红质的光吸收非线性特性研究. 光学学报, 1999, 19(11): 1469~1474

THE ABSORPTION AND THE SCATTERING IN THE HIGH RESOLUTION IMAGE STORAGE USING BACTERIORHODOPSIN FILM

Liu Weimin¹, Chen Feng^{2,3}, Yang Qing², Hou Xun^{1,2}

¹ *Institute of Photonics & Photon-Technology, and Provincial*

Key Laboratory of Photoelectronic Technology, Northwest University, Xi'an 710069

² *State Key Lab of Transient Optics & Precision Mechanics, Academic Sinica, Xi'an 710068*

³ *Institute of Electronics & Information Engineering, Jiaotong University, Xi'an 710049*

Received date: 2001-06-07

Abstract In this paper, authors presented a high-resolution image experiment based on a new type bacteriorhodopsin (BR^{D96N}) which is processed through genetic manipulates. The state B and M of the photocycle were utilized. The scattering of the writing light can effect the quality of the image on BR film. This was studied by the absorption of the BR film. Consequently, 800lp/mm resolutions were achieved on it.

Keywords Bacteriorhodopsin (BR); Resolutions; Absorption; Scattering; Writing intensity; Writing time.



Liu Weimin was born on January 17, 1976, in Xi'an, Shaanxi Province, P. R. China. He earned B.Sc. in Physics Department of Northwest University in 1998. Since then, he has become a postgraduate in optics guided by Research Professor Hou Xun, Academician of the Academy of Sciences of China. Currently, he is studying toward M.Sc at Institute of Photonics & Photon-Technology, and Provincial Key Laboratory of Photoelectronic Technology, Northwest University. And his major research fields include quantum optics and biophotonics.