

认为主要原因可能是:

(1) 碳管直径较大. 部分理论研究表明这种大直径的单壁纳米碳管有利于氢的吸附.

(2) 氢电弧法制备的单壁纳米碳管多聚集成为束状, 而且管束的直径较大, 炭管束中管与管的间隙为氢的存储提供了较大的空间.

(3) 单壁纳米碳管的表面状态和表面特性与其储氢容量密切相关.

上述初步储氢研究结果表明, 单壁纳米碳管是一种极具发展前途的储氢材料, 有望推动和促进氢能利用特别是氢能燃料电池汽车的早日实现. 然而国内外相关研究毕竟起步才二三年, 还有许多课题如循环特性、储放氢热力学和动力学行为、如何进一步提高其质量储氢容量和体积储氢容量、储放氢机理等需要进行深入细致的研究. 随着大量制备技术的日益成熟和储氢特性研究的不断深入, 相信在 21 世纪初期单壁纳米碳管将在氢能的应用, 特别是氢燃料电池电动汽车的应用中占据不可替代的地位, 促进人类经济与社会实现可持续发展.

(2000 年 6 月 5 日收到)

- 1 Thomas C. E., et al. *International J. of Hydrogen Energy*, 2000; **25**: 551
- 2 Kroto H. W., et al. *Nature*, 1985; **318**: 162
- 3 Iijima S. *Nature*, 1991; **354**: 56
- 4 Dresselhaus M. S., et al. *Science of Fullerenes and Carbon Nanotubes*, Academic, San Diego, 1998
- 5 Journet C., et al. *Nature*, 1997; **388**: 756
- 6 Thess A., et al. *Science*, 1996; **273**: 483
- 7 Cheng H. M., et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1998; **72**: 3282
- 8 Liu C., et al. *Carbon*, 1999; **37**: 1865
- 9 Dillon A. C., et al. *Nature*, 1997; **386**: 377
- 10 Ye Y., et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1999; **74**: 2307
- 11 Liu C., et al. *Science*, 1999; **286**: 1127.
- 12 Dagani R. *Chemical & Engineering News*, 1999; **8**: 19

Carbon Nanotubes and Hydrogen Energy

Cheng Hui-ming

Research Professor, Supervisor of Ph. D. Candidates, Deputy Director, Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110015

Key words hydrogen, carbon nanotubes, synthesis, hydrogen storage

纳米光生物分子材料 ——菌紫质及其在信息科学中的应用

姚保利^① 侯 洵^②

① 研究员, 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 710068

② 中国科学院院士, 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 710068

关键词 菌紫质 光驱动质子泵 光致变色效应 三维光存储 视觉仿生

菌紫质是一种特殊的光敏蛋白质分子, 具有光驱动质子泵功能、光致变色效应和光电效应. 近年来, 随着对光循环机理和材料改性技术的深入研究和发 展, 菌紫质在信息科学领域的应用日渐增多. 本文综述了国内外研究状况和最新发展动态. 介绍了菌紫质的来源、分子结构、光驱动质子泵功能、光循环(分支光循环)过程、光致变色效应和光电效应. 列举了菌紫质在三维光存储、光信息处理、视觉模拟等方面的应用实例. 对这种纳米光生物分子材料的应用前景及存在的问题进行了探讨.

一、引言

我们生活在一个充满阳光的世界里. 植物和动物都离不开光. 地球上 80% 的能源来源于太阳, 人每天获取的信息 90% 是通过眼睛收集的. 光合作用和视觉过程是生命中的两个基本过程, 在其中扮演重要角色的是光敏色素蛋白质, 即植物中的叶绿素和视网膜上的视紫红

质. 20 世纪 70 年代初, 美国科学家 Stoeckenius 和德国科学家 Oesterhelt 在研究一种称为嗜盐菌(halobacterium salinarium)的微生物时, 又发现了一种新的光能转换蛋白质, 由于它在结构上与视紫红质(rhodopsin)非常相似, 因而被取名为细菌视紫红质(bacteriorhodopsin, 简称菌紫质或 BR)^[1].

菌紫质在结构上与视紫红质的相似性和基于光驱动质子泵的光能转换机制, 使它成为一种非常好的模型

系统,用于研究生物系统中的光能转换和信息传递.自从 BR 被发现之后,对它的研究兴趣迅速增长.由于它的结构相对比较简单,性能很稳定,如在 140℃ 高温、失水状态及很宽的 pH 值范围的环境下仍具有活性,而且具有独特的光致变色效应和光电效应,因而吸引了众多的生物学家、化学家和物理学家对其进行广泛的研究.前 20 年主要研究 BR 的基本性能.对 BR 的组成、分子结构,光驱动质子泵机制,光循环过程已经研究得比较清楚.近十年来开始 BR 的应用研究.由于 BR 的色素膜系统十分简单、稳定,足以通过其结构的改变来控制光、电信号,加上它易于大量培养、分离、提纯,还可以通过化学修饰或基因改性的方法对某些性能进行改进和增强,因而 BR 已成为国际上生物电子技术和光信息处理的新型热点材料.每年在 *Science*, *Nature*, *Optics Letters*, *Applied Optics*, *Biophysics Journal* 等国际著名刊物上都有大量关于 BR 研究成果的报道.美、日、德等发达国家有大量研究人员从事这方面的研究工作,并有大工业集团(如富士公司、日立公司)参与和资助这一具有诱人前景的研究工作,他们争相在近十年研制出第一台可以应用的含生物芯片的混合型计算机.到 1995 年为止,这方面已产生了很多专利.其中日本 90 项、美国 12 项、德国 12 项、俄罗斯 7 项.日本通产省已将生物分子计算机研究列为未来工业基本技术研究与发展的项目,并制定了总投资为 100 亿日元的十年计划.俄罗斯制定的“视紫红质计划”,目前在很多方面仍然是军事秘密.在德国,至少有两个大研究机构全方位地独立研制 BR 生物分子器件,他们都得到了德国国家以及工业部门的大量资助.美国 Syracuse 大学分子电子学中心 Birge 教授的研究小组已利用 BR 成功地研制出第二代海量三维光存储器,用于神经网络与并行计算机中的全息相关存储器,他们得到了美国 4 家主要计算机制造商、12 家公司以及美国空军的大力资助.

我国在菌紫质方面的研究起步并不算晚,中国科学院生物物理所从 1983 年就开始 BR 的研究工作,是国内最早开展 BR 研究的单位.在菌种培育、紫膜分离提纯、生物化学修饰、生物膜组装技术上具有扎实的基础.中国科学院感光化学所在 BR 膜分子电子器件制作和应用方面率先开展了研究工作,制作出了 BR 光敏报警器、记数器等原型器件.自 1993 年以来中国科学院西安光机所对 BR 的光循环动力学、光电响应特性进行了比较系统的研究,并与中国科学院生物物理所和感光化学所合作,开展了 BR 在超快光探测器和光信息存储方面的应用研究^[2-11].此外,复旦大学、南开大学、首都师范大学、浙江大学等单位也都在开展 BR 基础和应用方面的研

究,逐渐在国内掀起一个 BR 研究的热潮.但总体水平与国际上差距还很大.关键是没有形成从样品制备、改性、性能研究到器件开发的配套研究系列.因为对 BR 的研究和应用是一门交叉和综合性的学科,它包含生物、化学、光学、电子学等多门学科,涉及到激光技术、薄膜技术、微电子技术、基因工程等多项现代高科技,因而只有各学科协同作战,才有可能作出高水平和创新性的研究成果.

二、菌紫质的主要特征

1. BR 的组成和结构

嗜盐菌是一种需要在很高盐浓度下(海水盐浓度的 6 倍)才能生存的微生物,常生活在盐田和盐沼泽内.在供氧不足的情况下,它可以通过细胞膜上的特殊部分——紫膜进行光合作用.菌紫质是嗜盐菌紫膜中唯一存在的一种蛋白质,相对分子质量为 26 000,由 248 个氨基酸和一个生色团——视黄醛(retinal)组成.氨基酸链形成 7 次折叠的跨膜 α 螺旋,视黄醛通过质子化希夫碱基连接到 G_{α} 螺旋的第 216 号赖氨酸上.7 个跨膜的 α 螺旋以环形方式排列,跨膜空主要由螺旋段 BCG 构成,视黄醛分子夹在其中.质子输运主要通过希夫碱基经此跨膜空进行.视黄醛分子离膜外表面距离约 1.1 nm,其长轴相对于膜表面的倾斜角约 21°.封底左上图是 BR 分子的三维结构模型^[12].BR 在紫膜中以三个分子为单位组成三聚体,形成二维六角形晶格结构.

2. BR 的光驱动质子泵功能

菌紫质的生物功能是光驱动质子泵,即它能利用光能驱使质子跨膜输运,在细胞膜两侧形成重要的质子电化学梯度,细胞利用储存于梯度中的能量合成 ATP 和完成其他需要能量的生命过程,即 BR 是一种光能转换器.这是除植物以叶绿素为基础的光合作用外,人们所知道的第二种光合作用系统.虽然它的光能转换效率(15%)不如叶绿素(35%)高,但它的光合作用机制比叶绿素简单得多.

3. BR 的光循环

BR 在黄绿光激发下,可以有效地建立起一个光循环过程.首先引发的是生色团的快速光异构化(3ps),接着引起蛋白质结构的一系列变化,这些结构的变化引起吸收特性的变化.在这个过程中同时伴随电信号的产生,质子从膜内侧被泵出到膜外侧.在生理条件下,这些

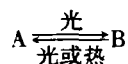
变化在 10 ms 内完成,返回 BR 初态.许多实际应用都是利用 BR 这一独特的光循环特性.封三上图给出了一个比较公认的 BR 光循环模型.根据光循环中各中间体出现的先后次序,将其命名为 J、K、L、M、N、O 等,以纳米为单位并用脚标标出其吸收光谱的峰值.封三下图是 BR 及其各中间体的吸收光谱图^[12].各中间体的寿命与温度有很大的关系.降低温度可以延长各中间体的寿命,如中间体 K 在 90K 温度下是稳定的,中间体 M 在 208 K 温度下稳定.

4. BR 分支光循环

1994 年,美国 Syracuse 大学 Birge 教授的研究小组在一个偶然的机会里发现,在 BR 光循环进行到 O 态的时候,如果用另外一束 O 态吸收波长的光(红色)照射样品,就会产生一个新的分支光循环,即 $O \rightarrow P \rightarrow Q$ (见图 2),这时就会产生一个在室温下稳定的 Q 中间态.Q 态在室温下可以稳定几年,在蓝光照射下可以迅速返回 BR 态.这一重要发现为 BR 在温室下实现双稳态,用作光信息存储材料创造了很好的条件. Birge 研究组发明的 BR 三维光存储器就是建立在 Q 态的基础上. $BR \rightarrow Q$ 态的转换需要时间上精确控制的双光子过程,这个过程大约需要几毫秒,因此对于快速存取数据显得有些慢,但对于并行存取问题不大.其主要缺点是, $BR \rightarrow Q$ 态的量子转换效率很低($\sim 0.02\%$),要产生足够数量的 Q 态,需要的激光能量比较大,这不利于降低器件的功耗.

5. BR 的光致变色效应

某些物质吸收光引起其内部分子结构变化从而导致可逆颜色变化的现象称为光致变色效应.反应如下:



A、B 是两种不同分子构形的同一种物质,它们有不同的吸收特性,在不同波长光的刺激下,它们可以发生可逆的转化.能够显示光致变色的物质有无机物也有有机物.光致变色物质最主要的应用是作为光记录材料.与传统基于光化学反应的感光材料(如无机银盐、重感光剂等)相比,其最大的特点是可重复使用.菌紫质作为一种生物分子光致变色材料,目前主要是利用光循环中 $BR \rightleftharpoons M$ 态之间的转换,用作动态全息记录介质和非线性光学信息处理材料. BR 同时具有高空间分辨率($> 5000 \text{ line/mm}$)、高量子效率(64%)、高感光灵敏度(10^{-3} mJ/cm^2)和高重复使用次数($> 10^6$),是其他光致变色材料难以比拟的.限制其使用的主要问题是衍射效率还不够高(4%左右),在室温下 M 中间体的寿命不够长(几毫

秒).不过目前通过基因工程和化学手段对 BR 分子中的某些氨基酸进行修饰或替换得到的 BR 变种(如 D96N、D85N 等),在光学性能方面有了很大的改善,例如已能将 M 态的寿命在温室下延长至数分钟,甚至几个月,国外已有公司出售不同 M 态寿命的系列产品.

6. BR 的光电效应

通常的光电效应是指物质受光照时,吸收光能而释放出能够自由运动的电子或空穴的现象.通常的光电效应主要包括:光电子由固体表面向外逸出的光电发射效应;因释出光电子或空穴而使物质导电率发生变化的光电导效应;在固体接触面产生电动势的光生伏打效应.这里所说的 BR 的光电效应不同于上述三种效应.它是由于 BR 吸收光能引起生色团快速电荷分离及随后蛋白质分子内质子运动在电极两端诱导的感生电动势或在外电路产生的位移电流.这种位移电流是生物电的一种特殊形式,与视觉冲动电信号很相似.它的特点是对光脉冲的光电响应信号是双极性的,即开始的快速响应是负脉冲,后面的慢过程是正脉冲.另外一个非常独特的性质是对光强的微分响应,即对不变的光照输出直流信号,对光强突然增大或减小的瞬间,分别产生正脉冲或负脉冲信号,这是半导体材料不具有的特性.利用 BR 的光电响应信号可以进行人工视网膜和人工网络的模拟.

三、菌紫质的应用领域

BR 作为一种纳米生物分子材料,有可能在技术上获得应用,主要依赖于以下两个方面的重要特征:一是 BR 的耐用性和可塑性,如耐高温、耐强光、抗疲劳,可与高分子聚合物复合制成大面积高质量的光学薄膜或均匀透明的立方体,可以通过化学修饰或基因工程的方法控制 M 中间态寿命等.二是 BR 具有一系列独特和优越的光物理性质.如原初光反应量子效率高,重复使用次数多,存在分光循环,可在室温下实现双稳态,具有超快光电响应信号和对光强的微分响应特性等.目前技术上要解决的主要是生物分子器件与常规系统的接口问题.利用 BR 光致变色效应进行光学数据存储和信息处理是技术上最容易实现的,它不要求 BR 分子有序排列,只要 BR 在光学介质中均匀分布,可以密封在玻璃中加以保护.所以到目前为止,已报道的大部分应用都是基于 BR 的光致变色效应.利用 BR 光电效应的器件应用具有更大的挑战性,因为它要求 BR 分子定向排列,并且夹在至少有一个是透明的两个电极之间,以获得最大的电响应

信号.电泳沉积、LB膜技术是常用的制备定向BR膜的方法,目前还在探索其他更有效的分子膜组装方法(如分子识别),以使BR应用于运动探测和人工视网膜等方面.利用BR的光驱动质子泵生物功能进行人工合成ATP或海水淡化,是最早提出的BR应用的设想.但不幸的是,这个设想很难在技术上实现,因为这要求制备大面积定向无孔的人工紫膜,这不太现实.即使能制备出来,在应用中还面临如果这么薄的膜被损坏一个小洞,导致产生的跨膜质子梯度短路时,如何修复的问题.表1列出了菌紫质可能应用的领域.

表1 菌紫质的应用领域

光致变色效应	光电效应	光驱动质子泵	其 他
光信息存储: 二维光存储器 三维光存储器 全息相关存储器	超快光探测 人工视网膜 运动探测 神经网络	人工合成 ATP 海水淡化 太阳能转换	二次谐波产生 辐射探测 生物传感器
光信息处理: 空间光调制器 相位共轭镜 光学逻辑门 全息干涉计量 模式识别			

1. BR光致变色效应的应用

早在20世纪80年代中期,就有利用菌紫质薄膜进行光信息处理的报道,但受限于当时的样品培育改性技术、高质量薄膜制备技术以及昂贵的价格,一度只是一种设想.进入20世纪90年代中期,菌紫质纳米生物分子材料在技术上的应用有了一些新的突破性进展.首先是材料修饰和改性方面,利用基因生物工程,对野生嗜盐菌紫膜蛋白质视黄醛口袋和质子泵通道中的主要氨基酸进行定点突变(包括Asp85和Asp96两种氨基酸),制备菌紫质的变体,使其光化学循环和质子功能部分受阻,获得了M中间体寿命延长到几个小时(提高了6个量级),可以满足实际应用的需求.其次,在制备大面积、均匀、高光密度、牢固的菌紫质聚合物光学薄膜方面,有了长足的发展,已能制备出90 mm×90 mm或更大面积,光密度1~3(570 nm处),膜厚几十微米,非常均匀的高质量光学薄膜,并封装到环境稳定性很好的光学玻璃中间.第三,BR分支光循环和Q态的发现,为BR在室温下运行光学双稳态器件提供了良好的物理基础.目前,培养样品和制作薄膜的成本正在不断下降,预计不久就有可能达到被商业接受的价格.

菌紫质在高密度光存储和光信息处理方面的应用是近年来发展比较快的一个研究方向.在2000年4月德国汉诺威国际博览会上,德国马尔堡大学Hampp教授展

示了他们制造的基于BR生物薄膜记录介质的无损检测全息干涉计量仪Fringe Maker(参见封底右上图)^[13],这可能是第一台利用BR的商用仪器.他们还把这种BR薄膜应用于光示波器的显示屏.将BR混合到墨水中制成的生物色素墨水,可以用于防非法拷贝的重要文件打印.

BR作为一种光致变色材料,由于其读写擦次数和极限分辨率很高,有可能用于二维光盘存储材料.但对于一种可以实用的高密度光盘,应同时考虑存储密度、存取时间、数据传输率、数据安全性、价格等多项指标.为了使系统运行更可靠,驱动器结构应尽量紧凑,运动部件也应尽量少.BR要取代目前的有机光盘或磁光盘还不太可能,因为光盘存储密度的限制主要来自于驱动器机械定位精度和激光光斑大小(光斑大小,受衍射限制而不能无限小),而大多数记录材料都具有纳米尺度的分辨率.采用短波长光源可以减小光斑大小因此发展短波长廉价半导体激光器是一个重要研究课题.采用近场光学方法可以达到几十到几百纳米的光学分辨率,但扫描近场光学显微镜是一种分析仪器,将其作为光盘驱动器,存在着对光盘表面平整度要求很高、数据存取速度慢、传输率低、系统庞大、价格昂贵等缺点.

三维存储(或称体积存储)是提高数据存储密度的另一种有效方法,它采用的是多页面存储技术.每个页面是一个二维存储面,存储面密度不很高(10^8 bit/cm²),技术上容易实现.由于在一个小的立方体内有很多页面(1000页/cm),因此单位体积的存储密度可以很高(10^{11} bit/cm³).Birge教授的研究小组致力于BR三维光存储器的研究和开发,其核心是利用BR分支光循环中长寿命的Q态,采用两种不同波长的双光束进行数据的并行写入和读出.第一束激光被称为选页光(黄绿光),它用来激活BR立方体内要写入或读出数据的很薄的一个平面区域.第二束激光被称为数据光(红光),它与选页光正交,经空间光调制器并行加载要写入的信息,只有在黄绿光和红光交叉的样品区域才能产生Q态,而其他地方仍保持BR态.利用Q态与BR态大的吸收差异就可以进行数据的读出. Birge小组已在实验室研究出第二代BR三维光存储器(参见封底左下图)^[12],能在1 cm×1 cm×3 cm立方体内存10 Gbit数据,大约每 $10^4 \sim 10^5$ 个BR分子存储一个bit的信息,离BR的存储密度极限(几十分子存储一个bit的信息)还很远.当前的目标是不追求存储密度很高,而是要将整个装置做得更紧凑、更可靠、模块化,并能与目前的计算机系统连接.该小组同时还研究另一种基于BR双光子吸收效应的三维光存储器.这种存储器利用BR分子的很高的双光子吸收系数,用两

束正交的红外光来写入和读出信息.只有在两束激光汇集相交的焦点,光强最大,才能发生双光子吸收,使BR转换到M态或M态转换到BR态,而其他光照区域不改变原有状态.信息的读出利用的是BR的光电效应,即BR到M态的转换过程产生快速(5 ps)的负脉冲电信号. Birge小组还在研究利用BR薄膜全息特性的相关存储器.相关存储器又称内容寻址存储器.它的特点是只要输入对象的部分特征信息,就可以很快地找到该对象及所有与其相近的对象. BR在光照下会发生折射率的显著变化,因而可作为一种全息记录材料.通过改变物光和参考光之间的夹角,可以在同一个介质上存储多幅图像,这也是提高介质存储密度的一种方法.

由于BR具有很高的读、写、擦、反复使用次数($> 10^6$),薄膜的极限光学空间分辨率非常高(5 000 line/mm),存在光谱完全分开的光致变色双态(BR态和M态),以及M态寿命可以控制等优点,因此利用化学增强或基因改性的BR薄膜进行各种光信息处理的应用研究十分活跃.从某项单个指标来看,许多有机分子或合成分子可能比菌紫质更优越一些.但如果从综合指标来考察,菌紫质的确是一种难得的纳米光生物分子材料. BR在光信息处理方面的应用主要包括:BR膜光寻址光空间光调制器,相位共轭镜,光学逻辑门.

光寻址光空间光调制器是实现“以光控光”的重要器件.利用BR膜在一种波长光照射下其吸收或折射率的变化可以控制另一种波长光的透过强度.如果把一个非相干光图像投射到BR膜上来调制薄膜的透过率分布,当一束相干光通过薄膜时就可以携带上非相干光的图像信息.这就是所谓的非相干光到相干光转换器.用这种空间光调制器还可以实现投影显示.此时用一束白光均匀照射BR膜,由视频信号驱动的激光扫描仪在BR膜上扫描控制通过该点的白光透过率,经过光学放大系统,就可以将视频图像显示出来.

相位共轭反射是一种非线性四波混频过程.它与一般的反射镜不同,由它产生的反射波与入射波具有完全相反的相位.因此当入射光波通过光学系统或介质发生相位畸变的时候,用一个相位共轭反射镜将畸变波反射回去再次通过光学系统或介质,就可以完全恢复入射光波的波前,这对于光学图像的矫正和恢复非常有用.

光学逻辑门是通过两种不同波长的光波在非线性介质中的相互作用,来实现一些基本的逻辑运算操作(与、或、非).由于BR存在光谱完全分开的光致变色双态——BR态和M态,因此当用波长为570 nm的黄光和412 nm的蓝光照射BR膜时,可以形成BR态和M态粒子数的动态分布,这反过来就会影响黄光和蓝光的透过

率.如:在逻辑“与”操作中,只有当黄光和蓝光都是强光(相当于“1”)时,它们在BR膜产生的BR态和M态粒子数相互抵消,黄光和蓝光都可以透过BR膜,输出为强光(“1”).当二者有一个是弱光时(如蓝光),就会使另一束强光(黄光)被强烈吸收,引起粒子数朝一边积累(M态粒子数增加),从而使强光(黄光)输出为弱光.通过预置BR态和M态粒子数分布,就可以实现其他几种逻辑运算.光学逻辑门是实现光计算机的基本元件.

2. BR光电效应的应用

BR光电效应的应用研究和开发工作相对比较少,原因是定向BR分子膜组装技术和器件集成化方面的难度比较大.单个器件的制作比较容易,但要制作成一个可以应用的阵列就是一个很有挑战性的工作.这方面,日本处于领先地位.日本富士感光胶片公司的Miyasaka等人用LB膜技术在透明ITO导电玻璃上沉积定向BR分子膜,做成了ITO/BR/电解质/金属电极夹层结构的湿光电池,并用微电子技术集成了256个这样的光接收器(每个像素为 $1.3 \text{ mm} \times 1.3 \text{ mm}$)作为图像传感器,模拟了视网膜的基本功能,如运动探测、边缘增强.给出的是64像素图像传感器(参见封底右下图)^[14].这种图像传感器的特点是利用BR的微分响应特性,只对光强变化或运动的图像敏感,这与蛙眼的功能很相似.人眼能看到静止目标,是因为眼球在做微小的振动,对目标光强进行了主动调制.

由于BR原初光异构化过程在430 fs内完成,从而有可能将它做成极快速的光电探测器.美国Oregon大学Rayfield等人用3 ps光脉冲激发BR光电探测器,在70 GHz超快取样示波器上直接测到了上升时间 $< 5 \text{ ps}$ 的光电压^[15].这是迄今为止在生物样品中观察到的最快的光电响应信号,也是普通半导体光电探测器很难达到的指标.

根据神经生物学原理提出的并行计算是目前人们很感兴趣的一个领域,它涉及到大脑的工作机制和神经网络的模拟.作为神经网络的基本元件都应具有产生兴奋和抑制响应的功能.用半导体材料模拟这种兴奋和抑制特性需要大量集成在大面积芯片上的差分放大器,而BR固有的光电特性从分子水平就能实现对兴奋和抑制特性的模拟,因此BR很适合作为神经网络材料.美国Cornell大学的Mobarry等人首先用BR作出了以光敏二极管结型为基础的定向BR膜网络,实现了Hopfield模型,这种网络与电子系统不同的是初始化由光完成并能进行多次重编程修改.^[16]

四、展 望

菌紫质从发现到现在不过 30 年的历史,人们对它的特殊分子结构和生理功能进行了广泛而深入的研究,试图从这种简单的光能转换系统中找到与光合作用和视觉过程的某些联系.人们逐渐认识到,经过自然选择和进化的光敏蛋白质分子具有许多奇特和优良的光学和光电性质,特别是近年来基因技术的应用,使 BR 产生了“第二次进化”,可以在不丧失 BR 固有的优点(如对热和化学的稳定性、可反复使用)的情况下,获得光学和电学性能更加优异、稳定的变种. BR 被认为是将基因技术运用于纳米生物分子材料进行材料设计和制作的第一个样品.因而近年来将其应用于光信息存储和处理,视觉模拟等方面的研究蓬勃发展,并取得了可喜的成果.但是,从总体发展水平来看, BR 在分子电子器件和光信息存储与处理方面的应用研究,国际上还基本处于初始阶段.这主要是由于 BR 的化学修饰、基因改性、薄膜制备等工作近几年才有较明显的进展,对 BR 光循环特征的认识也逐步趋向深入,许多新的有价值的中间态及分支态被发现.近年来,世界几个发达国家在 BR 材料、器件和应用方面的专利数在逐年递增,其中日本最多,其次为美国、德国、俄罗斯.目前还难以预料究竟 BR 的哪种应用将首先商业化,但有一点却很清楚,那就是这种独特的纳米光生物分子材料不久就会在技术和商业上显示出它的重要性.

(2000 年 6 月 5 日收到)

- 1 Oesterhelt D., Stoekenius W. *Nat. New Biol.*, 1971; 233:149
- 2 Baoli Yao, Dalun Xu, Xun Hou. Theoretical analysis of the flash photolysis kinetics of purple membrane. *Optics Communications*, 2000; 175(4-6):375-381

- 3 Baoli Yao, Dalun Xu, Xun Hou, Kunsheng Hu, Aojin Wang. Multi-exponentially photoelectric response of bacteriorhodopsin. *Chinese Physics Letters*, 2000
- 4 Baoli Yao, Dalun Xu, Baofang Li, Jiang Long. Laser-induced bacteriorhodopsin LB films' fast photoelectric dynamics. *Science in China (Series A)*, 1997; 40(7):761-766
- 5 Baoli Yao, Dalun Xu, Xun Hou. Experimental and theoretical studies on laser photolysis kinetics of purple membrane. *SPIE Proceedings*, 1997; 2869:746-751
- 6 Baoli Yao, Dalun Xu, Xun Hou. Oriented bacteriorhodopsin film biomolecular devices and their photoelectric dynamics. *SPIE proceedings*, 1997; 2869:752-758
- 7 姚保利, 姚保利, 侯洵, 胡坤生, 王敖金. 紫膜微分响应特性的理论和实验研究. *科学通报*, 1997; 42(11):1225-1229
- 8 姚保利, 徐大纶, 侯洵, 胡坤生, 王敖金. 细菌视紫红质对调制光的响应特征. *生物化学与生物物理进展*, 1997; 24(5):427-430
- 9 姚保利, 徐大纶, 侯洵. 细菌视红质生物膜光电探测器. *光学学报*, 1997; 17(12):1747-1751
- 10 姚保利, 徐大纶. 菌紫质光生物分子器件及其超快过程. *生物化学与生物物理进展*, 1995; 22(2):117-121
- 11 姚保利, 徐大纶. 菌紫质光电作用的分子机制. *光子学报*, 1995; 24(2):112-115
- 12 Birge R. R., Gillespie N. B., Izaguirre E. W., et al. *J. Phys. Chem.*, 1999; 103:1746
- 13 Hampp N. *Chem. Rev.*, 2000; 100:1755
- 14 Miyasaka T., Koyama K. *Appl. Opt.*, 1993; 32:6371
- 15 Simmeth R., Rayfield G. *Biophys. J.*, 1990; 57:1099
- 16 Mobarry C., Lewis A. *Proc. SPIE.*, 1986; 700:304

Nanobionic Optical Material: Bacteriorhodopsin and Its Applications in Information Science

Yao Bao-li, Hou Xun

State Key Laboratory of Transient Optics and Technology, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068 China

Key words bacteriorhodopsin, light-driven proton pump, photochromic effect, 3D optical storage, visual simulation

自然信息

为什么昆虫只长 6 条腿

为什么昆虫只长 6 条腿? 对这个问题,现在美国的发育科学家们已经找到了答案.他们使甲虫幼体的两个基因失去活性后,迫使它们又生出了 16 条腿,恢复了它们的祖先 4 亿年前消失掉的肢体.

现在的昆虫及其他节肢动物是从类似于现代千足虫和百脚类动物进化而来的,这些动物有着许多相互独立

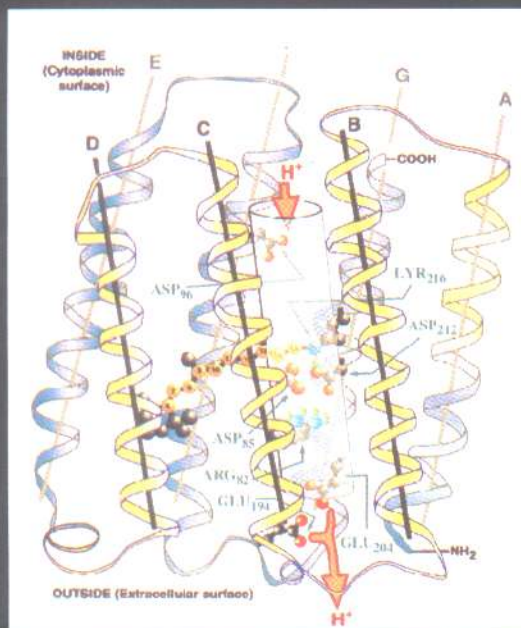
的、无特定功能的身体部分,每个部分都生出一双腿.昆虫的 6 个部分相融合,形成头部,3 个部分形成胸部,而 8 到 11 个部分形成了无腿的腹部.具有 6 条腿的昆虫比起它们的 16 条腿的祖先来,行动要灵活多了,美国科学家贝内特(Randy Bennett)及其同事们推测,在进化过程中,它们一定是关闭了一些生成腿的基因.现在美国科学家们已经证实,这秘密就藏在 Ultrabithorax (Ubx) 和 abdominal-A (abd-A) 这两个基因内.将黄粉虫幼体的这两个基因关闭会促使它们生出 22 条腿,其中 16 条

在腹部,另外 6 条在胸部.

许多昆虫幼体的腹部会有像小棍状的腹足,这些腹足可以帮助它们移动长长的身体,成年后,这些腹足又消失了.但是,贝内特还发现,当把这两个基因全部拿掉后,昆虫的腹部却又长满了真正的腿.

科学家认为,这两个基因有着不同的功能,abd-A 影响着昆虫是否长肢体,而 Ubx 则在肢体的生长过程中进行调节.至于其他动物所对应的这两个基因,它们的功能还不大清楚.

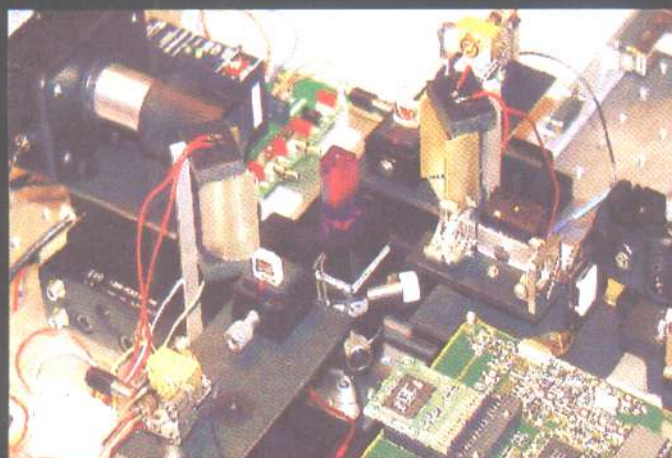
[许大平据 *New Scientist*, 2000; 166(2237): 20]



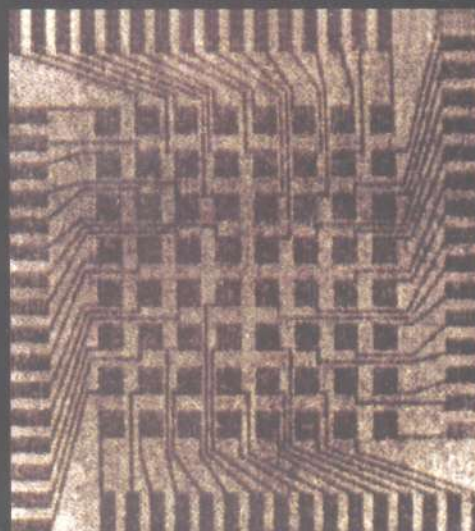
▲ BR 分子的三维结构模型



▲ 德国马尔堡大学制造的 BR 膜无损检测全息干涉计量仪 FringeMaker



▲ 美国锡拉丘兹大学建立的 BR 三维光存储器



▲ 日本富士感光胶片公司制作的 BR 膜 64 像素运动图像传感器

封三、封底参见本期“纳米光生物分子材料
—— 菌紫质及其在信息科学中的应用”一文



2000 年 10 月
ZIRAN ZAZHI

中国知网 <https://www.cnki.net>

定价: 5.50 元(国内)
33.00 元(国外)
代号: 4-226
ISSN 0253-9608
国内统一刊号: CN31-1418