

## 第二讲 光电子技术在保健医疗 和生物学应用中的进展\*

谢树森<sup>†</sup> 李 晖 李步洪 龚 玮

(福建师范大学物理与光电信息科技学院光子技术福建省重点实验室 福州 350007)

**摘 要** 文章论述了激光与光电子技术在人类保健、医疗以及生命科学应用中的作用和意义。综述了光活检技术、光美容医疗和生物光子技术等光电子技术在保健、医疗和生物学领域中的具体应用。重点介绍了(1)用于组织病理诊断的光活检技术,其中包括光活检的发展历史、技术优点、研究现状,以及荧光光谱和成像技术等实用光活检技术的临床应用(2)非消融性光疗的基本作用机制和研究进展(3)扫描共焦显微术、多光子荧光显微术、近场光学扫描显微术和光镊等显微生物成像技术的工作原理和应用。最后,展望了激光与光电子技术在生命科学中的应用前景。

**关键词** 光电子技术,光活检,非消融性光疗,光保健术,生物光子技术

### Optoelectronics in health care treatment and biology

XIE Shu-Sen<sup>†</sup> LI Hui LI Bu-Hong GONG Wei

(Fujian Provincial Key Laboratory of Photonic Technology, School of Physics and OptoElectronics Technology, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

**Abstract** The principle and important applications of lasers and optoelectronics in health care treatment and biology are reviewed, including optical biopsy, nonablative optical treatment and biophotonic technology. The history, main advantages as well as recent progress and development of optical biopsy in pathological discrimination are first introduced. In particular, laser-induced fluorescence spectroscopy and imaging techniques are described in detail. Secondly, the nonablative mechanism and clinical applications of optical treatment are summarized. Thirdly, the principle and applications of confocal laser scanning microscopic imaging, multi-photon excited fluorescence microscopic imaging, near-field optical microscopic imaging, and optical tweezers are described. Finally, future applications and prospects are briefly discussed.

**Keywords** optoelectronic technology, optical biopsy, nonablative optical treatment, optical health care, biophotonics technology

### 1 引言

作者曾在《激光美容外科》中译本<sup>[1]</sup>前言里说到:当我提笔撰写这篇前言的时候,不禁想起杰出的物理学家爱因斯坦的一句话:“自然界最不可理解的就是它竟然可以被理解!”利用激光辐照技术,能够把有皱纹的老化表皮化成气体,皮肤从而呈新鲜

模样,使人还老返童,再现青春。对如此神奇的“换肤术”,是可以理解还是不可理解呢?不管怎样,这毕竟已经是客观存在的事实了。这是激光、光电子技术医学领域渗透、拓展的一项标志。

\* 国家自然科学基金(批准号:60178022)资助项目,福建省自然科学基金(批准号:2002F008)重大项目

2004-12-06 收到初稿,2005-03-28 修回

<sup>†</sup> 通讯联系人。Email: ssxie@fjnu.edu.cn

可以把研究与光的产生、传播、操纵、探测和利用有关的光物理现象和技术的科学及工程笼统地简称为光学。用光学最广的含义来概括各研究领域及其相关交叉分支时必然要包括激光和光电子技术。运用光学及其技术研究光与人体组织的相互作用问题可归之于“组织光学”范畴。它是研究光辐射能量在生物组织体内的传播规律以及有关组织光学特性的测量方法的一门新兴交叉学科,是光医学(光诊断和光治疗)的理论基础<sup>[2]</sup>。经过40多年的发展,激光与光电子技术在人类的保健、医疗以及生命科学中产生了很大影响<sup>[3]</sup>。

在医学领域,光电子技术使各种新疗法,包括从激光心脏手术到用光学图像系统的关节内窥镜进行微损膝关节修复等成为可能或得以实现。目前,科学家们正致力于研究光学技术在非侵入式诊断和检测上的应用,如乳腺癌的早期探查、糖尿病患者葡萄糖的“无针”监控等。激光在医学上的最早应用虽然集中在治疗方面,然而在20世纪80年代初期起便开始了光诊断技术的探索。指望无损害地获得诊断信息是这些研究的驱动力之一,其中在物理学中高度发展的光谱技术有望在诊断医学中得到应用。利用光纤把光传输到身体内部的能力,可以完成膀胱、结肠和肺等器官的检查。随着医学诊断方法向无损化方向发展,利用光电子学技术对组织体进行鉴别和诊断,有可能更早地和更精确地诊断各种疾病,人们把这种诊断方法称之为“光活检”<sup>[4]</sup>。

随着现代医学模式的转变,健康概念的更新以及人民生活水平的提高,从20世纪80年代后期起,“激光美容术”在世界各地包括在我国各大城市逐渐地开展。保健美容是光电子技术应用越来越活跃的领域。激光技术应用于美容外科起步较早,使得一些在美容整形外科很棘手的疾病,如太田痣、血管瘤等治疗变得简易有效。到20世纪末,人们又开发了一种称为光子嫩肤术的新美容技术。它基于选择性的光热解作用,有效地改善肌肤的质地和弹性,达到美容的效果。目前,用激光或强脉冲光进行非消融性的嫩肤或治疗越来越流行,原因是这类手术具有无损、不必住院、几乎无副作用和无疼痛等优点,从而使受术者容易接受。

在视觉、测量、分析和操作方面,光电子技术为生物学研究提供了新方法。共焦激光扫描显微镜为人们展示了生物结构的详细的三维图像。近场技术的采用使显微镜的分辨率提高到衍射极限以上。光学技术能够炫耀自己的一个成果是激光镊(钳)。在

较大器官的尺度上,光的机械力通常是微不足道的。但对于大分子和细胞尺度的生物器官,光的机械力就显得很大了。于是激光镊(钳)提供了一种对微观尺度物质进行操作的无可替代的方法。它在水中拉动一个细菌,拦截漂流的精子细胞或者捕获一个在细胞间运动的气泡。近年发展起来用于生物医学研究的多光子激光扫描共焦显微系统或激光钳等设备是集21世纪人类在光、机、电以及计算机等高新技术之精华,其达到的高灵敏度、高分辨率、高放大倍数以及可活体检测等特征可谓光电子技术发展水平的一种集中体现,不仅提高了荧光显微镜的功能,同时也使细胞内微区光化学研究成为可能。

国家自然科学基金委委员会先后两次在“光子学与光子技术”以及“生物医学光学”优先资助领域战略研究报告中<sup>[5,6]</sup>分别指出:近年来生物医学光学与光子学的迅猛兴起,令人瞩目,并因而引发出了一门新兴的学科——生物医学光子学(Biomedophotonics)。研究报告选定了近期优先资助的研究领域包括生物光子学、医学光子学基础研究、医学临床的光学诊断和激光医学中的重要课题等诸方面。本文根据以上研究结果介绍光电子技术在保健医疗和生物学应用方面的新进展,其中包括光活检技术、非消融性光疗(光保健)技术以及生物光子技术。

## 2 光活检技术(Optical biopsy)

光活检旨在为临床组织病理学提供无损、实时、精确和客观的先进活检手段,从而实现利用光学技术来诊断人类的各种疾病。光活检集当代光电子学、光谱术、显微术和计算机技术为一体,以其极高的分辨率、灵敏度、精确度以及无损、安全、快速等优点而成为当前国际上发展迅速的新开拓领域,近年来倍受关注,并得到了广泛的研究和开发<sup>[7-10]</sup>。

如图1所示,在光活检中可以通过对组织中反射光、透射光、散射光或是组织被激发光激发后所产生的荧光(包括自体荧光和药物荧光)检测和成像来实现对人体不同组织的病理诊断。光活检技术从根本上摆脱了长期以来依靠医生目视经验观察、诊断和取样活检的传统组织病理学诊断方法,依据人体不同组织所特有的光学特性实时鉴别和诊断出被检组织所处的不同生理状态,包括正常组织、良性病变组织、早期癌变组织、动脉粥样硬化和组织的功能状态等,从而实现组织病理的早期诊断,这在临床医学应用中具有重大意义和实用价值。

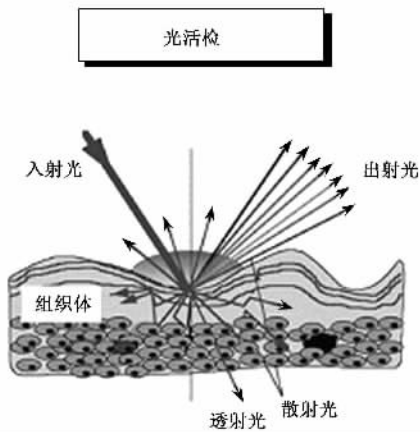


图1 光活检中的光探测及荧光示意图

## 2.1 光活检的发展现状

光活检的发展历史可以追溯到 20 世纪 80 年代初纽约城市大学 (CUNY) 超快光谱和激光研究所 (IUSL) 用光进行癌症诊断的研究工作。国际光学工程学会 (SPIE) 于 1994 年在美国 Los Angeles 以“激光和荧光光谱在癌症及其他疾病诊断中的应用进展”为主题,召开了第一次光活检国际学术会议。在过去的 20 年里,光活检在世界范围内得到了广泛的关注。SPIE 和其他洲际性以及地方性学术团体先后举办了 200 多个以光活检为专题的国际会议。SPIE 出版了以光活检为专题的国际学术会议论文集近 50 卷,这些论文集大多以光活检 (optical biopsy 或 optical biopsies) 命名。由于光诊断和光治疗之间的密切相关,所以近年来国际学术会议把原来相对独立的光活检和光治疗两个研究专题结合起来。近年来,国内举办的所有光学学科学术会议几乎都专门增设了“生物医学光学”会场。每年在美国 San Jose 举办的全球规模最大的光子学西部会议 (Photonics West) 上,也都设有“光活检专题会场。与此同时,许多国际著名学术刊物,如生物医学光学杂志 (Journal of Biomedical Optics)、生物医学成像 (Biomedical Imaging)、医学生物物理 (Med. Phys. Biol.)、激光外科和医学 (Lasers in Surgery and Medicine)、激光医学科学 (Laser Medicine Science) 等每年都大篇幅地刊登了与光活检相关的理论和临床应用研究工作。美国科学院年刊于 1998 年出版了反映光活检领域最新研究成果和动态的首部专著<sup>[11]</sup>。总之,光活检的基础和应用研究方兴未艾,与此相关的研究内容已经引起了国内外同行的高度重视,越来越多的科学家纷纷加盟了该领域的研究和技术开发。

## 2.2 光活检的优点

与传统的手术活检相比较,光活检是一种非侵入式的组织病理分析方法。它能克服手术活检过程中可能引起的组织体生物化学性质的改变,由此导致病理分析结果的不可靠性;与 X 射线、CT 和 MRI 等检查相比,它不仅能避免离子辐射,而且能实现病理的早期诊断。其次,手术活检取样具有很大的随机性,往往因为只能从所选择的部位上取出少量的组织体,并不一定能准确地反映出病灶组织的真实情况,很大的程度上取决于医生的临床经验。与此相反,光活检不需要取出组织样品,同时光活检的灵敏度很高,能够诊断出各种早期的组织病变,分析结果的准确性与病变组织的大小无关。另外,手术活检取出组织样品之后,病理分析需要花费很多的时间,严重地限制了实时报告结果的要求,更为关键的是医生在施行手术过程中无法及时得到病理分析的反馈结果,因此不能有效地实现手术过程中对病灶的精确切除,而光活检能为组织的病理分析提供实时、客观的结果。最后,在病理分析过程,根据已经建立的组织学进行比较判断,医生的主观性很大。特别是对于一些临床特殊的疑难病例,传统的病理分析就更加暴露出它的局限性。所以从根本上说,手术活检是将摘取出来的离体组织样品送到仪器上进行分析,而光活检是将检测系统的探头在人体体表或通过内窥镜的活检通道伸入到人体体腔内进行快速、准确的病理分析。

## 2.3 光活检的实用技术及其应用

光活检的实用技术大致可分成两大类:光谱诊断技术和光学成像技术。

对于前者,其原理是光在组织或细胞中经历一系列吸收和散射后,由于生物体内的吸收因子和散射因子会对光子的传输产生调制,因而出射光中携带着与吸收和散射相关的组织生化信息。其中吸收主要源于组织体内的生色团,散射源于细胞膜电位或细胞膨胀。生色团又可分为氧合血红蛋白、脱氧血红蛋白、细胞色素氧化酶等内源性生色团和荧光探针、染料等外源性生色团。组织光谱诊断包括吸收 (反射) 光谱、近红外光谱、激光诱导荧光光谱、弹性散射光谱和拉曼散射光谱等。激光光谱以其极高的光谱和时间分辨率、灵敏度、精确度以及无损、安全、快速等优点而成为光活检中的重要研究领域。

组织的光学成像技术包括利用光学相干层析成像、激光散斑成像、扩散光子密度波成像、激发扫描

共聚焦显微成像等光学功能成像,实现对细胞或组织功能参数(如血氧含量、血容量、钙离子浓度等)生理生化参数变化的成像监测或检测,以及利用激光诱导荧光光谱成像、荧光寿命成像、偏振干涉成像、超声调制光学成像、时间分辨和非线性光学成像等,实现病变的早期诊断与精确定位。同时有可能实时确定病灶的边界,以指示手术操作。

不同的光活检技术在信号强度、设备造价和复杂程度等方面有各自的优点和缺点,所以它们在组织病理诊断和功能监测的应用中并不是一种相互取代关系,而是互补关系。例如,荧光光谱成像技术可以实现对早期肿瘤的诊断和定位,如图2所示。但如果利用拉曼光谱和光学相干层析成像技术,则可以分别给出病变组织不同发展阶段和在组织结构等方面的更多诊断信息。

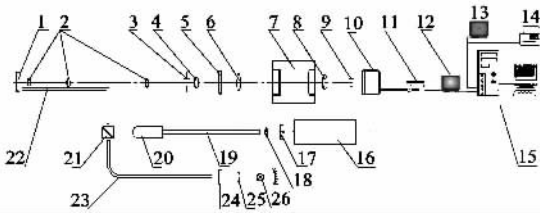


图2 鼻咽癌荧光光谱诊断成像系统示意图

1. 保护玻璃; 2. 组合物镜; 3. 视场光栏; 4. 目镜; 5. 栅滤光片;
6. 转换透镜; 7. 像增强器; 8. 目镜; 9. 出瞳; 10. 氩离子激光器;
11. 滤光片; 12. 耦合透镜; 13. 石英光导纤维; 14. 短焦距透镜;
15. 立方棱镜; 16. 鼻咽内镜传光束; 17. 外接传光束; 18. 隔热玻璃;
19. 聚光镜; 20. 白光光源

光活检技术涉及医学、物理学、化学、生理学和生命科学等一系列交叉学科,它的研究内容十分广阔,发展非常迅速,是一个富有相当挑战性的新兴研究领域,需要来自不同学科的科学家的积极参与和共同配合,因此要使该项技术临床实用化,并成为临床组织病理分析的常规手段,是一个相当复杂的综合工程。尽管如此,可以相信,一个光诊断的崭新时代已为期不远。

### 3 非消融性光疗技术( Nonablative optical treatment )

20世纪80年代末期出现的激光消融换肤技术是目前治疗光老化皮肤的最有效的方法,并已被证明是有效的和可以重复的一项医疗美容技术。但是这一技术是有损的,即它需要消融皮肤,由此形成的

伤口必然给患者带来痛苦和潜在危险(如感染、疤痕等),并且患者需要较长的复原时间。非消融性光疗技术是20世纪90年代末开发的一项新的皮肤医疗美容技术,它具有不影响患者的工作时间,几乎无副作用和疼痛等优点。它的出现是源于激光消融换肤技术的发展。

由于皮肤中的多数病损常处于真皮层中,并不需要破坏表皮层,也不需要破坏病损组织周围的正常组织,而只需使病损目标组织凝固坏死就能达到理想的治疗效果。犹如我们常说的“隔墙打物”,即在不破坏表皮层和周围正常组织的前提下,仅对真皮层中的病损目标组织形成特异性破坏。

非消融性光疗技术的基本作用机制是光诱导的选择性光热解效应(selective photothermolysis)<sup>[12]</sup>。一般哺乳动物的组织被加热到70—100℃会造成蛋白变性。生物组织吸收光子后将产生热量,导致温度升高,达到蛋白变性时,组织将凝固坏死。利用这一光热效应,使病损组织选择性吸收相应光能,达到这一温度,实现治疗目的。其次,它利用了生物组织不同组分如水、黑色素、血红蛋白等对不同波长的光辐射的吸收各不相同的特性。通过选择真皮层中病损组织有最大光学吸收的辐射波长,而表皮层和周围正常组织对该波长的光吸收相对而言较小的波长,可以实现对病损组织的选择性破坏。这是因为病损目标组织吸收更多的光能后温度升高至组织凝固坏死所需的阈值,而表皮层和周围正常组织的温度还处于这一阈值之下,因而能选择性地热破坏病损组织而不会损伤周围的正常组织。最后,必须考虑脉冲光的脉冲持续时间。这是由于表皮层和周围正常组织与病损组织之间的温度差异会造成两者之间的热传递,热能从病损组织扩散到周围,使表皮层和周围正常组织吸收热能后进一步升温。因此,如果光脉冲辐射时间太长,表皮层和周围正常组织也可能因热扩散吸收了过多的热能,从而使温度超过凝固坏死的阈值,造成损伤,这是成功实施该类光热治疗技术所必须避免的。

在理想的情况下,在光辐射过程中,仅是真皮层中的病损目标组织对某一波长的光辐射有吸收,而没有热从病损目标组织向周围扩散,由此形成的温度分布如图3所示<sup>[13]</sup>。图中 $T_0$ 表示辐射曝光前正常组织和病损组织的温度都为体温。在辐射曝光过程中和辐射曝光刚结束时,病损目标组织的温度分别迅速上升至 $T_1$ 和 $T_2$ ,而周围正常组织的温度保持不变。 $T_3$ 、 $T_4$ 、 $T_5$ 温度分布曲线表示经过热扩散过

程,病损目标组织的温度逐渐下降,而表皮和周围正常组织的温度逐渐升高.最后,它们温度逐渐趋向相等( $T_0$ ),并逐渐降低至体温.

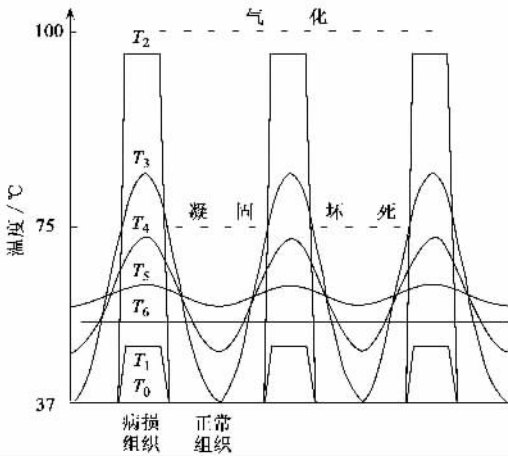


图3 选择性光热解作用中生物组织温度分布

实际上在可见光和近红外光范围内,表皮层和正常组织与许多病损目标组织对某一特定波长的光辐射吸收的差异并不是足够大,造成两者之间温度的差异不明显,因此在一定程度上限制了非消融性光疗技术在临床上的应用.为了解决这一矛盾,在实际应用时使用了皮肤冷却技术来保护表皮层.目前使用的冷却方式主要有接触式冷却和制冷剂喷雾式冷却.使用冷却技术的优点除了保护表皮层外,还可以对许多抗激光治疗的病损目标组织使用更大的光剂量及减少治疗后的疼痛和肿胀.

多种光源已被用于非消融性光疗技术的研究.1320nm的Nd-YAG激光是第一种用于非消融性治疗光老化皮肤的激光.585nm的染料激光,1064nm的Nd-YAG激光和1540nm的钕玻璃激光也先后用于这一项研究.此外,还有非激光的强脉冲光系统.由于强脉冲光源能辐射出宽光谱的光,辐射波长、能量密度、脉冲数和脉冲持续时间等参数在一定范围内可根据需要进行多种组合,因此在临床应用上,它具有自身的有利因素.

经过几年的发展,非消融性的光疗技术取得了一定的进展.许多文献<sup>[14]</sup>都报道了利用这一技术治疗光老化皮肤获得的进展.但我们更应该看到这一技术目前存在的问题.首先,组织中不同组分对各种波长光的特异性吸收性质还需要进一步的研究.只有对各种组分的特异性吸收性质有了充分的认识,才能更准确地选择对病损目标组织实现特异性热破坏的理想波长.其次,要进行各种非消融性光源的对

比研究.目前,各种光源选用不同的治疗参数,治疗结果各不相同,缺乏对比性.确切的作用机制值得深入研究,以便确定统一的治疗标准.最后,激光生物效应需进一步探索.组织活检的结果与实际效果并不完全相符,疗效的判定方法也因此缺乏说服力,病损目标组织凝固坏死后组织自身的修复过程尚需进一步研究.

但是可以展望,随着对各种问题的进一步深入研究和探索,非消融性光疗技术在皮肤医疗美容外科中具有美好的应用前途.

## 4 生物光子技术(Biophotonic technology)

光学与光子学基础研究的发展,特别是激光光电子技术的进步,产生了许多基于光学的新的生物学研究技术和方法,为生物学研究提供了前所未有的可能性和深入性,使某些原来未知的生物过程和新药物得以发现.激光光电子技术或光子技术已成为现代生命科学研究的重要工具,并为生物工程技术研究带来了革命性的变化.涉及生物学应用的光子技术有许多方面,这里借用文献[3]的分类,概括地将生物光子技术分为三大类,即:成像技术、非成像的测量分析技术和细胞操纵技术.其中,非成像的测量分析技术涉及的领域较广,包括细胞计数、生理生化指标的光学检测等多方面.限于篇幅,以下仅简单介绍显微成像和细胞操纵技术.

### 4.1 显微成像技术

#### 4.1.1 激光扫描共焦显微术(Confocal laser scanning microscopic imaging)

光学显微镜与激光、计算机和数字图象处理相结合的光学显微成像技术是于1957年发明而直到1980年代才兴起的.共聚焦显微镜系在显微镜的基础上配置激光光源、扫描装置、共扼聚焦装置和检测系统而成的新型显微镜,如图4所示<sup>[15]</sup>.光路结构上的核心是所谓双针孔的物像共扼设计.放置在探测器前面的共聚焦针孔使物镜焦点处所发出的荧光能通过针孔到达探测器,而焦点外上、下、左、右的点不能在探测针孔处成像,因此大大减小了闪烁和散射光所形成的噪声.通过横向扫描,得到的共聚焦图像是标本的光学横截面(被焦平面切割的断层).如果逐步调节样品z轴(光轴)位置,可产生高信噪比

的样品多幅断层图像。共聚焦显微镜的分辨率大约比普通显微镜高 1.4 倍。可取代活组织(如皮肤)的切片检查,被形象地称为显微 CT。共聚焦显微镜使用紫外或可见光激发荧光探针,可进行弱光检测、活细胞定量分析和重复性极佳的荧光定量分析,可得到细胞或组织内部微细结构的荧光图像,在亚细胞水平上观察诸如  $\text{Ca}^{2+}$ 、pH 值、膜电位等生理信号及细胞形态的变化,以及离体观测基因表达的规律,成为生物化学、细胞生物学、发育生物学和神经生物学等生物医学研究领域新一代强有力的工具。

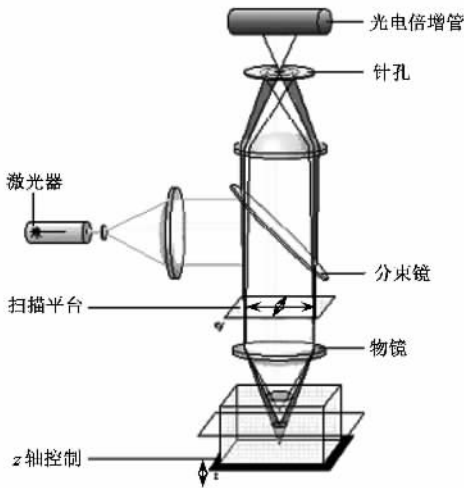


图 4 激光扫描共聚焦显微镜光路示意图

#### 4.1.2 多光子荧光显微术(Multi-photon excited fluorescence microscopic imaging)

飞秒脉冲激光在物镜的焦点附近非常微小的区域内因强度极高而发生双光子吸收,产生相应的荧光信号。在焦点区域外,由于光强较弱而不发生双光子吸收,从而没有荧光信号。因此,不需要共聚焦荧光显微术中的空间滤波器。而且,由于采用长波长激发,更是可以获得比单光子激发更深的成像深度,更低的光毒性与光漂白,因而成为近年来生命科学研究的重要手段,也因此成为光学显微技术研究的热点。

#### 4.1.3 近场光学扫描显微术(Near-field optical microscopic imaging)

其原始概念可追溯到 1928 年的一篇文章。利用光从纳米尺度的针尖发射,并通过测量针尖附近的几十个纳米范围内反射、透射或荧光信号,来推断针尖附近局部的光学性质。借助扫描隧道显微镜和原子力显微镜发展起来的技术,针尖能以原子尺度的

精确度进行扫描,因而可以获得 20nm 的空间分辨率。与光谱技术及弱信号检测技术相结合,则能够实现原子尺度上的光谱学。

#### 4.2 显微操纵技术<sup>[3,4]</sup>——光镊(Optical tweezer)

光对物体有作用力是麦克斯韦早在 1873 年在电磁理论中就给出预言的,但直到 1960 年激光发明后,才有可能利用聚焦的强激光光束来研究电磁辐射的压力作用。据估算<sup>[4]</sup>,当太阳光垂直入射地球表面时,其产生的光压仅为  $0.5 \text{ dyn/m}^2$ ,而将 10mW 的 He-Ne 激光束聚焦为  $1 \mu\text{m}$  的光斑时,其焦面上所产生的光压可达  $10^6 \text{ dyn/m}^2$ 。因而实验上容易证实:直径在几个微米的聚苯乙烯球可以被光束移动,甚至可以抵抗重力而被悬浮或提升。

生物细胞多为透明的球状体,其折射率通常大于周围介质的折射率。分析结果表明:光场强度分布不均匀所产生的合力将使该球体被趋向光场内较亮的地方。如聚焦的高斯光束在其焦斑处可形成一个三维的约束势阱。粒子若落在势阱中,则处于一种稳定的状态。如果没有外界强干扰,粒子不会偏离这个势阱。当移动光斑时,粒子也将随之移动。因此,聚焦的光斑所起的作用就如同镊子一般,常称为“光镊”或“光钳”。这样的光阱施加于被约束的粒子的力,除了与所用激光的波长、功率、束腰半径有关外,还与粒子的大小、吸收系数、相对折射率等因素相关,可以按一定的方法进行严格的计算,也可以利用粒子在已知粘滞系数的液体中的拖拽实验直接进行测量。与光镊类似的是所谓的光扳手:扭转光束可使粒子产生转动。如今,利用光镊可以在水中拖动细菌,能够终止精子的游动,或者停住细胞内的水疱。还可以拉伸、弯曲或扭转 DNA 或 RNA,或者大分子的组合,包括各类蛋白质等。光镊技术特别适于研究细胞及亚细胞水平的力学和动力学问题,在显微镜下可以提供相应的运动图像,从而对其中的生物过程有更好和更深入的了解。各种光镊装置已成功捕获各类染色体、病毒、细胞,从而在细胞融合技术、导入外源基因、切割染色体等生物工程中获得广泛应用。

## 5 结束语

生物学或生命科学是激光光电子学及其技术的重要应用领域。从发展来看,在 21 世纪所有的科学技术都将围绕人与人类的发展问题,寻找各自的存在意义与发展面。激光光电子学及其技术已广泛应用或渗透到生物科学和医学的诸多方面,由此所形

成了所谓的生物医学光子学的新兴学科门类,被科学界所认同和重视。目前虽然仅具雏形,但由于其多学科交叉性等特点,其发展迅猛,前景远大。因此,当前应当深入研究包括光在组织中的传输规律与生物组织光学模型、医学光谱技术、生物组织光学成像术等光诊断和光治疗技术及其作用机理。这里大有可为,其中的重大成果将比拟于X射线的发明与CT技术的发明在人类文明史上所起的推动作用,所带来的新一轮生物医学技术革命有可能创造出高新技术产业。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Kulick M I 著. 叶青等译. 激光美容外科. 福州:福建科技出版社,2003 [ Kulick M I. Ye Q *et al.* trans. Lasers in Aesthetic Surgery. Fuzhou: Fujian Science and Technology Press, 2003 ( in Chinese ) ]
- [ 2 ] 谢树森,李晖. 物理,1998,27(10):599 [ Xie S S, Li H. Wu( Physics ), 1998, 27( 10 ) 599( in Chinese ) ]
- [ 3 ] 美国国家研究理事会编,上海应用物理研究中心译. 驾驭光 21 世纪光科学与工程学,上海:上海科学技术文献出版社 2001. 78—114 [ National Research Council. Institute of Shanghai Applied Physics. trans. Harnessing light: Optical Science and Engineering in the 21th Century. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2001. 78—114( in Chinese ) ]
- [ 4 ] 谢树森,雷仕湛. 光子技术. 北京:科学出版社,2004 [ Xie S S. Lei S Z. Photonics Technology. Beijing: Science Press, 2004 ( in Chinese ) ]
- [ 5 ] 国家自然科学基金委员会. 光子学与光子技术. 北京:高等教育出版社/海德堡-施普林格出版社,1999 [ National Natural Science Foundation of China. Photonics and Photonic Technology. Beijing: China Higher Education Press and Springer-Verlag Heidelberg, 1999 ( in Chinese ) ]
- [ 6 ] 谢树森,李晖. 光电子·激光,2004,15(11):1384 [ Xie S S, Li H. Journal of Optoelectronics and Lasers, 2004, 15 ( 11 ) 1384 ( in Chinese ) ]
- [ 7 ] Raloff J. Science News, 2001, 159( 14 ) 214
- [ 8 ] Kincade K, Laser Focus World, 2000, 36( 3 ) 59
- [ 9 ] Chance B. Proc. SPIE, 2002, 4916 1
- [ 10 ] 李步洪,谢树森,陆祖康. 中国激光,2002,30( Suppl. ): 651 [ Li B H, Xie S S, Lu Z K. Chinese Journal of Lasers, 2002, 30( Suppl. ) 651( in Chinese ) ]
- [ 11 ] Alfano R R. Advances in optical biopsy and optical mammography, New York: The New York Academy of Sciences, 1998
- [ 12 ] Anderson R R, Parrish J A. Science, 1983, 220 524
- [ 13 ] 谢树森,龚玮,李晖. 光电子·激光,2004,15(10):1260 [ Xie S S, Gong W, Li H. Journal of Optoelectronics and Lasers, 2004, 15( 10 ) 1260( in Chinese ) ]
- [ 14 ] Raulin C, Greve B, Grema H. Lasers Surg Med., 2003, 32 ( 2 ) 78
- [ 15 ] 取自蔡司公司网站 <http://www.zeiss.com.cn>

### · 招生招聘 ·



# Rensselaer

## 美国伦斯勒理工学院招生信息

Troy, New York, U. S. A.

December, 2005

JOIN OUR GRADUATE SCHOOL IN PHYSICS

Ph. D. in Department of Physics, Applied Physics, and Astronomy

Areas of research: Terahertz Imaging and spectroscopy, Terascale Electronics, Photonic bandgap structures, nanoelectronic quantum structures, Bio-physics, Origins of Life, Astronomy, Elementary Particles Physics. Teaching, research assistantships, and fellowships are available.

**Application** <http://www.rpi.edu/dept/grad-services/>

**Information** <http://www.rpi.edu/dept/phys/>

**Email** [gradphysics@rpi.edu](mailto:gradphysics@rpi.edu)