

Development of Dual-Band Filter with 1064 nm/1320 nm in Laser Assisted Liposuction

Yonggang Pan^{1*}, Cheng Zhang¹, Xiuhua Fu²

¹Tianjin Mars Bird Technology Co., Ltd., Tianjin

²Department of Optics and Electric Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun Jilin
Email: *pyg_optics@163.com

Received: Feb. 27th, 2019; accepted: Mar. 13th, 2019; published: Mar. 21st, 2019

Abstract

With the development of body fat molding technology, laser assisted liposuction has been widely used in this field. In this paper, the dual-band filter with 1064 nm/1320 nm was designed and developed, the special filter is used in laser assisted liposuction technology. Ti_3O_5 and SiO_2 were selected as high and low coating materials for design and optimization of the film, the technology requirements were realized by using spin-off coating technology in substrate double-side. By means of and assisted deposition technology and process optimization, the dual-band filter which meets the requirements of spectral characteristics, firmness and environmental test is prepared.

Keywords

Optical Film, Dual-Band Filter, Laser Assisted Liposuction, Process Optimization, Environmental Test

激光辅助融脂中1064 nm/1320 nm双通道带通滤光膜的研制

潘永刚^{1*}, 张程¹, 付秀华²

¹天津焯鸟科技有限公司, 天津

²长春理工大学光电工程学院, 吉林 长春

Email: *pyg_optics@163.com

收稿日期: 2019年2月27日; 录用日期: 2019年3月13日; 发布日期: 2019年3月21日

摘要

随着体内脂肪塑形技术的不断发展, 激光辅助融脂得到广泛应用。本文设计研发了激光辅助融脂中1064 nm/1320 nm双波段带通滤光膜, 选择 Ti_3O_5 和 SiO_2 作为高低镀膜材料进行膜系的设计与优化, 利用分拆

*通讯作者。

镀膜技术在衬底实现双面镀膜。采用离子辅助真空沉积技术,通过工艺优化,制备出满足光谱特性要求、牢固度要求及环境测试的双带通滤光膜。

关键词

光学薄膜, 双带通滤光膜, 激光辅助融脂, 工艺优化, 环境测试

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着生活品质的提升,拥有匀称健康的身材是所有爱美之心人士的共同愿望,由于造成肥胖的原因有很多,单纯依靠锻炼和食疗控制很难达到理想的状态[1],激光融脂以其数字定位、安全、损伤小、不见血、纯脂率高(达 90%)、平滑紧致等优点在瘦身方面广泛应用[2][3]。激光融脂是运用一定能量的特殊激光,经过数字定位后在体外对着肥胖部位照射数分钟,以此将体内脂肪融化掉,从而达到明显的瘦身效果。激光融脂技术通常采用的激光波长为 1064 nm 和 1320 nm,例如 20 瓦的 1064 nm 激光与 10 瓦的 1320 nm 激光混合,可用于深部大块脂肪溶解;10 瓦的 1064 nm 激光与 10 瓦的 1320 nm 激光混合,可用于加热浅层真皮组织中的胶原纤维(水分)。高铁血红蛋白对 1064 nm 波长激光的吸收是血红蛋白的 3~5 倍(很可能导致血凝结),而 1064 nm 波长激光与水的亲和力较 1320 nm 波长激光低,但是前者的穿透性更强,能量分布更加广泛。1320 nm 波长激光与此恰恰相反,它在脂肪及胶原(水)组织的吸收参数更高,并且热能分布明显较 1064 nm 波长激光局限,集中。因此,通常需要将这两种混合后使用,来弥补独自使用的缺陷。

本文主要针对激光融脂系统中带通滤光片进行研制,针对 1064 nm 和 1320 nm 研制了双带通滤光片。虽然 1064 nm 和 1320 nm 都是激光波段,但是在激光融脂技术中激光的功率都很小[4][5],因此在膜系设计中不需要特别考虑膜层的激光损伤阈值问题。依据膜系设计理论,以多通道带通膜系为基础膜系,采用双面镀膜的拆分技术设计双波段带通滤光片,并通过工艺优化,研制出满足激光融脂系统技术要求的双波段带通滤光膜。

2. 膜料选择与膜系设计

2.1. 膜料选择

根据激光融脂系统的技术要求,1064 nm/1320 nm 双带通滤光膜的技术参数如表 1 所示。

Table 1. The technical parameter requirements of dual-band-pass filter

表 1. 双带通滤光膜技术指标

名称	波长范围/nm	技术参数
透过波段	1064 ± 10 以内	T ≥ 96%
	1320 ± 12 以内	T ≥ 96%
截止波段	900~1040	T ≤ 0.5%
	1080~1300	T ≤ 0.5%
	1340~1500	T ≤ 0.5%

根据表 1 技术参数可知,使用波段集中在近红外区域,且依据膜系设计理论,滤光膜设计至少需要高、低两种折射率材料的进行匹配优化设计。在近红外区常用的高折射率材料有 HfO_2 、 Ti_3O_5 、 Ta_2O_5 、 ZrO_2 等,常用的低折射率材料有 MgF_2 、 SiO_2 、 YF_3 等,其中 Ti_3O_5 透明范围在 300~10,000 nm、折射率在 2.3~2.4@550 nm,折射率、吸收损耗小、光学常数稳定; SiO_2 膜料透明区 200~4000 nm、无吸收、牢固度好、光学特性稳定,与 Ti_3O_5 匹配良好[6]。再镀膜机及镀膜工艺条件,选择 Ti_3O_5 和 SiO_2 分别作为高低折射率材料进行膜系优化设计。 Ti_3O_5 和 SiO_2 镀膜材料均采用沈阳飞创光电科技有限公司提供的颗粒 1~3 mm 的优质镀膜材料。

2.2. 膜系设计

由于该滤光片的光谱曲线要求严格,采用常规制备工艺很难实现。因此利用拆分技术在两个面上实现薄膜的设计与制备。经过设计发现采用双带通加长波通的设计方案设计与制备难度最低。经过拆分,前表面实现 1051~1071 nm 及 1310~1330 nm 双波段高透,1080~1300 nm 及 1340~1500 nm 波段高反,900~1040 nm 不做重点优化;后表面实现 900~1040 nm 波段高反,1051~1071 nm 及 1310~1330 nm 双波段高透,双面组合实现表 1 所示的技术要求。

1) 前表面膜系设计

根据对前表面技术要求的分析,结合膜系设计基本理论,采用多带通对称膜系作为基础膜系,有利于膜系优化,达到更好的设计结果。基础膜系表达为: S|HLHLHLH2LHLHLHLHLHLHLHLH2LHLHLHLHLHLHLH2LHLHLHLHLHLHLH|A, 其中 S 代表 K_9 衬底, H 代表 Ti_3O_5 , L 代表 SiO_2 , A 代表空。理论设计光谱曲线如图 1 所示。

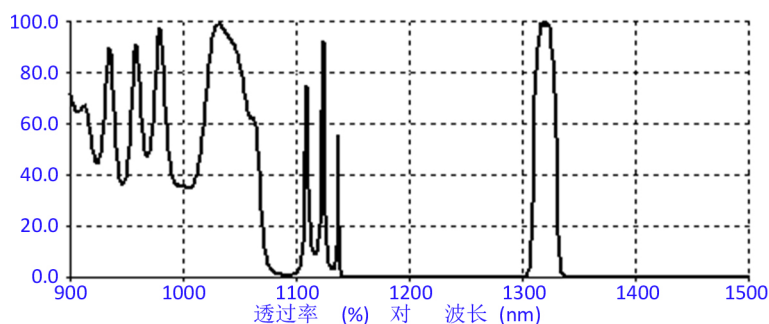


Figure 1. The curve of theoretical design spectral

图 1. 理论设计光谱曲线

由图 1 可以看出,基础膜系的光谱曲线已经呈现前表面光谱曲线的基本形状,在 1080~1300 nm 和 1340~1500 nm 波段实现高反射,在 1320 nm 波段附近实现高透射,在 1064 nm 附近有三个透过峰带。但是仍然不能满足前表面的技术要求,故需要对基础膜系进行优化分析,根据要求设计优化参数如表 2 所示。

Table 2. The parameters of front surface optimization

表 2. 前表面优化参数

名称	波长范围/nm	技术参数	容差
透过波段	1055~1072	$T \geq 96\%$	1
	1310~1330	$T \geq 96\%$	1
	900~1040	$T \leq 0.5\%$	4
截止波段	1080~1300	$T \leq 0.5\%$	1
	1340~1500	$T \leq 0.5\%$	1

根据表 2 所设置的优化参数,对基础膜系进行优化,优化后的光谱曲线如图 2 所示。

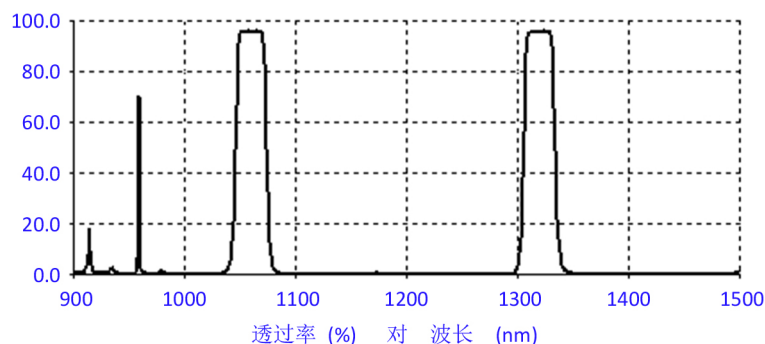


Figure 2. The curve of optimized theoretical spectral
图 2. 优化的理论光谱曲线

由图 2 可以看出, 设计光谱曲线在 1051~1071 nm 波段平均透过率为 95.5%, 在 1310~1330 nm 波段平均透过率为 95.6%, 在 1080~1300 nm 波段平均透过率为 0.1%, 在 1340~1500 nm 波段平均透过率为 0.1%, 均满足设计要求。但是在 913 nm 及 960 nm 附近有窄的透过带, 因此需要后表面进行设计滤光。

2) 后表面膜系设计

结合前表面膜系设计的结果, 后表面设计需要在 900~1040 nm 波段实现高反, 在 1051~1071 nm 波段和 1310~1330 nm 波段实现高透, 基本光谱曲线接近长波通, 因此采用长波通作为基础膜系, 基础膜系的表达式 $S|(0.5HL0.5H)^9|A$, 其中 S 代表 K_9 衬底, H 代表 Ti_3O_5 , L 代表 SiO_2 , A 代表空。对基础膜系进行优化, 优化参数设置 900~1040 nm 透过率小于 5%, 1051~1071 nm 和 1310~1330 nm 波段透过率大于 96%, 容差设置均为 1, 优化后的光谱曲线如图 3 所示。

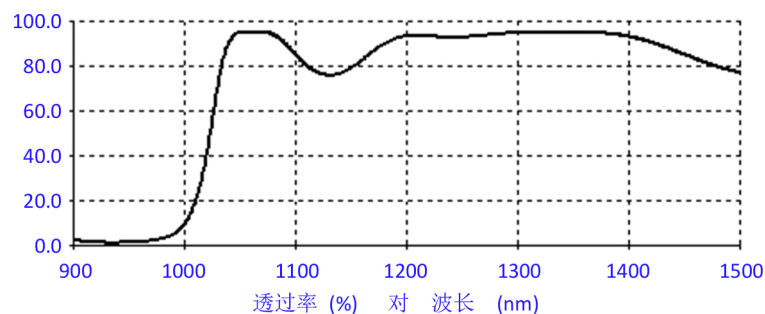


Figure 3. The curve of optimized theoretical spectral
图 3. 优化的理论光谱曲线

由图 3 可以看出, 设计光谱曲线在 900~1040 nm 波段平均透过率 14.5%, 1051~1071 nm 波段平均透过率为 95.0%, 在 1310~1330 nm 波段平均透过率为 95.04%。虽然在高反射波段透过较高, 但是结合前表面综合考虑, 可以满足技术要求。

将前后两面结合起来, 设计光谱曲线如图 4 所示。

由图 4 可以看出, 在 1051~1071 nm 平均透过率为 99.5%, 在 1310~1330 nm 平均透过率为 99.7%, 在 900~1040 nm 平均透过率为 0.37%, 在 1080~1300 nm 平均透过率为 0.1%, 在 1340~1500 nm 平均透过率为 0.1%, 均满足技术要求。

3. 薄膜制备

薄膜的制备是在成都西沃克 1100 型真镀膜机上完成, 该机配有 IC/5 石英晶体膜厚监控仪、双电子枪及考夫曼离子源。离子源主要有两个作用: 1) 蒸镀前对衬底进行预处理, 可有效去除二次污染, 活化

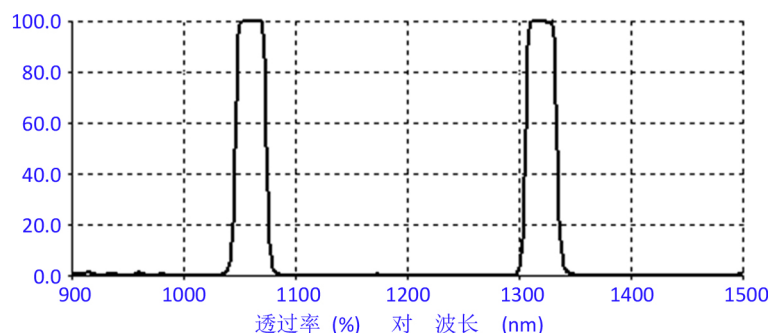


Figure 4. The curve of two-side design spectral transmission

图 4. 双面设计光谱透过率曲线

基底表面,有助于提高膜层与基底之间的结合力[7]; 2) 沉积过程中,提高膜层致密性、改善膜层牢固度[8]。

离子源工艺参数如表 3 所示。薄膜制备在过程中的主要工艺参数如表 4 所示。

Table 3. The cleaning parameters of ion source

表 3. 清洗处理离子源参数

屏极电压/V	420
加速电压/V	280
阳极电压/V	54
中和电流/A	20
阴极电流/A	15
离子束流/mA	60

Table 4. The deposition process parameters

表 4. 沉积工艺参数

材料	衬底温度(/°C)	本底真空度(Pa)	沉积速率(Å/s)	沉积氧压(Pa)
Ti ₃ O ₅	250	2.5×10^{-3}	3	9.0×10^{-3}
SiO ₂	250	2.5×10^{-3}	8	1.0×10^{-2}

4. 结果与分析

4.1. 光谱特性测试

采用美国 PE 公司 lamda950 型分光光度计对薄膜光谱特性进行检测,测试前表面结果如图 5 所示。

由图 5 可以,测试结果不理想,特别是高透过波段透过率较低,无法满足设计要求。采用逆向反演工程对该结果进行分析,存在两方面原因: 1) 膜系 47 层和 49 层膜层厚度较为敏感,经过模拟当 47 层厚度增加 25 nm,49 层厚度增加 15 nm,光谱透过率曲线就会接近如图 5 所示的结果; 2) 由于薄膜层数较多共 59 层,随着膜层厚度的累积,石英晶体控制法监控积累误差增加同时监控灵敏度下降,特别是 50 层之后,该现象表现的更为明显。针对这两种原因提出以下解决办法: 1) 沉积 47 层时,厚度由原先的 140.67 nm 减少到 119.44 nm; 沉积 49 层时,厚度由原先的 141.35 nm 减少到 127.80 nm; 2) 合理分配监控探头的使用,使得后 10 层薄膜采用一个新的监控探头,可有效减少监控误差。重新制备的膜系测试结果如图 6 所示。

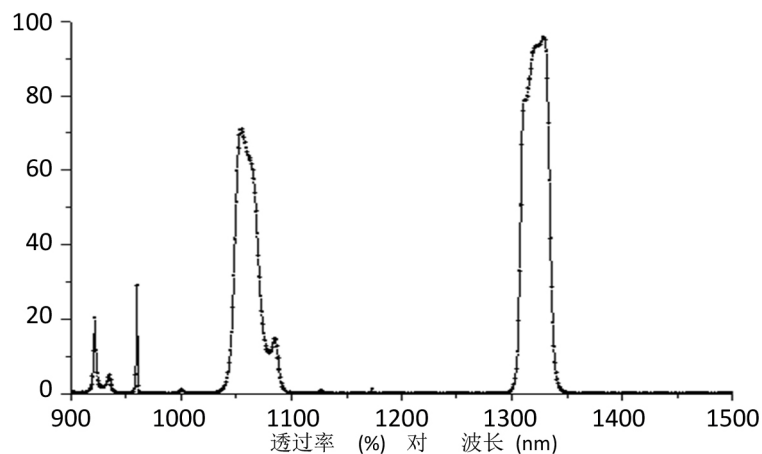


Figure 5. The curve of front surface test spectral

图 5. 前表面测试光谱曲线

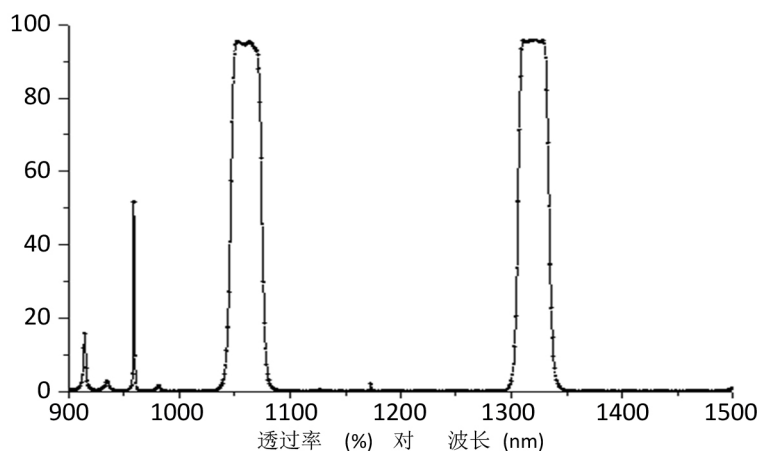


Figure 6. The curve of front surface test spectral

图 6. 前表面测试光谱曲线

由图 6 可以看出, 在 1051~1071 nm 波段平均透过率为 94.3%, 在 1310~1330 nm 波段平均透过率为 94.5%, 在 1080~1300 nm 波段平均透过率为 0.1%, 在 1340~1500 nm 波段平均透过率为 0.1%, 在 913 nm 及 960 nm 附近存在窄的透过带。与设计光谱比较, 虽然在透过波段透过率下降约 1%, 但是可以满足使用要求。

后表面测试光谱如图 7 所示。

由图 7 可以看出, 设计光谱曲线在 900~1040 nm 波段平均透过率 13.5%, 1051~1071 nm 波段平均透过率为 94.5%, 在 1310~1330 nm 波段平均透过率为 94.6%, 满足设计要求。

前后表面制备在同一个衬底上的测试结果如图 8 所示。

由图 8 可以看出, 在 1051~1071 nm 平均透过率为 97.5%, 在 1310~1330 nm 平均透过率为 97.8%, 在 900~1040 nm 平均透过率为 0.37%, 在 1080~1300 nm 平均透过率为 0.1%, 在 1340~1500 nm 平均透过率为 0.1%, 均满足技术要求。

4.2. 薄膜附着力测试与分析

利用粘性强度大于 3 N/cm^2 的 3M 胶带紧贴薄膜表面, 然后沿膜层表面垂直方向迅速拉起, 重复 50 次后, 测试结果如图 9 所示, 其中图(a)为测试前, 图(b)为测试后, 发现膜层没有脱落现象, 符合检测要求。

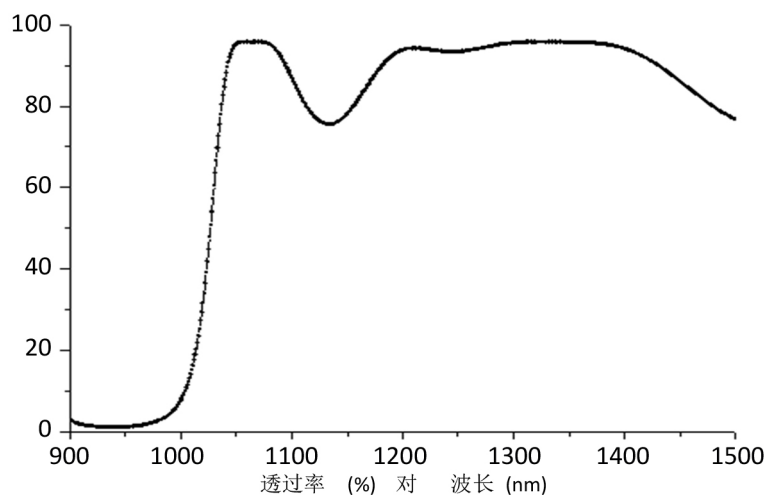


Figure 7. The curve of back surface test spectral

图 7. 后表面测试光谱曲线

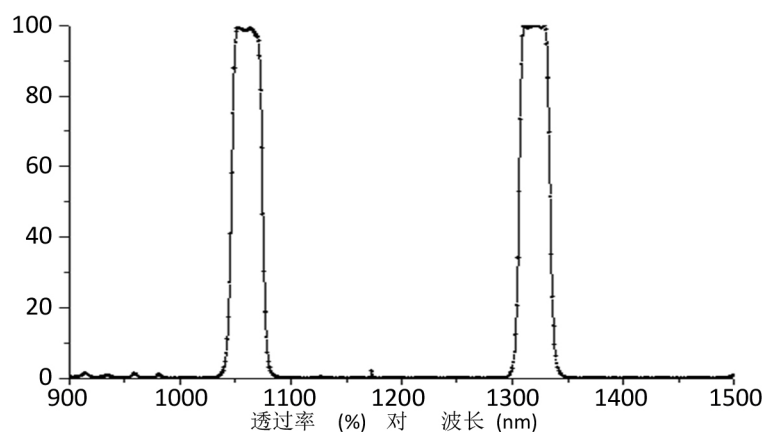


Figure 8. The curve of front-back surface test spectral

图 8. 前后表面测试光谱曲线

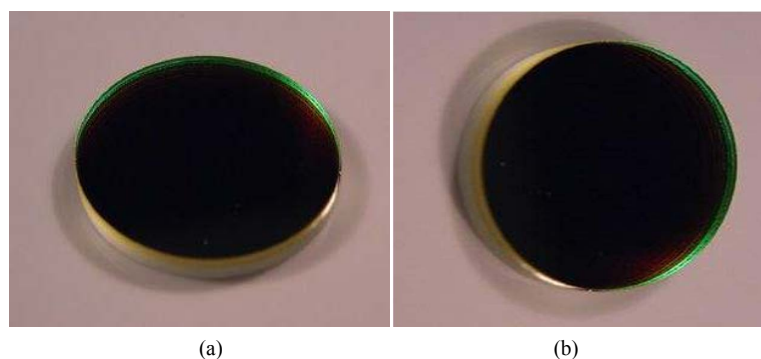


Figure 9. The picture of attachment test

图 9. 附着力测试图

4.3. 环境测试

依据 GB/T 26332-2015 检测标准对光学薄膜进行以下测试:

- 1) 高低温测试: 在无包装的情况下, 将样件放入试验箱中, 在 $-40^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 低温环境中保持 5 小时,

在 $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 高温环境中保持 5 小时, 样件未出现龟裂、脱落、起皱等现象。

2) 湿度测试: 将样品放置在 $50^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 95% 的常温环境下 48 小时, 膜层光谱曲线基本没有变化。

3) 盐水测试: 将无包装样件浸在 5% 的食盐水中, 并放入烘箱内, 调温到 $40^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 保持 24 小时。之后取出样件, 清洁表面并进行检测, 膜层满足使用要求。

5. 结论

本文采用 Ti_3O_5 和 SiO_2 作为高低折射率材料在 K_9 衬底上研制了满足激光融脂系统使用的双波段带通滤光片。利用膜系设计软件, 基于双面拆分镀膜技术, 将复杂的光谱要求的膜系分别镀制在衬底前后两面, 降低膜系的制备难度; 通过逆向反演工程分析膜层沉积过程中存在的问题, 并采用敏感层单独控制和分探头监控的方法, 提高膜层制备的精确度。所制备的双带通滤光膜光谱特性、牢固度及环境测试均满足使用要求。但是双透过波段透过率平均下降约 2%, 如何进一步提高双带通滤光片透过波段的透过率是以后研究的重要方向。

参考文献

- [1] Hunstad, J.P. and Aitken, M.E. (2006) Liposuction: Techniques and Guideline. *Clinics in Plastic Surgery*, **33**, 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.cps.2005.09.003>
- [2] Apfelberg, D., Rosenthal, S. and Hunstad, J. (1994) Progress Report on Multicenter Study of Laser-Assisted Liposuction. *Journal of Plastic Reconstructive and Aesthetic Surgery*, **18**, 259-264.
- [3] Neira, R., Toledo, L., Arroyave, J., et al. (2006) Low-Level Laser-Assisted Liposuction: The Neira Technique. *Clinics in Plastic Surgery*, **33**, 117-127. <https://doi.org/10.1016/j.cps.2005.09.005>
- [4] Neira, R., Arroyave, J., Ramirez, H., et al. (2002) Fat Liquefaction: Effect of Low-Level Laser Energy on Adipose Tissue. *Plastic and Reconstructive Surgery*, **110**, 912-922. <https://doi.org/10.1097/00006534-200209010-00030>
- [5] Ichikawa, K., Miyasaka, M., Tanaka, R., et al. (2005) Histologic Evaluation of the Pulsed Nd:YAG Laser for Laser Lipolysis. *Lasers in Surgery and Medicine*, **36**, 43-46. <https://doi.org/10.1002/lsm.20118>
- [6] 钟迪生. 真空镀膜: 光学材料的选择与应用[M]. 沈阳: 辽宁大学出版社, 2001: 235-241.
- [7] 刘凤娥, 付秀华, 潘永刚, 等. $10.6\ \mu\text{m}$ 激光分束镜的研制[J]. 长春理工大学学报, 2013, 36(5): 37-40.
- [8] 潘永刚, 刘冬梅, 张静, 等. 空间光通信三波段滤光膜的研究[J]. 激光与光电子学进展, 2012, 49(1): 013101-1-013101-6.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7613, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ms@hanspub.org