

文章编号: 0258-7025(2008)05-0756-04

聚四氟乙烯材料的太赫兹特性

李 琦 迟 欣 单纪鑫 张怀勇 王 骥

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 可调谐激光技术国家级重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要 太赫兹 (THz) 辐射能够穿透很多对可见光不透明的非金属、非极性材料, 而用 X 辐射对这些材料成像的对比度又相对低, 因此, 太赫兹成像在安全检测和生产质量控制等领域日益受到重视。对成像材料的太赫兹特性的实际测量是太赫兹成像技术的重要组成部分。利用 CO₂ 激光抽运太赫兹激光对聚四氟乙烯材料的太赫兹吸收特性和透过光斑轮廓进行了实验研究, 获得聚四氟乙烯在 70.51 μm, 96.5 μm, 118.83 μm, 122.4 μm, 158.51 μm, 184.31 μm 和 214.58 μm 波长的吸收系数。

关键词 材料; CO₂ 激光抽运太赫兹激光; 太赫兹特性; 聚四氟乙烯; 光斑轮廓

中图分类号 O 431.1; O441.4 **文献标识码** A

Terahertz Absorption Characteristics of Polytetrafluoroethylene

Li Qi Chi Xin Shan Jixin Zhang Huaiyong Wang Qi

(State Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Institute of Opto-Electronic,
Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract Terahertz (THz) radiation can penetrate many materials that are opaque to visible light, such as non-metal and non-polar materials, and these materials' X-ray imaging are relative lower. Thus, THz imaging for security and quality control application has been paid great attention. Actual measurement on the THz characteristics is an important part of THz imaging technology. In this paper, THz laser pumped by a CO₂ laser was used to measure polytetrafluoroethylene absorption characteristics and transmission beam profile. The absorption coefficients of polytetrafluoroethylene were achieved experimentally at wavelength of 70.51 μm, 96.5 μm, 118.83 μm, 122.4 μm, 158.51 μm, 184.31 μm and 214.58 μm.

Key words materials; terahertz laser pumped by a CO₂ laser; terahertz characteristics; polytetrafluoroethylene; beam profile

1 引 言

太赫兹 (THz) 波段是频率约在 0.1~10 THz 内的电磁波, 位于红外波段与微波波段的中间。太赫兹辐射能够穿透很多对可见光不透明的非金属、非极性材料 (如纸张、塑料、陶瓷等), 而用 X 辐射对这些材料成像的对比度又相对低, 因此, 太赫兹成像在安全检测和生产质量控制等领域日益受到重视。利用太赫兹波段进行成像是一门新兴的技术, 无论在工业和国防, 还是生物、医学等领域都有着广阔的应用前景^[1~3]。对成像材料的太赫兹特性的实际测量是太赫兹成像技术的重要组成部分。

目前用于太赫兹成像技术的太赫兹辐射源, 主要有飞秒激光器、半导体激光器、气体抽运激光器和自由电子激光器等^[4~10], 其中研究较多的太赫兹飞秒激光器体积很大, 太赫兹半导体激光器体积小、结构紧凑, 但一般产生微瓦~毫瓦量级的辐射, 自由电子激光器产生平均功率数百瓦、峰值功率几千瓦的太赫兹辐射, 但体积巨大, 气体抽运太赫兹激光器较小, 功率较高, 且已实现商品化。

本文所用太赫兹辐射源为从美国相干公司购置的 SIFIR-50 太赫兹激光器, 是一个法布里-珀罗 (F-P) 频率锁定的太赫兹激光系统。其特点是体积小、

收稿日期: 2007-09-05; 收到修改稿日期: 2007-11-20

基金项目: 哈尔滨工业大学优秀团队支持计划资助项目。

作者简介: 李 琦 (1963—), 女, 黑龙江人, 教授, 主要从事激光主动成像和太赫兹成像技术研究。

E-mail: hit_liqi@yahoo.com.cn

稳定性高,连续输出功率平均为 50 mW。该太赫兹激光源主要采用光栅调谐波导 CO₂ 激光抽运装有太赫兹辐射工作气体的低气压腔,使这种工作气体的某些发射谱线形成受激辐射。常用的抽运气体有 CH₃OH, CH₂F₂, CH₃Cl 和 CD₃OH 等。

聚四氟乙烯在可见光波段基本是不透明的,而在太赫兹波段是透明的。本文利用光栅调谐波导 CO₂ 激光抽运太赫兹激光对聚四氟乙烯材料的太赫兹吸收特性和透过光斑轮廓进行了实验研究。

2 实验装置及原理

利用美国 Spiricon 公司生产的 Pyrocam III 热成像仪对太赫兹激光器输出的激光光束质量和经聚四氟乙烯材料后的光斑轮廓进行测量,实验装置如图 1 所示。

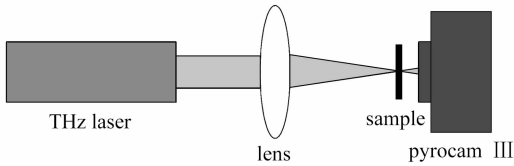


图 1 热像仪测量光斑轮廓装置图

Fig. 1 Experimental setup of beam profile measured by

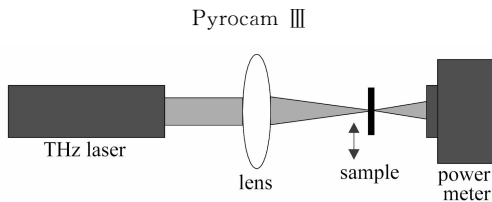


图 2 太赫兹透射特性实验装置图

Fig. 2 Experimental setup of THz transmission

利用从美国 SCIENTECH 公司购置的 AC2500 功率计,测量物质在不同波长下的透过率,实验装置如图 2 所示。

太赫兹激光器输出的激光经过聚焦后照射到样品上,然后进入功率计。理论上,只考虑吸收作用的样品透过率表达式为

$$T_i = P/P_0 = \exp(-\alpha l), \quad (1)$$

式中 α 是样品的吸收系数,单位为 m^{-1} , l 为样品的厚度, P_0 为入射到样品上的功率, P 为由样品出射的功率。

由于入射到样品的光不仅受吸收作用产生损耗,同时还受样品的两个表面的反射影响,而反射损耗只与入射角、材料的折射率和样品表面的平滑度有关,与样品厚度无关,对于位置固定的特定材料,反射损耗可看作常量。因此,实际测量的样品的透

过率可以表示为

$$t = P/P_m = \beta \exp(-\alpha l), \quad (2)$$

式中 P_m 为无样品时测得的功率, $\beta = 1 - (P_r/P_m)$, P_r 为反射损耗功率, P_r/P_m 为反射损失系数。

3 实验结果及分析

实验中首先用 Pyrocam III 热成像仪测量了原始太赫兹激光光束质量(见图 3),然后测量了透过聚四氟乙烯材料后的光斑轮廓,图 4 给出了透过部分样品的光斑轮廓。

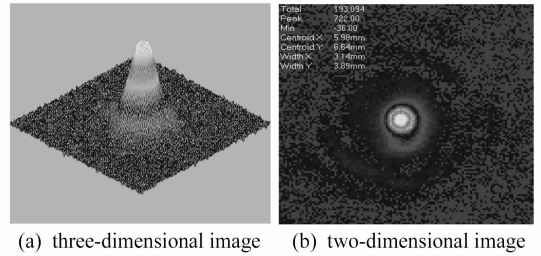


图 3 原始太赫兹激光轮廓

Fig. 3 THz original beam profiles

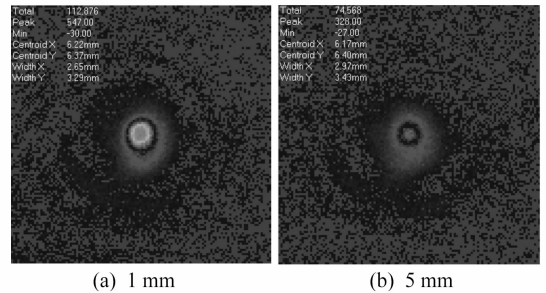


图 4 放置聚四氟乙烯材料后的太赫兹激光轮廓

Fig. 4 THz beam profiles after polytetrafluoroethylene

然后,选取激光输出波长 70.51 μm , 96.5 μm , 118.83 μm , 122.4 μm , 158.51 μm , 184.31 μm 和 214.58 μm , 进行透过特性研究,以确保波长覆盖大部分太赫兹波段。所用相应波长的输出功率都在 15 mW 以上,使测量没有太大的失真。图 5 给出聚四氟乙烯透过率实验数据和拟合曲线。

图 5 中的实线是样品透过率按照 $y = a \exp(bx)$ 线型进行拟合的曲线,从图中可以看出,透过率基本满足指数线型;在一些波长表现得特别好,如 118.83 μm ,这主要是由于激光在这些波段的稳定性比较好。由于样品表面不够平整、输出激光功率不稳定,以及一些人为的因素使样品在一些波长的透过率误差较大。

根据采集到的数据拟合出不同波长的吸收系数与反射损失系数,详见表 1。

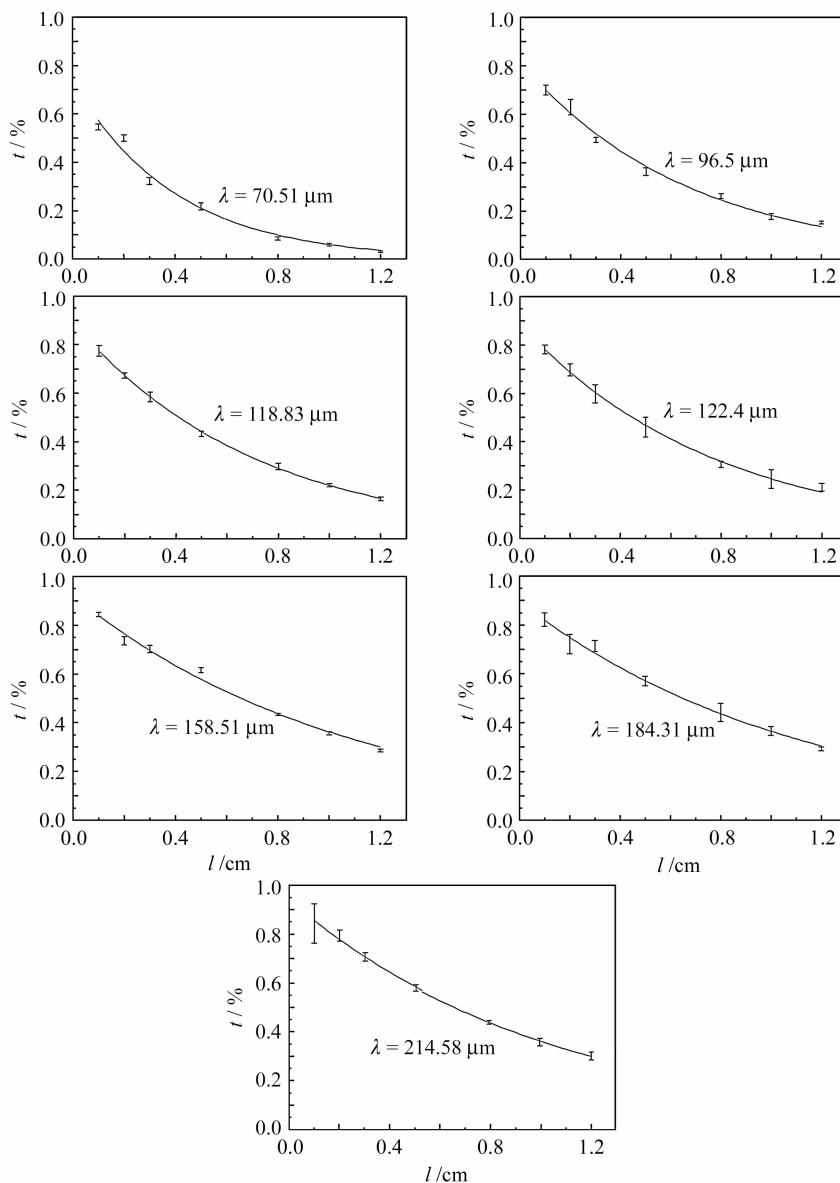


图5 聚四氟乙烯透过率实验数据和拟合曲线

Fig. 5 Experimental result and fitting curve of polytetrafluoroethylene transmission rate

表1 聚四氟乙烯的吸收系数与反射损失系数

Table 1 Absorption coefficients and reflection loss coefficients of polytetrafluoroethylene

Wavelength / μm	Reflection loss coefficient	Absorption coefficient / m^{-1}
70.51	0.265	250.101
96.5	0.187	149.847
118.83	0.111	139.868
122.4	0.113	128.407
158.51	0.078	93.375
184.31	0.104	89.793
214.58	0.060	95.546

4 结 论

利用美国相干公司生产的 CO_2 激光抽运太赫兹激光器和 SCIENTECH 公司的功率计对聚四氟乙烯材料的太赫兹吸收特性进行实验研究,测得了聚四氟乙烯在 $70.51 \mu\text{m}$, $96.5 \mu\text{m}$, $118.83 \mu\text{m}$, $122.4 \mu\text{m}$, $158.51 \mu\text{m}$, $184.31 \mu\text{m}$ 和 $214.58 \mu\text{m}$ 波长的吸收系数。同时用 Spiricon 公司的 Pyrocam III 热成像仪测量了光斑轮廓。为进一步的太赫兹成像研究提供了实验依据。

参 考 文 献

- studies on biological systems at the ENEA FEL facility [J]. *Infrared Physics and Technology*, 2004, **45**(5-6):339~347
- 2 Sun Hongqi, Zhao Guozhong, Tian Yan *et al.*. Transverse mode distribution of THz wave by THz imaging technology [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(9):1225~1229
孙红起, 赵国忠, 田 艳 等. 太赫兹波传播过程中横模分布的成像[J]. *中国激光*, 2006, **33**(9):1225~1229
- 3 Bradley Ferguson, Zhang Xicheng. Materials for terahertz science and technology [J]. *Physics*, 2003, **32**(5):286~293
Bradley Ferguson, 张希成. 太赫兹科学与技术研究回顾[J]. *物理*, 2003, **32**(5):286~293
- 4 Liying Lang, Qirong Xing, Shuxin Li *et al.*. Experimental study on terahertz radiation [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, **2**(11):677~679
- 5 Alessandro Tredicucci, Claire Gmachl, Federico Capasso *et al.*. Novel quantum cascade devices for long wavelength IR emission [J]. *Optical Materials*, 2001, **17**(1):211~217
- 6 Young Uk Jeong, Hyuk Jin Cha, Seong Hee Park *et al.*. THz imaging by a wide-band compact FEL [C]. Proceedings of the 2004 FEL Conference. Trieste: Comitato Conferenze Elettra, 2004. 667~670
- 7 Sun Bo, Yao Jianquan. Generation of terahertz wave based on optical methods [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(10):1349~1358
孙 博, 姚建铨. 基于光学方法的太赫兹辐射源[J]. *中国激光*, 2006, **33**(10):1349~1358
- 8 Zhang Xianbin, T. Ikari, Chen Yingli *et al.*. Analysis of THz electromagnetic wave output character based on high performance 85 mm short cavity optical parametric oscillator [J]. *Acta Optical Sinica*, 2006, **26**(4):616~620
张显斌, 嵇智文, 陈颖丽 等. 高性能 85 mm 短腔光学参变振荡器的 THz 电磁波输出特性分析[J]. *光学学报*, 2006, **26**(4):616~620
- 9 Wang Qi, Chi Xin, Li Qi. Imaging theory and development of THz free electron lasers [J]. *Laser Technology*, 2006, **30**(6):643~646
王 骐, 迟 欣, 李 琦. 太赫兹自由电子激光器的成像原理及进展[J]. *激光技术*, 2006, **30**(6):643~646
- 10 Fucheng Chen, Xiaofeng Chen, Yuping Chen *et al.*. Generation of broadband and multiple-peak THz radiation in aperiodically poled lithium niobate [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2005, **3**(8):475~477