

基于锰酸盐氧化物异质结激光探测器的光电效应研究

吕志清¹ 尼浩¹ 赵昆^{1,2} 赵卉¹ Wong Hongkuen² Kong Yuchau²

(¹ 中国石油大学(北京)光传感与光探测实验室, 北京 102249)
² 香港中文大学物理系, 香港

摘要 制备了两种基于锰酸盐氧化物异质结 $\text{La}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MnO}_3/\text{Si}$ ($x=0.67$ 和 0.40) 的激光探测器, 并分别研究了在 532 nm 和 1064 nm 激光辐照下, 两种异质结探测器的光生伏特效应。在 532 nm 激光辐照下, 具有较好整流特性的异质结产生的光生伏特电压也较大。在激光打开和关闭时, 都观测到了异质结光伏信号的瞬态响应峰值, 且该峰值随斩波频率不断增大并在频率较大时趋于饱和。在 1064 nm 激光打开和关闭时, 异质结光伏信号的瞬态响应应具有明显的双峰现象, 双峰的出现是光电效应与热电效应共同作用的结果。

关键词 探测器; 锰酸盐氧化物; 光生伏特效应; 异质结; 双峰

中图分类号 O439 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS201131.s100116

Photoelectric Effects in Laser Detectors Based on Manganite Oxide Heterojunctions

Lü Zhiqing¹ Ni Hao¹ Zhao Kun^{1,2} Zhao Hui¹ Wong Hongkuen² Kong Yuchau²

(¹ Laboratory of Optic Sensing and Detecting Technology, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)
² Department of Physics, The Chinese University of Hong Kong, Hong Kong, China)

Abstract Laser detectors based on manganite oxide heterojunctions of $\text{La}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MnO}_3/\text{Si}$, with $x=0.67$ and 0.40 respectively, were fabricated, and their photovoltaic effects were investigated induced by 532 nm and 1064 nm continuous wave laser. The photovoltage obtained in heterojunctions with good p-n characteristics were large when irradiated under 532 nm laser. The transient peak voltage of the heterojunctions were observed when the laser was turned on and off, and increased with chopping frequency and showed saturate tendency finally. Double peak in photovoltaic signals were observed in the heterojunctions when 1064 nm laser was turned on and off, which was contributed to be the combination of photovoltaic effect and thermoelectric effect.

Key words detector; manganite oxide; photovoltaic effect; heterojunction; double peak

OCIS codes 040.5160; 040.5350; 230.5160

1 引 言

近几年来, 锰酸盐氧化物由于其丰富的物理性质而备受研究者关注^[1~5]。在其所具有的各种特性中, 光生伏特效应是人们关注的焦点之一。国内外很多研究小组已经在锰酸盐氧化物单晶及异质结中观察到光生伏特效应, 并制备出基于这类材料的光电探测元器件^[6,7]。由于锰酸盐氧化物异质结的电

输运行为与半导体 p-n 结非常相似, 因此通常用传统的半导体 p-n 结理论解释其光生伏特现象^[8,9]。对这类材料的光伏效应研究表明锰酸盐氧化物单晶及异质结不仅可以产生较大的光生电压, 而且具有超快的响应时间, 充分表明这种材料作为光电探测器具有广泛的应用前景^[10,11]。

用稳态激光研究锰酸盐氧化物异质结的光生伏

收稿日期: 2011-01-30; 收到修改稿日期: 2011-03-11

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划 (NCET-08-0841) 和中国石油大学(北京)基础学科研究基金 (JCXK-2010-08) 资助课题。

作者简介: 吕志清(1976—), 女, 博士研究生, 主要从事光电探测方面的研究。E-mail: hawklzqq@126.com

导师简介: 赵昆(1971—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事光学和材料学等方面的研究。

E-mail: zhk@cup.ced.cn(通信联系人)

特效应时,测量的光伏信号是依赖于时间的。当激光打开和关闭的瞬间,光电响应信号会分别出现一个瞬态的极大值和极小值,这种在稳态激光辐照下的瞬态行为早在 1982 就被报道过^[12]。对于热电材料,这种瞬态响应应归结为热电效应,而对于非热电材料,相关的机理还在进一步研究中。

本文探索了在 532 nm 和 1064 nm 稳态激光辐照下,基于锰酸盐氧化物的 $\text{La}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MnO}_3/\text{Si}$ 异质结探测器的光生伏特效应,对两种不同钙含量的异质结的光生伏特信号进行了比较,并发现在 1064 nm 激光辐照下, $\text{La}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MnO}_3/\text{Si}$ 异质结光电信号的瞬态响应出现明显的双峰现象。

2 实验装置与测量结果

样品制备采用对靶溅射的方法,分别在单晶硅上外延生长厚度为 100 nm 的 $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ 和 $\text{La}_{0.4}\text{Ca}_{0.6}\text{MnO}_3$ 薄膜,形成 $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3/\text{Si}$ (LCMO1) 和 $\text{La}_{0.4}\text{Ca}_{0.6}\text{MnO}_3/\text{Si}$ (LCMO2) 异质结。实验样品大小为 $3\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$,在 $\text{La}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MnO}_3$ (LCMO) 薄膜和 Si 基底两侧分别焊接钢电极。采用标准的四点法测量两个样品的 I-V 特性,测量结果如图 1 所示,插图为样品的 I-V 测量示意图。由图中比较可知,两个样品都具有较好的异质结特性且 LCMO1 异质结的特性要优于 LCMO2 异质结。

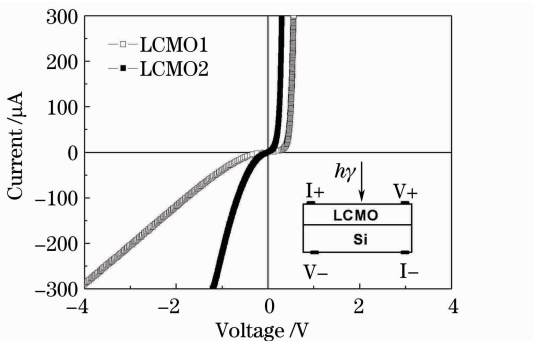


图 1 $\text{La}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MnO}_3/\text{Si}$ 异质结的 I-V 曲线(插图为测量示意图)

Fig. 1 I-V curves of $\text{La}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MnO}_3/\text{Si}$ heterojunctions.

The inset is the schematic diagram

测量装置如图 2 所示,整个测量过程在室温下进行。光源选用 532 nm 和 1064 nm 稳态激光,开路光生伏特电压信号用数字示波器采集,示波器的输入阻抗为 $50\ \Omega$ 。在光源与样品之间放置一个 SR540 型光学斩波器,可对光源实现一定频率的开关控制。实验过程中,测量在不同斩波器频率下样品

的光生伏特信号。激光从 LCMO 膜面入射,辐照在样品表面的光斑直径为 1 mm,辐照功率为 5.66 mW。

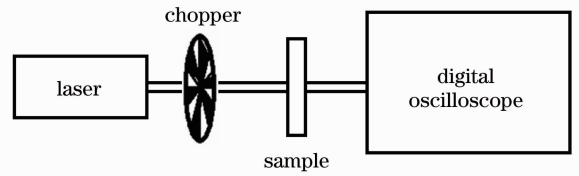


图 2 开路光生伏特电压的测量装置示意图

Fig. 2 Experimental setup of open-circuit photovoltage

图 3(a)是 2 个样品在 532 nm 激光辐照下测得的光生伏特电压,从图中明显看出,在激光开关的瞬间,样品的光伏信号分别出现了一个极大值和极小值的尖峰,且此尖峰值随着斩波频率的加快而不断增大。从激光打开瞬间的信号极大值随斩波频率的变化曲线[图 3(b)]中可以看出,随着斩波频率的加快,信号极大值逐渐增大并呈现饱和趋势,这一现象说明尖峰的出现是与时间有关的一个瞬态效应,是瞬态过程中载流子非平衡过程的体现。相比之下,LCMO1 的光伏电压较大,这与两种异质结的结构有关。光伏信号是异质结内部空间电场作用的结果,其机理与普通 p-n 结的光伏效应类似。由于

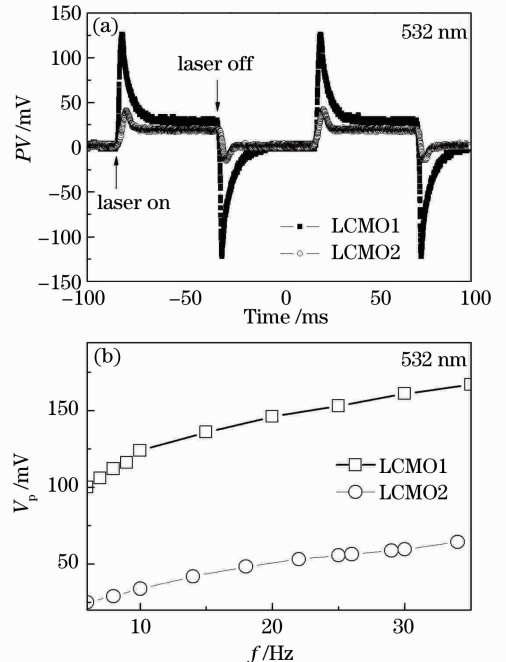


图 3 532 nm 激光辐照下样品的光生伏特电压。(a) 光伏电压信号,(b) 激光打开瞬间信号极大值随斩波频率的变化曲线

Fig. 3 Photovoltages of the heterojunctions irradiated by 532 nm laser. (a) signals induced by the laser, (b) curves of transient peak voltage with the chopping frequency when the laser was turned on

LCMO1 具有更好的异质结特性,在 532 nm 激光辐照下激发产生的电子、空穴更易于被界面处的内建电场分离,从而产生较大的电压信号。

改用 1064 nm 激光辐照样品,在激光开关的瞬间,也发现了类似的电压瞬态现象。图 4(a)描绘了斩波频率分别为 5,10,20 和 40 Hz 时 LCMO1 的光生伏特信号,在激光开关的瞬间,分别测量到光伏信号的瞬态极大值与极小值,且此极值的大小随着斩波频率的加快而增大。图 4(b)描绘了 LCMO1 与 LCMO2 的光伏信号极大值随斩波频率的变化关系,同样可以看出其极大值在斩波频率较大时趋于饱和。与 532 nm 激光辐照时有所不同,在 1064 nm 激光辐照下,在激光关闭瞬间,光响应信号出现了双峰现象,即有两个极小值[图 4(a)]。

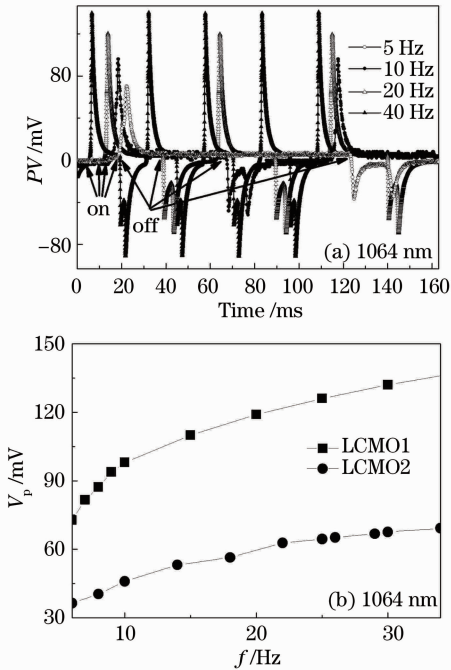


图 4 1064 nm 激光辐照下样品的光生伏特电压。(a) 光伏电压信号,(b) 激光打开瞬间信号极大值随斩波频率的变化曲线

Fig. 4 Photovoltages of the heterojunctions irradiated by 1064 nm laser. (a) signals induced by the laser, (b) curves of transient peak voltage with the chopping frequency when the laser was turned on

1064 nm 激光属于近红外光谱,其辐照效果不仅能产生光效应,还可以产生热效应。热效应的产生总是需要一定的弛豫时间,因此当这两种效应同时存在的情况下,其产生速度会存在一定差异。图 5 是斩波频率为 2 Hz 时 LCMO1 在 1064 nm 激光辐照下测得的光伏信号。插图是激光打开时瞬态响应峰的放大图,从图中可以看出,此时也存在两个

极大值,对应于尖峰 a 和 b。尖峰 a 可认为是光电效应的瞬态响应,尖峰 b 是热电效应的瞬态响应,在激光打开瞬间,由于光电效应占主导地位,此时的双峰现象并不明显。光热快速达到平衡后,在电极间产生稳定的电压信号。激光关闭时,观察到明显的双峰 c 和 d。尖峰 c 是光电效应的瞬态响应,尖峰 d 是热电效应的瞬态响应。在激光关闭后,热电效应占主导地位,此时样品已经吸收了一定热量,其热电效应的产生需要一定的弛豫时间,因此激光关闭时的双峰现象比较明显。

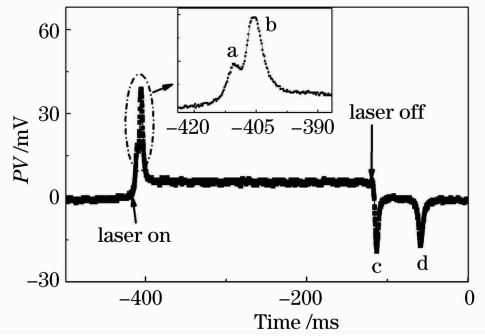


图 5 1064 nm 激光辐照下 LCMO1 异质结的光伏电压信号

Fig. 5 Photovoltaic signals in LCMO1 heterojunction induced by 1064 nm laser

3 结 论

通过对不同钙含量的锰酸盐氧化物异质结探测器 $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3/\text{Si}$ 和 $\text{La}_{0.4}\text{Ca}_{0.6}\text{MnO}_3/\text{Si}$ 的稳态光生伏特效应研究发现,异质结特性较好的探测器在激光辐照下产生较大光生伏特电压。在 1064 nm 激光辐照下, $\text{La}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MnO}_3/\text{Si}$ 异质结响应电压的瞬态峰值是光电效应与热电效应共同作用的结果,由于热电效应的弛豫时间,响应信号呈现明显的双峰现象。

参 考 文 献

- 1 M. Huijben, A. Brinkman, G. Koster *et al.*. Structure-property relation of $\text{SrTiO}_3/\text{LaAlO}_3$ interfaces[J]. *Adv. Mater.*, 2009, **21**: 1665~1677
- 2 S. J. May, P. J. Ryan, J. L. Robertson *et al.*. Enhanced ordering temperatures in antiferromagnetic manganite superlattices[J]. *Nature Materials*, 2009, **8**(11): 892~897
- 3 J. Hoppler, J. Stahn, Ch. Niedermayer *et al.*. Giant superconductivity-induced modulation of the ferromagnetic magnetization in a cuprate-manganite superlattice [J]. *Nature Materials*, 2009, **8**(4): 315~319
- 4 L. Méchin, J. Routoure, B. Guillet *et al.*. Uncooled bolometer response of a low noise $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ thin film[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2005, **87**(20): 204103
- 5 J. H. Kim, A. M. Grishin. Free-standing epitaxial $\text{La}_{1-x}(\text{Sr}, \text{Ca})_x\text{MnO}_3$ membrane on Si for uncooled infrared microbolometer[J].

- Appl. Phys. Lett.*, 2005, **87**(3): 033502
- 6 K. Zhao, Y. H. Huang, H. B. Lu *et al.*. Pico-second photoelectric characteristic in manganite oxide $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ films[J]. *Chinese Phys.*, 2005, **14**(2): 420~421
- 7 J. H. Hao, X. T. Zeng, H. K. Wong. Optical response of single-crystal $(\text{La,Ca})\text{MnO}_3$ thin films[J]. *J. Appl. Phys.*, 1996, **79**(3): 1810~1812
- 8 X. M. Li, K. Zhao, H. Ni *et al.*. Voltage tunable photodetecting properties of $\text{La}_{0.4}\text{Ca}_{0.6}\text{MnO}_3$ films grown on miscut LaSrAlO_4 substrates[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2010, **97**(4): 044104
- 9 K. Zhao, M. He, K. Z. Liu *et al.*. Photo-induced voltage characteristics of $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{MnO}_3$ films epitaxially grown on vicinal $\text{SrTiO}_3(001)$ substrates[J]. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2007, **40**(18): 5703~5706
- 10 K. Zhao, K. J. Jin, Y. H. Huang *et al.*. Ultraviolet fast-response photoelectric effect in tilted orientation SrTiO_3 single crystals[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2006, **89**(17): 173507
- 11 K. Zhao, K. J. Jin, Y. H. Huang *et al.*. Laser-induced ultrafast photovoltaic effect in $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ films at room temperature [J]. *Physica B*, 2006, **373**(1): 72~75
- 12 Vineet S. Dharmadhikari, W. W. Grannemann. Photovoltaic properties of ferroelectric BaTiO_3 thin films of sputter deposited on silicon[J]. *J. Appl. Phys.*, 1982, **53**(12): 8988~8992