第 47 卷 第 8 期 1998 年 8 月
1000-3290/98/47(08)/1378-05

物 理 学 报
ACTA PHYSICA SINICA

Vol. 47, No. 8, August, 1998
©1998 Chin. Phys. Soc.

铁电薄膜探测器 $PbZrTiO_3$ 的红外光电响应实验研究*

陈岩松

(中国科学院物理研究所,北京 100080)

(1997 年 10 月 8 日收到)

掺杂的铁电薄膜 $PbZrTiO_3$ 与以高温超导体 $YBa_2Cu_3O_7$ 为基底组成红外薄膜探测器.具有自极化性质,并可在室温下操作使用.研究了此种薄膜探测器的结构极化性质,测量了它的红外光电压、光电流与黑体辐射源温度、探测器样品温度及斩波频率之间的关系.

PACC: 7780D

1 引 言

热成像技术与红外探测在国民经济中的重要作用众所周知,尤其是在夜视与红外警戒领域中更受重视.目前使用最多的是碲镉汞红外器件,以及还正在研制的超晶格量子阱红外器件.它们都具有高的红外探测灵敏度.但是,这两类红外器件都需要在低温条件下使用,其探测范围主要是近、中红外波段.

近年来,新的一类红外器件,即铁电类材料的红外器件研究十分活跃[1—8].这种探测器的原理是基于热电效应,因此,它的最大优点是使用时不需要低温条件,即在普通室温下即可使用,甚至在 100℃ 以上的环境下也可使用,而且其探测的红外波段非常宽广,从可见光至远红外波段都可以探测.

本文报道一种掺杂(Mn, Sb)的 $PbZr_{1-x}Ti_xO_3$(PMSZT)铁电薄膜红外探测器的结构与铁电性质的测量,以及它的红外光电响应实验.实验结果给出了红外光电压、光电流与黑体辐射源温度、样品温度及斩波频率之间的关系曲线.这些结果表明,样品的红外可探测度达 $10^8 cm \cdot Hz^{1/2}/W$ 量级.

2 实 验

图 1 为红外铁电薄膜探测器 PMSZT 样品的结构示意图.它以 $LaAlO_3$(LAO)晶体为基片,在它上面用激光淀积方法淀积一层 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$(YBCO)高温超导膜层,厚度约为 300 nm,然后在此膜层上再淀积一层掺杂的 PMSZT 铁电薄膜,其厚度约为 400 nm,最后

* 国家自然科学基金(批准号:69677009)资助的课题.

在铁电膜层和 YBCO 膜层上各蒸镀一个金电极，这样就构成了 PMSZT 铁电薄膜探测器. 要特别指出的是，YBCO 膜层在这里不起超导作用，而是作为探测器的下电极，以及具有 c 轴择优取向的多晶结构，它使上面的 PMSZT 铁电膜层具有(001)方向的自然极化性能，因而此种红外探测器使用前不需要外加电压促其极化，这给使用带来了方便.

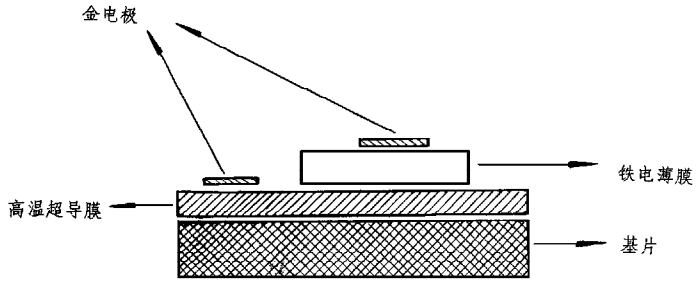

图 1　铁电薄膜红外探测器结构示意图

探测器的 PMSZT 与 YBCO 膜层是一种多晶结构，但都具有 c 轴择优取向. 采用 X 射线衍射结构分析方法测量了这些膜层的取向. 图 2 为 PMSZT 与 YBCO 膜层的 X 射线衍射谱图，谱图表明它们具有 c 轴取向.

PMSZT 膜层的极化性能采用 Sawyer-Tower 电路测试手段进行测量，其结果示于图 3. 它是一个类似于磁滞回线的电滞回线，其极化率具有几十个 $\mu C/cm^2$. 同时也测量了极化率与样品温度的关系. 当温度上升时，晶格热运动加剧，导致极化率下降. 此种材料约在 200 ℃ 时极化率降至零，这表示 200 ℃ 是这种铁电材料的居里温度. 从极化率与样品温度的关系上，还可以得到极化率的变化速率与温度的关系，它随温度升高而增大. 这表明此种红外探测器在较高温度下具有较高的探测灵敏度.

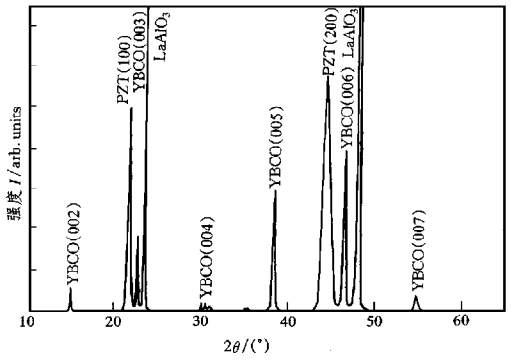

图 2　PMSZT 与 YBCO 膜层的 X 射线衍射谱图

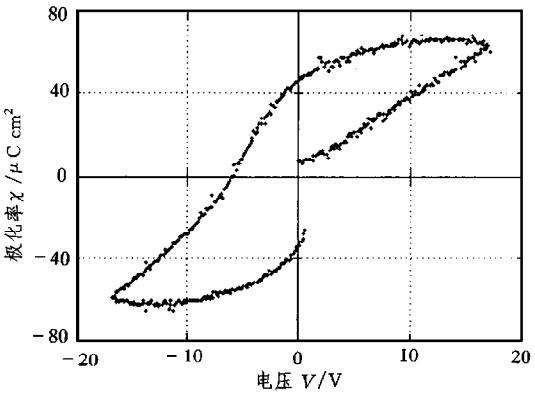

图 3　PMSZT 膜层的电滞回线

铁电薄膜探测器的红外光电响应实验系统示于图 4. 图 4 中红外黑体辐射源发射的红外光，经过斩波器和红外滤光片，照射到薄膜探测器上，探测器置于一温度可控的热炉

上,热炉温度由热电偶测量.探测器的红外光电响应信号输入到锁相放大器被检测,测量数据输入计算机存储并进行处理.

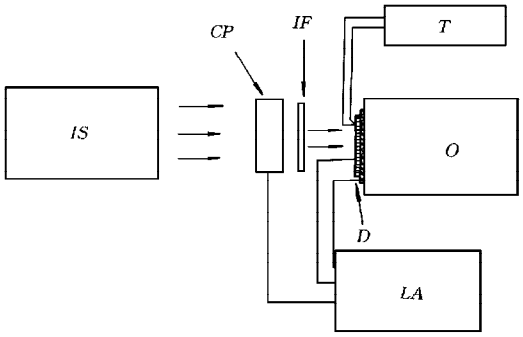

图 4 铁电薄膜探测器的红外光电响应实验系统示意图 IS 为黑体红外光源; CP 为斩波器; IF 为红外滤光片; D 为探测器; O 为热炉; T 为热电偶; LA 为锁相放大器

3 结果与讨论

这种铁电薄膜红外探测器的红外光电响应实验测量结果示于图 5 至图 7.图 5 示出探测器的光电压和光电流与红外光源温度的关系.这是在斩波频率为 5 Hz 与探测器样品处于室温条件下的测量结果.图 5 显示光电压和光电流信号同时随红外光源温度的上升而指数式地上升,光电压从室温处的微伏量级上升到千度高温时的毫伏量级.这种现象从物理学上不难理解,因为红外光源温度的上升会导致红外辐射能流的增大,而红外辐射能流的增大会使光电信号也增大.

保持斩波频率为 5 Hz 和红外光源温度为 1000 K 条件下,测量得到的光电压和光电流信号与探测器样品温度的关系示于图 6.显然,这里光电压和光电流信号随探测器样品温度的变化趋势不一致.从定性的角度分析,样品是一种掺杂的铁电体材料,它的电导随

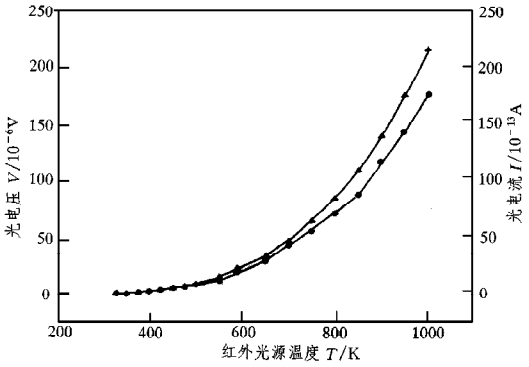

图 5 探测器的光电压和光电流与红外光源温度的关系 ●为光电压;▲为光电流

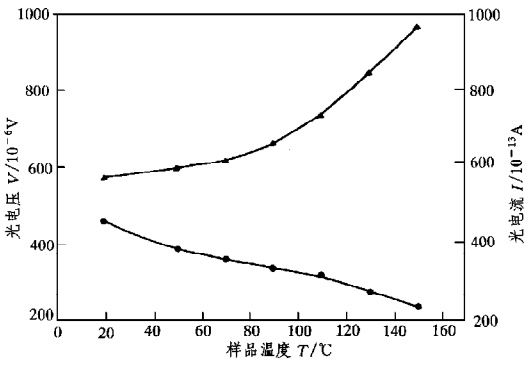

图 6 探测器的光电压和光电流与探测器样品温度的关系 符号同图 5

温度上升而增大，因此，虽然温度上升会导致光电压信号有一定程度的下降，但是温度上升引起的电导增大会更快，所以光电流信号不但不下降，反而上升.

改变斩波频率，保持红外光源温度为 1000K，样品处于室温条件下测量了光电压和光电流信号与斩波频率的关系，结果示于图 7. 图 7 曲线表明，光电压信号在斩波频率 1 Hz

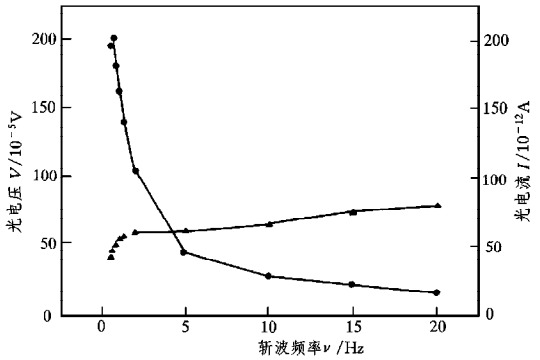

图 7　探测器的光电压和光电流与斩波频率的关系　符号同图 5

处达到峰值，然后随斩波频率增大而快速下降. 但是光电流信号却与此不同，首先它快速地上升到斩波频率为 1 Hz 处的某个数值，此后呈线性慢速上升趋势. 下面的分析将有利于对这种现象的定性理解.

铁电材料的热释电效应的光电流被定义为

$$I = Ad_P/dt,$$

式中 A 为探测器的有效受光面积，P 为材料的电极化量，dP/dt 为极化量随时间的变化. 斩波频率正比于 $1/dt$，因而光电流信号自然与斩波频率呈线性关系，并且基本上是一个稳定值. 对于光电压信号，可以从复电导与斩波频率的关系来理解. 光电压是光电流与样品复电导之商，而样品的复电导（主要是电容性电导）随斩波频率增大而快速增大，这样光电压信号自然就下降. 至于在斩波频率 1 Hz 附近光电压存在峰值的现象，可以从斩波频率太低时样品存在一个冷却滞缓区间导致光电流急剧下降得到理解.

铁电薄膜红外探测器的上述光电响应性能表明，这种材料的薄膜红外探测器具有较高的红外探测灵敏度，如果探测器采用空气桥结构而使其热导性大为降低，则必将提高其探测灵敏度.

[1] D. L. Polla and C. Ye, *Appl. Phys. Lett.*, **59**(1991), 3539.
[2] N. W. Schubring, J. V. Mantese, A. L. Micheli, A. B. Catalan and R. J. Lopez, *Phys. Rev. Lett.*, **68**(1992), 1778.
[3] T. Robin, A. Meswari, N. J. Wu, W. C. Fan, R. Sega and A. Ignatiev, *Appl. Phys. Lett.*, **59**(1991), 2323.
[4] N. J. Wu, A. Ignatiev, A. Mesarwi, H. Lin, K. Xie and H. Shih, *J. Appl. Phys.*, **32**(1993), 5019.
[5] H. Lin, N. J. Wu, K. Xie, X. Y. Li and A. Ignatiev, *Appl. Phys. Lett.*, **65**(1994), 953.
[6] H. Lin, N. J. Wu, K. Xie, X. Y. Li and A. Ignatiev, *Integrated Ferroelectrics*, **5**(1994), 197.
[7] A. Zomorrodian, N. J. Wu, H. Lin, T. Q. Huang, X. Y. Li and A. Ignatiev, *J. Appl. Phys.*, **78**(1995), 4780.
[8] N. J. Wu, D. Liu, Y. S. Chen, H. Lin, A. R. Zomorrodian, and A. Ignatiev, *Proc. SPIE*, **2746**(1996), 172.

EXPERIMENTAL STUDY ON INFRARED PHOTORESPONSE OF FERROELECTRIC THIN FILM DETECTOR $PbZrTiO_3$ *

CHEN YAN-SONG
(*Institute of Physics, Academia Sinica, Beijing* 100080)
(Received 8 October 1997)

ABSTRACT

The infrared thin film detector is prepared consisting of (Mn, Sb)-doped PZT and high-temperature superconductor YBCO films. It is of a performance of self-polarization and is able to operate at room temperature. The relationships of infrared photovoltage and photocurrent of the detector with blackbody infrared source temperature, detector sample temperature and chopper frequency, are described.

PACC: 7780D

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China under the Grant No. 69677009.