

文章编号: 0258-7025(2001)12-1082-03

# 基于 $VO_x$ 薄膜 8 元线列非致冷微测辐射 热红外探测器的制备

陈长虹<sup>1,2</sup> 易新建<sup>1,2</sup> 程祖海<sup>1</sup> 张 静<sup>2</sup> 黄 光<sup>2</sup> 王宏臣<sup>3</sup>

(华中科技大学<sup>1</sup> 激光技术国家重点实验室<sup>2</sup> 光电工程系<sup>3</sup> 教育部图像识别与人工智能重点实验室 武汉 430074)

**摘要** 报道了应用反应离子束溅射以及后退火工艺在石英玻璃以及 Si(100) 衬底上淀积混合相  $VO_x$  多晶薄膜, 并且在石英衬底上制备了实验用 8 元线列红外探测器。用扫描电镜 (SEM) 和 X 射线衍射仪 (XRD) 分别测试结果显示薄膜为表面光滑、致密且具有针状晶粒的混合相多晶结构, 探测器的性能测试结果显示该探测器可以实现 8~12  $\mu\text{m}$  的非致冷室温红外探测。

**关键词** 非致冷微测辐射热探测器, 红外探测器, 氧化钒

**中图分类号** TN 247 **文献标识码** A

## Fabrication of 8-element Linear $VO_x$ Uncooled Microbolometer IR Detector Array

CHEN Chang-hong<sup>1,2</sup> YI Xin-jian<sup>1,2</sup> CHENG Zu-hai<sup>1</sup>

ZHANG Jing<sup>2</sup> HUANG Guang<sup>2</sup> WANG Hong-chen<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>State Key Laboratory of Laser Technology, <sup>2</sup>Department of Optoelectronic Engineering,   
<sup>3</sup>State Key Laboratory for Imaging Recognition & Intelligent Control,   
Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074)

**Abstract** The paper describes  $VO_x$  thin films deposited on substrates of quartz glass and Si(100) by reactive ion-beam sputtering followed by post annealing, and fabrication of 8-element  $VO_x$  linear uncooled microbolometer array. SEM and XRD indicate that the films are smooth compact surface morphology with needle like grain and poly-crystal structure of mixed vanadium oxides, and the characterization of the detectors shows that the detectors realize uncooled infrared detection in the spectrum region of 8~12  $\mu\text{m}$  as well.

**Key words** uncooled microbolometer, infrared detector, vanadium oxide

## 1 引 言

20 世纪 90 年代中期红外探测技术发生了第二次革命, 发展了室温工作的红外焦平面阵列, 它克服了由低温致冷红外探测技术所带来的很多缺点<sup>[1,2]</sup>。因工作在室温, 无需低温致冷器件, 不仅减小了体积、降低了功耗, 而且可靠性也大大地提高了, 降低了成本, 制造工艺与硅大规模集成电路工艺兼容, 又不需要昂贵的低温致冷器, 可立即工作, 由于无致冷时间, 因而可以大大提高反应速度; 1~30  $\mu\text{m}$  的宽光谱响应, 器件的典型响应波长为

8~12  $\mu\text{m}$ ; 无信号串扰。由此看来, 室温红外焦平面技术的发展, 将推动红外热像仪由低温致冷型向室温非致冷型、高价格向廉价型产品转变, 其结果将扩大该产品在军事及民用领域中的应用。

以  $VO_2$  为主的混合相薄膜在室温下的电阻温度系数为  $-0.02 \text{ K}^{-1}$ , 由该材料制备的微测辐射热探测器的  $1/f$  噪声系数比 YBaCuO 超导薄膜器件低一个数量级<sup>[3]</sup>, 且能够与 Si 半导体工艺兼容<sup>[4,5]</sup>。本文报道了利用反应离子束溅射淀积以及后退火工艺制备  $VO_x$  溅射多晶薄膜, 再应用微电子工艺制备出了性能指标较高的 8 元线列  $VO_x$  微测辐射热红外探测器。

## 2 制备工艺

以  $\text{VO}_2$  为主的混合相薄膜采用反应离子束溅射以及后退火工艺制备,淀积设备为 LD3 型双离子源溅射镀膜设备,退火炉为温度程控的镀金石英管式加热炉。选用含量为 99.9% 的金属钒靶,反应溅射所用气体  $\text{Ar}$  和  $\text{O}_2$  均为高纯气体,纯度分别为 99.995% 和 99.999%。通过用各自的针阀去控制  $\text{Ar}$  和  $\text{O}_2$  的流量来控制真空室的  $\text{O}_2$  含量。工艺与条件:衬底为双面抛光的  $12\text{ mm} \times 12\text{ mm} \times 1\text{ mm}$  石英玻璃薄片和同等面积的单面抛光的  $\text{Si}(100)$  片,先用煮沸的浓硫酸浸泡、超声清洗再烘干后备用。溅射前抽真空,使真空室的本底真空优于  $1 \times 10^{-3}\text{ Pa}$ 。加热衬底,使衬底温度保持在  $300^\circ\text{C}$  左右。充入  $\text{Ar}$ ,使工作气压保持在  $2 \times 10^{-2}\text{ Pa}$ ,开平行离子源,调节屏栅高压至  $500\text{ eV}$ ,电流  $40\text{ mA}$ ,溅射清洁衬底表面  $10\text{ s}$ ,关闭平行离子源、关挡板。然后,再充入  $\text{O}_2$ ,使真空度保持在  $2.4 \times 10^{-2}\text{ Pa}$ ,开聚焦离子源,调节屏栅高压至  $800\text{ eV}$ ,电流  $70\text{ mA}$ ,溅射清洁靶面  $15\text{ min}$ 。移开挡板,开始长膜,时间为  $2\text{ min}$ 。把淀积样品转移至退火炉中,相同纯度的流动  $\text{Ar}$  通入退火炉,使样品在含微量氧的气氛中  $500^\circ\text{C}$  条件下退火  $1\text{ h}$ 。

由于在微测辐射热探测器的制作中,通常以  $\text{Si}_3\text{N}_4$  或  $\text{SiO}_2$  作为  $\text{Si}$  衬底材料的缓冲层,因而研究中应用光刻以及刻蚀工艺直接把在石英玻璃衬底上淀积的薄膜制备成如图 1 所示的图形,图中圈定的区域为 8 元线列非致冷微测辐射热探测器的光敏面,其中每单元探测器的光敏面的面积为  $10\text{ }\mu\text{m} \times 100\text{ }\mu\text{m}$ ,阵列间距为  $100\text{ }\mu\text{m}$ 。再经过多次掩模套刻以后在电极区域上再淀积一层  $50\text{ nm}$  厚的以  $\text{Cr}$  为主要成分的  $\text{Ni-Cr}$  膜和一层  $0.5\text{ }\mu\text{m}$  厚的  $\text{Au}$  膜作为欧姆接触层,其中  $\text{Ni-Cr}$  膜为中间层。所制备的探

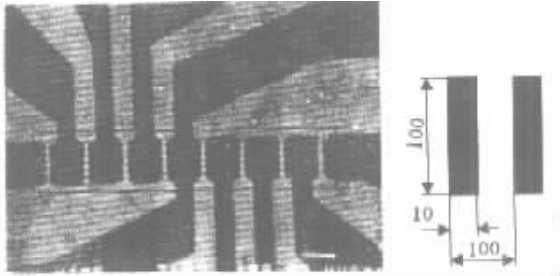


图 1 线列探测器光敏面的 SEM 形貌以及尺寸

Fig. 1 Pixels SEM of linear microbolometer array and size of the sensitive area

测器截面如图 2 所示,每单元探测器室温电阻为  $400\text{ k}\Omega$ 。该探测器线列为实验用探测器,设计中没有考虑光敏面的填充系数。

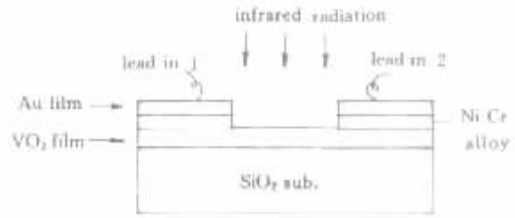


图 2 单元探测器的结构图

Fig. 2 Structure diagram of element microbolometer

## 3 测试与结果

所淀积薄膜的晶体结构和表面形貌分别用 X 射线衍射仪(XRD)(Rigaku,  $\text{CuK}\alpha$ )和扫描电镜(SEM)(JSM-35C)进行分析。对于在石英玻璃和  $\text{Si}(100)$  两种衬底上所淀积薄膜的 XRD 测试结果显示,除了  $\text{Si}(100)$  衬底自身的衍射峰外,薄膜衍射峰的峰位全部相同,表明在这两种衬底上所淀积薄膜的成分以及晶体结构相同,且薄膜是以  $\text{V}^{4+}$  和  $\text{V}^{5+}$  氧化物组成的混合相的多晶结构。在  $\text{Si}(100)$  衬底上所淀积薄膜的 SEM 如图 3 所示,可以明显地看到针状的晶粒,薄膜表面平整、致密且无明显的缺陷,而在石英玻璃衬底上所淀积薄膜的 SEM 无法看到晶粒边界,这表明在石英玻璃衬底上比在  $\text{Si}(100)$  衬底上淀积的氧化钒薄膜表面更加光滑、致密。

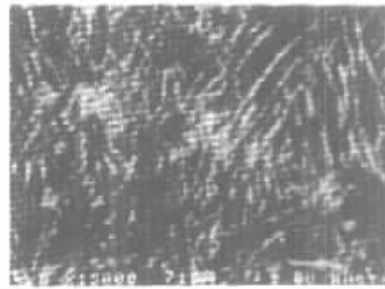


图 3  $\text{Si}(100)$  衬底上氧化钒薄膜的 SEM 表面形貌

Fig. 3 SEM surface morphology of  $\text{VO}_x$  thin film on  $\text{Si}(100)$  substrate

所制备的非致冷微测辐射热红外探测器的黑体响应率以及噪声按 GB/T 13584-92 红外探测器参数测试方法进行测试,而探测率的大小由相关的公式计算。探测器经低噪声的负载电阻与直流偏置电

源相联,响应信号和噪声电压由 EG&G 5209 锁相放大器读出。在响应测试中的黑体辐射由斩光盘 (ND-4)进行调制,调制频率 5.4 Hz~2.1 kHz 可调。在噪声测试中的频率参考信号由置于锁相放大器内部的信号发生器提供。测试过程中,风冷黑体 (CTG-1)温度为  $873 \pm 0.1$  K,环境温度为 296 K,光阑孔的直径为 5 mm,光阑孔与被测探测器的距离为 75 mm,  $8 \sim 12 \mu\text{m}$  的窗口,与探测器串联的负载电阻与探测器的阻值相等。该探测器的黑体响应率以及探测率与直流偏置电流的关系如图 4 所示。图中显示,在辐射信号的调制频率分别为 10 Hz 和 30 Hz 时,对应最大的黑体响应率和探测率的大小分别为  $17 \text{ kV/W}$ 、 $2.30 \times 10^8 \text{ cmHz}^{1/2}/\text{W}$  和  $9 \text{ kV/W}$ 、 $1.89 \times 10^8 \text{ cmHz}^{1/2}/\text{W}$ 。

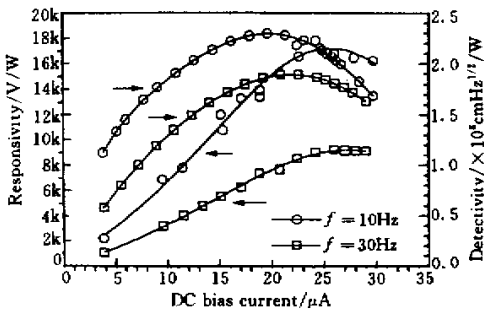


图 4 黑体响应率以及探测率与直流偏置电流的关系  
Fig. 4 Dependence of responsivity and detectivity on dc bias current

### 4 结 语

$\text{VO}_x$  微测辐射热焦平面阵列、热电焦平面阵列以及热电堆焦平面阵列是实现非致冷焦平面成像的三种技术途径。对于  $\text{VO}_x$  微测辐射热焦平面阵列技术,具有高电阻温度系数的混合相  $\text{VO}_x$  薄膜的淀积以及大面阵、高性能焦平面阵列的制备是该项技术的关键。本研究中,应用反应离子束溅射以及后退火工艺淀积了混合相  $\text{VO}_x$  薄膜并制备了实验用 8 元线列红外探测器,分析测试结果显示薄膜表面均匀致密、具有针状晶粒的多晶结构,实验证实该探测器实现了  $8 \sim 12 \mu\text{m}$  的非致冷室温红外探测。如果微测辐射热探测器采用  $\lambda/4$  谐振腔吸收增强隔热结构,由于探测器总热导的减小以及光敏面对红外辐照吸收率的增大,其红外响应率以及探测率等红外性能指标将会随之得到提高,其中探测率将增大

到  $10^9$  量级。这正是我们今后的研究方向。

### 参 考 文 献

- 1 R. A. Wood, N. A. Foss. Micromachined bolometer arrays achieve low-cost imaging. *Laser Focus World*, 1993, **29**(6):101~106
- 2 J. Kreider, P. Howard, C. Li *et al.*. Uncooled infrared arrays sense image scenes. *Laser Focus World*, 1997, **33**(8):139~150
- 3 R. J. Herring, P. E. Howard. Design and performance of the ULTRA  $320 \times 240$  uncooled focal plane array and sensor. *SPIE*, 1996, **2746**:2~12
- 4 H. Jerominek, F. Picard, N. R. Swart *et al.*. Micromachined uncooled  $\text{VO}_2$ -based IR bolometer arrays. *SPIE*, 1996, **2746**:60~71
- 5 A. Jahanzeb, C. M. Travers, Z. Celik-Butler. A semiconductor  $\text{YBaCuO}$  microbolometer for room temperature IR imaging. *IEE Trans. Electron. Devices*, 1997, **44**:1795~1801