

CCD 图像传感器技术与应用

CCD 图像传感器国家级重点实验室 编著

电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

CCD 图像传感器技术与应用/CCD 图像传感器国家级重点实验室编著.

—成都: 电子科技大学出版社, 2004. 6

ISBN 7-81094-406-1

I. C... II. C... III. 传感器—电荷耦合器件 IV. ①TN386. 5②TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 057143 号

内 容 提 要

本书是 CCD 图像传感器技术与应用的论文选集, 分为材料与工艺篇、器件与电路篇、发展与应用篇。通过本书, 可以了解近年来国内部分 CCD 图像传感器的种类、研究方法、工艺途径、研究成果和 CCD 图像传感器的发展方向及应用。

本书的主要阅读对象为从事 CCD 图像传感器技术研究、开发和生产的科研技术人员, 也可供大专院校有关师生和使用 CCD 图像传感器的科技人员参考。

CCD 图像传感器技术与应用

CCD 图像传感器国家级重点实验室 编著

出 版: 电子科技大学出版社 (成都建设北路二段四号, 邮编: 610054)

责任编辑: 江进优

发 行: 新华书店经销

印 刷: 成都市墨池教育印刷总厂

开 本: 787×1092 1/16 印张 13 字数 316 千字

版 次: 2004 年 6 月第一版

印 次: 2004 年 6 月第一次印刷

书 号: ISBN 7-81094-406-1/TM·7

印 数: 1—500 册

定 价: 32.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

邮购本书请与本社发行科联系。电话: (028) 83201495 邮编: 610054

本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

CCD 图像传感器国家级重点实验室

实 验 室 主 任：李晓锋

副 主 任：蒋志伟 熊 平

学术委员会主任：王俊波

副 主 任：张 坤 刘京郊

学术委员会委员：苏君红 黄尚廉 方家熊

刘永智 游志朴 苏启顺

韩建忠 蔡 毅 王 红

李晓锋 王海卿 蒋志伟

实验室开放办公室：刘昌林 李凤苓

序

电荷耦合器件 (CCD—Charge Coupled Devices) 自 1969 年由贝尔实验室的 Willard S. Boyle 和 George E. Smith 发明以来, 经过 30 余年的发展, 已取得了举世瞩目的成就。CCD 具有重量轻、功耗低、超低噪声、响应线性度好、高动态范围、高测光精度、宽光谱响应范围、高的几何稳定性、可靠性和耐用性等优点, 并具有图像获取、信号处理和数据存储等功能。随着器件本身的发展和信号处理技术的进步, CCD 图像传感器在各领域得到广泛的应用。在军事应用方面, 用于目标定位、空间遥感、精确制导、导弹寻的、侦察与微光夜视等; 在天体物理学方面, 用于对星体的观察和对宇宙射线的探测; 在空间卫星方面, 气象卫星、资源卫星、环境卫星等利用 CCD 成像仪进行气象、地球资源和环境等信息获取; 在工业、民用产品方面, CCD 摄像机广泛用于工业监控、精密测量和检测、扫描仪、医学诊断、科学实验、家用摄像机、数码照相机等, 目前民用数码相机、摄像机就是 CCD 图像传感器最普及的应用典型。随着对 CCD 图像传感器研究的不断深入和制造工艺水平的不断提高, 必将研制出更大规模、更多功能的高性能 CCD 图像传感器以满足日益增长的应用需求。

我国对 CCD 图像传感器的研制始于 20 世纪 70 年代末期。经过 20 余年的发展, 无论是在 CCD 研制还是在 CCD 应用方面都取得了长足的进步。

CCD 图像传感器国家级重点实验室始建于 1994 年, 1998 年建成并投入运行。实验室注重 CCD 基础技术研究, 已在高性能可见光 CCD 及其大阵列化研究, PtSi 等 Si 基红外 CCD 器件物理特性与工艺技术基础研究, CCD 图像传感器的计算机辅助设计和器件性能参数测试分析技术研究, 新型 CCD 红外图像传感器及其材料的探索研究, 半导体材料和器件设计、工艺过程对器件稳定性、可靠性的影响以及对光电对抗和恶劣环境中器件的失效机理问题研究等五个方面开展了工作。

作为国内惟一专门从事 CCD 图像传感器研制及其应用开发的实验室, CCD 图像传感器国家级重点实验室依托中国电子科技集团公司第四十四研究所, 现已成为国内 CCD 图像传感器基础研究的基地和资源共享、学术交流与合作的平台, 其研制水平处于国内领先地位, 某些技术已达到国际先进水平。

为了使 CCD 的最新成果与技术得以推广, 让更多同仁和有关科技人员了解 CCD 的发展现状与水平, 实验室将近年来有关 CCD 技术与应用的研究成果和研究论文编辑成册, 以供大家参考。

本书的出版得到了国防科工委、总装备部、中电集团公司有关领导的重视和指导, 在此表示诚挚的谢意!

CCD 图像传感器国家级重点实验室
学术委员会主任

王俊波

2004 年 6 月

目 录

材料与工艺篇

微透镜阵列的制作及其与图像传感器集成工艺研究	赖建军 柯才军 等	(2)
非制冷红外探测器用 VO_x 薄膜的制备	李华高 杨子文 等	(9)
多孔 PtSi 红外探测器技术	邓光华 熊 平 等	(13)
CCD 彩色膜工艺技术研究	李向东 龙 飞 等	(18)
PtSi 红外探测器截止波长延长研究	刘 爽 杨家德 等	(23)
BCCD 器件解析物理模型与仿真研究	于 奇 王 颖 等	(27)
CCD 输出二极管反向漏电机理的研究	易 萍	(33)
MEMS 工艺中 TMAH 湿法刻蚀的研究	罗 元 李向东 等	(37)
PECVD 生长氮化硅介质膜的工艺技术研究	张顾万 龙 飞	(41)
LPCVD 系统淀积多晶硅薄膜的发雾分析	张顾万 龙 飞 等	(46)
CCD 多晶硅栅条刻蚀的质量控制	李 平 张 坤 等	(50)

器件与电路篇

低光照和抗晕 CCD 的设计和制作	张 坤	(54)
512×512 元 PtSi 肖特基势 IR CCD 图像传感器	熊 平 周旭东 等	(59)
256×256 元 PtSi 肖特基势垒红外相机	翁雪涛 蒋志伟 等	(63)
2048×96TDI 可见光 CCD 结构设计	李仁豪	(69)
80×80 高速 CCD 研制	刘昌林 周旭东 等	(74)
双 2×46CCD 红外信号处理器	李仁豪 刘 方	(79)
X 射线线阵 CCD	李 平 汪朝敏 等	(84)
512×6 TDI/CD 图像传感器设计及工艺研究	张顾万 龙 飞	(87)
焦平面红外图像的非均匀性校正技术	唐遵烈 祁 琳	(91)
CCD 驱动电路电磁兼容分析与设计	龙再川 蒋志伟 等	(94)
32 路高速图像合成技术研究	蒋志伟 龙再川	(101)

发展与应用篇

电荷耦合器件发展与应用	张 坤	(106)
新颖固体图像传感器发展现状概述	程开富	(113)
红外焦平面阵列技术军用前景	孙志君	(120)
世界红外热像仪技术及其市场	孙志君	(128)

双波段和多波段焦平面阵列战术机载系统	李晓峰	孙志君	(140)
PtSi 肖特基势垒红外焦平面阵列器件的发展与应用	刘俊刚	程开富	(146)
红外焦平面阵列技术的军事装备应用	刘俊刚	孙志君	(151)
厘米级高分辨率成像卫星技术剖析	欧代永	孙志君	(161)
CCD 抗辐射加固技术	汪朝敏	顾正伟等	(167)
微光摄像器件的发展趋势	刘俊刚	程开富	(171)
新型紫外摄像器件及应用	王俊波	程开富	(176)
CMOS 图像传感器的新秀——ARAMIS 图像传感器	李晓峰	程开富	(185)
CCD 与 CMOS 图像传感器特点比较		熊平	(188)
不同波段红外图像的比较	蔡毅	王忆峰	(194)
参考文献			(200)
后记			(202)

材料与工艺篇

- 微透镜阵列的制作及其与图像传感器集成工艺研究
- 非制冷红外探测器用 VO_x 薄膜的制备
- 多孔 PtSi 红外探测器技术
- CCD 彩色膜工艺技术研究
- PtSi 红外探测器截止波长延长研究
- BCCD 器件解析物理模型与仿真研究
- CCD 输出二极管反向漏电机理的研究
- MEMS 工艺中 TMAH 湿法刻蚀的研究
- PECVD 生长氮化硅介质膜的工艺技术研究
- LPCVD 系统淀积多晶硅薄膜的发雾分析
- CCD 多晶硅栅条刻蚀的质量控制

微透镜阵列的制作及其与图像传感器集成工艺研究

赖建军 柯才军 陈四海 易新建

摘要: 微透镜阵列与图像传感器的集成技术是获得高灵敏度和高分辨率成像探测系统的一条简捷而高效的途径。微透镜与红外 PtSi 256×256 CCD 的集成结果表明微透镜填充系数提高 2.3 倍,成像质量明显改善。

Abstract: Integration of microlens array with image sensors is one of the most simple and effective method to achieve high sensitivity and spatial resolution for imaging detection systems. The integration technique was applied to PtSi 256×256 CCD and increase its fill factor by 2.3 times and obviously improved the imaging quality.

一、引言

图像传感器是现代广泛应用的一类重要光电器件。高灵敏度和高分辨率成像探测系统通常要求传感器的响应率和探测率高、噪声低、像元数大、像元尺寸小和填充因子大。由于材料制备和工艺制作上的困难,这些要求一般很难同时实现。例如空间分辨率的提高可以采取缩小小像元尺寸,增大阵列规模来实现,但像元尺寸的减小将导致光电信号减弱,信噪比特性恶化。这对于低填充系数的图像传感器阵列更为不利。微透镜阵列技术的发展为这些困难的解决提供了一条简捷而高效的途径。

常用的图像传感器包括电荷耦合器件(CCD)(含可见光和红外)、CMOS 有源像元传感器(APS)。面阵 CCD 相机主要采用帧转移 CCD 和内线转移 CCD。内线转移 CCD 由于在每两行光敏单元之间都夹着一行不透明的移位寄存单元,因而像元的填充系数只有 20%~30%。帧转移 CCD 由于成像单元与移位单元分开,因而填充系数较高,可以达到 70%以上。近几年 CMOS APS 图像传感器发展很快,与 CCD 相比,它具有体积小、功耗和价格低的特点,但是 APS 的主要缺点是像素尺寸较大,填充系数小,其设计填充系数与内线转移 CCD 接近,灵敏度、信噪比和成像质量稍逊于 CCD,主要用于中低端图像传感器市场。

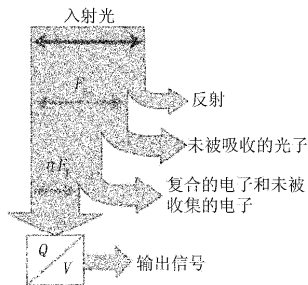
我们在国内较早开展了微透镜阵列技术提高图像传感器填充系数从而提高成像质量的研究。制作了可用于红外 CCD、可见光 CCD 的微透镜阵列,并实现了微透镜与图像传感器的集成。红外 CCD 集成微透镜后的灵敏度比集成前提高了 2.3 倍以上,达到了国外同期的水平。建立了高密度小口径微透镜阵列制作的成熟工艺,能够制作宽 F 数的各类微透镜,包括熔融石英、硅、高分子聚合物等折射或衍射微透镜阵列。

二、微透镜改善图像传感器性能的原理

1. 提高像元灵敏度

为了得到高灵敏度和空间分辨率,希望在更小的像元面积上尽可能多地将入射的光子转换成电子。理想情况下,入射的光子全部被光电二极管接受,以量子效率 η 转换成电子,此时,图像传感器像元的填充系数 F_F 为100%。但是由于读出寄存器以及抗晕结构等缘故,实际上图像传感器的填充系数不可能达到100%,某些类型的图像传感器只有20%~30%。光子的损失部分主要由以下几部分组成:介电层上的反射部分、光敏接受面上的未吸收部分、光生电子的复合或逃逸损失部分,如图1所示。

微透镜的作用就是使原本落入介电层上的光子由于微透镜的相位变化作用而偏折落入光敏区,扩大填充系数 F_F 。根据像元的灵敏度公式 $S = F_F \times \eta$, F_F 增加,直接导致灵敏度提高。



2. 微透镜阵列改善像质的应用

微透镜阵列改善像质的应用主要集中在 CCD 的主要生产国或地区,如日本、欧洲和美国,因此这些国家和地区开展微透镜技术应用于图像传感器聚光功能的研究较早,现在已经广泛地应用于其产品中。

日本 Sony 公司 CCD 部 1992 年就报道了研制出 1/3 英寸 3.8 万像元[768(H)×494(V)]CCD,单个像元尺寸为 6.35 μm (H)×7.40 μm (V),采用微透镜与 CCD 单片集成(on-chip microlens),达到提高信噪比和抗串扰的目的,实现了水平分辨率为 480 TV 线,感光灵敏度达 48 mV/lx,与无微透镜 CCD 比较,性能接近改善 1 倍。

松下电器公司 2000 年报道了研制的当时世界上最小尺寸的可见光 CCD 成像器件:1 mm 5 万像元内线转移 CCD [231(H)×217(V)],像元尺寸为 4 μm ×4 μm ,与微透镜单片集成,封装后 CCD 外形尺寸为 1.1 mm×1.34 mm,水平分辨率为 200 TV 线,感光灵敏度为 250 mV/lx,与无微透镜的同一 CCD 相比,灵敏度提高了约 1 倍。

NEC 2001 年制造了 1/3 英寸 130 万像元 CCD [1308(H)×1032(V)],单个像元尺寸为 3.8 μm (H)×3.8 μm (V),与微透镜集成在一起,感光灵敏度达 140 mV/lx。

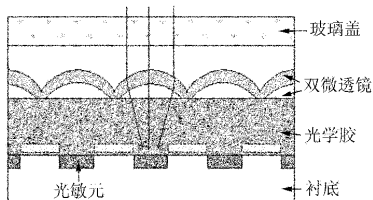


图 2 双微透镜集成结构

上述日本最权威的 CCD 生产厂家一致认为,随着 CCD 像元尺寸减小,微透镜的作用越来越大,它不仅可增大感光灵敏度,还可改善像质,减小畸变。

在欧洲,荷兰 Philips 公司半导体传感器部 2000 年在 IEDM(国际电子器件会议)上发表报告,研制了 2/3 英寸 320 万像元(2000×1600)CCD,单个像元尺寸为 4.1 μm ×4.1 μm ,采用

双层微透镜聚光,克服了单微透镜之间存在的聚光间隙,提高了聚光效率,改善了感光灵敏度,取得了很好的效果。图 2 说明了这种概念。

三、微透镜阵列的制作

微透镜分折射型和衍射型两种,在提高传感器成像质量上都有应用。折射型微透镜具有设计和工艺简单的特点,但是采用光刻胶热熔工艺的微透镜的焦长和表面形貌较难控制,获得的相对孔径在 $F/1 \sim F/10$, 过高或过低相对孔径的微透镜较难实现。台阶型衍射微透镜的制作采用二元光学方法,通过多次光刻和离子束刻蚀或反应离子刻蚀,理论上可以得到 94% (8 台阶) 和 99% (16 台阶) 以上衍射效率的微透镜。衍射微透镜的焦距由横向尺寸即菲涅尔环带半径决定,也就是由版图和光刻工艺决定,与台阶数无关。不足之处在于衍射微透镜存在多次套刻对准的问题,同时,由于受到光刻工艺对最小线宽的限制,获得高衍射效率的小口径微透镜比较困难。因此,在将微透镜聚光功能应用于图像传感器时,由于可见光 CCD 一般具有较小的像元尺寸(一般为 $3 \sim 12 \mu\text{m}$), 适于采用折射微透镜,而对于红外 CCD, 像元尺寸一般在 $20 \sim 50 \mu\text{m}$, 采用何种微透镜,由使用波长和所需 F 数决定。

1. 熔融石英折射微透镜阵列

热熔法制作折射微透镜的工艺流程如图 3 所示。关键的工艺过程为热熔条件的控制和图形转移对图形形貌和表面质量的控制。热熔过程在退火炉中进行,辅以一定流量的 Ar 气,以免光刻胶在高温下氧化。加热温度控制在光刻胶的玻璃化转变温度附近的适当温度范围。光刻胶在加热熔化后,由于表面张力和重力作用,形成一定曲面形貌的微透镜。微透镜的具体形貌与升降温速、热熔温度和保持时间、基底材料与光刻胶材料的界面状况等因素有关。改变这些因素可以得到不同形貌的微透镜,这为微透镜的形成增添了灵活性,但同时也为工艺的控制增添了复杂性。

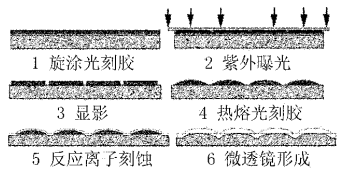


图 3 石英微透镜阵列的制作工艺流程

光刻胶微透镜的图形转移依靠反应离子刻蚀中反应离子和原子对熔融石英和光刻胶的刻蚀来完成。一般,希望两种材料的刻蚀速率接近,以保证高保真地将光刻胶微透镜复制到石英上。通过调整刻蚀参数如射频功率、气压以及气体组分比例等,可以得到采用 1 : 1 刻蚀速率比难以制作的小 F 数微透镜。反应离子刻蚀常会出现“草地”现象,影响微透镜表面光洁度和透过率。通过对气体配比、气压和射频功率等参量的优化,解决了此问题。图 4 (刻蚀条件: $\text{CHF}_3 : \text{O}_2 = 22 \text{ SCCM} : 1 \text{ SCCM}$, 射频功率: 70 W) 和图 5 (刻蚀条件: $\text{CHF}_3 : \text{O}_2 = 80 \text{ SCCM} : 10 \text{ SCCM}$, 射频功率: 100 W) 显示了在不同气体配比下石英微透镜的表面情况。

设计和制作了用于与可见光 CCD 集成的方形基底熔融石英微透镜阵列。掩模版尺寸如图 6 所示,单元尺寸为 $D \times D = 20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$, 相邻单元的间距为 $W_2 = 2 \mu\text{m}$, 单元阵列数为 516×516 。实际制作的表面轮廓如图 7 所示,其微透镜阵列如图 8 所示。可以看出,相邻单元间的间距小于 $0.5 \mu\text{m}$, 因此填充系数不低于 91%。

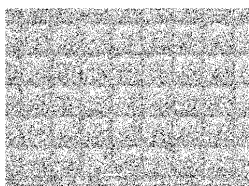


图 4 石英微透镜 SEM 照片

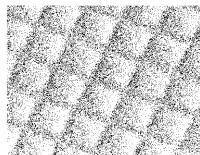


图 5 石英微透镜 SEM 照片

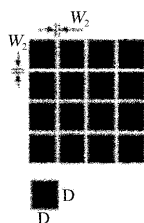


图 6 方形基底微透镜掩模版尺寸

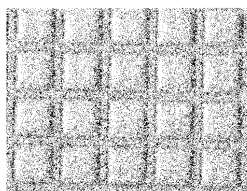


图 7 聚酰亚胺微透镜阵列光学显微照片

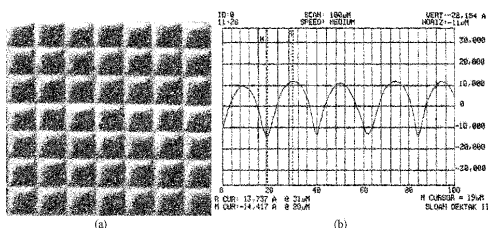


图 8 石英微透镜阵列的 SEM 照片和表面轮廓测试曲线

2. 聚酰亚胺折射微透镜阵列

聚酰亚胺是一种机械性能和化学稳定性都十分优良的耐高温高分子材料,在微电子领域被广泛使用。用于与可见光 CCD 单片集成的微透镜阵列,采用透明聚酰亚胺材料,与常规光刻胶相比,具有高光学透过率、高处理温度、高的机械性能、高的化学稳定性以及较好的常规工艺加工性能等优点。利用光刻胶制作微透镜,工艺虽然简单,但是普通光刻胶由于本身的化学性能和机械性能较差,光学性能也不好,不适于做最终的微透镜或其他结构材料,而只能用于定义图形或掩蔽等功能。

所使用的聚酰亚胺在可见光波段(400~900 nm)具有高透过率。涂覆了厚度为 10 μm 的聚酰亚胺薄膜的石英玻璃(厚度 2 mm)的透过率在 90% 以上,而 2 mm 厚的石英玻璃的透过率约为 92%,因此,不考虑在界面的反射,聚酰亚胺薄膜的透过率为 98%。

聚酰亚胺微透镜的制作工艺为:先在 CCD 芯片上涂覆一定厚度的聚酰亚胺胶层,紫外固化并加热亚胺化后,再旋涂 AZ1500 光刻胶,曝光显影后,加热至 160~200 $^{\circ}\text{C}$,使光刻胶浮雕图形热熔形成光刻胶微透镜,然后通过反应离子刻蚀转移至聚酰亚胺材料上。实验制作

的聚酰亚胺微透镜的光学显微照片如图 8 所示。

3. 硅、石英衍射微透镜

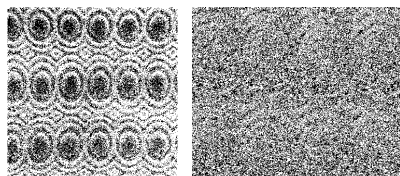
采用二元光学方法制作衍射微透镜。二元光学方法的优点在于通过设计即可确保微透镜接近 100% 的几何占空比, 焦长的控制可以方便地通过各环带的半径设计和刻蚀深度来精确掌握。

菲涅尔型衍射微透镜和一般衍射微透镜的设计软件可根据入射光波长、透镜焦距、孔径尺寸等参数, 设计微透镜的各台阶的横向和纵向尺寸, 对应于掩模版图上环带的半径和套刻深度。一般衍射微透镜的参数采用标量衍射理论和模拟退火优化算法计算。设计软件中, 输入的参量为入射波长、透镜焦距、孔径尺寸、误差容限等参数, 输出结果为位相分布图形及掩模版图形。

光刻工艺主要包括: 基片的处理, 涂胶, 曝光, 显影等。

反应离子刻蚀工艺用于将每次光刻后的光刻胶浮雕结构转移到硅或石英衬底上。在 AZ1500 光刻胶为掩蔽层刻蚀硅或石英的情况下, 通过适当控制刻蚀功率和反应气体配比, 可以得到刻蚀比(刻蚀比是硅或石英的刻蚀速率与光刻胶的刻蚀速率的比值)为 (20~50):1 的高选择性刻蚀。

针对 256×290 和 256×256 PtSi 探测器阵列设计和制作了口径分别为 $50 \mu\text{m} \times 33 \mu\text{m}$ 和 $40 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$ 的微透镜阵列。图 9 为衍射微透镜阵列的 SEM 照片。



(a) 256×290

(b) 256×256

图 9 衍射微透镜阵列的 SEM 照片

石英衍射微透镜的制作, 采用了一种自对准工艺。这种工艺主要是解决二元光学方法制作多位相台阶微透镜存在的套刻对准误差的问题。由于套刻对准误差是主要的误差源, 解决这一问题可以大大提高实际制作的衍射效率。自对准工艺的过程如图 10 所示。与常规工艺对比, 自对准工艺多了溅射铬膜, 湿法腐蚀铬膜, 负性胶光刻和显影, 反应离子选择性刻蚀等工艺过程, 因而工艺过程较复杂。然而, 从图中可以看出, 各位相台阶的位置由第一块掩模版决定后, 后面的各步并不影响到台阶的位置, 即避免了套刻对准误差。需要指出的是, 自对准工艺只适合于透紫外材料, 如石英等, 而不像传统工艺可应用于任何材料。由于石英微透镜阵列的应用日趋广泛, 如与 CCD 耦合以提高 CCD 的填充因子, 与半导体激光器阵列耦合以准直光束, 故这种工艺还是具有一定的价值。

图 11 所示是利用这种工艺制作的 1500×640 元微透镜阵列的部分 SEM 照片。微透镜的单元尺寸为: $50 \mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$, $F/\# = 3.54$ 。

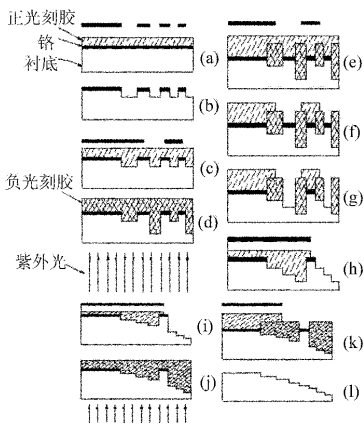


图 10 8 台阶自对准工艺示意图

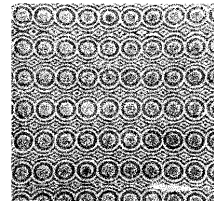


图 11 石英衍射微透镜 SEM

四、微透镜阵列和图像传感器的集成

微透镜阵列与图像传感器的集成有两种途径,即混合集成和单片集成。混合集成是先在硅或石英玻璃上制作微透镜,然后将微透镜和传感器芯片用光学胶粘结,主要工艺有光刻工艺、反应离子刻蚀工艺以及芯片/微透镜对准粘接工艺;单片集成则是直接在传感器芯片的正面上或背面上制作平坦层和微透镜,主要工艺有平坦层涂覆工艺、光刻胶微透镜制作工艺以及图形转移工艺。

航空航天领域对混合集成中光学胶的要求很高,而单片集成不存在这个问题。因此,我们的研究以单片集成为主。红外 CCD 与微透镜阵列单片集成方式的结构和参数如图 12 所示。

在像元面积为 $50\ \mu\text{m} \times 33\ \mu\text{m}$ 、光敏元的面积为 $25\ \mu\text{m} \times 17\ \mu\text{m}$ 、填充系数为 25.8% 的红外 256×256 PtSi CCD 上制作了 F 数为 1.88 的 8 位相微透镜阵列。在 77 K 温度下,测试了混合和单片集成两种样品的对温度为 700 K、辐射峰值波长为 $4\ \mu\text{m}$ 的标准黑体的响应,并与没有集成微透镜阵列的样品进行了比较。结果如表 1 所示。

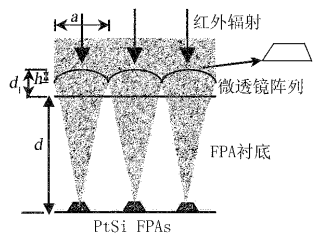


图 12 单片集成器件示意图

由表 1 可看出,有了微透镜阵列后,探测器的光电响应特性有了明显的提高。单片方式下,探测器的响应最大,成像质量最高,主要原因在于,在这种方式下,微透镜阵列与探测器阵列直接制作在同一衬底上,两者之间对准较为容易实现;而混合方式下,两者之间对准较难实现,且红外胶具有一定的吸收作用,这也是导致混合集成不如单片集成的原因。

表 1 三种样品的响应特性比较

样品 特性	无微透镜阵列	混合集成	单片集成
有效填充系数	25.75%	61.80%	77.26%
相对光电响应	1	2.3	3.0
成像质量	一般	好	很好

五、结论

微透镜阵列作为微光学领域的主要器件,在聚光、光束变换、光学成像等方面具有重要的用途。研究小组自九五以来在 CCD 图像传感器国家级重点实验室的支持下,开展了微透镜在图像传感器上的应用研究。国内其他单位如中科院成都光电所在这一领域也开展了很好的工作,值得借鉴。随着图像传感器的设计及工艺的发展,新结构的不断涌现,图像传感器的填充系数和成像质量都会不断提高。微透镜集成技术目前作为一种投资相对少却很有效的方法,在红外 CCD、内线转移 CCD 和 CMOS APS 图像传感器上的应用仍将会继续发展。

近年来,制作微透镜的新工艺和手段不断涌现。制作连续浮雕结构微透镜的直写技术、灰度掩模技术、光敏材料的热成型技术等为高性能高效率制作微透镜提供了新的途径。采用新工艺和新方法以及推广应用范围将是微透镜技术和应用研究的一个重要方向。

非制冷红外探测器用 VO_x 薄膜的制备

李华高 杨子文 刘 爽

摘 要: 介绍了一种采用反应溅射工艺,通过控制不同气氛的分布制备 VO_x 薄膜的方法,并制备出电阻温度系数(TCR)优于 -2% 的非制冷红外探测器用 VO_x 薄膜。其 XPS、XRD 分析结果表明,薄膜的生长情况与制备工艺条件有密切关系。

Abstract: Preparation of VO_x films by reactive sputtering and controlling the distribution of gases is introduced. VO_x films for uncooled infrared detectors with the TCR overmatch of -2% are successfully prepared. Study results of XPS and XRD are given, which show that the formation of VO_x films is greatly dependent on the condition of preparation technology.

一、引言

HgCdTe 、 InSb 和 PtSi 探测器在军事领域和部分工业领域得到应用,但由于工作时需要制冷以及成本等原因,在民用领域仍较难形成大的市场。20 世纪 90 年代以后,非制冷红外焦平面技术的突破和实用化,使其与制冷红外热像仪相比所具有的低成本、低功耗、长寿命、小型化和可靠性等优势得到很好发挥,成为当前红外热成像技术中最引人注目的突破之一,在军事和民用领域的应用前景将使传感器领域发生变革。

目前用于非制冷红外探测器的材料研究较多的是 $(\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x})\text{TiO}_3$ 、 $\text{Pb}_x\text{Zi}_{1-x}\text{TiO}_3$ 、 VO_x 。氧化钒对室温电阻温度变化很敏感,可得到较大的电阻温度系数(TCR),电阻值可以控制在几千欧姆到几万欧姆,此外,与读出电路的匹配性良好,可以满足辐射热测量计用材料的要求;另一方面,氧与钒的化合物有各种组合比的结晶相,而各种不同结晶相比的电阻和电阻温度系数明显不同,因此通过控制薄膜制备条件调整氧化钒薄膜组分,提高其电阻温度系数是十分重要的。本文介绍了一种用直流反应溅射制备氧化钒薄膜的方法,通过改进溅射设备使氩气、氧气呈不均匀分布,制备出具有良好电阻温度系数的 VO_x 薄膜,并用 XPS、XRD 对其进行了物相和晶体结构分析。

二、实验

1. 实验装置

反应溅射法制备薄膜时,受气体压力、基片温度、溅射功率、靶与基片间距等因素的影响,反应可能发生于靶或基片表面。实验中,溅射开始时靶材表面被氧化较少,溅射以金属钒

进行,速率较快,氧化主要发生于基片表面;随着靶表面被氧化增强,溅射物质将出现氧化钒,速率减慢,必须加大功率,然而,这样会引起导电性差的氧化钒由于电荷积累在靶面产生电弧放电,导致沉积膜产生“针孔”。因此本实验首先进行了实验装置改造。

实验装置如图 1 所示。设计一屏蔽罩在靶的外围,氩气直接通入其中;在靠近基片表面,氧气采用环形气管输入,使其在基片表面形成环形气流且分压最高。在靶面,氧分压极低,靶材不易氧化,同时可加速氩气压,以保证溅射能正常进行。这样,通过控制氩气和氧气在反应室的分布,使氧化主要发生在基片表面,以避免“针孔”出现,提高成膜质量。

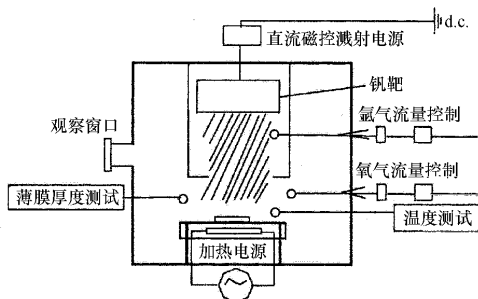


图 1 反应溅射装置

2. 样品制备

基片采用 p-Si(100),电阻率为 $10 \pm 1 \Omega \cdot \text{cm}$ 。溅射前经半导体工艺常规 1[#]、2[#]、4[#] 清洗,用稀 HF(1 : 15)溶液去除表面自然氧化层;送入真空室加热基片,溅射前先通入氩气,溅射稳定后通入氧气;溅射是在 DONTON-DVI60 系统中进行的,本底真空度为 $1.0 \times 10^{-5} \text{Pa}$,工作真空度为 $2.0 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 。将溅射后的样品进行真空退火。实验条件如表 1 所示。

表 1 实验条件

条件 样品	基片温度/°C	流量比(O ₂ : Ar)	溅射功率 P/W	溅射厚度 d/nm	退火温度/°C	退火时间 t/h
样品 1	350	1 : 10	225	50	500	1
样品 2	450	0.75 : 10	225	50	500	1

三、结果和讨论

1. XPS 分析

图 2、图 3 所示分别是样品 1、样品 2 的 XPS 图谱。实验是在 MICKOLAB MAKE XV 表面分析仪中进行的,真空度为 $3 \times 10^{-7} \text{Pa}$,采用 MgK_αX 射线源,步长为 0.05 eV,用 C1s 峰进行芯能级校正。

从图 2、图 3 可以看出,在本实验装置和条件下能制备 VO_x 薄膜。比较两图可知:样品 1 的 VO_x 薄膜中存在 VO₂、V₂O₃、V₂O₅ 以及少量金属 V,其中 V₂O₃、V₂O₅ 含量为主;样品

$2VO_x$ 薄膜物相为 VO_2 和少量 V_2O_5 , 没有 V_2O_3 和金属 V 。表明反应温度较高有利于 V 与 O 的反应; VO_x 的物相比较多。热稳定性存在差异, VO_2 的热稳定性较好, 光温度升高时, V_2O_3 、 V_2O_5 等物相易向 VO_2 转化。

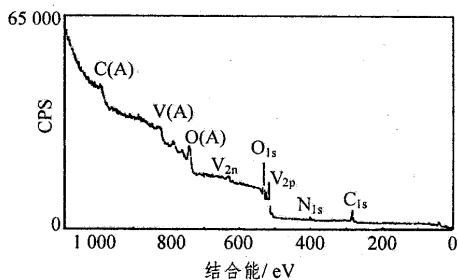


图 2 样品 1 的 XPS 谱

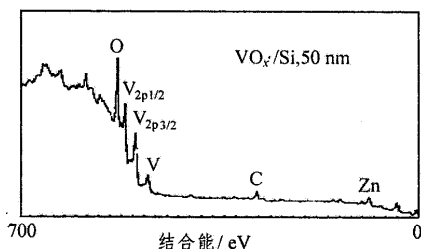


图 3 样品 2 的 XPS 谱

2. XRD 分析

为了研究薄膜生长情况, 将样品进行 XRD 分析。样品 1、2 的 XRD 图相似, 如图 4 所示。实验是在双晶衍射仪中进行的, $V = 30\text{kV}$, $I = 140\text{mA}$, 计数为 1kCPS , 扫描范围为 $10^\circ \sim 120^\circ$ 。图 4 中只出现 Si 衬底衍射峰, 没有 VO_x 的衍射峰, 表明该实验方法制备的 VO_x 薄膜物主要是非晶态薄膜。有报道认为, 晶态的 VO_x 薄膜同制备工艺有密切关系。本实验采用 Si 单晶作为衬底, 在其上生长的薄膜呈有序生长的可能性极大, 但由于实验是反应溅射, 沉积到衬底表面的物质是 VO_x , 而外界提供的能量不足以使 VO_x 原子再结晶形成有序排列, 因而形成非晶态。

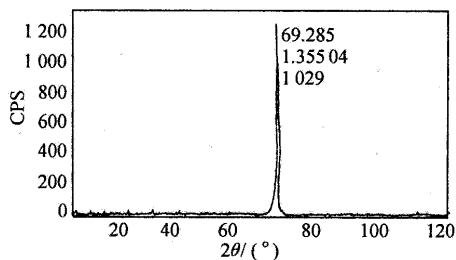


图 4 样品的 XRD 谱图