

文章编号: 1672-8785(2017)07-0048-05

新型铟砷锑非致冷型光导探测器的性能研究

曹红红

(陕西华星电子集团有限公司红外分公司, 陕西咸阳 712099)

摘 要: 介绍了采用新工艺生长的铟砷锑厚膜单晶。我公司采用和室温锑化铟探测器相同的工艺结构将其制成了高灵敏、非致冷型光导探测器, 并对它的光电性能和光谱响应率进行了测试。将该探测器与室温锑化铟、致冷锑化铟以及硒化铅探测器作了对比, 所得数据为工作中在中远红外波段 (5~12 μm) 范围内的铟砷锑探测器的更广泛应用提供了可靠的依据。

关键词: 铟砷锑厚膜单晶; 光电性能; 光谱响应率; 发展前景

中图分类号: TN215 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2017.07.008

Performance Study of New Uncooled Indium Arsenic Antimony Photoconductive Detector

CAO Hong-hong

(Huaxing Electronics Group Co., LTD, Infrared Branch of Shanxi, Xianyang 712099, China)

Abstract: An Indium Arsenic Antimony (InAsSb) thick film single crystal grown by new technology was presented. With this material, a highly sensitive uncooled photoconductive detector was made by using the same process as that of room temperature InSb detectors. The photoelectric properties and spectral responsivity of the detector were measured and compared with those of the room temperature InSb detector, the cooled InSb detector and the PbSe detector. The obtained data provided a reliable basis for the wider application of InAsSb detectors operating in the mid and long infrared waveband (5-12 μm).

Key words: indium arsenic antimony; thick film single crystal; photoelectric property; spectral responsivity; development prospect

0 引言

InAsSb 是一种性能优良的窄带超晶格红外探测器材料。InAsSb 在 III - V 族半导体中带隙最小, 室温下可覆盖 8~14 μm 波段, 其结构稳定, 而且具有比 HgCdTe 高的迁移率。III - V 族半导体的加工工艺发达, 所以 InAsSb 材料越来越受到人们的重视。我们使用的铟砷锑 InAs_{0.05}Sb_{0.95} 厚膜单晶是采用熔体外延法 (Melt-epitaxy, ME)

在砷化铟 InAs 衬底上生长的。该单晶材料经过磨片、研磨和腐蚀后被减薄到了 10~15 μm , 我们用它制成了高灵敏、非致冷型中长波光导型探测器, 并在探测器上安装了锗 (Ge) 浸没透镜, 探测器的光敏面积为 0.05×0.05 cm^2 。另外, 我们还用专用的红外光电性能测试台上对该单晶材料的光电性能进行了测试, 并在 WQF-520 型傅里叶变换中远红外光谱测试仪上进行了光谱响

收稿日期: 2017-03-30

作者简介: 曹红红 (1974-), 女, 河南平顶山人, 工程师, 主要从事滤光片、红外探测器光谱测试, 红外探测器光电性能测试方面的研究工作。 E-mail: caohh7486@sina.com

应率测试。测试结果能为改进铟砷锑厚膜单晶的生长工艺以及对提升用它制成的探测器的性能提供有利的数据支持和资料收集, 使 InAsSb 材料的优越性能达到最大化。非致冷型铟砷锑光导型探测器是新一代性能良好的中远红外探测器, 其在红外探测和成像方面的应用前景是巨大的。

1 光电性能测试

我们先对 InAsSb 材料进行粗磨、划片、细研磨、切条和腐蚀减薄等, 将其制成 InAsSb 芯片, 再经过焊接、浸没、组装、通电老化等工序将其制成非致冷型光导探测器。产品外形图如图 1、图 2 所示。我公司生产的 InSb 器件应用电路如图 3 所示。



图 1 产品实物图

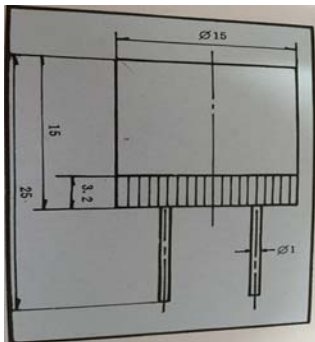


图 2 产品外形图

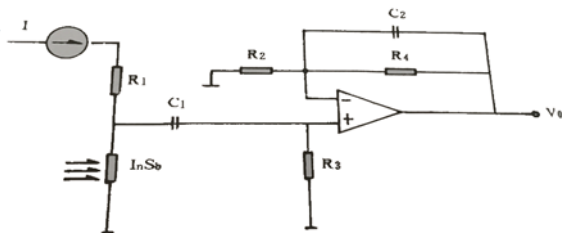


图 3 InSb 红外探测器应用电路

红外探测器的响应率是表征红外探测器对入射辐射灵敏程度的物理量。响应率越大, 探测器对辐射信号的灵敏程度越好。对探测器而言, 探测率越高, 探测性能就越好。计算所使用的探测器的响应率 D_{bb}^* 和探测率 R_{bb} 时, 需先计算入射到探测器上的黑体辐射照度:

$$E = \alpha \varepsilon \delta (T^4 - T_0^4) A / \pi L^2 \quad (1)$$

式中, E 为黑体辐射照度, 其单位是 W/cm^2 , α 为调制因子 (正旋调制 $1/2 \times 2^{1/2}$), ε 为黑体辐射源的有效发射率 (以 1 计算), δ 为斯忒藩-玻尔兹曼常数, 其大小为 $5.67 \times 10^{-12} W/cm^2 K^4$ 。 T 为黑体的温度, 其值为 500 K, T_0 为环境温度, 其值为 293 K, A 为黑体辐射源的光阑面积, 其值为 $\pi 0.6^2 / 4 cm^2$, L 为黑体辐射源光阑至被探测器之间的距离, 其值为 16.7 cm。

入射到探测器上的辐射功率为

$$P = A_n \times E \quad (2)$$

式中, A_n 为探测器标称的工作面积, 其值为 $0.05 \times 0.05 cm^2$ 。

黑体响应率为

$$R_{bb} = V_s / P \quad (3)$$

式中, V_s 为信号电压, 其单位为 V 。

黑体探测率为

$$D_{bb}^* = R_{bb} (A_n \Delta f)^{1/2} / V_n = V_s (A_n \Delta f)^{1/2} / P V_n \quad (4)$$

式中, V_n 为探测器噪声, 其单位为 V 。 Δf 为等效噪声带宽, 其值为 52 Hz。

由以上公式和数据, 最后算出探测器的响应率和探测率为

$$R_v = 1.12 V_s \quad (5)$$

$$D^* = 4.04 \times 10^6 V_s / V_n \quad (6)$$

我们采用了和室温碲化铟一样的 HW-GD2 型光电性能测试台。测试条件是, 黑体温度为 500 K, 调制频率为 800 Hz, 测量放大器的放大倍数为 10^4 , 偏流为 10 mA。黑体辐射源的光阑面积为 $\pi 0.6^2 / 4 cm^2$, 黑体辐射源光阑至探测器

的距离为 16.7cm, 等效噪声带宽为 52 Hz。把 5 只室温铈化铟和 5 只室温铟砷铈探测器放置在室温 20 °C 下恒温 1 h 后测试, 测试数据见表 1~表 4。

由表 1~表 4 可以看出, 铟砷铈比室温铈化铟探测器的阻值小、噪音小。致冷型铈化铟虽然阻值小, 但噪音大。与铈化铟探测器和硒化铅探测器比较, 铟砷铈有阻值小、响应率高、探测率高等特点。在以上条件下测得的产品信号 VS、

噪声 V_n 为 YH5811 型测量放大器上仪表的读数。以上数据表明, 铟砷铈探测器具有阻抗小、信号高、噪音小、响应率和探测率高等特点, 它的应用前景很大。因为所采用的工艺结构和检测手段的局限性, 铟砷铈探测器与室温铈化铟探测器在探测率和响应率上并没有很大的优越性, 希望今后通过改进工艺结构方式和产品结构来提升它的性能。

表 1 铟砷铈的测试数据

样品编号	$R_T(\Omega)$	$V_s(\text{mV})$	$V_n(\text{mV})$	$R_v(\text{V/W})$	$D^*(\text{cm Hz}^{1/2}\text{W}^{-1})$
1#	36	125	0.9	128	5.2×10^8
2#	40	105	0.32	87	9.8×10^8
3#	45	155	0.32	157	1.77×10^9
4#	48	150	0.32	146	1.6×10^9
5#	29	115	0.32	129	1.45×10^9

表 2 室温铈化铟的测试数据

样品编号	$R_T(\Omega)$	$V_s(\text{mV})$	$V_n(\text{mV})$	$R_v(\text{V/W})$	$D^*(\text{cm Hz}^{1/2}\text{W}^{-1})$
1#	86	700	0.46	7.8×10^2	6.1×10^9
2#	140	1450	0.70	1.6×10^3	8.4×10^9
3#	94	1050	0.70	1.2×10^3	6.1×10^9
4#	129	1200	0.38	1.3×10^3	1.3×10^{10}
5#	80	800	0.34	9.0×10^2	9.5×10^9

表 3 致冷铈化铟的测试数据

样品编号	$R_T(\Omega)$	$V_s(\text{mV})$	$V_n(\text{mV})$
1#	8.7	295	9.2
2#	5.5	290	13.1
3#	10.3	313	7.1

表 4 硒化铅的测试数据

样品编号	$R_T(k\Omega)$	$V_s(\mu\text{V})$	$V_n(\mu\text{V})$	$R_v(\text{V/W})$	$D^*(\text{cm Hz}^{1/2}\text{W}^{-1})$
1#	220	110	9	7.0×10^2	1.05×10^8
2#	350	120	12	7.63×10^2	8.6×10^7
3#	480	98	8	6.23×10^2	1.06×10^8

2 光谱响应测试

红外光谱响应度是红外探测领域的重要技术指标。随着红外探测技术的发展, 精确测量红外探测器的光谱响应率变得越来越重要。傅里叶变换红外光谱仪 (Fourier Transform Infrared, FTIR) 是分子吸收光谱, 不同的官能团、化学键振动或转动对不同波数的红外光有吸收。据此, 可以测定出样品有哪些官能团或化学键存在或发生了变化, 因此可用于物质的定性、定量、反应过程等的研究。我公司采用 WQF-520 型中远红外 FTIR 光谱仪, 测量温度为 20 °C, 对室温碲化铟、铟砷铊探测器、致冷型碲化铟和硒化铅探测器进行光谱响应率测试, 它们的光谱响应谱图如图 4~ 图 6 所示。

由图 4~ 图 6 谱图可以看出, 铟砷铊探测器的响应波长最长, 达到 8.5 μm 。通过谱图对比, 铟砷铊探测器的光谱响应波长范围为 2~9 μm , 峰值波长 λ_p 为 5.9 μm , 室温碲化铟探测器的光谱响应波长范围为 2~8 μm , 峰值波长 λ_p 为 5.3 μm , 致冷型碲化铟探测器的光谱响应波长范围为 3.2~5.9 μm , 峰值波长 λ_p 为 4.2~4.8 μm , 硒化铅探测器的光谱响应波长范围为 3.6~4.6 μm , 峰值波长 λ_p 为 4.1 μm 。这说明铟砷铊的光谱响应更宽, 响应波长更长; 铟砷铊探测器在 8 μm 以上波段的应用也更广泛。由于产品结构的局限性, 光谱响应范围没有达到理论值 14 μm , 今

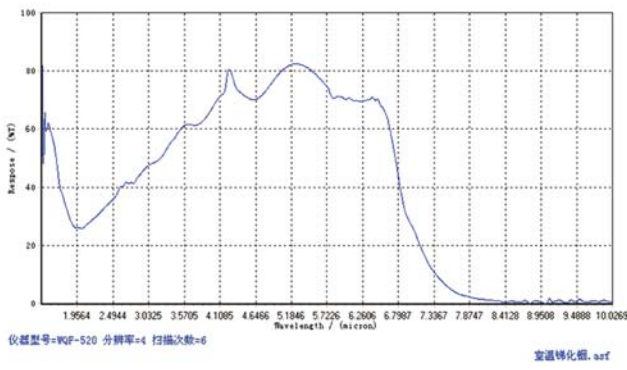


图 4 室温碲化铟的光谱响应率

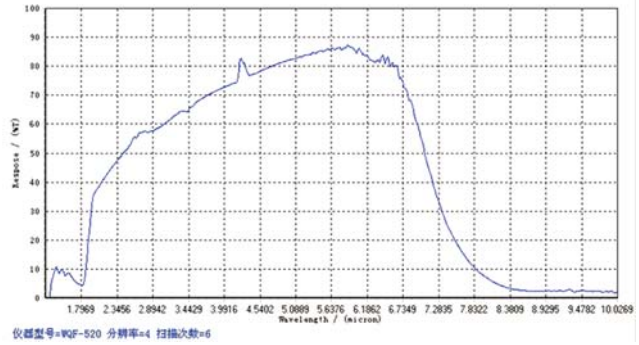


图 5 铟砷铊探测器的光谱响应率

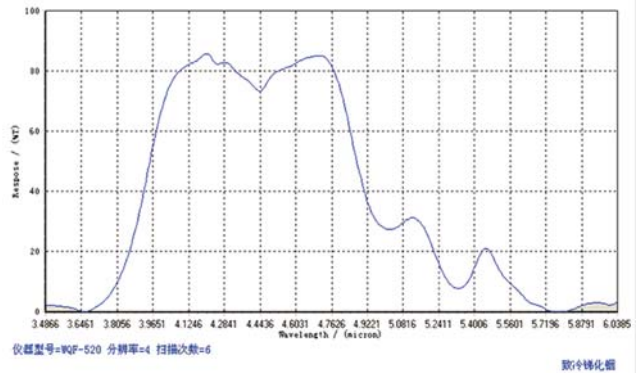


图 6 致冷碲化铟探测器的光谱响应率

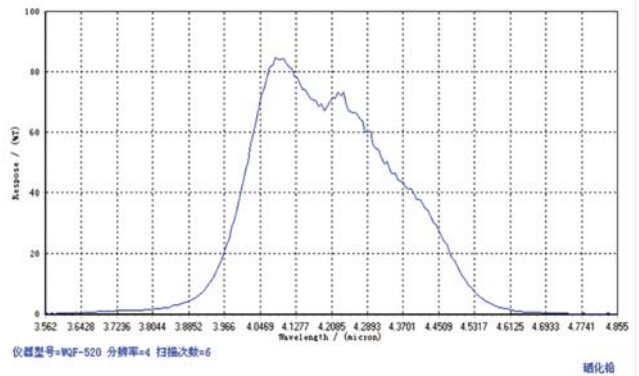


图 7 硒化铅探测器的光谱响应率

3 结束语

性能测试结果表明, InAsSb 红外探测器的性能优越, 应用前景很大, 在航空、航天领域的应用具有很高价值。工作在 5~12 μm 的中长波红外探测器在红外制导、红外成像、环境监测及资源探测等方面有着广阔的应用前景。从我国目前的发展来看, 军用和民用对这一波段的非致冷型、快速响应的光导型红外探测器都有着迫切需求。InAsSb 超晶格材料是近年来兴起的一

种新型本征吸收窄禁带半导体材料, 它的许多优越性能使其在军事等领域具有非常广泛的应用, 但材料的生长技术水平限制了其应用, 关于它的报道较少。此外, InAsSb 超晶格红外探测器芯片的台面腐蚀减薄和表面钝化工艺水平还有待提高。希望在不久的将来, InAsSb 红外材料在制备工艺和探测器研制方面能有更大的突破, 为我国的国防事业作出更大的贡献。

参考文献

- [1] 高玉竹, 洪伟, 龚秀英, 等. 非制冷型中长波钨铋探测器 [J]. *电子与封装*, 2014, 14(2):45-48.
- [2] 谢君才, 司俊杰. 红外探测器相对光谱响应率的自动测试 [J]. *红外技术*, 1992, 14(2):29-32.
- [3] 仲伟君, 赵晓利. 非制冷型 InAsSb 光电探测器及其应用 [J]. *电子元器件应用*, 2003(6):63-66.
- [4] 任青梅. 红外探测器测试仪检定装置的研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 1999.
- [5] 张利学. InAs/GaSb 薄膜及器件特性研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 2014.

新闻动态 News

HIRMES—用于同温层红外天文台的新型高分辨率中红外光谱仪

据 <https://phys.org> 网站报道, 美国宇航局 (National Aeronautics and Space Administration, NASA) 正在开发一种能扩大天文研究范围的新工具。NASA 戈达德太空飞行中心 (Goddard Space Flight Center, GSFC) 的科学家和技术专家团队正在研发一种高分辨率红外光谱仪 (High-Resolution Mid-Infrared Spectrometer, HIRMES)——这是一种将使我们能进行新的科学调查的创新仪器, 它将为我们对宇宙的了解作出重要贡献。预计 HIRMES 将于 2018 年底在 NASA 的红外天文学平流层天文台 (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy, SOFIA) 上投入使用。SOFIA 是一款经过改装的波音 747SP, 其内置 2.5 m 直径的红外望远镜。SOFIA 将飞越 95% 左右的地球大气水汽层, 这将使天文学家可以获得在地面即使用最强大的地基望远镜也不可能观测到的波长。



图 1 HIRMES 仪器设计建议的剖面 CAD 模型

为最大利用 SOFIA 提供的独特平台, HIRMES 将采用最新的探测器和光学技术, 其光谱范围为 25~122 μm , 分辨力为 600~10⁵。

HIRMES 将拓展现有的成熟技术, 在推动现有技术发展和可靠性之间为 SOFIA 不断增长的用户群体取得平衡。HIRMES 将采用基于超导过渡边缘传感器的测辐射热计, 在 0.1 K 的温度下工作, 提供仅受天空背景限制的固有信噪比的灵敏度。与目前部署在 SOFIA 仪器中的外差探测器相比, 这些探测器的噪声低一个数量级, 并且对谱线的观测时间缩短到二百分之一。HIRMES 检测器将以 16×64 像元格式排列, 以提供低分辨率和中等分辨率的包括成像的光谱观测。针对低背景优化的单独的 8×16 元件阵列将应用于高分辨率功率观测。多级制冷系统将提供背景限探测器性能所需的 100 mK 散热片。由望远镜传递的光的光学色散将通过光栅、镜子和可调法布里-珀罗干涉式单色仪系统来完成。

HIRMES 主要将通过富含离子、原子和分子谱线丰富的光谱范围详细研究行星系统的形成过程。HIRMES 科学计划将弄清原行星磁场的结构和演变, 并将提高我们对从均匀磁盘演变为新兴行星系统的建模能力。在行星开始形成时, 它们与环境有明显的互动, HIRMES 计划将加深我们对这些相互作用导致星状物形成的了解。HIRMES 团队还将研究大规模原恒星的形成过程和加速渐近巨型分支星尘的机制。NASA 预计, 科学界对 HIRMES 将提供的强大的新功能有重大需求。

GSFC 团队于 2016 年进行了仪器概念研究, 随后 HIRMES 仪器的研发工作立即开始, 包括实验子系统评估和有限长期硬件项目采购, 以保证积极的发展进度。HIRMES 团队正致力于 2017 财年关键的设计审查, 然后进行硬件开发, 以便在 2018 年底完成仪器交付。

□ 张小华