

n-HgCdTe 光导器件的两种表面钝化研究*

周咏东¹⁾ 方家熊²⁾ 汤定元²⁾

¹⁾苏州大学物理系, 苏州, 215006;

²⁾中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

TN 215

摘要 利用 Ar⁺束溅射沉积技术实现了 CdTe 薄膜的低温生长, 利用电化学方法进行了 HgCdTe 表面自身阳极氧化膜的生长, 利用生长的 CdTe 介质膜和 HgCdTe 表面自身阳极氧化膜对 n-HgCdTe 光导器件进行了表面钝化. 对两种器件的电阻、各项性能指标进行了测量分析, 实验表明得到的 CdTe/HgCdTe 界面质量已达到器件实用化水平.

关键词 器件表面钝化, CdTe, HgCdTe, Ar⁺束溅射沉积.

红外探测器 砷化镓 光导器件

THE STUDY OF TWO KINDS OF SURFACE PASSIVATION WAYS FOR n-HgCdTe PHOTOCONDUCTOR DEVICE*

ZHOU Yong-Dong¹⁾ FANG Jia-Xiong²⁾ TANG Ding-Yuan²⁾

¹⁾Physics Department, Soochow University, Suzhou, Jiangsu 215006, China;

²⁾Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract The CdTe film was deposited at low temperature by Ar⁺ beam sputtering deposition technique. The anodic oxide film of the HgCdTe crystal was fabricated by use of electrochemical method. The CdTe film and the anodic oxide film were used for passivation of n-HgCdTe photoconductor device. The resistance and the device performance of the two kinds of devices were measured. It was proved that the quality of the CdTe/HgCdTe interface can meet the requirements of the passivation of photovoltaic HgCdTe infrared focal plane arrays.

Key words device surface passivation, CdTe, HgCdTe, Ar⁺ beam sputtering deposition.

引言

第二代红外探测器^[1~2]——红外焦平面器件 (FPAs) 要求器件芯片以光伏形式工作^[3], 因此器件的表面钝化方案必须重新考虑. HgCdTe 的自身氧化膜 (尽管已成功地应用于 HgCdTe 光导器件的表面钝化) 由于与 HgCdTe 的界面存在高密度固定电荷 ($2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$) 而无缘于 HgCdTe FPAs 芯片的表面钝化^[4]. 目前最有希望应用的表面钝化材料为 CdTe^[5~6].

本文首先利用 Ar⁺束溅射沉积技术, 实现了 HgCdTe 表面的钝化介质——CdTe 的低温生长; 利用生长的 CdTe 介质膜直接进行 HgCdTe 光导器件的表面钝化. 为了减少 HgCdTe 器件工艺重复性不好的影响, 本文同步用自身阳极氧化膜对 HgCdTe 表面钝化

进行比较研究, 用器件的最终性能指标作为衡量依据, 即在同一块 HgCdTe 表面的不同区域分别采用 CdTe 介质膜、HgCdTe 自身阳极氧化膜进行器件的表面钝化, 得到的器件选择紧靠在一起 (排除 HgCdTe 材料横向不均匀带来的偏差) 的不同表面钝化 (CdTe 介质膜、HgCdTe 自身阳极氧化膜) HgCdTe 光导器件, 同时装入一杜瓦瓶中进行性能测量分析, 得到 CdTe/HgCdTe 界面相对于成熟的自身阳极氧化膜/HgCdTe 界面质量的水平. 如果考虑 CdTe/HgCdTe 界面为近平带, 而阳极氧化膜/HgCdTe 界面带正电荷, 对于 n-HgCdTe 光导器件, CdTe 钝化的器件若要达到阳极氧化膜钝化的器件性能指标, 其 CdTe/HgCdTe 界面质量必须更好 (有更低的 HgCdTe 表面快、慢态密度, 更低的电子陷阱密度).

* 国家航天高技术青年科学基金 (编号 863-2.00.4) 和江苏省教委自然科学基金 (编号 98KJB430001) 资助项目
稿件收到日期 1999-07-20, 修改稿收到日期 1999-11-30

* The project supported by the Youth Scientific Foundation of the National Space Flight Technology Committee (No. 863-2.00.4) and Natural Science Foundation of Education Commission of Jiangsu Province of China (No. 98KJB430001)
Received 1999-07-20, revised 1999-11-30

1 实验

离子束溅射沉积系统采用国产 LDJ-2A 双离子束系统,材料生长时 Ar^+ 气压控制在 $1.9 \times 10^{-3} Pa$,并用 $11^\circ C$ 的冷却水对靶台和样品架进行制冷.生长介质 CdTe 的靶盘为用 $\phi 25mm$ 的 CdTe 多晶片用树脂拼贴于 $\phi 120mm$ 的铜板上做成, CdTe 为非故意掺杂的 p 型多晶,其迁移率 μ_p 为 $10^2 \sim 10^3 cm^2/s \cdot V$,电阻率 ρ 为 $10^5 \sim 10^6 \Omega \cdot cm$. CdTe 溅射沉积条件为 Ar^+ 束能量为 250eV,束流为 40mA, CdTe 膜厚 900 \AA .

HgCdTe 表面自身阳极氧化膜的电化学生长工艺及 n-HgCdTe 光导器件的制备工艺均采用中国科学院上海技术物理研究所成熟的 HgCdTe 器件生产工艺^[4]进行.两种不同方案表面钝化的器件芯片光敏元面积

为 $1mm \times 1mm^2$ 、厚度约 $10\mu m$. 器件装入杜瓦瓶中引线、抽真空后进行室温、低温(77K)电阻及其各项性能参数(探测率 D^* 、响应率 R_s^* 、噪声 N 、信噪比 S/N)的测量,器件性能的测量采用变偏流进行,室温、低温偏流值分别取 3、4、5、6mA 和 1、2、3、4mA,黑体目标的温度设定为 500K,黑体孔径取 $\phi=0.8cm$,器件距黑体距离为 30cm,测量中心频率是 1KHz,带宽为 100Hz.

2 结果与讨论

表 1~5 是对 6 只器件的室温、低温(77K)电阻及各项性能指标的测量结果(6 只器件取自同一 HgCdTe 晶片中心的相邻两排,其中 3 只为 CdTe 介质膜表面钝化,另外 3 只为成熟的 HgCdTe 自身阳极氧化膜表面钝化).对比表 1 中两种器件的电阻测量值

表 1 CdTe 介质膜、阳极氧化膜钝化的 n-HgCdTe 光导器件电阻 $R(\Omega)$ 测量值

Table 1 The measured resistance $R(\Omega)$ of the n-HgCdTe photoconductor of CdTe surface passivant and anodic passivant

测量温度	器件表面钝化工艺					
	HgCdTe 自身阳极氧化膜钝化			溅射沉积 CdTe 介质膜钝化		
	器件编号			器件编号		
	(-2,3)	(-1,3)	(-1,2)	(1,2)	(2,2)	(3,2)
室温	289	255	279	290	295	317
低温	232	214	225	395	416	516

表 2 CdTe 介质膜、阳极氧化膜钝化的 n-HgCdTe 光导器件探测率 $D^* (cmHz^{1/2}W^{-1})$ 测量值

Table 2 The measured detectivity $D^* (cmHz^{1/2}W^{-1})$ of the n-HgCdTe photoconductor of CdTe surface passivant and anodic passivant

测量温度	器件钝化	阳极氧化膜钝化			溅射沉积 CdTe 介质膜钝化			
	器件号	(-2,3)	(-1,3)	(-1,2)	(1,2)	(2,2)	(3,2)	
室温	偏流	3mA	1.24×10^8	1.35×10^8	1.23×10^8	1.33×10^8	2.33×10^8	1.68×10^8
		4mA	1.54×10^8	1.24×10^8	1.46×10^8	1.54×10^8	1.71×10^8	1.98×10^8
		5mA	1.40×10^8	1.33×10^8	1.50×10^8	1.64×10^8	1.79×10^8	2.05×10^8
		6mA	1.54×10^8	1.40×10^8	1.48×10^8	1.76×10^8	1.75×10^8	1.61×10^8
低温	偏流	1mA	2.53×10^9	2.74×10^9	1.66×10^9	0.714×10^9	0.823×10^9	1.22×10^9
		2mA	2.65×10^9	2.70×10^9	1.52×10^9	0.824×10^9	0.849×10^9	1.11×10^9
		3mA	2.69×10^9	2.95×10^9	1.52×10^9	1.00×10^9	0.953×10^9	0.989×10^9
		4mA	2.90×10^9	3.13×10^9	1.64×10^9	1.08×10^9	1.14×10^9	0.771×10^9

表 3 CdTe 介质膜、阳极氧化膜钝化的 n-HgCdTe 光导器件响应率 $R(V/W)$ 测量值

Table 3 The measured responsivity $R(V/W)$ of the n-HgCdTe photoconductor of CdTe surface passivant and anodic passivant

测量温度	器件钝化	阳极氧化膜钝化			溅射沉积 CdTe 介质膜钝化			
	器件号	(-2,3)	(-1,3)	(-1,2)	(1,2)	(2,2)	(3,2)	
室温	偏流	3mA	3.89	2.75	3.63	4.05	4.21	5.98
		4mA	5.13	3.60	4.76	5.30	5.61	7.79
		5mA	6.24	4.38	5.75	6.43	6.80	9.46
		6mA	7.22	5.09	6.70	7.48	7.91	11.0
低温	偏流	1mA	193	156	185	307	367	364
		2mA	389	317	373	603	709	713
		3mA	592	482	564	915	1020	1030
		4mA	814	652	763	1210	1300	1320

表 4 CdTe 介质膜、阳极氧化膜钝化的 n-HgCdTe 光导器件噪声 $N(V/Hz^{1/2})$ 测量值
Table 4 The measured noise $N(V/Hz^{1/2})$ of the n-HgCdTe photoconductor of CdTe surface passivant and anodic passivant

测量温度	器件钝化		阳极氧化膜钝化			溅射沉积 CdTe 介质膜钝化		
	器件号	(-2,3)	(-1,3)	(-1,2)	(1,2)	(2,2)	(3,2)	
室温	偏流	3mA	3.14×10^{-9}	2.04×10^{-9}	2.95×10^{-9}	3.05×10^{-9}	1.81×10^{-9}	3.55×10^{-9}
		4mA	3.33×10^{-9}	2.91×10^{-9}	3.26×10^{-9}	3.43×10^{-9}	3.27×10^{-9}	3.94×10^{-9}
		5mA	4.46×10^{-9}	3.30×10^{-9}	3.84×10^{-9}	3.92×10^{-9}	3.79×10^{-9}	4.61×10^{-9}
		6mA	4.70×10^{-9}	3.64×10^{-9}	4.54×10^{-9}	4.24×10^{-9}	4.52×10^{-9}	6.85×10^{-9}
低温	偏流	1mA	0.76×10^{-8}	0.571×10^{-8}	1.11×10^{-8}	4.31×10^{-8}	4.46×10^{-8}	3.00×10^{-8}
		2mA	1.47×10^{-8}	1.17×10^{-8}	2.45×10^{-8}	7.31×10^{-8}	8.36×10^{-8}	6.42×10^{-8}
		3mA	2.20×10^{-8}	1.64×10^{-8}	3.71×10^{-8}	9.12×10^{-8}	10.7×10^{-8}	10.4×10^{-8}
		4mA	2.81×10^{-8}	2.08×10^{-8}	4.66×10^{-8}	11.2×10^{-8}	11.5×10^{-8}	1.72×10^{-8}

表 5 CdTe 介质膜、阳极氧化膜钝化的 n-HgCdTe 光导器件信噪比 S/N 测量值
Table 5 The measured signal-to-noise ratio (S/N) of the n-HgCdTe photoconductor of CdTe surface passivant and anodic passivant

测量温度	器件钝化		阳极氧化膜钝化			溅射沉积 CdTe 介质膜钝化		
	器件号	(-2,3)	(-1,3)	(-1,2)	(1,2)	(2,2)	(3,2)	
室温	偏流	3mA	23.90	25.95	23.69	25.56	44.62	32.82
		4mA	29.64	23.85	28.11	29.76	33.03	38.10
		5mA	26.92	25.59	28.89	31.63	34.55	39.57
		6mA	29.59	26.94	28.45	34.00	33.71	30.98
低温	偏流	1mA	488.18	527.53	319.82	137.59	158.59	234.19
		2mA	510.21	520.56	293.61	158.84	163.59	214.03
		3mA	517.74	567.80	293.13	193.20	183.61	190.51
		4mA	558.18	603.91	315.70	207.84	218.74	148.49

可知,不管是在室温还是在低温状态下,6只器件中 CdTe 钝化的 3 只器件的电阻值均比阳极氧化膜钝化的 3 只器件电阻值大;对比 6 只器件的室温电阻和低温电阻可见,3 只 CdTe 钝化的器件低温电阻均明显大于室温电阻,而阳极氧化膜钝化的器件低温电阻却小于室温电阻,情况正好相反。

表 2 列出了 6 只器件室温、低温(77K)探测率 D^* 变偏流测量值。对比不同表面钝化的两种器件室温 D^* 值可见,CdTe 钝化的 3 只器件 D^* 值略高于阳极氧化膜钝化的 3 只器件 D^* 值;对比两种器件的低温性能可见,在低温(77K)环境中阳极氧化膜钝化的 3 只器件 D^* 值均优于 CdTe 钝化的 3 只器件 D^* 值。

表 3 为 6 只器件室温、低温(77K)黑体响应率 R 变偏流测量值。对比两种器件室温 R 值可见,CdTe 钝化的 3 只器件 R 值仍略高于阳极氧化膜钝化的 3 只器件 R 值;对比各器件的低温 R 值可见,在低温(77K)下,CdTe 介质膜钝化的 3 只器件 R 值均明显高于阳极氧化膜钝化的 3 只器件(高近一倍)。

表 4 为 6 只器件室温、低温(77K)不同偏流状态下测得的器件噪声 N 值。对比两种器件室温噪声 N 值可见,两种材料钝化的器件在室温下噪声相差不多(无明显差别);对比各器件的低温器件噪声可见,

CdTe 钝化的 3 只器件低温工作噪声已明显超过了阳极氧化膜钝化的 3 只器件。

表 5 为 6 只器件室温、低温(77K)不同偏流状态下测得的器件信噪比 S/N 值。对比两种器件室温时的信噪比可见,CdTe 钝化的 3 只器件信噪比明显优于阳极氧化膜钝化的 3 只器件;对比各器件低温时的信噪比发现 CdTe 钝化的 3 只器件信噪比均明显低于阳极氧化膜钝化的 3 只器件。

对于上述两种不同材料钝化的器件电阻值出现的明显差异我们作如下讨论。

CdTe 钝化器件的电阻值高于阳极氧化膜钝化的器件电阻值,这应该有两方面的原因:(1) 阳极氧化膜/HgCdTe 界面固定电荷为正值,因此器件表面为多数载流子——电子积累,表面沟道电阻小,而 CdTe/HgCdTe 界面一般认为是近平带(这一点已被随后的 MIS 器件 C-V 特性研究所证实),不存在表面载流子的积累,也就不存在表面沟道,因此器件阻值大于阳极氧化膜钝化的器件阻值;(2) 由于钝化材料不同,器件工艺过程必须做相应的调整,尽管我们为了保证 CdTe 表面钝化器件的电极欧姆的接触而增加了一步工艺,但这批 CdTe 钝化的器件电极欧姆接触仍不如成熟的阳极氧化膜钝化器件的电极欧姆接触那样理

想,这就进一步增大了器件的电阻值,实际情况可能包含有上述这两方面的原因。

两种不同表面钝化的器件在不同温度下电阻值变化规律正好相反,这可能是由于钝化膜与 HgCdTe 界面固定电荷密度随温度变化的规律不同造成的,CdTe 钝化的 HgCdTe 表面在低温下呈近平带,而 HgCdTe 自身阳极氧化膜钝化的 HgCdTe 表面在低温下表面积累最严重,表面沟道效应最明显(这就导致了这种表面钝化配置的 HgCdTe 器件在光伏工作状态下失效)。

上述对两种不同材料钝化的器件各项性能指标测量结果表明: CdTe 钝化的 HgCdTe 器件响应率 R 值均高于阳极氧化膜钝化的 HgCdTe 器件,说明这里器件的 CdTe/HgCdTe 界面质量已明显达到并超出了 HgCdTe 自身阳极氧化膜/HgCdTe 界面,但是尽管上述 CdTe 钝化的 HgCdTe 器件有优良的介质膜/HgCdTe 界面质量(低的界面态密度、界面陷阱密度),由于 CdTe 钝化的 n-HgCdTe 光导器件不象 HgCdTe 自身阳极氧化膜钝化的 n-HgCdTe 光导器件那样,表面呈多数载流子积累、少数载流子耗尽状态,不仅光生载流子寿命得到增大,而且可以降低器件的噪声,所以产生了 CdTe 钝化的器件最终在低温状态下的探测率 D^* 以及信噪比 S/N 仍然低于成熟的阳极氧化膜钝化的 n-HgCdTe 光导器件(在 n-HgCdTe 光导器件的表面钝化工艺中,HgCdTe 自身阳极氧化膜仍然占有明显优势)。当然上述 CdTe 钝化的 HgCdTe 器件电极欧姆接触不很理想也同样在一定程度上增大了器件的噪声(这方面原因通过器件工艺过程的改进可以克服)。

3 结论

总结上述实验结果,我们有理由认为,我们所获得

的器件 CdTe/HgCdTe 界面质量已经达到成熟的 HgCdTe 自身阳极氧化膜/HgCdTe 的界面质量水平(CdTe/HgCdTe 界面的快、慢态密度、电子陷阱密度均可达到成熟的 HgCdTe 自身氧化膜/HgCdTe 界面的工艺水平),即从界面质量来看,我们所获得的 CdTe 介质膜对 HgCdTe 器件的表面钝化已经达到了实用化水平,可以满足 HgCdTe 红外焦平面芯片的表面钝化需要。

REFERENCES

- [1] Willardson R K, Albert C. BEER, *Semiconductors and Semimetals*, Vol. 18, the U.S.; ACADEMIC PRESS, A Subsidiary of Harcourt Brace Jovanovich Publishers, 1981
- [2] Johann Ziegler, Martin Bruder, Joachim Wendler, *et al.* Second generation-FPA'S with MCT sensor arrays in hybrid approach, *SPIE (Infrared Detectors; State of the Art)*, 1992, 1735: 151—161
- [3] Paul R Norton. Infrared image sensors, *Optical Engineering*, 1991, 30(11): 1649—1663
- [4] ZHAO Jun. Novel passivant for mercury cadmium telluride—cadmium telluride, Doctoral Dissertation, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences (赵军. 碲镉汞新型钝化膜——碲化镉, 博士学位论文, 中国科学院上海技术物理研究所), 1996
- [5] Nemirovsky Y, Mainzer N, Weiss E. Passivation of HgCdTe, in book of *Properties of Narrow Gap Cadmium-based Compounds*, Edited by PETER CAPPER, An INSPEC publication, London, United Kingdom; the Institution of Electrical Engineers. EMIS datareviews Series No. 10 1994, 284—290
- [6] ZHOU Yong-Dong. The study of the material growth and the passivation characterization of the HgCdTe infrared detectors, Doctoral Dissertation, 1997, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences (周咏东. HgCdTe 探测器芯片钝化介质的生长及其特性研究, 博士学位论文, 中国科学院上海技术物理研究所), 1997