

# CdTe 钝化的 HgCdTe 非平衡载流子 表面复合速度的实验研究\*

周咏东<sup>1)</sup> 赵军<sup>2)</sup> 龚海梅<sup>2)</sup> 李言谨<sup>2)</sup> 方家熊<sup>2)</sup>

(<sup>1)</sup>苏州大学物理科学与技术学院, 苏州, 215006)

(<sup>2)</sup>中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

TN304.2

~~TA304.15~~

0473

**摘要:**利用 Ar<sup>+</sup> 束溅射沉积技术在 HgCdTe 表面实现了低温 CdTe 介质薄膜的低温生长. 在同一 HgCdTe 晶片表面分别用 CdTe 介质膜、HgCdTe 自身阳极氧化膜进行表面钝化. 利用光电导衰退测量技术测量了两种不同表面钝化的薄 HgCdTe 晶片的非平衡载流子(少数载流子)寿命, 并通过光电导衰减信号波形的拟合, 得到两种不同表面钝化的 HgCdTe 表面复合速度. 实验结果表明, 获得的 CdTe/HgCdTe 界面质量已超过了成熟的自身阳极氧化膜/HgCdTe 界面质量水平.

**关键词:** CdTe, Ar<sup>+</sup> 束溅射沉积, HgCdTe, 光电导衰退, 表面复合速度.

钝化膜, 非平衡载流子

## SURFACE RECOMBINATION VELOCITY OF THE HgCdTe SURFACE PASSIVATED WITH SPUTTERING CdTe FILM\*

ZHOU Yong-Dong<sup>1)</sup> ZHAO Jun<sup>2)</sup> GONG Hai-Mei<sup>2)</sup> LI Yan-Jin<sup>2)</sup> FANG Jia-Xiong<sup>2)</sup>

(<sup>1)</sup>Department of Science and Technology, Suzhou University, Suzhou, Jiangsu 215006, China)

(<sup>2)</sup>Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

**Abstract** CdTe film was deposited on the HgCdTe crystalline surface under low temperature condition using Ar<sup>+</sup> beam sputtering deposition technique. The surface of different areas of a HgCdTe wafer was passivated with CdTe film and anodic oxide film. The non-equilibrium carriers lifetimes of the HgCdTe crystals of different surface passivants were obtained using photo-conductivity decay technique. The surface recombination velocities of the HgCdTe surfaces passivated with the CdTe film and anodic oxide film were also worked out. The results show that the HgCdTe sample passivated with the sputtering CdTe film has an even better interface quality as compared with the HgCdTe sample passivated with the well developed anodic oxide technology.

**Key words** CdTe, Ar<sup>+</sup> beam sputtering deposition, HgCdTe, photo-conductivity decay, surface recombination velocity.

### 引言

由于有很强的军事、航天应用背景, Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 材料的生长、器件工艺得到各发达国家的高度重视<sup>[1]</sup>. 随着军用热成像系统从第一代向第二代的过渡, 要求碲镉汞红外焦平面(FPA)芯片以光伏形式工作<sup>[2]</sup>, 因此, 器件各关键工艺均必须作相应的调整, 调整后的器件工艺与成熟的碲镉汞光导器件工艺存在根本区别. 具体到器件的表面钝化, 攻关方案为碲镉汞表面的介质膜钝化<sup>[3]</sup>. CdTe 由于其化学组份、晶格常数、晶体结构等均与碲镉

汞很接近, 完全耗尽的 CdTe 具有好的绝缘性, 加之 CdTe 有很好的稳定性而被认为是最理想的 HgCdTe FPA 器件芯片的表面钝化材料<sup>[3,4]</sup>. 由于 HgCdTe 器件工艺不成熟, 工艺重复性不好, 且工艺过程中的不确定因素很多, 所以不能简单地用器件的最终性能指标来表征器件的表面钝化水平. 本文首先利用 Ar<sup>+</sup> 束溅射沉积的方法实现了 CdTe 介质膜对 HgCdTe 晶片的表面钝化, 然后利用光电导衰退测量分析技术对比研究了 CdTe 介质膜和成熟的 HgCdTe 阳极氧化膜钝化层/HgCdTe 晶片界面质量水平, 实验证明 CdTe 介质膜与 HgCdTe 界

\* 江苏省教委自然科学基金(编号 98KJB430001)资助项目  
稿件收到日期 1999-04-04, 修改稿收到日期 1999-08-12

\* The project supported by the Natural Science Foundation of Education Committee of Jiangsu Province, China  
Received 1999-04-04, revised 1999-08-12

面质量(界面态密度、陷阱密度水平)已明显超过了成熟的阳极氧化膜/HgCdTe 界面质量水平。

## 1 实验

离子束溅射沉积系统为国产 LDJ-2A 型双离子束系统,系统真空度可达  $1.0 \times 10^{-3}$  Pa 以上,材料生长时 Ar 气压控制在  $1.9 \times 10^{-3}$  Pa,用 11C 的自循环冷却水制冷靶台和样品架,保护靶和 HgCdTe 样品(材料沉积时,衬底 HgCdTe 温度不高于 26℃,而 HgCdTe 器件工艺要求样品温度不超过 70℃),沉积过程中,样品架可实现旋转,以保证介质材料生长的均匀性,生长介质 CdTe 的靶盘用  $\phi 25$ mm 的 CdTe 多晶片用树脂拼贴于  $\phi 120$ mm 的铜板上做成,CdTe 多晶片为非故意掺杂的 P 型多晶,其迁移率  $\mu_i$  为  $10^2 \sim 10^3$  s $\cdot$ V,电阻率  $\rho$  为  $10^3 \sim 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

在研究 CdTe 钝化的 HgCdTe 表面时,我们用工艺成熟的 HgCdTe 自身阳极氧化膜钝化的 HgCdTe 表面作为标准进行对比分析研究。为了避免 HgCdTe 器件工艺重复性带来的误差,我们采用下面的工艺方案:首先将 HgCdTe 晶体减薄到 50 $\mu\text{m}$  左右,然后先在半块 HgCdTe 晶体表面采用 Ar<sup>+</sup> 束溅射生长 CdTe 薄膜技术对其进行表面介质膜钝化(溅射沉积条件为:Ar<sup>+</sup> 束能量 250eV、束流 40mA、CdTe 膜厚 160nm),再对另外半块 HgCdTe 晶体表面采用成熟的阳极氧化膜钝化工艺对其进行表面钝化(阳极氧化膜厚度约为 70nm),对具有两种不同表面钝化的 HgCdTe 晶片两侧用 Ar<sup>+</sup> 束沉积技术沉积 In/Au 电极,并进行引线(此时整个 HgCdTe 晶体样品可以看成为一个光电导型探测器,具体结构如图 1 所示),装入杜瓦瓶,在液氮

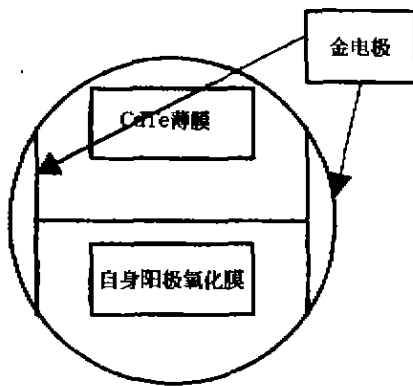


图 1 分别采用沉积 CdTe 介质膜、自身阳极氧化膜钝化的 HgCdTe 样品表面结构示意图

Fig. 1 The HgCdTe sample's forward surface passivated with anodic oxide film and deposited CdTe dielectric film

温度下进行光电导衰退实验分析。

光电导衰退测量采用 GaAs/GaAlAs 异质结激光器作为光源(波长 0.83 $\mu\text{m}$ ,峰值功率 2W,脉宽 10~400ns,100ns 脉冲后沿为 2ns,重复频率为 30~300Hz),光电导信号用 Tektronix TDS520 高频数字储存示波器记录(采样频率为 500MS/S),其垂直分辨率可达 1mV/div,精度在 1%以内(积分 10000 次降低随机噪声),数据通过 IEEE STD488 标准接口卡输入计算机中,同时计算机还可以自动控制样品位置(二维调节),在样品表面进行扫描测量,测出 HgCdTe 材料有效少数寿命的面分布情况,计算机还可以采集各测量点光电导信号衰减波形,以供随后的数据分析,拟合出对应测量点处材料的表面复合速度<sup>[1]</sup>。

## 2 结果与讨论

对图 1 中两种不同器件工艺表面钝化(CdTe 介质膜和自身阳极氧化膜)的 HgCdTe 薄片样品表面,按顺序测得 155 点的有效少数载流子(非平衡载流子)寿命值,图 2 为对图 1 中样品测量得到的有效少数载流子寿命面分布三维图,图中左上侧(对应于 Y 值方向)的有效少数载流子寿命测量值为对应于 CdTe 介质膜钝化的 HgCdTe 薄样品有效少数载流子寿命,右下侧(对应于 y 值方向)的有效少数载流子寿命测量值为对应于阳极氧化膜钝化的 HgCdTe 薄样品有效少数载流子寿命,从图中可看出,CdTe 钝化的 HgCdTe 薄样品有效少数载流子寿命值略高于阳极氧化膜钝化的 HgCdTe 薄样品有效少数载流子寿命值,但测量值起伏很大,说明该 HgCdTe 样品横向均匀性

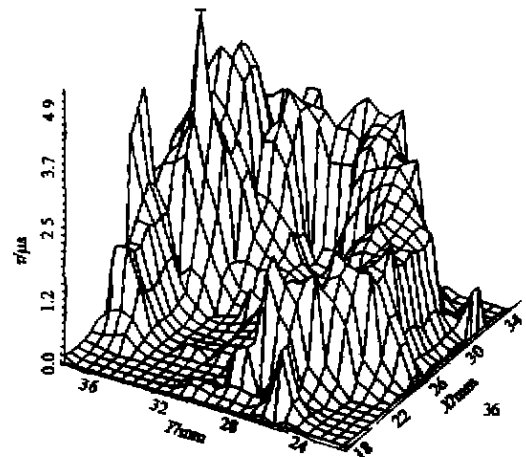


图 2 自身阳极氧化膜、溅射沉积 CdTe 介质膜钝化的 HgCdTe 样品有效非平衡载流子寿命面分布三维图  
Fig. 2 The non-equilibrium carriers lifetime distribution of the HgCdTe sample shown in Fig. 1

很差,因此尚不足以说明 CdTe 钝化的 HgCdTe 界面质量优于阳极氧化膜钝化的 HgCdTe 界面质量. 图 2 中 CdTe 介质膜、阳极氧化膜钝化的 HgCdTe 薄样品有效少数载流子寿命测量值的差异主要可能源于 HgCdTe 样品本身的横向不均匀性.

为了排除 HgCdTe 样品本身横向不均匀性的影响,我们又对图 1 中样品表面随机选择了一些点采集其光电导衰退波形图,并进行数据拟合处理,提取出材料的非平衡载流子表面复合速度值(由于非平衡载流子在体内复合衰减过程与扩散到表面复合衰减的过程不同,使得我们有可能用数学方法分开这两种过程导致的光电导衰退情况,获得材料少数载流子体寿命和表面复合速度值,详细分析参见文献[5]).

表 1 按实际测量点的位置坐标列出我们抽测的一些点表面复合速度值. 图 3 给出了表 1 中各测量点位置纵坐标值及其表面复合速度值,图中各点的纵坐标为表 1 中各实验点的表面复合速度值,横坐标为表 1 中各实验测量点的纵坐标值,图 3 左半部各点的表面复合速度值为图 1 中样品下半部 HgCdTe 自身阳极氧化膜钝化的 HgCdTe 晶体材料表面复合速度值,图 3 右半部各点的表面复合速度值为图 1 中样品上半部 CdTe 介质膜表面钝化的 HgCdTe 材料表面复合速度值. 我们对表 1 中各实验点进行数据统计处理,将  $S > 1000\text{cm/s}$  和  $S < 100\text{cm/s}$  的测量值当作误差不予考虑,统计平均后,CdTe 钝化的 HgCdTe 表面复合速度平均值为  $276.08\text{cm/s}$ ,阳极氧化膜钝化的 HgCdTe 表面复合速度平均值为  $500.80\text{cm/s}$ (示于图 3 上面). 统

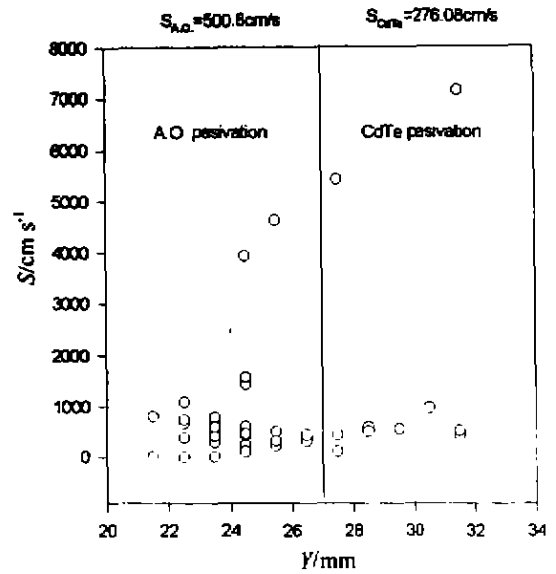


图 3 CdTe 介质膜、HgCdTe 自身阳极氧化膜钝化的 HgCdTe 样品表面复合速度值分布图  
Fig. 3 The surface recombination velocity of the sample shown in Fig. 1 versus its Y direction position of the detecting point

计结果说明 CdTe 钝化的 HgCdTe 表面复合速度值明显低于阳极氧化膜钝化的 HgCdTe 表面复合速度值.

### 3 结论

3.1 对上述材料有效少数载流子寿命测量分析结果表明: 这里获得的 CdTe 介质膜对 HgCdTe 表面钝化的,材料有效少数载流子寿命值不会低于成熟的阳极氧化膜钝化的 HgCdTe 寿命值.

表 1 阳极氧化膜/钝化镉钝化的碲镉汞材料表面复合速度 (cm/s) 面分布情况表

Table 1 The surface recombination velocities of the HgCdTe crystal surface passivated with CdTe film or anodic oxide film

X	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Y													
31.5							7147.8	510.5	418	519.3			
30.5										970.4	846.2		
29.5											556.4		
28.5										505.2	587.1		
27.5									436.1	107	434.7		
26.5	322.5	368.6					4633						
25.5								50.3	221.9	244.1	316.7		
24.5	7361.1		101.5	452.5	3921.7	1572.7	1429.5	607.1	471.5	429.4	554.8	243.8	
23.5	299.7	317.9	11.6	413.5	763.4	774.3	617.4	530.5	790	498	602.3		
22.5			1082.9	671.5	671.1	744	383.8	0.41					
21.5					797.1	4.28							

3.2 对CdTe以及阳极氧化膜钝化的HgCdTe材料表面复合速度的对比测量分析表明: CdTe钝化的HgCdTe少数载流子表面复合速度值明显低于HgCdTe自身阳极氧化膜钝化的HgCdTe表面复合速度值。

3.3 总的来讲,本文得到的CdTe介质膜与HgCdTe界面质量(界面态密度、陷阱密度水平)已明显超过了成熟的阳极氧化膜/HgCdTe界面质量水平,这一点与用溅射沉积的CdTe介质膜直接进行表面钝化的HgCdTe光导型红外探测器的器件研究及其性能测试分析结果相吻合<sup>[6]</sup>。

#### REFERENCES

- [1] TANG Ding-Yuan, TONG Fei-Ming. *Research and Progress of Semiconductor Device*, Volume 2, ed. WANG Shou-Wu, Beijing: Science Press(汤定元,童斐明,半导体器件研究与进展(二),王守武主编,北京:科学出版社),1991
- [2] Paul R Norton. *Infrared image sensors*, *Optical Engineering*, 1991, **30**(11):1649—1663
- [3] Peter Capper. *Properties of Narrow Gap Cadmium-based Compounds*. London: Institution of Electrical Engineers, EMIS Datareviews Series 1994,10;
- [4] ZHOU Yong-Dong, FANG Jia-Xiong, ZHAO Jun, *et al.* The device passivation study for the use of HgCdTe focal plane arrays, *Chinese Journal of Functional Materials*(周咏东,方家熊,赵军,等,碲镉汞红外焦平面芯片钝化方案可行性的研究, *功能材料*),1998, **29**:113 - 114
- [5] GONG Hai-Mei. The study of the surface and interface of HgCdTe, doctoral dissertation, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences(龚海梅,碲镉汞表面与界面,博士学位论文,中国科学院上海技术物理研究所),1993
- [6] ZHOU Yong-Dong, FANG Jia-Xiong, JIN Xiu-Fang, *et al.* The sputtering deposition of CdTe film and the use of the film for the surface passivation of n-HgCdTe photoconductor device, *Chinese Journal of Functional Materials*(周咏东,方家熊,靳秀芳,等,CdTe的溅射生长及其对n-HgCdTe光导器件的表面钝化, *功能材料*),1998, **29**:167 - 169