

## 两种氧化方法对 InSb 探测器钝化效果的研究

刘 炜

(中国空空导弹研究院,河南 洛阳 471009)

**摘 要:** 比较了阳极氧化和Photo-CVD 氧化两种钝化方式制备 InSb 探测器的性能,结果表明前者反偏漏电流小,击穿电压是后者的 5 倍,背景光电流和零偏阻抗基本相同。C-V 测试结果:前者固定表面电荷密度为  $2 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ ,后者为  $1.5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ 。两种氧化方法制备的器件经过高温高湿老化试验后,在反偏 1 V 时,阳极氧化器件漏电比变化率只有 Photo-CVD 氧化器件的 50%,二者背景光电流均有增加,可能与器件光敏面扩大有关。阳极氧化钝化方法,工艺过程易于控制,钝化效果一致性较好,器件的界面状态更加稳定。

**关键词:** InSb; 红外探测器; 钝化; 阳极氧化; Photo-CVD

**中图分类号:** TN21    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1007-2276(2013)07-1815-04

## Passivation of InSb detector with two oxide method

Liu Wei

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

**Abstract:** The performance of InSb detectors with a nodic oxide and photo-CVD oxide had been compared in this paper. It showed that leak current of detectors with anodic oxide was less than those with photo-CVD oxide, and breakage voltage of the former detectors was as much as 5 times of the latter ones, but the photocurrent and impedance of the former ones was the same as the latter. The results of capacitance-voltage (C-V) characteristics showed that fixed charge density of the anodic detectors was  $2 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ , and the latter was  $1.5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ . After ageing experiment, when inversion bias was 1 V, the change rate of leak current ratio of the former was only 50% of the latter, while the photocurrent of detectors with both methods increase, which was possible related to photosensitive area's expansion. The anodic oxide passivation of detector had the three advantage of the process control, the fabricate uniformity and the stability of interface state .

**Key words:** InSb; infrared detector; passivation; anodic oxide; Photo-CVD

收稿日期:2012-11-07; 修订日期:2012-12-03

基金项目:国家自然科学基金(6171012)

作者简介:刘炜(1978-),男,工程师,主要从事红外探测器方面的研究。Email:liuweiplayer@sina.com

## 0 引言

对于 InSb、MCT 等窄禁带半导体而言,表面钝化是探测器制备过程中最为重要的工艺步骤。钝化效果的好坏直接决定了探测器的电性能高低和可靠性程度<sup>[1]</sup>。国内外学者在早期已经研究了诸如低温氧化,光致氧化,阳极硫化,阳极氧化等多种钝化方式<sup>[2-6]</sup>。文中对同一结构探测器分别采用 Photo-CVD 系统光致氧化和阳极氧化两种方式进行钝化,通过测试器件 C-V、I-V 特性和可靠性试验,比较了这两种方式对 InSb 探测器钝化的效果。

## 1 试验

试验样品使用 2 in(1 in=2.54 cm) N 型 InSb 单晶制备台面结构的器件,液氮温度下材料掺杂浓度约为  $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ,迁移率大于  $100\,000 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 。阳极氧化试验:晶片在 0.5% 的溴甲醇中腐蚀 5 s, KOH 与甲醇配制成饱和的阳极化溶液,加入氨水调节其 Ph 值,设定生长电压 10 V,恒定电流密度  $0.5 \text{ mA}/\text{cm}^2$ ,采用恒流限压生长法,最终氧化层厚度约为 30 nm。随后热蒸发 200 nm 厚度的 ZnS 抗反膜。光刻腐蚀电极接触窗口后蒸镀 Cr/Au,进行电极制备。光致氧化试验:晶片在缓冲氢氟酸中腐蚀 1 min,表面清洗干净后放入 Photo-CVD 淀积系统,在 160~200 °C 温度下,先后通入  $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{SiH}_4$  进行热氧化和  $\text{SiO}_2$  抗反膜生长。 $\text{SiO}_2$  膜厚度约为 650 nm,然后进行相同的电极制备工艺。

在相同条件下分别测试其 I-V、C-V 特性,所有测试由 KEITHLEY 4200-SCS 半导体特性分析仪和 LCR 表 Agilent4284A 组成。

两种器件在湿度为 99.5%,温度为 60 °C 条件下进行 48 h 可靠性试验,然后测试器件 I-V 特性。

## 2 试验结果与分析

液氮温度下分别测试两个器件的 I-V 特性,实测曲线如图 1 所示,其中 0306-39 器件为阳极氧化方法制备;0428-21 器件为 Photo-CVD 淀积系统热氧化方法制备。从曲线可以看出,热氧化器件反向击穿电压低,阳极氧化器件反偏漏电流小。根据实测数据计算和分析得出,两个器件的主要电性能指标在表 1 中列出,其中击穿电压定义为曲线斜率为 -1 处

对应的电压值。

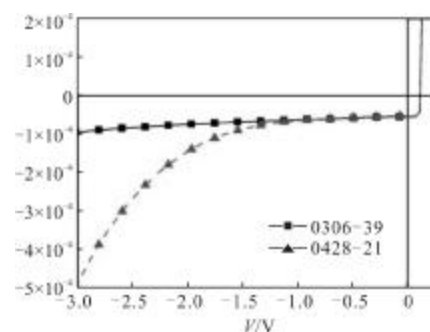


图 1 器件的 I-V 特性曲线

Fig.1 I-V performance curve of detector

表 1 器件电性能指标比较表

Tab.1 Comparison table between anodic oxide and Photo oxide

	Isc/ $\mu\text{A}$	Rd/ $\Omega$	Leak	Voc/V
Anodic	54.7	380	1.0106	-9.8
Photo-CVD	53	390	1.0162	-2.4

从表 1 可以看出,两个器件的背景光电流(Isc)、零偏阻抗(Rd)以及反偏 200 mV 下的漏电比(Leak)都没有较大差异,从器件使用角度讲,这两个器件都满足系统使用要求。但是,阳极氧化器件的击穿电压是 Photo-CVD 氧化器件的 4~5 倍。

J.Bregman 和 Yoram Shapira 等人通过 AES 和 C-V 测试分析<sup>[7]</sup>,发现在 InSb 阳极氧化界面处至少存在五种不同物质区域,分别是距表面 15 nm 以内为铟氧化物、铈氧化物单相;15~25 nm 处是铟氧化物和铈的混合态;25~30 nm 处是铟氧化物和铈与铈氧化物界面;30~35 nm 处是铟与铟氧化物界面和铈与铈氧化物界面;30~40 nm 处是铟与铟氧化物界面和原子铈,然后是 InSb 晶体。可见,阳极氧化法将钝化界面推至 InSb 表面深达 30 nm 左右。在电场作用下,绝大多数悬挂键被消除,铈原子被充分氧化,减少了器件界面的固定电荷。先前学者们对 InSb 表面  $\text{SiO}_2$  氧化钝化研究十分详细<sup>[8]</sup>,不再累赘。在  $\text{SiO}_2$  绝缘层中容易存在钠离子、钾离子等可动正离子以及电离陷阱电荷;在钝化界面处存在没有被完全氧化的铈原子等固定电荷,还存在一定密度的界面态。这些因素都会影响器件的性能。

为分析器件界面特性,制备了 MIS 器件并测试

其 C-V 特性,测试频率为 1 MHz,曲线如图 2 所示。

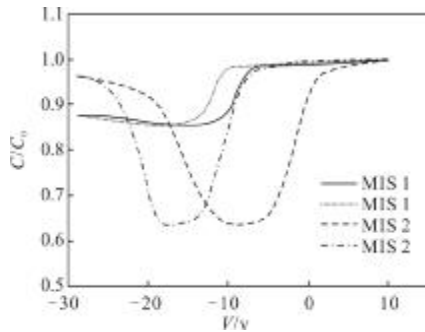


图 2 MIS 器件的 C-V 特性曲线

Fig.2 C-V performance curve of MIS instrument

其中,MIS 1 器件为Photo-CVD 氧化后再沉积 650 nm 的  $\text{SiO}_2$  薄膜;MIS 2 器件为阳极氧化后磁控溅射 200 nm 的 ZnS 薄膜。测试结果显示,MIS 1 器件的平带电压值约为 -8.5 V,对应的固定表面电荷密度为  $2 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ ,回滞宽度大约 4 V。MIS 2 器件绝缘层为 ZnS 薄膜,由于二者的介电常数和厚度不一样,其固定电容值不同,因此不能通过曲线直接比较。MIS 2 器件平带电压约为 2 V,对应的固定表面电荷密度为  $1.5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ 。注意到 MIS 2 器件在反偏区进入强反型时,表现出 LFLR(类低频响应),根据 Z.Calahorra 等学者的解释<sup>[7]</sup>,这与表面氧化程度和快界面态存在有关。在大量实验中,发现用 Photo-CVD 氧化制备的器件,其 C-V 曲线一致性不如阳极氧化的好,平带电压漂移范围较大,回滞宽度和曲线形状每批都不同。分析认为与两个因素有关:(一)是 InSb 表面预处理工艺不同,表面状态差异使器件界面态不相同,(二)是 Photo-CVD 系统氧化状态差异(如汞池中的汞对环境温度敏感)和反应气体难以控制导致钝化效果不同。阳极氧化器件 C-V 特性一致性较好,这与电化学生长方式有关,InSb 表面未饱和的悬挂键能够充分反应,氧化物从 In、Sb 界面开始生长,另外低温溅射 ZnS 工艺对钝化界面破坏程度小。

对两种器件一起进行老化试验,然后测试其电性能进行比较。试验条件是在湿度为 99.5%,温度为 60 °C 烘箱中老化 48 h,然后在室温下放置 48 h,测试其 I-V 特性,曲线如图 3 和图 4 所示。

0320-42 器件和 0320-39 器件分别是阳极氧化和 Photo-CVD 氧化方法制备而成。根据试验前后测

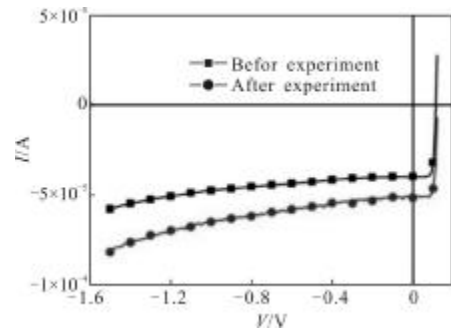


图 3 0320-42 器件的 I-V 特性曲线

Fig.3 I-V performance curve of 0320-42 detector

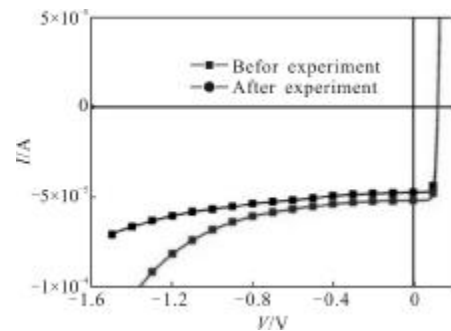


图 4 0320-39 器件的 I-V 特性曲线

Fig.4 I-V performance curve of 0320-39 detector

试数据对比发现,阳极氧化器件相对漏电比变化率比 Photo-CVD 氧化器件小。0320-42 器件试验前在反偏 1 V 时,漏电比是 1.193;试验后漏电比是 1.26,试验前后漏电比变化率是 5.6%。0320-39 器件相应的 3 个值分别是 1.197; 1.32; 10.3%,漏电比变化率是 0320-42 器件的 2 倍。并且随着反偏压加大,这种趋势更加明显,这表明阳极氧化器件具有更加稳定的电性能。其原因除界面钝化效果差异外,还与绝缘膜不同有关,ZnS 膜在空气中放置,表面容易吸附水汽发生反应,形成一层致密的自身钝化层,阻止外界水汽与离子向界面扩散,从而保护了器件的界面特性。 $\text{SiO}_2$  膜则没有这种特性。试验还发现,经过高温高湿试验后,两个器件的背景光电流均有不同程度的增加,阳极氧化器件表现更加明显。该现象解释为光敏面扩大效应。具体机理需作进一步研究,该效应可能影响小尺寸、大阵列器件的串音特性。

### 3 结论

利用阳极氧化法和 Photo-CVD 系统氧化法制备了同一结构的两个器件,测试其电性能进行分析比较,虽然两个器件的性能都满足系统使用要求,但是

阳极氧化法制备的器件反向击穿电压更高。通过 C-V 测试结果表明, 阳极氧化器件表面固定电荷密度和界面态密度更低, 钝化工艺一致性好。经过高温高湿老化试验后, 阳极氧化器件的漏电比变化率更小, 性能更加稳定。同时发现两个器件的背景光电流均有不同程度的增加, 可能与光敏面扩大有关。

#### 参考文献:

- [1] Wang Ping, Zhu Longyuan, Li Xiangyang, et al. Chemical structure of HgCdTe-anodic oxide [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, 35(2): 208-211. (in Chinese)  
王平, 朱龙源, 李向阳, 等. 碲镉汞阳极氧化层的化学结构分析[J]. *红外与激光工程*, 2006, 35(2): 208-211.
- [2] Xu Shuli, Wang Haizhen. Wet-chamfering techniques for hybrid focal plane arrays[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 36(S): 526-528. (in Chinese)  
徐淑丽, 王海珍. 混成式 InSb 焦平面器件的湿法倒角技术研究[J]. *红外与激光工程*, 2007, 36(S): 526-528.
- [3] Yu Zung. CHIOU on the annealing effects of GaN metal-insulator-semiconductor capacitors with photo-chemical vapor deposition oxide layers[J]. *Jpn J Appl Phys*, 2006, 45(4B): 3045-3048.
- [4] Atsushi Yokotani, Kouichi Amari, et al. Analysis of the photochemical reaction on the surface for room temperature deposition of SiO<sub>2</sub> thin films by photo-CVD using vacuum ultraviolet light[J]. *Jpn J Appl Phys*, 2005, 44(2): 1019-1021.
- [5] Wang Chunkai, Chang Shoujinn, Su Yan-kuin, et al. High temperature performance and low frequency noise characteristics of AlGaIn/GaN/AlGaIn double heterostructure MOS heterostructure field effect transistors with photochemical vapor deposition SiO<sub>2</sub> layer [J]. *Jpn J Appl Phys*, 2005, 44(4B): 2458-2461.
- [6] Jaroslaw Rutkowski, Jakub Wenus, Waldemar Gawron. Gate-controlled narrow-bandgap photodiodes passivated with rf sputtered dielectrics[C]//SPIE, 2011, 3725: 310-315.
- [7] Bregman J, Yoram Shapira, Calahorra Z. Correlations between the chemical and electronic structure of thermally treated anodized insb[J]. *J Vac Sci Technol*, 1987, 5(4): 1432-1436.
- [8] Liu Enke, Zhu Bingsheng, Luo Jinsheng. *Semiconductor Physics* [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2006. (in Chinese)  
刘恩科, 朱秉升, 罗晋生. *半导体物理学* [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2006.