

文章编号:1001-5078(2009)10-1078-04

· 红外材料与器件 ·

InSb(111)、(211)及(110)晶面腐蚀极性研究

马攀, 陈湘伟, 司俊杰

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471000)

摘要:极性是InSb晶体结构的一种属性,文中研究了这种极性对InSb晶片湿法腐蚀的影响,并对这种极性产生的原因进行了分析。结果表明,对于工艺中常用的CP4腐蚀液,(111)及(211)晶面腐蚀时表现出极性,(111)A面平均腐蚀速率为 $2.2 \mu\text{m/s}$,(111)B面的平均腐蚀速率为 $3.6 \mu\text{m/s}$;(211)A面的平均腐蚀速率为 $3 \mu\text{m/s}$,(211)B面的平均腐蚀速率为 $4.8 \mu\text{m/s}$;而(110)晶面在腐蚀时未表现出极性效应,只存在一种腐蚀速率为 $4 \mu\text{m/s}$ 。

关键词: 锑化铟;湿法腐蚀;极性

中图分类号: TN213 **文献标识码:** A

Effect of the polarity of InSb (111), (211) and (110) planes on etching

MA Pan, CHEN Xiang-wei, SI Jun-jie

(Luoyang Opto-electronic Technology Development Center, Luoyang 471000, China)

Abstract: InSb is a typical $A^{\text{III}}B^{\text{V}}$ semiconducting compound which contains a polar axis. In this paper, effect of the polarity of InSb on etching has been studied. The cause of the effect on etching has been analyzed. Experiment results indicate different etching rates for (111) and (211) planes with CP4 etchant. The etch rate for (111) A planes is $2.2 \mu\text{m/s}$ and $3.6 \mu\text{m/s}$ for (111) B planes. The etch rate for (211) A planes is $3 \mu\text{m/s}$ and $4.8 \mu\text{m/s}$ for (211) B planes. However, effect of the polarity on etching has not been shown for (110) planes. The etch rate of the (110) planes is $4 \mu\text{m/s}$.

Key words: InSb; wet etching; polarity

1 引言

InSb 是一种窄禁带化合物半导体材料,在制造红外探测器和霍尔器件等方面有着广泛的应用^[1]。化学腐蚀是器件制造工艺中常用的表面处理方法之一。

InSb 材料属于 III - V 族化合物,由于化合物半导体材料中 III 族元素与 V 族元素在化学性质上的差异,使得 InSb 材料的化学腐蚀问题比硅材料要复杂的多。III - V 族化合物为闪锌矿结构,图 1 所示为 InSb 结构的晶体模型,A 代表 In 原子,B 代表 Sb 原子。由于键密度的不同,(111)晶面会形成(111)A面与(111)B面两种情况,每个晶面是完全由 In 原子或完全由 Sb 原子组成。其中(111)A面的原子

顺序先是一个平面的 In 原子接着是一个平面的 Sb 原子。在相反的(111)B面,原子顺序是相反的,先是一个平面的 Sb 原子然后是一个平面的 In 原子。正是由于这种结构,[111]方向被称为极轴。

研究表明,极轴的存在导致了两个相对的(111)晶面在某些物理化学过程中有不同的表现。对于 InSb 而言,已报道的有,它们在位错腐蚀过程中的压电效应表现不同,阳极氧化的速率不同,由阳极和化学氧化所形成的氧化物层的厚度不同,以及腐蚀速率和腐蚀坑的形状不同^[2]。同样,在 InSb 材

作者简介: 马攀(1984 -),女,硕士,主要从事红外材料与器件方面的研究。

收稿日期: 2009-03-28; **修订日期:** 2009-05-22

料的(100)晶面也观察到类似效应,这就是 InSb 材料的极性效应。

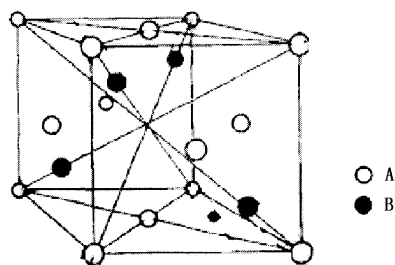


图1 III-V族化合物结构

为了在 InSb 器件制造过程中,保证芯片腐蚀的对称性和一致性,了解 InSb 晶片腐蚀的极性效应就显得非常重要。如,在光导 InSb 器件的制做过程中,当采用(211)晶片制备时,使用 CP4 腐蚀成形光敏面,结果发现沿不同方向腐蚀时,光敏面沟槽的对称性不一致。

本文正是通过不同方向的腐蚀试验,测量了不同腐蚀方向上腐蚀沟槽的对称性及腐蚀的速率,这种腐蚀极性的研究对实际工作中确定 InSb 晶片腐蚀对称的方向具有重要意义。

2 实验

样品采用 N 型 InSb(111) 晶片,经机械抛光和清洗之后按以下方式进行处理:光刻得到所需掩膜图形,用工艺中常用的 CP4(氢氟酸:硝酸:冰醋酸 = 3:4:3)腐蚀液进行腐蚀,腐蚀时间为 30 s,经去离子水冲洗 5 min,去除光刻胶,用上海长方光学仪器有限公司生产的 CMM-55E 显微镜对 InSb 晶片样品腐蚀沟槽进行俯视和截面的拍照及测量。图 2 所示为光刻掩膜图形,掩膜条纹宽度为 10 μm。



图2 光刻掩膜示意图

光刻掩膜时,以 InSb 晶片三个自然解理方向作为参考标准制作三组腐蚀样品,每组样品的掩膜方向分别为平行自然解理方向和垂直自然解理方向。并用英国 Bede 公司的 Bede D1 高分辨衍射仪分别对晶片的自然解理方向及其垂直方向的晶面进行了定向。

3 结果和讨论

闪锌矿结构具有四个(111)面,分别为(111)、(111)、(111)和(111)。这四个(111)面构成了一

个正四面体,把这个正四面体展开,就是著名的 Thompson 三角形,以(111)面为例,每一个面内都具有图 3 所示的矢量关系。

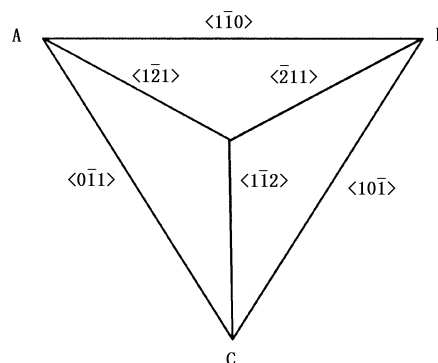


图3 (111)面上的矢量关系^[3]

对晶片自然解理面及垂直自然解理面进行 XRD 定向,结果表明,晶片三个自然解理面均为(110)晶面,垂直自然解理面为(211)晶面。对应图 3 可知,(111)晶片的三个自然解理面分别为(110)、(011)和(101)晶面,对应垂直于三个自然解理面的晶面分别为(112)、(211)和(121)晶面。表 1 即为各组样品的腐蚀晶面。

表1 样品腐蚀晶面

样品组	自然解理面	垂直自然解理面
1#	(110)	(112)
2#	(011)	(211)
3#	(101)	(121)

图 4 所示为拍摄的 1#组腐蚀样品。图中亮线为光刻中心,也就是腐蚀沟槽的最底部;所标尺寸分别为腐蚀沟槽左(上)侧及右(下)侧的宽度,单位为 μm。通过显微镜拍照和测量,发现腐蚀沟槽左右侧

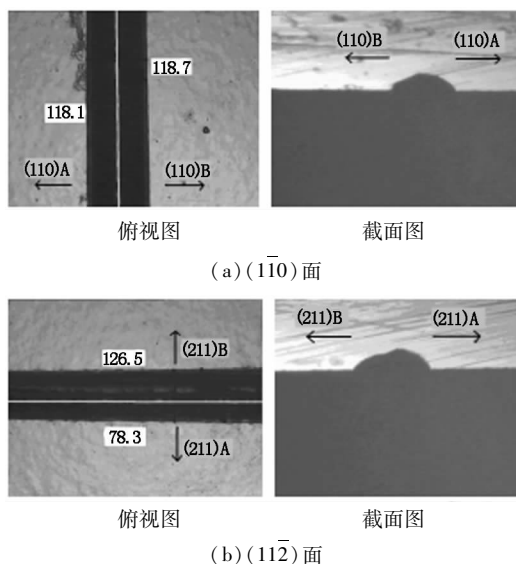


图4 1#组(110)面和(112)面腐蚀样品

腐蚀相对光刻中心对称情况不一致。由俯视图可观察到, (110) 面的腐蚀沟槽左右侧腐蚀宽度对称, 而其垂直方向即 $(11\bar{2})$ 面的腐蚀沟槽上下侧腐蚀宽度不对称, 表现为上侧腐蚀宽下侧腐蚀窄, 上下侧腐蚀速率不一致。从截面图中也可观察到, $(\bar{1}\bar{1}0)$ 面的腐蚀沟槽弧形对称, 而 $(11\bar{2})$ 面的腐蚀沟槽弧形不对称。由于 CP4 溶液中 Sb 原子的腐蚀速率比 In 原子快, 所以腐蚀速率快的为 B 面而腐蚀速率慢的为 A 面。

对于 2#, 3# 组的腐蚀样品也有相同现象, 腐蚀结果与 1# 组 $(\bar{1}\bar{1}0)$ 面和 $(11\bar{2})$ 面腐蚀结果相同。其中 $(0\bar{1}1)$ 和 $(10\bar{1})$ 面的腐蚀沟槽左右侧腐蚀宽度对

称, 而其垂直方向即 $(\bar{2}11)$ 和 $(\bar{1}21)$ 面的腐蚀沟槽左右侧腐蚀宽度不对称, 表现为一侧腐蚀宽另一侧腐蚀窄, 左右侧腐蚀速率不一致。同样从截面图中也可观察到 $(0\bar{1}1)$ 和 $(10\bar{1})$ 面的腐蚀沟槽弧形对称, 而 $(\bar{2}11)$ 和 $(\bar{1}21)$ 面腐蚀沟槽弧形不对称。

经测量, $(11\bar{2})$ B, $(\bar{2}11)$ B 和 $(\bar{1}21)$ B 面的腐蚀槽平均宽度比 $(11\bar{2})$ A, $(\bar{2}11)$ A 和 $(\bar{1}21)$ A 面的腐蚀槽平均宽度大 $55 \mu\text{m}$ 。由以上试验可以看出, InSb 材料在 $(\bar{1}\bar{1}0)$, $(0\bar{1}1)$ 和 $(10\bar{1})$ 晶面上只存在一种腐蚀速率, 而在 $(11\bar{2})$, $(\bar{2}11)$ 和 $(\bar{1}21)$ 晶面上存在两种不同的腐蚀速率。表 2 为不同晶面的腐蚀槽尺寸及腐蚀速率。

表 2 不同方向腐蚀槽尺寸及腐蚀速率

腐蚀晶面	腐蚀槽宽 / μm	A 面腐蚀槽宽 / μm	A 面腐蚀速率 / $(\mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	B 面腐蚀槽宽 / μm	B 面腐蚀速率 / $(\mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	平均腐蚀速率
(111)			2.2		3.6	
$(\bar{1}\bar{1}0)$	227	113	3.8	114	3.8	(110) 面: $4 \mu\text{m/s}$
$(0\bar{1}1)$	240	120	4.0	120	4.0	
$(10\bar{1})$	260	130	4.3	130	4.3	
$(11\bar{2})$	227	87	2.9	138	4.6	(211) A 面: $3 \mu\text{m/s}$ (211) B 面: $4.8 \mu\text{m/s}$
$(\bar{2}11)$	230	91	3.0	140	4.7	
$(\bar{1}21)$	240	90	3.0	150	5.0	

图 5 所示为 (211) 晶面原子排布。与 (111) 晶面类似, InSb (211) 晶面也存在有两类不同类型的表面, 为了区分依次将它们也标记为 A, B 表面, In 原子与 Sb 原子间的连接键断裂时也会形成两个面, 即 (211) A 面和 (211) B 面, 不论是 A 类或 B 类表面, 其表面都涉及两个原子层被截断。在 A 类表面中, 表面层 In 离子和第二层中 In 离子分别各有一条悬

挂键; 而表面层 Sb 离子则有两类悬挂键。与此相反, 在 B 类表面中, 表面层 Sb 离子和第二层中 Sb 离子分别各有一条悬挂键; 而表面层 In 离子则有两类悬挂键^[5]。无论怎样, (211) 晶面也会形成两类表面, 它们可能有不同的腐蚀特性及腐蚀速率, 类似与 (111) A 面与 (111) B 面, 从而造成了 (211) 晶面腐蚀的不对称性。

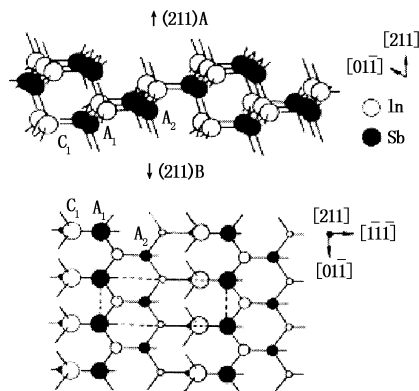


图 5 (211) 晶面原子排布^[5]

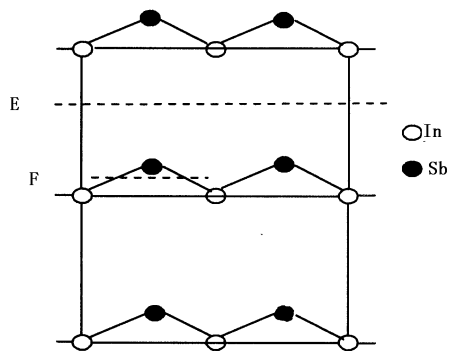


图6 (110)晶面原子排布

而与(111)晶面和(211)晶面不同,图6所示为自然解理面(110)晶面的原子排布。其中In原子与Sb原子间的连接键长是不同的,E处连接键密度小于F处连接键密度,所以E处连接键容易断裂,但与(111)晶面不同的是,E处连接键断裂后上下表面仍然都是In原子,所以(110)晶面并不会形成类型不同的两个面,只会形成一种面,即In面,因此腐蚀沟槽对称,只存在一种腐蚀速率。

4 结论

针对InSb光导芯片制作过程中腐蚀沟槽不对称现象,对InSb(111)晶片的(211)及(110)晶面的腐蚀特性进行了分析。结果表明,对于工艺常用的CP4腐蚀液,腐蚀对称的晶面为(110)晶面,而(111)和(211)晶面会形成类型不同的A面和B面,所以存在两种腐蚀速率,造成腐蚀沟槽的不对称。其中(110)晶面的平均腐蚀速率为 $4\ \mu\text{m/s}$; (111)A面的平均腐蚀速率为 $2.2\ \mu\text{m/s}$, (111)B面的平均腐蚀速率为 $3.6\ \mu\text{m/s}$; (211)A面的平均腐蚀速率为 $3\ \mu\text{m/s}$, (211)B面的平均腐蚀速率为

$4.8\ \mu\text{m/s}$ 。同时,文章对造成这种腐蚀极性的原因从晶体结构分析中加以论证。

参考文献:

- [1] 陆春明,李喆深,等. 化学腐蚀和硫处理对InSb(111)表面的影响[J]. 物理学报,1992,41(4):675-681.
- [2] J W Faust Jr., A Sagar. Effect of the polarity of the III-V intermetallic compounds on etching[J]. Appl. Phys., 1960,31(2):331-333.
- [3] 许振嘉,等. 半导体的检测与分析[M]. 第2版. 北京: 科学出版社,2007.
- [4] E P Warekois, P H Metzger. X-Ray method for the differentiation of {111} surfaces in A^{III}B^V semiconducting compounds[J]. Appl. Phys., 1959,30(7):960-962.
- [5] 贾瑜,陈国剑,等. InSb(211)A,B表面电子结构特性[J]. 物理学报,2000,49(2):318-322.
- [6] Kow-Ming Chang, Jiunn-Jye Luo, et al. Wet etching characterization of InSb for thermal imaging applications[J]. Appl. Phys., 2006,45(3):1477-1482.