

AlGaInP/Si 的键合研究

郭德博[†] 梁 萌 范曼宁 刘志强 王良臣 王国宏

(中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

摘要: 金锡(AuSn)合金作为粘合介质,实现了 AlGaInP/Si 的异质键合. 在室温下键合样品的 *I-V* 特性表明 AuSn 合金对载流子通过界面未见不良影响,截面的显微照片表明键合质量良好. 反射谱测试表明键合合金层可以作为反射器,这一特征是 AlGaInP 发光器件与 Si 集成的有利条件.

关键词: 键合; AlGaInP; *I-V* 特性; 金锡合金

PACC: 3520G

中图分类号: TN405.96

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2007)S0-0558-03

1 引言

自 1936 年 Rayleigh^[1]发表了关于玻璃室温键合的文章以来,键合技术得到了长足的发展. 键合技术是大失配异质材料集成的一项新工艺,是近年来集成光电子领域的研究热点之一. 与外延生长技术相比,晶片键合技术有其独特的优点. 键合技术可以分为直接键合技术和介质键合技术. 所谓直接键合就是不使用任何粘合剂,在一定的条件下,将两个表面洁净平整的晶片通过表面的化学键相互联结起来.

直接键合虽然可以取得较高的键合强度,但是一般都需要高温退火,这必然会扩展杂质界面、引入热应力、产生缺陷,使材料和器件性能退化;其次对于热失配大的材料,由于在降温过程中产生的热应力太大,很难获得高质量的键合;另外,直接键合技术所要求的键合条件极为苛刻,无论是对于晶片本身(晶片表面的平整度、粗糙度、表面化学吸附状态)还是对于键合的环境等都有严格的要求. 因此,为了充分发挥晶片键合的优势,研究人员又发展了介质键合技术,所谓介质键合技术是指在键合的晶片中间引入一层粘附层,通过粘附层将晶片键合到一起. 键合介质的引入不仅降低了对键合条件的要求,而且对于热失配较大的材料也可以实现高质量的键合. Wong 等人^[2,3]以 Pd-In 为粘合介质实现了 GaN/Si 以及 GaN/GaAs 的异质键合,然后用激光剥离的方法去掉蓝宝石衬底,实现了衬底转换. Mitsuru 等人^[4]同样研究了 GaN/Si 的键合,所不同的是采用的介质材料为 AuGe 合金. 另外,他们通过测

试键合样品的反射谱发现键合样品对长波光长的反射率高于短波光长的反射率. AlGaInP 材料体系可以实现从红光到绿光的可见光波段发光,是可见光波段光电子器件的重要材料体系. Kish 等人^[5]最早实现了 AlGaInP/GaP 直接键合,并制作了透明衬底的 AlGaInP 发光二极管. Horng 等人^[6~8]利用 AuBe 合金作为粘附层实现了 AlGaInP/Si 的键合,并制作了具有金属反射器的 AlGaInP 发光二极管,金属反射器的反射率测试表明反射器对波长在 600~900nm 之间的光的反射率达到了 90% 以上,但是对于波长低于 600nm 的光波,其反射率随着波长的缩短急剧下降. 本文用 AuSn 合金作为介质材料实现了 AlGaInP/Si 的异质键合,观测了其截面形貌,并对键合样品的 *I-V* 特性和键合合金层的光反射谱进行了测试.

2 实验

本实验所用的 Si 片为 n 型, (100) 晶向. AlGaInP 外延薄膜生长采用金属有机化合物气相沉积(MOCVD)技术,衬底为 n⁺-GaAs. 实验选用 AuSn 共晶合金作为键合介质,这主要是考虑到 AuSn 共晶合金有较高的热导率(0.57W/(cm·K))^[9]. 在实验过程中首先用有机溶剂清洗晶片的表面油污,然后用化学方法去除表面氧化层,最后将 Au 和 Sn 按 AuSn 共晶合金的成分分层蒸在 Si 片表面. 键合在 SB6e 键合仪上进行,考虑到实验过程中的热量损失,退火温度选为 320℃,高于 AuSn 合金的共晶点温度 280℃,所加压力为 1500mbar,退火时间为 5min.

[†] 通信作者. Email: guodebo@semi.ac.cn

2006-11-21 收到, 2006-12-22 定稿

3 结果与分析

3.1 键合形貌

用光学显微镜和扫描电镜(SEM)观测了键合样品的截面形貌.图1所示为键合后的样品照片.宏观上看,没有观察到任何的裂缝和脱落现象.图2为键合样品截面的光学显微照片,从图中可以看到AuSn键合介质均匀地分布于界面,说明键合质量良好.另外可以清楚地看到Si和AuSn粘附层之间的界面十分清晰,这说明在键合过程中共晶合金没有扩散到抛光的Si基片中.这主要是由于:在沉积Au/Sn复合层之前,首先在Si片上蒸了一层Cr,Cr层起到了阻碍AuSn合金熔体向Si片内扩散的作用.键合截面的SEM照片如图3所示.可以清楚地

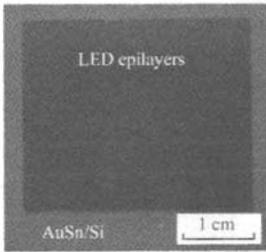


图1 键合后晶片的照片

Fig.1 Optical picture of the bonded wafers

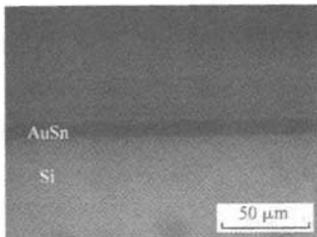


图2 键合后样品截面的光学照片

Fig.2 Optical picture of the cross section of the bonded wafers

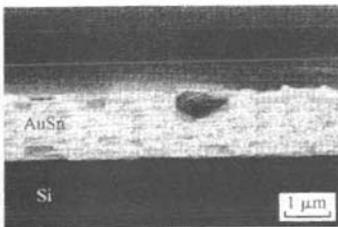


图3 键合后样品的SEM显微照片

Fig.3 SEM micrograph of the cross section of the bonded wafers

看到,在粘附层与AlGaInP的界面处有一个直径约 $1\mu\text{m}$ 大小的黑斑,这可能是由于在键合过程中污染物落到晶片表面所致.从整体上看,在观察区域内AuSn粘附层均匀地分布于AlGaInP和Si片之间,这进一步说明键合质量良好.

3.2 I-V 特性

图4给出了AlGaInP/Si键合样品的I-V特性曲线,为了比较,图中也给出了键合前AlGaInP/GaAs的I-V特性曲线.实验中,AlGaInP外延层用AuZn合金作欧姆接触,GaAs衬底的欧姆接触选用AuGeNi金属体系,硅电极为蒸镀的Al膜.将GaAs衬底一端电极接电源负极,另一端电极接电源正极.由所测I-V特性曲线可知键合前后其正向开启电压都为1.6V,所不同的是由于键合Si片后增大了其串联电阻,所以键合后样品的电阻比键合前的略高一些.I-V特性结果表明键合界面对载流子的输运几乎没有影响.

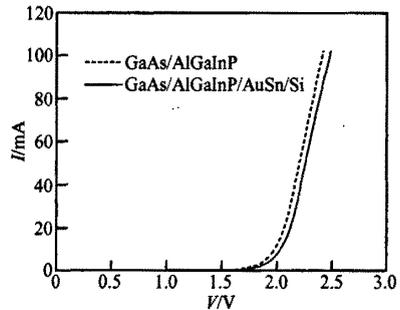


图4 键合前后样品的I-V特性曲线

Fig.4 I-V characteristics of wafers before and after bonding

3.3 反射谱

AlGaInP发光器件与Si的集成,界面对光的吸收和反射是影响光提取效率的重要因素.对于AlGaInP/AuSn/Si,如果中间的合金层能够充当反射器,那么这种结构将是发光器件的理想材料结构.鉴于此原因,我们测量了中间合金层的光反射谱.由于合金前和合金后,中间粘附层的反射率会有很大的变化,因此在实验中,首先将GaAs/AlGaInP层用湿法腐蚀的方法去掉,然后测所露出的合金层的反射率,所测反射谱线如图5所示.为了比较,图5中还给出了文献[5]所报道的反射谱结果.采用化学腐蚀方法可以成功地去掉外延层,这也表明,键合界面的机械强度可以满足腐蚀过程所要求的水平. AlGaInP材料直接带隙的宽度范围为1.8~2.3eV,相应的发光波长范围为680~540nm^[10].由图5可以看到,在AlGaInP材料发光波长范围内,合金层的

反射率都在 85% 以上, 与文献[5]中 Horng 等人的结果相比, 我们的结果在短波长范围更具有优势。

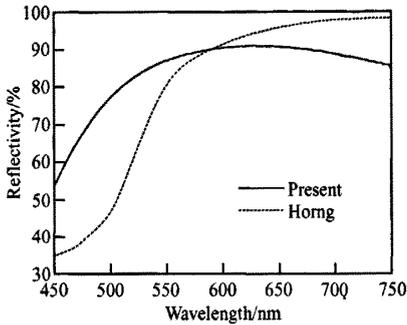


图 5 键合样品的反射谱

Fig. 5 Reflectance spectra of bonded wafers

4 结论

本文采用 AuSn 合金作为粘合介质, 实现了 AlGaInP/Si 异质的键合. 键合样品的测试结果表明键合质量良好, 而且键合后没有对 $I-V$ 特性造成不良影响, 这也就是说键合界面几乎没有影响到载流子的输运特性. 如果把键合的材料做成电流注入器件, 这将是一个突出的优点. 另外, 研究表明键合后样品界面的机械强度可以满足化学腐蚀的要求. 反射率的测试表明键合合金层可以作为反射镜面, 这一特征是 AlGaInP 发光器件与 Si 集成的有利条件.

参考文献

- [1] Rayleigh L. A study of glass surface in optical contact. Proc Phys Soc, 1936, A156: 326
- [2] Wong W S, Cho Y, Weber E R, et al. Structural and optical quality of GaN/metal/Si heterostructures fabricated by excimer laser lift-off. Appl Phys Lett, 1999, 75: 1887
- [3] Wong W S, Wengrow A B, Cho Y, et al. Integration of GaN thin films with dissimilar substrate materials by Pd-In metal binding and laser lift-off. J Electron Mater, 1999, 28: 1409
- [4] Funato Mitsuru, Fujita Shizuo, Fujita Shigeo. Integration of GaN with Si using a AuGe-mediated wafer bonding technique. Appl Phys Lett, 2000, 77: 3959
- [5] Kish F A, Steranka F M, DeFevere D C, et al. Very high-efficiency semiconductor wafer-bonded transparent-substrate ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ /GaP light-emitting diodes. Appl Phys Lett, 1994, 64: 2839
- [6] Horng R H, Wu D S, Wei S C, et al. AlGaInP light-emitting diodes with mirror substrates fabricated by wafer bonding. Appl Phys Lett, 1999, 75: 3054
- [7] Horng R H, Wu D S, Seieh C H, et al. Wafer bonding of 50-mm-diameter mirror substrates to AlGaInP light-emitting diode wafers. Electron Mater, 2001, 30: 907
- [8] Horng R H, Huang S H, Chiu C Y. AlGaInP/mirror/Si light-emitting diodes with vertical electrodes by wafer bonding. Appl Phys Lett, 2003, 82: 4011
- [9] Olsen D R, Berg H M. Properties of die bond alloys relating to thermal fatigue. IEEE Trans Comp, Hybrids, Manuf Technol, 1979, CHMT-2: 257
- [10] Huang K H, Yu J G, Kuo C P, et al. Twofold efficiency improvement in high performance AlGaInP light-emitting diodes in the 555~620nm spectral region using a thick GaP window layer. Appl Phys Lett, 1992, 61: 1045

Study of AlGaInP/Si Wafer Bonding

Guo Debo[†], Liang Meng, Fan Manning, Liu Zhiqiang, Wang Liangchen, and Wang Guohong

(Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Wafer bonding is a new technology for integrating material and a hot issue in the field of optical electronic integration. This paper describes the integration of AlGaInP with Si using a AuSn alloy as a bonding material. From the current-voltage measurements, it is found that the bonded interfaces do not obstruct the carrier transport. The cross-sectional micrographs of the joined wafers show that the quality of bonded material is good. Furthermore, the optical reflection measurements reveal that the AuSn alloy works as a reflector, which is a suitable characteristic for the integration of AlGaInP light-emitting devices with Si.

Key words: bonding; AlGaInP; $I-V$ characteristics; AuSn alloy

PACC: 3520G

Article ID: 0253-4177(2007)S0-0558-03

[†] Corresponding author. Email: guodebo@semi.ac.cn

Received 21 November 2006, revised manuscript received 22 December 2006