

应用于白光 LED 倒装芯片的 DBR 反射镜

张秀敏, 黄慧诗, 华 斌, 闫晓密, 周 锋

(江苏新广联半导体有限公司, 江苏 无锡 214000)

摘 要: 结合数值模拟与实验测试, 对一种可应用于白光 LED 倒装芯片的分布式布拉格反射镜 (DBR) 的反射率特性进行研究。结果表明, 25 个周期的 DBR 膜系能够满足 400~650 nm 的反射要求。与传统银/钛钨合金 (Ag/TiW) 金属反射镜进行了比较。在白光的 450~460 nm 波段, DBR 的反射率比传统金属反射镜高出约 3.4%。与金属结构的传统反射镜芯片相比, 具有 DBR 结构的白光 LED 芯片的辐射功率提高了 3.59%。

关键词: 分布式布拉格反射镜; 白光 LED; 倒装结构

中图分类号: TN312⁺.8

文献标识码: A

文章编号: 1004-3365(2018)02-0271-03

DOI: 10.13911/j.cnki.1004-3365.170301

A Distributed Bragg Reflector Used for White Light Emitting Diodes Flip Chips

ZHANG Xiumin, HUANG Huishi, HUA Bin, YAN Xiaomi, ZHOU Feng

(Jiangsu Xinguanlian Semiconductor Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu 214000, P. R. China)

Abstract: By combining numerical simulation and experimental test, the reflectivity characteristics of a distributed Bragg reflectors (DBR) for white light emitting diode (LED) flip chips was studied. The results showed that the reflectivity of DBR film structure with 25 periods could meet the requirement of white light spectrum from 400 to 650 nm. It was compared with a conventional Ag/TiW metal reflector. In the white light spectrum range of 450~460 nm, the reflectivity of 25-period DBR was about 3.4% higher than that of conventional metal reflector. The radiation power of white LED flip chip with DBR structure was improved by 3.59% compared with that of the conventional chips with Ag/TiW metal reflector.

Key words: distributed Bragg reflector; white light emitting diodes; flip chip

0 引 言

近几年, 氮化镓基发光二极管 (GaN LED) 因具有使用寿命长、可靠性高、体积小、功耗低和响应速度快等优点, 在固态照明、图像显示和光学通信等领域得到了广泛应用^[1,2]。作为新一代高效能固态光源, GaN 白光 LED 的发光效率已达到 130 lm/W^[3], 但仍

远小于理论的最大效率值^[4]。GaN LED 的发光效率主要由器件的内量子效率和光提取效率决定^[5]。目前, 随着材料生长技术的逐渐进步和外延层晶体质量的提高, 器件的内量子效率已经达到 80% 左右^[4]。然而, 受材料吸收、电极吸收以及反射镜光学性能等因素的限制, 现阶段主流工艺制作的 LED 器件的光提取效率仍然较低^[5-7], 这意味着通过改变器件封装结构提高光提取效率具有实际意义。

收稿日期: 2017-07-04; 定稿日期: 2017-11-23

基金项目: 国家重点研发计划资助项目 (2016YFB0400900)

作者简介: 张秀敏 (1986—), 女 (汉族), 江苏无锡人, 硕士, 工程师, 从事 LED 芯片研发工作。

为了提高光提取效率, GaN LED 常采用器件倒装结构, 其优点是通过 P 型氮化镓(P-GaN)表面设置的反光层能够将激发出的光直接从透明衬底发射出去, 避免了正面电极对发射光的遮挡^[6]。因此, 选择一种具有高反射率的反光层是进一步提高器件光提取效率的有效方法^[9]。传统的倒装 LED 芯片常采用高反射率金属作为反光层, 如铝(Al)、银(Ag)等。但这些金属的反射率在白光的主要波段 400~650 nm 的反射率并不相同, 无法将所有能量的光子反射出去, 不利于提高光子的提取效率。

针对以上问题, 本文研究了一种在 400~650 nm 波段具有高反射率的二氧化硅(SiO_2)和二氧化钛(TiO_2)相互间隔形成的分布式布拉格反射镜(DBR)^[8]。首先模拟计算了 3 个不同周期的 DBR 膜系的反射图谱, 证明了 25 个周期的 DBR 膜系能够满足 400~650 nm 的反射要求; 然后将制备的 25 个周期 DBR 与传统 Ag/TiW 金属反射镜的反射率特性及器件辐射功率作对比研究。结果表明, DBR 反射层可以更加有效地提高白光 LED 的光提取效率。

1 模拟计算

本文使用 Software Spectra 公司 TFCalc 膜系设计软件, 对 SiO_2 和 TiO_2 相互间隔形成的周期性结构层的反射率进行模拟计算^[10]。首先导入 SiO_2 和 TiO_2 的折射率和周期数, 周期数分别为 13、20、25。再设定目标波段 400~650 nm 和目标反射率 98%, 分析并生成反射率图谱。然后对所得数据进一步优化, 得出最终反射率图谱, 如图 1 所示。

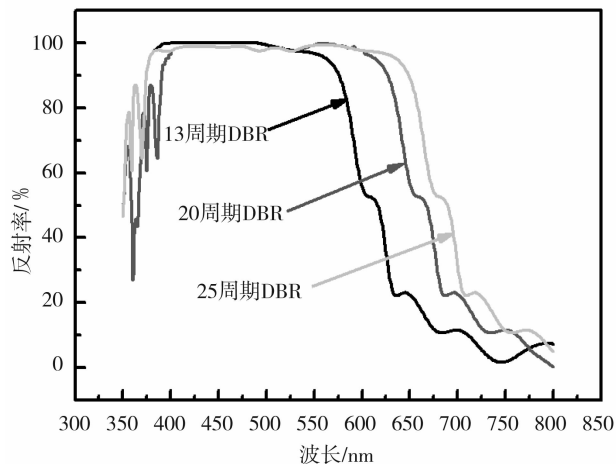


图 1 不同周期 DBR 的反射图谱

可以看到: 1) 三个不同周期的 DBR 在 400~550 nm 波段的反射率一致, 并稳定在 98% 及以上, 且随着周期数增加, 所涵盖的波谱变宽; 2) 25 个周期的 DBR 波谱范围在 400~650 nm 波段刚好能够满足白光 LED 的反射需求。值得注意的是, 尽管更多周期数的 DBR 能够更好满足白光要求, 但从生产成本的角度讲, 25 个周期的 DBR 更有实际意义。

2 结构和器件制备以及性能测试

2.1 结构制备以及反射特性测试与对比

参考模拟结果, 本文选择 25 个周期的 DBR 与传统 Ag/TiW 金属反射镜作反射特性对比。使用日本光驰公司的光学镀膜设备 OPTORUN OTFC-1550 制作 25 个周期 SiO_2 - TiO_2 的 DBR 膜层。使用富临科技工程公司的磁控溅射设备 FU-16PSB, 在玻璃片上制备 Ag/TiW 金属反射镜。同时, 使用 HITACHI 公司 U-3900 型紫外-可见分光光度计测试以上两种反射镜的反射图谱, 入射波长为 350~1 064 nm, 入射角度为 10° 。

图 2 所示为实际测试的两种结构的反射图谱。可以看到, 在 400~650 nm 波段, DBR 膜层反射特性达到了预期要求, 其反射率在 98% 及以上。而 Ag/TiW 金属反射镜的反射率最高达 96%, 且随着波长的增加, 该反射率呈下降趋势。在普遍关注的 450~460 nm 波段, DBR 比 Ag/TiW 金属反射镜的反射率高出约 3.4%。这表明在白光 LED 倒装结构中采用 DBR 作为反光层可以更加有效地提高光线的反射率, 进而提高器件的光提取效率。

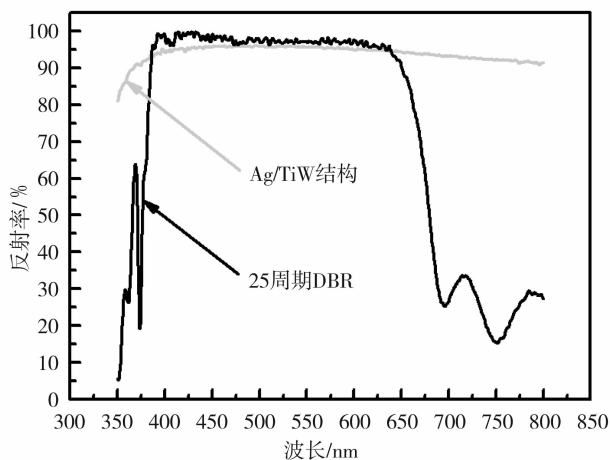
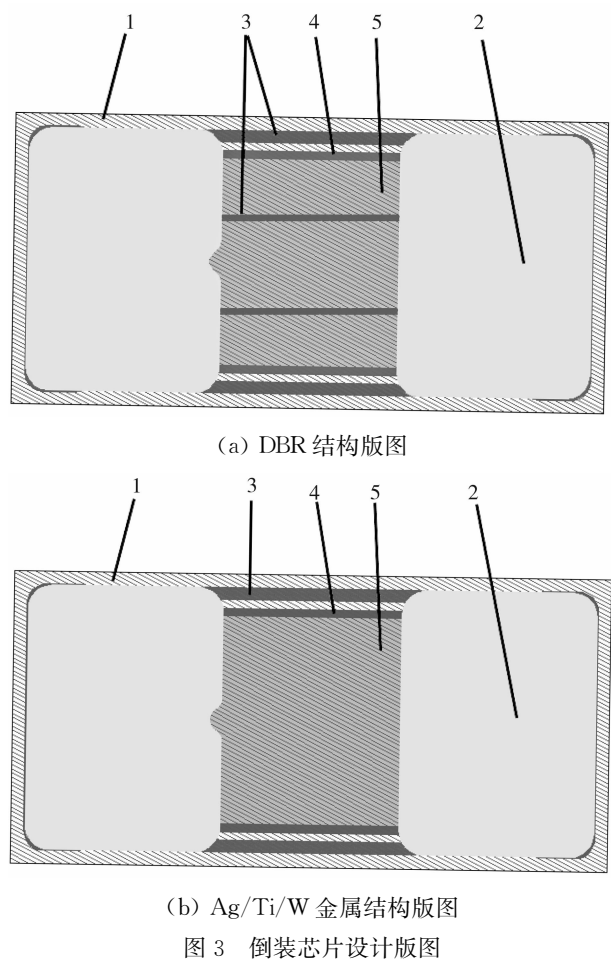


图 2 DBR 与 Ag/TiW 金属反射镜的反射图谱

2.2 器件制备以及发光性能测试与对比

为了对比 DBR 和金属反射镜对白光 LED 倒装芯片光提取效率的影响,将两种反射镜分别安装在尺寸为 0.25 mm×0.56 mm 的倒装芯片上,测试芯片的光电特性。考虑到 DBR 为不导电的氧化物膜层,而 Ag/TiW 为导电的金属膜层,设计了两种白光 LED 倒装芯片光刻版图,如图 3 所示。其中,图 3(a)为 DBR 结构版图,标识依次是:1 为 DBR 膜层,2 为焊盘电极,3 为负极(N)、正极(P)扩展条,4 为 P-GaN,5 为 ITO-导电层。图 3(b)为 Ag/TiW 金属结构版图,标识中 2 和 4 所代表的膜层与图 3(a)一致,不同的是:1 为 SiO₂-绝缘层,3 为 N 扩展条,5 为 ITO-导电层和 Ag/TiW 金属结构反射层(两层重合)。



根据以上版图设计,选择蓝宝石衬底的 GaN 基白光 LED 外延片制备具有 DBR 结构的倒装芯片样品。流片过程为:1) 利用电感耦合等离子体刻蚀外延片至 N 型氮化镓(N-GaN)层;2) 利用磁控溅射在 P-GaN 表面沉积 ITO 薄膜,并快速热退火形成欧姆

接触;3) 蒸发铬/铂/金(Cr/Pt/Au)金属层作为电流扩展条;4) 利用光学镀膜技术在整个外延片上制备 25 个周期 DBR 膜层;5) 采用电感耦合等离子体刻蚀技术在 DBR 膜层上刻蚀出导电通道;6) 蒸发 Cr/Pt/Au 金属层作为焊盘电极。与 DBR 结构器件制备方法不同的是,Ag/TiW 结构外延片上流片需要蒸发 Cr/Pt/Au 金属层作为 N 电流扩展条,溅射 Ag/TiW 膜层,以及沉积 SiO₂ 作为绝缘层。最后,经过减薄、研磨、激光划片、倒装焊、灌胶和烘烤等工序,完成器件倒装结构。

使用 HP1500 源表和杭州远方光电有限公司积分球 0.3mLED-R98-A-V1 对器件的光电性能进行测试。在 150 mA 电流下,DBR 结构的白光 LED 倒装芯片与 Ag/TiW 金属结构的白光 LED 倒装芯片的光电性能参数对比列于表 1。可以看到,对于 DBR 结构器件,当发射波长为 451.94 nm 时,其正向电压为 3.27 V,辐射功率为 207.56 mW;对于 Ag/TiW 结构器件,当发射波长为 451.63 nm 时,其正向电压为 3.23 V,辐射功率为 200.37 mW。对比结果表明,25 个周期 DBR 结构的白光 LED 倒装芯片相对提高了 3.59%,证明本文设计的 DBR 结构可以更加有效地提高白光 LED 的光提取效率。

表 1 150 mA 电流下 DBR 结构和 Ag/TiW 金属结构的白光 LED 倒装芯片光电参数对比

反射镜结构	正向电压/V	辐射功率/mW	发射波长/nm
DBR	3.27	207.56	451.94
Ag/Ti/W	3.23	200.37	451.63

3 结 论

本文应用模拟计算方法,模拟了 3 个不同周期的 DBR 膜系,证明了 25 个周期的 DBR 能够满足白光 LED 的反射需求。在玻璃片上分别制备了 25 个周期 DBR 结构反射层和 Ag/Ti/W 结构反射层,对比了两者的反射特性。结果表明,在白光 LED 倒装结构中采用 DBR 作为反光层可以有效提高光线的反射率。针对两种反射层结构特性来设计版图,并在 GaN 基白光 LED 外延片上进行流片加工和测试。测试结果表明,相对于传统 Ag/TiW 金属反射

(下转第 279 页)

3 结 论

本文通过研究抛光液的 pH 值、抛光压力、转速和流量等因素对 c 面蓝宝石衬底去除速率和表面粗糙度的影响,得到如下规律:去除速率随 pH 值、抛光压力、转速和流量的升高先增加后减小;表面粗糙度随 pH 值、抛光压力、转速的升高先减小后增加,随流量升高而逐渐降低。当抛光液 pH 值为 10.5、抛光压力为 27.6 kPa、抛光头转速为 40 r/min、抛光盘转速为 45 r/min、流量为 160 mL/min 时,去除速率能稳定在 $2.69 \mu\text{m/h}$,表面粗糙度为 0.184 nm,达到工业应用要求水平。同时,此规律对指导工业生产具有重要的意义。

参 考 文 献:

- [1] NIU X H, HUANG Y H, ZHOU J W, et al. Influence of nano-abrasive on chemical mechanical ultra-precision machining of sapphire substrate surfaces [J]. *Keys Engineer Mater*, 2014, 609-610: 130-134.
- [2] AIDA H, KIM S W, SUZUKI T, et al. Surface planarization of GaN-on-sapphire template by chemical mechanical polishing for subsequent GaN homoepitaxy [J]. *Sol Sta Sci & Technol*, 2014, 3(5): 163-168.
- [3] ZHANG Z, YAN W, ZHANG L, et al. Effect of mechanical process parameters on friction behavior

and material removal during sapphire chemical mechanical polishing [J]. *Microelec Engineer*, 2011, 88(9): 3020-3023.

- [4] 王娟,刘玉岭,檀柏梅,等. 蓝宝石衬底片的精密加工 [J]. *微电子学*, 2006, 36(1): 46-48.
- [5] 熊伟,储向峰,董永平,等. 不同磨料对蓝宝石晶片化学机械抛光的影响研究 [J]. *人工晶体学报*, 2013, 42(6): 1064-1069.
- [6] 刘金玉,刘玉岭,项霞,等. 磨料对蓝宝石衬底去除速率的影响 [J]. *半导体技术*, 2010, 35(11): 1064-1066.
- [7] MCGRATH J, DAVIS C. The effect of thin film stress levels on CMP polish rates for PETEOS wafers [J]. *J Mater Process Technol*, 2003, 132(1-3): 16-20.
- [8] PIHTILI H. *Tribology in engineering* [M]. Rijeka: Tech Press, 2013: 47-62.
- [9] 韩德刚,高执棣,高盘良,等. *物理化学* [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 505-507.
- [10] 吴建林. 单晶蓝宝石水合抛光机理与试验研究 [D]. 杭州: 浙江工业大学, 2010.
- [11] LUO J, DORNFELD D A. Material removal mechanism in chemical mechanical polishing: theory and modeling [J]. *IEEE Trans Semicond Manufac*, 2001, 14(2): 112-133.
- [12] 刘雨薇,张卫正,叶福浩. 单个微凸体接触过程中的闪点温度研究 [J]. *西安交通大学学报*, 2016, 50(3): 90-93.

(上接第 273 页)

镜,DBR 反射镜可以更有效地提高白光 LED 的光提取效率。

参 考 文 献:

- [1] 田传军,张希艳,邹军,等. 温度对大功率 LED 照明系统光电参数的影响 [J]. *发光学报*, 2010, 31(1): 96-100.
- [2] 朱继亦,任建伟,李葆勇,等. 基于 LED 的光谱可调光源的光谱分布合成 [J]. *发光学报*, 2010, 31(1): 882-887.
- [3] 刘志强,王良臣,伊晓燕,等. 倒装 GaN 基发光二极管阵列微透镜的粗化技术 [J]. *半导体学报*, 2007, 28(S1): 496-499.
- [4] 钟广明,杜晓晴,田健. GaN 基倒装焊 LED 芯片的光提取效率模拟与分析 [J]. *发光学报*, 2011, 32(8):

773-777.

- [5] 杨冲,李冠群,刘大伟,等. 提高 LED 外量子效率的研究进展 [J]. *现代显示*, 2012(5): 31-35.
- [6] 钟广明. 提高 GaN 基倒装焊 LED 芯片外量子效率的方法研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2012.
- [7] 郝惠莲,李文尧. 基于《半导体制造技术》工艺提高发光二极管(LED)效率的关键技术探讨 [J]. *课程教育研究*, 2016(10): 232.
- [8] 姬小利,江若璘,李亮,等. AlGaIn/GaN 分布布拉格反射镜的设计与表征 [J]. *激光与红外*, 2005, 35(11): 888-890.
- [9] 廉大桢,王社教,杨建科,等. 提升外量子效率的 LED 芯片结构技术探讨 [J]. *华东科技: 学术版*, 2014(2): 2.
- [10] 孙昊,韩军,李建军,等. 全反射镜结构对 AlGaInP 发光二极管发光效率的影响 [J]. *半导体学报*, 2007, 28(12): 1954-1956.