

编者按：LED节能是一场持久战，注重细节也就增加打胜战的砝码。如何减小LED内表面的反射率，从而增大出射光的强度？本文作者通过介绍LED增透膜的原理和工艺方法，结合事例说明应用LED增透膜不但能提高器件的取光效率，还起到方便测试外延片内部光学参数和辅助外延生产监测的作用。

LED增透膜的应用

文 / 赵润

摘要：本文介绍了发光二极管的增透膜的原理和工艺方法，并结合应用事例讨论了它的作用。

LED增透膜的原理和设计

制约传统LED取光效率的主要问题是出射角锥问题^[1]（所谓eject cone），而在出射角锥内，同样因为

LED的高折射率材料与空气或封装材料的不匹配造成的反射率过高，也是一个重要问题，这对某些定向发射的LED（如RCLED^[2]）更为重要。半导体与空气界面的光反射率约为1/3，是比较大的损耗，虽然反射回去的光还会经过光子循环部分出射。而树脂封装（折射率1.5）情况下，反射率约为16%，也是比较大的损失。为此需要在材料表面具有增透效果的介质层。介质层的折射率和厚度都有优选值。

考虑到工艺的可控性和实效性，我们一般选择高折射率的单层膜作为增透膜。如果选择低折射率的膜系（如二氧化硅），其剩余反射率过高，尤其在树脂封装情况下不起到任何增透的作用。假设半导体材料的折射率约为3.5（GaP或AlGaAs），而封装材料的折射率约为1.5，根据光学原理，增透介质的折射率 $n_{\text{optimal}} = \sqrt{n_1 n_2} = \sqrt{3.5 \times 1.5} = 2.29$ 。使用PECVD生

长的SiN介质折射率能够接近该值，我们按 $n=2.1$ 来计算，厚度按 $\lambda/4$ 计算，垂直反射率小于1%。

使用增透膜提高LED的效率

近期，我们对比了制作SiN单层增透膜样品与无增透膜样品的功率，增透膜对效率的提高作用明显。我们的LED材料为850nm红外RCLED材料，为近年来开发的，已经开始有广泛的应用。

表1. 增透膜样品与无增透膜样品功率的比较

树脂封装		增透膜		无增透膜	
		功率/mW	效率/%	功率/mW	效率/%
	增透膜	14.34	3.13		
	无增透膜	13.50	2.95		6.2%

因为使用的是同一片外延片，在同一批金属化工艺下制作，由表中可以看出增透膜对器件取光效率的提高作用巨大。

LED增透膜的其他作用

我们知道,良好工艺控制的介质膜可以作为LED表层材料的钝化层来使用,在实践中我们还发现增透膜有方便测试外延片内部光学参数和辅助外延生产监测的作用。

传统MOCVD生长的红黄光LED的外延结构中布拉格反射层(DBR Reflector)是很重要的部分。生产中MOCVD反应室条件是变化的,生长速度也会漂移。DBR反射层的反射峰值位置经常会漂移,最方便的检测手段为光学反射率的测量。因为GaP材料与空气的折射率差很大,表层的反射率很大,这会与DBR层的反射产生干涉,使测试曲线变得复杂。如图1,红光LED全结构的反射率曲线,DBR的信息变得不是很清晰——附加了DBR层上面外延层的厚度信息。

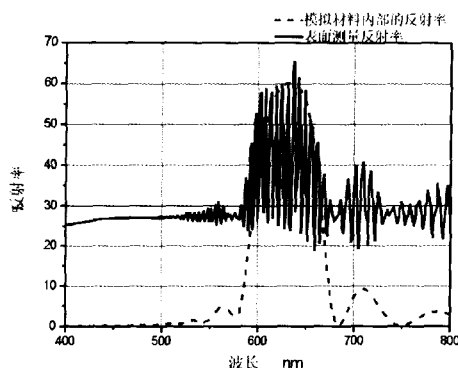


图1. 红光LED全结构的反射率曲线

对于传统红黄光LED,这种厚度信息对DBR反射层信息的干扰也许可以忽略,但是对于RCLED影响却相当大,以至于不能准确分析谐振腔的参数。一个实际RCLED结构中包含被称为电流扩展层的厚层,我们根本无法确定光学凹陷的位置,如图2,RCLED全结构的反射率曲线,两个批次间隔20炉投片。

因为前面讨论的生长速率的漂移问题,在生产中我们需要对RCLED的光学结构进行监测,而反复生长校准结构显然提高了成本,不能作为一个监测手段。我们可以在MOCVD生长出的RCLED全结构上生长增透膜,消除表面反射,即同时消除了厚度干涉条纹对分析的影响。

1048#反射带及光学凹陷(optical dip)明显与量子阱的发射波长匹配(850nm),而1071#因为外延生长参数的漂移,明显与设计结构有较大的变动。使用两批材料制作的器件(无增透膜器件),1071#比1048#的效率相差20%以上(如图3),这充分说明制作增透膜,能够实现RCLED外延片生产中的及时监测。c

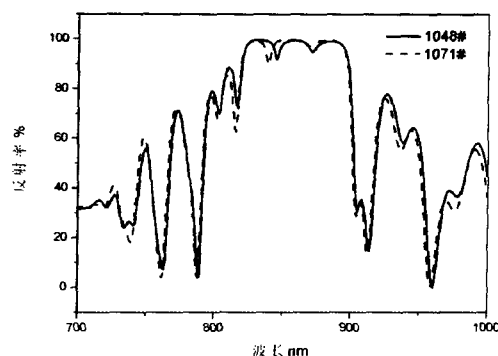


图2. 两个批次RCLED全结构的反射率曲线

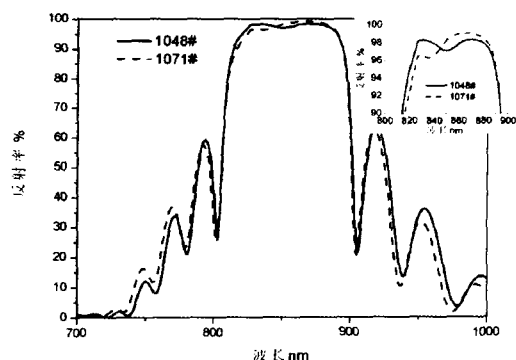


图3. 制作增透膜后两批RCLED外延片的反射率曲线的比较

参考文献:

- [1]《固体照明导论》A.茹考斯卡斯等,黄世华译 化学工业出版社
- [2] 940nm谐振腔发光二极管 刘英斌 赵润等《2003年全国MOCVD年会论文集》

作者简介:



赵润: 1975年生, 1998年毕业于中国科学技术大学物理系, 获得学士学位。现就职于中国电子科技集团公司第十三研究所, 从事光电子材料和器件的研制工作。