

Phable 紫外光刻机在图形化蓝宝石衬底（PSS）中的应用

1) 图形化蓝宝石衬底PSS介绍:

衬底材料是LED照明的基础，也是外延生长的基础。能够用于GaN的衬底材料主要有蓝宝石（Al₂O₃）、SiC、Si。只有前两种得到了较大规模的商业化应用。用Si作为衬底生长GaN基LED是业界寄予厚望的一个技术路径，但因为存在材料失配引起龟裂、发光效率低、工作电压高、可靠性差等诸多难以克服的困难，一直没有得到真正的商业化。

蓝宝石晶体具有高强度、高熔点和物理化学性能稳定等特点，是目前半导体照明产业发展过程中使用最为广泛的衬底材料。

但蓝光LED所使用的蓝宝石衬底存在以下两个问题：

- 蓝宝石和GaN存在着17%的晶格不匹配，直接在蓝宝石衬底上生长出来的外延缺陷严重——导致生长的量子阱质量下降，同时会导致漏电严重。
- 出光效率低下，大部分光被限制在LED芯片内——出光率低。

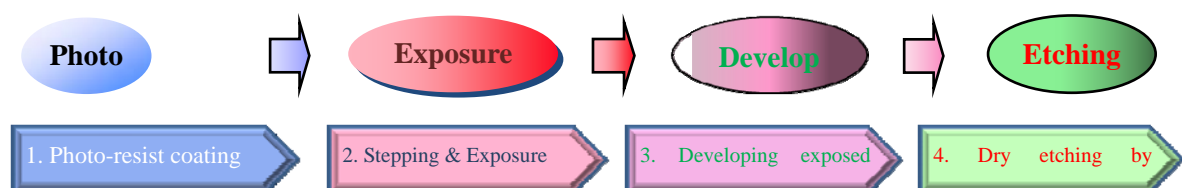
以上两个问题的解决办法就是图形化蓝宝石衬底——PSS（Patterned Sapphire Substrate）。

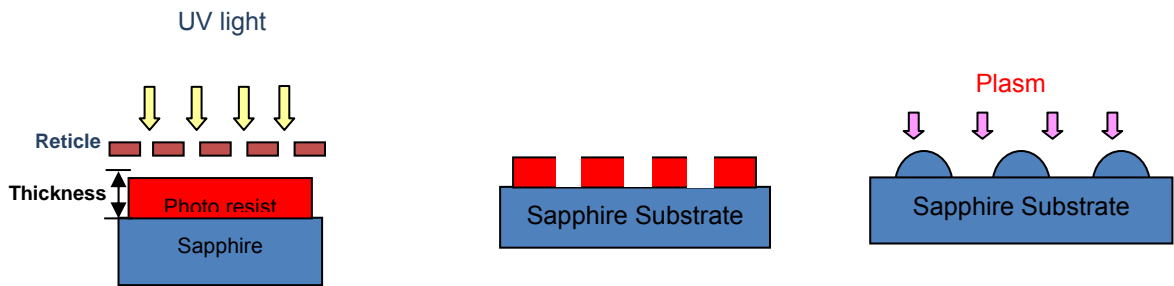
PSS，是指在蓝宝石衬底上制作出周期性图形，具体指利用标准的光刻工艺将蓝宝石衬底表面的掩膜刻出图形，之后用ICP或湿法刻蚀技术刻蚀蓝宝石衬底，去除掉掩膜后生长GaN材料，使GaN材料的纵向外延变成横向外延。

它可以有效减少GaN外延材料的位错密度，从而减少有源区的非辐射复合，提高内量子效率，减少反向漏电流，提高LED的寿命。

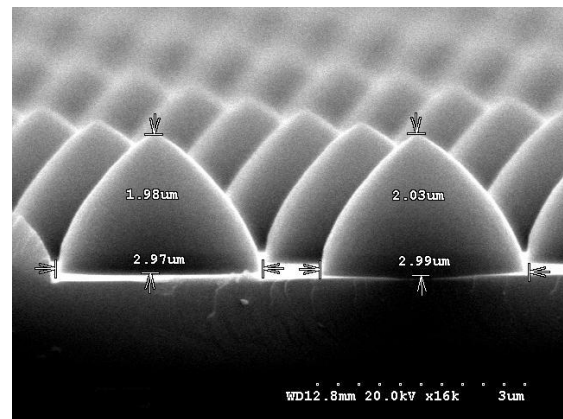
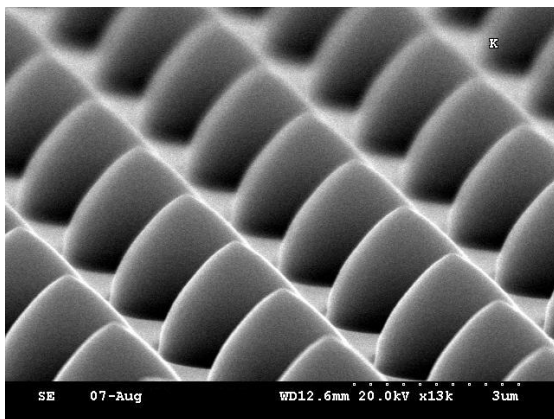
有源区发出的光，经GaN和蓝宝石衬底界面多次散射，改变了原全反射光的入射角，增加了LED光出射的几率，从而提高了光的提取效率。

具体工艺过程如下图所示：





如今各厂家纷纷采用PSS技术,以提高LED器件的光提取效率。PSS的图形种类也较多,目前使用比较普遍的一种形貌类似圆锥形的图形,图形周期约为 $3\mu\text{m}$,直径 $2-2.6\mu\text{m}$,高度约为 $1.6-3\mu\text{m}$ 。如下图所示。



以上微米量级的图形化衬底的制备已趋成熟,已被广泛应用于氮化镓基LED的制备。

2) 纳米图形化蓝宝石衬底NPSS介绍:

目前一些实验室在从事纳米级图形化蓝宝石衬底 (NPSS——Nano-Patterned Sapphire Substrates) 的研究。它具有几个特点:

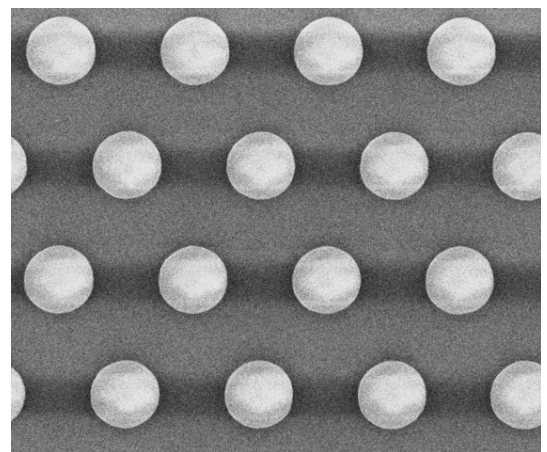
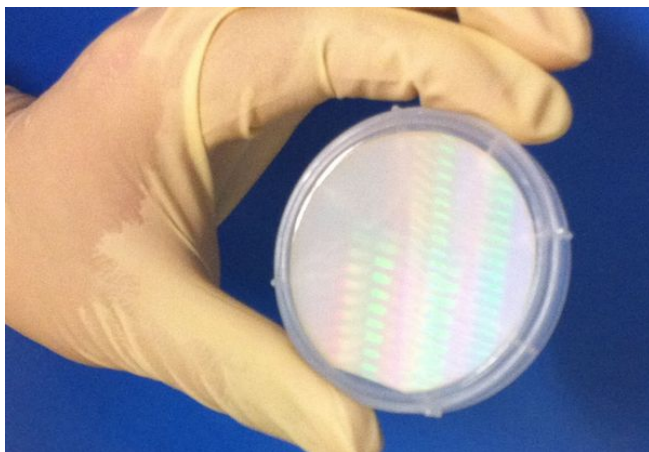
- 纳米级图形化衬底也具有改变光的出射方向的作用。
- 它具有微米量级图形化衬底所没有的特点——光子晶体的禁带效应。
 - a. 光子晶体是由具有不同介电常数的介质材料在空间呈周期性排布的结构;
 - b. 利用其光子晶体所特有的禁带效应可以实现对光子的控制;
 - c. 选取合适结构参数的纳米量级图形化衬底可被视为二维光子晶体而具有光子带隙的特征,能够在垂直于LED表面的方向,使更多的光子出射到LED外部而不被衬底所吸收。

纳米级图形化衬底NPSS的尺寸为：六边形图案，周期1微米，直径0.7微米、高度为0.55微米。

实现了NPSS，会带来几大优势：在下一步的GaN层生长过程中由于材料失配导致的位错和缺陷更少；内部的量子效应更大；光萃取效应进一步提高；外延生长过程更容易。从而，LED发光效率更高，并且生产效率大大提高。

3) PHABLE 紫外光刻机——低成本制作高分辨纳米周期性图形结构

Eulitha公司的PHABLE紫外光刻机是在广泛用于LED生产中的蓝宝石衬底上曝光图形的理解工具。图形化蓝宝石衬底有利于高质量的半导体材料层的生长，从而得到高性能的LED器件。需要的结构是典型的柱或孔的阵列，一般呈六边形排布，周期为1-3 μm (PSS)，当制作纳米级图形化蓝宝石衬底 (NPSS——Nano-Patterned Sapphire Substrates) 时，周期一般是几百纳米，更精细的结构带来更大的出光效率。大多数蓝宝石样片表面都不平整，使用传统光刻方法，以可接受的成本，很难获得很好的曝光图形，而PHABLE紫外光刻机在蓝宝石衬底上能曝光出这些高分辨的结构，且具有很好的均匀性和重复性。PHABLE紫外光刻机可在四英寸硅片上一次曝光出均匀图形，生产效率非常高。同时，我们可以对涂得很厚的光刻胶进行曝光，以利于下一步轻松地进行蓝宝石衬底的刻蚀。



用 PhableR 100 高分辨紫外光刻机在 2" 蓝宝石衬底 在光刻胶上曝光出的周期结构
上曝光出的高分辨图形