

利用 ITO 改善紫外 LED

用基于锡的金属有机物进行清洗可提高 ITO 的透射率，并降低采用该二极管的 LED 的工作电压。

紫外 LED 的成本包括复杂的器件处理，比如倒装芯片封装或衬底剥离，这是解决 p 型 AlGaIn 的低空穴密度问题所需要的。但是，据一支来自中国中山大学的研究团队称，p 型 GaN 的相关问题可通过引入一种采用 MOCVD 工艺生长的 ITO 透明电极来克服。

该研究团队的发言人 Gang Wang 表示：“我们认为自己的 MOCVD-ITO 技术能够在长波紫外线（UVA）和中波紫外线（UVB）的波长范围内实现高透射率，并使 UV 光电器件的制造既廉价又容易。”

该研究团队的技术有另一个优势，即：对于给定的电流密度，它使得 UVA LED 能够在较低的电压下工作（见图）。

ITO 在蓝光 LED 中常用作一种透明导电氧化物，但是将其转移到 UV LED 并不容易，这是因为 p 型氮化物的高功函数会阻碍 ITO 电极与 LED 的 p 型半导体上层之间形成欧姆接触。

Wang 解释说：“通过界面处理，我们改变了界面属性，从而降低了 ITO/LED 界面上的肖特基势垒。”

这支研究团队尝试使用了多种界面处理方法，用氧气、三甲基铟（TMI）和四（二甲氨基）锡来清洗界面。结果证明，采用后者（被称为 TDMASn）是改善 UVA LED 性能的最有效的界面处理方法。

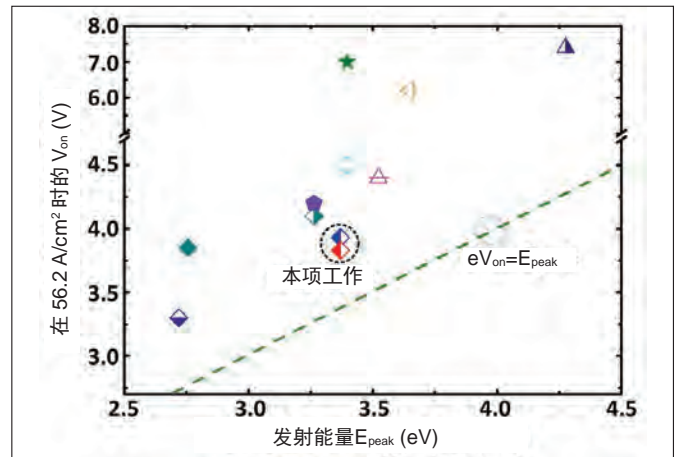
Wang 指出：“我们想强调的是，原位处理可能仅采用 MOCVD 工艺实现。如果 ITO 是采用其他方法生长的，比如磁控溅射或热蒸发，那么原位处理似乎是不可能的。”

ITO 薄膜是采用该公司自制的一种 MOCVD 工具添加的。

Wang 解释道：“我们构建了自己的实验室制作的 MOCVD 系统，因为我们认为用于氧化物的 MOCVD 系统可能更便宜。”他指出，用于生长氮化物的类似工具更加复杂。“设计人员必须将生长室与大气相隔离，以抑制氧污染物。”

对于氧气，显然不存在与氧污染有关的问题。所以，MOCVD 工具的设计大为简化，而且其成本低得多。

研究人员揭示了使用 TDMASn 方法进行清洗的好处（采取基于 AlGaIn 的 LED 结构，并运用 MOCVD 工艺沉积 85 nm 厚的 ITO 层）。对于控制，他们直接在器件上沉积 ITO；另外，他们还推出了两种替代方案，包括使用 TMI 或



用四甲基氨基锡进行清洗可改善 ITO 和 GaN 之间的界面，从而形成具有较低正向电压的 UV LED。

TDMASn 的中间 6s 清洗。

采用这些外延片制作 $250 \mu\text{m} \times 760 \mu\text{m}$ LED，工程师也运用三种不同的处理方法来制作隔离式 ITO 薄膜，以确定这些工艺对于氧化物穿透率的影响。所有三个样本都具有超过 90% 的穿透率（在 368 nm 波长），而采用 TDMASn 界面处理方法形成的薄膜变型则具有最高的透射率，数值达到 95.9%。

TDMASn 清洗的其他好处包括表面粗糙度的下降、薄层电阻的减小、以及正向电压的降低。当驱动电流为 100 mA 时，该 LED 工作在 3.83 V，比采用其他工艺制成的同类 LED 的工作电压低 0.1 V 以上。

Wang 解释说：“目前，我们在倒装式芯片 UVA LED 中将我们的 MOCVD-ITO 用作电极。”在传统的倒装式芯片 LED 中，金属反射镜具有双重作用，兼用作反射器和电极。然而，由于反射镜的反射率不如分布式布拉格反射镜，因此 Wang 和他的同事们正试图将分布式布拉格反射镜与 ITO 相结合以提高取光效率。

“另外，我们还专注于大尺寸、1W、高功率 UVA-LED 及其在 UV 固化中的应用。”

参考文献

W. Tu et al. Appl. Phys. Express 11 052101 (2018)