

利用內部反向並聯二極體提升氮化鎵覆晶發光二極體之靜電防護效能及可靠度

許進恭^{1,*}，許世昌²，沈建賦³

¹國立成功大學 光電科學與工程研究所

²國立台南大學 電子工程系

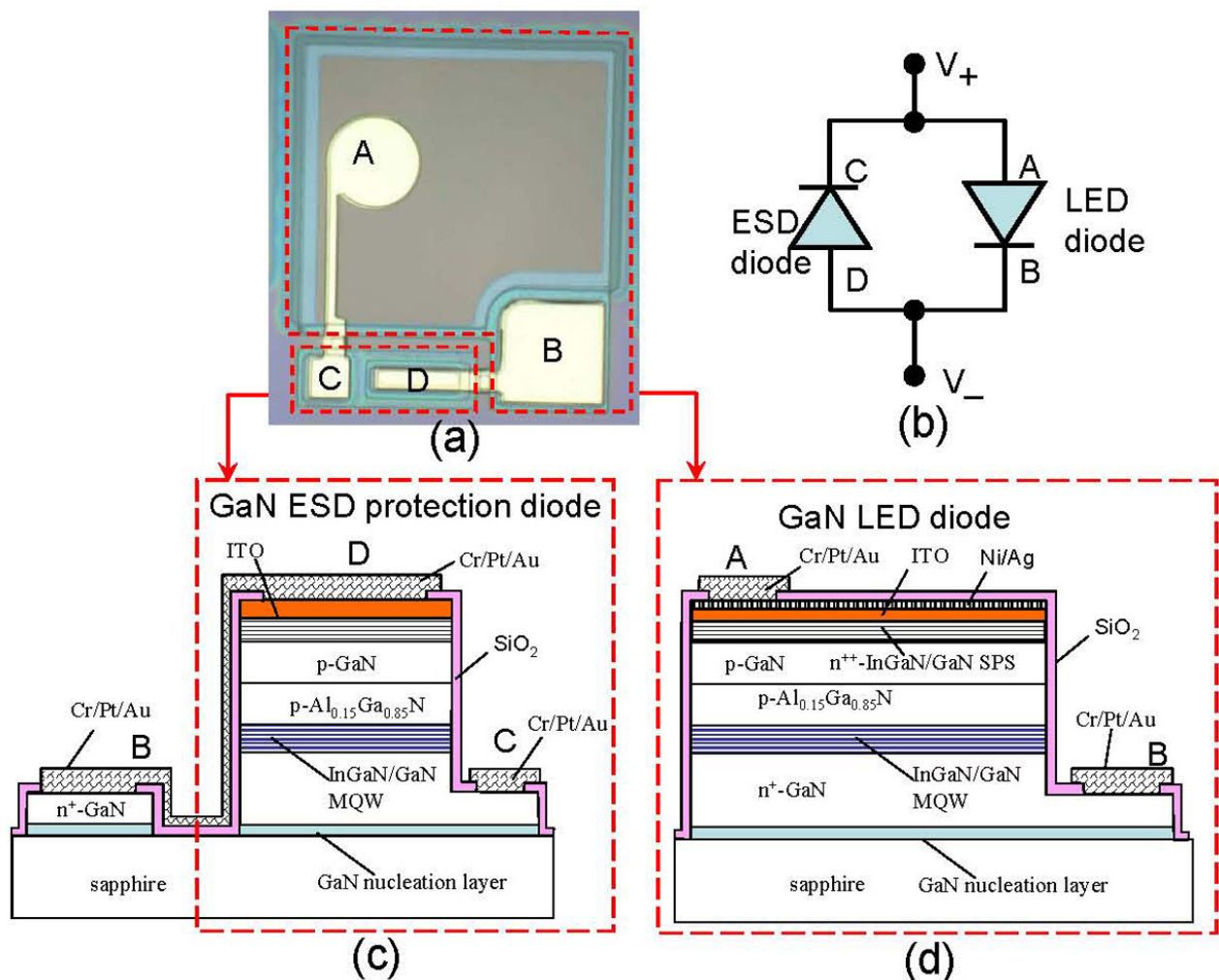
³國立成功大學 微電子工程研究所

Email: jksheu@mail.ncku.edu.tw

IEEE Electron Device Letters, Vol. 28, No. 5, May, 346-349(2007).

為了增加氮化鎵系列發光二極體的光萃取效率 (light-extraction efficiency)，利用ITO作為電流散佈層取代傳統的Ni/Au半透明金屬，以減少輸出光子的損失，已廣泛被研究。傳統發光面朝上之發光二極體其金屬電極與導線的陰影會減少光的萃取效率，而解決此問題的可能方法是覆晶技術。藉由使用覆晶技術，沒有存在於元件上方的電極或導線，不會被基板吸收的光子可從基板方向自由地穿透，藉此達到更多的光輸出功率。在高階發光二極體的應用上，我們最為關注且最為關鍵的需求便是可靠度。例如在液晶顯示器背光模組的應用方面，除了光輸出功率的衰減之外，抗靜電能力是為發光二極體一個主要的可靠度課題。氮化鎵系列發光二極體運用連接矽基齊納二極體 (Zener Diodes) 是一廣為人知且可顯著增加抗靜電能力的可靠方法。近期研究顯示氮化鎵/藍寶石基板系列之發光二極體可藉由並聯蕭基能障二極體 (Schottky barrier diodes) 以保護靜電對元件的損害，其中氮化鎵發光二極體與蕭基能障二極體是配置在同一藍寶石基板上。前述氮化鎵/藍寶石基板系列之發光二極體對於抗靜電的能力取決於蕭基能障二極體的特性優劣。一般而言，氮化鎵發光二極體為了達到低的操作電壓，n-type覆蓋層有著高摻雜濃度是必須的 (例如，n⁺-GaIn磊晶層)，這是為了要形成較低電阻率的歐姆接觸 (Ohmic contact) 的緣故。此外，高摻雜導致較低的材料電阻以及元件的串聯電阻。然而，低電阻率(高摻雜濃度)對於高品質的蕭基能障二極體卻是不利的。在我們所設計的發光二極體結構之中，n-type覆蓋層的載子濃度高於 $3 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ，在此摻雜數量級之下，容易導致較差的Ni/GaN蕭基接觸 (Schottky contact)。因此，我們採取一個反向並聯的p-n接面二極體做為抗電保護單元以取代蕭基能障二極體。此外，由於反向的p-n接面二極體與發光二極體的電極金屬是相同的，因此可以簡化元件的製程。在本論文中，p-n接面二極體利用反向並聯的電性連接於氮化鎵發光二極體。根據這樣的設計，此一靜電防護二極體的結構等同於氮化鎵發光二極體，不過此一靜電防護二極體的元件面積較小於氮化鎵發光二極體，如圖一(a)所示。此設計想法提供氮化鎵發光二極體良好的抗靜電損害。在我們的設計中，這樣的靜電防護二極體可以提供無論是反向靜電或不正常的高電壓一個宣洩脈衝突波的電流路徑。另一方面，本論文亦運用覆晶技術進一步提升此氮化鎵發光二極體的輸出功率。



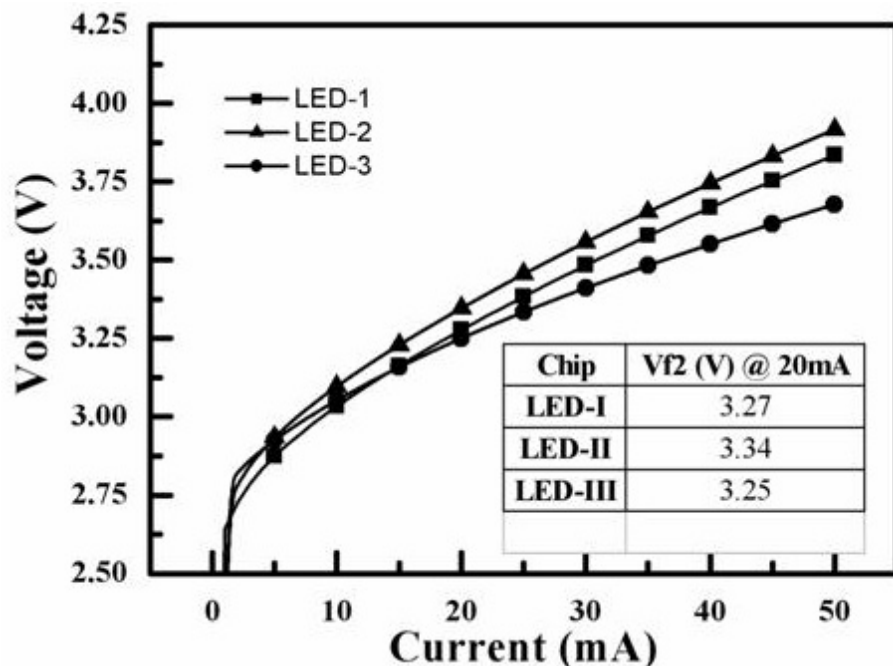


圖一、(a)LED-1之裸晶粒照片(b)等效電路圖(c)靜電保護二極體之結構示意圖(d)發光二極體之結構示意圖

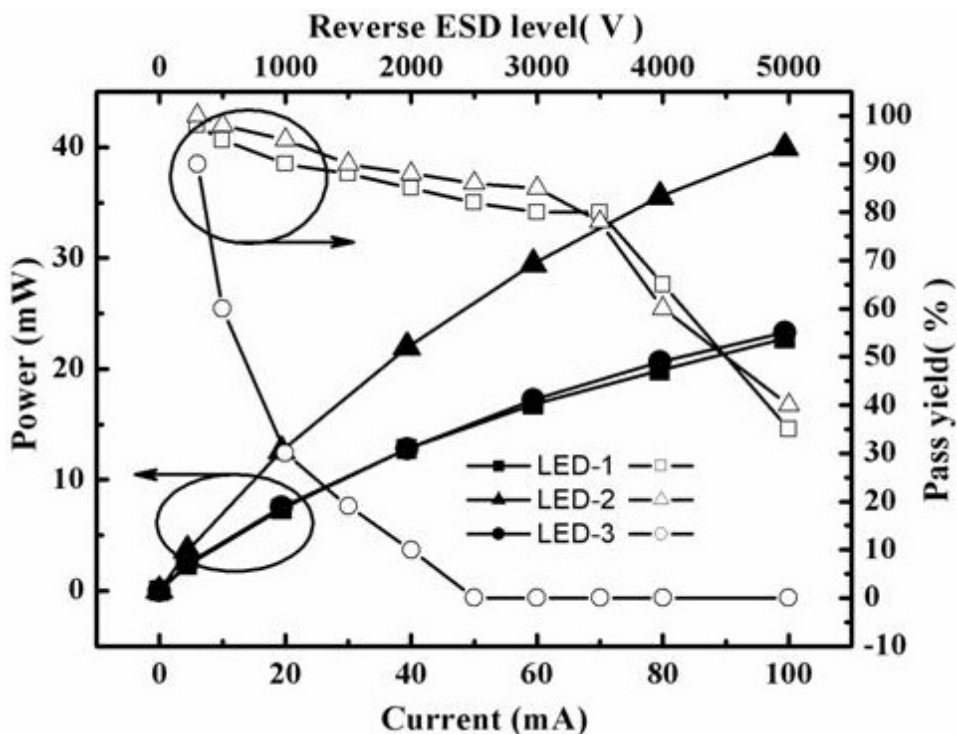
本論文所使用的InGaN/GaN多重量子井發光二極體利用MOCVD成長於藍寶石基板。晶圓成長之後，接著蒸鍍ITO作為透明接觸層（transparent contact layer）。元件製作過程利用乾蝕刻方式來蝕刻晶圓直到n⁺-GaN這一層顯現出來才停止。為了電性隔離放置在同一基板上的氮化鎵發光二極體和靜電防護二極體，此n⁺-GaN這一層部分藉由乾蝕刻方式貫穿直到藍寶石基板層。緊接著，1 μm厚的SiO₂薄膜沉積在晶片表面當作兩個二極體之間表面鈍化層和電性隔離層。在完成SiO₂的圖形定義(patterning)後，Cr/Pt/Au (30/100/25 μm)金屬層沉積在n⁺-GaN及ITO層當作n-型/p-型電極，並同時做為氮化鎵發光二極體和靜電防護二極體的內部連接線。在前面提及的發光二極體為LED-1。圖一(a)、(c)和(d)分別為LED-1的俯視圖、抗靜電防護二極體的內部結構圖和氮化鎵發光二極體的結構圖。在覆晶試片裡，藉由電子束蒸鍍機來蒸鍍Ag薄膜於ITO層上作為底層的反射鏡。以電鍍方式將Sn/Au(15 μm/5 μm)配置在各個電極之上形成凸塊（bump）。最後整個晶圓的厚度約110 μm且切割成380×350 μm²的晶粒。覆晶發光二極體在被封裝前是以共晶鍵結方式附著在Si晶片上，標為LED-2。為了能與傳統的氮化鎵發光二極體比較，沒有內部反向並聯二極體的樣品被標示為LED-3也被製作並加以分析。此靜電防護的特性可藉由ESD Simulator-Mode 1910來量測，它包含了高電壓功率提供、高電壓的轉換及R/C排除網路系統。這裝置允許我們模擬不同藉的人體測試模型，測試元件的抗靜電能力。

由圖一(a)實體元件照片及圖一(b)之電路示意圖，我們可以看到抗靜電防護二極體本身跟氮化鎵發光二極體有電路並聯的作用，也因為這樣的緣故，除非並聯的抗靜電防護二極體有崩潰的現象產生，否則正常操作下，靜電防護二極體應該都處於逆偏壓的狀態。當LED-1正常的操作時，電流流經過發光二極體而產生

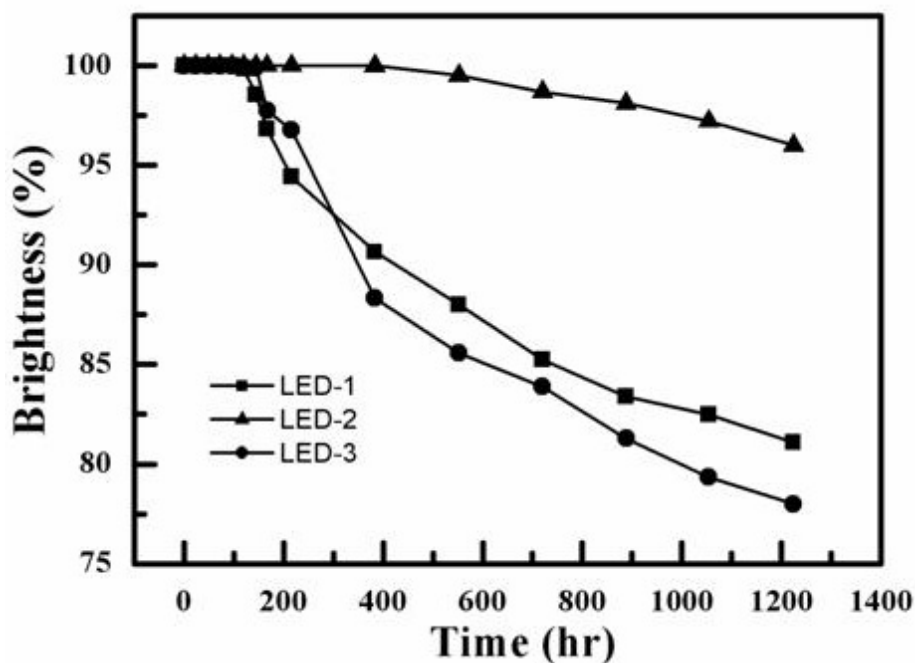
光，但是當有突發狀況產生高逆偏電壓時候，抗靜電防護二極體將會產生作用，避免發光二極體因為靜電放電效應或是突發狀態的高逆偏電壓造成損害。圖二顯示出一般發光二極體順偏壓時候的典型I-V曲線圖，除了啟動電壓有些許差異之外，LED-1、LED-2和LED-3都顯示出類似之曲線。電流在20mA時候，三顆發光二極體的順偏電壓差值並沒有超過0.1伏特。這是因為串聯電阻的差異而導致電壓降差值。這是因為LED-2的有效面積小於LED-3，因此在LED-2會有比較高的順偏電壓。此外，金屬電極(Au/Sn或是Cr/Pt/Au)在Si跟GaN的接面處，可能會有金屬互相擴散的情況產生，而導致歐姆接觸有稍微列化，在這種情況中，會有比較高的順偏電壓。但是在成熟的覆晶元件製程中，這樣的情況通常不會是很大的問題。經通過抗靜電能力測試之後，為了判別元件失效與否，在此我們定出一個規則，亦即在負五伏特時候，電流的數值必須在2 μ A以上才算是失效。在圖三我們可以很清楚的看到LED-3的抗靜電能力僅可以達到負500伏特左右，然而LED-1可以承受的電壓達到3500伏特，因此我們可以確定的是，利用內部反向並聯的二極體可以大大增強抗靜電防護的能力，而擁有覆晶結構的LED-2也會有相同的效果。圖三也顯示出LED-1、LED-2跟LED-3的功率與電流的趨勢圖，其中光輸出功率量測，是利用不具環氧樹脂去封裝的TO筒裸晶形式。除此之外，在具有抗靜電二極體的元件方面，我們比較LED-1跟傳統的發光二極體(LED-3)的輸出功率，在同樣的量測條件下。當注入20mA電流，LED-1跟LED-3在發光波段465nm的輸出功率約分別為7.3mW跟7.5mW左右。但是LED-2為覆晶結構，因此擁有較高的輸出功率達到12.6mW，而且LED-2也擁有抗靜電防護的結構，也比傳統的發光二極體具有較高的抗靜電能力，如圖三所示。在可靠性測試方面，測試條件為室溫下注入電流20mA直流電去進行老化測試(aging test)，圖四顯示發光強度隨著時間的變化曲線。在經過1200小時的操作之後，對於LED-1、LED-2跟LED-3的表現，發光強度的衰減率對應值為19%,4%,22%。相較於LED-1跟LED-3，因為LED-2的熱流路徑較短，發光二極體所產生的熱，可以很容易被排除掉，而不至於在長時間操作時因高熱造成金屬原子在介面間遷移，使得元件性能下降。因此覆晶封裝的元件可擁有較優良的可靠性。



圖二、取自LED-1, LED-2 及LED-3之典型電流-電壓特性曲線



圖三、經過不同ESD脈衝電壓後所測得之元件良率及在不同住入電流下所測得之光輸出功率



圖四、取自LED-1, LED-2, 及LED-3之典型老化測試曲線。測試條件為室溫、20mA直流電流操作。

總之，本研究展示了做為靜電防護用之內部氮化鎵二極體反向並聯於發光二極體之後，可增加抗靜電防護的能力，而利用覆晶技術更提升了發光二極體在光輸出功率以及可靠度方面的表現。由於使用相同材料與磊晶層，氮化鎵發光二極體與抗靜電氮化鎵二極體可以同時製作在同一基板上。因此，跟傳統氮化鎵發光二極體並聯齊納二極體比較起來，並不需要額外的製程步驟，並且具備增強光輸出功率、可靠性提昇以及低成本的特性。