

3.6.6 未来 ICT 研究所 深紫外光 ICT デバイス先端開発センター

先端開発センター長 井上振一郎 ほか3名

深紫外光 ICT デバイス技術の研究開発により、安心・安全で持続可能な未来を切り拓く

【概要】

深紫外光（波長：200～350 nm）は、実用可能な半導体素子から発せられる光として最短波長帯に対応し、ICTはもちろん、菌やウイルスの殺菌、飲料水の浄化、センシング、光リソグラフィー、環境汚染物質の分解、院内感染予防、光線外科治療など、多様な技術分野においてその重要性が増しているフロンティア周波数資源である。深紫外光 ICT デバイス先端開発センターでは、低環境負荷かつ小型・高効率・高出力な従来に無い深紫外光源技術や、深紫外光の効果的な利用を可能とする深紫外光 ICT デバイス基盤技術を開発することで、情報通信から殺菌、工業、安全衛生、環境、医療に至るまで、幅広い分野の生活・社会インフラに画期的な技術革新をもたらすことを目指した研究開発を実施している。

平成 26 年 8 月 1 日に発足した本センターは、平成 27 年度も引き続き、深紫外 LED の高効率化、高出力化に向けた各要素技術の研究開発や、産官連携の取組、実用化技術の開発など、基礎研究から社会実装への取組まで有機的に実施した。

【平成 27 年度の成果】

深紫外光の中でも、特に UVC 領域として分類される 280 nm 以下の光は、オゾン層で全て吸収されるため、280 nm 以下の太陽光は地表には降り注がず、ソーラブラインド領域と呼ばれる。この特性により、太陽光のノイズの影響を受けない通信や、塩素などの有害な薬剤を用いない細菌やウイルスなどの効果的な殺菌・無害化が可能となる。特に、265 nm 帯の波長は、DNA の吸収ピークと重なるため、応用上、最も重要なターゲット波長のひとつとなっている。しかしながら、この領域で実用に耐え得る高出力な深紫外 LED 光源はいまだ実現されていない。よって本センターでは、第 1 段階として、低環境負荷かつ小型・高効率・高出力な従来に無い深紫外光源技術の実現に向けた研究を進めている。平成 27 年度は主に、265 nm 帯の深紫外 LED の高効率化、高出力化に向けた要素技術の開発や、実用化にマッチしたナノインプリント法によるナノ光取出し構造の高スループット作製技術の開発（図 1）などについて実施した。

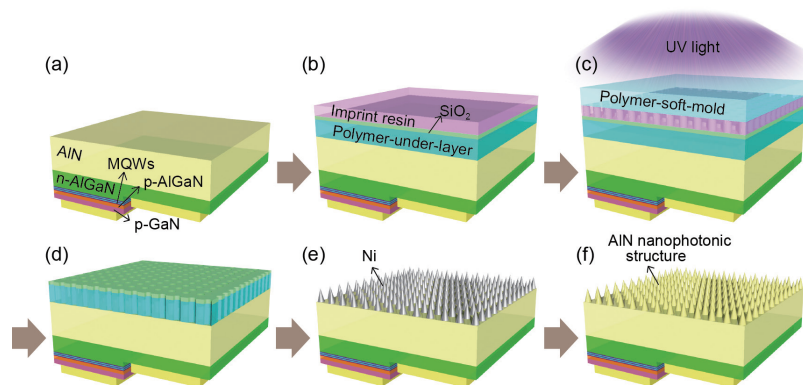


図 1 ナノインプリント技術を用いたナノ光取出し構造の作製プロセス (a) 深紫外 LED 層形成 (b) 3 層レジスト形成 (c) UV ナノインプリント (d) 犠牲層 ICP ドライエッチング (e) Ni リフトオフ (f) AlN の ICP ドライエッチング & ウェットエッチングによる AlN ナノ光取出し構造形成

現在、窒化物半導体 AlGaIn をベースとした深紫外 LED の出力向上を阻害している最大の要因は、極めて低い光取出し効率の問題である。これは発光エネルギーの高い深紫外 LED 特有の問題で、深紫外光に対し透明な電極を形成することが困難であり、特に、高 Al 組成の p-AlGaIn 層に対する良好なオーミックコンタクトを得るためには p 型 GaIn 層を形成する必要があるが、素子内で極めて大きな内部吸収が発生する。この結果、基板界面・表面での全反射と内部吸収によって、光を外部に取り出すことが難しく、活性層で発光した光の大部分が熱エネルギーに変換される。また AlGaIn 系深紫外 LED では、高密度な結晶欠陥（転位）の発生も大きな

問題であり、この結果、極めて低い内部発光効率や短い素子寿命しか得られないという課題もあった。これに対し、我々は株式会社トクヤマとの共同研究により、AlN 単結晶基板上深紫外 LED について研究開発を進めており、大幅な転位欠陥の低減（低転位化）を実現している。しかし一方で、単結晶 AlN 基板の屈折率は 2.3 程度と従来のサファイア基板と比して大きく、空気との屈折率差が大きくなるために、AlN 基板 / 空気界面での全反射領域が大幅に拡大し、その結果、LED の光取出し効率が大幅に低下する。またさらには AlN 基板自体の自己光吸収効果も存在する（吸収係数として約 10 cm^{-1} @265 nm）。これらの AlN 基板上深紫外 LED 特有の問題により、可視光 LED などと比較し、AlN 基板上深紫外 LED の光取出し効率を向上させることは極めて困難であり、これまでにない独創的な手法が求められる。本課題に対し、我々は高効率・高出力化に向けた新たなナノフォトニック構造や、LED チップ構造、あるいはマクロなパッケージ技術等に関して並行して独自の研究開発を進めている。今回特に、実用化を指向し、深紫外 LED 内部での光吸収と AlN 基板界面での全反射を抑制するための独自のナノフォトニック構造を、低コストかつ、高スループット・大面積で形成できる新たなプロセス技術開発に注力し、取り組んだ（図 1）。ナノインプリント法を深紫外 LED ナノ光取出し構造形成プロセスに対し適用し、3 層レジストを用いる独自のインプリント手法を提案し、技術確立した（特許出願済）。ナノインプリントレジストは難溶性であり、また均一性を確保するためには薄膜化する必要があり、リフトオフ法の適用が難しく、AlN のような難加工性材料に対し、ナノインプリント法によりナノ構造を大面積において均一に形成することは困難であったが、我々は 3 層レジストを用いた独自のナノインプリント技術開発により、ナノ光取出し構造を AlN 基板上深紫外 LED に大面積・高精度・高均一に作製することに世界で初めて成功した（図 2）。さらに、カスタムビルドの深紫外評価装置を用いて、発光スペクトル強度に関してナノ構造加工前後の特性比較評価を実施し、メインピークの波長が 265 nm 帯でプロセス前後において維持され、発光スペクトル形状を変えることなく、265 nm 帯の光出力がナノ構造付加により明確に増大していることを示した（図 3）。ナノ構造付加による性能向上は電子ビーム描画法を用いて作製した場合と同等であることから、ナノインプリント法を用いた場合においても、十分に高精度なナノ光取出し構造が作製可能となったと判断している。これらの結果から、深紫外 LED の高効率化、高出力化に極めて有効な独自のナノ光取出し構造を、量産に適した低コスト・高スループットな手法により作製可能であることを実証した。

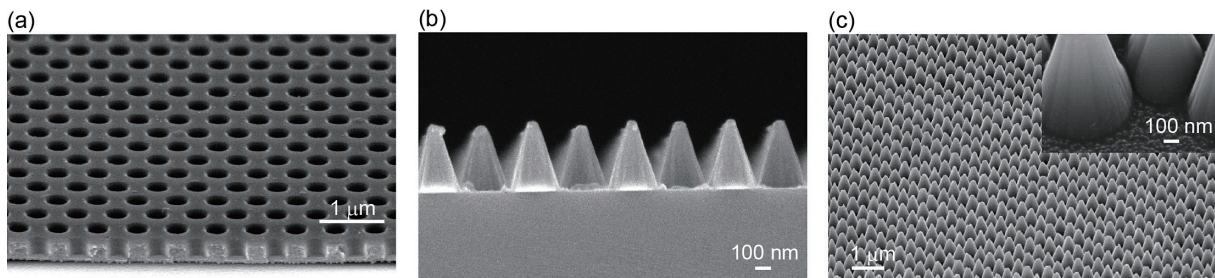


図 2 ナノインプリント法により作製した各素子の電子顕微鏡写真 (a) UV インプリント後のレジスト微細パターン (b) Ni ナノ構造マスクパターン (c) AlN 基板上深紫外 LED に作製したナノ光取出し構造

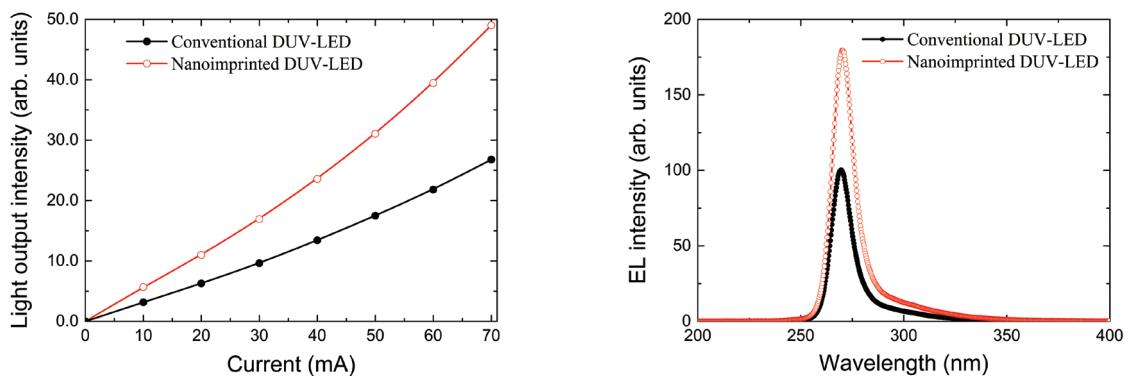


図 3 ナノインプリント法により作製したナノ光取出し構造加工付加型及び従来型深紫外 LED の光出力比較（左図）及び電流注入発光スペクトル強度比較（室温、注入電流 70 mA (CW 動作)）（右図）