

ICNS-7 ショート速報[窒化物半導体光デバイス]

氏名 橘 浩一 (株式会社東芝)

会議名 : 7th International Conference on Nitride Semiconductors

開催期間 : 2007 年 9 月 16 日 - 21 日

開催場所 : MGM Grand Hotel (Las Vegas, NV, 米国)

*****要 約*****

窒化物半導体を用いた青色・緑色発光ダイオードに関しては、高効率化・高出力化に向けた発表が多かった。レーザダイオードに関しては、青紫色から長波長化された青色レーザなどの研究が目立った。

通常の(0001)面 GaN でなく、非極性面や半極性面 GaN 上に作製された光デバイスは、内部電界の影響が低減され高効率な発光デバイスが期待されている。この分野に関しては、カリフォルニア大学サンタバーバラや名城大学等から発表が相次いだ。

1. はじめに

第 1 回目の会議が 1995 年に名古屋で行われたことから始まって隔年で開催されており、今回は米国ラスベガスで開催された。900 人近くが参加登録し、前回 2005 年にドイツ・ブレーメンで行われた時の参加人数(700 人)を大きく上回った。参加人数のうち、最大は米国からの 200 人であるが、その次が日本からの 180 人であった。

26 件の招待講演、691 件の発表(内、口頭発表が 220 件)、2 件のランプセッション、22 件のレイトニュースと、窒化物半導体に関して多岐にわたる発表が行われた。本ショート速報では、レーザダイオードや発光ダイオードなど光デバイスに関する話題を中心に報告する。

2. 主なトピックス

2. 1 GaN 基板関連

デバイスの結晶成長に用いる GaN 基板として、日立電線からは 3 インチ径の GaN 基板に関する招待講演があった(講演番号 : C1)。

また、半極性面・非極性面の GaN 基板に関する招待講演が三菱化学からあった(講演番号 : I1)。GaN(0001)基板を HVPE 法により厚膜成長し、任意の方向に切り出す。ラッピングと研磨を行った基板表面を AFM で観察すると、RMS 粗さが 0.1 nm 以下と平坦な表面が得られていることが分かった。M 面 GaN 基板としては、10 mm*20 mm 角程度のものが得られた。

2. 2 発光ダイオード

Philips Lumileds からは、高出力・青色 LED に関する招待講演があった(講演番号 : A1)。サファイア基板上に作製された LED 構造について、p 電極、n 電極をサブマウント側に実装したフリップチップ構造を

採用する。放熱性が良いこと、ワイヤボンディングが不要なこと、光取り出し効率が高いこと、が特徴として挙げられる。さらに、リフトオフ技術を用いてサファイア基板を剥離した **Thin-Film** フリップチップ構造を採用することで、光取り出し効率がさらに高い構造となる。結晶の内部量子効率の向上、デバイスの光取り出し効率の向上、動作電圧の低下を施すことで、将来的には、蛍光体を組み合わせた白色 **LED** として、光束 1000 lm において効率 150 lm/W を目指すということである。また、高注入電流領域で発光効率が低下する原因として、キャリアのリークの他に、オージェ効果が寄与しているとした（レイトニュースでも、オージェ効果に関する発表があった。講演番号：Z7）。これまで GaN 系ではワイドバンドギャップの半導体のためオージェ効果はあまり関係がないとされてきたが、今後はオージェ効果に関する話題が盛んになるかもしれない。

OSRAM Opto Semiconductors からは、緑色 **LED** の高出力化に関する招待講演があった（講演番号：D1）。サファイア基板上に作製された **LED** 構造の p 側をいったん支持基板に貼り付けた後、サファイア基板をレーザリフトオフで剥離し、さらに、n-GaN 層にテクスチャーパターンを設ける。このことにより、光取り出し効率を上昇させている。動作電流 350 mA で光束 100 lm（効率：81 lm/W）、動作電流 1 A で光束 191 lm（効率：48 lm/W）という素子が得られた。

University of South Carolina と Sensor Electronic Technology からは、230~270 nm 帯の深紫外線領域での **LED** が報告された（講演番号：J1, J3）。ドーピング設計、電極配置を最適化することで、深紫外線領域で外部量子効率 1% を達成した。

名城大学からは、非極性面 GaN 上に作製される **LED**（特に緑色 **LED**）に関する招待講演があった（講演番号：T1）。発光効率を高めるためには、非輻射再結合中心を減らすことが重要であり、そのためには結晶の欠陥を減らすことが重要であることを示した。In 組成の高い InGaN 量子井戸を活性層に用いる場合、InGaN underlayer を成長することが低欠陥化に繋がるとした。

日亜化学工業からは、高効率白色 **LED** に関する招待講演があった（講演番号：V1）。p 電極を従来の Ni/Au から ITO へ変更し透過率を上げたこと、パターン加工されたサファイア基板を用いること、で光取り出し効率を上昇させた。

2. 3 レーザダイオード

ソニー白石セミコンダクターからは、GaN 系セルフパルセーションレーザに関する発表があった（講演番号：D3）。過飽和吸収層として p-GaN/p-GaInN 単一量子井戸構造を用いた。また、RIE でドライエッチングして形成したリッジ型レーザ構造を採用しているが、ドライエッチングした部分に存在するエッチングダメージ層と過飽和吸収層との距離の制御が重要であることを示した。セルフパルセーションレーザの特性としては、しきい値電流 38.8 mA、特性温度 148 K であり、相対雑音強度は光出力 3~15 mW で -125 dB/Hz である。

OSRAM Opto Semiconductors からは、レーザディスプレイ用に、青色（440 nm）レーザに関する発表があった（講演番号：D4）。波長 405 nm の青紫色レーザでは n-AlGaIn クラッド層が 2 μm あれば光閉じ込めとして充分であるが、波長 440 nm の青色レーザでは、n クラッド層厚が 2 μm では基板側に光が漏れる。シミュレーションした結果、活性層とクラッド層の屈折率差の関係で n クラッド層厚が 2 μm では不十分であり、3 μm 程度なければならないことが分かった。実際に、n-AlGaIn クラッド層が 3 μm の青色レーザを試作し、しきい値電流 20 mA、動作電流 60 mA で光出力が約 40 mW の素子を得た。

ロームと東北大学からは、非極性面 (m 面) GaN 基板上に作製された青紫色レーザ、青色レーザに関する招待講演があった (講演番号: CC1)。青色レーザに関しては、In 組成の高い InGaN 量子井戸を活性層に用いるため、ガイド層が GaN のままだと系の圧縮歪みにより、クラックが生じる。それを解決するために、ガイド層に InGaN を用いた。パルス動作で、しきい値電流 134 mA である。

University of California, Santa Barbara からは、非極性面・半極性面 GaN 上に作製された光デバイスについて、結晶成長・特性評価など報告が多数あったが、その中から興味深かったものを挙げる (講演番号: CC2, ThP114)。M 面 GaN 上に作製されたレーザでは、AlGaIn クラッド層がなくても、レーザ発振が可能となるという報告である。M 面 GaN 上の InGaN 量子井戸では内部電界がかからないので、井戸層の膜厚を 8 nm 以上と厚くしても発光効率の低下は起きない。井戸層の膜厚が厚いことにより、活性層の体積が大きくなるため、クラッド層を GaN にしても、光が InGaN 活性層に閉じ込められるということである。発振波長は 404 nm 程度であり、しきい値電流は 77 mA である。

3. おわりに

窒化物半導体の光デバイスに関する話題を中心に報告した。上記の報告以外にも光デバイスに関して多数の報告があったが、ページの都合上、割愛させていただいた点はご了承ください。

レーザダイオードに関しては、GaN(0001)基板上に作製された青色レーザや、非極性面・半極性面 GaN 基板上の青紫色レーザ・青色レーザに関する話題が多かった。製品化されている青紫色レーザよりは長波長化されたレーザの研究へ向かっているように感じた。

発光ダイオードに関しては、深紫外線領域から、青色、緑色 LED に関して、高出力・高効率化を目指した発表が多かった。Philips Lumileds から高注入電流領域で発光効率が下がるのにオージェ効果が寄与していると発表があった。まだ学会の中でも賛否両論の雰囲気であったが、今後、GaN 系でもオージェ効果に関する発表が増えてくるかもしれない。

非極性面や半極性面 GaN 上に作製した光デバイスについては、University of California, Santa Barbara から多数の報告があり、アクティビティの高さが感じられた。また、名城大学やロームなどからも報告があり、大きな潮流となっている。

会議の参加者が 900 人と、依然として窒化物半導体に対する関心が高いことが分かる。次回は、2009 年 10 月に韓国済州島で開催される予定である。