

ICNS-8 ショート速報【窒化物半導体の進展】

山口敦史（金沢工業大学）

会議名：The 8th International Conference on Nitride Semiconductors

開催期間：2009年10月18日～23日

開催場所：Jeju International Convention Center (Jeju, 韓国)

*****要約*****

ICNS-8は、参加者が約1000名という大規模な国際会議となった。光デバイスの話題の中心はやはり白色LEDであったが、様々な特性の向上が報告される中で、高電流注入時の発光効率低下現象の物理的な起源について、いまだに諸説が対立しコンセンサスが得られない状況が続いている。非極性面上への開発が有望視されていた緑色レーザ開発は、c面上での開発も巻き返してきたために、どの基板面方位を用いるのがよいのか判断できない状況になってきた。その他、GaNバルク結晶成長、紫外LED、ナノ構造などそれぞれの分野で興味深い発表があった。

1. はじめに

本会議は2年に1度開催されているもので、同じく2年ごとに開催される窒化物半導体国際ワークショップ(IWN)と並び、この分野の研究者にとって非常に重要な会議である。今回もこれまで同様（あるいはそれ以上に）多くの研究者（約1000名）が参加し、非常に大規模な会議となった。投稿された論文（約780件）の大部分（約740件）が採択されていることから、世界中の窒化物半導体研究者が一堂に会す場にしようとする運営者の意図が感じられるが、ポスターは全部で500件もあり会場も大混雑で「すべてを見るのは物理的に不可能だ」と嘆く人の姿も見られた。一方、口頭講演（プレナリーを除く）は3つの会場での同時進行で行われたが、会場の広さや設備にもあまり問題はなく、比較的快適に聴講できた。3つの会場は、おおまかには「結晶成長」「デバイス」「物性評価・理論」という括りで分けられていたが、関連ある発表が同時進行で別な部屋で行われるという状況もあり、もう少しプログラム編成に配慮があったらよかったと思う。口頭講演は多くの投稿の中から選抜されたものであり質の高さが期待されたが、意外にレベルの低いものも多く含まれていた。特に、日本の応用物理学会で数年前に既に発表されたような内容が、外国の研究者から新規の研究として発表される場面も何度か見かけ、筆者自身も含め日本の研究者たちがもっと自分たちの研究成果を世界にアピールする必要性を感じた。

2. 主な話題とトピックス

以下に、本会議で筆者が聴講した講演やロビー情報に基づいて、それぞれの技術分野に関しての報告を行う。すべての講演を聴講していないこともあり、若干偏った内容になることをご容赦いただきたい。

2.1 白色LED関連

一般照明や液晶ディスプレイのバックライトの光源としての期待が高い白色LEDであるが、特性向上と

コスト削減にまだまだ課題があると語る人が多かった。特性として特に重要なのは「エネルギー変換効率」であり、高出力化のために動作電流を上げると LED のエネルギー変換効率が下がってしまうという「Efficiency Droop 問題」は大きな問題として捉えられている。この Droop は現象としては以前から知られているものであるが、なぜ起こるのかが未だ明確になっておらず、数年前から会議のたびに熱い議論が繰り広げられている。今回もランプセッションにおいて、Droop の起源が(1)オージェ過程の遷移確率増大であるとする説、(2)分極（内部電界）の効果による電流リーク増大であるとする説、(3)発光遷移確率の減少であるとする説など、全く異なる説の支持者がそれぞれの立場から自説の正しさを訴えたが、結論が出るという状況にはならなかった。筆者自身も一人の聴衆として、どの説が尤もらしいか考えながら聴いていたが、どの説も正しく思え（あるいは、どの説も誤りに思え）、結論を出すことはできなかった。この問題に関して LED メーカーの方に話を聞くと、「何が原因かはわからないが、Droop を抑制するためにどうすればよいかはわかりつつある」とのことで、「物理の解明よりも素子開発が先に進む」というこれまでと同様の窒化物半導体光デバイス開発の歴史が繰り返されそうだ。

白色 LED 関連では、Droop 問題以外には、光取り出し効率の向上や電流集中の問題の解決といった内容の発表が目立った。筆者自身としては、これまでこれらの研究をあまり学術的な観点では捉えていなかったが、話を聴いてみると、各々がそれぞれの工夫をしていて面白い内容のものも多かった。特に、光取り出し効率の向上は、エネルギー効率向上という面で非常に重要な課題として各研究機関が取り組んでいることを認識できた。

2. 2 非極性（無極性／半極性）面上 LED、LD

非極性基板の光デバイスは、従来の c 面上デバイスに比して活性層内部の電界を飛躍的に減少できるということから、デバイス特性の飛躍的向上が期待されている。特に、c 面上ではなかなか進まなかった緑色半導体レーザの実現に向けての期待が非常に高い。しかしながら、本会議では、日亜化学とオスラムが c 面上での緑色半導体レーザ実現を発表し（日亜化学は 518nm での CW 発振、オスラムは 526nm のパルス発振）、緑色レーザに適した基板面方位は何なのか（c 面なのか、非極性面なのか）、悩ましい状況になってきた。今年になって半極性(20-21)面基板上で 531nm レーザ発振を発表している住友電工や無極性 m 面基板上レーザの開発を進めているロームやシャープといった企業が本会議への投稿を控えたため、c 面上のレーザの発表が目立ってしまったという感もある。非極性基板の物性上の利点（電界低減、状態密度低減、振動子強度の集中など）は確実にあると思うが、現段階で c 面上に比べて結晶品質が劣るため、トータルの素子特性として突出できていない、と考えるのが妥当ではないかと個人的には思う。UCSB と京大は、これまで非極性面上デバイスに関して学術的にリードしてきたが、本会議では比較的堅実で落ち着いた発表を行った。UCSB は m 面基板上素子に関して一度オフ基板を用いると結晶品質がよくなりデバイス特性も向上する、という旨の発表等を行った。また、京大は非極性面上の量子井戸の偏光特性を考える上で重要となる変形ポテンシャルの測定等の発表を行った。その他では、非極性面上量子井戸における光学利得の研究が実験的にも理論的にも進んできた印象を受けた（コーニング、バレンシア大、レーゲンスブルク大、パロアルト研究センターなど）。光学利得はレーザ特性に直結する量であるので、様々な効果を取り入れた理論計算により光学利得が理論予測されることはレーザ構造設計に有益であるが、窒化物半導体では未確定な材料パラメータがまだ多く、これらの計算結果が暫定的なものであることを発表者も聴講者も認識する必要があると感じた。また、実験に関しては系統的な測定がなかなか難しくクリアな結論が出ているものは少ない。しかし、今は

実験データを我慢強く積み重ねていくフェーズであろう、と感じる。

2. 3 GaN 基板開発

欠陥の少ない大型GaN基板を実現するためのキー技術としてGaNバルク結晶成長が挙げられるが、本会議では、アモノサーマル法（アモノ社）、ナトリウムフラックス法（大阪大）、高圧溶液法（ポーランド）の各々について良い成果を上げている研究機関からの招待講演があった。成長速度、結晶品質、量産性などの観点で見たときにどの方法が最も良いのか筆者には判断しかねるが、どの方法においても結晶の大型化、高品質化が着実に進展していることは理解できた。何も無いところから大きな結晶を作製するのは大変なようで、それぞれの方法においてHVPE（ハイドライド気相成長法）などによって作製した比較的高品質なGaN膜の上にバルク結晶成長を行った結果が報告されていた。HVPE膜には $1E6\sim 1E7\text{cm}^{-2}$ 程度の転位が存在するが、バルク結晶成長をすることによりこの転位密度が減少するという結果も示され、高品質大型バルクGaN作製の1つのデモンストレーションにはなるようである。ただし、HVPE膜にはもともと「反り」の問題があるために、さらに大型のGaNバルク結晶を作製しようとするクラックが入ってしまうというトラブルが生じるそうだ（大阪大）。このため、自発的に核形成されたGaNバルク結晶からスタートする方法により直径8mm×15mm程度のサイズのGaN結晶を作製したという成果が大阪大より発表された。

2. 4 その他

上記に記載したテーマ以外にも注目される発表はいろいろとあったが、その中で「ナノコラム」の分野は以前に比べて研究がぐっと進展したように感じられた。特に、プレナリー講演を行った上智大の岸野教授のグループでは、混晶組成のそろったナノコラムを位置も制御して作製できるようになり、さらにそこに作製した量子井戸における歪み緩和のメカニズムもきちんと研究されていた。また、ランダムレーザや2次元DFBなどナノコラムならではの機能を搭載した素子開発への挑戦も興味深かった。「深紫外LED」の分野もサウスカロライナ大、SET社、理研などからデバイス開発の着実な進展が示されるとともに、名城大や京大などから結晶成長・評価の視点からの学術的な研究成果も発表された。学術的には最近あまり話題にならない「405nm-LD」では、三洋電機より450mW出力の光ディスク用LDの実現が信頼性まで含めて報告された。また、ソニーからは自励発振による高ピーク出力（2.4W）ピコ秒パルス発生機の発表もあった。窒化物半導体を用いた「太陽電池」の研究についても個人的には注目していたが、まだ研究はスタート地点に立ったばかりで、注目されるような結果は出ていないように感じた。量子ドットなどの「ナノ構造」の研究もレベルの高い講演が数多くあったが、実験的には形の制御が容易ではなく、これを理論的に取り扱うのにもセンスが必要で、普遍的な結果として使えそうな研究成果を得るためにはもう少し時間がかかりそうに感じられた。「InN 関連」や「電子デバイス」の講演についてはパラレルセッションの関係でほとんど聴くことができなかったので、ここでは報告を差し控えたい。

3. おわりに

本稿ではICNS-8でのいくつかのトピックスを紹介した。今回のような大規模な会議に参加すると、「これだけ研究者がいるんだから、この分野も今後どんどん発展していこう。」という気分させられる。その一方で、民間企業からの学術的な発表が減っている、という寂しさも感じられた。次回のICNS-9は2011年にグラスゴー（英国）で開催される予定である。