

ISSLED2010 ショート速報 [半導体光デバイス]

三宅 秀人 (三重大学)

会議名: The 8th International Symposium on Semiconductor Light Emitting Devices (ISSLED2010)

開催期間: 2010年5月16日-21日

開催場所: 北京大学 Lake View Hotel (北京, 中国)

*****要 約*****

ISSLED は, GaN 系窒化物半導体を中心に ZnO などを含む半導体発光デバイスに関する国際シンポジウムで, エピタキシャル成長からデバイスまで幅広く議論された。特に今回の会議における中心の話題は, 青色 LED と緑色 LED での非極性面/半極性面結晶の高品質化とデバイス特性, 光取り出し構造と, InGaN 系を中心に太陽電池応用を目指した結晶成長とデバイス構造である。また, 深紫外 LED については日本からの発表を中心に結晶性の向上に伴う高出力化が報告された。ZnO やナノ結晶, スピントロニクス等の発表も数件ではあるが報告された。

1. はじめに

International Symposium on Semiconductor Light Emitting Devices (ISSLED) は, 1996年から隔年で開催されてきた International Symposium on Blue Laser and Light Emitting Diodes (ISBLLED) を継続するもので, 第7回にISSLEDに改名された国際シンポジウムである。このシンポジウムでは, GaN系窒化物半導体を中心にZnO等も含み, エピタキシャル成長からデバイスまで幅広く議論される。特に今回の会議における中心の話題は, 青色LEDと緑色LEDでの非極性面/半極性面結晶の高品質化とデバイス特性, 光取り出し構造と, InGaN系を中心に太陽電池応用を目指した結晶成長とデバイス構造であった。また, 深紫外LEDについては日本からの発表を中心に結晶性の向上に伴う高出力化が報告された。ZnOやナノ結晶, スピントロニクス等の発表も, 数件ではあるが報告された。

今回の参加者は開催国の中国を中心に186名(主催者の発表)で第7回の約140名よりも多い。論文件数は基調講演2件, 招待講演18件を含めた口頭発表が59件, ポスター発表が69件で, 合計128件(講演キャンセルが数件あったがそれを含む)であった。口頭発表は全てシングルセッションで行われ, 招待講演を中心に充実した内容であった。

2. 口頭講演における主な内容

2.1 Plenary 講演

名古屋大学の天野教授は, 窒化物半導体の今後10年を展望した研究開発について講演を行った。まず, 光デバイスについて, 緑色レーザーの開発動向から Head Mount 型, 携帯電話搭載型レーザーディスプレイなどの応用展開が紹介された。LED では, 植物工業や一般照明への展開が実現しつつある印象を受けた。また, LED をバックライトに用いた液晶, 3次元TVなども紹介された。続いて, 窒化物半導体の太陽電池応用の有用性が述べられた。世界的な規模でのエネルギー消費と太陽電池生産の動向について延べ, 窒化物半

導体 InGaN を用いることで、InGaP/GaAs/Ge のタンデムで到達されている 40%を超える変換効率が期待できること、昼間には太陽電池として用いて、夜は照明として用いる話題もあった。深紫外 LED では、最近の成果について発表がなされ、UV-A 領域の 345nm で変換効率 6.7%、ホール濃度が低いことが課題である UV-C 領域でも数%の効率が達成され、255nm でも 1%を超える EQE (External Quantum Efficiency : 外部量子効率) が報告された。

Plenary講演の2人目は、University of California, Santa Barbara(UCSB)のSpeck教授で、GaN系窒化物半導体の非極性面/半極性面結晶の材料特性とデバイス応用について、UCSBの2000年以降の研究開発が紹介された。2006年までは、基板にr面サファイアやm面、a面SiC、(0001)LiAlO₂を用いたヘテロエピタキシャル成長を行った研究であり、非極性面GaN成長で生じる積層欠陥のため、発光デバイスの効率は、物性値から期待されるより遙かに低い状況であったことが述べられた。2006年以降については、三菱化学のHVPE法 (Hydride Vapor Phase Epitaxy : ハイドライド気相成長法) により作製されたGaN自立基板を用いたことで、例えばLEDの変換効率(EQE)は飛躍的に向上し、45%を達成している。現在では、413nmでは(10-1-1)面を用いて20.6mW, EQE33.9%, 444nm青色では(10-1-1)面を用いて24.3mW, EQE43.5%, 519nm緑色では(11-22)面を用いて9mW, EQE18.9%, 562nmオレンジ色では(11-22)面を用いて5.9mW, EQE13.4%が達成されている。m面を用いたUCSBのLDの他、Kaai, Inc. (米カリフォルニア州) は、InGaNベースで、GaN基板の(20-21)半極性面を利用し、波長523nm緑色のレーザー光を連続的に出す半導体素子を開発、UCSBの研究を基に開発されていることが紹介された。

2. 2 招待講演を含む口頭講演

招待講演を中心に印象に残った話題を紹介する。全体を通して 80%以上は窒化物半導体に関する報告であり、15%ぐらいが ZnO のナノ構造で、今回取り上げられたスピントロニクスやその他の半導体は 5%程度に感じられた。

1) LED 関連

まず、University of Strathclyde (UK)のMarin Dawsonは招待講演で、AlInGaN系マイクロピクセルLEDについて発表した。64x64のマイクロdiskをarrayとしたデバイスでは20μm直径の構造となる。またCMOSをドライバーとして、200μm直径で8x8の高速arrayを示した。続く招待講演のR.Zhang (南京大学) はMOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition : 有機金属気相成長法) を用いたAlGaIn混晶の成長について、混晶組成やRaman分光などの基礎的な報告を行った。L.W.Tu (台湾) はPAMBE (Plasma Assisted Molecular Beam Epitaxy : プラズマ支援型分子線エピタキシー法) によるm面GaN成長に関する報告で、基板はLiAlO₂である。Raman分光による基礎的な特性を報告していた。

2) InGaN系を中心とする Droop や物性関連

招待講演として、京都大学の川上教授は、LEDのDroop (電流を大きくすると発光効率が低下する現象) についてSNOM法 (Scanning Near-field Optical Microscope : 走査型近接場光学顕微鏡) を用いたナノ領域での光物性評価の報告を行った。青色LEDと緑色LEDでは非発光センター付近でのローカルなバンド構造が異なり、再結合機構がそれにより異なることが示された。また、緑色InGaN系におけるInクラスターの影響により、非発光センターへのキャリアの拡散長が青色LEDの数nmよりも増大して、緑色LEDでは

数 100nm になることが報告された。その他、高 In 組成 InGaN の p 型や黄色 LED の発光・非発光センターにおけるキャリアの再結合、光化学エッチングを用いた LED の光取り出し構造の作製の報告があった。ドイツ AITRON 社の 6 インチ×6 枚の InGaN 系 MOCVD では、波長 450nmLED での均一な作製が PR された。6 インチウエハ内での波長差 2.4nm、総膜厚 5.3 μ m における偏差 1.9%である。

3) 非極性材料, LED 関連

C.C.Yang(National Taiwan Univ.)は招待講演で、表面プラズモン・カップリング LED の報告を行った。8-12nm の Ag ナノ粒子を p-GaN 表面の電極間に作製することで、表面プラズモン・カップリングによって光取り出しの向上が期待できる示唆的な報告であった。なお、8-12nm の Ag ナノ粒子は Ag 薄膜を 200°C で 40 分間窒素雰囲気中で熱処理することで得ていた。

J.Christen(Otto-von-Guerike-Univ. Magdeburg)は、MOCVD で作製された Si 上の m 面 GaN について、高分解能 CL (Cathodoluminescence) を用いて発光特性を詳細に報告した。基底面積層欠陥(BSF)による発光が最も支配的であることを示した。F.Hao (北京大学) は r 面サファイア上の非極性 a 面 GaN について、SiNx ナノマスクを MOCVD 成長中に作製した LED について報告を行った。TEM (Transmission Electron Microscope : 透過電子顕微鏡), CL, XRD (X-ray Diffraction : X線回折) などを用いた基礎的な特性評価の他、488nm の LED 作製も行っていた。

4) UV 光デバイスと高 Al 組成 AlGaN

Y.Liao (Boston 大学, D.Moustakas のグループ)は招待講演であったが欠席のため、講演の Power Point が示された。プラズマ MBE (Molecular Beam Epitaxy : 分子線エピタキシー) を用いた 270-300nm の LED に関する報告であり、300nm では 200mA 駆動で光出力 1.3mW、効率 0.16%であり、277nmLED では 500mA 駆動で 1.2mW の光出力を示した。三宅 (三重大学) は招待講演として、AlN モル比 0.6 の AlGaN を用いた電子線励起の 247nm 深紫外光源を発表した。このデバイスでは p-AlGaN を必要としないため高い信頼性を有し、出力 2.3mW で寿命 2000 時間を既に実現していることが報告された。平山氏 (理研) は多重量子障壁層を p-AlGaN 層に用いた 247-262nmLED を報告した。250nmAlGaN の LED では、この構造を取り入れることで、2.2mW から 15mW に出力は増大し、この構造の有用性を実証した。C.F.Chu (SemiLED, Taiwan) は、波長は 365-410nm であるが、Cu 合金に張り付ける構造の LED を報告し、2W 以上の大出力で 1000 時間以上の寿命が得られていることを発表し、その実用性を印象づけた。

AlGaN の成長では、T.Wang (Univ.Sheffield) が招待講演で Sheffield 大学での研究成果を発表した。D.Li は AlGaN の下地結晶として用いる AlN 層の成長に関して、核形成層の重要性を発表した。三重大学では Si ドープ AlGaN、理研の報告では多重量子障壁層 AlGaN の結晶成長が報告された。

5) 太陽電池

招待講演のW.Walukiweicz (Lawrence Berkley National Laboratory) はIn-rich InGaN及びInNとSiとのタンデム構造の太陽電池の有用性を報告した。バンド構造など、これまでの総合報告的な内容の印象を受けた。吉川教授 (千葉大学) は非対称構造を有するGaN/1分子層InN/InGaN/GaN量子構造を用いた太陽電

池応用について報告し、理論的には、AM¹ (Air Mass : 大気通過量) 1.5 で 56%の高い変換効率が 6 タンデム構造で得られること、250 倍の集光系では 65%が期待できることを報告した。このセッションでは、太陽電池としての可能性を示す報告が多く期待は大きいものの、既存のInGaAsP系などとの比較は無かった。

6) ZnO 系 LED などの光デバイス

J.Liu (UCLA) が招待講演として、ZnO 系 LED の進展について総合的に報告した。Mg を添加した MgZnO/ZnO/MgZnO のダブルヘテロ接合により LED は実現でき、課題である p 型は Sb ドープ p-ZnO を用いている。その他では、ZnO の nanorod (ロッド状 (棒状) ナノ微粒子) に関する報告が結晶工学としては非常に興味ある内容であった。

7) Si 基板上の InGaN 系 LED

澤木教授 (愛知工業大学) の招待講演では、加工 Si 基板の結晶方位を利用して、非極性の(1-101)GaN 成長を実現し、LED 構造を作製して Starks シフトが少ない特性を示した。

3. Poster 発表

ポスター発表は中国からの発表が殆どであり、MOVPE (Metal Organic Vapor Phase Epitaxy : 有機金属気相成長法) を用いた選択成長などの結晶成長に関する報告が多く感じた。また、LED の光取り出しも関係して、加工サファイア上の成長に関するものが多かった。発表された結晶の X線半値幅などからは比較的良質の結晶成長が行われていることが推察できるが、引用文献としてオリジナルな研究ではなく、著者のグループのものが選ばれている点は、非常に適切でないと感じられた。

4. おわりに

経済成長が著しい中国・北京で開催された今回の ISSLED では、学術分野でも中国の進展 (伸び率の大きさ) を強く感じた。口頭発表を行った多くの中国研究者は、米国や日本などでの留学経験を有し、窒化物 LED 分野を強く牽引している印象である。発表の内容では、際立ったトピックスは無かったものの、太陽電池をセッション名に上げている点や LED の光取り出し構造に関する報告が多かったように感じられる。

最後に、第 9 回 ISSLED は 2012 年 6 月 22-27 日ドイツのベルリンで D.Hommel(U.Bremen), A.Hoffmann(Tech.Univ. Berlin), J.Christen(Otto-von-Guerike-Univ. Magdeburg)により開催されることが発表された。

¹ 太陽電池の仕様・性能の測定環境のひとつで、太陽光の入射角度で決まる大気の通過量を表す。AM1 は真上 (90 度) からの照射で、AM1.5 は、大気通過量がその 1.5 倍となる 斜め (41.8 度) からの照射。