

放射光を利用した高効率 LED の評価

榊 篤史

日亜化学工業株式会社 基礎技術センター 研究開発部

はじめに： III-V 族窒化物の中で InGaN を中心とする材料は、LED や LD、太陽電池などのオプティカルデバイスのキーマテリアルである[1]。特に LED 光源については、今や照明や液晶バックライトを始めとし、環境に優しいグリーンデバイスとして世の中に充分浸透している。また青色 LED の発明が、産業界に貢献した成果として 2014 年ノーベル物理学賞を受賞した事は記憶に新しく、これまでの発光効率の向上には目を見張るものがある。LED は、発光層に注入された電子と正孔が結合する事で発光するが、過去、青色 LED の実現が困難であった背景には、発光層である InGaN 層の作製自体が困難であった事が要因の 1 つとして挙げられる[2]。青色 LED の商用化から 20 年以上が経た現在も尚、温度特性（ジャンクション温度が上昇した際の効率低下）や、ドループ現象（高電流注入時の効率低下）などの課題が残されており、それらを解決した LED を実現する為には、InGaN 層の成長状態を詳細に把握する事が重要である。我々は放射光の特徴を活かした XAFS や回折、HAXPES などにより高効率 LED の評価を継続的に行っており、本日は放射光マイクロビーム X 線による In の蛍光マッピング測定にて、InGaN 発光層の状態を視覚的に評価した結果を報告する。

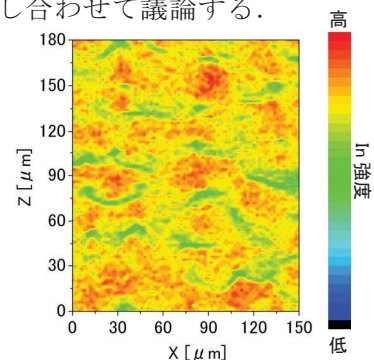
実験： 測定には SPring-8 の BL16XU に設置されたマイクロビーム形成装置を用いた。試料はサファイヤ基板上に n-GaN 層、発光層の基本構造となる InGaN/GaN 多重量子井戸を 9 ペア、p-GaN 層と成長させた物である。X 線の入射エネルギーは 9keV、KB ミラーにて、たて $\approx 0.6 \mu\text{m}$ / よこ $\approx 0.8 \mu\text{m}$ 程度に集光した X 線を試料に直入射させ、試料から放出される In L 蛍光 X 線を、大口径 SDD 検出器（面積 80mm^2 ）にて収集した。この時、大気中のアルゴンによる影響を排除するためチャンバを自作し、試料と検出器先端を He 雰囲気満たす等の工夫を行った[3]。試料を二次元走査させ、各位置での蛍光 X 線を収集する事でマッピング測定を実施した。

結果： 図にマイクロビーム X 線による InGaN 層からの In L 線蛍光マップを示す。蛍光 X 線の強度分布は、面内で均一ではなく特異的な模様を有し、 $20\sim 30 \mu\text{m}$ サイズの In 元素凝集を持つ事が直感的に確認される。講演では、放射光マイクロビーム X 線による蛍光マッピング結果を、PL (photoluminescence) による発光波長分布結果と照らし合わせて議論する。

[1] S. Nakamura, S. Pearton, and G. Fasol, *Blue Laser Diode* (Springer, Heidelberg, 2000) 2nd ed.

[2] S. Nakamura, T. Mukai, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 31 (1992) pp. L1457-L1459

[3] 榊ほか, サンビーム年報・成果集 Vol. 2 (2012) pp. 56-59



2016年8月3日 SAGA-LS 第10回研究成果報告会 サンメッセ鳥栖 1/19

放射光を利用した高効率LEDの評価

NICHIAは、世界に負ける企業であり続けたいと願っています
Ever Researching For A Brighter World



日亜化学工業株式会社 楠 篤史

NICHIA Ever Researching for a Brighter World

～照明用電力の削減～ 2/19

◆世界総電力消費 21兆kWh × 照明比率 0.16
= 3.36兆kWh/年 消費

◆CO2換算 3.36兆 × 排出係数 0.39
= 13億 ton/年 排出

◆電球のLED化で40%削減

Earth at Night

NICHIA Ever Researching for a Brighter World

～光源（あかり）の変遷～ 3/19

- 第一世代のあかり：炎の光
- 第二世代のあかり：電気の光（電球）
- 第三世代のあかり：発光の光（放電灯）
- 第四世代のあかり：量子の光（白色LED）

第一世代



石油ランプ
松明
ろう燭
ガス灯

第二世代



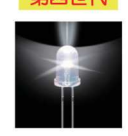
電球
ハロゲン電球

第三世代

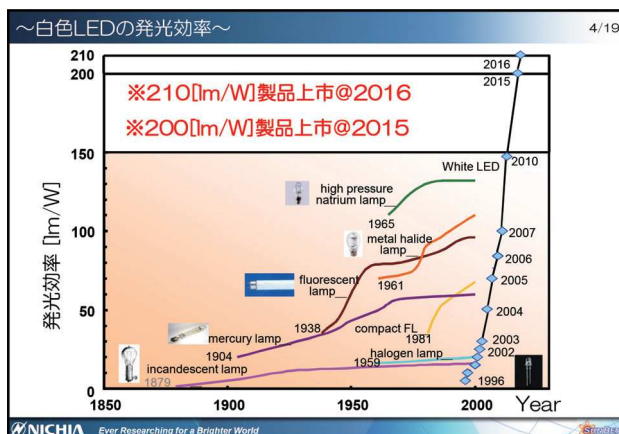


蛍光灯
高圧ナトリウムランプ
水銀灯
メタルハライド

第四世代

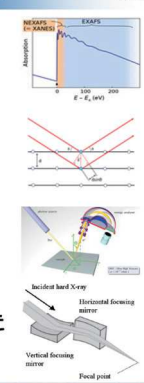


NICHIA Ever Researching for a Brighter World

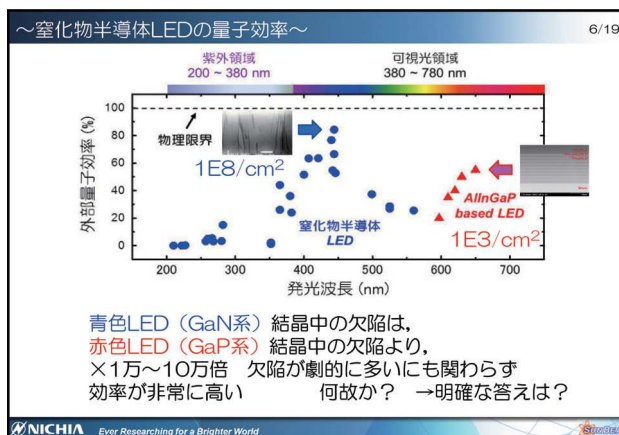


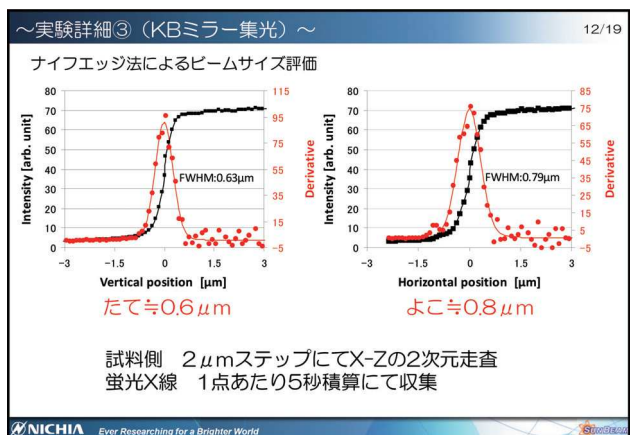
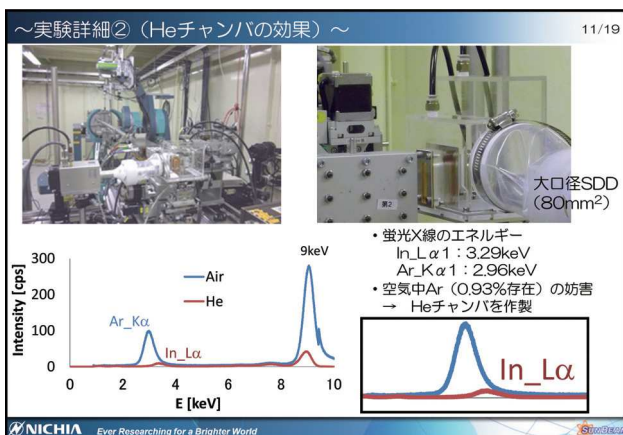
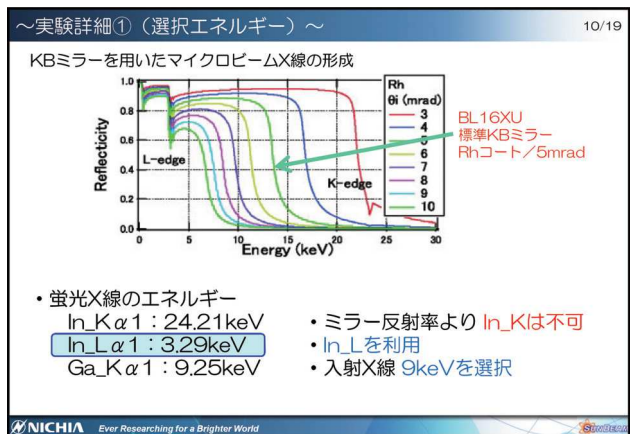
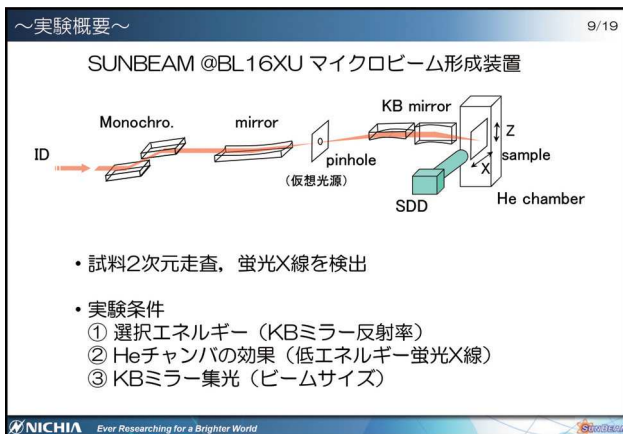
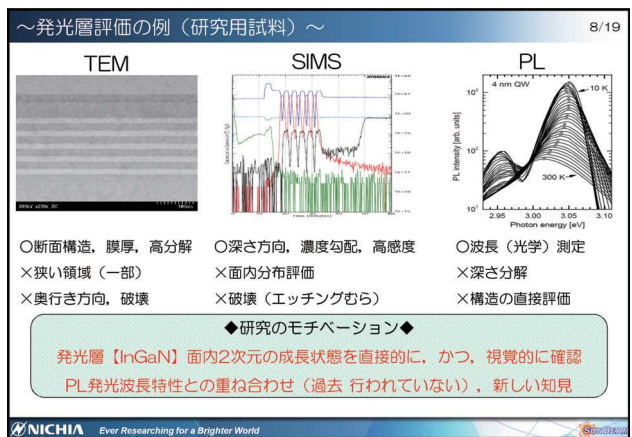
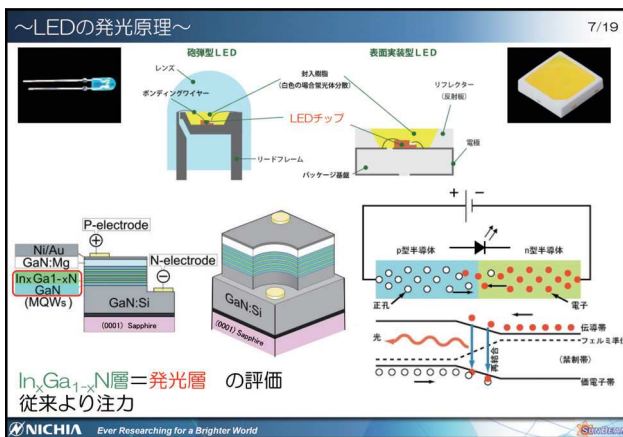
～放射光を用いた窒化物半導体（キー材料）の評価～ 5/19

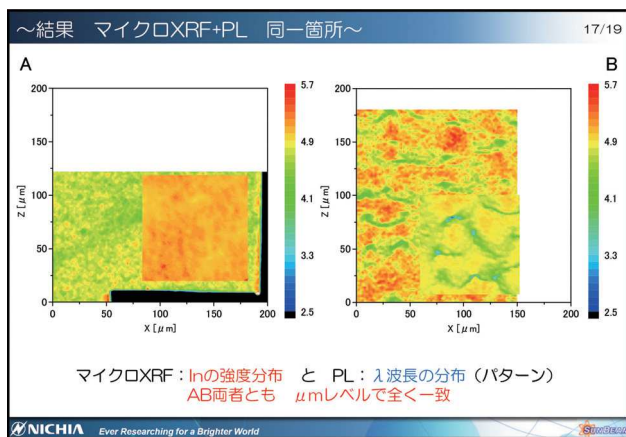
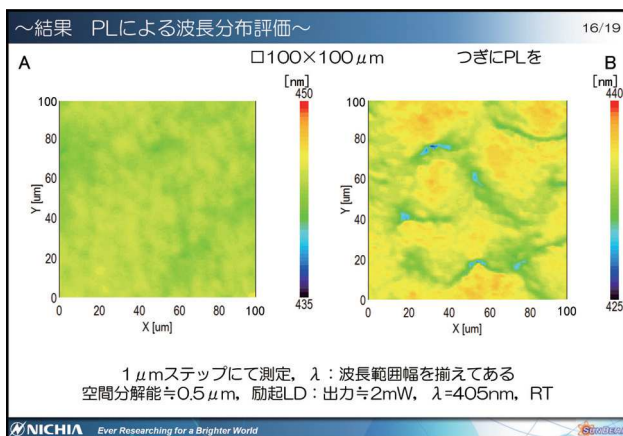
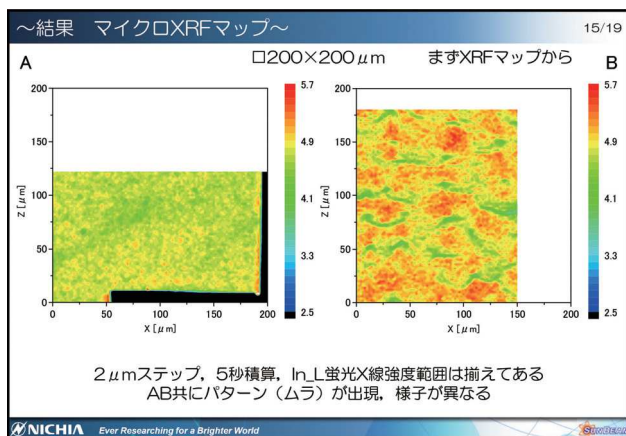
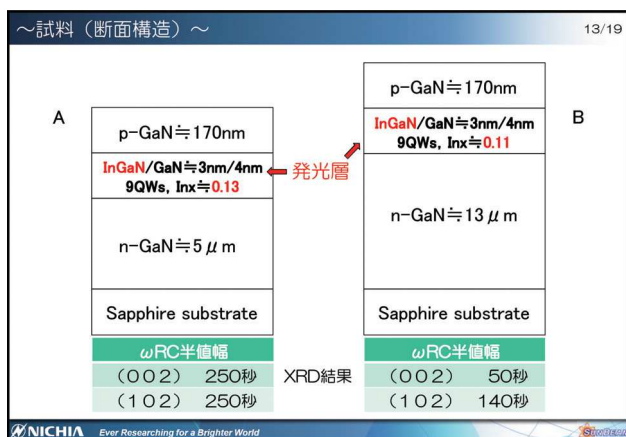
- XAFS ... 原子間距離、配位数などの局所構造評価
- SR-XRD ... 高角度分解能を活かした高品質結晶の評価
- HAXPES ... 高エネルギーを活かした深い位置での化学状態評価
- **μビーム** ... 集光した高密度X線を利用した高感度蛍光X線分析



NICHIA Ever Researching for a Brighter World







- 放射光マイクロビームX線を用いた蛍光マップ測定を実施
高効率LEDの要である、InGa_N発光層の評価
In_K線は不可、In_L線の蛍光を利用（低エネルギー）
HeチャンバによりArの影響を抑えた
結果、InGa_N発光層の状態を直接的に視覚的評価が可能に
（μmレベル、非破壊）
- In蛍光マップと波長マップの同一箇所を評価（FIBマーキング）
微小領域で、構造と波長の重ね合わせが可能に
下地の結晶性による、InGa_N成長メカニズムの推察
In強度と波長の関係から、発光機構を明確にできる
- LED諸特性との相関、より小さいエリア（nmレベル）での調査