

放射光マイクロビーム X 線を用いた
マイクロファセット上 InGaN/GaN 量子井戸構造の評価 (3)
Structural Analysis of InGaN/GaN QWs Fabricated on Micro Facets
Using X-ray Microbeam with Synchrotron Radiation (3)

榎篤史^a, 川村朋晃^a, 大野裕孝^a, 川上養一^b, 船戸充^b, 上田雅也^b, 木村滋^c, 今井康彦^c, 坂田修身^c
Atsushi Sakaki^a, Tomoaki Kawamura^a, Hirotaka Ohno^a, Yoichi Kawakami^b, Mitsuru Funato^b,
Masaya Ueda^b, Shigeru Kimura^c, Yasuhiko Imai and Osami Sakata^c

^a日亜化学工業株式会社, ^b京都大学, ^c高輝度光科学研究センター
^aNICHIA Corporation, ^bKyoto University, ^cJASRI

サブミクロンサイズに集光した X 線ビームを用いて、マイクロファセット上に形成した InGaN/GaN 量子井戸 (MQW InGaN/GaN) の構造評価を行った。X 線の試料上照射位置を 1 μ m ステップで変化させながら、InGaN/GaN 超格子 ω -2 θ プロファイルの位置依存性を測定したところ、(0001)面の両側面に (11-22)ファセット構造が存在する MQW InGaN/GaN では、InGaN/GaN 超格子の 0 次およびサテライトピーク位置が側面からの距離により異なることが明らかになった。このことはマイクロファセット上の MQW InGaN/GaN からの発光特性制御には、ファセット構造の設計が重要である事を示唆している。

InGaN/GaN multi quantum wells (MQWs) fabricated on micro-facet structure of GaN (0001) substrate was investigated with using sub-micron x-ray beam. The two-dimensional maps of position dependent x-ray diffraction intensities revealed that the MQW InGaN sample fabricated on the substrate which has the (11-22) micro-facet structure shows the position-dependent change of satellite-peak angles in (0001) facet region. These results suggest that the structure of micro-facets play an important role to control the MQW InGaN/GaN structure which changes emission colors of the optical nitride devices.

キーワード：窒化物半導体, InGaN, 白色 LED, マイクロビーム X 線

背景と研究目的： 窒化物半導体を用いた発光デバイスは、近年発光効率の飛躍的な向上を遂げ、現在では照明市場向け白色 LED の研究が精力的に進められている。製品化されている白色 LED は、青色 LED と黄色蛍光体の混色により白色を得ているものが主流であるが、青色光で蛍光体を光らせる際のエネルギー損失や発光色の調整が難しいなどの問題があった。

近年、京都大学・川上研究室より蛍光体を用いない波長可変 InGaN/GaN ナノ構造が提案された。本ナノ構造の特徴は、成長時にマスクを用いる事でバンドギャップが異なる InGaN/GaN 量子井戸構造を自己形成させ、単一のナノ構造ながら青色から赤色までの多色発光を可能とした事にある。これは多波長発光素子および蛍光体フリー白色 LED の実現の可能性を示している[1],[2]。

前回までの実験（課題番号 2007B1738, 2008A1679）において、高分解能サブミクロン X 線ビームを用いて、マイクロファセット上に形成された InGaN/GaN 量子井戸構造試料の精密評価を行い、(11-22)ファセット構造

が存在する場合には、(0001)面内においても測定位置によって InGaN/GaN 超格子の 0 次およびサテライトピーク角度が変化することを明らかにした。今回は、測定条件の最適化により測定データの質向上を図り、MQW InGaN/GaN 薄膜の ω -2 θ プロファイルを測定すると共に InGaN/GaN 超格子構造の膜厚および In 組成決定の検討を行った。

実験： 測定試料の概略図を Fig. 1 (a)に示す。測定試料は、サファイア上に作製した 1 周期 20 μ m の GaN 凹凸構造上に (3nm InGaN/10nm GaN) 5 周期の量子井戸構造 (点線部) を形成したものである。またマイクロビーム X 線回折の測定は BL13XU に設置されている垂直回転軸型 FZP マイクロビーム回折計を用いて行った。Fig. 1 (b)にエネルギー 8keV, ビームサイズが垂直方向約 0.79 μ m, 水平方向約 1.19 μ m, 検出器スリット 500 μ m の条件で前回測定した ω -2 θ /Z 強度マップを示す。ここで縦軸は試料構造の [11-20] 方向における測定位置を示し、横軸は回折角 ω を示している。な

お本測定では高い信号強度を得ることを優先して測定を行ったため、(0001)面ファセット上の膜厚変化 ($Z=5\mu\text{m}\sim 25\mu\text{m}$) の存在の確認は可能であったが、MQW InGaN/GaN 構造の詳細な解析には十分とはいえなかった。

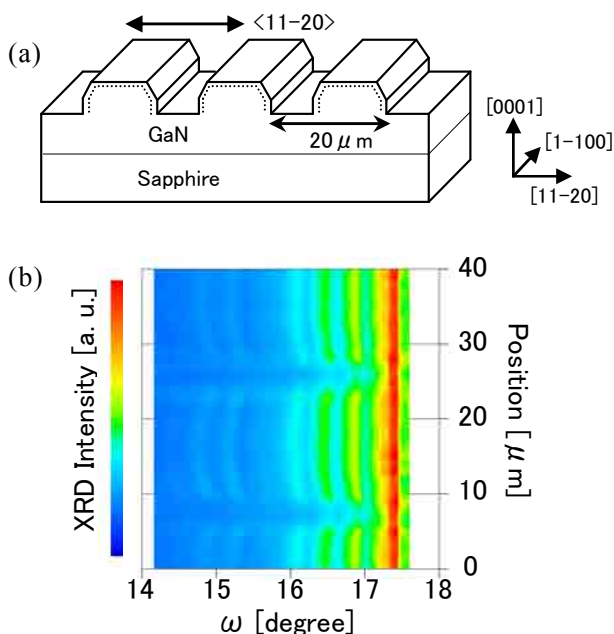


Fig. 1. (a) Schematic diagram of a measured sample. (b) Two-dimensional intensity maps of (0002) diffraction along [11-22] direction (from 2007B1738).

そこで今回、入射エネルギーを比較的 FZP の回折効率が良く Ga の吸収端 (10.368keV) を励起しない 10keV に設定して測定を行った。本測定ではビームサイズは垂直方向で約 $0.61\mu\text{m}$ 、水平方向では約 $1.89\mu\text{m}$ であった。また検出器として YAP を用いるとともに検出器前スリットを $50\mu\text{m}$ まで絞ることにより分解能の向上を図った。測定方法は前回までと同様に GaN(0002)Bragg 反射を基準として [11-20] 方向に試料をスキャンしながら ω - 2θ 強度の位置依存性を調べた。

結果および考察： Fig. 2 (a)に今回の実験結果を示す。検出器前スリットを前回の $1/10$ にすることにより角度分解能が向上し、超格子ピークおよび MQW の膜厚に起因するフリッジが明瞭に観察されていることが判る。また同様の配置において、GaN(0004)近傍で測定した ω - $2\theta/Z$ プロファイルの結果を Fig. 2 (b) に示す。いずれもファセット構造に対応した、超格子の 0 次、サテライトピーク角度およびフリッジの Z 依存性が明瞭に観測されている。

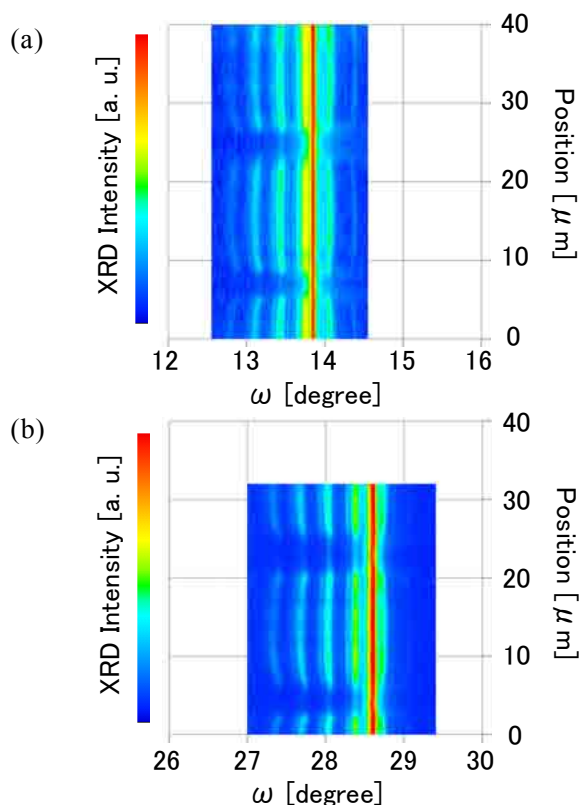


Fig. 2. Two-dimensional intensity maps of (0002) diffraction along [11-22] direction : (a) and (0004) diffraction : (b).

まとめ： 今回までの実験によりマイクロファセット上に形成した多色発光 MQW InGaN/GaN 構造の測定条件の最適化および (0001)面上の膜厚変動を明瞭に測定することに成功した。今後は今回測定したデータの精密解析を行うことにより、InGaN/GaN 超格子の InGaN 層単独膜厚と In 組成の高精度決定を行う予定である。また今回の結果から、マイクロファセット MQW InGaN/GaN の発光特性制御には成長条件のみならずファセット構造の最適設計が重要である事が示された。

参考文献

- [1] M. Funato, T. Kotani, T. Kondou, Y. Kawakami, Y. Narukawa, and T. Mukai, Appl. Phys. Lett., **86**, 261920 (2006).
- [2] M. Funato, T. Kondou, K. Hayashi, S. Nishiura, M. Ueda, Y. Kawakami, Y. Narukawa, and T. Mukai, Appl. Phys. Express, **1**, 011106 (2008).