

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 (2)
**Structural Analysis of InGaN/GaN QWs Fabricated on Micro Facets
Using X-ray Microbeam with Synchrotron Radiation (2)**

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, Hiroataka 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、微小領域における InGaN/GaN 量子井戸の構造評価を行った。X 線の試料上照射位置を 1 ミクロンステップで変化させながら、InGaN/GaN(0002)反射 ω - 2θ プロファイルの位置依存性を測定したところ、(11-22)ファセット構造が存在する場合には、(0001)面においても 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が明らかになった。これは、(11-22)ファセット構造を持つ InGaN/GaN ナノ構造量子井戸の多色性の要因として、(11-22)ファセット面の存在により(0001)面上の超格子構造が変化している事を示唆している。

InGaN/GaN multi quantum wells (MQWs) fabricated on both micro-facet structure and flat surface of GaN (0001) substrate were investigated with using sub-micron x-ray beam. The two-dimensional maps of position dependent x-ray diffraction intensities of each sample were clearly different. 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 but that grown on a flat substrate shows no difference at any position of the substrate. 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(課題番号 2007B1738)の実験では、BL13XU の高分解能サブミクロン X 線ビームを用い、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、PL (Photo Luminescence) 測定による光学特性の結果と量子井戸構造の関係をマイクロ領域で明確にできる可能性を示した。今回は、マイクロファセット構造を持たない試料について同様の測定を行い、InGaN/GaN 量子井戸構造自体に存在する超格子構造周期の位置変動を評価することにより、マイクロファセット構造の影響を明らかにした。

実験： 測定試料の概略図を Fig. 1 (a), (b) に示す。前回の測定試料は、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。それに対し、今回は同一成長条件でファセット構造が存在しない領域に作製した InGaN/GaN 量子井戸構造を試料に用いた。

実験は、BL13XU 実験ハッチ 3 に設置された FZP (Fresnel Zone Plate) マイクロ X 線回折装置を用いて行った。ゾーンプレートとピ

ンホールを用い，入射エネルギー10keV ($\lambda=1.24\text{\AA}$)のX線ビームを試料位置で垂直方向に約0.84 μm ，水平方向に約1.81 μm に集光するとともに，垂直回転軸回折計を用いてBragg反射測定を行った．測定における位置および角度分解能を向上させる為，試料を垂直方向に設置し，YAP検出器の前に50 μm のスリットを挿入した．最初に基板ピークであるGaN(0002)Bragg反射を測定し，次に試料表面である(0001)ファセット面上にマイクロビームX線を照射しながら，GaN基板のBragg反射およびInGaN/GaN量子井戸構造による超格子 $\omega-2\theta$ プロファイルの位置依存性を調べた．測定はFig. 1(a), (b)に示すように，[11-20]方向にステップ幅1マイクロンでX線ビームをスキャンしながら(0002)近傍での $\omega-2\theta$ プロファイルを測定した．

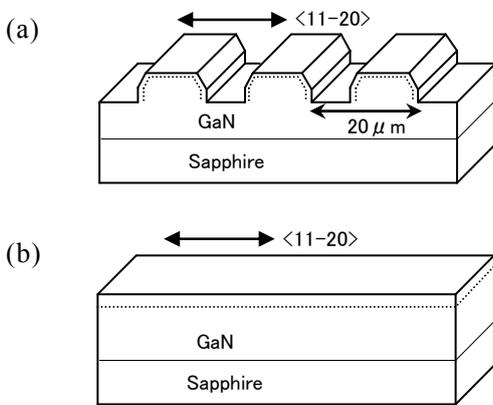


Fig. 1. Schematic diagram of measured samples. (a) a MQW InGaN/GaN sample grown on micro-facets and (b) that grown on the flat substrate.

結果および考察： $\omega-2\theta$ 測定による強度プロファイルおよび試料位置の関係を2次元表示したものをFig. 2(a), (b)に示す．縦軸は試料構造の[11-20]方向の測定位置を示し，横軸は回折角 ω を示している．尚，入射X線のエネルギーおよび検出器前スリット幅が前回と今回の測定では異なっている為，Bragg角の位置やピーク幅が異なって見えるが，実際には同等の超格子構造プロファイルが得られている．

前回の結果(Fig. 2(a))では，試料上の測定位置により，InGaN/GaN超格子の0次およびサテライトピーク角度が変化している事から，(0001)面上においてファセット形状に起因したInGaN/GaN量子井戸構造の変化が存在することが明らかになった．それに対し，今回の結果(Fig. 2(b))ではピーク位置の湾曲が確認されず，測定位置によるInGaN/GaN

超格子の0次ピークとGaN(0002)基板ピークとの角度差も存在しない事が確認された．この事から，InGaN/GaN量子井戸構造の周期変化は，ファセット構造に由来するものが主であると考えられる．

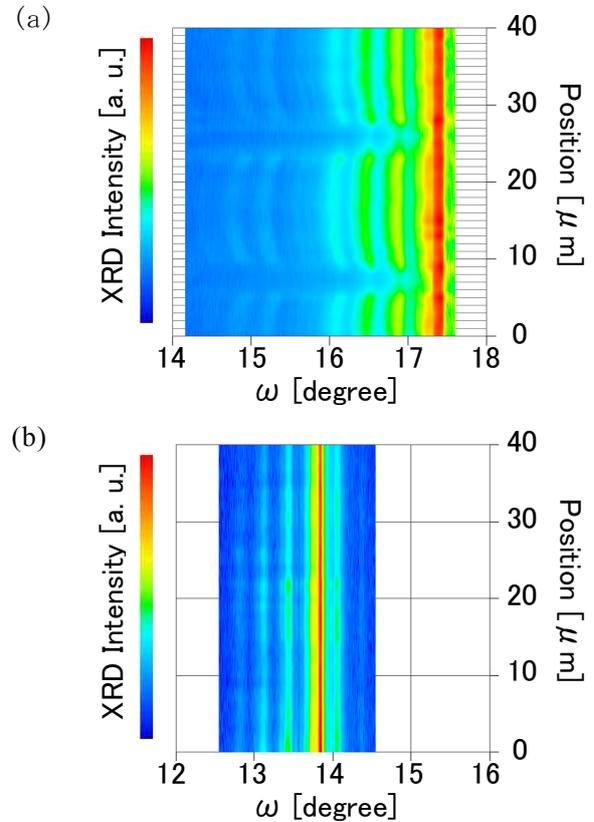


Fig. 2. Two-dimensional intensity maps of (0002) diffraction along [11-22] direction : (a) a MQW InGaN/GaN sample grown on micro-facets and (b) that grown on the flat substrate.

今後の課題： 前回と今回の結果により，マイクロファセット上のInGaN/GaN量子井戸デバイスにおける発光特性と量子井戸構造の定量的評価ができる可能性を示した．更に，InGaN/GaN量子井戸構造の発光波長制御には，ファセット構造の設計が重要である事を示唆する結果が得られた．今後は多色LEDデバイスにおける発光特性と量子井戸構造変化の定量的解析を進め，全固体白色LEDデバイスの実現を目指す．

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)