

サブミクロンビームを用いたマイクロファセット上 InGaN ナノ構造の評価 Structural analysis of InGaN-based nanostructures fabricated on micro facets using sub-micron beam

榑 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, 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 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、ファセット上に形成した多色発光 InGaN/GaN ナノ構造量子井戸の微小領域構造評価を行った。X 線の試料照射位置を 1 ミクロンステップで変化させながら InGaN/GaN(0002)反射の ω - 2θ 測定を行ったところ、試料の測定位置により InGaN/GaN 超格子の 0 次およびサテライトピークの角度位置が変化していることが判った。これはファセット上に形成した InGaN/GaN 量子井戸の In 組成および超格子周期がミクロンレベルで変化していることを示しており、SNOM 測定によるファセット上での発光波長変化が量子井戸構造の変化に起因していることを示唆している。

InGaN/GaN multi quantum wells fabricated on micro facets of GaN substrates were investigated with using sub-micron beam x-ray diffraction technique. The two-dimensional map of the sample position and $\omega/2\theta$ profiles reveals that the In fraction and the thickness of InGaN layers varies from the edges of the micro-facets to the center position, which is consistent with the variation of optical properties on the micro-facets, evaluated using SNOM technique.

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： 1993 年に窒化物半導体による青色 LED が開発されて以来、多くの研究機関による GaN 系材料を用いた LED/LD の研究が精力的に進められている。現在製品化されている白色 LED は、青色 LED の上に黄色蛍光体をかぶせ、青色と黄色を混ぜることで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、(0001) GaN 上の [1-100] 方向に延伸した矩形マスク上に InGaN/GaN を横方向成長させることにより、バンドギャップが異なる InGaN/GaN 量子井戸構造を、同一マイクロファセット面上に自己形成させ、単一のナノ構造であり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。これは単一 InGaN/GaN ナノ構造を制御することによる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].

本ナノ構造の光学特性は SNOM-PL 測定により行われ、同一ファセット面内において異なる発光特性が得られる事が判明している [3]が、測定領域が微小であるため発光特性と量子井戸構造の関係は明確ではなかった。そこで本課題では、SPring-8 の高分解能サブミクロン X 線ビームを用い、ファセット面内の Bragg 反射および量子井戸構造によるサテライトピークの位置依存性を測定し、マイクロファセット上に形成されたナノ構造精密評価を試みた。

実験： 測定試料と測定配置の概略図を Fig. 1 (a), (b)に示す。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 8keV ($\lambda=1.55 \text{ \AA}$) の X 線ビームを試料位置で $V=0.79\mu\text{m}$, $H=1.19\mu\text{m}$ 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。試料は 1 周期 $20\mu\text{m}$ の凹凸構造が規則的に並んだ状態にあり、超格子構造は InGaN/GaN=3nm/10nm の 5 周期構造の設計で

ある。

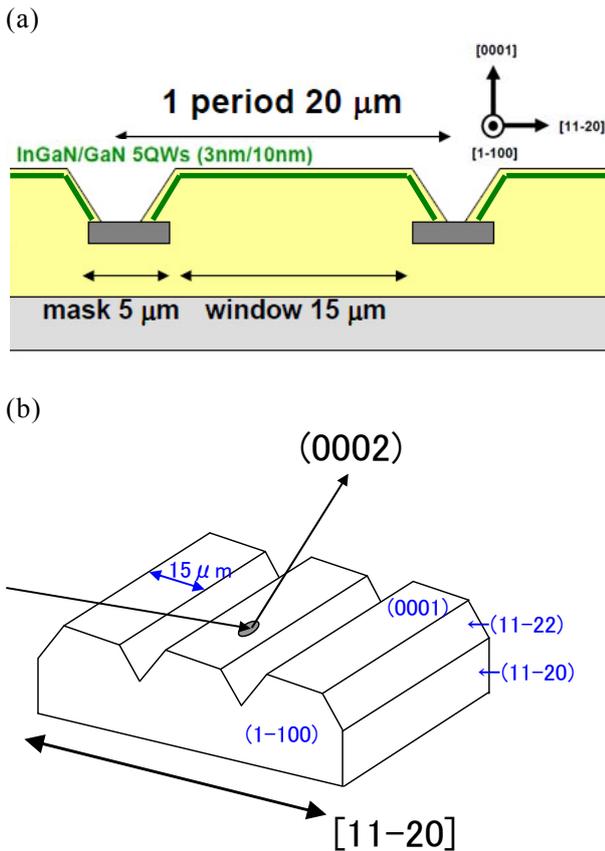


Fig. 1. (a) Schematic diagram of the measured sample. (b) Experiment layout of micro x-ray diffraction. The sample was moved along the [11-20] direction during the measurements.

最初に基板ピークである GaN (0002) Bragg 反射を測定したところ, [11-20] 方向に試料形状に起因すると思われる周期 20 ミクロンの X 線回折強度変化が観測されたため, これを基準として X 線の照射位置の原点を決定した。

次に試料表面である [0001] ファセット面上に X 線ビームを照射しながら, GaN 基板の Bragg 反射および InGaN/GaN 量子井戸構造による超格子 ω - 2θ プロファイルの測定を行った。このときの X 線ビームのスキャン方向は [11-20], ステップ幅は 1 ミクロンである。

結果および考察: ω - 2θ 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 に示す。縦軸はナノ構造の [11-20] 方向の相対位置を示し, 横軸は回折角 ω を示している。明らかに試料の測定位置により, InGaN/GaN 超格子の 0 次およびサテライトピークの角度が変化しており, ミクロンレベルで In 組成および超格子周期が変

化していることを示している。

この結果は, ファセット内或いはファセット間での発光波長分布が存在するという光学測定の結果と一致しており, 同一ファセット面内においても InGaN/GaN 量子井戸構造が異なっていることを示唆している。

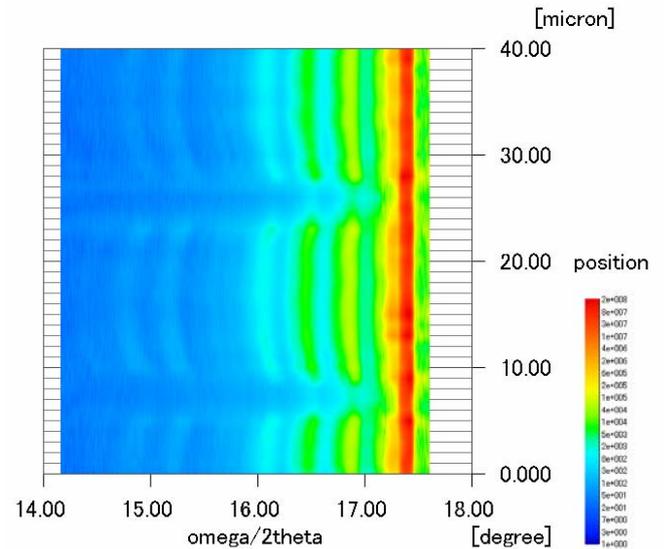


Fig. 2. Intensity map of omega angles and sample positions. Changes of intensity, which correspond to the nano-structure, were clearly observed, suggesting that In fractions and periods of superlattice varied with the position of nano-structure.

今後の課題: 本課題の結果, 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得た。今後は共同研究機関である川上研より提案されている可変ファセットを用いた多色 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).
- [3] Y. Kawakami, K. Nishizuka, D. Yamada, A. Kaneta, M. Funato, Y. Narukawa, and T. Mukai, Appl. Phys. Lett., **90**, 261912 (2007).