

In 蛍光 X 線を用いた GaInN 量子井戸の結晶評価 III

Characterization of GaInN multi-quantum wells using the fluorescent x-ray of indium III

宮嶋孝夫^a、工藤喜弘^a、上村重明^a、寺田靖子^b

Takao Miyajima^a, Yoshihiro Kudo^a, Shigeaki Uemura^a, and Yasuko Terada^b

^a ソニー（株）マテリアル研究所、^b 高輝度光科学研究センター

^aMaterial Laboratories, Sony Corporation, ^bJapan Synchrotron Research Institute

アニール処理をした GaInN 量子井戸に対し、X 線マイクロビームを照射することで得られる In 蛍光 X 線の 2 次元マッピングを行うことで、量子井戸平面内の In 組成分布を評価した。その結果、In 組成が 15% 程度異なっている島状領域が多数観察された。その大きさは直径 $20\mu\text{m}$ 程度であり、フォトルミネッセンス測定や蛍光顕微鏡観察で得られる発光強度分布に対応することが分かった。

The indium compositional distributions in $\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{N}/\text{GaN}$ quantum wells after thermal annealing were measured by mapping the indium fluorescent x-ray which was generated by an x-ray micro beam. The island regions with different indium-compositions were clearly observed. The typical size was approximately $20\mu\text{m}$. The indium compositional distributions correspond to the luminescence intensity distributions which were observed by photoluminescence or fluorescent microscopy.

背景と目的

近年、GaN 系半導体を用いることで、青色半導体レーザや青色及び緑色 LED が実用化され、高密度光記録や大画面表示素子のキーデバイスとして利用されている。これらの GaN 系光デバイスは、他の半導体光デバイスに比較すると、 $10^{10}\text{-}10^6\text{ cm}^{-2}$ の貫通転位が存在するにもかかわらず、高い量子効率が得られるという特徴を有している。この現象には、デバイス発光層に用いられている GaInN 量子井戸における空間的 In 組成揺らぎが強く関わっていると考えられ、従来の実験技術では、量子井戸における空間的な In 組成揺らぎ

を直接観測することは、極めて困難であった。そこで、大型放射光施設である SPring-8 の高輝度 X 線マイクロビームを用いて、マイクロメータ領域の In 原子からの蛍光 X 線を測定することで、GaInN 量子井戸面内における In 組成揺らぎを求める実験を試みている [1]。この実験には、In 原子の K 殻を励起できるような 27keV 以上の高エネルギーを有する高輝度の X 線源が必要であり、SPring-8 を用いて初めて行える実験である。

前回の実験 [2] では、試料のサファイア基板を薄膜化することで、ノイズ源となる非弾性散乱 X 線を抑制することに成功し、GaInN

量子井戸における In 組成が貫通転位密度に応じて変動する傾向を得ることができた。今回は、アニール処理により In 組成揺らぎを更に助長したと考えられる GaInN 量子井戸を用意し、前回と同様な測定手段を用いることで、量子井戸内部に発生する In 組成揺らぎ（分布）を評価した。

本研究の目的は、ナノメータ領域の空間的 In 組成揺らぎを詳しく解析し、貫通転位との関係を求めることで、GaN 系発光デバイスの更なる高効率化を促進しようというものである。GaN 系光デバイスは、可視域波長領域を広くカバーするとともに、白熱電球や蛍光灯を凌駕する有力な固体照明デバイスとして、その有用性が認められ、国際的な開発競争が進められており、ナノテクノロジー分野における研究として大変重要である。

実験方法

実験は、BL37XU の X 線マイクロビームを使った蛍光 X 線測定システムを用いて行った。測定試料は、有機金属気相成長（MOCVD）法で c 面サファイア基板上に成長した $\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{N}/\text{GaN}$ 量子井戸であった。井戸数は 4。結晶成長後、窒素雰囲気中で 1000°C のアニール処理を施した。さらに、測定の S/N の向上のため、試料のサファイア基板を $60\mu\text{m}$ 程度まで薄膜化した。このサファイア基板の薄膜化は、ノイズ源となる非弾性散乱 X 線を抑制することに効果的であることは、前回の実験で確認済みである [2]

Fig. 1 に実験のレイアウトを示した。SPring-8 の蓄積リングより得られた白色 X 線を、Si(111) 単結晶で $E=37\text{keV}$ のエネルギーに単色化し、Kirkpatrick-Baez 型ミラーにより、

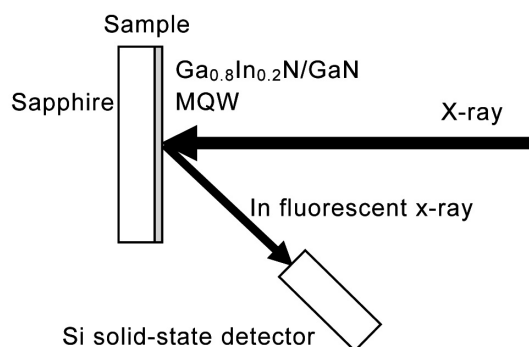


Fig. 1 Schematic diagram of sample assembly

$1.3\mu\text{m} \times 3.8\mu\text{m}$ (鉛直×水平) にマイクロビーム化した。この X 線マイクロビームを、試料に入射角 10° で照射し、In 原子の K 殻を励起して生成される蛍光 X 線を Si 半導体検出器で測定した。さらに、測定試料をステッピングモータにより動かすことにより、蛍光 X 線の 2 次元分布を測定した。この 2 次元分布を、 $\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{N}/\text{GaN}$ 量子井戸における In 組成ゆらぎに対応するものと考えた。なぜなら、得られる蛍光 X 線が含有される In 量に比例すると考えられるからである。測定は、すべて室温で行われた。

実験結果と考察

Fig. 2 に、 $50\mu\text{m} \times 60\mu\text{m}$ の領域を $5\mu\text{m}$ ステップで測定することによって得られた規格化された In 蛍光 X 線量の 2 次元分布を示した。ここで、規格化された In 蛍光 X 線量とは、Si 半導体検出器より測定された In の蛍光 X 線より、主に非弾性散乱 X 線により発生したバックグラウンド信号量を差し引き、入射 X 線量により規格化したものである。

Fig. 2 は、アニール処理をすることにより、 $\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{N}/\text{GaN}$ 量子井戸中に、In 組成が大きく変動した島状領域が現れることを明瞭に示している。典型的な島状領域の大きさは、直径

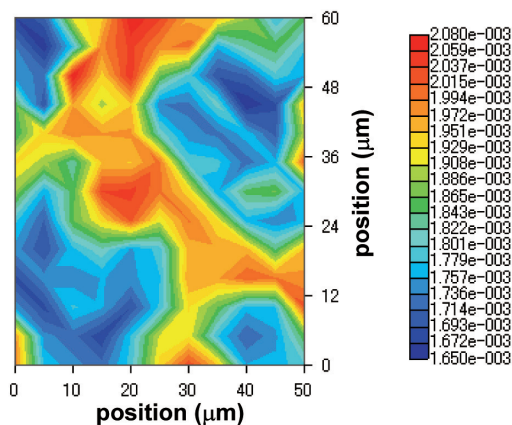


Fig. 2 The normalized intensity distribution of the indium fluorescent x-ray in a $50\mu\text{m} \times 60\mu\text{m}$ area

$20\mu\text{m}$ 程度であり、その内部の In 組成が、外部の In 組成に対して、15% 程度異なっていた。また、この In 組成の分布は、フォトルミネッセンス測定や蛍光顕微鏡測定で得られる発光強度の分布に対応していることが分かった。

結論

$\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{N}/\text{GaN}$ 量子井戸に対して、 1000°C のアニール処理を施したところ、量子井戸面内に新たに In 組成が異なる島状領域が現れた。島状内部の In 組成は、外部のものに対して 15% 程度異なったものであった。また、この In 組成分布は、フォトルミネッセンス測定や蛍光顕微鏡観察で得られる発光強度分布に対応している。

今後の課題

今後、フォトルミネッセンス測定や蛍光顕微鏡観察等で得られる光物性と今回の実験結果を比較することで、アニール処理で助長されていると考えられる In 組成揺らぎの発生メカニズムの考察を進める予定である。これらの実験及び考察は、GaN 系発光デバイスの発光効率の向上に大きく寄与できるものと考え

える。

参考文献

- [1] T. Miyajima, Y. Kudo, W. Karino, Y. Terada, A. Ohmae and N. Fuutagawa: SPring-8 User Experiment Report No.15 (2005A), 165.
- [2] T. Miyajima, Y. Kudo, S. Uemura, Y. Terada: SPring-8 User Experiment Report No.16 (2005B), to be published.

論文発表状況・特許状況

- 1) T. Miyajima, Y. Kudo, K. -Y. Liu, T. Uruga, T. Asatsuma, T. Hono and T. Kobayashi: phys. stat. sol. (b) **228** (2001) 45.

キーワード

・ 蛍光 X 線

物質を X 線で照射したときに原子の内殻軌道の電子を励起放出し、この空準位に高い準位の電子が移るときに放出される特性 X 線のこと。