

In 蛍光 X 線を用いた GaInN 量子井戸の結晶評価

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

宮嶋孝夫^a、工藤善弘^a、狩野 弥^a、寺田靖子^b、大前 暁^a、風田川統之^a

Takao Miyajima^a, Yoshihiro Kudo^a, Wataru Karino^a, Yasuko Terada^b, Akira Ohmae^a,
and Noriyuki Fuutagawa^a

^a ソニー (株)、^b 高輝度光科学研究センター

^a Sony Corporation, ^b Japan Synchrotron Research Institute

GaN 系青色半導体レーザの発光層に用いられる GaInN 量子井戸平面内の In 組成揺らぎを、大型放射光施設 SPring-8 の BL37XU における X 線マイクロビームを使って評価した。37 keV の X 線マイクロビーム ($1.2\mu\text{m} \times 1.4\mu\text{m}$) を $\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{N}/\text{GaN}$ 量子井戸に垂直入射させ、In K 殻からの蛍光 X 線を測定することで、含有 In 量を求めた。さらに、ステッピングモータにより、X 線照射位置を制御し、 $40\mu\text{m} \times 8\mu\text{m}$ おける In 組成分布を観測。その結果、量子井戸平面内に、10%程度の In 組成揺らぎが存在する可能性が分かった。今後、さらに S/N を高めた測定を行うことで、In 組成揺らぎと貫通転位との関係を明らかにしてゆく予定である。

The indium compositional fluctuations in a GaInN/GaN quantum well, which is used for the active layer of GaN optical devices, were measured using an x-ray micro beam of BL37XU of SPring-8. An x-ray micro beam ($1.2\mu\text{m} \times 1.4\mu\text{m}$) with an energy of 37 keV was irradiated on a $\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{N}/\text{GaN}$ quantum well at an incident angle of 90 degrees in order to excite an indium K-edge and generate the fluorescent x-ray of indium. The indium contents were obtained by measuring the intensity of the indium fluorescent x-ray. By moving the sample using stepping motors, the indium distribution in a $20\mu\text{m} \times 8\mu\text{m}$ area was observed. From this result, we could estimate that the indium composition fluctuations were approximately 10%. In our next research, we will consider the relationship between indium compositional fluctuation and the threading dislocations after improving the signal-to-noise ratio.

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と比較すると、 10^{10} - 10^6cm^{-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、光学的測定手段を用いた多くの研究報告が行われている[1-4]。しかしながら、従来の実験技術では、空間的な In 組成揺らぎを直接観測するには、極めて困難であった。すなわち、一般に用いられるエネルギー分散 X 線分光法やオージェ測定、SIMS 測定などは、測定感度や空間分解能の点で、本目的には適しておらず、これに関する報告例はほとんど存在しない。そこで、ここでは、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た。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。

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 系発光デバイスは、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

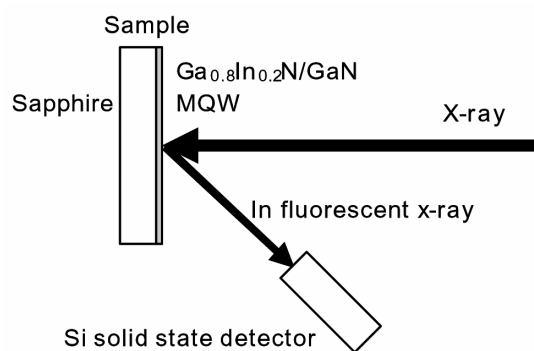


Fig.1 Schematic diagram of sample assembly

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 Ga_{0.8}In_{0.2}N/GaN 量子井戸であった。井戸数は 4。図 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=37keV のエネルギーに単色化し、Kirkpatrick-Baez 型ミラーにより、1.2μm×1.4μm(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、試料に垂直入射させ、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、測定試料をステップ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。ステップサイズは、1μm とした (最小ステップサイズ: 0.25μm)。この 2 次元分布を、Ga_{0.8}In_{0.2}N/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

図 2 に、40μm×8μm の領域における規格化された In 蛍光 X 線量の分布を示した。ここで、In 蛍光 X 線量は、入射 X 線量とバツ

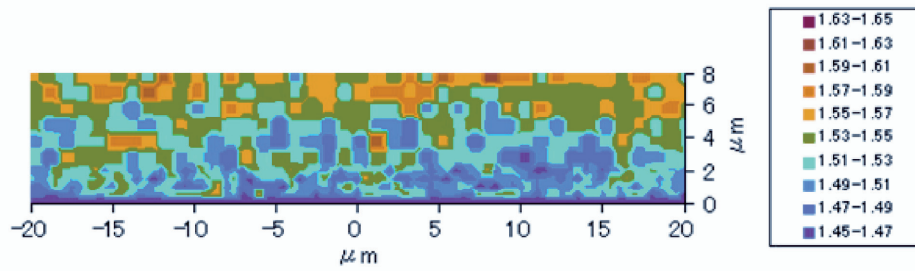


Fig.2 The normalized intensity distribution of the indium fluorescent x-ray in a 40 μm x 8 μm area

クランド信号量により規格化した。バックグランド信号は、非弾性散乱された X 線により発生したものである。ここで観測された In 蛍光 X 線量は、 $\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{N}/\text{GaN}$ 量子井戸中の In 組成を反映することから、図 2 は、 $\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{N}/\text{GaN}$ 量子井戸中の In 組成揺らぎを表していると考えられる。したがって、 $\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{N}/\text{GaN}$ 量子井戸中には、マイクロメータスケールの揺らぎが存在し、その揺らぎの大きさが 10% 程度であると考えられる。

結論

SPring-8 の高輝度 X 線マイクロビームを励起光源として、In の蛍光 X 線量を測定することで、 $\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{N}/\text{GaN}$ 量子井戸中の In 組成揺らぎを直接的に測定することに成功した。In 組成揺らぎは、量子井戸中の $40\mu\text{m} \times 8\mu\text{m}$ の領域において、10% 程度存在し、マイクロメータサイズの構造を有する可能性が示された。

今後の課題

本手法により、 $\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{N}/\text{GaN}$ 量子井戸中の In 組成揺らぎを直接測定することが可能になったが、10% 程度の組成ゆらぎを議論するには、誤差が大きい。この原因は、量子井戸からの In 蛍光 X 線量に比較して、非弾性散乱 X 線によるバックグランド信号が、200

倍程度存在することにある。今後、測定システムおよび測定試料に改良を加えることで、S/N の高い測定を行う実験を計画したい。これにより、In 組成揺らぎと貫通転位の関係を明らかにして、GaN 系発光デバイスの発光効率の向上に寄与したい。

参考文献

- [1] S. Chichibu, T. Azahata, T. Sota and S. Nakamura: Appl. Phys. Lett. **69** (1996) 4188.
- [2] Y. Narukawa, Y. Kawakami, Sz. Fujita, Sg. Fujita and S. Nakamura: Phys. Rev. B **55** (1997) R1938.
- [3] A. Satake, Y. Masumoto, T. Miyajima, T. Asatsuma, F. Nakamura and M. Ikeda: Phys. Rev. B **57** (1998) R2041.
- [4] A. Yamaguchi, Y. Mochizuki and M. Mizuta: Ext. Abs. SSDM, 1999, Tokyo, pp.64.,

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、この空順位に高い順位の電子が移るときに放出される特性 X 線のこと。