

XAFS 測定による半極性 InGaN 薄膜の局所構造解析 XAFS analyses of In atoms in InGaN-nanostructures fabricated on semi-polar substrates

榊 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, 本間 徹生^c
Atsushi Sakaki^a, Tomoaki Kawamura^a, Hirotaka Ohno^a
Yoichi Kawakami^b, Mitsuru Funato^b, Masaya Ueda^b
 Tetsuo Honma^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

ピエゾ電界効果の低減による発光特性向上が期待されている半極性(11-22)GaN 基板上 InGaN/GaN 構造において, In 原子近傍局所構造の XAFS 解析を行った. 試料として, InGaN/GaN 多重量子井戸構造の InGaN 膜厚と In 組成を変化させながら XAFS スペクトル解析を行ったところ, 膜厚および組成と In-N 第一近接原子間距離に相関が認められた.

キーワード: 窒化物半導体, LED, 半極性, InGaN, XAFS

背景と研究目的

InGaN 層を発光層とする III 族窒化物半導体発光デバイスは, 青色 LED の開発以来, 精力的に研究が進み, 急速なスピードで発光効率の向上, 高出力化がなされている. また青色 LED と種々の蛍光体を組み合わせた白色 LED の開発も進められている. 白色 LED は一般照明や自動車ヘッドライトの分野への応用が期待されており, エネルギー効率の高い LED の実現が重要課題とされ, その為には発光層である InGaN 層の高品質化が求められている.

従来の(0001)c 面基板上に作製した量子井戸構造 LED では, GaN と $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ の高い格子不整合(最大 11%)により発光層に歪みが生じ, 数百万 V/cm 程度の強いピエゾ電界が発生する. このピエゾ電界により電子・正孔対の重なりが空間的に分離される事で再結合確率が減少し, 発光効率の低下を招いていた. この問題を解決する為に, ピエゾ電界効果が非常に低い半極性(11-22)GaN 基板上への量子井戸構造の作製が検討されている[1]. そこで本課題では半極性(11-22)GaN 基板上に作製した InGaN 薄膜層における In 原子近傍の局所構造を蛍光 XAFS 法にて測定し, ローカル歪みと発光特性との関

係を調査した.

実験

測定試料には基板の上にバッファ層として GaN 層約 3 μm を成膜し, その上に InGaN/GaN の多重量子井戸構造を作製したものをを用い, 成長条件により量子井戸構造の In 組成, 膜厚, 周期数を種々変化させた. また(11-22)GaN 基板上に作製した試料との比較の為に(0001) Sapphire 基板上に成長させた試料についても同時に実験を行った.

測定は BL14B2 ビームラインを用い, 19 素子 SSD を用いた蛍光 XAFS 法により行った. 入射 X 線ビームを, Si(111)により単色化し, Rh コートミラーにて高次光を除去し, 試料上流でスリットにより縦 1mm \times 横 5mm に成形した. 測定配置は, ウエハ片状態の試料を成長面が上面となるようにセットし, 入射 X 線に対し 1~3 $^\circ$ 傾斜させる事で蛍光 X 線の収量を稼ぐとともに, 散乱 X 線などバックグラウンド信号の低減を図った. 更に, 試料からの Bragg 回折による信号妨害を避ける為に, サンプルホルダーを $\pm 2^\circ/\text{sec}$ にて揺動させ, 且つサンプルと検出器の間にソーラーリット(Cu)と Ag 板を

入れることにより, Compton 散乱および Ag 板からの蛍光 X 線を除去した. また解析は REX2000 を用いて行った. Fig.1 に測定レイアウトを示す.

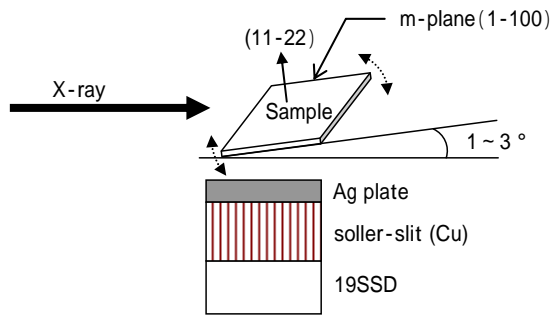


Fig. 1. Schematics of the experimental layout. The incident x-ray beam was parallel to the m-plane of the sample.

結果および考察

Fig.2 に InGaN/GaN 多重量子井戸構造中の InGaN 単層膜厚に対する, In-N 距離の変化を示す.

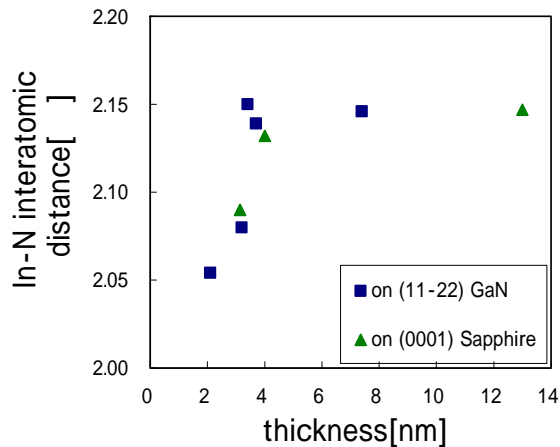


Fig. 2. Relationship between the thicknesses of an InGaN layer and the In-N interatomic distance.

(0001)Sapphire 基板上に作製したサンプル, (11-22)GaN 基板上に作製したサンプル共に, InGaN 膜厚が厚くなる程, In-N 距離が伸びている傾向が確認された. 但し, InGaN 層の厚さが 4nm 程度になると, In-N 距離は約 2.15 Å で飽和しており, これは InGaN 層が緩和している可能性を示唆している.

次に, (0001)Sapphire 基板上に作製したサンプルの In 組成と In-N 間距離については, Fig.3 に示すように In 組成に対して In-N 間距離が線形に変化する事を確認した. この傾向は X線回折測定の結果と一致していることから In 組成の増大に伴いユニットセルサイズが減少している事を表している.

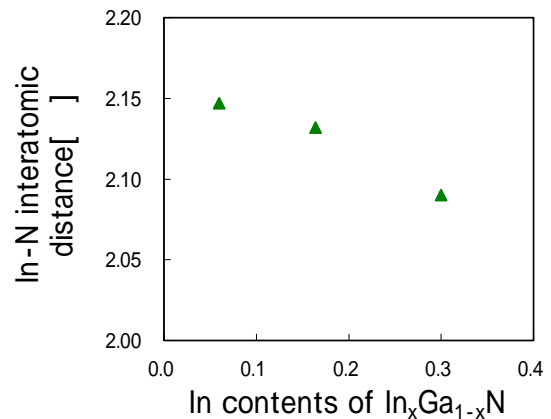


Fig. 3. Relationship between the In contents and the In-N interatomic distance in the InGaN layer.

一方, (11-22)GaN 基板上に作製した InGaN/GaN 構造については現在正確な In 組成値を解析中であり, 今後 In 組成値と局所歪みとの関係を明らかにする予定である.

謝辞

測定時に多大なご協力を頂きました日亜化学の吉田泰弘氏にこの場を借りて深く感謝致します.

参考文献

- [1] M. Ueda, K. Kojima, M. Funato, Y. Kawakami, Y. Narukawa, and T. Mukai, Appl. Phys. Lett. **89**, 211907 (2006).