

(様式第4号)

## ナイトライド系化合物半導体の局所構造に関する研究

### A study on local structure of nitride semiconductors

郭其新  
Qixin Guo

佐賀大学シンクロトロン光応用研究センター  
Saga University Synchrotron Light Application Center

※長期利用課題は、実施課題名の末尾に期を表す (I)、(II)、(III) を追記すること。

#### 1. 概要

高輝度青色発光ダイオード、高効率太陽電池材料として注目を集めているナイトライド系化合物半導体の一つである InGaN の Ga K 吸収端 XAFS 測定を行った。理論計算の結果とほぼ一致していることから InGaN の電子構造の定量解析に XAFS が適用できることが分かった。

#### (English)

We have investigated the electronic structure of InGaN semiconductors by performing x-ray absorption fine structure (XAFS) spectroscopy at Ga K-edge. The theoretical calculations gave a reasonable reproduction of the experimental spectral features. The results revealed that the combination of the experimental XAFS and the theoretical calculations is a powerful tool for systematic and qualitative analysis of the electronic structure of InGaN semiconductors.

#### 2. 背景と研究目的：

ナイトライド系化合物半導体の一つである InGaN は、Ga の組成を変えたヘテロ接合の組み合わせにより、変換効率 60% を超す究極の太陽電池材料として注目を集めている。しかしながら InGaN には、全組成領域の薄膜の作製、結晶膜の高品質化、p 型、n 型導電膜の開発等の基礎的研究課題が横たわっている。特に、InN の解離温度が低いため、従来用いられてきた有機金属気相成長法 (MOVPE) では、高 In 組成の InGaN の成長が困難であり、これまで高性能な太陽電池は作製されなかった。我々は、低温成長が可能な反応性スパッタリング法に注目し、ナイトライド系化合物半導体 InN, GaN, AlN 及び InGaN の低温エピタキシャル成長に関する研究を行ってきた。その結果、InGaN のほぼ全組成領域の薄膜作製に成功している[1]。

InGaN を活性層に用いた高輝度青色発光ダイオードは既に実用化されている。高い貫通転位密度を持っているにもかかわらず、高い量子効率を示している原因としては、活性層の In モル分率ゆらぎにあると報告されているが、構造的に未知な部分が多く、殆ど解明されていないのが現状である。X 線吸収微細構造 (X-ray Absorption Fine Structure: XAFS) 測定法は、InGaN 薄膜中に 2 種類以上の元素を含む混晶の構造解析に適しており、我々は、MOVPE 法で得られた InGaN 薄膜の XAFS 測定を行い、低 In 組成領域での InGaN 構造特性について報告した[2]。そこで、本研究では、反応性スパッタリング法を用いて作製されたほぼ全組成領域の InGaN の Ga K 吸収端の XAFS 測定を行うことにより、InGaN 電子構造の組成依存性を明らかにすることを目的としている。

#### 3. 実験内容：

InGaN 薄膜の成長は、スパッタリング法により行った。成長前に基板表面には、逆スパッタ処理を施し、成長条件は、N<sub>2</sub> ガス流量 4 sccm, 高周波出力 100 W, 圧力 5 mTorr, 基板設定温度 550 °C とした。得られた薄膜の組成はエネルギー分散型 X 線分析 (EDX: Energy Dispersive X-ray Spectrometer) により評価した。Ga K 吸収端 XAFS の測定については、BL11 にて転換電子収量 (Conversion electron yield、

CEY) 検出器を用いて実施した。

#### 4. 実験結果と考察

Figure 1 に XAFS 測定に用いられた透過スペクトルを示す。Ga の組成を変化させることにより、InGaN のバンドギャップを制御できることが確認できた。Figure 2 に Ga K 吸収端の XAFS スペクトルを示す。すべての InGaN 試料に対して、ピーク A、B、及び C が観測された。ピーク B と C とのエネルギー差が 11eV であることから、InGaN 試料の結晶構造がウルツ構造であることが分かり [3]、X線回折とラマン分光のデータと一致した [1]。Figure 3 は FEFF8 コード [4] より計算された Ga K 吸収端の XAFS スペクトルであり、実験結果とほぼ一致していることが分かった。

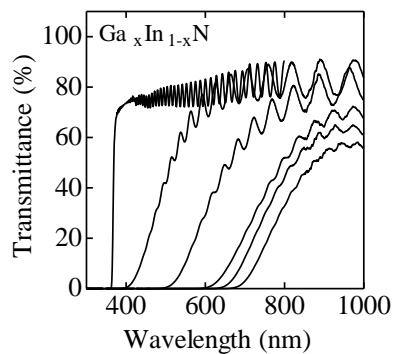


Figure 1 Transmittance spectra of the obtained  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$  films (from left to right  $x = 1, 0.91, 0.44, 0.30, 0.17,$  and  $0.06$ ).

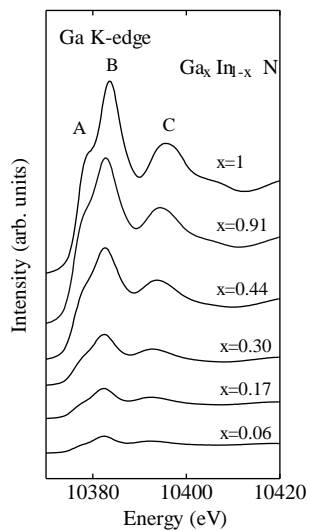


Figure 2 Experimental Ga K-edge XANES spectra for  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ .

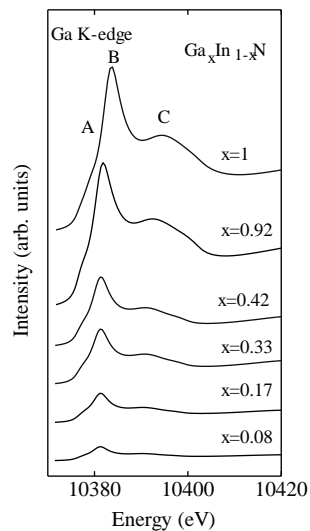


Figure 3 Theoretically calculated Ga K-edge XANES spectra for  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ .

## 5. 今後の課題：

InGaN 系化合物半導体の構造特性において Ga K 吸収端の XAFS 評価の有用性は確認できたが、結晶性、電子移動度との相関については、試料の作製条件を変化させることにより、確かめていくことが必要である。

## 6. 論文発表状況・特許状況

一部の成果については、論文としての投稿を予定している。

## 7. 参考文献

- [1] Qixin GUO, Yuta KUSUNOKI, Yaliu DING, Tooru TANAKA, and Mitsuhiro NISHIO, Japanese Journal of Applied Physics 49, 081206 (2010).
- [2] K.P.O'Donnell, R.W.Martin, M.E.White, J.F.W.Mosselmans, and Q.X.Guo, Physica Status Solidi (b), 216, 151-156 (1999).
- [3] P. Perlin, C. Jaubertie-Carillon, J. Itie, A. Miguel, I. Grzegory, and A. Polian, Phys. Rev. B 45, 83 (1992).
- [4] A. L. Andukinov, B. Travel, J. J. Rehr, and S. D. Conradson, Phys. Rev. B 58, 7565 (1998).

## 8. キーワード (試料及び実験方法を特定する用語を 2～3)

InGaN, XAFS