

InGaN 混晶の XAFS による局所構造解析

ソニー(株) テクニカルサポートセンター 工藤喜弘

Yoshihiro.Kudo@jp.sony.com

GaN など 族窒化物半導体は、青緑 LED や青色 LD などを利用でき、次世代高密度光記録システムや薄型大型ディスプレイのキーデバイスなどへの応用が見込めることから、近年盛んに研究開発されている。In_xGa_{1-x}N 混晶を発光層として、In 組成 x(濃度)を調整すると、発光波長を変えることができるが、In 組成が 20% 以上に高まると、相分離が生じて発光特性が著しく劣化することが報告されている。相分離に至る前段階の過程と相分離の原因を探る目的で、XAFS による In_xGa_{1-x}N 混晶の局所構造解析を行った。実験は BL16B2 で行い、サファイア基板に GaN 層を介して厚さ 0.18 μm の In_xGa_{1-x}N 層を MOCVD 法で形成した試料を用いて、In の K 吸収端 (27.9 keV) で、In の K 線を半導体検出器で測定する微小角入射蛍光法により XAFS スペクトルを得た。

SPring-8 は 30 keV 付近で高い輝度を有し、In の K 吸収を利用できることから本解析にとって最適な光源である。EXAFS の k³ (k) をフーリエ変換して得られた動径構造関数を図に示す。2.8 付近に現われた In の第二近接の Ga 及び In に起因するピークに対する EXAFS 解析から、In の第二近接の In 原子の配位数を求めたところ、x = 1.5 ~ 16% において、In が完全に均一にかつランダムに分布している場合よりも 1~2 配位大きかった。これは、In 組成が十分低く、相分離が起き難い InGaN 混晶でも、In の凝集が起きていることを示唆している。

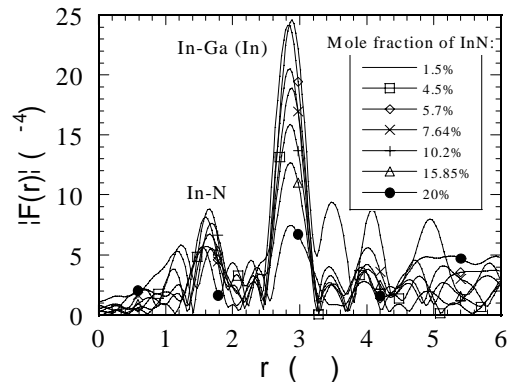


図 In の周りの動径構造関数

InGaN混晶のXAFSによる局所構造解析

2001年8月3日 サンビーム研究発表会

ソニー(株) テクニカルサポートセンター 工藤 喜弘

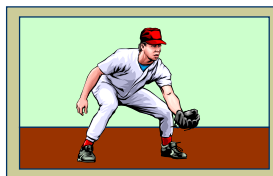
- ◆ 背景、目的
- ◆ 試料、実験、実験結果
- ◆ 解析結果
- ◆ まとめ

GaN系 - 族化合物半導体材料

-GaN, InN, AlN-

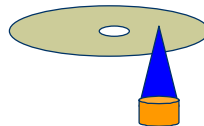
直接遷移型バンド構造。
InN(1.9eV), GaN(3.4eV), AlN(6.2eV)の混晶を用いれば、
バンドギャップを広範に変化させることが可能。

青・緑色発光
ダイオード
(LED)



フルカラー大型
ディスプレイ

青紫色レーザ
ダイオード(LD)



次世代高密度
光記録システム

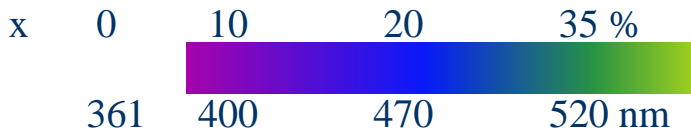
高出力高周波
デバイス



第3世代移動体
通信用基地局

局所構造評価の目的

In_xGa_{1-x}NにおけるIn組成に応じた発光波長



CLによる評価 In組成20%以上

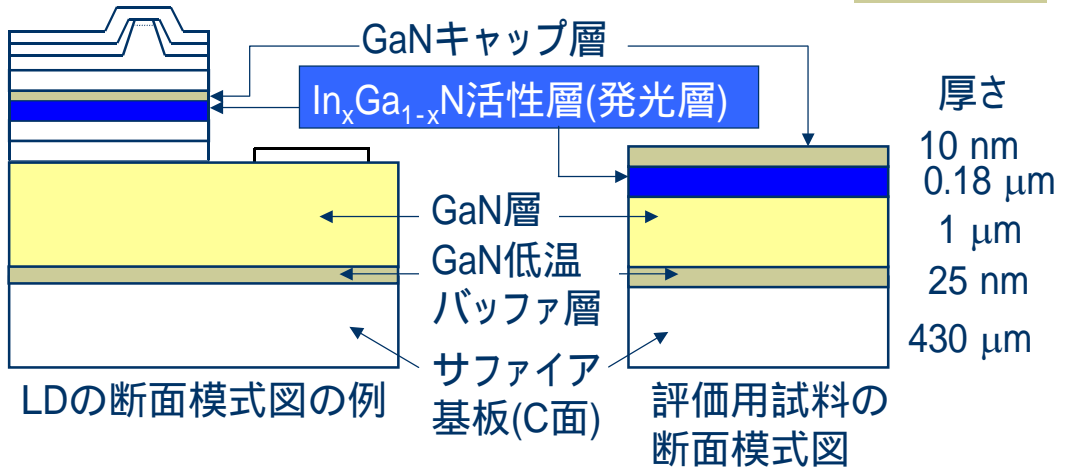
相分離、組成揺らぎの発生による発光不均一性

格子定数差: InN 10%大 > GaN

相分離、組成揺らぎの生じる前段階にて、それらの兆候を捉えて、相分離などが顕在化するメカニズムを解明する

デバイス開発及び結晶工学的観点から重要

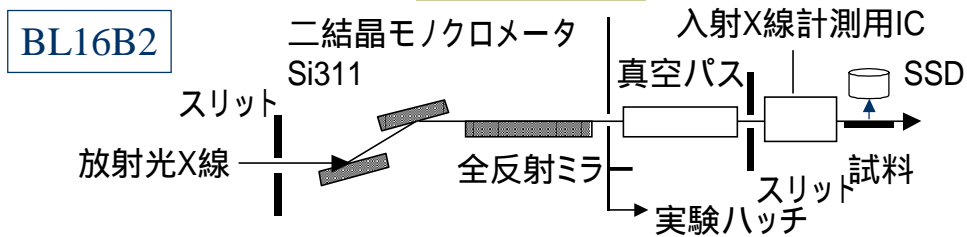
試料



MOCVD法により作製。サイズは2インチ径の1/4以下。

In組成 $x=1.5, 4.5, 5.7, 7.6, 10.2, 15.9, 20\%$

実験



活性層からのIn $K\alpha$ (24.07 keV) 蛍光X線強度を測定
測定時間: 1点10秒、1スペクトル150分。

In K吸収端 (27.9 keV)

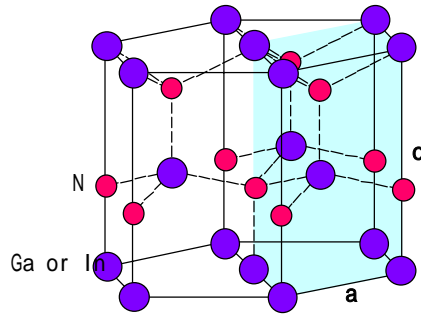
SPring-8の臨界エネルギー(E_c): 28.9 keV PFの E_c : 4 keV

SPring-8の輝度: 10^{16} phs/s/mm²/mrad²/0.1% b.w. PF: 10^{12} at 27.9 keV

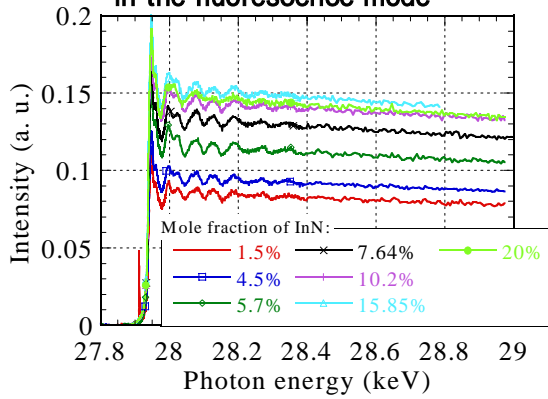
SPring-8利用で初めて可能、殆ど必須の光源

実験結果

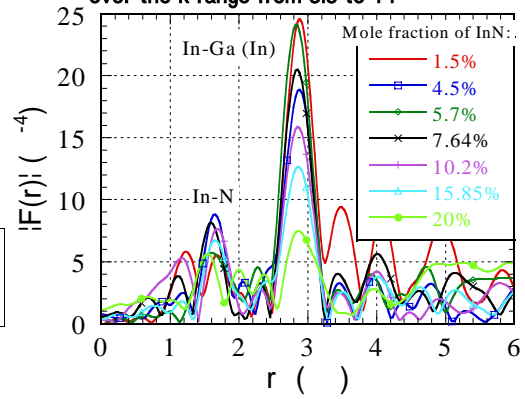
wurtzite crystal structure
($a=3.19$, $c=5.19$ for GaN)



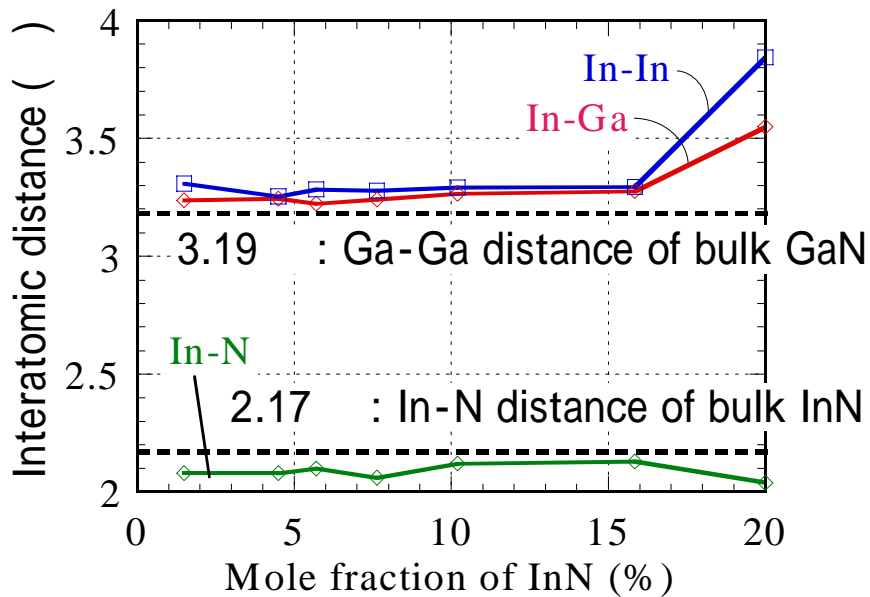
XAFS spectra around In K edge measured in the fluorescence mode



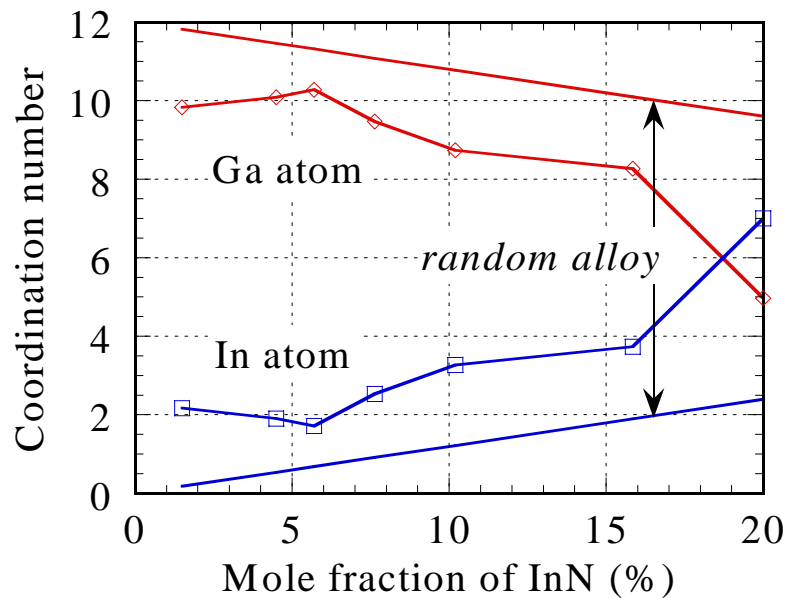
Fourier transforms of $k^3 \chi(k)$ over the k range from 3.5 to 14 \AA^{-1}



Inの第1及び第2近接原子間距離



Inの第2近接原子の配位数



まとめ

- GaN系半導体デバイスの活性層となるInGaN混晶について、デバイス開発上の指針となる以下の知見を得た。
 - In-N distance ~ In-N of bulk InN
 - In-Ga and In-In distance ~ Ga-Ga of bulk GaN
内部歪みはIn-N-Ga(In)の結合角の変化で緩和
 - 極く低濃度(In組成1%程度)からInは凝集
InGaNの組成ゆらぎ、相分離の兆候
- 多重量子井戸構造(数 nm ~ 10数 nm程度の極薄膜)など、より実デバイスに近い構造を評価する予定
 - Spring-8 は、InのK殻の励起に最適であると同時に、大幅な蛍光収量の低下が見込まれることから殆ど必須。

