

XAFS による InGaN 多重量子井戸構造の In 原子の局所構造

宮永崇史^a, 小豆畑敬^a, 松田成修^a, 石川佳一^a, 佐藤 圭^a, 秩父重英^b, 宗田孝之^c,
向井孝志^d, 宇留賀朋哉^e, 谷田肇^e

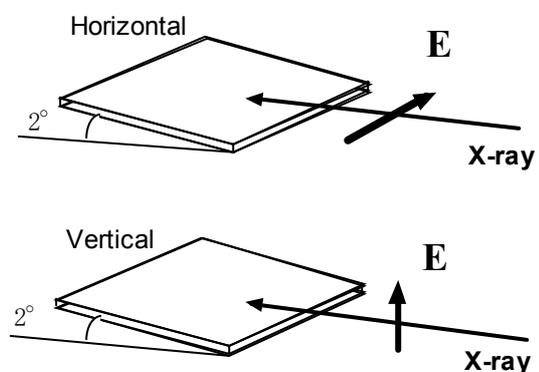
^a 弘前大学理工学部、^b 筑波大学物理工学系、^c 早稲田大学理工学部、^d 日亜化学工業、^e 高輝度光科学研究センター

背景: InGaN は高輝度青・緑色発光ダイオードや青紫色レーザーダイオード等において重要な物質であり、中でも多重量子井戸構造はレーザーダイオードの基本構造となっている。これらのデバイスは非常に高い貫通転位密度を持っているにもかかわらず、高い量子効率を示す。その原因は InGaN 活性層の In モル分率ゆらぎにあると考えられているが¹⁾、構造的に未知な部分が多いため、近年盛んに研究されている。一方、EXAFS 法はこのような薄膜中に 2 種類以上の元素を含む系の構造研究に適した方法である。最近 InGaN に適用され、In 原子の周囲の Ga および In の原子配置を研究した例が報告されている²⁻⁴⁾。しかしながら、成膜条件の違いや EXAFS 解析の困難さもあって、原子間距離に対しても統一した結果は出されていない。我々は単一量子井戸構造の InGaN 層に関して EXAFS 解析を行ってきたが⁵⁾そこでは、水平方向と垂直方向における明確な違いを観測し、量子発光効率との関連を見出した。本研究では、高輝度放射光を用いて In K 吸収端の蛍光 EXAFS 測定を行なうことにより、さらに InGaN 多重量子井戸構造中の In 原子周辺の局所構造を研究した。

実験: 今回使用した試料は、ツーフロー有機金

属化学気相成長(TF-MOCVD)法によりサファイア(0001)基板上に成長させた、InGaN 量子井戸構造であり、厚さ 3.5nm の Si ドープ In_{0.07}Ga_{0.93} 井戸層、Si ドープ In_{0.01}Ga_{0.99} 障壁層で構成されている。⁶⁾ EXAFS の測定は、SPring8 の BL10XU において Si(111)二結晶モノクロメーターを用いて行った。注目する層中の In 濃度が低いこと、およびその上に GaN 層が存在することから、In K 吸収端の蛍光 XAFS 法を用いた。In-K_α の蛍光 X 線の検出には 19 素子の Ge 半導体検出器(SSD)を用いた。図 1 のように薄膜試料をビーム方向に水平および垂直に設置し、回折線を防ぐために試料を面内に回転させながら測定した。

図1 XAFS 測定における試料配置



結果と考察: 図2は InGaN 多重井戸構造の水平方向(実線)と垂直方向(破線)に対する In-K 端

での EXAFS $k\chi(k)$ スペクトルを示している。EXAFS の解析は XANADU コードを用いた。⁷⁾1 スペクトルあたり約12時間のデータ積算を行った結果、 $k=12.5 \text{ \AA}^{-1}$ あたりまで解析可能なデータが得られた。図3はこれらの EXAFS データをフーリエ変換した結果を示している。

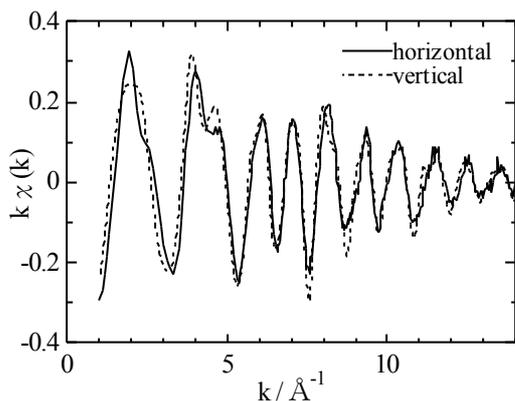


図2 InGaN における In K-端の EXAFS $k\chi(k)$ スペクトル。水平方向(実線)および垂直方向(破線)

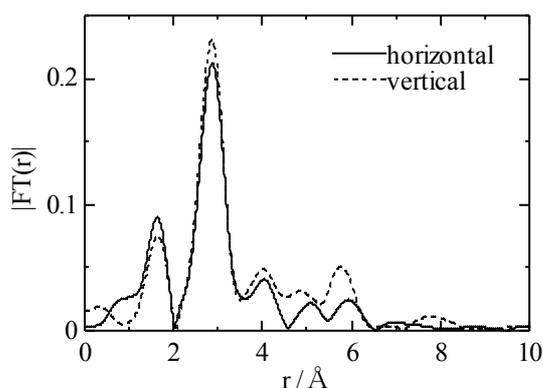


図3 InGaN における In K-端の EXAFS $k\chi(k)$ スペクトルのフーリエ変換。水平方向(実線)および垂直方向(破線)

多重量子井戸構造においても水平方向と垂直方向に違いが現れており、この違いは単一量子井戸構造におけるものとほぼ一致している。

一方、単一量子井戸構造では見られなかった変化も現れている。約 6 \AA 付近のピークが、垂直方向で顕著になっている。これは、多重井戸方構造特有の現象と考えられるが、詳細は現在解析中である。

参考文献

- [1] S. Chichibu, T. Azuhata, T. Sota, and S. Nakamura, Appl. Phys. Lett. **69**, 4188 (1996).
- [2] N.J. Jeffs, A.V. Blant, T.S. Cheng, C.T. Foxon, C. Bailey, P.G. Harrison, J.F.W. Mosselmanns, and A.J. Dent, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. **512**, 519 (1998).
- [3] S.C. Bayliss, P. Demeester, I. Fletcher, R.W. Martin, P.G. Middleton, I. Moerman, K.P. O'Donnell, A. Sapelkin, C. Trager-Cowan, W. Van Der Stricht, and C. Young, Materials Science and Engineering, **B59**, 292 (1999).
- [4] T. Miyajima, Y. Kudo, K.-Y. Liu, T. Uruga, T. Asatsuma, T. Hino, T. Kobayashi, phys. stat. Sol. (b) **228**, 45 (2001).
- [5] T. Miyanaga, T. Azuhata, S. Matsuda, Y. Ishikawa, T. Uruga, H. Tanida, S.F. Chichibu, T. Sota, and T. Mukai, Physica Scripta, submitted.
- [6] S.F. Chichibu *et al.*, Mat. Sci. Eng., **B59**, 298 (1999).
- [7] H. Sakane, T. Miyanaga, I. Watanabe, N. Matsubayashi, S. Ikeda, and Y. Yokoyama, Jpn. J. Appl. Phys. **32**, 4641 (1993).