

## 2aA10

## InGaN/GaN および InGaN/InN 気相成長における気相-固相関係

Thermodynamic study for relation between solid composition and input ratio of InGaN on GaN and InN

東京農工大学 工学部 応用分子化学科、\*三重大学 工学部 物理工学科  
寒川義裕、伊藤智徳\*、熊谷義直、瀬瀬明伯

Department of Applied Chemistry, Tokyo University of Agriculture and Technology

\*Department of Physics Engineering, Mie University

Yoshihiro KANGAWA, \*Tomonori ITO, Yoshinao KUMAGAI, Akinori KOUKITU

Thermodynamic analyses were carried out to understand compositional instability of InGaN/GaN and InGaN/InN in the MBE growth. In the thermodynamic analysis, contribution of lattice constraint from bottom layer was incorporated using enthalpy of mixing of InGaN/GaN and InGaN/InN,  $\Delta H_m^{\text{InGaN/GaN}}$  and  $\Delta H_m^{\text{InGaN/InN}}$ , which can be obtained by empirical interatomic potential calculations. The results suggest that compositional unstable region for InGaN/InN shifted toward Ga-rich side compared with that for InGaN/GaN. This implies that homogeneous InGaN thin films with large indium mole fraction is possible to form on InN substrate.

InGaN 系材料では、その混晶組成により発光波長を GaN の $\sim 360\text{nm}$  (紫外) から InN の $\sim 1.5\mu\text{m}$  (赤外) までの間で制御できるため、可視光全域をカバーできる光学素子として期待されている。しかし、材料の持つ強い非混和性により組成均一な高 In 組成の混晶を得ることが困難であり、InGaN を用いた長波長発光素子の実用化には至っていない。我々はこれまでにこの InGaN 混晶のホモエピタキシャル成長に対して熱力学解析を行い、In と Ga の送入ガス原料比と混晶組成の関係 (気相-固相関係) を明らかにした[1]。一方、実際の InGaN 成長を考えると、GaN あるいは InN 層上に成長が行われるので、今回、我々は基板からの格子拘束を考慮して InGaN/GaN および InGaN/InN ヘテロエピタキシャル成長に対する熱力学解析を行った。

V 族源として原子状 N を用いた MBE (分子線エピタキシー) 成長における成長反応式  $\{\text{In}(\text{g})+\text{N}(\text{g})=\text{InN}(\text{s}), \text{Ga}(\text{g})+\text{N}(\text{g})=\text{GaN}\}$  を考え、熱力学解析を行った。また、原子間ポテンシャル計算[2]により得られた InGaN/GaN および InGaN/InN の混合エンタルピー ( $\Delta H_m^{\text{InGaN/GaN}}$ 、 $\Delta H_m^{\text{InGaN/InN}}$ ) を用いることにより基板からの格子拘束の影響を考慮した。

図(a)、(b)に、それぞれ InGaN/GaN および InGaN/InN における送入ガス原料比と混晶組成の関係を示す。図(a)および(b)を見ると、成長温度が高い場合には In の送入ガス原料比に対して混晶組成が一義的に決まらない領域 (組成不安定領域) が出現することがわかる。組成均一な混晶を得るためには組成不安定となる条件を避けて成長を行う必要があり、一つの解決法として低温成長が挙げられる。しかし、低温成長では成長表面での吸着原子の拡散が抑制され結晶性の良い薄膜が得られないといった欠点がある。図(b)を更に詳細に見てみると、温度  $850^\circ\text{C}$  で InN 上に InGaN を成長させる場合には、高 In 送入ガス原料比側では組成不安定化が起こらず、送入ガス原料比の制御により混晶組成を一義的に決定できることがわかる。この結果は、組成均一な高 In 組成の薄膜を得るには InN 基板あるいは InN 厚膜上に成長を行うと良いことを示唆している。

**謝辞**：本研究は JSPS 未来開拓事業の援助で行われた。

**参考文献**

- [1] A. KoukITU, Y. Kumagai, J. Phys.: Condens. Matter **13**(2001)6907.  
[2] Y. Kangawa, T. Ito, A. Mori, A. KoukITU, J. Cryst. Growth **220**(2000)401.

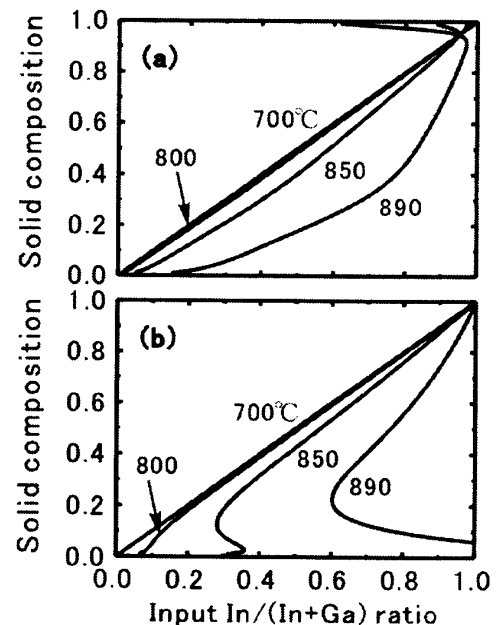


図 InGaN における InN の混晶組成と送入ガス原料比の関係。(a)InGaN/GaN、(b) InGaN/InN。V/III=1.0、 $P_{\text{III}}^0=1.0 \times 10^{-6}$  torr。